

Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas

Vittorino, F. (1); Sato, N. M. N. (2); Akutsu, M. (3)

- (1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, S. A., Av. Professor Almeida Prado, 532, Cidade Universitária, CEP 05508-901, São Paulo – SP, tel. 11-37674258, e-mail fulviov@ipt.br
- (2) Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, Av. Professor Almeida Prado, travessa 2, nº 83, Cidade Universitária, CEP 05508-901, São Paulo – SP, tel. 11-30915248, e-mail neidesato@uol.com.br
- (3) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, S. A., Av. Professor Almeida Prado, 532, Cidade Universitária, CEP 05508-901, São Paulo – SP, tel. 11-37674258, e-mail akutsuma@ipt.br

RESUMO

Nos últimos anos, tem crescido rapidamente o uso de barreiras radiantes nas edificações brasileiras, principalmente em coberturas, para reduzir o fluxo de calor emitido pelos telhados durante os horários mais quentes dos dias de verão. Esta tecnologia, já largamente utilizada no exterior há décadas, ainda não está totalmente dominada e nem corretamente aplicada em nosso país.

No presente trabalho discute-se a propriedade básica de uma barreira radiante, que é a sua baixa emissividade, característica presente em superfícies metálicas polidas. Esta discussão é feita a partir de considerações teóricas bem como com base em resultados de medições laboratoriais realizadas em produtos disponíveis no mercado. Finalmente, com base nas informações apresentadas, são discutidas as características desejáveis para as barreiras radiantes e as suas formas de instalação, a fim de maximizar o desempenho térmico ao longo do tempo.

ABSTRACT

In the last years, the use of radiant barriers in the Brazilian constructions has increased quickly, mainly to reduce the heat flow emitted by roofings during the hottest periods of the days in summer. Although this technology is already widely used abroad decades ago, it is not totally understood and nor correctly applied in our country.

In this paper the basic property of a radiant barrier, that is, its low emissivity, a characteristic of polished metallic surfaces, is discussed. This is made on the basis of theoretical considerations as well as on results of laboratory measurements made for products available in the brazilian market. Finally, the desirable characteristics for the radiant barriers and its installation procedures in order to maximize the long term thermal performance are discussed.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das diversas alternativas para isolamento térmica dos elementos de edificação servem de subsídios para a elaboração de projetos visando a economia de energia ou, em grande parte do território nacional, para encontrar soluções construtivas que propiciem

condições satisfatórias de conforto térmico aos usuários sem utilizar equipamentos de condicionamento ambiental.

Dentre os diversos produtos atualmente disponíveis no mercado nacional, encontram-se as barreiras radiantes, que começaram a ser utilizadas no Brasil em 1995, importadas de outros países. Embora o uso destes produtos tenha crescido significativamente nos últimos anos, não existe ainda normalização nacional que trate do assunto. Esta carência de especificações técnicas, fez surgir no mercado produtos que não apresentam características adequadas para funcionar como isolante térmico, trazendo prejuízos ao consumidor.

Além disto, tem-se verificado que a aplicação deste tipo de isolante é feita muitas vezes de maneira inapropriada, observando-se práticas em que a superfície de baixa emissividade é posicionada voltada para o telhado tendo em vista tirar proveito da sua alta refletância ao infravermelho. Esta condição favorece o acúmulo de detritos sobre a superfície refletora, modificando as suas propriedades radiantes e conseqüentemente o seu desempenho térmico.

Neste trabalho são discutidos os conceitos envolvidos no emprego de barreiras radiantes em coberturas, apresentando-se as características de alguns produtos encontrados no mercado e um estudo de caso de alteração da emissividade com a deposição de poeira em decorrência da condição de exposição.

2. ISOLAMENTO TÉRMICO EM COBERTURAS

Numa cobertura constituída de telhado e forro, as trocas de calor entre o ambiente externo e interno ocorrem conforme ilustrado nas figuras 1 e 2. Ao projetista da edificação, cabe reduzir estas trocas térmicas atuando sobre os elementos e componentes de vedação. Sua possibilidade de ação sobre as parcelas convectivas, em geral, é limitada pois esta depende fortemente da incidência de vento, restando como alternativa a atuação sobre as componentes condutiva e radiante.

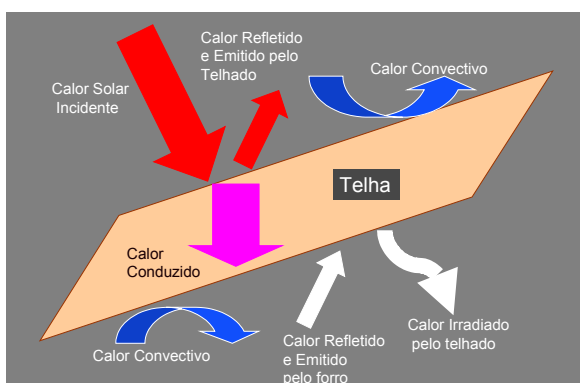


Figura:1 Representação das Trocas de calor em um telhado

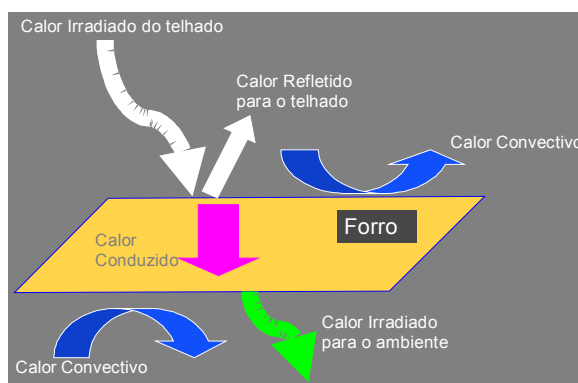


Figura 2: Representação das Trocas de calor em um forro

Tradicionalmente “isolar termicamente” a cobertura estava associada à utilização de materiais conhecidos como isolantes “resistivos”, que reduzem a transferência de calor por condução. Tão forte era este conceito de isolamento resistivo que a Norma francesa NF P 75-01 (AFNOR, 1983), define como isolante térmico o produto com resistência térmica maior que $0,5 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, composto por material com condutividade térmica menor que $0,065 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Entre os isolantes resistivos tradicionais encontram-se as mantas e painéis constituídos de fibras minerais ou fibras orgânicas flexíveis, as espumas plásticas rígidas de poliuretano ou poliestireno expandido, a vermiculita expandida ou perlita em grânulos e os flocos de lãs minerais. A resistência térmica destes materiais é devida principalmente à grande quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares. Algumas espumas podem conter ainda nos seus poros outros gases, com condutividade menor que a do ar.

Outra forma de reduzir os ganhos de calor pela cobertura é diminuir a absorção da energia solar pelo uso de materiais de alta refletância na sua face externa ou reduzir a quantidade de energia térmica de onda longa irradiada para o interior dos recintos, pelo emprego de materiais de baixa emissividade.

Principalmente nos EUA, existem muitas alternativas de produtos especialmente desenvolvidos com o objetivo de se obter revestimentos para coberturas com alta refletância à radiação solar e resistentes à intempéries, de forma que as suas características iniciais sejam mantidas durante a sua vida útil. Seu uso atingiu tal grau de frequência que já foram até desenvolvidas normas técnicas para estes produtos (ASTM D 6083/97a, ASTM C 1483-00), existindo inclusive certificações concedidas pela EPA – USA Environmental Protection Agency (<http://www.energystar.gov/>, último acesso em 10/02/2003) àqueles que proporcionem determinados níveis de economia de energia em sistemas resfriamento artificial.

Esta difusão do uso de redutores de trocas radiantes tem gerado, inclusive, a revisão dos conceitos apresentados nos documentos normativos, como, por exemplo, a norma ASTM C 168/01, que é mais abrangente do que a norma francesa ao definir isolante térmico como “um material ou produto utilizado com a finalidade de fornecer resistência à transferência de calor”. Neste contexto, além dos isolantes resistivos tradicionais, são considerados também isolantes térmicos os materiais ou produtos que diminuem qualquer uma das três formas de troca de calor (condução, convecção e radiação). Adotando-se esta definição, o governo americano publicou um documento (DOE CE 01-BO, 1997) com características exigíveis e recomendações de uso dos isolantes refletivos e dos isolantes resistivos tradicionais.

3. ISOLANTES REFLETIVOS E BARREIRAS RADIANTES

A emissividade dos materiais é devida às suas características superficiais, uma vez que, na maioria dos sólidos, a radiação emitida pelas moléculas do seu interior é absorvida pelas moléculas a ela adjacentes, sendo que apenas a energia emitida pelas moléculas localizadas a até 1 μm da superfície do material é que deixa efetivamente o corpo (INCROPERA, 1998). Fato similar ocorre para a absorção/reflexão da radiação incidente, ou seja, a parcela da energia incidente que é absorvida fica contida nas camadas moleculares mais externas do material.

A absorção da radiação térmica na superfície dos materiais é função da quantidade de elétrons livres presentes (MODEST, 1993). Nos materiais condutores de eletricidade como os metais, há uma grande quantidade de elétrons livres que fazem com que seja refletida grande parte da energia térmica incidente, resultando em pequena absorção e portanto pequena emissão de energia térmica. Nos materiais não condutores, há poucos elétrons livres e a absorção da energia térmica se dá em grande quantidade no reticulado estrutural do material. O estudo detalhado da interação entre a radiação térmica e a matéria é alvo da teoria eletromagnética e da física quântica.

Como a maioria dos materiais de construção civil são de natureza não metálica, como por exemplo pinturas, concreto, madeira, absorvem grande parte da energia térmica de onda longa incidente e a irradiam novamente para o ambiente. Na Figura 3 são apresentadas, em forma de diagrama, as propriedades radiantes de alguns materiais de construção opacos.

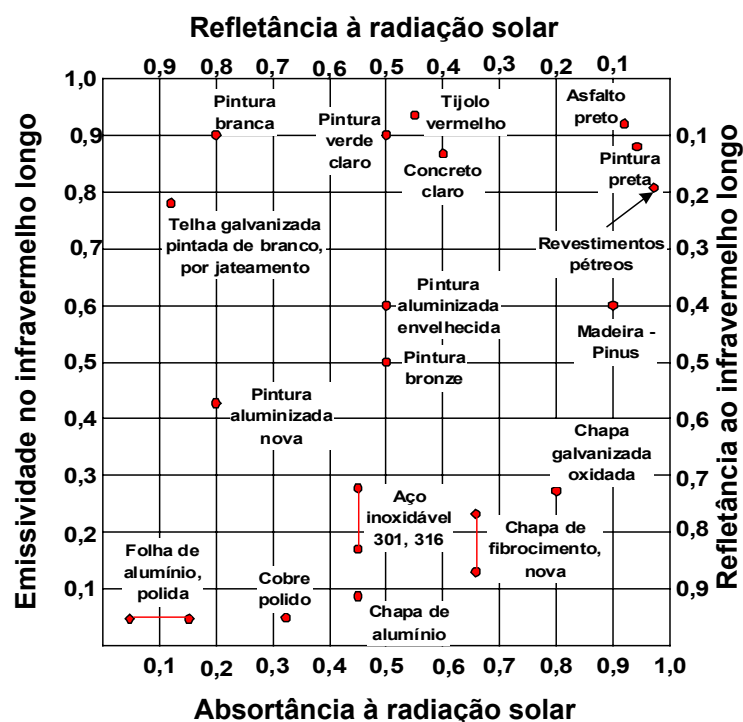


Figura 3 – Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de materiais de construção (Faurey, 1986)

As normas técnicas internacionais fazem distinção entre os dois sistemas utilizados para reduzir as trocas de calor por radiação: os isolantes refletivos e as barreiras radiantes. Esta classificação é suficientemente abrangente para incluir as pinturas refletivas e os materiais com baixa emissão de radiação térmica de onda longa. Contudo, as pinturas refletivas não são, normalmente, contempladas em conjunto com os materiais com baixa emissão de radiação por terem características específicas de produtos de revestimento, como “poder de cobertura”, “rendimento na aplicação” etc. Adotaremos aqui as definições propostas pela ASTM que tratam somente dos produtos com baixa emissão de radiação térmica. Na Austrália, já em 1976 existia normalização específica para isolantes refletivos (AS 1903) estando atualmente em processo de revisão. Também na África do Sul, está em revisão a norma SABS 1381-4/1985. O país que dispõe de um maior número de normas neste setor é o EUA (ASTM C 1158; ASTM C 1313-00; ASTM C 1224-01; ASTM C 727).

Os isolantes refletivos são produtos que incorporam câmaras de ar não ventiladas, com dimensões e forma definidas, confinadas por pelo menos um material com baixa emissividade. São exemplos de isolantes refletivos os painéis metálicos ocios. Este enfoque permite comparar a resistência térmica dos isolantes resistivos com a dos isolantes refletivos, que são especificados pela norma ASTM C 1224-01.

Já as barreiras radiantes consistem de um material de baixa emissividade, posicionado no elemento construtivo de tal forma que esteja voltado para um “ambiente”, que pode ser o espaço ático, com ou sem ventilação, ou os recintos habitáveis. O desempenho do produto é definido em cada caso, pela interação da barreira com as outras superfícies, não cabendo a especificação de uma resistência térmica mas apenas as características superficiais do material a ser usado como barreira radiante (ASTM C 1313-00). A avaliação do desempenho de coberturas com o emprego de barreiras radiantes pode ser feita por meio da simulação em computador (ASTM C 1340/99, Energy Plus) ou medições em escala real. O material comumente empregado em barreiras radiantes é o alumínio polido, na forma de lâminas ou folhas muito finas, com espessura da ordem de 6 a 8 μm , cuja emissividade é menor que 0,1.

Os principais produtos oferecidos no mercado nacional como barreiras radiantes são constituídos de:

- folha de alumínio aderida a uma ou ambas as faces de um substrato que pode ser de diversos materiais como por exemplo, malha polimérica, papel kraft, etc.
- folha de alumínio em uma ou em ambas as faces de “plástico bolha”, com espessura de 3 a 5mm;

- camada metálica entre filmes de polietileno aderidos a espuma plástica também de polietileno, com espessura de 2 a 5 mm;
- filme plástico com camada metálica aderida por deposição a vácuo.

Os substratos em que a folha de alumínio são aplicadas servem para proporcionar resistência mecânica ao produto. O “plástico bolha” e as espumas plásticas podem conferir um isolamento térmico adicional, por reduzir também as transferências de calor por condução.

4 QUANTIFICAÇÃO DO EFEITO DE BARREIRAS RADIANTES NO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS

A eficácia de uma barreira radiante pode ser quantificada de uma maneira simples, considerando a redução nas trocas de calor por radiação que ocorrem entre o telhado e um ambiente com a aplicação deste produto em uma cobertura sem forro.

Um telhado sem forro pode ser modelado como um elemento que irradia todo seu calor para o ambiente abaixo dele - Figura 4 (a). A inserção de um forro entre o telhado e o ambiente introduz uma blindagem térmica que reduzirá o fluxo de calor que chega ao ambiente - Figura 4 (b). Esta última situação pode ser representada pelo circuito elétrico equivalente, conforme indicado na Figura 5, onde:

- E_{nk} representa o poder emissivo do corpo negro numa dada temperatura;
- J_k é a radiosidade da superfície k ;
- F_{jk} é o fator de forma entre os elementos j e k ;
- ϵ_k a emissividade da superfície k .



Figura 4 a): Representação esquemática do telhado (1) e ambiente (2) para análise da troca de calor radiante.

Figura 4 b): Representação esquemática do telhado (1) e ambiente (2), com a presença de um forro (blindagem) para análise da troca de calor radiante.

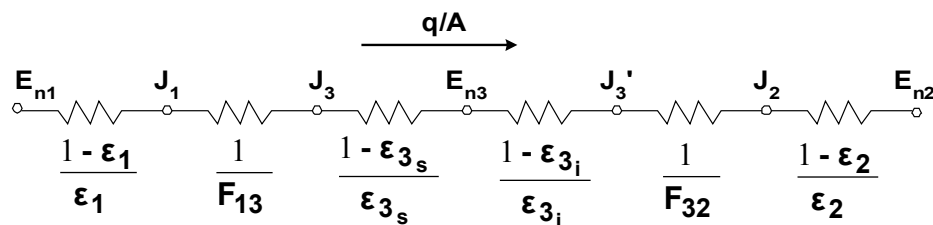


Figura 5 – Circuito elétrico equivalente às trocas de calor radiante da situação representada na Figura 4 b)

Adotando-se alguns valores para as temperaturas e as emissividades, é possível calcular-se o calor transferido por radiação entre o telhado e o ambiente. Na tabela 1 são apresentados os resultados destes cálculos, considerando-se a temperatura da superfície interna do telhado igual a 70°C , a temperatura radiante média do ambiente igual a 25°C e as emissividades da face inferior do telhado e

do ambiente iguais a 0,9. Como todo calor irradiado pelo telhado incide sobre o forro e deste vai integralmente para o ambiente, o fator de forma entre estes elementos foi considerado igual a 1.

Tabela 1: Fluxo de calor irradiado da cobertura para o ambiente e temperatura da superfície inferior do forro para várias emissividades das faces do forro.

Emissividade		Temperatura da superfície inferior do forro (°C)	Fluxo de calor para o ambiente (W/m ²)	Redução do fluxo de calor em relação à situação sem forro (%)
Face superior do forro	Face inferior do forro			
0,15	0,90	33,2	42	85
0,90	0,15	62,6	42	85
0,15	0,15	49,8	25	91
0,90	0,90	49,8	138	50
Sem forro			276	Referência

Estes resultados mostram que a simples inserção de um forro com alta emissividade nas suas duas faces, entre o telhado e o ambiente, reduz à metade o fluxo de calor que é irradiado para o ambiente em relação à situação sem forro. Caso uma das superfícies do forro tenha baixa emissividade, a redução no fluxo de calor é de 85%, isto devido ou à reflexão da radiação térmica na face superior do forro ou devido à baixa emissão na face inferior deste elemento. Combinando-se os dois efeitos, a redução do fluxo de calor passa a ser de 91% em relação à situação sem forro. Se não for considerado o aumento da emissividade com o tempo, a melhor condição de instalação de um produto com uma única face aluminizada seria com esta voltada para o telhado, uma vez que se obtém a menor temperatura superficial do forro, protegendo o usuário quando dele se aproximasse para manutenções e as instalações elétricas de sobreaquecimentos.

5. DESEMPENHO TÉRMICO DOS ISOLANTES REFLETIVOS EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO

A instalação inadequada de uma barreira radiante pode reduzir o seu desempenho térmico, causar riscos de incêndio, outras condições inseguras como choques elétricos e ainda promover a deterioração da estrutura na qual está fixada (ASTM C 1158). O desempenho da barreira radiante pode ser afetado negativamente quando, sobre a face de baixa emissividade, ocorrer:

- presença de materiais estranhos,
- corrosão devido a presença de um poluentes aéreos que possam reagir com o metal da superfície,
- presença, por longos períodos, de umidade e
- acúmulo de poeira.

A seguir são discutidos alguns destes tópicos.

5.1 Características superficiais de materiais utilizados como barreiras radiantes

Há muitos produtos sendo vendidos no mercado como barreiras radiantes pelo seu aspecto “metálico brilhante”, todos com elevada refletância à luz visível. No entanto, sua emissividade, no comprimento de onda correspondente à radiação térmica emitida por corpos em temperatura entre 0 e 100°C, pode ser muito elevada, não os caracterizando como barreira radiante. Isto se deve ao fato de que tais produtos tem a sua superfície recoberta por materiais poliméricos transparentes à radiação no comprimento de onda do visível mas opacos à radiação térmica de onda longa.

Resultados de medidas realizadas em laboratório do IPT são apresentados a seguir, agrupando-se os materiais encontrados no mercado, em três categorias no que se refere a emissividade (ϵ):

- produtos com superfície metálica em toda a sua extensão: $\epsilon < 0,15$;
- produtos com superfície parcialmente ou descontinuamente metalizadas: $0,3 < \epsilon < 0,5$;
- produtos com superfície metálica totalmente revestida com material polimérico ou não metálico transparente à luz visível: $\epsilon > 0,7$.

Estes dados laboratoriais confirmaram que as condições da camada superficial dos materiais são determinantes para o seu desempenho. Vale destacar que os integrantes do terceiro grupo de materiais ensaiados aparentam ter baixa emissividade, porém a presença do filme plástico eleva significativamente o valor desta propriedade, gerando reduções de fluxo de calor radiante muito menores do que o esperado, conforme ilustrado na Tabela 1.

5.2 Alteração das propriedades da barreira radiante em condições de uso

Para se avaliar o efeito do acúmulo de poeira nas propriedades de isolamento térmica de uma barreira radiante, foi instalado, sob um telhado de telhas cerâmicas do tipo francesa, um produto com as duas faces de baixa emissividade. O conjunto ficou exposto às condições naturais do campus do IPT na cidade universitária em São Paulo - SP, durante aproximadamente 7 meses. Antes e após a exposição ao uso foram feitas medições da emissividade do produto.

Nas fotos 1 a 3 são apresentadas: vista da montagem e o aspecto final da face superior do produto após a exposição, destacando-se a presença de uma camada de poeira difusa sobre toda a superfície e manchas isoladas de acúmulo significativo de detritos, bem como veias de escoamento de água de chuva. Na foto 4 são destacadas diferenças entre as aparências do produto novo e envelhecido.



Foto 1 Vista do produto e do telhado

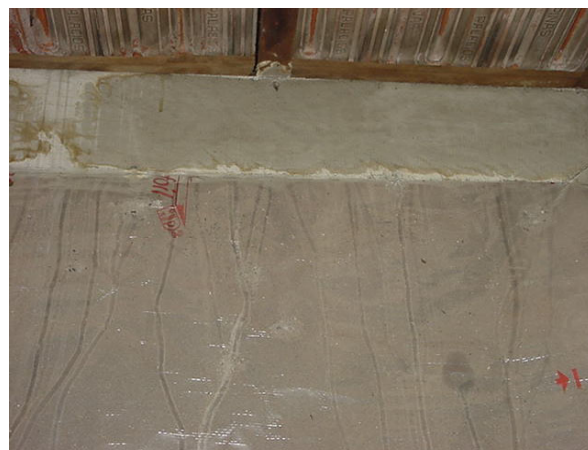


Foto 2 – Manchas de escoamento de água devidas a goteiras sobre poeira acumulada

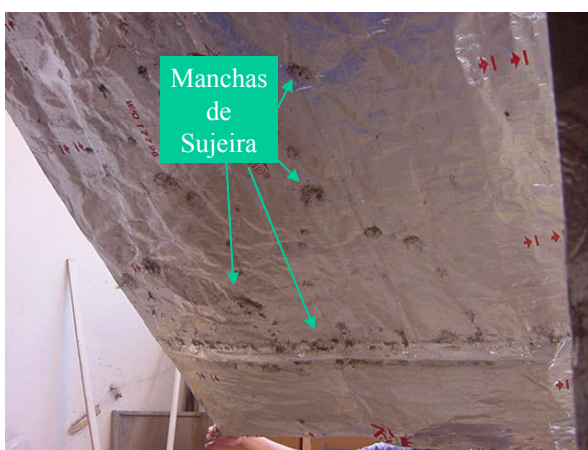


Foto 3 – Face superior do produto com grandes manchas de poeira destacando-se da poeira difusa



Foto 4 – Pedaco de produto não submetido à exposição sobre amostra exposta

Os resultados obtidos mostraram uma elevação do valor inicial da emissividade que era da ordem de 0,12 para patamares da ordem de 0,40, indicando que, em um período de tempo curto, o acúmulo natural de poeira elevou a emissividade em mais de 3 vezes. Isto resultará em um aumento sensível na

transferência de calor radiante do telhado para o ambiente. Desta forma, a fim de se manter um bom isolamento térmico por períodos longos, é recomendável colocar a face com baixa emissividade voltada para baixo, condição que impedirá o acúmulo de poeira.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos produtos ditos com propriedades de barreiras radiantes vem sendo oferecidos no mercado indistintamente. As caracterizações já realizadas permitiram verificar que existem diferenças significativas de produtos no que se refere aos valores da emissividade das superfícies, que é a característica mais importante no desempenho do produto como isolante ou como barreira radiante.

Tem-se observado práticas em que a superfície de baixa emissividade é posicionada voltada para o telhado tendo em vista tirar proveito da sua alta refletância ao infravermelho. Enquanto novo, o desempenho do produto será praticamente o mesmo do que o obtido com a superfície de baixa emissividade voltada para o ambiente. Contudo, o acúmulo de poeira, que penetra pelas frestas entre as telhas, na superfície superior deste elemento resultará na elevação da sua emissividade reduzindo a sua eficiência. Este acúmulo será tanto maior quanto menos estanque for o telhado. Assim é de se esperar que em telhados com telhas cerâmicas o aumento da emissividade se dê mais rapidamente do que nos telhados com menor permeabilidade ao ar como os de telhas metálicas e as de fibrocimento

Para preservar o desempenho ao longo do tempo das barreiras radiantes é importante que a instalação seja feita de maneira correta, ou seja, qualquer que seja o tipo de telhado, com a sua superfície de baixa emissividade voltada para o ambiente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Practice for use of reflective insulation in building constructions**, ASTM C 727. West Conshohocken

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Installation and Use of Radiant Barrier Systems (RBS) in Building Construction**, ASTM C 1158. West Conshohocken, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Specification for Sheet Radiant Barriers for Building Construction Applications**, ASTM C 1313. West Conshohocken, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Specification for Reflective Insulation for Building Applications**, ASTM C 1224. West Conshohocken, 2001.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. **Isolants thermiques destinés au bâtiment – Definition**, NF P 75-01. Saint-Denis La Plaine, 1983.

FAIREY, P. **Radiant energy transfer and radiant barrier systems in buildings**. Design note 6, Florida Energy Center, Cape Canaveral, Fl., 1986.

INCROPERA, F. P.; DeWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

MODEST, M. F. **Radiative heat transfer**. Singapore: McGraw Hill Int. Editions, 1993, Singapore, 832 p.

STANDARDS AUSTRALIA. **Reflective foil laminate**, AS 1903. Sydney, 1976.

STANDARDS SOUTH AFRICA. **Materials for thermal insulation of buildings. Part 4: Reflective foil laminates (rolls, sheets and sections)**, SANS 1381. Pretoria, 1985.

U.S. Department of Energy, Assistant Secretary, Energy Efficiency and Renewable Energy. **Insulation Fact Sheet**. Merrifield. 1997.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **U.S. EPA and U.S. department of energy develops energy star roof products program**. Disponível em: http://www.energystar.gov/ia/partners/manuf_res/USEPA_ES.pdf. Acessado em 10/02/2003.