

## COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE TINTAS SELETIVAS PRODUZIDAS NO BRASIL PARA PINTURA DE TELHADOS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

**Kelen Almeida Dornelles (1)**

(1) Doutora em Engenharia Civil, Pós-doutoranda, kelend@terra.com.br  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, EESC/USP  
Av. Trabalhador São-carlense, 400. 13566-590. São Carlos/SP - Brasil

### 1. INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais e de baixas latitudes, a incidência da radiação solar sobre os edifícios constitui uma de suas maiores fontes de ganhos térmicos e, por este motivo, o meio natural mais eficaz para reduzir ganhos de calor nas edificações é controlar e minimizar a radiação solar que atinge o envelope construtivo ou reduzir sua absorção pelo edifício. O envelope dos edifícios é a divisa entre o ambiente externo e o interno, e no interior das edificações é desejável criar condições de conforto apropriadas para as atividades humanas.

Do total de radiação solar absorvida por um edifício, uma parte significativa ocorre através da cobertura. Uma alternativa interessante para controle deste fluxo pode ser obtida através dos efeitos conjugados entre refletâncias e emitâncias dos materiais utilizados nas coberturas. A emitância é uma propriedade característica das superfícies, definida como a taxa de emissão de radiação por unidade de área (ABNT, 2005). Maiores refletâncias reduzem os ganhos de calor solar do edifício, sem necessariamente alterar as perdas. Ao mesmo tempo, aumentar a emitância pode incrementar as trocas de calor por radiação em ondas longas (GOMES, 1962).

Materiais que apresentam altas refletâncias e elevadas emitâncias são conhecidos como materiais seletivos, ou “cool materials”. Entre estes materiais, há tintas e telhas refletivas, películas refletivas de baixa espessura, coberturas metálicas, entre outros. Nos últimos anos, a tendência do mercado internacional de telhados refletivos envolve o uso de produtos de cores refletivas, ou “cool colors”, as quais usam pigmentos escuros que são altamente refletivos na região infravermelha do espectro solar. No Brasil, poucos são os produtos desenvolvidos com características seletivas para aplicação em coberturas de edifícios, que apresentem em sua composição materiais refletivos à radiação infravermelha (calor). Alguns fabricantes têm comercializado tintas de cor branca que apresentam alta refletância na região visível do espectro (luz), mas que são comercializados como materiais que refletem o calor (radiação infravermelha) se aplicados para pintura de telhados. Atualmente, um fabricante nacional de tintas desenvolveu produto específico para pintura de telhas com cores diferentes do branco (escuras principalmente), onde se utilizou a inserção de pigmentos especiais para aumentar a reflexão da tinta à radiação solar. No entanto, o fabricante não disponibiliza em seus catálogos dados referentes à absorção, reflexão e emissão de calor por esses produtos.

Pintar a cobertura com tintas altamente refletivas e emissivas permite diminuir o ganho de calor solar através da mesma, enquanto mantém a capacidade da edificação perder calor rapidamente (MULHALL; AYNSLEY, 1999). O uso de coberturas com elevada refletância solar pode diminuir consideravelmente a temperatura do ar no interior das edificações e, em uma escala mesoclimática, diminuir as temperaturas do ambiente urbano, reduzindo as Ilhas de Calor (CHENG, 2004). Além disso, a elevada refletância permite diminuir o uso anual de energia em climas onde predomina o uso de refrigeração (TAHA et al., 1988).

No Brasil, ainda é incipiente o desenvolvimento de tintas seletivas com pigmentos que apresentam alta refletância à radiação infravermelha. Ikematsu (2007) comparou a refletância espectral de duas tintas refletivas seletivas produzidas por fabricantes brasileiros, que iniciaram o desenvolvimento destes produtos em laboratório, mas ainda não os disponibilizaram para o mercado da construção. Medições em espectrofotômetro comprovaram que as tintas seletivas apresentaram maior refletância ao infravermelho, quando comparadas com as tintas convencionais de cores correspondentes (Figura 1).

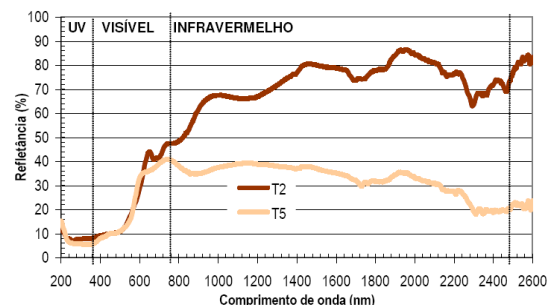


Figura 1: Curvas espectrais de refletância de tintas refletiva (T2) e convencional (T5) de cor marrom (Fonte: IKEMATSU, 2007).

Buscando caracterizar diferentes tintas nacionais classificadas como refletivas por seus fabricantes, este trabalho visa quantificar as propriedades físicas relacionadas à reflexão e emissão de calor por esses materiais. Além disso, medições de temperaturas superficiais de placas pintadas com essas tintas e expostas ao Sol, comparadas com placas pintadas com tintas convencionais, contribuirão para comprovar a eficácia das tintas seletivas na redução das temperaturas superficiais de coberturas pintadas. Estes dados permitirão a difusão de dados precisos e atualizados de refletância e emissividade de tintas refletivas seletivas para pintura de coberturas de edifícios, contribuindo para minimizar o desconforto térmico dos usuários em edificações não condicionadas artificialmente, reduzir o consumo de energia em edificações com ar condicionado e mitigar os efeitos nocivos provocados pelas ilhas urbanas de calor.

## **2. OBJETIVO**

Caracterizar o comportamento térmico de tintas seletivas nacionais, que visam diminuir a absorção e emissão de calor pela cobertura dos edifícios, a partir de produtos disponíveis no mercado brasileiro.

## **3. MÉTODO**

Este trabalho faz parte de uma pesquisa de pós-doutorado a iniciar-se em 2009 no curso de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos EESC/USP. A pesquisa será desenvolvida por meio de procedimentos experimentais, em laboratório e em campo, além de análises estatísticas e simulações computacionais, com base na aplicação dos conceitos teóricos acerca dos fenômenos de absorção, reflexão e emissão de radiação por superfícies opacas. A pesquisa será dividida em três etapas principais, sendo elas: medições de refletância e emissividade em laboratório, monitoramento de temperaturas superficiais de chapas pintadas expostas ao Sol e simulação computacional de edificações com coberturas seletivas e convencionais.

### **3.1. Medições laboratoriais**

Serão realizados diversos ensaios laboratoriais de amostras das tintas selecionadas, através de análises espectrofotométricas. Serão selecionadas diferentes tintas refletivas disponíveis no mercado brasileiro, escolhidas de acordo com a recomendação dos fabricantes para diminuir a absorção de calor pelas superfícies opacas das edificações, principalmente em coberturas. Também serão selecionadas tintas convencionais indicadas para pintura de telhados, com o intuito de comparar o desempenho destas em relação às refletivas. Até o momento já foram identificadas tintas refletivas seletivas com seis cores distintas produzidas por um mesmo fabricante, na sua maioria de cores escuras, mas cujos valores de refletância solar e emissividade não são divulgados. Outras tintas seletivas selecionadas para este trabalho apresentam cor branca e são compostas principalmente de micro esferas cerâmicas para aumentar a reflexão do calor que, segundo seus fabricantes, promovem reflexão da radiação solar entre 80 e 90%.

#### **a) Preparo das Amostras:**

Para as análises de laboratório, serão confeccionadas amostras no tamanho de 50 x 50 mm, com as diferentes tintas selecionadas. As amostras serão confeccionadas a partir de chapas metálicas lisas de pequena espessura, buscando-se minimizar a influência da rugosidade superficial nos resultados das refletâncias. Serão aplicadas duas demãos da tinta a ser analisada, com intervalo mínimo de duas horas entre demãos, conforme recomendações dos fabricantes. As amostras deverão apresentar superfícies homogêneas, predominando a cor e o acabamento da tinta considerada.

#### **b) Equipamentos:**

As medições de refletância das amostras serão realizadas com espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G. As amostras serão ensaiadas a cada 1nm, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar que apresenta maior concentração de energia proveniente do Sol, de acordo com o espectro solar padrão definido pela ASTM (2003). Para a avaliação da emissividade das amostras será adotado o procedimento indicado na norma JIS A 1423:1983 (Japanese Industrial Standard, 1983).

#### *3.1.1. Tratamento dos dados*

##### **a) Cálculos da refletância solar das amostras:**

As medições com o espectrofotômetro fornecem as curvas espectrais de reflexão para as amostras analisadas. Para o cálculo da refletância média das amostras, será feita a integração da área sob a curva do gráfico resultante do ensaio e a divisão desta pela área total máxima dentro do intervalo medido, obtida quando a reflexão é 100 % para todos os comprimentos de onda. Assim, as refletâncias serão calculadas para três intervalos do espectro solar, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho (780 a 2500 nm), além do espectro solar total (300 a 2500 nm), através da integração das curvas obtidas nos ensaios espectrofotométricos.

b) Ajuste das refletâncias ao espectro solar padrão:

Os dados de refletância obtidos pelo espectrofotômetro caracterizam o comportamento ótico das amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro solar. No entanto, este cálculo não considera o percentual de energia incidente em cada comprimento de onda, pois o espectrofotômetro não faz essa distinção, o que acarreta distorções no caso da caracterização das superfícies frente à radiação solar, pois esta apresenta variações acentuadas de valores de energia incidente no intervalo estudado. Para se chegar à quantidade de energia relativa (ponderada) que é absorvida pelas superfícies, os valores de refletância obtidos para cada amostra devem ser corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, a partir do espectro solar padrão adotado nesta pesquisa (ASTM, 2003). Este espectro padrão considera a radiação hemisférica solar global, composta pela radiação direta, que atinge a Terra vinda diretamente do Sol, e a radiação difusa, que sofre espalhamento pela atmosfera. O método adotado nesta pesquisa para ajuste das refletâncias ao espectro solar padrão foi apresentado por Dornelles (2008), segundo o seguinte procedimento:

i. Obtém-se a curva de intensidade relativa do espectro solar padrão (Equação 1):

$$IR_{\lambda} = \frac{I_{(\lambda)}}{I_{MÁX}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

$IR_{\lambda}$  = Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

$I_{(\lambda)}$  = Irradiância solar global, para cada comprimento de onda ( $W/m^2$ );

$I_{MÁX}$  = Irradiância solar global máxima do espectro solar padrão ( $W/m^2$ ).

ii. Calcula-se a refletância relativa das amostras, para cada comprimento de onda:

$$\rho_{Rel(\lambda)} = IR_{\lambda} \times \rho_{\lambda} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$\rho_{Rel(\lambda)}$  = Refletância relativa, para cada comprimento de onda (%);

$IR_{\lambda}$  = Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

$\rho_{\lambda}$  = Refletância medida em espectrofotômetro, por comprimento de onda (%).

iii. Calcula-se a média das Refletâncias Relativas ( $Med\rho_{Rel}$ ) de cada amostra e a média da intensidade relativa da Irradiância Solar Global ( $MedIR$ ), através da integração das curvas.

iv. Obtém-se a Refletância Solar Ajustada ao espectro solar padrão, para cada amostra analisada, conforme a equação 3:

$$\rho_{Ajust} = \frac{Med\rho_{Rel}}{MedIR} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

$\rho_{Ajust}$  = Refletância ajustada ao espectro solar padrão (%);

$Med\rho_{Rel}$  = Média das refletâncias relativas da amostra (%);

$MedIR$  = Média da Intensidade Relativa da Irradiância Solar Global.

### 3.2. Monitoramento de temperaturas superficiais

Para avaliar o desempenho térmico das tintas refletivas aplicadas sobre coberturas de edifícios no Brasil, serão realizadas medições de temperaturas superficiais de chapas metálicas pintadas com as diferentes tintas refletivas e convencionais avaliadas nesta pesquisa, comparando-as com tintas de referência de cor branca e preta, semelhante ao processo para medição de refletância no espectrofotômetro. As medições serão realizadas no canteiro experimental do Laboratório de Construção Civil (LCC) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). O monitoramento será realizado com sensores do tipo Hobo, fabricados pela empresa Onset Computer Corporation, cujo sensor será aderido na face interna das chapas metálicas com pasta térmica, visando isolar termicamente o sensor da interferência de fontes externas de calor. A face inferior das chapas metálicas será isolada para minimizar as trocas de calor nesta direção, privilegiando as trocas de maior interesse para este estudo.

Também serão monitoradas as condições climáticas locais, a partir de medições realizadas pela estação meteorológica automática localizada no canteiro experimental do LCC. A estação meteorológica automática permite a coleta de dados externos de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, direção dos ventos predominantes e índice pluviométrico. Inicialmente serão realizados monitoramentos pilotos, que permitirão identificar e padronizar os procedimentos a serem adotados na pesquisa, e monitoramentos complementares em caso de insatisfação com os dados obtidos nos primeiros monitoramentos.

### 3.3. Simulações por computador

Serão realizadas simulações por computador, buscando quantificar o potencial de redução do consumo de energia em edificações climatizadas artificialmente, além do desempenho térmico de edificações não climatizadas, para os casos de apresentarem coberturas ou telhados pintados com tintas refletivas quando comparados com as mesmas edificações com cobertura convencional. As simulações serão realizadas através de ferramentas computacionais consagradas no meio científico para simulação do desempenho térmico e energético de edificações como, por exemplo, os softwares Energyplus, desenvolvido nos Estados Unidos, ou o Arquitrop, desenvolvido no Brasil pela Universidade Federal de São Carlos. A escolha do software mais adequado será feita em etapas posteriores, com base no modelo que permitirá obter os resultados que esta pesquisa se propõe a oferecer.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As curvas espectrais de reflexão fornecidas pelo espectrofotômetro serão analisadas comparativamente, para as diferentes amostras, ao longo do espectro considerado (300 a 2500nm), buscando-se identificar o comportamento das amostras frente à radiação solar.

Considerando-se os dados obtidos através dos monitoramentos, serão analisados e comparados os desempenhos térmicos das coberturas pintadas com tintas refletivas e convencionais. Os resultados obtidos por simulação computacional serão analisados comparativamente, buscando-se identificar os principais efeitos das tintas refletivas aplicadas em coberturas de edifícios no Brasil.

## 5. REFERÊNCIAS

- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2003.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
- CHENG, V. **Predicting thermal performance of building design in Hong Kong**: scale-model measurement and field study. 2004. 171p. Thesis (Master of Philosophy in Architecture) - The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong. 2004.
- DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- GOMES, R. J. **Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação**: ensaio de aplicação ao caso da região de Lisboa. Lisboa: Ministério das Obras Públicas - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Memórias do LNEC, v.2, 1962.
- IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- JIS - JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. **JIS A 1423**: simplified test method for emissivity by infrared radio meter. Japanese Standard Association, 1983.
- MULHALL, C.; AYNLEY, R. Solar absorptance and uninsulated houses in the humid tropics. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 16., 1999, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane, 1999.
- TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; HUANG, J. Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo. **Building and Environment**, v.23, p.271-283, 1988.