

ESTUDO COMPARATIVO DE TINTAS REFLETIVAS E CONVENCIONAIS DE CORES CORRESPONDENTES

Paula Ikematsu (1); Kai Loh (2), Neide Matiko Nakata Sato (3)

(1) Escola Politécnica da USP – Departamento de Construção Civil, Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, n.83 - Edifício de Eng. Civil - Cid. Universitária - São Paulo - SP 05508-900, tel 3091-5459, e-mail: paula.ikematsu@poli.usp.br

(2) Escola Politécnica da USP – Departamento de Construção Civil, Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, n.83 - Edifício de Eng. Civil - Cid. Universitária - São Paulo - SP 05508-900, tel 3091-5789 e-mail: kai.loh@poli.usp.br

(3) Centro Universitário Nove de Julho - Av. Dr. Adolfo Pinto 109, Barra Funda – São Paulo – SP, e-mail: neide.sato@uninove.br

RESUMO

A preocupação mundial com as conseqüências das mudanças climáticas no mundo motivam o desenvolvimento de materiais de construção civil inovadores. O objetivo deste estudo é comparar a refletância de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes, comprovando se as tintas estudadas apresentam diferentes características de refletância à radiação solar. A medida da cor foi analisada por medida instrumental e a refletância por análise espectrofotométrica com auxílio de uma esfera integradora. Foram realizadas medidas de refletância e de cor em películas “livres” nas cores: branco, amarelo, marrom e alumínio de tintas refletivas e convencionais. Os resultados mostram que as tintas refletivas apresentam um valor de refletância superior às tintas convencionais, independente da cor, mostrando que é possível à produção de tintas coloridas com propriedades refletivas para aplicação em paredes e telhados.

ABSTRACT

The climatic changes in the world motivated the development of innovative materials in civil construction. This paper presents the results of a comparative study aiming to investigate the effect of reflective colored paints and conventional colored paints, proving if both type of paints can present different reflection's characteristic in the solar radiation. The color was measured by instrumental methods and reflectivity was measured by spectroscopy analysis with sphere integrator. The color and reflectivity measurements were done in “free” films in the colors: white, yellow, brown and aluminum of reflective and conventional paints. The results obtained showed that the reflective paints present higher reflectivity than the conventional paint, independent of the color. It is possible the production of colored paints with reflective properties for wall and roofs applications.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência térmica do ambiente construído é hoje questão não só de economia de energia, mas também de conforto e de preservação do meio ambiente (ARMELIN; CHERRY, 2004).

Estudos do desempenho térmico de edificações e a sua relação com as propriedades térmicas dos materiais construtivos têm se intensificado no Brasil nos últimos anos. Um dos principais problemas

encontrados pelos pesquisadores em nosso país é a necessidade de um conhecimento mais específico dessas propriedades térmicas, e como elas afetam os materiais e componentes construtivos. É comum o uso de referências estrangeiras, porém, os dados apresentados nessas publicações muitas vezes não podem ser utilizados para uma avaliação comparativa com os sistemas construtivos brasileiros, devido as nossas características peculiares, como clima ao redor das construções, tipo de material empregado na construção, custos, etc. (CASTRO, 2003) (ARMELIN; CHERRY, 2004).

1.1 Refletância ou albedo

Ferreira e Prado (2003) definem refletância ou albedo, como refletância especular e difusa integrada da radiação solar no intervalo de onda entre 290 e 2500nm, que engloba aproximadamente 96% da radiação solar que atinge a superfície da Terra. Neste intervalo de comprimento de onda estão compreendidas a radiação ultravioleta, visível e infravermelha, como pode ser observado na Figura 1.

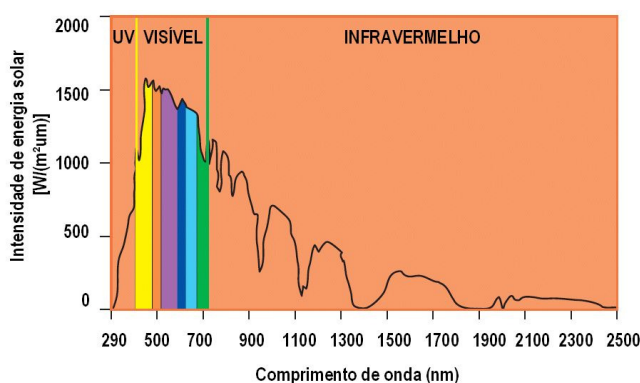


Figura 1: Espectro de radiação solar (Figura adaptada do catálogo: *The right cool chemistry* – Akzo Nobel, 2005).

O comportamento refletivo de um material depende da refletância especular e da refletância difusa. A refletância especular ocorre quando a superfície da amostra consegue refletir toda a luz incidente num mesmo ângulo; como se fosse um "espelho". Já a refletância difusa ocorre quando a superfície da amostra reflete a luz incidente em diversos ângulos dispersos, devido à irregularidade da superfície; estes fenômenos são apresentados na Figura 2.

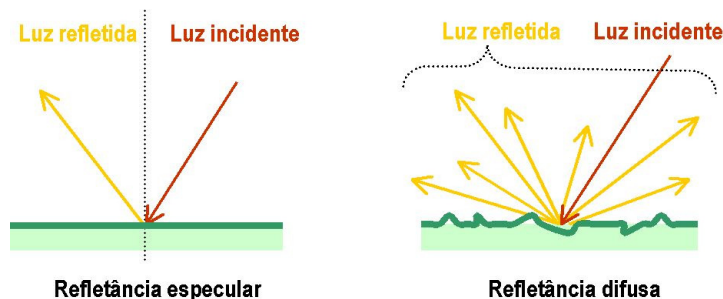


Figura 2: Esquemas de refletância especular e difusa (Adaptado de <http://www.shimadzu.com.br>, acesso em julho de 2006).

Segundo Thevenard e Haddad (2006), Sailor, Resh e Segura (2006) e Synnefa, Santamouris e Apostolakis (2006), superfícies com altos valores de refletância apresentam alta refletividade na luz visível (290 a 380nm) e teoricamente, apresentam cores mais claras. Esta característica será discutida neste trabalho, com a avaliação da refletância de tintas coloridas com propriedades refletivas.

Outras definições de refletância foram estudadas e entende-se que o desempenho térmico está diretamente relacionado à refletância das superfícies dos materiais no intervalo do infravermelho, região do espectro que determina a temperatura dos materiais. A variação do desempenho térmico nos materiais com mesma refletância ocorre devido a uma infinidade de fatores, como a rugosidade da

superfície, clima do ambiente onde o material está sendo exposto (radiação solar, temperatura e presença de nuvens), etc (SIMPSON, McPHERSON; 1997).

Neste trabalho será utilizado o termo refletância ao invés de albedo, de acordo com a NBR15220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

1.2 Ilhas de calor

Com o desenvolvimento desordenado das cidades e devido às propriedades radiantes dos materiais empregados na construção do espaço urbano, há a influência nos processos de absorção, difusão e reflexão da radiação na superfície terrestre, acarretando mudanças climáticas locais e regionais. No caso específico das condições atmosféricas, a cidade apresenta alterações climáticas muito diferenciadas das áreas circunvizinhas, caracterizando o fenômeno chamado de ilha de calor.

O clima ao redor das construções é determinado por vários fatores climáticos como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade dos ventos. Esses parâmetros influenciam diretamente na transferência de calor que ocorre entre o meio ambiente e o interior da habitação através das paredes, telhados, portas e janelas. Internamente o ganho de calor reflete nos usuários, causando um desconforto térmico e levando a um consumo maior de energia, devido ao uso constante de ar condicionado (SIMPSON; MCPHERSON, 1997).

As grandes cidades no Brasil apresentam vários “microclimas” devido aos efeitos das ilhas de calor. Segundo estudos do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA-USP), em São Paulo as temperaturas variam até 10°C. Essa diferença de temperatura ocorre em pontos da cidade que não ultrapassam 10 quilômetros de distância; o aumento da temperatura no entorno das metrópoles é um fato apresentado em várias localidades do mundo e que deve ser revertido.

1.2.1 Estratégias para a mitigação das ilhas de calor

A reversão dos efeitos das ilhas de calor é estudada há muito tempo por vários pesquisadores; algumas das alternativas propostas são: utilizar as sombras das árvores, portanto aumentar as áreas verdes dentro das cidades, e aumentar a refletância das superfícies externas dos materiais utilizados nas edificações. Estas estratégias podem auxiliar na diminuição do problema, principalmente na extensão das áreas que sofrem com as ilhas de calor; e ajudariam a cidade a se adaptar às mudanças do clima e os impactos ambientais causados por este fenômeno (SOLECKI, et al.; 2005).

Simpson e McPherson (1997) estudaram os efeitos da modificação da refletância de coberturas de residências em Tucson, Arizona, e monitoraram o uso da energia e das condições ambientais em que se encontravam expostos os materiais de cobertura. Foram utilizados modelos em escala reduzida que foram expostos ao ambiente externo na Universidade do Arizona, no Campus da Faculdade de Agricultura. Os resultados mostraram que as coberturas de cor branca apresentaram uma temperatura 20°C inferior à cobertura sem pintura e 30°C inferior à cobertura marrom. O estudo mostrou que o aumento da refletância do material pode reduzir a temperatura no seu interior.

1.3 Tintas refletivas

Os compostos básicos da tinta são: resinas, pigmentos, solventes e aditivos, sendo que a proporção destes compostos varia com o tipo acabamento (acetinado, fosco e semibrilho). A composição e o acabamento da tinta auxiliam na função estética e também na proteção contra agentes externos, como as variáveis climáticas (CARVALHO, NOGUEIRA; 2005).

A alteração da composição de uma tinta convencional pode modificar as propriedades desta tinta e torná-la refletiva.

Segundo Castro et al (2003), as tintas refletivas quando aplicadas sobre diferentes substratos melhoram o seu desempenho térmico. Estudos de Synnefa et al (2005) feitos com 14 amostras de revestimentos refletivos internacionais, confirmam que as tintas refletivas melhoram significativamente o desempenho térmico dos materiais aos quais são aplicados. Comparando-se a tinta refletiva branca com as tintas convencionais, nota-se que as tintas convencionais embora reduzam a temperatura na superfície, ainda apresentam altas temperaturas no interior das edificações.

A maioria dos materiais refletivos encontrados no mercado apresenta predominantemente a cor branca, nem sempre aceita esteticamente, portanto a preocupação estética influencia na produção de tintas coloridas refletivas. Uma das principais características de uma tinta refletiva é apresentar alta refletância no espectro infravermelho, independente da sua cor (SYNNEFA, SANTAMOURIS, APOSTOLAKIS; 2006).

Uma das formas de caracterizar uma tinta convencional como refletiva, é alterar o tipo de pigmento presente na sua composição. É conhecido que o pigmento branco apresenta naturalmente um alto valor de refletância à radiação infravermelha, quando comparado com pigmentos coloridos (NIXON, 2002). Atualmente a indústria de materiais para cobertura tenta incorporar pigmentos refletivos coloridos na sua linha de produção, melhorando as propriedades físicas e estéticas deste tipo de material (LEVINSON, BERDAHL, AKBARI; 2005).

Resultados obtidos por Ikematsu, Uemoto e Sato (2006) mostraram que uma tinta de cor verde pode apresentar valores de refletância, à radiação infravermelha superiores, quando comparados a uma tinta acrílica branca para fachadas. Conforme a sua formulação a tinta deve apresentar refletância à radiação térmica (alta na região do infravermelho), além da necessidade de apresentar elevada durabilidade, e não permitir a deposição de partículas do meio (fator sujidade), os quais poderia comprometer o seu desempenho térmico. Para que não seja necessária uma manutenção freqüente, estão sendo estudadas adições especiais nas tintas, de forma que as mesmas dificultem a deposição de partículas sobre as películas ou que favoreçam a remoção da camada superficial.

1.4 Objetivo

O estudo foi realizado visando avaliar comparativamente as propriedades óticas e térmicas de películas coloridas de tinta convencionais e refletivas através das medidas de refletância na faixa de comprimentos de onda de todo espectro solar.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foram analisadas amostras de tintas do mercado, declaradas pelo fabricante como refletivas e tintas acrílicas convencionais; conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Relação das tintas estudadas

Tintas	Cor	Característica
T1	Branca	Refletiva
T2	Marrom	
T3	Amarela	
T4	Branca	Convencional
T5	Marrom	
T6	Amarela	
T7	Alumínio	Refletiva
T8	Alumínio	

Os ensaios foram realizados em películas livres obtidas pela aplicação da tinta sobre um filme de teflon, com auxílio de um pincel. As películas foram secas em ambiente climatizado, com temperatura de $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $50\pm 10\%$ e separadas do filme de teflon após sete dias.

2.2 Equipamentos

Para a determinação de cor foi utilizado o espectrofotômetro computadorizado Color-Guide com geometria direcional $45^{\circ}/0^{\circ}$ e o programa para cálculo CIELAB. O equipamento utilizado para a determinação da refletância foi o espectrofotômetro da marca Shimadzu, modelo UVPC 3101 PC com esfera integradora, modelo IRS 3100.

2.3 Métodos

2.3.1 Determinação da cor por medida instrumental

Determinado de acordo com a “NBR 15077 - Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – determinação da cor e da diferença de cor por medida instrumental”. O objetivo deste ensaio é comparar as cores das tintas refletivas e convencionais. O iluminante (fontes de luz padrão) utilizado no ensaio foi o D65, que simula a luz média do dia. O CIE $L^*a^*b^*$ sistema de cores desenvolvido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) para quantificar cores é baseado nas coordenadas:

- L^* : escala de preto a branco, com valores de 0 (preto) à 100 (branco);
- a^* : escala de vermelho a verde, com valores positivos para cores avermelhadas e, negativos para cores esverdeadas;
- b^* : escala de amarelo a azul, com valores positivos para cores amareladas e, negativos para cores azuladas.

2.3.2 Determinação da refletância por espectrofotometria

O ensaio foi realizado de acordo com “ASTM-903: Standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres”. As medidas foram determinadas no espectrofotômetro com esfera integradora.

Os parâmetros utilizados para realização do ensaio de refletância difusa são apresentados a seguir:

- Método de leitura: refletância espectral
- Intervalo espectral: 200 a 2600nm
- Velocidade: 1600 nm/min (intervalo de 2nm)
- Espessura de fenda: 8mm
- Velocidade de varredura: rápida
- Intervalo de leitura do intervalo de onda: automático
- S/R: normal (leitura de refletância difusa)

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

Foram realizadas cinco leituras de refletância para cada película de tinta e calculada a média aritmética para representação da curva de refletância x comprimento de onda. Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 são apresentadas as curvas de refletância das tintas, agrupadas por cores.

Utilizou-se o software do equipamento para o cálculo da área total do padrão de BaSO_4 em todo o espectro solar (290 a 2500nm), e dos intervalos de comprimentos de onda para o ultravioleta (UV: 290-380nm), visível (VI: 380 a 780nm), e infravermelho (IV: 780 a 2500nm). Observa-se que a refletância dos materiais representa a porcentagem de energia que é refletida, conseqüentemente o restante é absorvido pelo material. Para as medidas de cor foram realizadas dez leituras em cada película, preparadas com cada uma das tintas estudadas. Nas Tabela 2, 3, 4 e 5 estão apresentados os valores de L^* , a^* e b^* e os valores de refletância em porcentagem de área distribuída através da

análise estatística dos dados.

3.1 Tintas de cor branca

Conforme apresentado na Figura 3, ambas as tintas brancas estudadas apresentaram uma elevada refletância na região do visível; mas justamente na região do infravermelho, a película acrílica convencional (T4) apresentou menor refletância do que a película de cor branca refletiva (T1). A película refletiva de cor branca (T1) apresenta um alto valor de refletância na região do visível e do infravermelho, sendo que este se mantém constante na região do infravermelho.

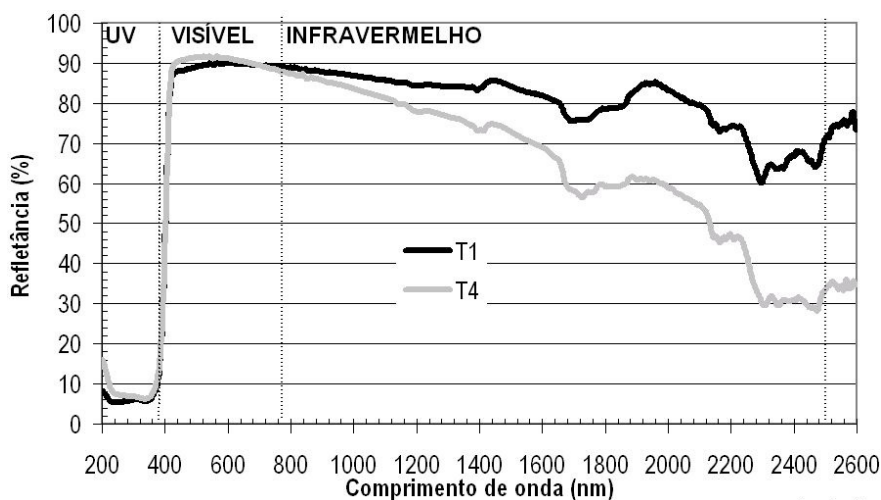


Figura 3: Espectro das tintas de cor branca (T1 e T4).

Na análise da cor (Tabela 2) as duas tintas apresentaram o mesmo valor de luminosidade, próximo de 100, o que é um indicativo da cor branca, salvo que a T4 é um pouco mais esverdeada que a T1, portanto ambas apresentam cores correspondentes.

Tabela 2: Média das leituras refletância e de cor das tintas de cor branca (T1 e T4).

Amostras	Cor	Característica	R (%)				Média		
			UV	VI	IV	Total	L*	a*	b*
T1	Branca	Refletiva	6,5	84,9	80,1	77,9	94,12	-0,74	3,44
T4		Convencional	7,3	86	63,8	65,5	94,68	-1,41	3,15

3.2 Tintas de cor marrom

Na Figura 4 observa-se que a película refletiva de cor marrom (T2) apresenta um alto valor de refletância na região do infravermelho, o que melhora o desempenho térmico da sua superfície, quando comparada com a T5 (convencional). As curvas na região do UV e do visível são características de cores escuras, apresentando um baixo valor de refletância nestas regiões.

A análise da Figura 4 mostrou que as tintas de cor marrom apresentam as mesmas curvas na escala gráfica, sendo desprezível o pequeno deslocamento observado no eixo b*, portanto as tintas apresentam teoricamente, cores correspondentes.

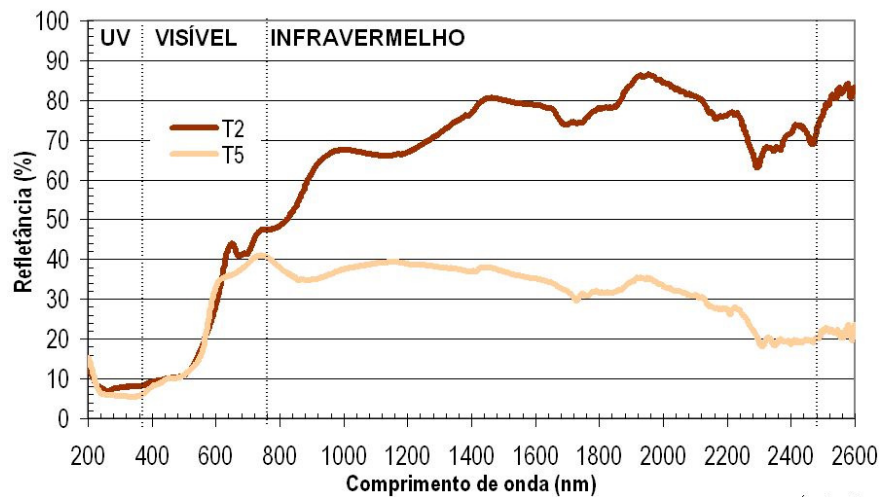


Figura 4: Espectro das tintas de cor marrom (T2 e T5).

Tabela 3: Média das leituras refletância e de cor das tintas de cor marrom (T2 e T5).

Amostras	Cor	Característica	R (%)				média		
			UV	VI	IV	Total	L*	a*	b*
T2	Marrom	Refletiva	8	26,4	72,9	61,9	49,64	20,94	23,44
T5		Convencional	5,7	24,4	32,8	30,2	49,35	21,66	25,07

3.3 Tintas de cor amarela

As tintas de cor amarela, conforme a Figura 5 apresentaram curvas semelhantes no UV e no visível, os espectros tornaram-se distintos na região do infravermelho. A T3 (película amarela refletiva) quando comparada com a T6 (película amarela convencional) apresenta um aumento no valor da refletância na região do infravermelho.

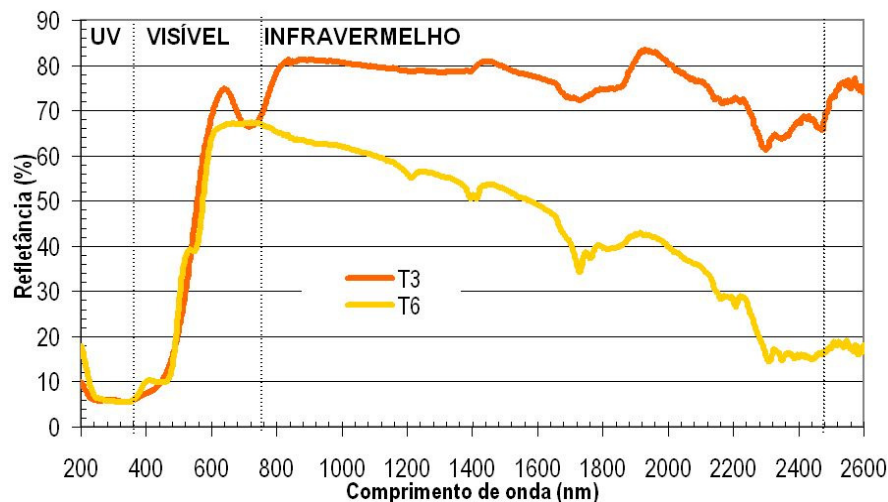


Figura 5: Espectro das tintas de cor amarela (T3 e T6).

Analisando o espectro da região do visível (vide Figura 5), nota-se um pico na curva da T3 (película amarela refletiva), que seria mais clara que a T6 (película amarela convencional), este fato é comprovado pelo resultado de medida de cor no eixo L* (Tabela 4). Observa-se também que no eixo b* o valor positivo e elevado mostra uma tinta com pigmentação amarela, concordando com as suas características óticas, mostrando também que ambas tintas apresentam cores correspondentes

Tabela 4: Média das leituras de refletância e cor das tintas de cor amarela (T3 e T6).

Amostras	Cor	Característica	R (%)				média		
			UV	VI	IV	Total	L*	a*	b*
T3	Amarela	Refletiva	5,8	46,3	76,2	67,9	71,83	17,77	57,99
T6		Convencional	5,8	44,4	44,4	42,8	70,81	16,07	57,9

3.4 Tintas de cor alumínio

As películas refletivas de cor alumínio (T7 e T8), conforme a Figura 6 apresentaram curvas de refletância muito características, onde se observou apenas um deslocamento entre elas. O valor de refletância na região UV mostra que as tintas de cor alumínio, teoricamente, apresentariam uma maior proteção ao substrato. Em relação à refletância na região do visível e do infravermelho observa-se que a Tinta 8 apresenta valores superiores em ambas regiões, determinando-se um melhor desempenho térmico em relação à T7, embora as duas tintas apresentassem valores de cor muito próximos.

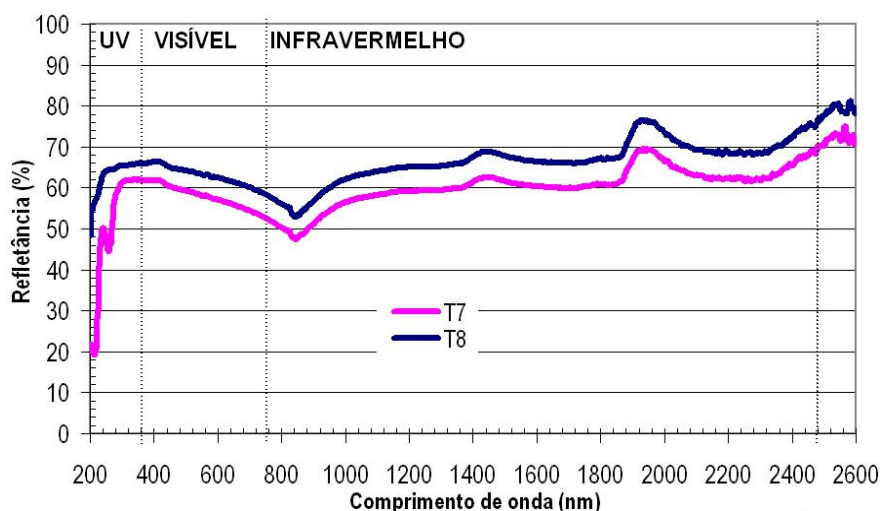


Figura 6: Espectro das tintas de cor alumínio (T7 e T8).

Tabela 5: Média das leituras de refletância e cor das tintas de cor alumínio (T7 e T8).

Amostras	Cor	Característica	R (%)				média		
			UV	VI	IV	Total	L*	a*	b*
T7	Alumínio	Refletiva nacional	61,7	57,4	60,6	60,1	62,81	0,25	-0,45
T8		Refletiva internacional	65,7	62,6	66,8	66	67,73	0,23	-0,27

A análise das cores apresentada na Tabela 5 mostra que a T8 (película refletiva internacional) é mais luminosa (maior valor no L*) do que a T7 (película refletiva nacional), este fato é comprovado observando-se a curva no espectro na região do visível. O confronto dos valores da tinta de cor alumínio mostra que os valores de a* e b* ficaram concentrados no meio dos eixos.

3.5 Espectro solar

Região UV (ultravioleta): a radiação UV causa um efeito fotoquímico dentro da estrutura do polímero, que pode ser tanto benéfica como também pode provocar a degradação do material. No caso das películas, a baixa refletância nesta região do espectro solar, causa alteração de cor da superfície (descoloração) e do brilho.

Região VI (visível): na região do visível, que é responsável pelas cores dos materiais, observou-se que quanto mais clara a superfície, maior é o seu valor de refletância para as tintas convencionais. No

entanto na região do infravermelho, o branco nem sempre é um indicativo de elevada refletância, como apresentado nos resultados de refletância das tintas refletivas de cores amarelo e marrom.

Região IV (infravermelho): o bloqueio desta radiação na faixa do espectro de 780 a 2500nm melhora o desempenho térmico do material. Os resultados mostraram que os materiais caracterizados como refletivos apresentaram um valor de refletância superior às tintas convencionais.

4. CONCLUSÃO

A análise de cor mostrou que os dois tipos de tinta (convencional e refletiva) apresentaram cores correspondentes, mas valores de refletâncias diferentes. As tintas designadas como refletivas apresentaram um desempenho térmico superior às tintas convencionais, com altos valores de refletância na região da radiação infravermelha.

A avaliação da refletância de uma pintura não pode ser feita pela sua cor e o seu aspecto visual, pois uma tinta de cor escura (marrom, por exemplo) e sem brilho, pode apresentar elevada refletância à radiação infravermelha e proporcionar, também, um bom desempenho térmico.

As curvas da refletância em função do comprimento de onda na região do visível (responsável pelas cores) mostram que as tintas visualmente de mesma coloração apresentam espectros praticamente coincidentes, revelando que as cores das tintas estudadas são idênticas. Este fato é comprovado pelos resultados de medida de cor instrumental que mostraram que as tintas refletivas coloridas apresentaram cores bastante semelhantes das tintas acrílicas convencionais, mostrando que é possível à produção de tintas coloridas com propriedades refletivas.

O uso de tintas refletivas coloridas quando aplicadas sobre diferentes elementos de edificações, pode ajudar a amenizar o problema do conforto térmico dos usuários. Estudos da influência das propriedades dos materiais no desempenho térmico de edificações têm se intensificado no Brasil nos últimos anos, mas ainda há a necessidade de um conhecimento mais específico das propriedades térmicas e como elas afetam os materiais e componentes construtivos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMELIN, H. S.; CHERRY, N. Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação térmica na construção civil. e-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 1, nº1, p. 79-82, Maio 2004
- CARVALHO, S., NOGUEIRA, J. L. As características das tintas e as características dos polímeros com que são formuladas. Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, nº95, 2005.
- CASTRO, A. P. A. S et al. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-73, abr./jun. 2003.
- FERREIRA, F. L. S.; PRADO, R. T. A. Medição do refletância ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. Anais Encac – Cotedi. Curitiba 2003.
- LEVINSON, R.; BERDAHL, P.; AKBARI, H. Solar spectral optical properties of pigments – Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. Solar Energy Materials & Solar Cells, nº89, p. 319-349, 2005.
- IKEMATSU, P.; UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N. Medição do albedo por espectrofotometria: aplicação na avaliação comparativa de revestimentos reflexivos nacionais e internacionais. Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias Não-Convencionais na Construção Ecológica e Sustentável - Brasil-NOCMAT. Salvador, 2006.
- NIXON, J. D. The temperature of color. Metalmag mai/jun, 2002.
- SAILOR, D. J.; RESH, K.; SEGURA, D. Field measurement of refletância for limited extent test surfaces. Solar Energy 80 P. 589-599, 2006.

- SIMPSON, J.R; McPHERSON, E.G. The effects of roof refletância modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. *Energy and Buildings* 25 (1997) 127-137.
- SOLECKI, W. D. et al. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Environmental Hazards* 6 (2005) 39-49.
- SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 2006.
- SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 2005.
- THEVENARD, D., HADDAD, K. Ground reflectivity in the context of building energy simulation. *Energy and Buildings*, 38, p. 972-980, 2006.

6. AGRADECIMENTOS

A autora Paula Ikematsu agradece ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado.