XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Refletância solar e o desempenho térmico de tintas frias nacionais para o envelope construtivo

Solar reflectance and thermal performance of national cool paints for building envelope

Marcela Macedo de Andrade
Instituto de Arquitetura e Urbanismo | São Carlos | Brasil | marcelamand@usp.br
Kelen Almeida Dornelles
Instituto de Arquitetura e Urbanismo| São Carlos | Brasil | kelend@usp.br

Resumo

A aplicação dos materiais frios na envoltória é uma técnica passiva que pode contribuir na eficiência energética de edificações. A fim de avaliar o desempenho térmico de tintas frias nacionais, mediu-se a refletância solar em laboratório e a temperatura superficial de amostras expostas ao Sol. Os resultados indicaram diferenças significativas de refletância para tintas de mesma cor, porém com menor variação de temperatura entre elas. Contudo, a reflexão no infravermelho próximo mostrou-se mais relevante para reduzir a absorção de calor nas superfícies, comprovando-se a importância da obtenção de dados medidos em laboratório para a escolha adequada de revestimentos para edifícios.

Palavras-chave: Tintas frias. Envelope construtivo. Refletância solar. Temperatura superficial. Desempenho térmico.

Abstract

Cool materials application on envelope is a passive technique that can contributes to energy efficiency in buildings. To evaluate thermal performance of national cool paints, solar reflectance in lab and surface temperature of specimens exposed to Sun were measured. Results demonstrate significant solar reflectance difference of same color paints, but smaller variation in surface temperature among them. However, near-infrared reflection is more relevant to reduce heat absorption on surfaces, proving importance of obtaining data measured in laboratory for coatings appropriate choice in buildings.

Keywords: Cool paints. Building envelope. Solar reflectance. Surface temperature. Thermal performance.

Como citar:
ANDRADE, M.A.; DORNELLES, K. A. Refletância solar e o desempenho térmico de tintas frias nacionais para o envelope construtivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 01-12.

INTRODUÇÃO

A envoltória das edificações estabelece a separação entre o interior do edifício com o meio exterior, e por onde ocorre a interação com as condições climáticas, como a ventilação e a radiação solar. Uma das formas para controlar as cargas térmicas provenientes do Sol é pelas propriedades ópticas de refletância solar e emissividade térmica dos materiais de revestimento aplicados sobre as superfícies. Neste sentido, destacam-se os materiais frios (*cool materials*) ou refletivos, os quais possuem alta refletância, dos componentes especular e difuso, no espectro solar combinado à alta emitância térmica da superfície, que corresponde à emissão do calor que fora absorvido, na forma de radiação infravermelha de onda longa [1].

Dessa forma, possibilita-se a diminuição da temperatura das superfícies expostas à radiação solar, e logo, menos calor atravessa a massa construtiva, o que infere na redução da temperatura do ar no interior e a melhoria das condições de conforto térmico, especialmente em edificações que não possuem sistema de resfriamento artificial. Já nas que possuem sistema de ar-condicionado, os benefícios são a redução das cargas térmicas para resfriamento, o que diminui a utilização de energia com este propósito. Esta redução é mais acentuada em edificações com baixos níveis de isolamento e maior área superficial de cobertura, em comparação com outras superfícies do edifício, assim como para condições climáticas quentes [2].

Logo, em virtude da sua posição geográfica, entre a linha do Equador e o trópico de Capricórnio, o Brasil recebe intensa radiação solar, praticamente em todo o seu território, e em grande parte do ano essa energia térmica deve ser minimizada ou até mesmo evitada. Dessa forma, o país beneficiar-se-ia amplamente através da utilização desses materiais refletivos nos seus edifícios, os quais utilizam sistemas construtivos tradicionais sem ou com pouco isolamento térmico.

Os materiais de cor branca são os revestimentos mais refletivos e comuns disponíveis. Em razão da sua tonalidade clara, são capazes de refletir todas as cores na região do visível do espectro solar. No entanto, além dos motivos estéticos, não é viável aplicá-los em todas as fachadas e coberturas, devido aos problemas relacionados a ofuscamento e brilho excessivo, causado pelo componente especular da radiação refletida nas superfícies brancas [1], assim como também a manutenção da sua cor necessitar de limpeza constante.

Os materiais refletivos de cores escuras são produzidos com pigmentos inorgânicos, que possuem um perfil de refletância particular e similar aos colorantes de mesma cor, na região visível, porém exibem maior refletância no infravermelho próximo, onde concentra-se a maior parte da energia térmica solar [1]. Dessa forma, torna-se possível a seleção de um material de revestimento, seja de qualquer cor, o qual possua características refletivas, sendo a contribuição dos pigmentos frios no aumento da refletância solar ainda mais relevante em cores escuras, em relação aos materiais convencionais [3].

Para os materiais nacionais disponíveis, os quais indicam a diminuição da temperatura após a aplicação dos seus produtos, são produzidos geralmente com microesferas cerâmicas, uma carga especial, ou com pigmentos de dióxido de titânio (TiO_2), um

óxido metálico, o qual é branco, estável, inerte, não tóxico, barato e, portanto, extremamente popular [4].

Destacam-se, no contexto brasileiro, as pesquisas sobre tintas acrílicas convencionais e refletivas para fachadas, produzidas em laboratório [5] e as produzidas por uma indústria, com pigmentos coloridos inorgânicos complexos [6], além das tintas nacionais brancas com a adição de microesferas cerâmicas e refletivas para uso em cobertura [7] [8] e as importadas da Grécia para uso em todo o envelope do edifício [9].

Assim, com o intuito em abranger a maior variedade de tonalidades disponíveis e locais de aplicação no envelope construtivo – cobertura, fachadas e cobertura/fachada – de tintas refletivas fabricadas e disponibilizadas no mercado nacional da construção civil, este artigo pretende contribuir com informações quantitativas a respeito da propriedade térmica superficial de refletância solar, medida em laboratório, dessas tintas frias. Além disto, mediu-se a temperatura superficial em campo das amostras quando expostas à radiação solar e às mesmas condições ambientais.

MÉTODO

Na caracterização do desempenho térmico das tintas refletivas para a aplicação no envelope construtivo, a metodologia foi dividida em três etapas com a (i) medição da refletância espectral com espectrofotômetro; (ii) o cálculo da refletância solar ajustada ao espectro solar padrão e a (iii) medição da temperatura superficial das amostras expostas ao Sol com termômetro de infravermelho.

MATERIAIS UTILIZADOS

Neste estudo, selecionou-se tintas acrílicas para uso em exterior, dentre os materiais da construção civil disponíveis no mercado nacional, as quais indicaram nas suas especificações técnicas apresentarem altos valores de reflexão solar e emissividade térmica. Para isso, elas também possuem na sua nomenclatura a indicação “térmica” ou “refletiva” (“refletora” e/ou “reflexiva”) com menção à redução de temperatura, que proporcione conforto térmico, ou benefício energético pela redução de gastos com equipamentos de refrigeração (Quadro 1). O local de aplicação das tintas de numeração 11 a 15 é indicado apenas em cobertura enquanto as de número 16 a 22 para utilização tanto em cobertura como fachadas. Na preparação das amostras, uma placa cimentícia de superfície plana, impermeabilizada e com borda reta, foi cortada em dimensões de 10 x 10 cm para servir de substrato, o qual pode receber acabamento em pintura com rolo de espuma.

REFLETÂNCIA SOLAR DAS TINTAS

As medições de refletância solar das amostras foram realizadas por espectrofotômetro da marca Shimadzu, modelo UV 3600, com esfera integradora do Instituto de Química de São Carlos (IQSC), que fornece as curvas espectrais de refletância solar seguindo as recomendações da norma ASTM E903-20 [10].

Quadro 1: Especificações das tintas refletivas avaliadas

Amostra	N°	Cor	Tonalidade	N° de demãos	Proporção de diluição em água
T-01	11		Branco	01	Puro
T-02-B	12		Branco	03	1ª em 50% e 2ª e 3ª em 15%
T-02-P	13		Bege	03	1ª em 50% e 2ª e 3ª em 15%
T-02-C	14		Cinza escuro	03	1ª em 50% e 2ª e 3ª em 15%
T-02-V	15		Vermelho escuro	03	1ª em 50% e 2ª e 3ª em 15%
T-03	16		Branco	01	Puro
T-04	17		Branco	02	Puro
T-05	18		Branco	03	20%
T-06	19		Branco	02	Puro
T-07	20		Branco	03	10%
T-08	21		Branco	03	15%
T-09	22		Branco	04	Puro

Fonte: as autoras.

A calibração do equipamento foi realizada com duas amostras de referência, uma branca e outra preta com valores de 99% e 2% de refletância, respectivamente, as quais fornecem curvas bases sobre as quais os valores colhidos de refletâncias absolutas das amostras, medidos a cada 2 nm, serão dispostos de forma gráfica, em três sub-regiões: (i) o ultravioleta (300 a 380 nm), (ii) o visível (380 a 780 nm) e (iii) o infravermelho próximo (780 a 2500 nm). No entanto, excepcionalmente em razão da ausência de manutenção do espectrofotômetro durante o período da pandemia, descartou-se as medições de refletância entre 2.001 e 2.500 nm por causa do excesso de ruído nas medições dadas pelo equipamento dentro dessa faixa de comprimentos de onda.

AJUSTE NO CÁLCULO DA REFLETÂNCIA SOLAR

A intensidade energética proveniente da lâmpada do equipamento é constante e não representa as variações acentuadas das taxas de radiação solar incidente durante o dia nas superfícies em razão das condições atmosféricas e latitude, por exemplo. Por isso, com o intuito de corrigir as distorções e retratar o real comportamento ótico das amostras, foi utilizado o espectro solar padrão, que considera a radiação hemisférica solar global, utilizado como referência na norma ASTM G173-20 [11] como função de ponderação para ajustar os valores absolutos medidos pelo espectrofotômetro com os valores da irradiância solar global, para cada comprimento de onda, de acordo com o procedimento adotado por Dornelles [12].

TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

De acordo com a hipótese de Akbari, Levinson e Berdahl [13], a temperatura superficial e a absortância solar, calculada em superfícies opacas pela diferença de 1,00 ao valor

de refletância solar total, são lineares. Portanto, a fim de analisar o efeito das diferenças entre as refletâncias solares das tintas refletivas, as temperaturas superficiais foram medidas.

Para tanto, as amostras dos materiais foram posicionadas sobre uma bancada experimental com uma base de isopor, isoladas termicamente uma das outras, o que evitou as trocas de calor por convecção e radiação na parte inferior do experimento. Elas foram expostas às 09 horas e 30 minutos da manhã, no dia 26 de abril de 2022, em uma área aberta, próxima ao Laboratório de Conforto Ambiental (IAU-USP), voltadas ao Norte geográfico em condições de céu claro com máxima exposição à radiação solar na cidade de São Carlos, SP (22°S, 47,5°O, 819m). As medições tiveram início às 11 horas, em intervalos de 12 minutos, e foram realizadas com um termômetro de infravermelho, da marca Testo Brasil, com mira a laser de 1 ponto, modelo 830-T1, até as 14 horas, num ciclo de medição de 3 horas consecutivas. Os dados climáticos de temperatura do ar de bulbo seco (TBS) e radiação solar global foram coletados da Estação da Embrapa Pecuária Sudeste (21,5°S, 47,5°O, 860m).

RESULTADOS

REFLETÂNCIA SOLAR DAS TINTAS

Na tabela 1 são apresentados os valores de refletância solar espectral, medidos no espectrofotômetro, e ajustados ao espectro solar padrão nas três sub-regiões espectrais: ultravioleta UV (300 a 380 nm), visível VIS (380 a 780 nm) e infravermelho próximo IV (780 a 2.000 nm) e para a região total (300 a 2.000 nm).

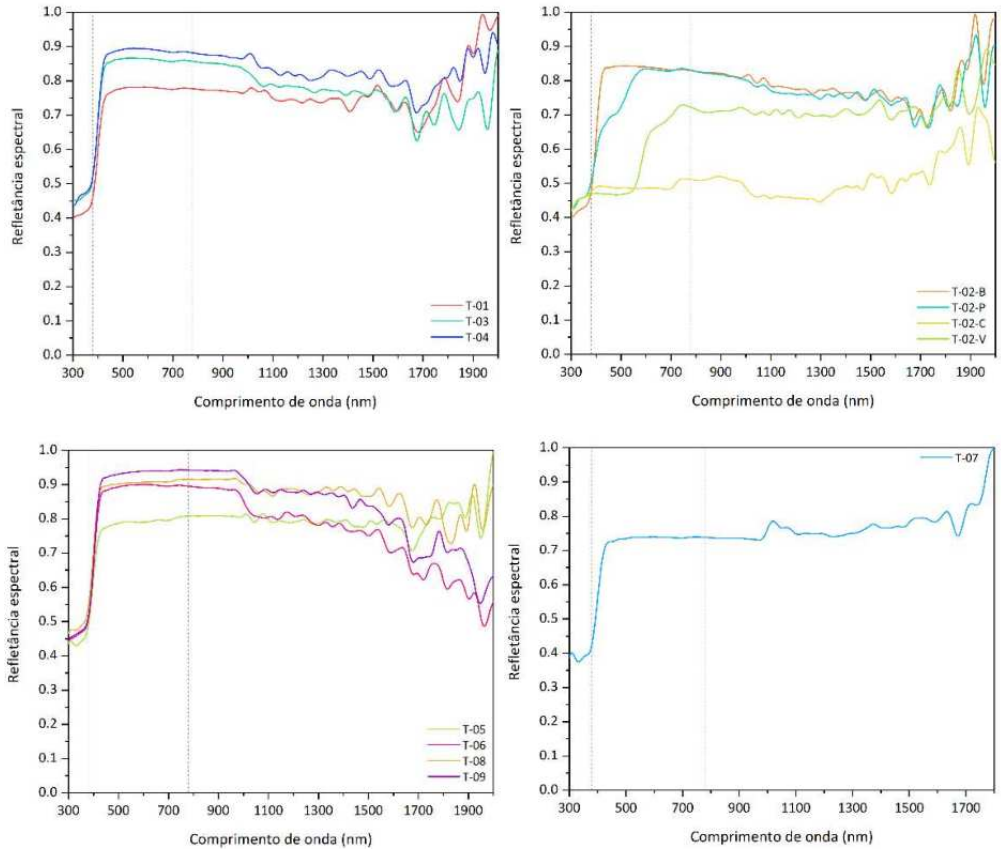
Tabela 1: Refletâncias solares médias das tintas medidas em espectrofotômetro e ajustadas ao espectro solar padrão

Amostra	N°	Cor	Refletância por faixa do espectro solar			
			UV	VIS	IV	TOTAL
T-01	11		0,43	0,77	0,76	0,75
T-02-B	12		0,44	0,83	0,79	0,80
T-02-P	13		0,47	0,78	0,79	0,77
T-02-C	14		0,46	0,49	0,49	0,49
T-02-V	15		0,46	0,58	0,71	0,63
T-03	16		0,48	0,85	0,80	0,82
T-04	17		0,48	0,88	0,84	0,85
T-05	18		0,45	0,78	0,80	0,78
T-06	19		0,47	0,88	0,82	0,85
T-07	20		0,39	0,73	0,90*	0,83
T-08	21		0,50	0,89	0,90	0,88
T-09	22		0,48	0,92	0,89	0,90

* Nota: Os valores na região no infravermelho próximo medido e calculado na amostra T-07 referem-se até o comprimento de onda de 1.800 nm. Fonte: as autoras.

As curvas de refletância espectral obtidas nas medições com o equipamento espectrofotômetro são exibidas na figura de número 1 (à esquerda acima) (à direita acima) (à esquerda abaixo) (à direita abaixo) e detalham o seu comportamento refletivo a cada comprimento de onda. Com o intuito de realizar uma análise comparativa e para a melhor visualização gráfica, apesar de amostras maioritariamente brancas, optou-se em separá-las por mesmo fabricante na Figura 01 à esquerda acima e à direita acima. Os resultados obtidos são válidos para as amostras com produto novo e superfície limpa.

Figura 1: Curvas espectrais de refletância das tintas do fabricante A (à esquerda acima), do fabricante B (à direita acima), das tintas brancas refletivas de fabricantes diferentes (à esquerda abaixo) e da tinta T-07 (à direita abaixo)



Fonte: as autoras.

Na Figura 1 (à esquerda acima), dentre as tintas brancas do fabricante A, a tinta T-01 é a menos refletiva no ultravioleta e visível e a partir do comprimento de onda em 1.500 nm, apresenta um aumento em relação às outras até o final da região infravermelha medida (2.000 nm), porém não suficiente, o que resulta também em menor refletância no infravermelho próximo e no total (Tabela 1). As tintas refletivas T-03 e T-04 apresentam comportamentos espectral similares, mas esta sobressai-se com maior reflexão no visível em 420 nm até o infravermelho próximo e, por isso apresenta maiores valores nesta região espectral como no visível e total (Tabela 1).

Na figura 1 (à direita acima), a tinta T-02-B (branca) possui a menor refletância no ultravioleta, entre todas do fabricante B, porém como espera-se, em razão da sua coloração branca refletir quase todos os comprimentos de onda visíveis, é a que apresenta a maior reflexão na região do visível e a partir de 590 nm, a curva da tinta

T-02-P (pérola) aproxima-se, e por isto, os valores de refletância no infravermelho igualam-se (Tabela 1). Dentre as de cores escuras, apresentam menor refletância na região visível, porém a tinta T-02-V (vermelha) reflete mais a partir de 550 nm, mantendo-se no patamar de reflexão em 70% no infravermelho próximo, próximo às curvas da branca e pérola, enquanto a cinza possui reflexão bem abaixo, com valores entre 45% e 70% nesta região espectral.

Na figura 1 (à esquerda abaixo), a tinta T-05 possui o pior desempenho refletivo, com os menores valores de refletância no ultravioleta (45%), visível (78%) e infravermelho próximo (80%). As tintas T-06 e T-09, que possuem os maiores valores de refletância no visível (88% e 92%), respectivamente, têm comportamento espectral similares na região infravermelha, e em 1.000 nm possuem movimento declinante, sendo a redução mais significante a partir de 1.300 nm na tinta T-06. Apesar disso, alcança ótimo valor (85%) de refletância total, enquanto a T-09 é a mais refletiva (90%), dentre todas as brancas analisadas. Já a tinta T-08 é a mais refletiva no ultravioleta (50%) e no infravermelho próximo (90%), com reflexão de 89% no visível, mantendo-se sempre acima do patamar de reflexão em 70% no infravermelho próximo.

Na figura 1 (à direita abaixo), a tinta T-07 apresenta pior desempenho refletivo no ultravioleta, visível - dentre todas as amostras de tintas refletivas brancas - e no infravermelho próximo, valores medidos no equipamento. Por causa de erro de medição no espectrofotômetro, na região infravermelha próxima (780 nm a 2.500 nm), para esta tinta em particular, optou-se em representá-la de forma individual e apenas até o comprimento de onda de 1.800 nm. Nesta região, apresentou comportamento homogêneo (patamar de reflexão acima de 70%) e ascendente a partir de 1.700 nm, motivo pela qual apresenta maior valor de reflexão no infravermelho próximo ajustado (90%) dentre todas as amostras.

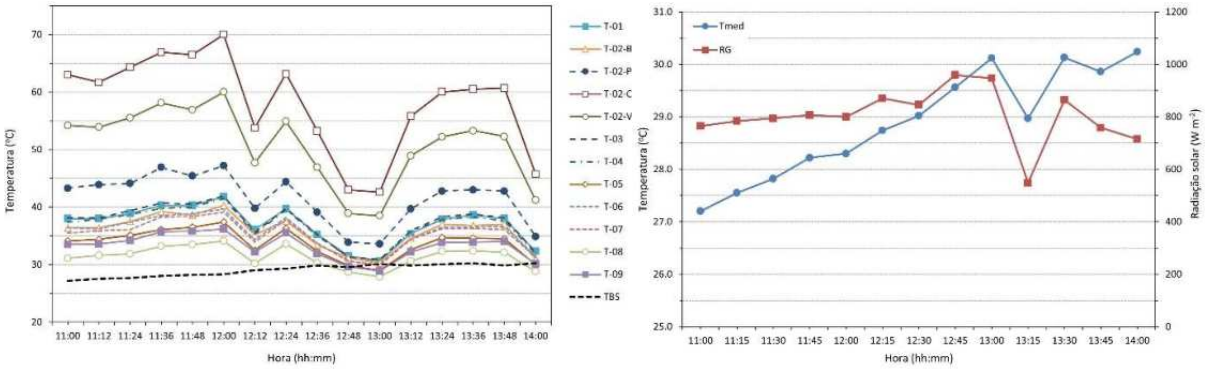
Observa-se então nas tintas brancas, que elas possuem patamares horizontais para a reflexão no visível, devido ao potencial de refletir em quase todos os comprimentos de onda, porém os valores variam de forma acentuada – entre 73% e 92% - por causa da diferença nos parâmetros (luminosidade, tonalidade e saturação) entre essas cores brancas. Enquanto a variação entre 76% e 90% de reflexão no infravermelho próximo depende dos componentes químicos das tintas, especialmente os pigmentos, que se encontram dispersos no aglutinante. A diferença no índice de refração entres estes dois meios como o tamanho dos pigmentos, a proporção relativa entre eles, a concentração e sua distribuição no revestimento são os fatores que influenciam na refletividade ao infravermelho próximo [14].

Entre as coloridas, não há como se fazer um comparativo, neste estudo, para a reflexão no visível, por causa da diversidade de cores. Porém, mesmo em cores escuras, há uma extensa lista de materiais etiquetados como “frios” com valores de reflexão solar inferiores a 20% pelo CRRC (*Cool Roof Rating Council*) [15]. A entidade destaca a utilização de pigmentos coloridos escuros nos produtos, que são altamente refletivos na região espectral infravermelha próxima (não visível), sem necessariamente ser branco.

TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

Na figura 2 (à esquerda), estão representadas as variações das temperaturas superficiais das amostras, expostas ao Sol e a da temperatura do ar de bulbo seco (TBS). As temperaturas apresentaram variação entre 27˚C e 70˚C com a menor temperatura registrada para a tinta refletiva T-08 e a maior na tinta "térmica" T-02-C para telhas, de cor cinza, sendo o maior valor de refletância no infravermelho próximo e o menor de refletância solar total, respectivamente, dentre todas as tintas. Está apresentada a evolução temporal (das 11h às 14h) da temperatura média e da radiação solar global na figura 2 (à direita). Observa-se um declínio acentuado nos valores destes parâmetros a partir das 13h e o aumento apenas às 13h30, o mesmo padrão de queda nas temperaturas superficiais observado também na figura 2 (à esquerda), em decorrência da presença de nuvens densas nesse período.

Figura 2: Temperaturas superficiais das amostras expostas ao Sol e a temperatura do ar (à esquerda) e Temperatura média do ar e irradiância solar global (à direita)



Fonte: as autoras.

As temperaturas máximas e mínimas registradas com o termômetro de infravermelho como a temperatura média calculada no período de exposição são apresentadas na Tabela 2.

Assim como ocorreu com a figura 1, de refletâncias solares, representou-se a figura 3 (à esquerda) (à direita) com as tintas refletivas do mesmo fabricante com o intuito de compará-las. Na figura 3 (à esquerda), as linhas de temperaturas das tintas refletivas brancas, do fabricante A, praticamente sobrepõem-se em todo o período de medição. A tinta T-01 apresenta o pior desempenho refletivo solar (75%) com diferença inferior em 7% e 10% às amostras T-03 e T-04, respectivamente, sendo a diferença de temperaturas máximas e médias irrisórias, apenas de 0,1˚C e 0,3˚C.

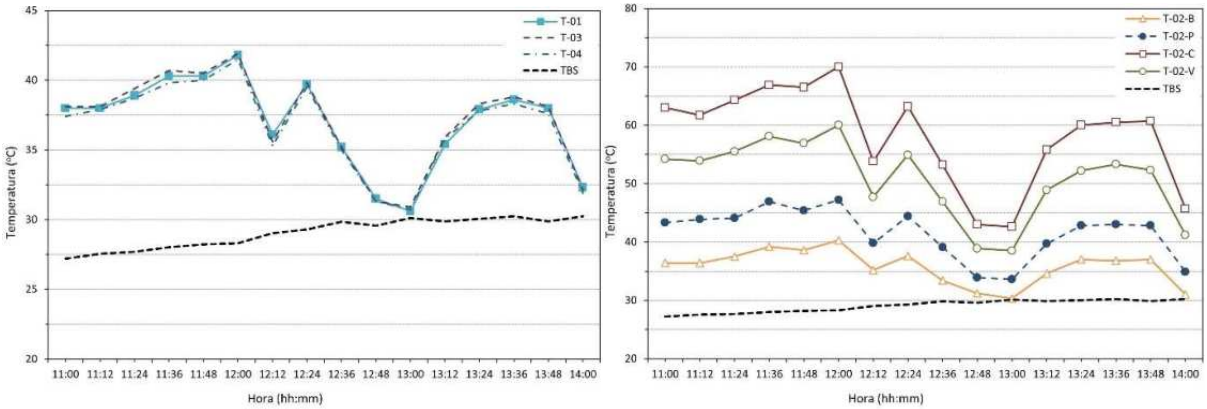
Na figura 3 (à direita), em que estão representadas as tintas para telhas de cores variadas, evidencia-se a maior variação de temperatura entre as amostras. Observa-se que a tinta T-02-C alcança 70˚C de temperatura superficial às 12h e no mesmo momento registra-se 28,3˚C de temperatura de bulbo seco. Nas tintas de cores mais escuras, a cinza (T-02-C) e a vermelha (T-02-V), ambas apresentam refletâncias no visível – como de se esperar – e solar total inferiores a 70% (Tabela 2). Apesar disso, a maior variação de refletância entre elas (22%) ocorre na região do infravermelho próximo e a diferença nas temperaturas máximas e médias em 10˚C e 7,8˚C, respectivamente.

Tabela 2: Temperaturas do ar e superficiais máximas, médias e mínimas das amostras expostas ao Sol e os correspondentes valores de refletâncias solares.

Sigla	N˚	Cor	Refletância			Temperaturas (˚C)		
			VIS	IV	SOLAR	Mínima	Máxima	Média
TBS	-	-	-	-	-	27,2	30,2	28,9
T-01	11		0,77	0,76	0,75	30,6	41,8	38,0
T-02-B	12		0,83	0,79	0,80	30,3	40,3	36,6
T-02-P	13		0,78	0,79	0,77	33,6	47,2	42,9
T-02-C	14		0,49	**0,49**	**0,49**	42,6	**70,0**	**60,6**
T-02-V	15		0,58	**0,71**	0,63	38,5	60,0	52,8
T-03	16		0,85	0,80	0,82	30,9	41,9	38,1
T-04	17		0,88	0,84	0,85	30,7	41,5	37,7
T-05	18		0,78	0,80	0,78	29,0	37,4	34,45
T-06	19		0,88	0,82	0,85	30,0	39,6	36,45
T-07	20		0,73	**0,90***	0,82	29,9	39,1	36,0
T-08	21		0,89	**0,89**	0,88	**27,9**	34,1	**31,75**
T-09	22		0,92	0,89	**0,90**	28,9	36,2	33,7

* Nota: Os valores na região do infravermelho próximo ajustado na amostra T-07 referem-se até o comprimento de onda de 1.800 nm. Fonte: as autoras.

Figura 3: Temperaturas superficiais das tintas do fabricante A (à esquerda) e do fabricante B (à direita)



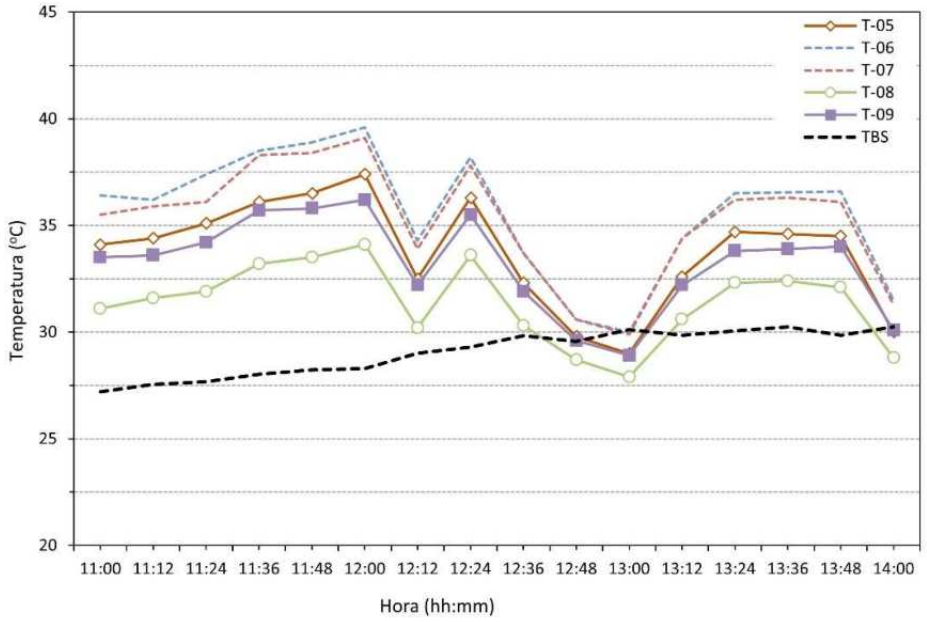
Fonte: as autoras.

Já nas tintas de tonalidades mais claras, como a branca (T-02-B) e a bege (T-02-P), respectivamente, as refletâncias no infravermelho são iguais (79%) e as no visível são distintas (83% e 78%) em razão da cor branca refletir mais nesta região espectral. Portanto, como há uma grande concentração de energia térmica (45%) nesta faixa do espectro solar [11], então explica-se a tinta T-02-B possuir o melhor desempenho refletivo solar (80%) e a grande variação entre as temperaturas máxima e média, em relação à bege, de 6,9˚C e 6,3˚C.

Na Figura 4, a amplitude nas temperaturas é de 11,7˚C entre as tintas brancas de fabricantes distintos. No horário das 13h, devido ao aparecimento de nuvens e a redução abrupta da radiação solar (Figura 2 à direita) que chega às superfícies, as

temperaturas superficiais de todas as amostras brancas são menores que a temperatura de bulbo seco nesta hora.

Figura 4: Temperaturas superficiais das tintas brancas refletivas de fabricantes diferentes



Fonte: as autoras.

As tintas T-08 e T-09 possuem, respectivamente, os melhores desempenhos na reflexão do infravermelho próximo (Tabela 2). Apesar da tonalidade mais clara de branco na composição da tinta T-09 (92%) e o maior valor de refletância solar total (90%), dentre todas as tintas, no entanto a T-08 apresentou menores temperaturas durante todo o período de medição, o que se explica pela maior concentração de energia térmica na região espectral do infravermelho próximo (52%) [11]. Embora a tinta T-05 apresente os piores valores de refletância nas regiões visível, infravermelho próximo e na reflexão solar total (inferiores a 80%), mesmo assim apresentou curva de temperatura próxima e, às vezes, coincidentes à tinta T-09, e menores valores de temperaturas médias em 2,0˚C e 1,5˚C, respectivamente, às tintas T-06 e T-07, as quais possuem melhor desempenho refletivo solar (Tabela 2).

CONCLUSÃO

A apresentação das curvas espectrais dos materiais representa o comportamento refletivo por comprimento de onda, as quais apresentam diferenças significativas, inclusive para as tintas refletivas de mesma cor (branca) que apresentaram variação na reflexão de até 14% no espectro solar total. Portanto, destaca-se a importância na obtenção de dados precisos, medidos em laboratório, das propriedades térmicas superficiais, que subsidie a escolha dos materiais por suas especificações técnicas e não apenas pela percepção visual.

Além disso, as medições das temperaturas superficiais das amostras, expostas ao Sol, demonstram como as propriedades ópticas superficiais, como a refletância solar,

afetam diretamente o desempenho térmico dos materiais. Destaca-se que a tinta que apresentou menor temperatura superficial no período de medição é aquela que possui maior refletância no infravermelho. Então, a refletância solar é resultado do efeito conjugado da reflexão em todo o espectro solar, com efeito mais relevante no infravermelho próximo.

Por essa razão, torna-se importante a produção e comercialização, em âmbito nacional, de materiais refletivos, de cor escura, com a adição de pigmentos inorgânicos refletivos ao infravermelho. Desta forma, minimiza-se a absorção de calor devido à maior reflexão nessa região espectral, com melhor desempenho térmico do que os revestimentos convencionais de mesma cor.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de mestrado (Processo n° 2019/20050-9). As opiniões expressas neste material são de responsabilidade das autoras e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

REFERÊNCIAS

[1] LIM, Y.-F. Novel materials and concepts for regulating infra-red radiation: radiative cooling and cool paint. In: DALAPATI, G. K.; SHARMA, M. (ed.). **Energy Saving Coating Materials**. Amsterdã: Elsevier, 2020. p. 113–131.

[2] SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M. White or light colored cool roofing materials. In: KOLOKOTSA, D.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. (org.). **Advances in the development of cool materials for the built environment**. Sharjah: Bentham Science Publishers, 2012. p. 33–71.

[3] ZINZI, M. Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications. **Energy and Buildings**, Amsterdã, v. 114, p. 206–213, 2016.

[4] LEVINSON, R.; BERDAHL, P.; AKBARI, H. Solar spectral optical properties of pigments - part II: survey of common colorants. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, Amsterdã, v. 89, n. 4, p. 351–389, 2005.

[5] IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. Orientadora: Dra. Kai Loh. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

[6] UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, Amsterdã, v. 42, n. 1, p. 17–22, 2010.

[7] DORNELLES, K. et al. Thermal performance of cool paints produced in Brazil for roof paint and their effect on buildings designed for hot climates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3., 2010, Rhode Island. **Proceedings** [...]. Rhode Island: PALENC, 2010. p. 1-12.

[8] DORNELLES, K. A. et al. Desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO

E AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO E AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2011, Búzios. **Anais** [...]. Búzios: UFRJ, 2011. p. 1-10.

[9] DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**. Brasília, n. 12, p. 55–64, 2014.

[10] ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E903-20**: Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. West Conshohocken: ASTM, 2020.

[11] ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-20**: Standard tables for reference solar spectral irradiances: direct normal and hemispherical on 37o tilted surface. West Conshohocken: ASTM, 2020.

[12] DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. Orientador: Dr. Maurício Roriz. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

[13] AKBARI, H.; LEVINSON, R.; BERDAHL, P. ASTM standards for measuring solar reflectance and infrared emittance of construction materials and comparing their steady-state surface temperatures. In: AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY EFFICIENT ECONOMY SUMMER STUDY, 1996, Pacific Groove. **Proceedings** [...]. Pacific Groove American Council for an Energy-Efficient Economy, 1996, p. 1-9.

[14] DWIVEDI, C. et al. Infrared radiation and materials interaction: active, passive, transparent, and opaque coatings. In: DALAPATI, G. K.; SHARMA, M. (ed.). **Energy Saving Coating Materials**. Amsterdã: Elsevier, 2020. p. 33–56.

[15] COOL ROOF RATING COUNCIL. **What is a Cool Roof?** Resources: General Information. 2022. Disponível em: https://coolroofs.org/resources/what-is-a-cool-roof. Acesso em: 31 maio 2022.