

A ILUSÃO DAS CORES NA IDENTIFICAÇÃO DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS

Kelen Almeida Dornelles (1); Maurício Roriz (2)

(1, 2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP -
Campinas, SP - Brasil

(2) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFSCar - São Carlos, SP - Brasil.

E-mail: kelend@terra.com.br; m.roriz@terra.com.br

RESUMO

A radiação solar é responsável por importante parcela da carga térmica dos edifícios e seu impacto sobre esta carga depende, entre outros fatores, de uma propriedade denominada absorptância e definida como a razão entre a energia solar absorvida por uma superfície e a energia total incidente sobre a mesma. Frequentemente, menciona-se uma relação direta entre cores e absorptâncias (ou refletâncias). Cores, entretanto, são apenas sensações visuais e podem enganar, pois cerca de 55% da radiação solar ocorre fora do espectro visível. Apresenta-se, neste artigo, dados de absorptância solar obtidos em espectrofotômetro e que exemplificam como a visão humana, por perceber apenas uma estreita gama de radiações, não permite identificar a refletância de um objeto em relação ao espectro solar total. Amostras pintadas com diferentes cores de tintas foram analisadas comparativamente e para diferentes regiões do espectro (ultravioleta, visível, infravermelho e total). Superfícies pintadas com tintas de mesma cor e produzidas pelo mesmo fabricante apresentaram diferenças consideráveis em suas absorptâncias totais, desde que variem o acabamento (fosco ou semi-brilho) ou o tipo de tinta (acrílica ou PVA). As mesmas diferenças foram observadas em tintas de mesma cor e tipo, produzidas por diferentes fabricantes. Por outro lado, tintas de diferentes cores podem apresentar as mesmas absorptâncias no espectro visível, provocando sensações semelhantes de nível claro-escuro, o que pode enganar o olho humano quanto à sua absorptância solar.

ABSTRACT

Solar radiation is responsible for important fraction of buildings thermal load, and its influence over this load depends on the absorptance defined as the ratio of the solar energy absorbed by the surface to the total of the incident solar energy. Frequently, it is mentioned a direct relationship between colors and absorptances (or reflectances). Colors, however, are visual sensations and they can cause mistakes because 55% of the solar radiation occurs out of the visible spectrum. In this paper, solar absorptance data obtained with a spectrophotometer are presented, whose measurements showed that colors are not reliable indicators of the surface physical properties. Absorptances of samples painted with different colors were analyzed comparatively and for different ranges of the spectrum (ultraviolet, visible, infrared, and total). Surfaces painted with the same paint color and produced for the same industry presented considerable differences in their total absorptance, since they vary their finishes (matt or semi-gloss) or paint type. The same differences were observed in paints with the same color and type, produced for different industries. On the other hand, paints of different colors can present the same absorptances in the visible spectrum with similar level light-dark, what can cause mistakes about the solar absorptance of these surfaces.

1. INTRODUÇÃO

Inúmeras pesquisas já demonstraram que as absorvâncias de superfícies expostas à radiação solar são fatores determinantes nas temperaturas que podem ser atingidas pelas mesmas, conforme exemplifica a figura 1 (AKBARI; LEVINSON; BERDAHL, 1996). O fluxo de calor através do envelope das edificações depende fundamentalmente dessas temperaturas superficiais e das propriedades termofísicas dos elementos construtivos que o compõem. O conhecimento, portanto, dessas propriedades, é indispensável para a avaliação do comportamento térmico e do consumo energético dos edifícios.

Do total da energia radiante que incide sobre um corpo opaco, uma parcela é refletida e outra absorvida, sendo a soma dessas duas parcelas igual à unidade, fato que permite determinar qualquer uma dessas propriedades a partir da outra. Para uma parede opaca exposta à radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de trocas térmicas podem ser esquematizados conforme apresentado na figura 2:

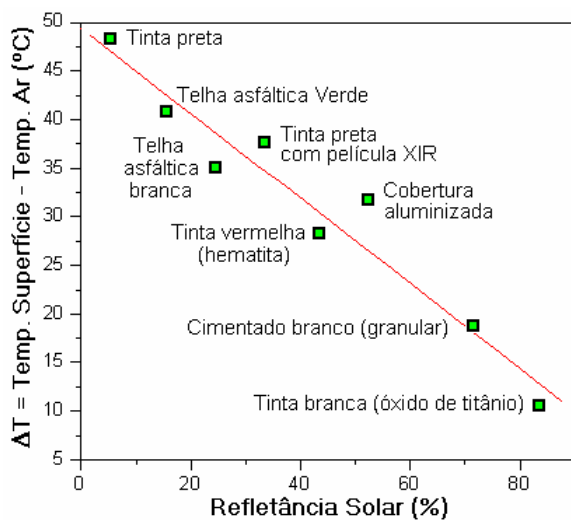


Figura 1: Temperaturas de superfícies expostas ao sol do meio-dia (adaptado de Akbari; Levinson; Berdahl, 1996)

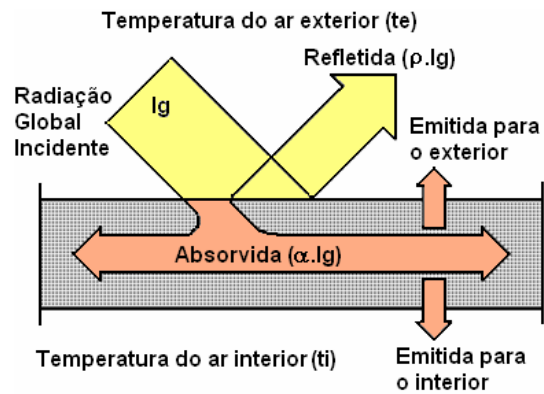


Figura 2: Trocas de calor através de vedações opacas.

A equação 1, válida para regime térmico permanente, indica a intensidade do fluxo térmico (q) através de uma vedação construtiva, por efeito da radiação solar incidente e da diferença entre as temperaturas do ar no interior e no exterior.

$$q = U \left(t_e + \frac{\alpha I_g}{h_e} - t_i \right) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

- U = transmitância térmica da vedação ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$);
- t_e e t_i = temperatura do ar externo e interno, respectivamente ($^\circ\text{C}$);
- α = absorvância solar;
- I_g = irradiância solar incidente global (W/m^2);
- h_e = condutância térmica superficial externa ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Como indica a equação 1, o fluxo térmico através da parede é diretamente afetado pela absorvância solar de sua superfície exposta ao Sol. Assim, quanto maior for este coeficiente, maior será o fluxo, induzindo um aumento na carga térmica dos ambientes. Em inúmeros casos, particularmente em dias de céu limpo de verão, os ganhos de calor solar podem representar mais da metade da carga térmica total de uma edificação.

Apesar da extrema importância desta propriedade para os desempenhos térmico e energético das edificações, grande parte da literatura especializada a tem tratado de forma superficial, ou mesmo equivocada. Poucas pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de obter e difundir dados mais precisos e atualizados de absorvância e refletância solar das superfícies. As publicações geralmente apresentam dados bastante genéricos, compilados a partir de uma mesma base de dados internacional, já consagrada há décadas no meio acadêmico. Além disso, a grande maioria dos autores oferece somente uma pequena relação de absorvâncias ou refletâncias, apresentadas em função das cores superficiais. Embora equivocada, essa simplificação ainda é adotada mesmo em importantes documentos considerados referência internacional como, por exemplo, os Fundamentos da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2001) ou a norma NBR 15220-3, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005). Consagrou-se assim, o conceito de que a absorvância seria crescente na medida em que as cores fossem mais escuras. Porém, como a cor é apenas uma sensação visual, não deve ser adotada como indicador confiável das propriedades físicas de uma superfície.

1.1 Radiação Solar, Cores e Absortâncias

O Espectro Solar corresponde a uma ampla faixa de radiações em comprimentos de onda, desde 300 nm até aproximadamente 1 mm, mas as quantidades de energia emitidas acima de 2500 nm são pouco significativas para a construção civil. A faixa de interesse, neste caso, abrange três regiões: ultravioleta, visível e infravermelho-próximo. A região visível do espectro solar compreende um intervalo espectral bem definido, que varia de 380 a 780 nm, e é aquele que sensibiliza o olho humano, permitindo a visão dos objetos. Dependendo do comprimento de onda, a luz refletida por uma superfície produz as diferentes sensações de cores, conforme apresentado na tabela 1. Assim, como a visão humana percebe apenas um estreito intervalo de radiações, não permite identificar a refletância ou a absorvância de um objeto em relação ao espectro solar total.

Tabela 1: Cores percebidas e curva de sensibilidade do olho humano.

Cor	Comprimento de onda (nm)	Curva de Sensibilidade do Olho humano
Violeta	380-440	
Azul	440-490	
Verde	490-565	
Amarelo	565-590	
Laranja	590-630	
Vermelho	630-780	

A intensidade da radiação solar varia ao longo do espectro, em função do clima e das condições atmosféricas, que se modificam frequentemente (nebulosidade, vapor d'água, poluição, etc.). Para servir de referência, a American Society for Testing and Materials definiu um espectro solar padrão (ASTM-G173-03), que indica a proporção de energia proveniente do Sol correspondente a cada região do espectro solar que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre (Figura 3).

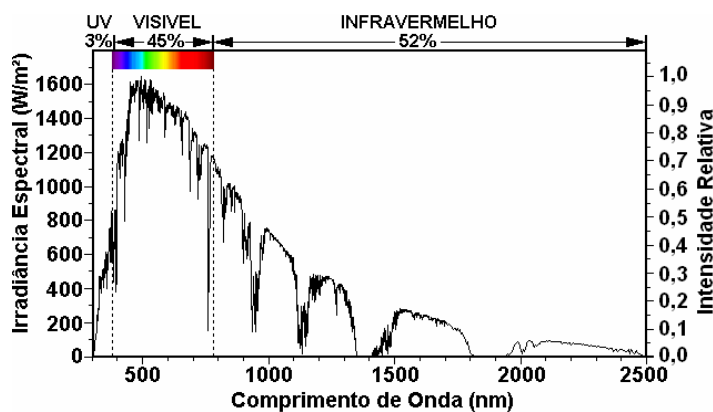


Figura 3: Espectro solar padrão (ASTM 2003).

A refletância das superfícies também varia em função do comprimento de onda dos raios incidentes. Assim, o comportamento óptico de cada superfície pode ser representado por uma curva de distribuição de suas refletâncias (ou absortâncias) ao longo do espectro solar. Os raios refletidos na faixa visível são captados pelo olho e provocam as sensações cromáticas. Na figura 4, são apresentadas curvas de refletância espectral de algumas amostras analisadas por Dornelles e Roriz (2006), cujas refletâncias na região visível (380 a 780 nm) são mais altas nos comprimentos de onda correspondentes a cada cor.

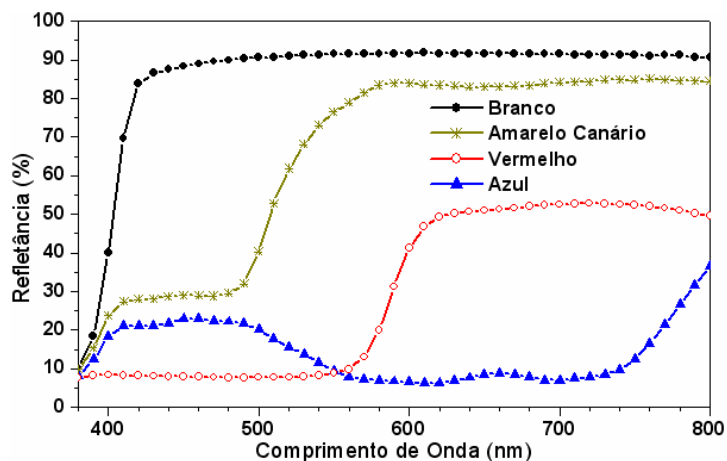


Figura 4: Curvas de refletância espectral para diferentes cores de tinta na região visível.

Observa-se que a amostra pintada de branco reflete uniformemente em todo o espectro visível, confirmando que o branco reflete todas as cores que compõem essa região do espectro. A tinta vermelha reflete comprimentos de onda acima de 600 nm, pois provocam justamente a sensação visual da cor vermelha. Já a amostra pintada de azul reflete comprimentos de onda entre 400 e 500 nm, pois este intervalo corresponde à sensação de azul. A tinta na cor Amarelo Canário reflete comprimentos de onda relacionados ao amarelo, acima de 550 nm. Apesar das amostras apresentarem o comportamento esperado para a região visível, suas refletâncias na região do infravermelho-próximo não obedecem ao mesmo padrão de comportamento, conforme estudos divulgados por Dornelles e Roriz (2006).

Nos últimos anos, poucas informações têm sido publicadas sobre refletância solar (REAGAN; ACKLAM, 1979; TAHA et al, 1992). Muitos dos textos divulgados referem-se apenas à refletância na faixa visível do espectro, que não corresponde à refletância solar total das superfícies consideradas. Dados espectrais completos para materiais de construção são mais limitados. Touloukian, DeWitt e HERNICZ (1972) apresentaram uma compilação de dados espectrais de vários materiais. Berdhal e Bretz (1997) caracterizaram a refletância solar de diversos materiais utilizados em coberturas de edifícios, através de medidas espectrais de refletância, além de medir temperaturas superficiais externas de uma cobertura para demonstrar a correlação existente entre a refletância solar e a temperatura das superfícies expostas ao Sol. Um dos pesquisadores mais produtivos sobre o tema tem sido Hashen Akbari, do Lawrence Berkeley National Laboratory, Universidade da Califórnia, que tem coordenado inúmeras pesquisas, principalmente sobre ilhas urbanas de calor e sobre materiais de alta refletância que possam ser aplicados sobre coberturas para reduzir o consumo de energia (“Cool Roofs”). No Brasil, Castro (2002) apresentou dados de refletância solar para 19 diferentes cores de tintas de um mesmo fabricante e Ferreira e Prado (2003) publicaram dados de refletância solar para materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. Dornelles e Roriz (2006) publicaram dados de refletância espectral para 35 diferentes cores de tintas pintadas sobre pastilhas cerâmicas, para os intervalos do ultravioleta, visível, infravermelho e espectro solar total, além de propor um procedimento alternativo para identificar a absortância solar de superfícies opacas.

A forma mais precisa de identificação da absortância solar de uma amostra consiste em medir sua refletância em um espectrofotômetro. Este tipo de análise varre a região espectral relativa ao ultravioleta, visível e infravermelho-próximo, possibilitando escolher as regiões que interessam. Assim, é possível comparar o comportamento espectral de diferentes superfícies frente à radiação solar, sem a necessidade de basear-se apenas na percepção visual.

Para comprovar que as cores não são indicadores confiáveis das propriedades físicas das superfícies, este artigo apresenta dados de absorvância solar obtidos a partir de medições de refletância em espectrofotômetro, para amostras de pastilhas cerâmicas pintadas com diferentes cores de tintas. Estes dados fazem parte de uma pesquisa de doutorado em andamento, que visa desenvolver um método alternativo para identificar a absorvância solar de superfícies opacas (Dornelles, 2007).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Medições Laboratoriais

Foram realizados diversos ensaios laboratoriais das amostras, através de análises óticas em espectrofotômetro da marca Varian, modelo CARY 5G, de acordo com padrões definidos pela norma ASHRAE 74-1988 (ASHRAE, 1988). As amostras foram ensaiadas a cada 1 nm, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar com maior concentração de energia, conforme o padrão definido pela ASTM (2003). Este intervalo foi subdividido em três, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho-próximo (780 a 2500 nm).

O espectrofotômetro permite realizar medições de transmissão, reflexão e absorção das amostras. Para operar no modo reflexão e absorção, focos deste trabalho, é preciso utilizar um acessório denominado esfera integradora. Esta é colocada em um compartimento do espectrofotômetro, com a função de detectar a distribuição difusa da radiação. Suas paredes internas são revestidas com pintura altamente refletiva (Polytetrafluoroethylene - PTFE). Para calibrar o equipamento são utilizadas duas amostras de referência, com refletâncias de 99% e 2% (branco e preto de referência, respectivamente), produzidas pela Labsphere. As refletâncias absolutas das amostras analisadas são calculadas com base nessas referências.































2.2 Amostras Analisadas

Foram selecionadas diversas cores de tintas de diferentes fabricantes, de acordo com seu uso freqüente em fachadas de edifícios no Brasil. As cores foram escolhidas a partir de catálogos de cores básicas das tintas do tipo látex acrílica e látex PVA produzidas pelas indústrias Sherwin Williams (Metalatex e Novacor) e Suvinil. As tintas do tipo látex PVA são recomendadas apenas para uso interno por apresentarem menor resistência às intempéries. Entretanto, seu uso em paredes externas é bastante freqüente, pois custam menos que as tintas acrílicas. Por este motivo, também foram incluídas nas análises deste trabalho, além de possibilitar a observação de eventuais diferenças na refletância de tintas com diferentes composições químicas, mas que provocam a mesma sensação de cor. Do mesmo modo, também foram selecionadas tintas que apresentassem a mesma cor superficial, mas com acabamentos diferentes (fosca e sem-brilho).

As amostras foram confeccionadas com pastilhas cerâmicas no tamanho de 35 x 35 mm. Suas rugosidades superficiais assemelham-se às das vedações de edificações, permitindo resultados mais realistas. As pastilhas foram pintadas com uma demão de tinta cinza claro, como fundo, seguida de duas demãos da tinta a ser analisada, com intervalo mínimo de duas horas entre demãos. Neste artigo, são apresentadas curvas de refletância espectral de 31 amostras, de um total de 78 amostras analisadas, até o momento, na pesquisa. A nomenclatura das cores foi adotada segundo os catálogos dos fabricantes e a cor e tonalidade aproximadas das amostras descritas na tabela 2. As tintas analisadas foram separadas em 5 grupos, de acordo com o fabricante e o acabamento:

- Metalatex Acrílica Fosca (Sherwin Williams);
- Metalatex Acrílica Semi-Brilho (Sherwin Williams);
- Novacor Látex PVA Fosca (Sherwin Williams);
- Suvinil Acrílica Fosca;
- Suvinil Látex PVA Fosca.

Tabela 2: Amostras analisadas e respectivas cores e tonalidades aproximadas.

Tipo	Nº	Nome Comercial	Tonalidade	Tipo	Nº	Nome Comercial	Tonalidade
Metalatex Acrílica Fosca	02	Amarelo Terra	 Amarelo escuro	Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	 Amarelo
	04	Azul	 Azul escuro		35	Amarelo Terra	 Amarelo escuro
	06	Branco	 Branco		39	Branco	 Branco
	08	Camurça	 Marrom claro		40	Branco Gelo	 Branco médio
	09	Concreto	 Cinza médio		44	Marfim	 Amarelo claro
	10	Flamingo	 Laranja claro	Suvinil Acrílica Fosca	49	Azul Bali	 Azul médio
	12	Marfim	 Amarelo claro		50	Branco Neve	 Branco
	13	Palha	 Amarelo claro		53	Concreto	 Cinza médio
	15	Pêssego	 Rosa claro		59	Pêssego	 Rosa claro
	17	Terracota	 Laranja escuro		Suvinil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário
Metalatex Acrílica Semi-brilho	20	Azul	 Azul escuro	66		Branco Gelo	 Branco médio
	23	Cinza BR	 Cinza claro	71		Marfim	 Amarelo claro
	24	Crepúsculo	 Rosa médio	72		Palha	 Amarelo claro
	27	Palha	 Amarelo claro	74		Pêssego	 Rosa claro
	31	Terracota	 Laranja escuro	78		Vermelho Cardinal	 Vermelho
	32	Verde Quadra	 Verde				

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para comprovar que as cores não são indicadores confiáveis das propriedades físicas das superfícies, as curvas de absorvância espectral das diferentes amostras foram analisadas comparativamente nas seguintes situações:

Para amostras de mesma cor:

- a. Tintas de tipos ou acabamentos diferentes, mas produzidas pelo mesmo fabricante:
 - Fosca x Semi-Brilho;
 - Acrílica x PVA.
- b. Tintas de mesmo tipo e acabamento, mas produzidas por diferentes fabricantes:
 - Acrílica x Acrílica;
 - PVA x PVA.

Para amostras de cores diferentes:

- c. Amostras com um mesmo nível em escala claro-escuro, mas absorvâncias totais diferentes;
- d. Amostras com diferentes níveis em escala claro-escuro, mas absorvâncias totais semelhantes.

Nas tabelas 3 a 8 são apresentadas as curvas de absorvância espectral das amostras, além da absorvância média calculada para as diferentes regiões do espectro solar (ultravioleta, visível, infravermelho e total), conforme especificado anteriormente.

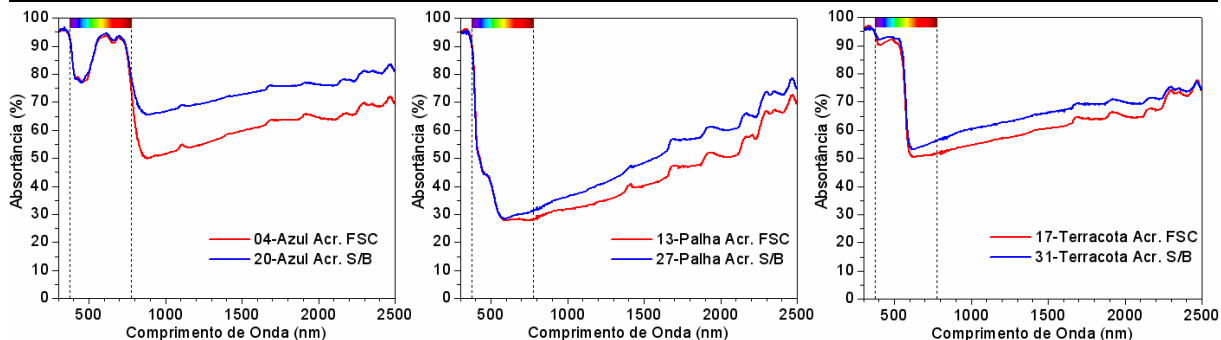
3.1 Para Amostras de Mesma Cor

Amostras pintadas com tinta acrílica de mesma cor e produzidas pelo mesmo fabricante, mas com acabamentos diferentes (fosca ou semi-brilho), apresentaram diferenças consideráveis em suas absorvâncias totais, conforme apresentado na tabela 3. Amostras pintadas na cor Azul apresentaram diferenças em torno de 10% entre suas absorvâncias totais, mesmo com absorvâncias na região visível bastante próximas. As amostras com acabamento semi-brilho possuem absorvâncias totais inferiores às de acabamento fosco, sendo a maior diferença na região do infravermelho-próximo (780 a 2500 nm). Estes dados comprovam que, diferente do que é difundido no meio acadêmico, superfícies pintadas com tintas de acabamento semi-brilho não absorvem menos do que pinturas com acabamento fosco.

Tabela 3: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca x semi-brilho.

Absortâncias médias (%) - Fabricante: Sherwin Williams (Acrílica fosca x Acrílica semi-brilho)

Azul					Palha					Terracota				
Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT
04	95,1	86,8	60,9	66,8	13	94,8	36,7	45,4	45,6	17	96,1	70,1	62,3	65,0
20	95,4	87,4	73,8	77,1	27	94,1	37,4	52,6	51,3	31	95,8	72,8	66,9	69,1

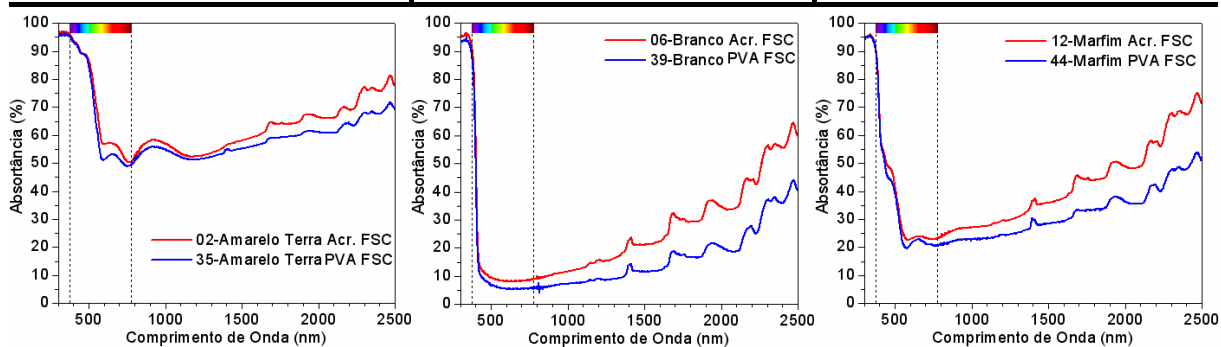


Para amostras de mesma cor e acabamento (fosca ou semi-brilho) e produzidas pelo mesmo fabricante, mas diferentes pelo tipo de tinta (acrílica ou PVA) também se observaram diferenças em suas absortâncias totais. As tintas do tipo PVA apresentadas na tabela 4 possuem absortâncias totais inferiores às tintas do tipo Acrílica. Amostras pintadas de Branco tiveram 9,5% de diferença em suas absortâncias totais e amostras pintadas com a cor Marfim 8,4%. Estes dados comprovam que o tipo de tinta utilizada nas superfícies expostas à radiação solar exerce forte influência sobre suas absortâncias totais.

Tabela 4: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca x PVA fosca.

Absortâncias médias (%) - Fabricante: Sherwin Williams (Acrílica fosca x PVA fosca)

Amarelo Terra					Branco					Marfim				
Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT
02	96,7	69,6	62,6	65,1	06	94,9	14,0	28,4	28,2	12	94,5	34,6	42,5	43,0
35	95,8	66,6	58,4	61,3	39	92,8	10,9	17,1	18,7	44	94,1	32,3	32,4	34,6



As amostras de tintas látex PVA de mesma cor, mas produzidas por diferentes fabricantes, também apresentaram diferenças em suas absortâncias totais (Tabela 5). As diferenças ocorrem principalmente na região do infravermelho-próximo e comprovam que, apesar de serem amostras de tintas de cores iguais e do mesmo tipo, não apresentam absortâncias totais muito próximas por sofrerem influência dos distintos processos de produção de seus fabricantes. Situação semelhante ocorre com as tintas Acrílicas de mesma cor produzidas por diferentes fabricantes (Tabela 6), pois suas absortâncias totais apresentaram diferenças de até 9,4% (amostras nº 15 e 59, cor Pêssego).

Tabela 5: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: PVA fosca, fabricantes diferentes.

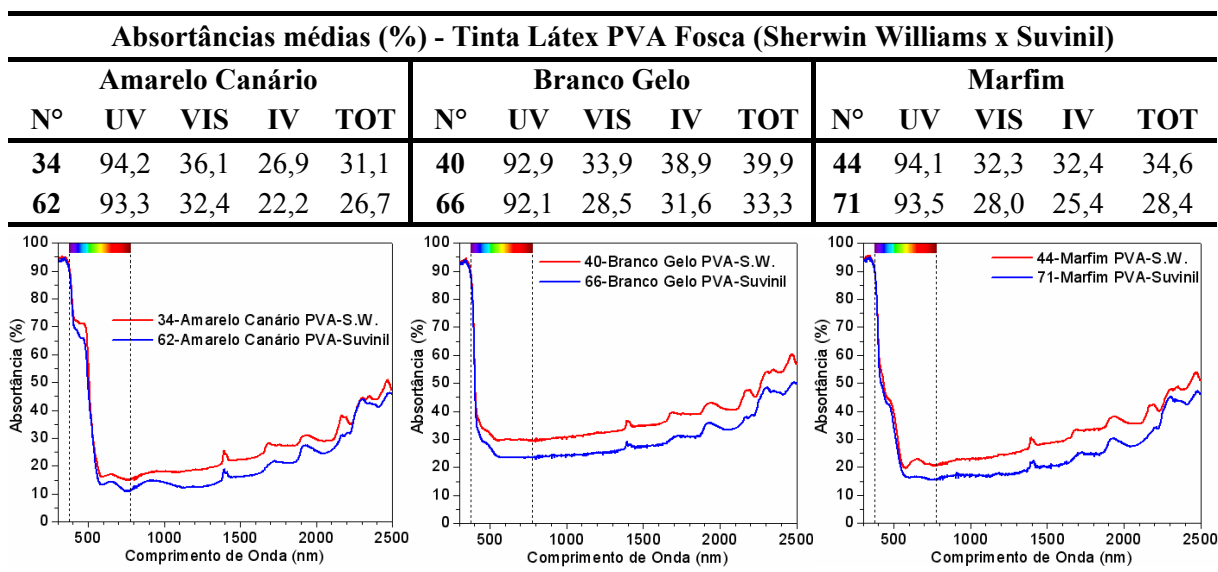
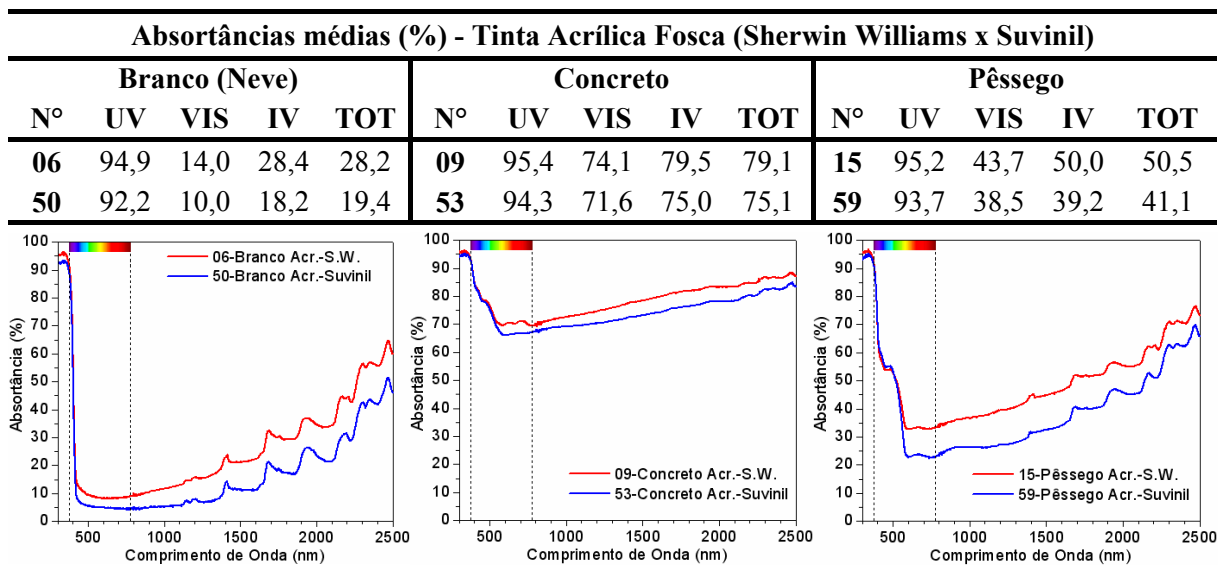


Tabela 6: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca, fabricantes diferentes.



3.2 Para Amostras de Cores Diferentes

Apesar de serem de cores diferentes, algumas amostras provocam sensações semelhantes de nível claro-escuro, o que pode enganar o olho humano quanto à sua absorvância solar. As amostras pintadas nas cores Flamingo e Cinza BR possuem absorvâncias semelhantes na região visível, mas suas absorvâncias totais diferem em 18,2% (Tabela 7). O mesmo acontece para as amostras pintadas nas cores Azul e Verde Quadra (diferença de 11,9%) e Camurça e Azul Bali (12,1%).

Algumas amostras apresentam absorvâncias totais muito próximas, mas provocam sensações diferentes de nível em escala claro-escuro (Tabela 8). As cores Cinza BR e Crepúsculo apresentaram absorvâncias totais praticamente iguais (71,2% e 71%, respectivamente), mas suas aparências são bastante distintas (cinza claro e rosa médio). Além disso, suas absorvâncias na faixa visível do espectro apresentam diferenças de 10,9%, o que comprova que apenas com a visão humana não seria possível identificar que suas absorvâncias totais são muito próximas.

Tabela 7: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: amostras com mesmo nível em escala claro-escuro.

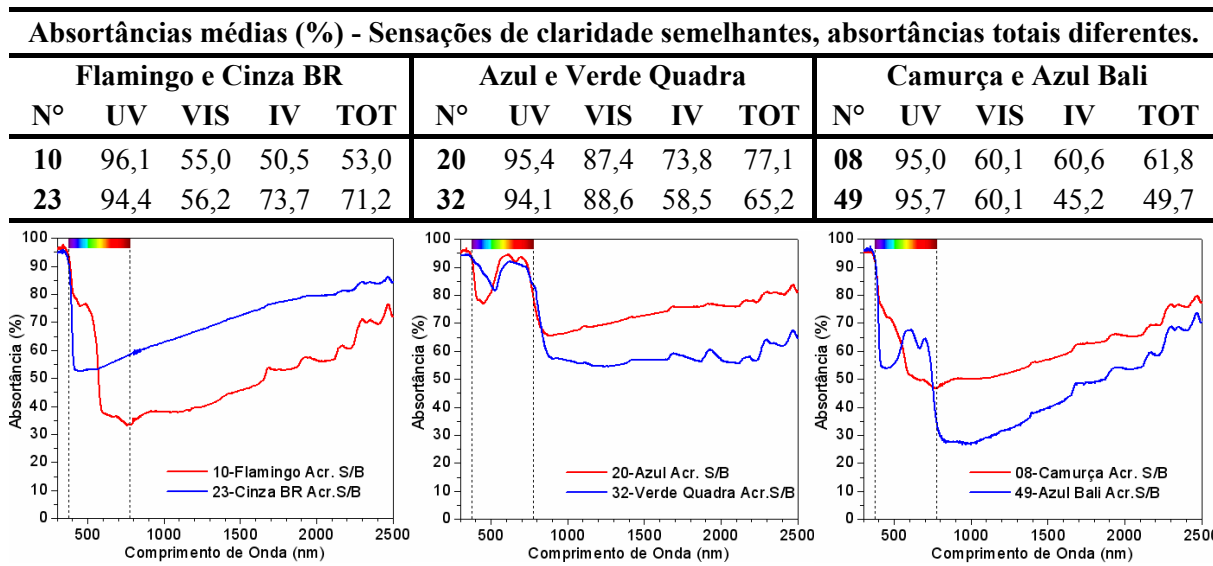
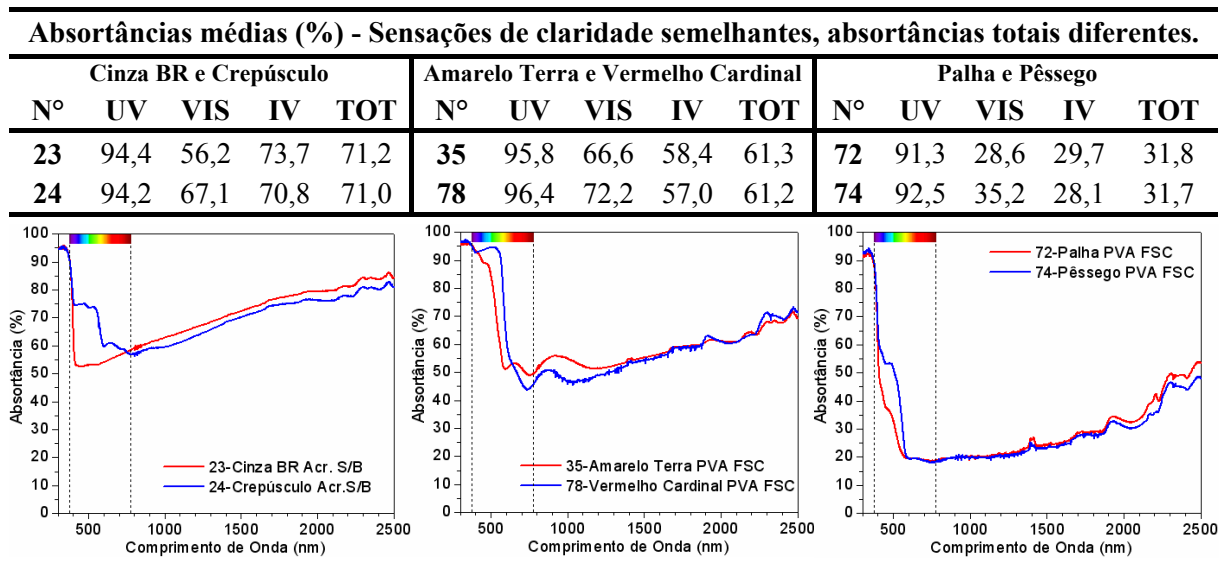


Tabela 8: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: amostras com diferentes níveis em escala claro-escuro.



4. CONCLUSÕES

Dados e análises aqui apresentados comprovaram que valores de absortância ou refletância apenas para a região visível não são confiáveis para caracterizar quais porcentagens da energia solar são absorvidas ou refletidas por uma superfície. Amostras que provocam sensações semelhantes de “claridade” podem apresentar diferenças significativas entre suas absortâncias totais. Por outro lado, algumas amostras com cores distintas apresentaram absortâncias solares praticamente iguais, confirmando que absortâncias e refletâncias não dependem de cores. Além disso, amostras pintadas com tintas de diferentes composições químicas (látex acrílica ou látex PVA, fosca ou semi-brilho) apresentaram significativas diferenças entre suas absortâncias espectrais, enfatizando que o tipo de tinta utilizada pode alterar consideravelmente a absortância solar de uma superfície opaca. As discussões abordadas neste artigo ressaltam a necessidade de maior rigor na caracterização das propriedades físicas das superfícies expostas à radiação solar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H; LEVINSON, R; BERDAHL, P. (1996). ASTM Standards for Measuring Solar Reflectance and Infrared Emittance of Construction Materials and Comparing Their Steady-State Surface Temperatures. Proceedings of American Council for an Energy Efficient Economic – Summer Study.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2003). **G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. Philadelphia.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. (2001). **ASHRAE fundamentals handbook**. Atlanta.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. (1988). **74-1988**: method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2005). **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro.
- BERDHAL, P.; BRETZ, S. E. (1997). Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v.25, p.149-158.
- CASTRO, A. P. A. S. (2002). **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- DORNELLES, K. A. (2007) **Um método para estimar o comportamento espectrofotométrico de superfícies opacas**. Relatório científico parcial. Processo FAPESP nº 04/11092-4. São Carlos.
- DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. (2006). A method to identify the solar absorptance of opaque surfaces with a low-cost spectrometer. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 23., 2006, Geneva, Switzerland. **Proceedings...** Geneva, 2006.
- FERREIRA, F; PRADO, R. T. A. (2003). Measurement of albedo or reflectance of building roof materials in Brazil. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 20., 2003, Santiago, Chile. **Proceedings...** Santiago.
- REAGAN, J. A.; ACKLAM, D. M. (1979). Solar reflectivity of common building materials and its influences on the roof heat gain of typical southwestern US residences. **Energy and Buildings**, v.2.
- TAHA, H.; SAILOR, D; AKBARI, H. (1992). High-albedo materials for reducing building cooling energy use. **Rep. nº LBL-31721**, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- TOULOUKIAN, Y. S.; DE WITT, D. P.; HERNICZ, R. S. (1972). Thermal radiative properties. Coatings, **Thermophysical Properties of Matter**, v.9, IFI/Plenum, New York.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa e ao Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (LIEC) da Universidade Federal de São Carlos, pela autorização para o uso do espectrofotômetro.