

Métodos alternativos para identificar a absorptância solar de superfícies opacas

Alternative methods to identify the solar absorptance of opaque surfaces

Kelen Almeida Dornelles
Maurício Roriz

Resumo

Neste artigo, são apresentados dois métodos alternativos para identificar a absorptância solar de superfícies opacas. No primeiro método, amostras de superfícies pintadas com diferentes cores e tipos de tintas foram digitalizadas em scanner, e cada amostra foi classificada segundo os sistemas cromáticos digitais RGB e HSL. No segundo método, as refletâncias das amostras foram medidas com um espectrômetro de baixo custo, para radiações em onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 nm e 940 nm. Com base em dados de refletância obtidos em laboratório, foram desenvolvidas equações que permitem estimar, a partir dos dados dos sistemas cromáticos digitais e do espectrômetro, as refletâncias para a região visível e para o espectro solar total. As refletâncias obtidas em espectrofotômetro também foram ajustadas ao espectro solar padrão, para indicar a quantidade de energia relativa que é refletida pelas superfícies, quando expostas à radiação solar. Os resultados obtidos indicam que os métodos alternativos apresentados neste trabalho são confiáveis e acessíveis a especialistas e projetistas, contribuindo para a obtenção de valores de refletâncias e absorptâncias mais realistas do que os apresentados em tabelas publicadas até o momento.

Palavras-chave: Absorptância solar. Refletância solar. Cores. Superfícies opacas. Espectro solar padrão.

Abstract

In this paper, two alternative methods to identify the solar absorptance of opaque surfaces are presented. In the first method, samples painted with different paint colours were classified according to the RGB and HSL digital chromatic systems. In the second method, the reflectances of the samples were measured with a low cost spectrometer for radiations in eleven different wavelengths, from 470 nm to 940 nm. Based on reflectance data obtained in laboratory, equations were developed to estimate reflectances for the visible and the total range of the solar spectrum, according to the spectrometer and the RGB and HSL data. The reflectances obtained in laboratory were adjusted to the standard solar spectrum in order to indicate the amount of relative energy that is reflected for the surfaces when exposed to solar radiation. The results show that the alternative methods presented in this paper are reliable and accessible for specialists and designers, which will be useful for obtaining reflectance and absorptance data more realistic than those presented in existing published tables.

Keywords: Solar absorptance. Solar reflectance. Colors. Opaque surfaces. Standard solar spectrum.

Kelen Almeida Dornelles
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Estadual de
Campinas
Rua Teodolina Modena Coca
85/562
São Carlos - SP - Brasil
CEP 13569-055
Tel.: (19) 3521-2307
E-mail: kelen@terra.com.br

Maurício Roriz
Programa de Pós-Graduação em
Construção Civil
Universidade Federal de São
Carlos
Via Washington Luís, Km 235
Caixa Postal 67
São Carlos - SP - Brasil
CEP 13565-905
Tel.: (16) 3351-8262
E-mail: m.roriz@terra.com.br

Recebido em 02/02/07

Aceito em 27/06/07

Introdução

Devido à sua vasta extensão territorial, o Brasil apresenta significativa diversidade climática, e cada região exige soluções construtivas específicas, ainda insuficientemente estudadas. O desconhecimento sobre essas especificidades vem sendo responsável pela proliferação de edifícios com baixo desempenho térmico e, por consequência, elevado consumo de energia. Mesmo com grande diversidade climática, quase que a totalidade do território brasileiro está sujeita à intensa e abundante insolação durante a maior parte do ano. O Sol torna-se um dos elementos de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura, tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz. A radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios, principalmente em regiões tropicais e de baixas latitudes. As trocas de energia (luz ou calor) entre os meios exterior e interior das edificações dependerão, fundamentalmente, do envelope construtivo e das propriedades termofísicas dos elementos que o compõem.

Da radiação solar total que incide sobre um corpo opaco, uma parcela é refletida e outra absorvida. A fração absorvida é transformada em calor e é proporcional a uma propriedade da superfície do corpo denominada absorptância (α). A parcela refletida é determinada pela refletância (ρ) da superfície. Em corpos opacos, a soma da absorptância com a refletância é 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 determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de trocas térmicas podem ser esquematizados conforme apresentado na Figura 1.

A intensidade do fluxo térmico (q) que atravessa essa parede, por efeito da radiação solar incidente e da diferença de temperatura do ar, em regime permanente, é dada pela equação 1:

$$q = U \left(t_e + \frac{\alpha I_g}{h_e} - t_i \right) \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

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 = absorptância solar;

I_g = irradiância solar incidente global (W/m^2); e

h_e = condutância térmica superficial externa ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Como indica a equação 1, o fluxo térmico que atravessa uma parede é diretamente afetado pela absorptância solar de sua superfície exposta ao Sol. Assim, quanto maior for esse coeficiente, maior será o fluxo térmico através da envolvente da edificação, induzindo a um aumento na carga térmica dos ambientes. Para inúmeros casos, particularmente em baixas latitudes, os ganhos de calor solar podem representar mais da metade da carga térmica total de uma edificação.

Apesar da extrema importância dessa propriedade para os desempenhos térmico e energético das edificações, a 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 absorptância 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. O erro mais freqüente consiste em supor que a absorptância depende da cor da superfície: que seria menor em cores claras e maior nas escuras. Cores, no entanto, são sensações visuais provocadas apenas pela luz visível, parcela que corresponde a menos da metade do espectro solar total e que não oferece indicação confiável sobre a quantidade de energia absorvida ou refletida pelas superfícies. 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 brasileira NBR 15220-3, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005) e adotada como referência no Brasil.

Dornelles e Roriz (2006b) apresentaram dados de refletância solar cujas medições em espectrofotômetro comprovaram que valores de refletância apenas para a região visível não são confiáveis para caracterizar o quanto uma superfície reflete (ou absorve) de energia solar. Amostras que provocam sensações semelhantes em escala claro-escuro podem apresentar diferenças significativas entre suas refletâncias totais (Figura 2a). Entretanto, algumas amostras com cores distintas apresentaram refletâncias totais praticamente iguais, confirmando que absorptâncias e refletâncias não dependem de cores (Figura 2b).

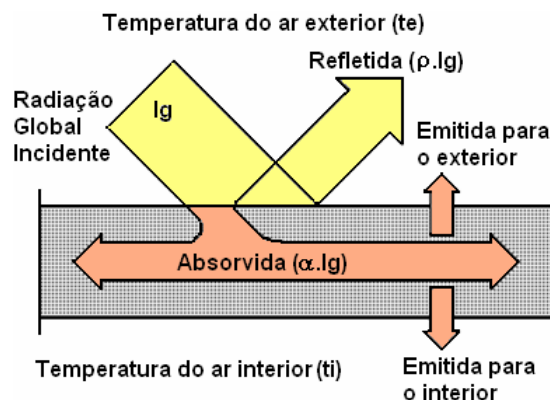
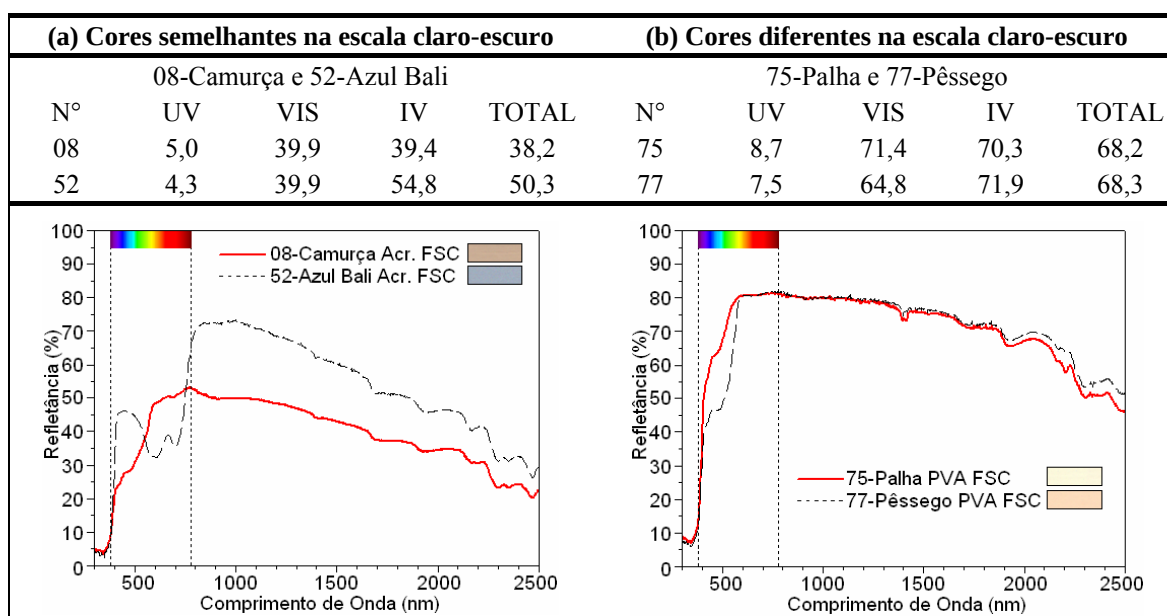


Figura 1 - Trocas de calor através de vedações opacas



FONTE: Dornelles e Roriz (2006b)

Figura 2 - Refletâncias médias por faixa do espectro e curvas de refletância espectral

Além de supor que a absortância solar depende das cores das superfícies, a maioria dos autores desconsidera o efeito da rugosidade superficial que os corpos apresentam e que afeta significativamente a quantidade de radiação solar absorvida ou refletida por uma superfície. Seker e Tavil (1996) mediram rugosidades e absortâncias de amostras com dez níveis distintos de rugosidades superficiais, cujas análises indicaram que cada 0,08 mm de acréscimo na rugosidade elevam a absortância da superfície em 23%.

Nos últimos anos, poucas informações têm sido publicadas sobre refletância solar (REAGAN; ACKLAM, 1979; TAHA; SAILOR; AKBARI, 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 (2006a) 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 absorptância solar de superfícies opacas.

A forma mais precisa de identificação da absorptância solar de uma amostra consiste em medir sua refletância em espectrofotômetro. Esse 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 diante da radiação solar, sem a necessidade de basear-se apenas na percepção visual. No entanto, o espectrofotômetro é um equipamento de altíssimo custo, raramente disponível para projetistas e especialistas, que dispõem apenas de tabelas simplificadas baseadas nas cores dos objetos. A incerteza provocada por essas tabelas é completamente incompatível com a alta precisão dos modelos de simulação térmica hoje disponíveis.

Para facilitar a obtenção de dados de absorptância solar mais precisos e atualizados, este artigo apresenta e discute dois procedimentos alternativos para identificar a absorptância solar de superfícies opacas, com base em dados medidos em espectrofotômetro para 78 amostras pintadas com diferentes cores e tipos de tintas. O estudo inicial foi apresentado por Roriz e Dornelles (2005), a partir de dados publicados por Castro (2002), e atualmente faz parte de uma pesquisa de doutorado em andamento (DORNELLES, 2006). As refletâncias obtidas em espectrofotômetro também foram ajustadas ao espectro solar padrão definido pela American Society for Testing and Materials (ASTM, 2003), para indicar a quantidade de energia relativa que é refletida pelas amostras quando expostas à radiação solar, fato este também desconsiderado nas publicações técnicas especializadas.

Espectro solar e o espectro solar padrão

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 2.500 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 nm a 780 nm - aquele que sensibiliza o olho humano, permitindo a visão dos objetos. A visão humana, entretanto, percebe apenas uma estreita gama de radiações, motivo pelo qual não permite identificar a refletância ou a absorptância de um objeto em relação ao espectro solar total.

A intensidade da radiação solar não é constante ao longo do espectro, e sua distribuição depende do clima, da altitude e das diversas características atmosféricas que se modificam frequentemente (nebulosidade, presença de vapor d'água, poluição, etc.). Para servir de referência, a American Society for Testing and Materials definiu um espectro solar padrão (norma ASTM-G173-03) com base em uma série de dados medidos (Figura 3). Esse espectro padrão indica a proporção de energia proveniente do Sol correspondente a cada região do espectro solar que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre.

A norma ASTM-G173-03 apresenta a distribuição da irradiância solar espectral terrestre para uma superfície orientada ao Sul, com inclinação de 37°, para condições atmosféricas específicas. As condições adotadas nessa norma representam uma média para os 48 estados dos Estados Unidos, pelo período de um ano, sendo, portanto, dados médios mais adequados para esses locais. Para representar de forma mais precisa a quantidade de energia solar que chega ao território brasileiro, seria ideal obter um espectro solar padrão específico para o Brasil a partir das condições atmosféricas observadas no país.

Materiais e métodos

Amostras analisadas

Para a confecção das amostras, foram selecionadas diversas cores de tintas de diferentes fabricantes, de acordo com seu uso frequente em fachadas de edifícios no Brasil, totalizando 78 amostras. 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 frequente, pois custam menos que as tintas acrílicas, e por esse motivo

também foram incluídas nas análises deste trabalho. Também foram selecionadas tintas com diferentes tipos de acabamento superficial (fosca e semibrilho) para observar eventuais diferenças nas refletâncias de tintas que apresentam composições químicas distintas, mas com cores iguais.

As amostras foram confeccionadas com pastilhas cerâmicas no tamanho de 35 mm x 35 mm, com rugosidades superficiais semelhantes às das vedações de edificações, o que permite 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. A nomenclatura das cores foi adotada segundo os catálogos dos fabricantes e a cor e tonalidade aproximadas das amostras descritas na Figura 4.

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 nm a 2.500 nm, que é a região do espectro solar com maior concentração de energia, conforme o padrão definido pela ASTM (2003).

Esse intervalo foi subdividido em três, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 nm a 380 nm), visível (380 nm a 780 nm) e infravermelho-próximo (780 nm a 2.500 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 (PTFE - Polytetrafluoroethylene). 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.

Método 1: Estimativa a partir dos parâmetros cromáticos digitais

No primeiro método, as amostras foram digitalizadas em scanner comum (marca HP, modelo Scanjet 3200C), e cada uma das amostras foi caracterizada pelos parâmetros dos sistemas cromáticos digitais RGB (Red, Green, Blue) e HSL (Hue, Saturation, Luminance). Os sistemas cromáticos digitais representam tentativas de se reproduzirem, em monitores ou em televisores, sensações visuais semelhantes às provocadas pelos objetos reais. A leitura dos valores de RGB e HSL foi feita em um programa de edição de imagens.

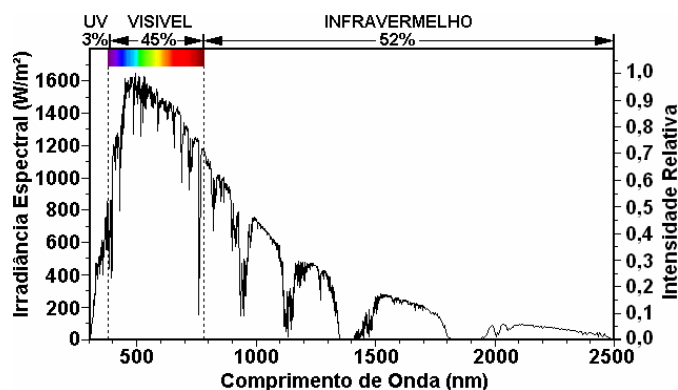


Figura 3 - Espectro solar padrão definido pela ASTM (2003)

Tipo	Nº	Nome Comercial	Tonalidade
Metalatex Acrílica Fosca	01	Amarelo Antigo	Amarelo médio
	02	Amarelo Terra	Amarelo escuro
	03	Areia	Bege
	04	Azul	Azul escuro
	05	Azul Imperial	Azul claro
	06	Branco	Branco
	07	Branco Gelo	Branco médio
	08	Camurça	Marrom claro
	09	Concreto	Cinza médio
	10	Flamingo	Laranja claro
	11	Jade	Cinza claro
	12	Marfim	Amarelo claro
	13	Palha	Amarelo claro
	14	Pérola	Amarelo claro
	15	Pêssego	Rosa claro
	16	Tabaco	Marrom
	17	Terracota	Laranja escuro
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	Amarelo médio
	19	Amarelo Terra	Amarelo escuro
	20	Azul	Azul escuro
	21	Branco Gelo	Branco médio
	22	Cinza	Cinza escuro
	23	Cinza BR	Cinza claro
	24	Crepúsculo	Rosa médio
	25	Flamingo	Laranja claro
	26	Marfim	Amarelo claro
	27	Palha	Amarelo claro
	28	Pérola	Amarelo claro
	29	Preto	Preto
	30	Telha	Vermelho escuro
	31	Terracota	Laranja escuro
	32	Verde Quadra	Verde escuro
	33	Vermelho	Vermelho
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	Amarelo
	35	Amarelo Terra	Amarelo escuro
	36	Areia	Bege
	37	Azul angra	Azul claro
	38	Bianco Sereno	Branco médio
	39	Branco	Branco
Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	Branco médio
	41	Ervadoce	Verde claro
	42	Flamingo	Laranja claro
	43	Laranja	Laranja
	44	Marfim	Amarelo claro
	45	Palha	Amarelo claro
	46	Pérola	Amarelo claro
	47	Pêssego	Rosa claro
Suvnil Acrílica Fosca	48	Alecrim	Verde claro
	49	Azul bali	Azul claro
	50	Branco Neve	Branco
	51	Branco Gelo	Branco médio
	52	Camurça	Marrom claro
	53	Concreto	Cinza médio
	54	Marfim	Amarelo claro
	55	Marrocos	Amarelo médio
	56	Mel	Amarelo
	57	Palha	Amarelo claro
	58	Pérola	Amarelo claro
Suvnil Látex PVA Fosca	59	Pêssego	Rosa claro
	60	Telha	Vermelho escuro
	61	Vanila	Amarelo
	62	Amarelo Canário	Amarelo
	63	Areia	Bege
	64	Azul Profundo	Azul escuro
	65	Branco Neve	Branco
	66	Branco Gelo	Branco médio
	67	Camurça	Marrom claro
	68	Cerâmica	Marrom escuro
	69	Concreto	Cinza médio
	70	Flamingo	Laranja claro
	71	Marfim	Amarelo claro
	72	Palha	Amarelo claro
	73	Pérola	Amarelo claro
	74	Pêssego	Rosa claro
	75	Preto	Preto
	76	Vanila	Amarelo
	77	Verde Musgo	Verde
	78	Vermelho Cardinal	Vermelho

Figura 4 - Amostras analisadas e respectivas cores e tonalidades aproximadas

A partir dos dados obtidos em espectrofotômetro e da classificação das amostras pelos sistemas RGB e HSL, procurou-se identificar equações que relacionassem as refletâncias medidas em diferentes intervalos do espectro com os parâmetros cromáticos digitais das amostras estudadas. As primeiras análises de regressão indicaram a necessidade de separar as amostras de tintas em dois grupos distintos, devido à diferença observada entre suas composições químicas e seus comportamentos espectrofotométricos. Assim, foram obtidas equações para as tintas com

acabamento fosco (Equações 2 e 3) diferentes das equações obtidas para as tintas com acabamento semibrilho (Equações 4 e 5). As equações permitem estimar as refletâncias para a faixa visível (380 nm a 780 nm) e para o espectro solar total (300 nm a 2.500 nm).

Seguem as equações:

(a) Tintas com Acabamento Fosco:

$$\rho_{VIS} = - 54,2942 + 0,2298 \cdot R + 0,3003 \cdot B + 0,2314 \cdot S \quad (2)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão: $SD = 3,30$

$$\rho_T = -57,3274 + 0,0609 \cdot H + 1,2234 \cdot L \quad (3)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,96$

Desvio padrão: $SD = 4,36$

Sendo:

ρ_{VIS} = refletância estimada para a faixa visível do espectro (%);

ρ_T = refletância estimada para o espectro solar total (%);

R, B = parâmetros do sistema RGB; e

H, S, L = parâmetros do sistema HSL.

(b) Tintas com acabamento semibrilho:

$$\rho_{VIS} = -23,0766 + 0,2108 \cdot R + 0,1748 \cdot B \quad (4)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão: $SD = 3,13$

$$\rho_T = -33,7114 + 0,3603 \cdot R - 0,0281 \cdot S \quad (5)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão: $SD = 2,67$

Sendo:

ρ_{VIS} = refletância estimada para a faixa visível do espectro (%);

ρ_T = refletância estimada para o espectro solar total (%);

R, B = parâmetros do sistema RGB; e

S = parâmetro “Saturação” do sistema HSL.

Método 2: Estimativa a partir de medições com o espectrômetro ALTA II

O espectrômetro ALTA II mede as refletâncias correspondentes a radiações em 11 diferentes comprimentos de onda, entre 470 nm e 940 nm, sendo sete na região visível e quatro na região do infravermelho. Na parte frontal do espectrômetro estão distribuídos 11 botões correspondentes aos referidos comprimentos de onda (Figura 5). Ao pressionar cada um desses botões, o equipamento emite certa quantidade de energia e mede o quanto dessa energia é refletida de volta. As lâmpadas que emitem a energia correspondente a cada comprimento de onda estão localizadas em uma abertura na parte de trás do equipamento, dispostas em círculo, e o sensor que detecta a quantidade de energia que é refletida de volta está localizado no centro dessa circunferência. Na parte frontal do equipamento há uma tela que indica o quanto de energia foi refletida de volta.

O espectrômetro não fornece o valor absoluto da refletância, mas com algumas operações matemáticas pode-se determinar a porcentagem que cada amostra reflete, com base em uma amostra de referência. Nesse caso, deve-se adotar como referência dados obtidos em espectrofotômetro para determinada superfície, de preferência uma que apresente elevada refletância. Neste trabalho, adotou-se como referência uma folha de papel branco comum (papel branco Ripax, 75 g/m²), cuja curva de reflexão espectral é apresentada na Figura 6. O papel branco comum foi escolhido por fazer parte do dia-a-dia dos projetistas, sem a necessidade de adquirir outro tipo de material como referência.



Fonte: <http://www.lpi.usra.edu>

Figura 5 - Espectrômetro ALTA II

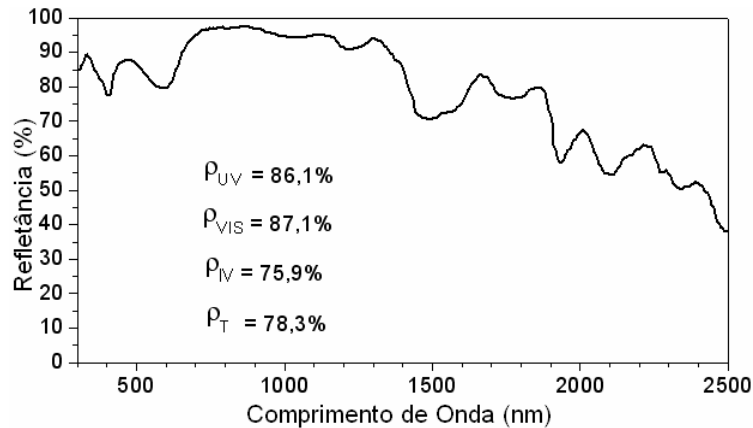


Figura 6 - Curva de refletância espectral do papel branco Ripax 75 g/m²

Para determinar a refletância das amostras para cada um dos 11 comprimentos de onda, adotou-se o seguinte procedimento:

- mede-se a voltagem de fundo do equipamento, colocando-se o espectrômetro sobre uma superfície qualquer, sem deixar que o sensor seja atingido por qualquer fonte de energia luminosa. Essa é a etapa de calibração do equipamento;
- medem-se as voltagens, em cada comprimento de onda, para a amostra de referência (papel branco), anotando-se os dados em uma planilha;
- medem-se as voltagens das demais amostras, para cada comprimento de onda. Recomenda-se que as medidas sejam repetidas três vezes, para dar maior confiabilidade aos valores indicados pelo equipamento; e
- faz-se o cálculo da refletância de cada amostra com os dados obtidos nas etapas *a*, *b* e *c*, a partir da Equação (6):

$$\rho_{\text{amostra}} = \left(\frac{V_{\text{amostra}} - V_{\text{fundo}}}{V_{\text{referência}} - V_{\text{fundo}}} \right) \times \rho_{\text{referência}} \quad (6)$$

Sendo:

ρ_{amostra} = refletância da amostra, para cada comprimento de onda (%);

V_{amostra} = voltagem da amostra (mV), para cada comprimento de onda;

V_{fundo} = voltagem de fundo (mV);

$V_{\text{referência}}$ = voltagem da amostra de referência (mV); e

$\rho_{\text{referência}}$ = refletância da amostra de referência, para cada comprimento de onda (%).

A partir dos dados obtidos com o espectrômetro ALTA II, procurou-se verificar se as refletâncias das amostras poderiam ser estimadas sem a necessidade de se utilizar o espectrofotômetro. Por

meio de análises de regressão, foram identificadas equações que relacionassem as refletâncias medidas no espectrofotômetro para diferentes intervalos do espectro, com os valores de refletância obtidos com o ALTA II, para as 78 amostras estudadas. Aqui as amostras também foram separadas em dois grupos devido à diferença observada entre suas composições químicas e seus comportamentos espectrofotométricos. Foram obtidas equações para as tintas com acabamento fosco (Equações 7 e 8) diferentes das equações obtidas para as tintas com acabamento semibrilho (Equações 9 e 10). As equações permitem estimar as refletâncias para a faixa visível (380 nm a 780 nm) e para o espectro solar total (300 nm a 2.500 nm).

Seguem as equações:

- Tintas com acabamento fosco:

$$\rho_{\text{VIS}} = -3,6592 + 0,8632 \cdot \rho_{\text{Med}} + 0,2566 \cdot \rho_{470} - 0,6508 \cdot \rho_{560} + 1,5302 \cdot \rho_{585} - 1,0333 \cdot \rho_{600} \quad (7)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão: $SD = 2,67$

$$\rho_{\text{T}} = 1,4753 + 1,5186 \cdot \rho_{\text{Med}} - 0,2326 \cdot \rho_{525} - 1,1804 \cdot \rho_{645} + 0,7375 \cdot \rho_{700} \quad (8)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,98$

Desvio padrão: $SD = 3,29$

Sendo:

ρ_{VIS} = refletância estimada para a faixa visível do espectro (%);

ρ_{T} = refletância estimada para o espectro solar total (%);

ρ_{Med} = refletância média obtida no ALTA (%);

ρ_{470} = refletância obtida no ALTA para 470 nm (%);

ρ_{525} = refletância obtida no ALTA para 525 nm (%);

ρ_{560} = refletância obtida no ALTA para 560 nm (%);

ρ_{585} = refletância obtida no ALTA para 585 nm (%);

ρ_{645} = refletância obtida no ALTA para 645 nm (%); e

ρ_{700} = refletância obtida no ALTA para 700 nm (%).

(b) Tintas com acabamento semibrilho:

$$\rho_{VIS} = -1,6787 - 0,2029 \cdot \rho_{Med} + 0,5050 \cdot \rho_{470} - 0,6841 \cdot \rho_{560} + 1,5913 \cdot \rho_{585} - 1,5325 \cdot \rho_{600} + 1,3215 \cdot \rho_{645} \quad (9)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão: $SD = 1,53$

$$\rho_T = -1,3517 + 0,2744 \cdot \rho_{525} - 0,3889 \cdot \rho_{560} + 0,1243 \cdot \rho_{735} - 1,9794 \cdot \rho_{880} + 2,7182 \cdot \rho_{940} \quad (10)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão: $SD = 1,67$

Sendo:

ρ_{VIS} = refletância na faixa visível do espectro (%);

ρ_T = refletância no espectro solar total (%);

ρ_{Med} = refletância média obtida no ALTA (%);

ρ_{470} = refletância obtida no ALTA para 470 nm (%);

ρ_{525} = refletância obtida no ALTA para 525 nm (%);

ρ_{560} = refletância obtida no ALTA para 560 nm (%);

ρ_{585} = refletância obtida no ALTA para 585 nm (%);

ρ_{600} = refletância obtida no ALTA para 600 nm (%);

ρ_{645} = refletância obtida no ALTA para 645 nm (%);

ρ_{735} = refletância obtida no ALTA para 735 nm (%);

ρ_{880} = refletância obtida no ALTA para 880 nm (%); e

ρ_{940} = refletância obtida no ALTA para 940 nm (%).

Ajuste das refletâncias ao espectro solar padrão

Os dados de refletância solar obtidos pelo espectrofotômetro caracterizam o comportamento ótico das diferentes amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro solar. Para se chegar à quantidade de energia relativa que é refletida 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 neste trabalho (ASTM, 2003). Esse espectro padrão considera a radiação hemisférica solar global, composta da radiação direta, que atinge a Terra vindo diretamente do Sol, e a radiação difusa, que sofre espalhamento pela atmosfera.

Assim, adotou-se o seguinte procedimento para o ajuste da refletância solar total das amostras ao espectro solar padrão:

(a) obtém-se a curva de intensidade relativa do espectro solar padrão, de acordo com a equação 11:

$$IR_{\lambda} = \frac{I_{(\lambda)}}{I_{MAX}} \times 100 \quad (11)$$

onde:

IR_{λ} = intensidade relativa da irradiância solar global, por comprimento de onda;

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

I_{MAX} = irradiância solar global máxima do espectro solar padrão (W/m^2);

(b) calcula-se a refletância relativa das amostras, para cada comprimento de onda:

$$R_{Rel(\lambda)} = IR_{\lambda} \times R_{\lambda} \quad (12)$$

onde:

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

IR_{λ} = intensidade relativa da irradiância solar global, por comprimento de onda; e

$R_{(\lambda)}$ = refletância medida em espectrofotômetro, por comprimento de onda (%);

(c) calcula-se a média das refletâncias relativas ($MedR_{Rel}$) de cada amostra e a média da intensidade relativa da irradiância solar global ($MedIR$), através da integração das curvas; e

(d) obtém-se a refletância solar ajustada ao espectro solar padrão, para cada amostra analisada, conforme a equação 13:

$$R_{Ajust} = \frac{Med_{R_{rel}}}{Med_{IR}} \quad (13)$$

onde:

R_{Ajust} = refletância total ajustada ao espectro solar padrão (%);

$MedR_{rel}$ = média das refletâncias relativas da amostra (%); e

Med_{IR} = média da intensidade relativa da irradiância solar global.

Apresentação dos resultados

Medições em espectrofotômetro

Nas Figuras 7 a 11 são apresentadas as curvas de refletância espectral das amostras, também chamadas de assinaturas espectrais. Para compreender o comportamento espectral das amostras em diferentes comprimentos de onda, foram obtidas refletâncias médias para cada região

do espectro solar, além de valores de refletância total (Tabela 1).

Caracterização das amostras pelos sistemas cromáticos digitais

A seguir são apresentados os parâmetros cromáticos digitais para as amostras, classificadas pelos sistemas RGB (Tabela 2) e HSL (Tabela 3), com o auxílio de um programa de edição de imagens.

Medições com o espectrômetro ALTA II

Nas figuras 12 e 13 são apresentados alguns gráficos comparativos entre refletâncias medidas em laboratório com o espectrofotômetro e as obtidas através do ALTA II, onde se observam poucas diferenças entre os valores medidos com os dois equipamentos.

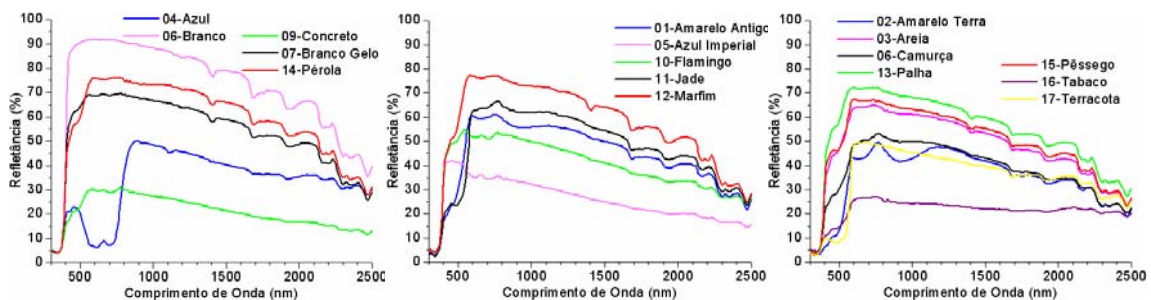


Figura 7 - Curvas de refletância espectral -Tinta acrílica fosca Metalatex

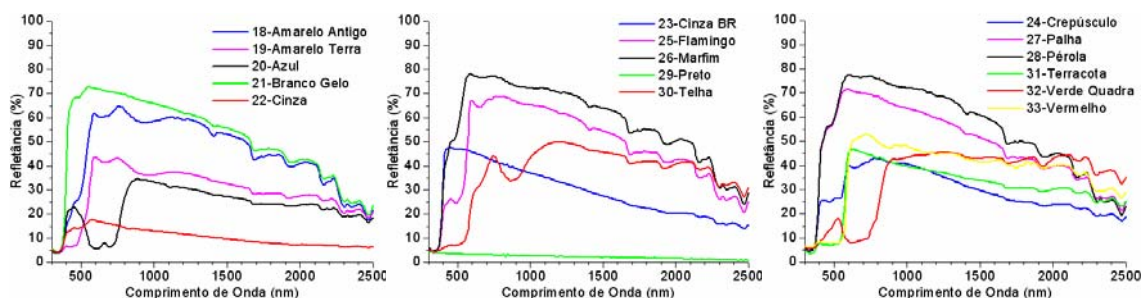


Figura 8 - Curvas de refletância espectral - Tinta acrílica semi-brilho Metalatex

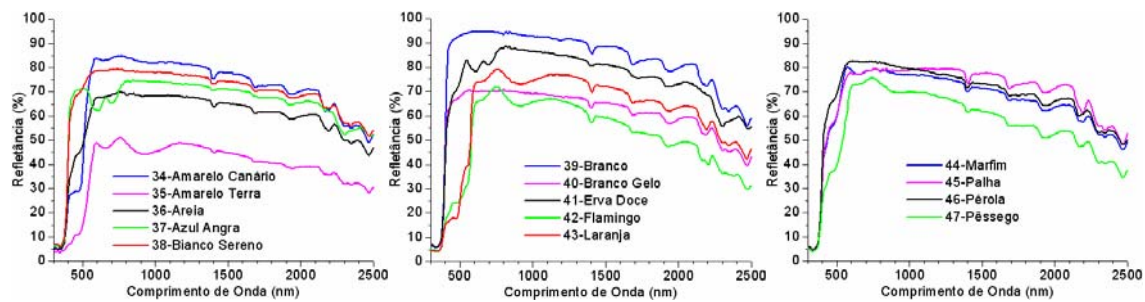


Figura 9 - Curvas de refletância espectral - Tinta Látex PVA Fosca Novacor

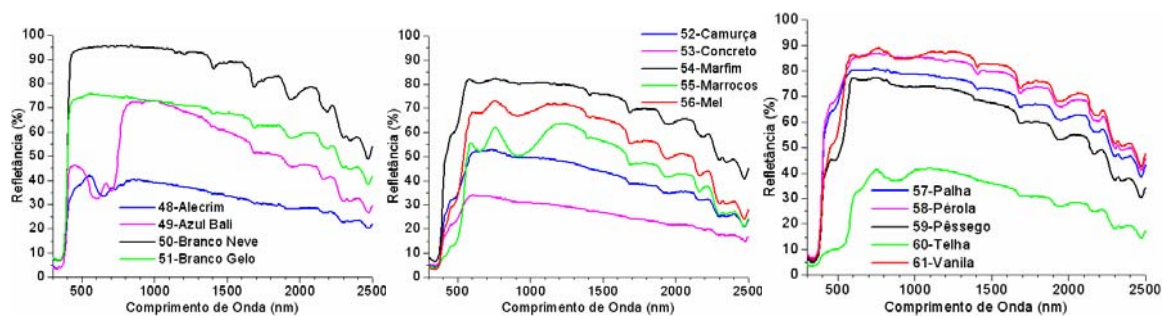


Figura 10 - Curvas de refletância espectral -Tinta acrílica fosca Suvinil

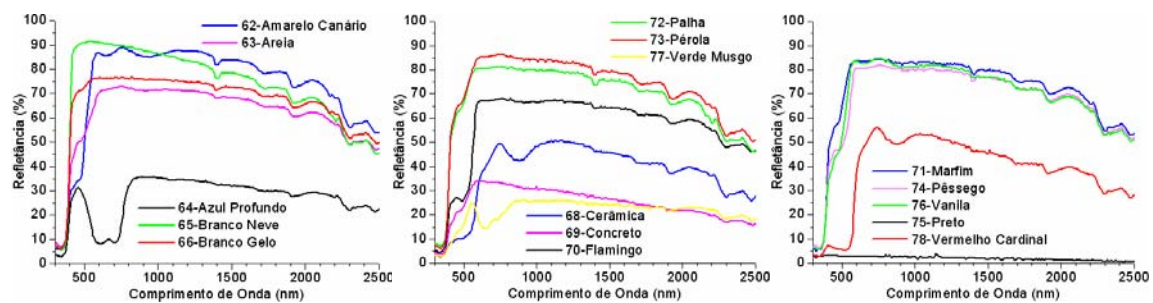


Figura 11 - Curvas de refletância espectral -Tinta Látex PVA Fosca Suvinil

Tipo	Nº	Nome Comercial	UV	VIS	IV	TOT
Metalatex Acrílica Fosca	01	Amarelo Antigo	4,0	45,3	45,4	43,9
	02	Amarelo Terra	3,3	30,4	37,4	34,9
	03	Areia	4,6	54,2	48,3	47,8
	04	Azul	4,9	13,2	39,1	33,2
	05	Azul Imperial	5,6	36,6	24,2	25,8
	06	Branco	5,1	86,0	71,6	71,8
	07	Branco Gelo	5,0	63,5	53,6	53,6
	08	Camurça	5,0	39,9	39,4	38,2
	09	Concreto	4,6	25,9	20,5	20,9
	10	Flamingo	3,9	45,0	49,5	47,0
	11	Jade	5,5	49,3	39,0	39,7
	12	Marfim	5,5	65,4	57,5	57,0
	13	Palha	5,2	63,3	54,6	54,4
	14	Pérola	4,9	66,0	59,1	58,4
	15	Pêssego	4,8	56,3	50,0	49,5
	16	Tabaco	5,0	20,6	22,4	21,4
	17	Terracota	3,9	29,9	37,7	35,0
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	4,7	46,4	46,3	44,8
	19	Amarelo Terra	4,3	28,3	30,7	29,3
	20	Azul	4,6	12,6	26,2	22,9
	21	Branco Gelo	5,7	67,0	49,6	51,1
	22	Cinza	5,0	15,2	9,4	10,3
	23	Cinza BR	5,6	43,8	26,3	28,8
	24	Crepúsculo	5,8	32,9	29,2	29,0
	25	Flamingo	5,1	47,4	49,3	47,3
	26	Marfim	5,7	65,0	57,0	56,6
	27	Palha	5,9	62,6	47,4	48,7
	28	Pérola	5,7	66,5	53,4	54,1
	29	Preto	4,0	3,3	2,0	2,3
	30	Telha	4,7	21,7	41,4	36,5
	31	Terracota	4,2	27,2	33,1	30,9
	32	Verde Quadra	5,9	11,4	41,5	34,8
	33	Vermelho	6,7	28,9	40,9	37,4
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	5,8	63,9	73,1	68,9
	35	Amarelo Terra	4,2	33,4	41,6	38,7
	36	Areia	5,9	57,1	61,9	58,9
	37	Azul Angra	7,0	65,1	67,5	64,8
	38	Bianco Sereno	7,6	72,2	70,7	68,7
	39	Branco	7,2	89,1	82,9	81,3
Tipo	Nº	Nome Comercial	UV	VIS	IV	TOT
Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	7,1	66,1	61,1	60,1
	41	Erva Doce	7,4	74,5	76,5	73,6
	42	Flamingo	5,1	46,5	54,2	51,0
	43	Laranja	4,8	50,5	66,5	61,4
	44	Marfim	5,9	67,7	67,6	65,4
	45	Palha	5,9	67,3	72,3	69,0
	46	Pérola	6,4	73,1	69,7	68,0
Suvinil Acrílica Fosca	47	Pêssego	5,3	56,6	58,1	55,9
	48	Alecrim	4,5	35,8	31,9	31,6
	49	Azul Bali	4,3	39,9	54,8	50,3
	50	Branco Neve	7,8	90,0	81,8	80,6
	51	Branco Gelo	8,1	71,5	62,9	62,5
	52	Camurça	5,1	42,7	40,1	39,3
	53	Concreto	5,7	28,4	25,0	24,9
	54	Marfim	8,0	70,7	69,6	67,6
	55	Marrocos	4,4	38,4	47,8	44,5
	56	Mel	4,1	52,2	56,9	54,1
	57	Palha	7,0	71,6	67,2	65,8
	58	Pérola	8,2	75,6	73,1	71,2
	59	Pêssego	6,3	61,5	60,8	58,9
	60	Telha	4,1	23,2	32,1	29,4
	61	Vanila	7,5	70,9	75,1	71,9
Suvinil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	6,7	67,6	77,8	73,3
	63	Areia	8,4	60,8	64,4	61,7
	64	Azul Profundo	4,0	16,9	30,5	27,1
	65	Branco Neve	7,3	86,0	72,8	72,8
	66	Branco Gelo	7,9	71,5	68,4	66,7
	67	Camurça	6,0	43,1	48,1	45,6
	68	Cerâmica	3,4	26,6	41,7	37,5
	69	Concreto	4,4	28,1	24,9	24,7
	70	Flamingo	5,8	48,4	61,0	56,7
	71	Marfim	6,5	72,0	74,6	71,6
	72	Palha	8,7	71,4	70,3	68,2
	73	Pérola	7,5	74,5	74,0	71,7
	74	Pêssego	7,5	64,8	71,9	68,3
	75	Preto	2,9	2,9	1,8	2,0
	76	Vanila	7,0	67,4	72,2	68,9
	77	Verde Musgo	3,5	16,5	23,3	21,3
	78	Vermelho Cardinal	3,6	27,8	43,0	38,8

Tabela 1 - Refletâncias médias por faixa do espectro (%), medidas em espectrofotômetro

Tipo	Nº	Nome Comercial	R	G	B	Tipo	Nº	Nome Comercial	R	G	B
Metalatex Acrílica Fosca	01	Amarelo Antigo	225	198	142	Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	235	233	225
	02	Amarelo Terra	190	151	94		41	Erva Doce	250	254	234
	03	Areia	225	206	182		42	Flamingo	233	162	135
	04	Azul	79	95	136		43	Laranja	247	176	113
	05	Azul Imperial	171	179	184		44	Marfim	248	246	204
	06	Branco	255	255	252		45	Palha	247	239	206
	07	Branco Gelo	235	234	220		46	Pérola	252	247	223
	08	Camurça	204	175	151		47	Pêssego	243	202	161
	09	Concreto	154	150	128	Suvinil Acrílica Fosca	48	Alecrim	168	181	171
	10	Flamingo	233	167	139		49	Azul Bali	162	174	191
	11	Jade	202	209	198		50	Branco Neve	255	255	252
	12	Marfim	245	239	197		51	Branco Gelo	244	246	240
	13	Palha	238	234	207		52	Camurça	203	183	155
	14	Pérola	250	243	216		53	Concreto	166	159	131
	15	Pêssego	235	210	191		54	Marfim	252	247	212
	16	Tabaco	148	123	102		55	Marrocos	211	175	92
	17	Terracota	207	108	85		56	Mel	238	205	149
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	222	197	132		57	Palha	249	244	223
	19	Amarelo Terra	184	138	63		58	Pérola	255	251	230
	20	Azul	64	85	126		59	Pêssego	250	216	186
	21	Branco Gelo	234	237	227		60	Telha	169	104	88
	22	Cinza	116	113	102		61	Vanila	255	251	198
	23	Cinza BR	186	189	190	Suvinil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	255	249	165
	24	Crepúsculo	175	138	133		63	Areia	237	218	193
	25	Flamingo	233	164	132		64	Azul Profundo	89	119	160
	26	Marfim	240	233	188		65	Branco Neve	255	255	252
	27	Palha	234	230	204		66	Branco Gelo	244	245	234
	28	Pérola	245	235	205		67	Camurça	208	186	156
	29	Preto	46	39	44		68	Cerâmica	176	104	89
	30	Telha	157	78	67		69	Concreto	169	159	132
	31	Terracota	196	86	58		70	Flamingo	238	174	142
	32	Verde Quadra	63	100	90		71	Marfim	254	251	211
	33	Vermelho	198	53	51		72	Palha	253	249	221
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	253	242	146		73	Pérola	252	248	222
	35	Amarelo Terra	201	170	93		74	Pêssego	253	222	186
	36	Areia	228	217	182		75	Preto	56	55	56
	37	Azul Angra	220	233	234		76	Vanila	254	245	186
	38	Bianco Sereno	249	249	231		77	Verde Musgo	114	144	107
	39	Branco	255	255	252		78	Vermelho Cardinal	196	73	68

Tabela 2 - Classificação das amostras pelo sistema RGB

Tipo	Nº	Nome Comercial	H	S	L	Tipo	Nº	Nome Comercial	H	S	L
Metalatex Acrílica Fosca	01	Amarelo Antigo	40	36	88	Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	48	4	92
	02	Amarelo Terra	36	50	74		41	Erva Doce	72	7	99
	03	Areia	33	19	88		42	Flamingo	17	41	91
	04	Azul	223	41	53		43	Laranja	28	54	96
	05	Azul Imperial	203	7	72		44	Marfim	57	17	97
	06	Branco	60	1	100		45	Palha	48	16	96
	07	Branco Gelo	56	6	92		46	Pérola	50	11	98
	08	Camurça	27	25	80		47	Pêssego	30	33	95
	09	Concreto	51	16	60	Suvinil Acrílica Fosca	48	Alecrim	134	7	70
	10	Flamingo	18	40	91		49	Azul Bali	215	15	74
	11	Jade	98	5	81		50	Branco Neve	60	1	100
	12	Marfim	53	19	96		51	Branco Gelo	80	2	96
	13	Palha	52	12	93		52	Camurça	35	23	79
	14	Pérola	48	13	98		53	Concreto	48	21	65
	15	Pêssego	26	18	92		54	Marfim	53	15	98
	16	Tabaco	27	30	58		55	Marrocos	42	56	82
	17	Terracota	11	58	81		56	Mel	38	37	93
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	43	40	87		57	Palha	48	10	97
	19	Amarelo Terra	37	65	72		58	Pérola	50	9	100
	20	Azul	220	49	49		59	Pêssego	28	25	98
	21	Branco Gelo	78	4	92		60	Telha	12	47	66
	22	Cinza	47	12	45		61	Vanila	56	22	100
	23	Cinza BR	195	1	74	Suvinil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	56	35	100
	24	Crepúsculo	7	23	68		63	Areia	34	18	92
	25	Flamingo	19	43	91		64	Azul Profundo	215	44	62
	26	Marfim	52	21	94		65	Branco Neve	60	1	100
	27	Palha	52	12	91		66	Branco Gelo	65	4	96
	28	Pérola	45	16	96		67	Camurça	35	25	81
	29	Preto	317	15	18		68	Cerâmica	10	49	69
	30	Telha	7	57	61		69	Concreto	44	21	66
	31	Terracota	12	70	76		70	Flamingo	20	40	93
	32	Verde Quadra	164	36	39		71	Marfim	56	16	99
	33	Vermelho	1	74	77		72	Palha	53	12	99
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	54	42	99		73	Pérola	52	11	98
	35	Amarelo Terra	43	53	78		74	Pêssego	32	26	99
	36	Areia	46	20	89		75	Preto	300	1	21
	37	Azul Angra	184	5	91		76	Vanila	52	26	99
	38	Bianco Sereno	60	7	97		77	Verde Musgo	109	25	56
	39	Branco	60	1	100		78	Vermelho Cardinal	2	65	76

Tabela 3 - Classificação das amostras pelo sistema HSL

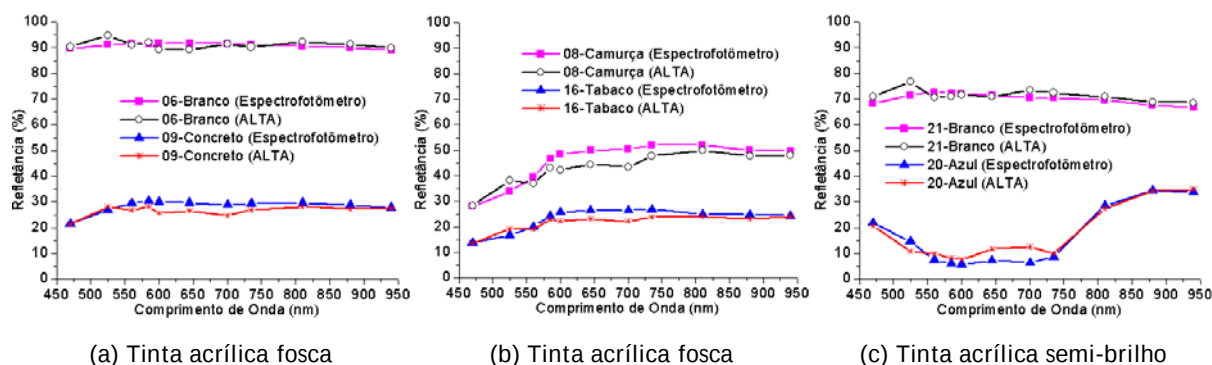


Figura 12 - Refletâncias espectrofotômetro x ALTA II - Metalatex

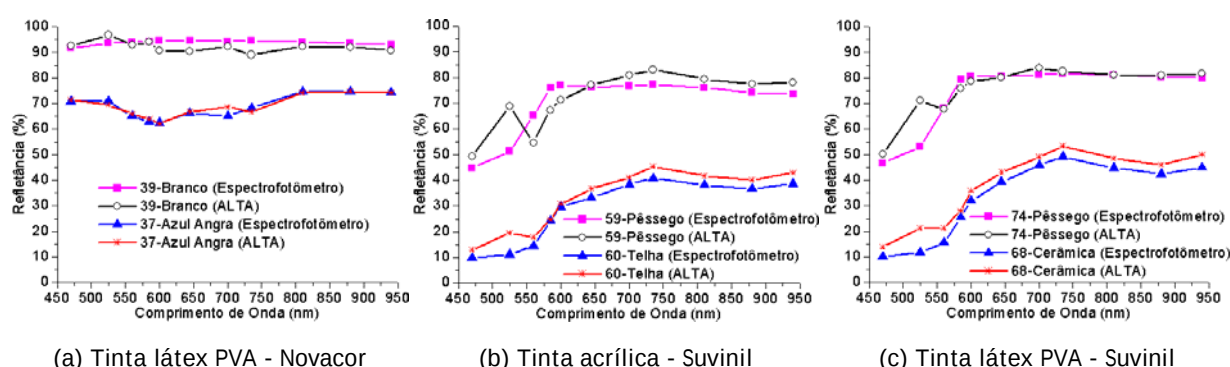


Figura 13 - Refletâncias espectrofotômetro x ALTA II - Novacor e Suvinil

Ajuste das refletâncias ao espectro solar padrão

Na Figura 14 são apresentadas algumas curvas de refletância espectral das amostras ajustadas ao espectro solar padrão, conforme método apresentado no item 3.5.

Na Tabela 4 são apresentadas as refletâncias totais das amostras, ajustadas ao espectro solar padrão definido pela ASTM (2003). Observa-se que a maioria das amostras teve um acréscimo em suas refletâncias totais, o que comprova que as superfícies se comportam de maneiras distintas ante a radiação solar. As amostras com tonalidade escura foram as que apresentaram, em geral, redução nas suas refletâncias totais quando ajustadas ao espectro solar padrão (por exemplo, amostras 04-Azul, 20-Azul, 30-Telha, 32-Verde Quadra e 33-Vermelho).

Correlações entre dados medidos e estimados

Método 1: Sistemas cromáticos digitais

A seguir são apresentadas as correlações entre refletâncias medidas em espectrofotômetro e valores estimados pelas equações de regressão para as tintas com acabamento fosco (Figura 15) e semibrilho (Figura 16), de acordo com os parâmetros cromáticos digitais da Tabela 2. As correlações foram desenvolvidas para a faixa visível e para o espectro solar total.

Método 2: Espectrômetro ALTA II

Nas Figuras 17 e 18 são apresentadas as correlações encontradas entre refletâncias medidas no espectrômetro ALTA II e valores estimados por equações de regressão, baseadas nas medições em espectrofotômetro para as amostras com acabamento fosco e semibrilho. As correlações foram desenvolvidas para a faixa visível e para o espectro solar total.

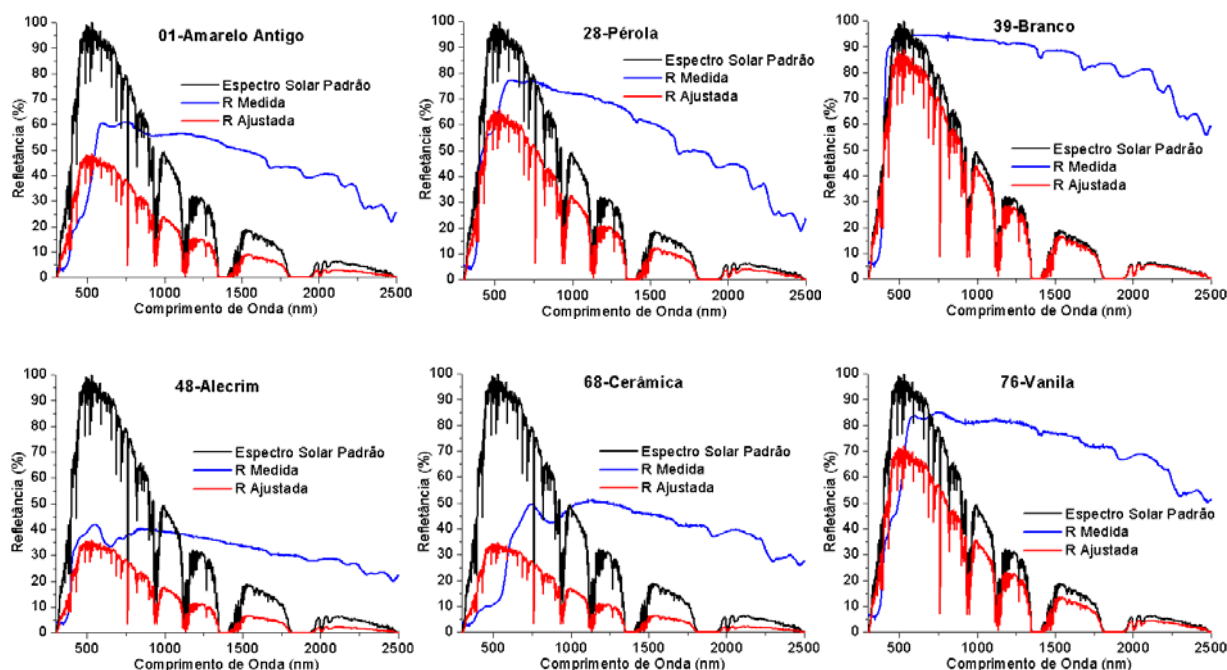
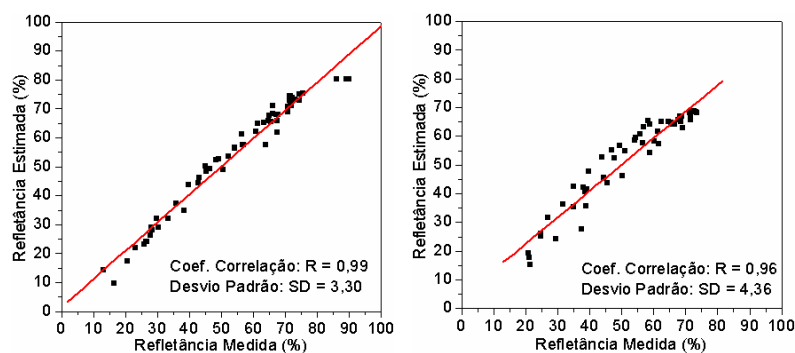


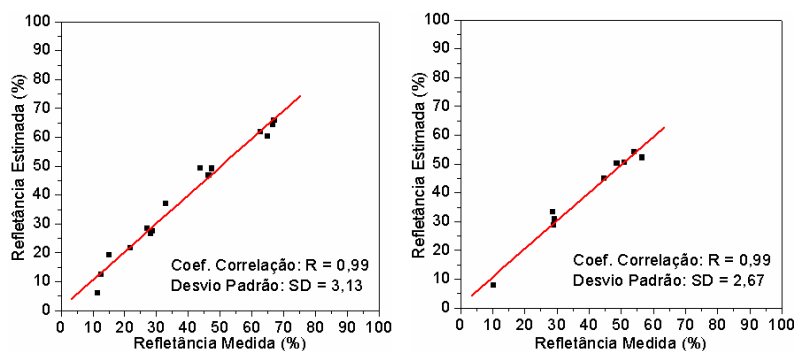
Figura 14 - Curvas de refletância espectral ajustadas ao espectro solar padrão



(a) Espectro Visível (380 a 780 nm)

(b) Espectro solar total (300 a 2.500 nm)

Figura 15 - Correlações entre refletâncias medidas e estimadas - Método 1 (Fosca)



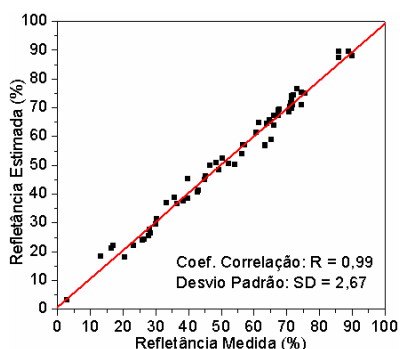
(a) Espectro Visível (380 a 780 nm).

(b) Espectro solar total (300 a 2.500 nm).

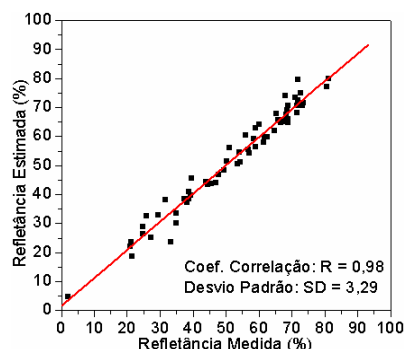
Figura 16 - Correlações entre refletâncias medidas e estimadas - Método 1 (Semibrilho)

Tipo	Nº	Nome Comercial	RT _{Esp}	RT _{Ajust}	Tipo	Nº	Nome Comercial	RT _{Esp}	RT _{Ajust}
Metalatex Acrílica Fosca	01	Amarelo Antigo	43,9	48,6	Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	60,1	66,0
	02	Amarelo Terra	34,9	35,7		41	Erva Doce	73,6	78,1
	03	Areia	47,8	55,1		42	Flamingo	51,0	53,2
	04	Azul	33,2	26,7		43	Laranja	61,4	60,1
	05	Azul Imperial	25,8	33,1		44	Marfim	65,4	70,3
	06	Branco	71,8	84,2		45	Palha	69,0	71,5
	07	Branco Gelo	53,6	62,8		46	Pérola	68,0	74,3
	08	Camurça	38,2	42,6		47	Pêssego	55,9	60,5
	09	Concreto	20,9	25,5	Suvínil Acrílica Fosca	48	Alecrim	31,6	36,0
	10	Flamingo	47,0	50,5		49	Azul Bali	50,3	51,1
	11	Jade	39,7	47,7		50	Branco Neve	80,6	89,8
	12	Marfim	57,0	66,4		51	Branco Gelo	62,5	70,3
	13	Palha	54,4	63,3		52	Camurça	39,3	44,2
	14	Pérola	58,4	67,0		53	Concreto	24,9	28,5
	15	Pêssego	49,5	57,2		54	Marfim	67,6	73,3
	16	Tabaco	21,4	21,9		55	Marrocos	44,5	45,3
	17	Terracota	35,0	35,4		56	Mel	54,1	58,2
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	44,8	50,3		57	Palha	65,8	72,8
	19	Amarelo Terra	29,3	31,4		58	Pérola	71,2	77,9
	20	Azul	22,9	20,1		59	Pêssego	58,9	65,0
	21	Branco Gelo	51,1	63,8		60	Telha	29,4	29,2
	22	Cinza	10,3	13,6		61	Vanila	71,9	76,1
	23	Cinza BR	28,8	38,9	Suvínil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	73,3	74,8
	24	Crepúsculo	29,0	34,0		63	Areia	61,7	64,3
	25	Flamingo	47,3	52,7		64	Azul Profundo	27,1	24,0
	26	Marfim	56,6	66,1		65	Branco Neve	72,8	83,8
	27	Palha	48,7	60,4		66	Branco Gelo	66,7	71,9
	28	Pérola	54,1	66,1		67	Camurça	45,6	46,8
	29	Preto	2,3	2,9		68	Cerâmica	37,5	34,7
	30	Telha	36,5	30,4		69	Concreto	24,7	28,4
	31	Terracota	30,9	31,6		70	Flamingo	56,7	55,6
	32	Verde Quadra	34,8	24,5		71	Marfim	71,6	75,5
	33	Vermelho	37,4	35,8		72	Palha	68,2	73,6
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	68,9	70,7		73	Pérola	71,7	77,1
	35	Amarelo Terra	38,7	38,6		74	Pêssego	68,3	70,2
	36	Areia	58,9	61,0		75	Preto	2,0	2,6
	37	Azul Angra	64,8	67,7		76	Vanila	68,9	72,3
	38	Bianco Sereno	68,7	73,4		77	Verde Musgo	21,3	20,2
	39	Branco	81,3	88,9		78	Vermelho Cardinal	38,8	36,7

Tabela 4 - Refletâncias totais medidas (RT_{Esp}) e ajustadas ao espectro solar padrão (RT_{Ajust}), %

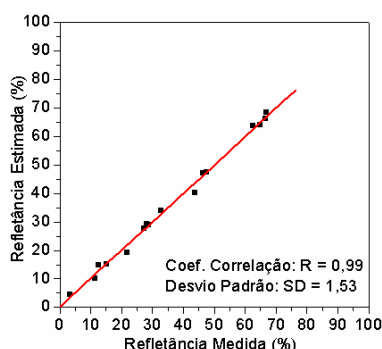


(a) Espectro Visível (380 a 780 nm)

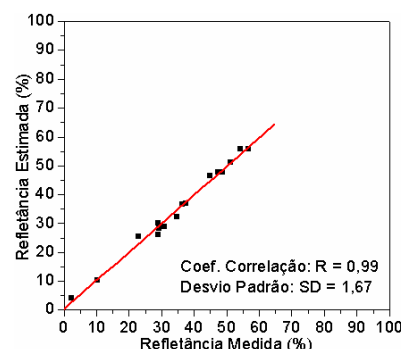


(b) Espectro solar total (300 a 2.500 nm)

Figura 17 - Correlações entre refletâncias medidas e estimadas - Método 2 (Fosca)



(a) Espectro Visível (380 a 780 nm)



(b) Espectro solar total (300 a 2.500 nm)

Figura 18 - Correlações entre refletâncias medidas e estimadas - Método 2 (Semibrilho)

Conclusões

As medições em espectrofotômetro comprovaram que as superfícies opacas comportam-se de maneira distinta nas diferentes regiões do espectro solar, o que justifica que a visão humana não é instrumento adequado para caracterizar quanto uma superfície absorve de energia proveniente do Sol. Os métodos alternativos propostos neste trabalho apresentaram resultados bastante satisfatórios, de acordo com as correlações encontradas para as 78 amostras. Observou-se, no entanto, a partir das análises de regressão, que as tintas com acabamento semibrilho não ofereceram correlações muito boas, havendo a necessidade de excluir algumas amostras com esse acabamento para melhorar essas correlações. Esse fato deve-se à sensibilidade dos equipamentos (scanner e espectrômetro ALTA II) a superfícies brilhosas. Em próximas etapas da pesquisa serão analisadas outras amostras com esse tipo de acabamento, com o intuito de aperfeiçoar as correlações encontradas até o momento e esclarecer possíveis dificuldades no uso desses equipamentos para superfícies com acabamento semibrilho. O ajuste das curvas de refletância espectral das amostras

ao espectro solar padrão permitiu observar que as superfícies absorvem de maneira distinta quando expostas à radiação solar, devido à variação de energia que chega para os diferentes comprimentos de onda ao longo do espectro solar. Esse ajuste resultou em aumento da refletância solar para a maioria das amostras. No entanto, amostras que apresentaram decréscimo em suas refletâncias totais foram, em geral, aquelas que possuem tonalidades escuras. O comportamento diferenciado dessas amostras deve ser aprofundado e esclarecido em trabalhos futuros.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (ASTM). **G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. Philadelphia, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. (ASHRAE). **ASHRAE Fundamentals Handbook**. Atlanta, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. (ASHRAE). **74-1988**: method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações - parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BERDHAL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 149-158, 1997.

CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

DORNELLES, K. A. **Um método para estimar o comportamento espectrofotométrico de superfícies opacas**. Relatório científico parcial. Processo FAPESP nº 04/11092-4. São Carlos, 2006.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. 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, 2006a.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Absortância solar de superfícies opacas: as cores enganam. In: CONFERENCIA REGIONAL LATINOAMERICANA DE LA INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY, 2., REUNIÓN DE TRABAJO DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y AMBIENTE, 29., 2006, Buenos Aires, Argentina. **Proceedings...** Buenos Aires, 2006b.

FERREIRA, F.; PRADO, R. T. A. 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, 2003.

REAGAN, J. A.; ACKLAM, D. M. Solar reflectivity of common building materials and its influences on the roof heat gain of typical southwestern US residences. **Energy and Buildings**, v. 2, 1979.

RORIZ, M.; DORNELLES, K. A. Identificação da absorptância solar de superfícies opacas a partir de imagens digitalizadas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005.

SEKER, D. Z.; TAVIL, A. Ü. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. **Building and Environment**, v. 31, n. 4, p. 393-398, 1996.

TAHA, H.; SAILOR, D.; AKBARI, H. High-albedo materials for reducing building cooling energy use. **Rep. nº LBL-31721**, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1992.

TOULOUKIAN, Y. S.; DE WITT, D. P.; HERNICZ, R. S. Thermal radiative properties. Coatings, **Thermophysical Properties of Matter**, v. 9, IFI/Plenum, New York, 1972.

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.