



IDENTIFICAÇÃO DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS POR MEIO DE ESPECTRÔMETRO DE BAIXO CUSTO

Kelen Dornelles (1); Maurício Roriz (2)

(1) Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. E-mail: kelend@fec.unicamp.br
(2) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP. E-mail: m.roriz@terra.com.br

RESUMO

O fator que exerce maior influência sobre os ganhos de calor solar de uma edificação é a absorção solar de suas superfícies externas, definida como a razão entre a energia solar absorvida pela superfície e o total da energia solar incidente sobre ela. Para inúmeros casos, particularmente em baixas latitudes, estes ganhos podem representar mais da metade da carga térmica total da edificação, exercendo forte impacto sobre suas temperaturas internas. Em superfícies opacas, a absorção corresponde à diferença entre sua refletância e a unidade. Assim, atualmente, o método mais preciso de identificação da absorção solar de uma amostra consiste em medir sua refletância em espectrofotômetro, instrumento de altíssimo custo e de difícil acesso para a maioria dos especialistas, fato que os obriga a usar tabelas simplificadas, baseadas apenas nas cores dos objetos. O presente artigo apresenta e discute um procedimento para identificar, com precisão bastante satisfatória, as absorções solares de superfícies opacas, por meio da aplicação do ALTA II, um espectrômetro de baixo custo que mede as refletâncias correspondentes a radiações em onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm. Primeiramente, as refletâncias de amostras pintadas com tintas de diversas cores foram medidas no Alta e comparadas com os valores correspondentes obtidos em espectrofotômetro. Em seguida, foram desenvolvidas equações que permitiram calcular, com base nos dados do Alta, as refletâncias para as faixas do Visível, Infravermelho-próximo e Espectro Solar Total. Todas estas equações apresentaram coeficiente de correlação acima de 0,97. A principal contribuição deste trabalho consiste na indicação de um procedimento confiável e acessível aos especialistas, que possa servir como alternativa às técnicas usuais para se obter valores de refletâncias e absorções, essas importantes propriedades dos materiais.

Palavras-chave: absorção solar; espectrômetro; refletância solar; superfícies opacas; energia solar.

ABSTRACT

The factor with major influence to solar heat gains of a building is the solar absorptance of its external surfaces, defined as the reason between the solar energy absorbed by the surface and the total of the incident solar energy. For several cases, particularly in low latitudes, these gains can represent more than 50% of the building total thermal load, with great influence over its indoor temperatures. For opaque surfaces, the absorptance corresponds to the difference between its reflectance and the unity. Nowadays, the most accurate process used to identify the solar absorptance of a sample is to measure its reflectance through a spectrophotometer, very expensive equipment difficult to be accessed for specialists. For these reasons, simplified tables based only on the object colors are used for them. This paper presents a method to identify, with a very satisfactory precision, solar absorptances of opaque surfaces using the ALTA II, a low-cost spectrometer which measures reflectances correspondent to radiations in eleven different wavelengths, between 470 and 940 nm. Firstly, reflectances of painted samples with different colors were measured using the Alta, and they were compared with correspondent values obtained by the spectrophotometer. After this, based on Alta data, equations were developed to calculate reflectances for each region of the solar spectrum: Visible, Infrared, and Total. These equations presented correlation coefficients over to 0.97. The main contribution of this work is to indicate a trustworthy and accessible procedure to specialists, which will be useful as an alternative to usual techniques to obtain reflectances and absorptances.

Keywords: solar absorptance; spectrometer; solar reflectance; opaque surfaces; solar energy.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte do território brasileiro está sujeita à intensa e abundante insolação durante a maior parte do ano, o que influí diretamente na carga térmica dos edifícios. 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 (DORNELLES; RORIZ, 2004). Entre essas propriedades, a característica que exerce maior influência sobre os ganhos de calor solar da envoltória de um edifício é a absorção solar, definida como a razão entre a energia solar absorvida pela superfície e o total da energia solar incidente. As absorções das superfícies expostas ao Sol determinam o impacto da radiação solar na edificação, pois indicam qual fração da energia solar que chega à edificação é realmente absorvida por seu envelope, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas. O conhecimento, portanto, das absorções é indispensável para a avaliação do comportamento térmico e do consumo energético das edificações.

Apesar de reconhecer a importância dessa propriedade, a literatura especializada não a tem tratado com a profundidade e o rigor que seriam desejáveis. A grande maioria dos autores oferece somente uma pequena relação de absorções, apresentadas em função das cores das superfícies, sendo esses dados bastante genéricos, imprecisos e desatualizados. Da mesma forma, os fabricantes de tintas e revestimentos não divulgam essa informação. Como exemplo de informações imprecisas encontradas na literatura técnica com relação à absorção solar de superfícies opacas, a tabela 1 reúne alguns dados publicados no Brasil e exterior.

Tabela 1 - Valores compilados de absorção solar (α).

ACABAMENTO SUPERFICIAL	ABSORÇÃO SOLAR (α)						
	Rivero (1986)	Szokolay (1987)	Mascaró (1991)*	Frota e Schiffer (1995)**	Lamberts, Dutra e Pereira (1997)	ASHRAE (2001)	ABNT (2005)
PINTURA:							
Escuras	0,85-0,98	---	0,70-0,85	---	0,70-0,90	0,65-0,80	---
Médias	0,65-0,80	---	0,50-0,70	---	0,50-0,70	---	---
Claras	0,25-0,50	---	0,30-0,50	---	0,20-0,50	---	---
Preta	---	0,96	0,92-0,96	0,90-1,00	---	0,85-0,98	0,97
Vermelha	---	---	0,65-0,90	0,30-0,70	---	0,65-0,80	0,74
Amarela	---	---	0,30-0,70	0,30-0,50	---	0,50-0,70	0,30
Branca	---	0,30	0,05-0,15	0,20-0,30	---	0,23-0,49	0,20
TIPO DE SUPERFÍCIE:							
Pinturas betuminosas	0,85-0,98	0,90	---	---	---	---	0,85-0,98
Concreto aparente	0,65-0,70	0,55	0,40-0,75	---	---	0,65-0,80	0,65-0,80
Tijolo cerâmico vermelho	0,65-0,80	0,54	---	0,65-0,80	---	0,65-0,80	0,65-0,80
Telhas de barro vermelho	---	0,65	---	---	---	0,65-0,80	0,75-0,80
Chapas de alumínio novas	0,40-0,65	---	0,30-0,40	---	---	0,40-0,65	0,05
Aço galvanizado (novas)	0,40-0,65	---	---	0,40-0,65	---	0,40-0,65	0,25

* MASCARÓ (1991) cita CINTRA DO PRADO (1961). Os dados publicados por Mascaró foram de Refletância Solar (ρ), sendo transformados na tabela acima em Absorção Solar ($\alpha = 1-\rho$)

** FROTA e SCHIFFER (1995) citam CROISET (1972) para cores de pinturas e KOENIGSBERGER et al. (1977) para cores de diferentes superfícies.

Nota-se que a maioria dos autores considera intervalos de absorção solar com grande amplitude, sem especificar exatamente o tom da cor mencionada. Como exemplo desta situação, pode-se observar o intervalo de variação da absorção solar para as cores amarela e vermelha (0,30 a 0,70), para superfícies em concreto aparente (0,40 a 0,80) e para o tijolo cerâmico vermelho (0,54 a 0,80). Desta forma, a interpretação dos acabamentos quanto à tonalidade torna-se bastante subjetiva.

Especificamente no livro de Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a absorção solar está dividida em apenas três grupos: cores escuras, médias e claras, sem especificar a cor ou acabamento considerados. Além desses aspectos, a maioria dos autores não cita a fonte dos dados publicados que, geralmente, são compilados a partir de uma mesma base internacional de dados, já consagrada há décadas no meio acadêmico. Mascaró (1991) apresenta dados obtidos na década de 60 e Frota e Schiffer (1995) divulgam dados internacionais publicados em 1972 e 1977, bastante defasados. Do mesmo modo, os dados de refletância publicados na NBR 15220-3 pela ABNT (2005) são, aparentemente, uma compilação dos valores apresentados na tabela 1. Embora equivocada, esta simplificação ainda é adotada mesmo em importantes documentos considerados como referência internacional, como é o caso, por exemplo, dos Fundamentos da ASHRAE (2001). Consagrhou-se, dessa maneira, o conceito de que a absorção seria crescente na medida em que as cores fossem mais escuras. A cor, no entanto, é apenas uma sensação visual, não sendo um indicador confiável das propriedades físicas de uma superfície. Há mais de 300 anos, Newton já sabia que as radiações não têm cor. Cores não existem na natureza, são apenas sensações visuais e podem variar entre diferentes observadores, não sendo indicadores confiáveis das propriedades físicas de um corpo.

A intensidade da radiação solar não é constante ao longo do espectro e sua distribuição depende das condições atmosféricas, nebulosidade e presença de vapor de água. A maior parte dessa radiação, entretanto, está distribuída na faixa de 300 a 2500 nm, em diferentes proporções. Para servir de referência, a American Society for Testing and Materials (ASTM, 2003), com base em séries de dados medidos, definiu um espectro solar padrão, indicando a intensidade correspondente a cada comprimento de onda. Na figura 1 este padrão é comparado com a curva de sensibilidade do olho humano, que também varia em diferentes comprimentos de onda.

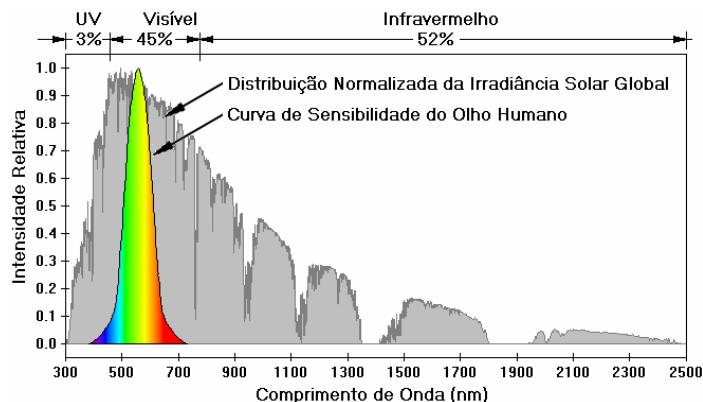


Figura 1: Espectro solar padrão e sensibilidade da visão humana (RORIZ; DORNELLES, 2005).

Como a refletância varia em função do comprimento de onda dos raios incidentes, o comportamento óptico de cada superfície pode ser representado por uma curva de distribuição de suas refletâncias ao longo do espectro solar. Uma refletância média pode ser calculada, para um intervalo específico ou para todo o espectro, através da integração da curva. Os raios refletidos na faixa visível são captados pelo olho e provocam as sensações cromáticas. A visão humana, entretanto, percebe apenas uma estreita gama de radiações (Figura 1), motivo pelo qual não proporciona uma informação confiável sobre a refletância ou a absorção solar de um objeto.

Assim, torna-se de grande necessidade a divulgação de valores de absorção solar mais exatos e atualizados. O método mais preciso para identificar a absorção de uma superfície é medir sua refletância por meio de um espectrofotômetro, recurso de difícil acesso para os projetistas. Para facilitar a obtenção de dados de absorção solar, este artigo apresenta e discute um procedimento para identificar, com precisão bastante satisfatória, as absorções solares de superfícies opacas por meio da aplicação do ALTA II, um espectrômetro que mede as refletâncias correspondentes a radiações em onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm. Este equipamento foi escolhido como alternativa ao espectrofotômetro por possuir baixo custo e apresentar resultados mais confiáveis e realistas do que os apresentados em tabelas de absorções publicadas até o momento.

2. METODOLOGIA

2.1 Amostras Ensaiadas

Para a confecção das amostras, foram selecionadas diversas cores de tintas de um mesmo fabricante, comumente utilizadas em fachadas externas de edifícios no Brasil. As cores foram selecionadas a partir de um catálogo de cores básicas de tintas do tipo látex acrílica e látex PVA, produzidas pela indústria Sherwin Williams. Apesar de serem recomendadas apenas para uso interno por apresentarem menor resistência às intempéries, as tintas do tipo látex PVA também foram escolhidas porque possuem um custo mais baixo que as acrílicas e, por esse motivo, são freqüentemente utilizadas na pintura externa de edifícios. Além disso, procurou-se observar eventuais diferenças na refletância de tintas que possuem diferentes composições químicas, porém com mesma cor superficial.

Para se obter resultados mais próximos àqueles de uma superfície real, as amostras foram confeccionadas com pastilhas cerâmicas no tamanho de 35 x 35 mm, com superfície lisa para evitar o efeito da rugosidade nos resultados de refletâncias. As pastilhas foram pintadas com uma demão de tinta na cor cinza claro como cor de fundo, para evitar o efeito da cor escura da cerâmica nos resultados, seguida de duas demãos de tinta da cor a ser analisada, com intervalo mínimo de duas horas entre demãos. Tomou-se o cuidado de se obter amostras com superfícies homogêneas, predominando a cor da tinta considerada. O formato quadrado das pastilhas apresenta uma melhor adequação ao suporte do espectrofotômetro, permitindo melhor fixação e assegurando maior estabilidade quanto ao manuseio no momento de ensaiá-las. Além das tintas PVA e acrílica, também foram obtidas curvas de refletância para a pastilha cerâmica sem nenhum tipo de acabamento superficial e para folhas de papel branco comum, comumente utilizado em escolas e escritórios.

2.2 Medições Laboratoriais

Foram realizados diversos ensaios laboratoriais das amostras, através de análises óticas em espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G, de acordo com os padrões definidos pela norma ASHRAE (1988). Esse espectrofotômetro foi escolhido porque varre a região espectral relativa ao ultravioleta, visível e infravermelho-próximo, na faixa de operação entre 185 nm e 3300 nm, possibilitando escolher as regiões do espectro que interessam. As amostras foram ensaiadas a cada 1nm, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar que apresenta maior concentração de energia proveniente do Sol, de acordo com o espectro solar padrão definido pela ASTM (2003). Este intervalo foi subdividido em três partes, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho-próximo (780 a 2500 nm). A análise por regiões do espectro normalmente não é feita na literatura especializada, onde são apresentados dados referentes apenas à refletância no visível. A maioria dos autores considera que a refletância no visível se repete para as outras regiões do espectro solar, induzindo o projetista a erros. Análises realizadas em outros trabalhos já mostraram que diferentes cores refletem de maneira bastante distinta para as três regiões do espectro solar (CASTRO, 2002; RORIZ e DORNELLES, 2005; DORNELLES, 2006). Assim, dados de absorção apenas na região do visível podem enganar, pois não representam efetivamente o quanto uma superfície reflete ou absorve de calor solar.

2.3 Espectrômetro ALTA II

O espectrômetro ALTA II (Figura 2) mede as refletâncias correspondentes a radiações em onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 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. 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 detrás do equipamento, dispostas em círculo, e o sensor que detecta a quantidade de energia que é refletida de volta está localizada no centro desta circunferência. Na parte frontal do equipamento há uma tela que indica o quanto de energia foi refletida de volta.



Figura 2: Espectrômetro ALTA II.

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. Neste caso, deve-se adotar como referência dados obtidos em espectrofotômetro para uma determinada superfície, de preferência uma que apresente elevada refletância. Neste trabalho, adotou-se como referência uma folha de papel branco comum (papel branco Ripax, 75g/m²), cuja curva de reflexão espectral é apresentada na figura 5c. 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.

Para determinar a refletância das amostras para cada um dos 11 comprimentos de onda, foi adotado 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.
- Faz-se o cálculo da refletância de cada amostra com os dados obtidos nas etapas *a*, *b* e *c*, a partir da equação 1:

$$\rho_{\text{amostra}} = \left(\frac{V_{\text{amostra}} - V_{\text{fundo}}}{V_{\text{referência}} - V_{\text{fundo}}} \right) \times \rho_{\text{referência}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

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

V_{amostra} = voltagem da amostra (mV);

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

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

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

O espectrômetro ALTA II foi inicialmente desenvolvido para fins pedagógicos pelo Lunar and Planetary Institute, localizado em Houston, Texas (EUA). Entretanto, análises iniciais realizadas neste trabalho indicam que o ALTA II pode ser uma ferramenta bastante confiável para pesquisadores e profissionais que necessitam de dados de refletância de superfícies opacas, sem ter que dispor apenas de tabelas simplificadas baseadas somente na refletância visível de algumas cores.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 Análises em Espectrofotômetro

Ao todo, foram ensaiadas 37 amostras, divididas em quatro grupos para facilitar as análises (Tinta Acrílica semi-brilho, Tinta Acrílica fosca, Tinta Látex PVA e Materiais Diversos). Nas figuras 3, 4 e 5 são apresentadas as curvas de refletância espectral das amostras, também chamadas de “assinaturas espetrais”. Foram obtidas refletâncias médias em cada região do espectro solar além de valores de refletância total, com o intuito de se compreender o comportamento espectral das superfícies em diferentes faixas de comprimentos de onda (Tabela 2).

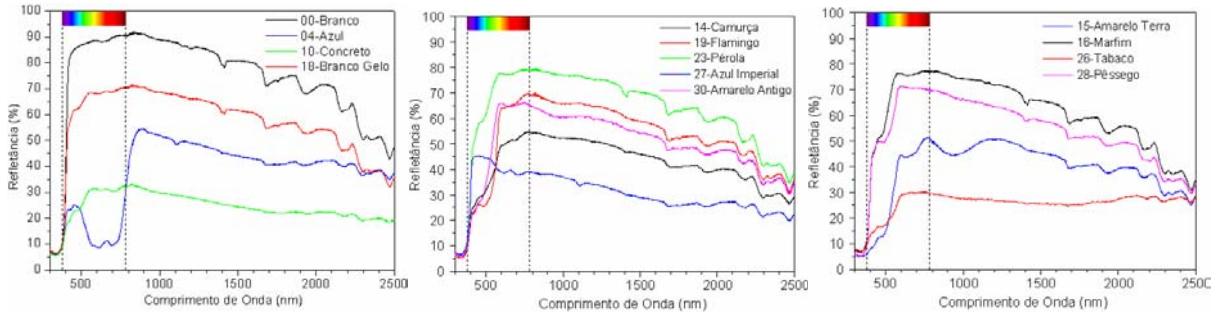


Figura 3: Curvas de refletância espectral das amostras de tinta acrílica fosca.

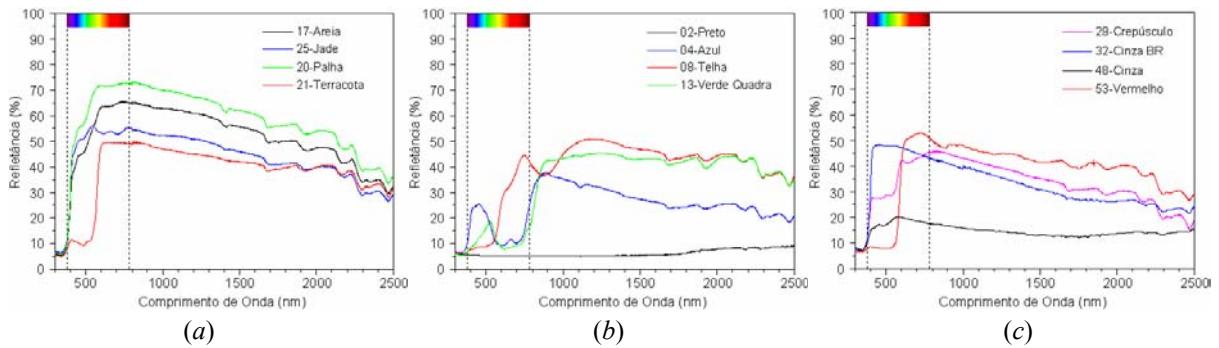


Figura 4: Curvas de refletância espectral das amostras de tinta acrílica fosca (a) e semi-brilho (b e c).

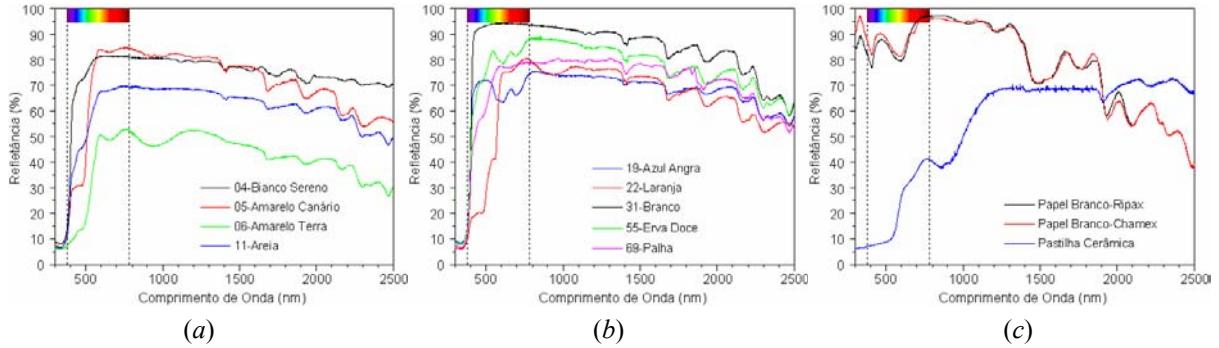


Figura 5: Curvas de refletância espectral das amostras de tinta látex PVA (a e b) e materiais diversos (c).

As curvas de reflexão fornecidas pelo espectrofotômetro apresentam um comportamento semelhante para as diferentes regiões do espectro solar, com pequena reflexão na região ultravioleta, maior reflexão na região visível correspondente ao comprimento de onda mais próximo da cor analisada e um decréscimo ao longo do infravermelho próximo (entre 780 e 2500 nm). Quando analisadas comparativamente, as tintas acrílicas apresentaram menor refletância ao longo de todo o espectro do que as tintas látex PVA, para uma mesma cor e mesmo tipo de acabamento, como, por exemplo, para as amostras n° 1 e 32 (cor branca), amostras n° 7 e 29 (cor areia) e amostras n° 10 e 34 (cor palha).

A diferenciação no tipo de acabamento de uma mesma tinta (fosco ou semi-brilho) também interfere no comportamento espectrofotométrico da mesma. A cor Azul (amostras n° 2 e 19) apresentou grande diferença entre as refletâncias na região do infravermelho (fosco: $\rho_{IV} = 43,9\%$ e semi-brilho: $\rho_{IV} = 27,4\%$). Apesar de apresentarem refletâncias praticamente iguais na faixa visível (ou seja, aparência semelhante), suas refletâncias totais diferem em cerca de 13%. Daí o cuidado que se deve ter ao escolher uma cor de tinta apenas por sua aparência, pois o tipo de acabamento da tinta escolhida pode modificar consideravelmente os ganhos de calor solar da superfície.

Tabela 2 – Refletâncias médias por faixa do espectro (%), medidas em espectrofotômetro.

Tipo	Nº	Cor	Nome Comercial	UV	VIS	IV	Total
Tinta Acrílica Fosca	1		00-Branco	6,7	83,4	75,0	74,1
	2		04-Azul	6,8	15,5	43,9	37,4
	3		10-Concreto	6,4	27,4	24,5	24,4
	4		14-Camurça	6,8	41,1	43,4	41,7
	5		15-Amarelo Terra	5,2	31,9	41,8	38,7
	6		16-Marfim	7,7	65,3	60,4	59,4
	7		17-Areia	6,4	54,4	51,8	50,6
	8		18-Branco Gelo	7,3	63,6	57,3	56,7
	9		19-Flamingo	6,0	47,0	55,0	51,8
	10		20-Palha	7,0	63,4	58,0	57,1
	11		21-Terracota	5,8	30,8	41,1	37,9
	12		23-Pérola	6,9	67,8	64,4	62,9
	13		25-Jade	7,5	50,8	43,4	43,4
	14		26-Tabaco	7,8	23,6	27,0	25,6
	15		27-Azul Imperial	7,8	40,0	29,3	30,5
	16		28-Pêssego	6,4	59,9	53,8	53,2
	17		30-Amarelo Antigo	6,9	50,0	51,0	49,2
Tinta Acrílica Semi-brilho	18		02-Preto	5,9	5,3	6,5	6,3
	19		04-Azul	7,2	15,8	27,4	24,6
	20		08-Telha	6,3	22,6	43,9	38,6
	21		13-Verde Quadra	5,9	11,4	41,5	34,8
	22		29-Crepúsculo	7,8	35,2	33,3	32,7
	23		32-Cinza BR	7,8	45,1	30,7	32,5
	24		48-Cinza	7,9	18,0	14,1	14,6
	25		53-Vermelho	6,7	28,9	40,9	37,4
Tinta Látex PV/A	26		04-Bianco Sereno	9,3	74,6	75,8	73,2
	27		05-Amarelo Canário	7,6	64,5	72,2	68,4
	28		06-Amarelo Terra	6,3	35,5	43,4	40,6
	29		11-Areia	7,6	57,4	62,5	59,6
	30		19-Azul Angra	9,5	66,0	68,8	66,2
	31		22-Laranja	6,8	52,2	68,2	63,1
	32		31-Branco	9,0	89,2	83,6	81,9
	33		55-Erva Doce	9,0	75,2	77,8	74,8
Diversos	34		69-Palha	7,6	67,4	73,1	69,7
	35		Cerâmica	6,6	21,9	64,6	54,7
	36		Papel Branco Ripax	86,1	87,1	75,9	78,3
	37		Papel Branco Chamex	92,8	88,4	75,5	78,5

3.2 Medições com Espectrômetro ALTA II

Com o auxílio do espectrômetro ALTA II, as 37 amostras tiveram suas refletâncias determinadas para 11 diferentes comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm, a partir da equação 1. Nas figuras 6 e 7, são apresentados alguns gráficos comparativos das refletâncias obtidas em espectrofotômetro e as obtidas com o ALTA II.

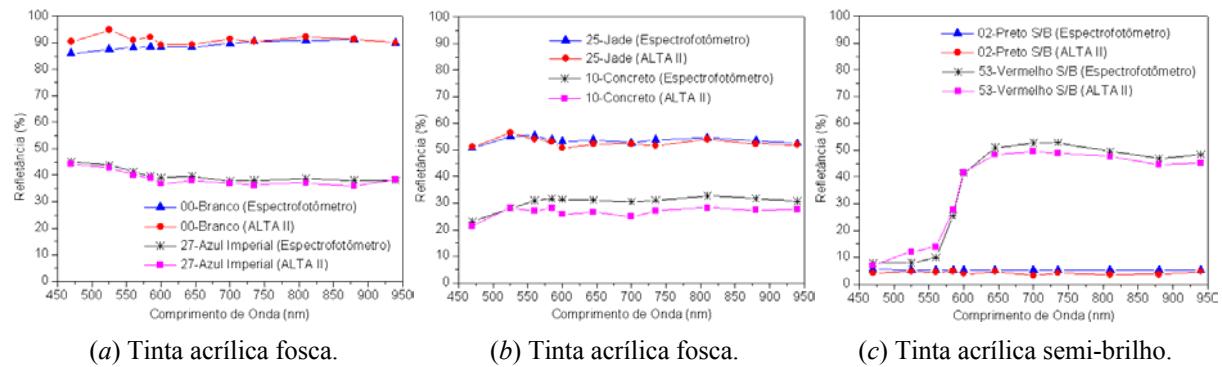


Figura 6: Refletâncias espectrofotômetro x ALTA II - Tinta acrílica fosca (a e b) e semi-brilho (c).

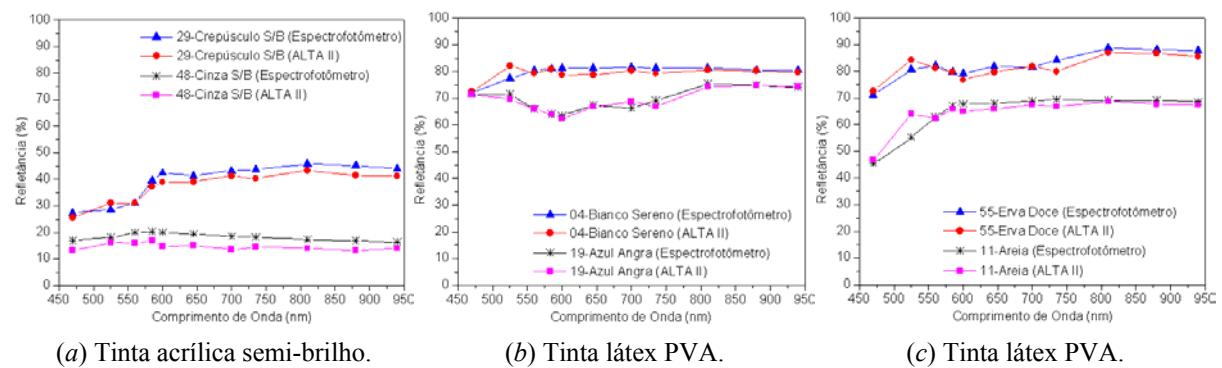


Figura 7: Refletâncias espectrofotômetro x ALTA II - Tinta acrílica semi-brilho (a) e látex PVA (b e c).

Os gráficos acima (Figuras 6 e 7) mostram pequenas diferenças entre os dados medidos em laboratório e os dados obtidos com o ALTA II, indicando que este equipamento pode ser utilizado como alternativa às técnicas usuais para medir refletâncias de superfícies opacas.

4. CORRELAÇÕES ENTRE DADOS DO ESPECTROFOTÔMETRO E DO ALTA II

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 espectrofotômetros. 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 37 amostras estudadas.

4.1 Estimativa da Refletância na Faixa Visível (ρ_{VIS})

Para estimar a refletância no intervalo visível do espectro foi obtida a seguinte equação:

$$\rho_{VIS} = 5,12695 + 0,25417 * \rho_{470} + 0,6542 * \rho_{585} \quad (\text{Eq. 2})$$

Coeficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão = 2,98

Sendo:

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

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

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

4.2 Estimativa da Refletância na Faixa do Infravermelho-próximo (ρ_{IV})

Para estimar a refletância no intervalo do infravermelho-próximo foi obtida a seguinte equação:

$$\rho_{IV} = -4,67681 - 4,07979 * \rho_{880} + 5,0742 * \rho_{940} \quad (\text{Eq. 3})$$

Coeficiente de correlação: $R = 0,98$

Desvio padrão = 4,03

ρ_{IV} = refletância na faixa do infravermelho-próximo (%);

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

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

4.3 Estimativa da Refletância Solar Total (ρ_T)

Para estimar a refletância em relação ao espectro solar total foi obtida a seguinte equação:

$$\rho_T = -2,77973 + 0,12132 * \rho_{735} - 2,76324 * \rho_{880} + 3,57391 * \rho_{940} \quad (\text{Eq. 4})$$

Coeficiente de correlação: $R = 0,99$

Desvio padrão = 3,26

ρ_T = refletância no espectro solar total (%);

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

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

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

A figura 8 indica as primeiras correlações encontradas entre refletâncias medidas no espectrômetro ALTA II e valores estimados por equações de regressão, baseadas nas medições em espectrofotômetro para as 37 amostras estudadas.

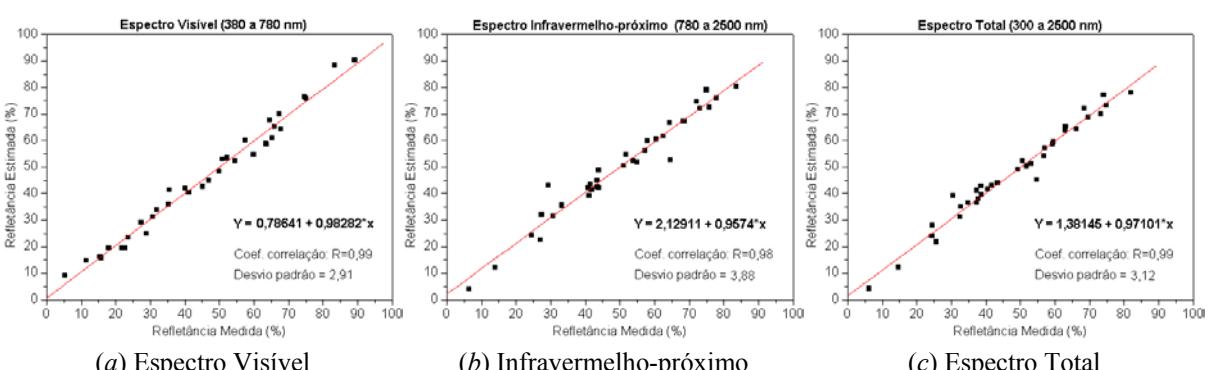


Figura 8 – Correlações no espectro visível (a), infravermelho-próximo (b) e Total (c).

5. CONCLUSÕES

Neste artigo, foi apresentado e discutido um procedimento para identificar, com precisão bastante satisfatória, as absorções solares de superfícies opacas, por meio da aplicação do espectrômetro ALTA II. Foram obtidos valores de refletância em medições laboratoriais com espectrofotômetro, cujos resultados mostraram que a percepção visual humana não é instrumento adequado para identificar esta propriedade das superfícies. Daí a necessidade de se obter métodos alternativos para medir as refletâncias e absorções de superfícies opacas. As correlações encontradas neste trabalho sugerem que o procedimento proposto é confiável e acessível aos especialistas, servindo como alternativa às técnicas usuais para se obter valores de refletâncias e absorções. Além disso, o baixo custo do ALTA II possibilita a aquisição deste equipamento por projetistas e instituições de ensino e pesquisa, sem a necessidade de adquirir espectrofotômetros de altíssimo custo, que normalmente são encontrados apenas em grandes laboratórios de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **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 fundamentals handbook**. Atlanta, 2001. CD-ROM.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **74-1988**: method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.
- CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.
- CINTRA DO PRADO, L. **Iluminação natural**. São Paulo: FAU-USP, 1961.
- CROISET, M. **L'hygrothermique dans le bâtiment**. Paris: Eyrolles Éditions, 1972.
- DORNELLES, K. A. **Um método para estimar o comportamento espectrofotométrico de superfícies opacas**. Relatório científico parcial. Processo FAPESP n° 04/11092-4. São Carlos, 2006.
- DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Thermal inertia, comfort, and energy consumption in buildings: a case study in São Paulo state - Brazil. **International Journal for Housing and its Applications**, v. 28, n. 2, p. 153-162. 2004.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.
- KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, 1997.
- MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1991.
- RORIZ, M.; DORNELLES, K. A. Identificação da absorção solar de superfícies opacas a partir de imagens digitalizadas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005.
- SZOKOLAY, S. V. **Thermal design of buildings**. Canberra: Raia Education Division, 1987.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa, ao Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (LIEC) da Universidade Federal de São Carlos e ao Instituto de Química de São Carlos (IQSC-USP) pelas medições em espectrofotômetro.