

INFLUÊNCIA DAS TINTAS IMOBILIÁRIAS SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

MSc. Eng. Kelen Almeida Dornelles¹; Prof. Dr. Maurício Roriz²

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UNICAMP, Campinas-SP.
E-mail: kelend@terra.com.br.

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFSCar, São Carlos-SP, e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UNICAMP, Campinas-SP.
E-mail: m.roriz@terra.com.br.

RESUMO:

A radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios. Entre as propriedades relacionadas aos efeitos da radiação solar nos edifícios, destaca-se a propriedade das superfícies opacas absorverem ou refletirem a radiação, função de suas absorptâncias ou refletâncias. Em uma edificação, o consumo de energia com sistemas de refrigeração pode ser significativamente reduzido limitando-se o ganho de calor solar através do envelope, o qual depende da intensidade da radiação solar incidente e da absorptância solar da superfície exposta ao Sol. Por serem os principais tipos de revestimentos utilizados na construção civil, as tintas imobiliárias exercem papel fundamental sobre a absorção de energia solar e, conseqüentemente, sobre o desempenho térmico e energético das edificações. Para divulgar dados mais precisos e coerentes com a realidade do mercado nacional de tintas, e comprovar que as cores não são indicadores confiáveis das propriedades físicas das superfícies, este trabalho apresenta dados de absorptância obtidos a partir de medições em espectrofotômetro para amostras pintadas com diferentes cores de tintas do tipo látex acrílica e PVA, para o espectro solar total (ultravioleta, visível e infravermelho-próximo). Os dados comprovam a forte influência do tipo de tinta utilizada no envelope sobre o desempenho térmico e energético das edificações, uma vez que determinam a quantidade de calor solar que será absorvida pela superfície pintada.

ABSTRACT:

Solar radiation is one of the most important contributions to the buildings thermal loads. Among the properties related to the effects of solar radiation in buildings, it is pointed out the property of opaque surfaces absorbing or reflecting radiation, according to their absorptances or reflectances. In a building, the energy consumption with cooling systems can be significantly reduced by limiting the solar heat gains through the envelope, which depends on the incident solar radiation intensity and the solar absorptance of the surface exposed to the Sun. Architectural paints are the main type of covering used by the civil construction, and they are extremely important over the absorption of solar energy and, consequently, over the thermal and energetic performance of buildings. In order to make public more precise and reliable data coherent to the Brazilian paint market, and to prove that colours are not reliable indicators of the physical properties of a surface, this work presents absorptance data obtained through spectrophotometric measurements for samples painted with different paint colours of acrylic and latex PVA paints for the total solar spectrum (ultraviolet, visible, and near-infrared). These data prove the strong influence of the paint type used on the building envelope over the thermal and energetic performance of buildings, once it determines the amount of solar heat that is absorbed by the surface.

1. 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 conseqüência, 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, portanto, torna-se um dos elementos de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura, tanto como fonte de calor 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 absorvância (α). A parcela refletida é determinada pela refletância (ρ) da superfície. Em corpos opacos, a soma da absorvância com a refletância é igual à unidade, fato que permite determinar qualquer uma dessas propriedades a partir da outra. 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.

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:

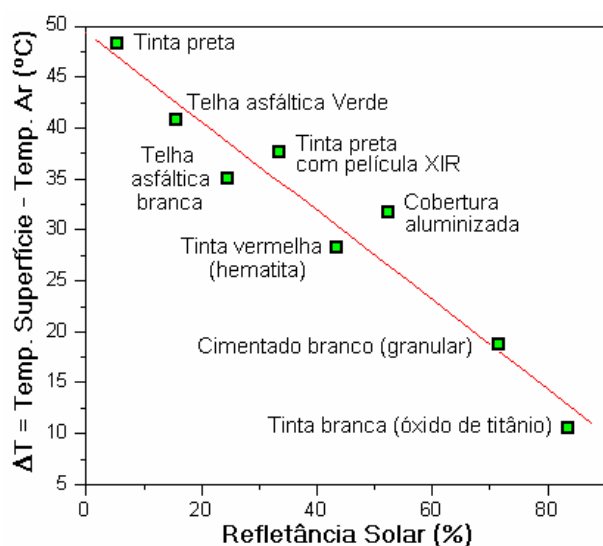


Figura 1: Temperaturas de superfícies expostas ao sol do meio-dia (adaptado de Akbari; Levinson; Berdahl, 1996).

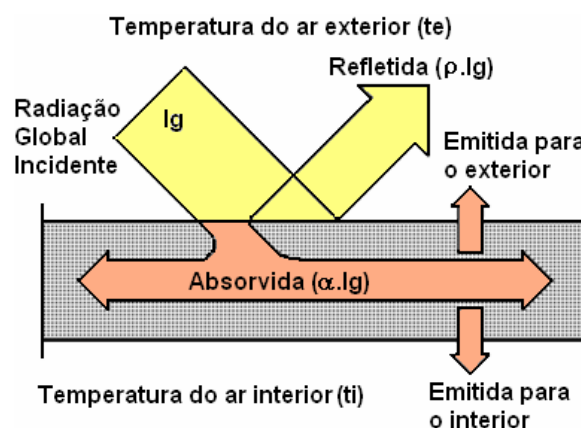


Figura 2: Trocas de calor através de vedações opacas.

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. Trata-se, assim, de uma propriedade determinante sobre a quantidade de calor absorvida pelas superfícies externas das edificações e sobre suas temperaturas internas.

Por serem os principais tipos de revestimentos utilizados na construção civil, as tintas imobiliárias exercem papel fundamental sobre a absorção de energia solar e, conseqüentemente, sobre o desempenho térmico e energético das edificações. Atualmente, a grande variedade de cores de tintas imobiliárias disponíveis no mercado tem influenciado significativamente nos projetos arquitetônicos. No entanto, os fabricantes das diversas marcas de tintas não apresentam valores de refletância ou absortância das diferentes cores que produzem. Devido à falta destes dados, o usuário escolhe a cor a ser utilizada na edificação apenas por sua percepção visual, sem dispor de dados referentes à absorção ou reflexão das diferentes tonalidades. Mesmo na literatura técnica, os dados disponíveis são desatualizados e imprecisos, dispondo de apenas alguns valores médios de absortâncias e refletâncias, 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 absortâncias 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 absortância 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 (Figura 3). 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 absortância de um objeto em relação ao espectro solar total.

Tabela 1: Cores percebidas pelo olho humano.

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

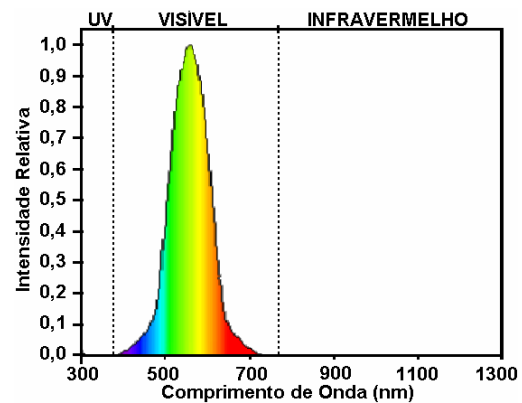


Figura 3: Curva de sensibilidade do olho humano.

A intensidade da radiação solar varia ao longo do espectro, em função do clima e das condições atmosféricas, que se modificam freqüentemente (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 4).

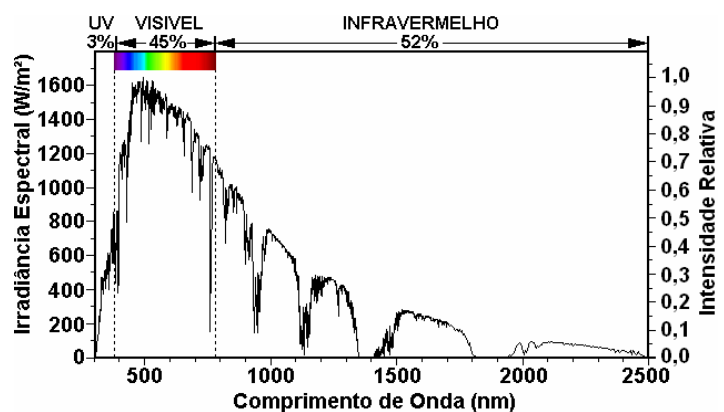


Figura 4: Espectro solar padrão (ASTM 2003).

A refletância das superfícies também varia em função do comprimento de onda dos raios incidentes. Assim, o comportamento ótico 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 5, 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.

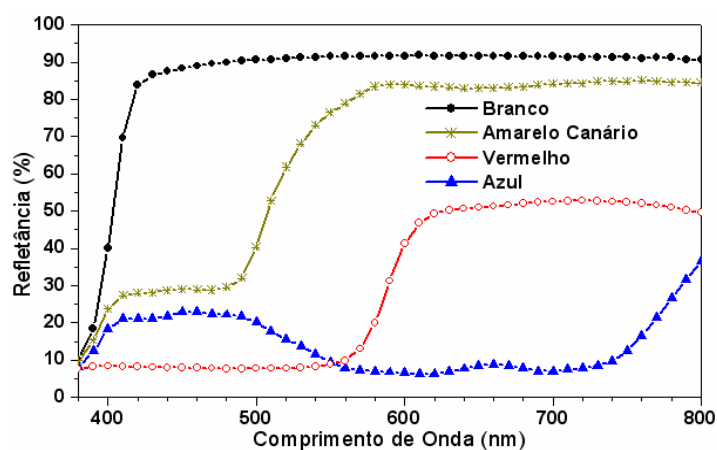


Figura 5: Curvas de refletância espectral para diferentes cores de tinta na região visível.

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 (2007).

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 se basear apenas na percepção visual.

Para divulgar dados mais precisos e coerentes com a realidade do mercado nacional de tintas, e comprovar que as cores não são indicadores confiáveis das propriedades físicas das superfícies, este trabalho apresenta dados de absortância obtidos a partir de medições em espectrofotômetro para amostras pintadas com diferentes cores de tintas do tipo látex acrílica e PVA, para o espectro solar total (ultravioleta, visível e infravermelho-próximo). Estes dados fazem parte de uma pesquisa de doutorado em andamento, que visa desenvolver um método alternativo para identificar a absortância solar de superfícies opacas (Dornelles, 2007). Os dados comprovam a forte influência do tipo de tinta utilizada no envelope sobre o desempenho térmico e energético das edificações. Como a escolha da cor da tinta não envolve custo extra, uma tinta refletiva externa é a característica arquitetônica de controle climático mais eficaz e a maneira mais viável de minimizar as cargas térmicas das edificações.

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, foco 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

Para a confecção das amostras, foram selecionadas diversas cores de tintas de diferentes fabricantes, de acordo com seu uso freqüente 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 freqüente, pois custam menos que as tintas acrílicas, e por este motivo também foram incluídas nas análises deste trabalho. Também foram selecionadas tintas com diferentes tipos de acabamento superficial (fosca e semi-brilho) 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 x 35 mm, com rugosidades superficiais semelhantes 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. A nomenclatura das cores foi adotada segundo os catálogos dos fabricantes e a cor e tonalidade aproximadas das amostras descritas na tabela 2.

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

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

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Medições em Espectrofotômetro

Nas figuras 6 a 10 são apresentadas as curvas de refletância espectral das amostras obtidas nas medições com espectrofotômetro, também chamadas de “assinaturas espectrais”, pois caracterizam em detalhe seu comportamento óptico. A refletância (ou absortância) média de cada amostra pode ser calculada para um intervalo específico ou para todo o espectro, através da integração da curva.

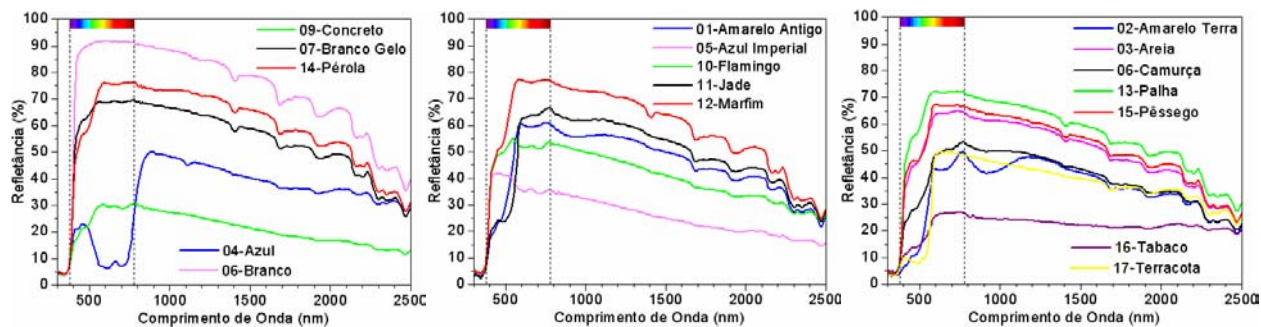


Figura 6: Curvas de refletância espectral - Tinta acrílica fosca Metalatex.

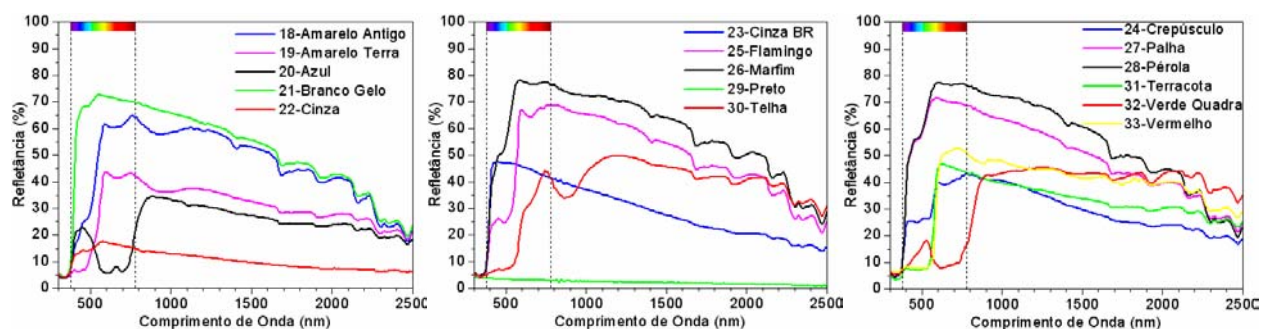


Figura 7: Curvas de refletância espectral - Tinta acrílica semi-brilho Metalatex.

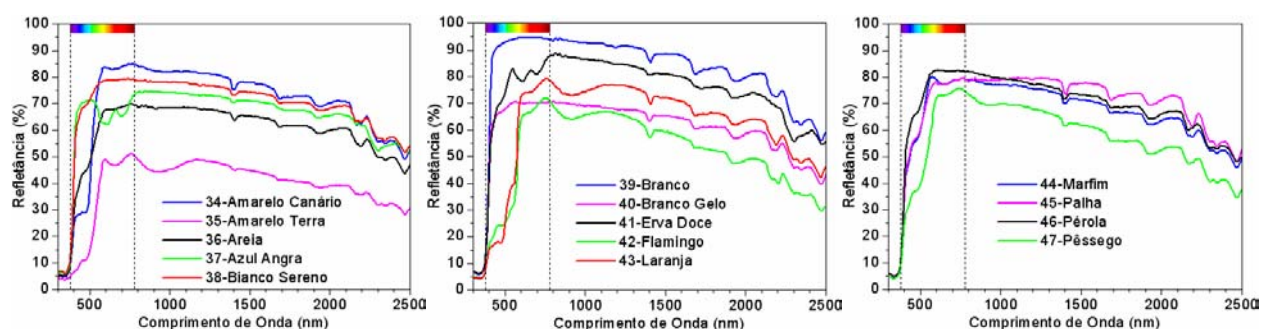


Figura 8: Curvas de refletância espectral - Tinta Látex PVA Fosca Novacor.

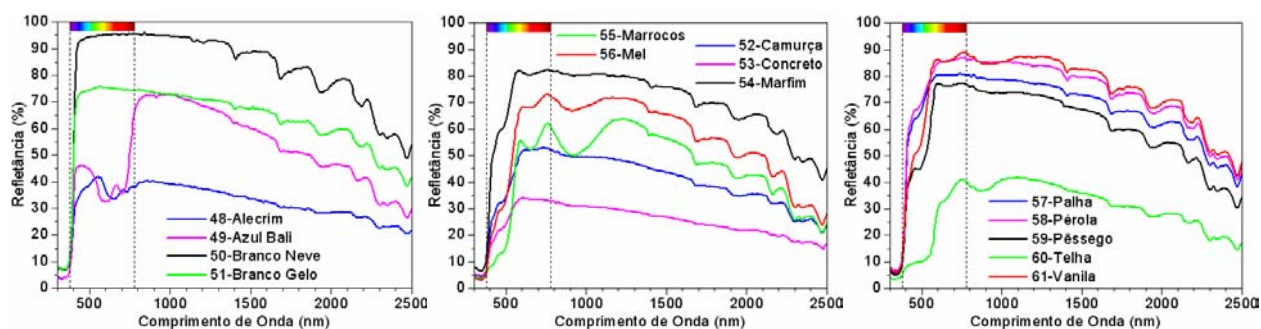


Figura 9: Curvas de refletância espectral - Tinta acrílica fosca Suvinil.

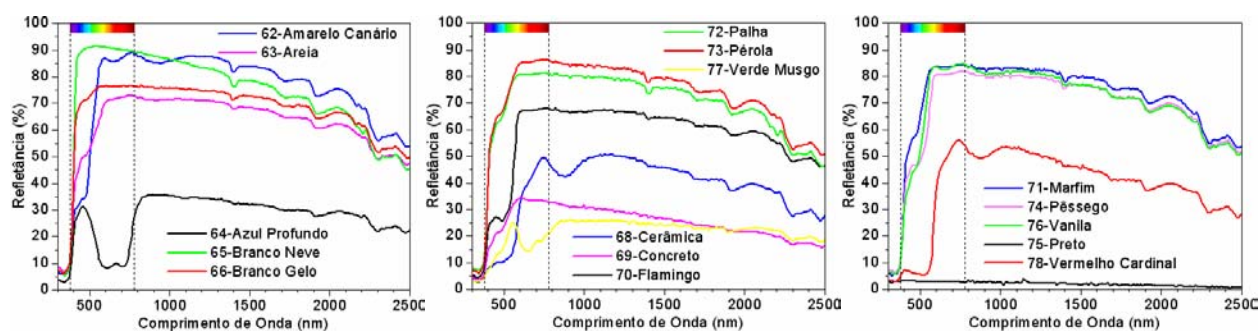


Figura 10: Curvas de refletância espectral - Tinta Látex PVA Fosca Suvinil.

Para compreender o comportamento espectral das amostras em diferentes comprimentos de onda, foram obtidas absorvâncias médias para as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm), infravermelho (780 a 2500 nm) e para o espectro solar total (300 a 2500 nm), apresentadas na tabela 3.

Tabela 3: Absortâncias médias por faixa do espectro (%), medidas em espectrofotômetro.

Tipo	Nº	Nome Comercial	UV	VIS	IV	TOT
Metalatex Acrílica Fosca	01	Amarelo Antigo	96,0	54,7	54,6	56,1
	02	Amarelo Terra	96,7	69,6	62,6	65,1
	03	Areia	95,4	45,8	51,7	52,2
	04	Azul	95,1	86,8	60,9	66,8
	05	Azul Imperial	94,4	63,4	75,8	74,2
	06	Branco	94,9	14,0	28,4	28,2
	07	Branco Gelo	95,0	36,5	46,4	46,4
	08	Camurça	95,0	60,1	60,6	61,8
	09	Concreto	95,4	74,1	79,5	79,1
	10	Flamingo	96,1	55,0	50,5	53,0
	11	Jade	94,5	50,7	61,0	60,3
	12	Marfim	94,5	34,6	42,5	43,0
	13	Palha	94,8	36,7	45,4	45,6
	14	Pérola	95,1	34,0	40,9	41,6
	15	Pêssego	95,2	43,7	50,0	50,5
	16	Tabaco	95,0	79,4	77,6	78,6
	17	Terracota	96,1	70,1	62,3	65,0
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	95,3	53,6	53,7	55,2
	19	Amarelo Terra	95,7	71,7	69,3	70,7
	20	Azul	95,4	87,4	73,8	77,1
	21	Branco Gelo	94,3	33,0	50,4	48,9
	22	Cinza	95,0	84,8	90,6	89,7
	23	Cinza BR	94,4	56,2	73,7	71,2
	24	Crepúsculo	94,2	67,1	70,8	71,0
	25	Flamingo	94,9	52,6	50,7	52,7
	26	Marfim	94,3	35,0	43,0	43,4
	27	Palha	94,1	37,4	52,6	51,3
	28	Pérola	94,3	33,5	46,6	45,9
	29	Preto	96,0	96,7	98,0	97,7
	30	Telha	95,3	78,3	58,6	63,5
	31	Terracota	95,8	72,8	66,9	69,1
	32	Verde Quadra	94,1	88,6	58,5	65,2
	33	Vermelho	93,3	71,1	59,1	62,6
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	94,2	36,1	26,9	31,1
	35	Amarelo Terra	95,8	66,6	58,4	61,3
	36	Areia	94,1	42,9	38,1	41,1
	37	Azul angra	93,0	34,9	32,5	35,2
	38	Bianco Sereno	92,4	27,8	29,3	31,3
	39	Branco	92,8	10,9	17,1	18,7
Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	92,9	33,9	38,9	39,9
	41	Erva doce	92,6	25,5	23,5	26,4
	42	Flamingo	94,9	53,5	45,8	49,0
	43	Laranja	95,2	49,5	33,5	38,6
	44	Marfim	94,1	32,3	32,4	34,6
	45	Palha	94,1	32,7	27,7	31,0
	46	Pérola	93,6	26,9	30,3	32,0
	47	Pêssego	94,7	43,4	41,9	44,1
	48	Alecrim	95,5	64,2	68,1	68,4
	49	Azul bali	95,7	60,1	45,2	49,7
	50	Branco Neve	92,2	10,0	18,2	19,4
Suvinil Acrílica Fosca	51	Branco Gelo	91,9	28,5	37,1	37,5
	52	Camurça	94,9	57,3	59,9	60,7
	53	Concreto	94,3	71,6	75,0	75,1
	54	Marfim	92,0	29,3	30,4	32,4
	55	Marrocos	95,6	61,6	52,2	55,5
	56	Mel	95,9	47,8	43,1	45,9
	57	Palha	93,0	28,4	32,8	34,2
	58	Pérola	91,8	24,4	26,9	28,8
	59	Pêssego	93,7	38,5	39,2	41,1
	60	Telha	95,9	76,8	67,9	70,6
	61	Vanila	92,5	29,1	24,9	28,1
Suvinil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	93,3	32,4	22,2	26,7
	63	Areia	91,6	39,2	35,6	38,3
	64	Azul Profundo	96,0	83,1	69,5	72,9
	65	Branco Neve	92,7	14,0	27,2	27,2
	66	Branco Gelo	92,1	28,5	31,6	33,3
	67	Camurça	94,0	56,9	51,9	54,4
	68	Cerâmica	96,6	73,4	58,3	62,5
	69	Concreto	95,6	71,9	75,1	75,3
	70	Flamingo	94,2	51,6	39,0	43,3
	71	Marfim	93,5	28,0	25,4	28,4
	72	Palha	91,3	28,6	29,7	31,8
	73	Pérola	92,5	25,5	26,0	28,3
	74	Pêssego	92,5	35,2	28,1	31,7
	75	Preto	97,1	97,1	98,2	98,0
	76	Vanila	93,0	32,6	27,8	31,1
	77	Verde Musgo	96,5	83,5	76,7	78,7
	78	Vermelho Cardinal	96,4	72,2	57,0	61,2

3.2 Análise dos Resultados

A análise por espectrofotômetro é um dos métodos instrumentais mais importantes de análise química, sendo baseado na absorção da radiação nos diversos comprimentos de onda associada aos níveis energéticos eletrônicos dos diversos elementos e substâncias químicas. Neste trabalho, entretanto, não existe o intuito de se fazer uma análise tão minuciosa e nem existe a necessidade desse tipo de informação para o fim a que se destinam os dados aqui apresentados, As observações realizadas a partir dos gráficos resultantes do espectrofotômetro possuem o interesse voltado para o uso correto de dados de absorvância solar em elementos opacos expostos à radiação solar, mas sem deixar de considerar a diferenciação química existente entre os diferentes tipos de tintas analisados.

Os resultados obtidos com as medições em espectrofotômetro permitiram realizar diversas análises do comportamento espectral das amostras. Algumas cores analisadas neste trabalho ilustram a limitação da visão humana. 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 refletâncias totais diferentes;
- d. Amostras com diferentes níveis em escala claro-escuro, mas refletâncias totais semelhantes.

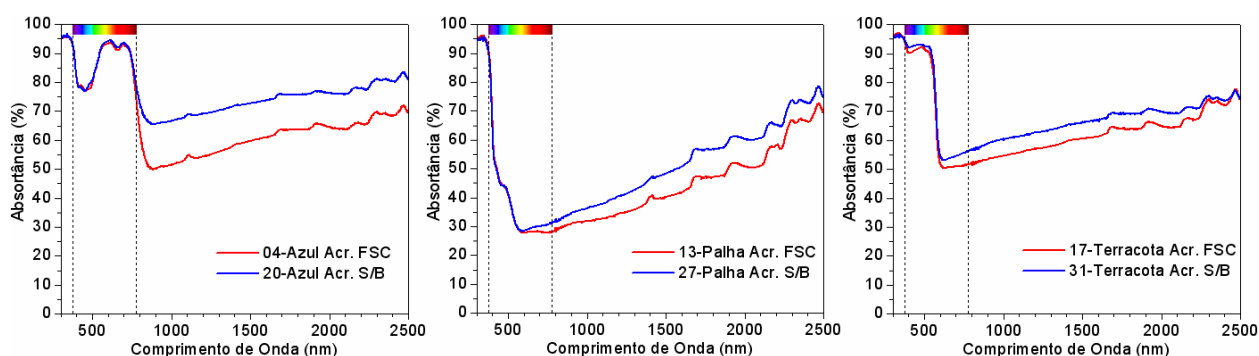
Nas tabelas 4 a 9 são apresentadas as curvas de absorvância espectral das amostras, além da absorvância média calculada para as diferentes regiões do espectro solar (ultravioleta, visível, infravermelho e total).

3.2.1 Comparação entre 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 4. 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 4: Absorvâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca x semi-brilho.

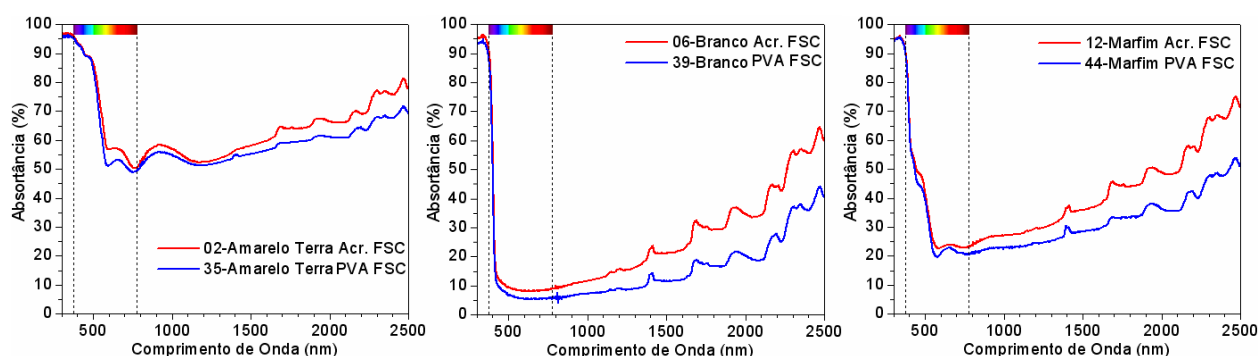
Absorvâncias médias (%) - Fabricante: Sherwin Williams (Acrílica fosca x Acrílica semi-brilho)														
N°	Azul				N°	Palha				N°	Terracota			
	UV	VIS	IV	TOT		UV	VIS	IV	TOT		UV	VIS	IV	TOT
04	95,1	86,8	60,9	66,8	13	94,8	36,7	45,4	45,6	17	96,1	70,1	62,3	65,0
20	95,4	87,4	73,8	77,1	27	94,1	37,4	52,6	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 absorvâncias totais. As tintas do tipo PVA apresentadas na tabela 5 possuem absorvâncias totais inferiores às tintas do tipo Acrílica. Amostras pintadas de Branco tiveram 9,5% de diferença em suas absorvâncias 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 absorvâncias totais.

Tabela 5: Absorvâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca x PVA fosca.

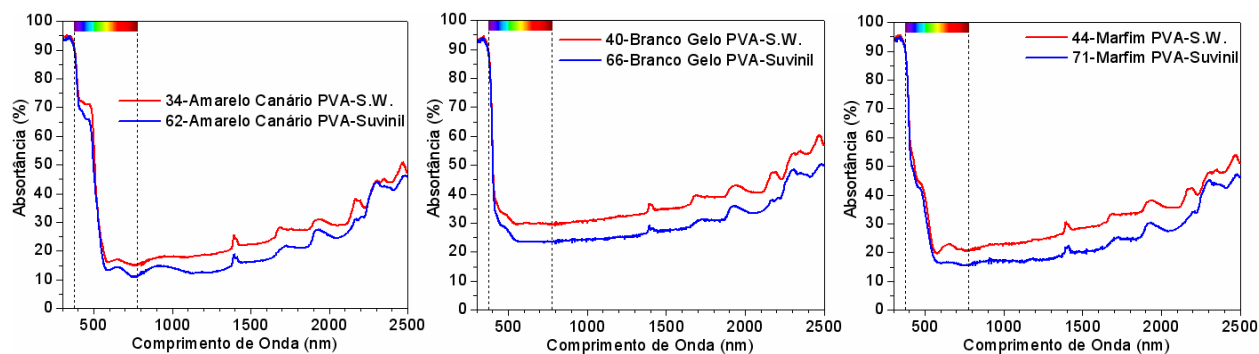
Absorvâncias médias (%) - Fabricante: Sherwin Williams (Acrílica fosca x PVA fosca)														
Amarelo Terra					Branco					Marfim				
Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT
02	96,7	69,6	62,6	65,1	06	94,9	14,0	28,4	28,2	12	94,5	34,6	42,5	43,0
35	95,8	66,6	58,4	61,3	39	92,8	10,9	17,1	18,7	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 absorvâncias totais (Tabela 6). 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 absorvâncias totais muito próximas por sofrerem influência dos distintos processos de produção de seus fabricantes.

Tabela 6: Absorvâncias médias e respectivas curvas espectrais: PVA fosca, fabricantes diferentes.

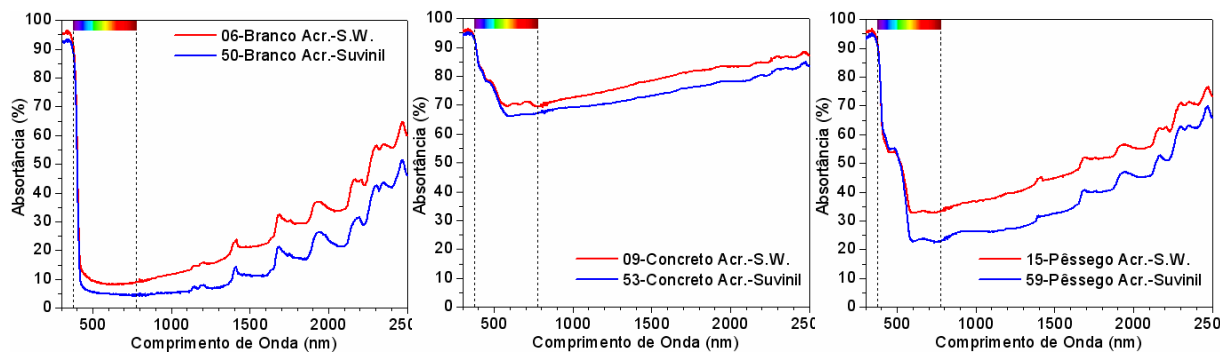
Absorvâncias médias (%) - Tinta Látex PVA Fosca (Sherwin Williams x Suvinil)														
Amarelo Canário					Branco Gelo					Marfim				
Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT
34	94,2	36,1	26,9	31,1	40	92,9	33,9	38,9	39,9	44	94,1	32,3	32,4	34,6
62	93,3	32,4	22,2	26,7	66	92,1	28,5	31,6	33,3	71	93,5	28,0	25,4	28,4



Situação semelhante ocorre com as tintas Acrílicas de mesma cor produzidas por diferentes fabricantes (Tabela 7), pois suas absorvâncias totais apresentaram diferenças de até 9,4% (amostras nº 15 e 59, cor Pêssego).

Tabela 7: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca, fabricantes diferentes.

Absortâncias médias (%) - Tinta Acrílica Fosca (Sherwin Williams x Suvinil)														
Branco (Neve)					Concreto					Pêssego				
Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT
06	94,9	14,0	28,4	28,2	09	95,4	74,1	79,5	79,1	15	95,2	43,7	50,0	50,5
50	92,2	10,0	18,2	19,4	53	94,3	71,6	75,0	75,1	59	93,7	38,5	39,2	41,1

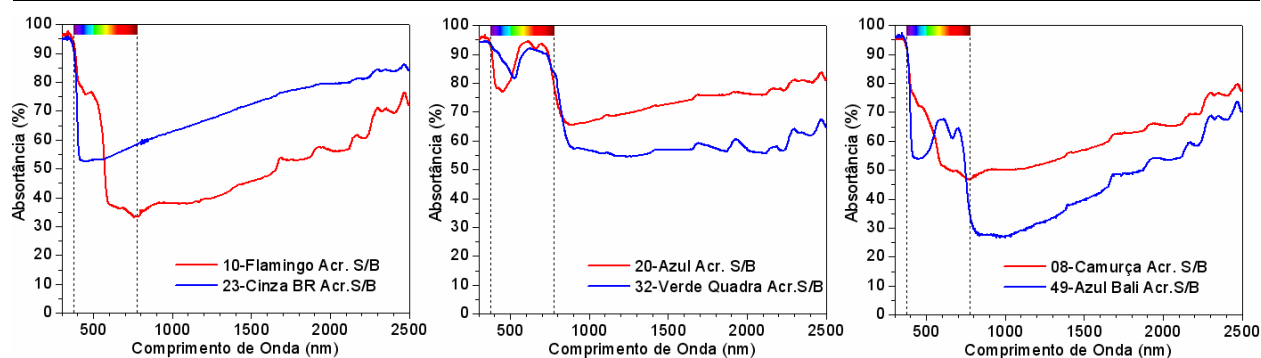


3.2.2 Para Amostras de Cores Diferentes

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 absortância solar. As amostras pintadas nas cores Flamingo e Cinza BR possuem absortâncias semelhantes na região visível, mas suas absortâncias totais diferem em 18,2% (Tabela 8). O mesmo acontece para as amostras pintadas nas cores Azul e Verde Quadra (diferença de 11,9%) e Camurça e Azul Bali (12,1%).

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

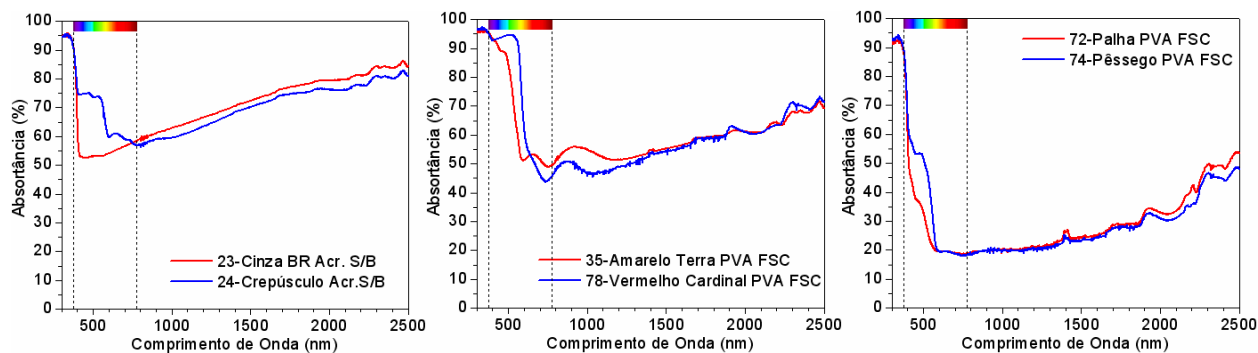
Absortâncias médias (%) - Sensações de claridade semelhantes, absortâncias totais diferentes.														
Flamingo e Cinza BR					Azul e Verde Quadra					Camurça e Azul Bali				
Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT
10	96,1	55,0	50,5	53,0	20	95,4	87,4	73,8	77,1	08	95,0	60,1	60,6	61,8
23	94,4	56,2	73,7	71,2	32	94,1	88,6	58,5	65,2	49	95,7	60,1	45,2	49,7



Algumas amostras apresentam absortâncias totais muito próximas, mas provocam sensações diferentes de nível em escala claro-escuro (Tabela 9). As cores Cinza BR e Crepúsculo apresentaram absortâncias totais praticamente iguais (71,2% e 71%, respectivamente), mas suas aparências são bastante distintas (cinza claro e rosa médio). Além disso, suas absortâncias 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 absortâncias totais são muito próximas.

Tabela 9: Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: amostras com diferentes níveis em escala claro-escuro.

Absortâncias médias (%) - Sensações de claridade diferentes, absortâncias totais semelhantes.														
Cinza BR e Crepúsculo					Amarelo Terra e Vermelho Cardinal					Palha e Pêssego				
Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT	Nº	UV	VIS	IV	TOT
23	94,4	56,2	73,7	71,2	35	95,8	66,6	58,4	61,3	72	91,3	28,6	29,7	31,8
24	94,2	67,1	70,8	71,0	78	96,4	72,2	57,0	61,2	74	92,5	35,2	28,1	31,7



4. CONCLUSÕES

As medições realizadas em espectrofotômetro para as diversas amostras comprovaram que valores de absortância apenas para a região visível não são confiáveis para caracterizar quanto uma superfície absorve (ou reflete) de energia solar. Amostras que provocam sensações semelhantes 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 em 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. Os dados comprovam a forte influência do tipo de tinta utilizada no envelope sobre o desempenho térmico e energético das edificações, uma vez que determinam a quantidade de calor solar que será absorvida pela superfície pintada. Como a escolha da cor da tinta não envolve custo extra, uma tinta refletiva externa é a característica arquitetônica de controle climático mais eficaz e a maneira mais viável de minimizar as cargas térmicas das edificações. No entanto, é preciso que os fabricantes de tintas imobiliárias divulguem dados de absortância solar para os consumidores, com o intuito de diminuir as cargas térmicas das edificações através do uso desse tipo de revestimento.

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.

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.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. (2007). A ilusão das cores na identificação da absorptância solar de superfícies opacas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto, Brasil. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

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.