

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**KELEN ALMEIDA DORNELLES**

**ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS:**  
***MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO E BASE DE DADOS PARA TINTAS LÁTEX ACRÍLICA E PVA***

Tese de doutorado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil, na área de concentração em Arquitetura e Construção.

**Orientador: Prof. Dr. Maurício Roriz**

**CAMPINAS**

**2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

D735a Dornelles, Kelen Almeida  
Absortância solar de superfícies opacas: métodos de  
determinação e base de dados para tintas látex acrílica e  
PVA / Kelen Almeida Dornelles.--Campinas, SP: [s.n.],  
2008.

Orientador: Maurício Roriz.  
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Conforto térmico. 2. Calor solar. 3. Tintas. 4.  
Construção civil. I. Roriz, Maurício. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Solar absorptance of opaque surfaces: determination methods and  
data base for latex acrylic and PVA coatings

Palavras-chave em Inglês: Solar absorptance, Opaque surfaces, Thermal comfort,  
Coating

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Lucila Chebel Labaki, Roberto Lamberts, Márcia Peinado Alucci,  
Rosana Maria Caram, João Roberto Gomes de Faria

Data da defesa: 16/04//2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

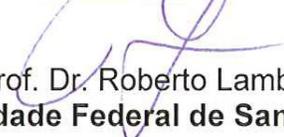
**ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS:**  
*MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO E BASE DE DADOS PARA TINTAS LÁTEX ACRÍLICA E PVA*

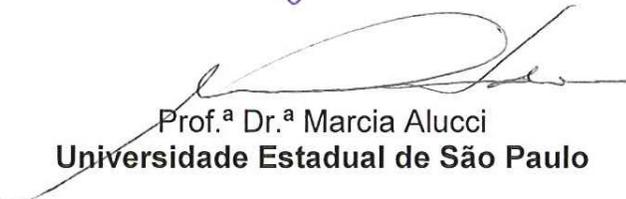
---

**Kelen Almeida Dornelles**

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

  
Prof. Dr. Maurício Roriz  
Presidente e Orientador / Universidade Federal de São Carlos / UNICAMP

  
Prof. Dr. Roberto Lamberts  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof.ª Dr.ª Marcia Alucci  
Universidade Estadual de São Paulo

  
Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria  
Universidade Estadual Paulista

  
Prof.ª Dr.ª Rosana Caram  
Universidade Estadual de São Paulo / Universidade Estadual de Campinas

  
Prof.ª Dr.ª Lucila Chebel Labaki  
Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 16 de abril de 2008

## **DEDICATÓRIA**

*À minha família, responsáveis por todas as  
conquistas e alegrias de minha vida*

## AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Maurício Roriz**, por quem tenho imensa admiração, meu orientador, mestre e grande amigo, sem o qual essa pesquisa não seria possível e cujo apoio foi fundamental em todo o período que estive em São Carlos.

Aos **professores Lucila Labaki, Joaquim Pizzutti e Eduvaldo Sichieri**, pelas contribuições durante o exame de qualificação desta pesquisa.

À **FAPESP**, pela bolsa de estudos.

Ao **Prof. Ernesto Pereira**, do Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (LIEC), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que permitiu o uso do espectrofotômetro, equipamento fundamental para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao **Sr. Lino, da loja De Santis Comercial Ltda.**, que gentilmente doou as amostras de tintas para a pesquisa.

Aos **amigos do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da UFSCar**, pela amizade sincera e pelos incontáveis momentos de alegria e descontração.

Às **amigas Silvana Aparecida Alves, Carla Barbosa Teixeira e Simone Delbin**, da UNICAMP, pelo companheirismo e amizade, mesmo distantes.

Aos **meus pais, Vera e Roberto, e minha irmã Sabrina**, grandes incentivadores e meu porto seguro em todos os momentos da minha vida.

Às **amigas Aline Petry e Anelise Bonilla**, mais que amigas, minhas irmãs, pela amizade incondicional.

Aos colegas da **Bairro Novo Empreendimentos Imobiliários**, pelo reconhecimento do título de Doutora e da importância desta pesquisa na engenharia.

A todos meus amigos que torceram por mim e que, de alguma forma, contribuíram para o êxito deste trabalho.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas:** métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

## RESUMO

A radiação solar é responsável por importante parcela da carga térmica dos edifícios e seu impacto sobre esta carga depende, principalmente, da absortância solar do envelope construtivo. A falta de dados precisos e atualizados de absortância solar para superfícies opacas faz com que pesquisadores e especialistas utilizem a percepção visual ou adotem tabelas baseadas em cores, consagrando-se o conceito de que a absortância seria crescente na medida em que as cores fossem mais escuras. Para comprovar que a visão humana não é instrumento adequado para indicar o quanto uma superfície absorve de energia solar, este trabalho apresenta dados de absortância solar para diferentes cores e tipos de tintas utilizadas em superfícies opacas de edificações no Brasil, a partir de medições de refletância em espectrofotômetro. Com base nesses dados, são propostos métodos de determinação da absortância solar de superfícies opacas, que podem ser utilizados por projetistas, pesquisadores e especialistas. Além do espectrofotômetro, apresenta-se um método que se baseia na digitalização de amostras em scanner comum e posterior classificação de suas cores a partir dos sistemas cromáticos digitais RGB e HSL. O segundo método utiliza dados de refletância obtidos através do espectrômetro ALTA II e o terceiro método baseia-se em medidas de temperaturas superficiais das amostras, a partir de absortâncias medidas para amostras de cores branca e preta, adotadas como referência. Os dados de absortância solar obtidos com o espectrofotômetro foram ajustados ao espectro solar padrão, considerando-se que a energia solar não é constante ao longo do espectro. Este ajuste indicou que a absortância diminui quando submetida às diferentes intensidades da radiação solar. Finalmente, analisou-se o efeito da rugosidade superficial sobre a absortância solar de amostras pintadas com diferentes cores de tintas, cujos resultados indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absortância das superfícies. As diversas análises e discussões apresentadas neste trabalho comprovam que apenas a cor não é fator determinante da absortância de uma superfície opaca. Além disso, os métodos propostos para sua quantificação são bastante precisos e confiáveis, cujos valores estimados através dos métodos do scanner, ALTA II e medida de temperaturas superficiais apresentaram diferenças inferiores a 10%, 6,8% e 3,7%, respectivamente, quando comparados com as absortâncias medidas em espectrofotômetro.

**Palavras-chave:** *absortância solar, superfícies opacas, conforto térmico, tintas.*

DORNELLES, Kelen Almeida. **Solar absorptance of opaque surfaces:** determination methods and data base for latex acrylic and PVA coatings. 2008. 160p. Thesis (Doctorate) – School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design, State University of Campinas, Campinas, 2008.

## **ABSTRACT**

Solar radiation is the main responsible factor for the thermal load of buildings, and its impact over this load depends, mainly, on the solar absorptance of the building envelope. The lack of reliable and current data implies that researchers and specialists use visual perception or adopt tables based on surface colors to quantify the solar absorptance, which enhances the concept that absorptance increases as much as colors are darker. In order to show that the human eye is not reliable indicator of how much solar energy a surface absorbs, this work presents solar absorptance data for different paint colors, which are commonly used in Brazilian façades, measured with a spectrophotometer. Based on these data, determination methods of solar absorptance are proposed and can be used by designers, researchers, and specialists. Besides the spectrophotometer, it is presented a method based on samples digital images through a scanner, in which samples were classified according to the RGB and HSL digital chromatic systems. The second method uses the reflectances of samples measured with the ALTA II spectrometer, and the third method is based on the samples surface temperatures and the absorptances of black and white reference samples. Solar absorptance data measured with the spectrophotometer were adjusted to the standard solar spectrum, because the solar energy is not constant along the solar spectrum. This correction indicated solar absorptance diminishes when submitted to different solar radiation intensities. Finally, the influence of roughness on the solar absorptance was analyzed, whose results indicated roughness linearly increases surfaces solar absorptance. The several analysis and discussions presented in this work prove that only color is not a determinant factor of the solar absorptance. Furthermore, proposed methods are very reliable to identify the solar absorptance of opaque surfaces, whose estimated values with scanner, ALTA II, and surface temperature methods presented differences under 10%, 6,8%, and 3,7%, respectively, when compared to the absorptances measured with the spectrophotometer.

**Key words:** *solar absorptance, opaque surfaces, thermal comfort, coatings.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

FIGURA 1.1: Predomínio de edificações com cores claras de baixa absortância na Espanha e Grécia. ....22

### **CAPÍTULO 2 - RADIAÇÃO SOLAR**

FIGURA 2.1: Espectro eletromagnético.....27

FIGURA 2.2: Espectro visível (nm) e cores percebidas.....28

FIGURA 2.3: Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extraterrestre), e principais gases absorvedores da radiação solar.....30

FIGURA 2.4: Trocas de calor através de vedações opacas. ....31

### **CAPÍTULO 3 - ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS**

FIGURA 3.1: Estrutura do olho humano e detalhe simplificado das conexões neurais na retina. ....37

FIGURA 3.2: Curva de sensibilidade do olho humano.....37

FIGURA 3.3: Curvas espectrais de refletância para diferentes cores de tinta na região visível. ....38

FIGURA 3.4: Escala de cores do Sistema de Classificação de Munsell.....41

FIGURA 3.5: Exemplo de janela de edição de imagens com valores de RGB e HSL para cada cor. ....42

FIGURA 3.6: Relação entre absortâncias e espessura de uma placa de concreto. ....47

FIGURA 3.7: Refletâncias de telhas de concreto pintadas com tinta padrão e seletiva e respectivas refletâncias. ....50

FIGURA 3.8: Inter-reflexão provocada pela rugosidade. ....53

FIGURA 3.9: Parâmetros  $R_a$ ,  $R_y$  e  $R_z$  de caracterização da rugosidade de superfícies.....53

FIGURA 3.10: Relação encontrada por Seker e Tavil (1996) entre absortância e rugosidade. ....54

FIGURA 3.11: Inter-reflexões da radiação solar incidente provocadas pela ondulação da superfície.....55

FIGURA 3.12: Relações entre absortâncias corrigidas ( $\alpha_2$ ) e superficiais ( $\alpha_1$ ) com o número de inter-reflexões. ....55

FIGURA 3.13: Efeitos da manutenção sobre as refletâncias de telhados. ....56

### **CAPÍTULO 5 - MATERIAIS E MÉTODOS**

FIGURA 5.1: Amostras pintadas com tintas do tipo Acrílica e PVA produzidas pela Sherwin Williams.....68

FIGURA 5.2: Amostras pintadas com tintas do tipo Acrílica e PVA produzidas pela Suvinil. ....69

FIGURA 5.3: Espectrofotômetro CARY 5G. ....72

FIGURA 5.4: Esquema de funcionamento do espectrofotômetro para captar a reflexão difusa.....73

FIGURA 5.5: Exemplo de gráfico resultante do espectrofotômetro nos ensaios de reflexão.....74

FIGURA 5.6: Exemplo de gráfico de absorção resultante dos ensaios de reflexão em espectrofotômetro. ....74

FIGURA 5.7: Leitura dos parâmetros cromáticos digitais das amostras com o programa Photoimpact. ....77

FIGURA 5.8: Espectrômetro ALTA II. ....78

FIGURA 5.9: Curva de refletância espectral do papel branco Ripax 75 g/m<sup>2</sup>. ....79

FIGURA 5.10: Medidas de temperaturas superficiais de amostras expostas ao Sol.....81

FIGURA 5.11: Perfilômetro de contato mecânico para medir a rugosidade superficial das amostras.....83

FIGURA 5.12: Perfil digitalizado das amostras rugosas para obtenção da rugosidade média. ....84

**CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

FIGURA 6.1: *Curvas espectrais de absortância das amostras 01 e 02 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 102

FIGURA 6.2: *Curvas espectrais de absortância das amostras 03 e 04 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 102

FIGURA 6.3: *Curvas espectrais de absortância das amostras 05 e 06 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 102

FIGURA 6.4: *Curvas espectrais de absortância das amostras 07 e 08 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 103

FIGURA 6.5: *Curvas espectrais de absortância das amostras 09 e 10 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 103

FIGURA 6.6: *Curvas espectrais de absortância das amostras 11 e 12 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 103

FIGURA 6.7: *Curvas espectrais de absortância das amostras 13 e 14 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 104

FIGURA 6.8: *Curvas espectrais de absortância das amostras 15 e 16 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 104

FIGURA 6.9: *Curvas espectrais de absortância das amostras 17 e 18 ajustadas ao espectro solar padrão*..... 104

FIGURA 6.10: *Curvas espectrais de absortância, amostras 19 e 20, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 105

FIGURA 6.11: *Curvas espectrais de absortância, amostras 21 e 22, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 105

FIGURA 6.12: *Curvas espectrais de absortância, amostras 23 e 24, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 105

FIGURA 6.13: *Curvas espectrais de absortância, amostras 25 e 26, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 106

FIGURA 6.14: *Curvas espectrais de absortância, amostras 27 e 28, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 106

FIGURA 6.15: *Curvas espectrais de absortância, amostras 29 e 30, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 106

FIGURA 6.16: *Curvas espectrais de absortância, amostras 31 e 32, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 107

FIGURA 6.17: *Curvas espectrais de absortância, amostras 33 e 34, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 107

FIGURA 6.18: *Curvas espectrais de absortância, amostras 35 e 36, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 107

FIGURA 6.19: *Curvas espectrais de absortância, amostras 37 e 38, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 108

FIGURA 6.20: *Curvas espectrais de absortância, amostras 39 e 40, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 108

FIGURA 6.21: *Curvas espectrais de absortância, amostras 41 e 42, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 108

FIGURA 6.22: *Curvas espectrais de absortância, amostras 43 e 44, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 109

FIGURA 6.23: *Curvas espectrais de absortância, amostras 45 e 46, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 109

FIGURA 6.24: *Curvas espectrais de absortância, amostras 47 e 48, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 109

FIGURA 6.25: *Curvas espectrais de absortância, amostras 49 e 50, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 110

FIGURA 6.26: *Curvas espectrais de absortância, amostras 51 e 52, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 110

FIGURA 6.27: *Curvas espectrais de absortância, amostras 53 e 54, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 110

FIGURA 6.28: *Curvas espectrais de absortância, amostras 55 e 56, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 111

FIGURA 6.29: *Curvas espectrais de absortância, amostras 57 e 58, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 111

FIGURA 6.30: *Curvas espectrais de absortância, amostras 59 e 60, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 111

FIGURA 6.31: *Curvas espectrais de absortância, amostras 61 e 62, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 112

FIGURA 6.32: *Curvas espectrais de absortância, amostras 63 e 64, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 112

FIGURA 6.33: *Curvas espectrais de absortância, amostras 65 e 66, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 112

FIGURA 6.34: *Curvas espectrais de absortância, amostras 67 e 68, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 113

FIGURA 6.35: *Curvas espectrais de absortância, amostras 69 e 70, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 113

FIGURA 6.36: *Curvas espectrais de absortância, amostras 71 e 72, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 113

FIGURA 6.37: *Curvas espectrais de absortância, amostras 73 e 74, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 114

FIGURA 6.38: *Curvas espectrais de absortância, amostras 75 e 76, ajustadas ao espectro solar padrão* ..... 114

FIGURA 6.39: Curvas espectrais de absortância, amostras 77 e 78, ajustadas ao espectro solar padrão.....	114
FIGURA 6.40: Correlações entre absortâncias ajustadas e estimadas - Scanner comum.....	123
FIGURA 6.41: Absortância Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 01 e 14, 02 e 13.....	125
FIGURA 6.42: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 03 e 17, 04 e 15.....	125
FIGURA 6.43: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 05 e 11, 07 e 08.....	126
FIGURA 6.44: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 09, 06 e 12, 10 e 16.....	126
FIGURA 6.45: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 18 e 30, 19 e 27.....	127
FIGURA 6.46: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 20 e 26, 21 e 31.....	127
FIGURA 6.47: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 22 e 24, 23 e 29.....	127
FIGURA 6.48: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 25 e 32, 28 e 30.....	128
FIGURA 6.49: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 34 e 42, 35 e 37.....	128
FIGURA 6.50: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 36 e 38, 39 e 45.....	128
FIGURA 6.51: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 40 e 41, 43 e 46.....	129
FIGURA 6.52: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 44 e 47.....	129
FIGURA 6.53: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 48 e 51, 49 e 50.....	129
FIGURA 6.54: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 52 e 57, 53 e 59.....	130
FIGURA 6.55: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 54 e 60, 55 e 61.....	130
FIGURA 6.56: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 56 e 58.....	130
FIGURA 6.57: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 62 e 69, 63 e 73.....	131
FIGURA 6.58: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 64 e 71, 65, 67, e 75.....	131
FIGURA 6.59: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 66 e 78, 68 e 74.....	131
FIGURA 6.60: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 70 e 72, 76 e 77.....	132
FIGURA 6.61: Correlações entre absortâncias medidas e estimadas - Espectrômetro ALTA II.....	133
FIGURA 6.62: Temperaturas superficiais medidas para as amostras dos Grupos 1 e 2, primeira etapa.....	137
FIGURA 6.63: Relação linear entre temperatura superficial e absortância solar de superfícies opacas.....	138
FIGURA 6.64: Correlações entre absortâncias medidas e estimadas - Temperaturas superficiais.....	139
FIGURA 6.65: Temperaturas superficiais medidas para as amostras dos Grupos 1 e 2, segunda etapa.....	144
FIGURA 6.66: Temperaturas superficiais medidas para as amostras dos Grupos 3 e 4, segunda etapa.....	144
FIGURA 6.67: Temperaturas superficiais medidas para as amostras do Grupo 5, segunda etapa.....	144
FIGURA 6.68: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 01-Amarelo Antigo.....	145
FIGURA 6.69: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 04-Azul.....	145
FIGURA 6.70: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 12-Marfim.....	146
FIGURA 6.71: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 32-Verde Quadra.....	146
FIGURA 6.72: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 39-Branco.....	146
FIGURA 6.73: Absortâncias médias das amostras rugosas, em função da rugosidade média (Ra).....	147

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 2 - RADIAÇÃO SOLAR**

TABELA 2.1: Condições ambientais de referência para aplicação da equação 2.4. ....	33
TABELA 2.2: Temperaturas superficiais como função de absortâncias e emissividades médias de alguns materiais, para as condições indicadas na Tabela 2.1. ....	34

### **CAPÍTULO 3 - ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS**

TABELA 3.1: Valores compilados de absortância solar publicados por diversos autores. ....	45
---	----

### **CAPÍTULO 5 - MATERIAIS E MÉTODOS**

TABELA 5.1: Amostras de tinta do tipo látex acrílica fosca - Metalatex (Sherwin Williams). ....	69
TABELA 5.2: Amostras de tinta do tipo látex acrílica semi-brilho - Metalatex (Sherwin Williams). ....	70
TABELA 5.3: Amostras de tinta do tipo látex PVA fosca - Novacor (Sherwin Williams). ....	70
TABELA 5.4: Amostras de tinta do tipo látex acrílica fosca - Suvinil. ....	70
TABELA 5.5: Amostras de tinta do tipo látex acrílica fosca - Suvinil. ....	71
TABELA 5.6: Amostras de materiais diversos. ....	71
TABELA 5.7: Amostras confeccionadas para medições de temperaturas superficiais e respectivas refletâncias ( $\rho_{TOT}$ ) e absortâncias totais ( $\alpha_{TOT}$ ), primeira etapa de medições. ....	80
TABELA 5.8: Amostras confeccionadas para medições de temperaturas superficiais e respectivas refletâncias ( $\rho_{TOT}$ ) e absortâncias totais ( $\alpha_{TOT}$ ), segunda etapa de medições. ....	82
TABELA 5.9: Granulometria das amostras rugosas. ....	82
TABELA 5.10: Cores das tintas aplicadas sobre as amostras rugosas. ....	83

### **CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

TABELA 6.1: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 01, 12 e 16: acrílica fosca Metalatex. ....	85
TABELA 6.2: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 02, 09 e 13: acrílica fosca Metalatex. ....	86
TABELA 6.3: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 03, 06 e 17: acrílica fosca Metalatex. ....	86
TABELA 6.4: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 04, 10 e 14: acrílica fosca Metalatex. ....	86
TABELA 6.5: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 05, 08 e 15: acrílica fosca Metalatex. ....	87
TABELA 6.6: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 07 e 11: acrílica fosca Metalatex. ....	87
TABELA 6.7: Curvas espectrais de absortância das amostras 18, 20 e 26: acrílica semi-brilho Metalatex. ....	87
TABELA 6.8: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 19, 22 e 27: acrílica semi-brilho. ....	88
TABELA 6.9: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 21, 24 e 33: acrílica semi-brilho. ....	88
TABELA 6.10: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 23, 28 e 32: acrílica semi-brilho. ....	88
TABELA 6.11: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 25, 29, 30 e 31: acrílica semi-brilho. ....	89
TABELA 6.12: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 34, 35 e 36: PVA fosca Novacor. ....	89
TABELA 6.13: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 37, 38 e 47: PVA fosca Novacor. ....	89
TABELA 6.14: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 39, 40 e 44: PVA fosca Novacor. ....	90

TABELA 6.15: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 41, 42 e 43: PVA fosca Novacor.....	90
TABELA 6.16: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 45 e 46: PVA fosca Novacor.....	90
TABELA 6.17: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 48, 49 e 54: acrílica fosca Suvinil. ....	91
TABELA 6.18: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 50, 55 e 59: acrílica fosca Suvinil. ....	91
TABELA 6.19: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 51, 52 e 53: acrílica fosca Suvinil. ....	91
TABELA 6.20: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 56, 60 e 61: acrílica fosca Suvinil. ....	92
TABELA 6.21: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 57 e 58: acrílica fosca Suvinil. ....	92
TABELA 6.22: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 62, 63 e 68: PVA fosca Suvinil. ....	92
TABELA 6.23: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 64, 66 e 71: PVA fosca Suvinil. ....	93
TABELA 6.24: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 65, 75 e 78: PVA fosca Suvinil. ....	93
TABELA 6.25: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 67, 70 e 73: PVA fosca Suvinil. ....	93
TABELA 6.26: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 69, 72 e 76: PVA fosca Suvinil. ....	94
TABELA 6.27: Curvas espectrais de absortância das amostras n° 74 e 77: PVA fosca Suvinil. ....	94
TABELA 6.28: Curva espectral de absortância da pastilha cerâmica vermelha sem pintura.....	94
TABELA 6.29: Absortâncias médias por faixa do espectro (%), medidas em espectrofotômetro. ....	95
TABELA 6.30: Refletâncias médias por faixa do espectro (%), medidas em espectrofotômetro. ....	96
TABELA 6.31: Absortância solar das amostras de cor preta e cinza, com diferentes tonalidades. ....	97
TABELA 6.32: Absortância solar das amostras de cor branca, com diferentes tonalidades.....	97
TABELA 6.33: Absortância solar das amostras de cor azul e verde, com diferentes tonalidades. ....	98
TABELA 6.34: Absortância solar das amostras de cor vermelha e marrom, com diferentes tonalidades.....	98
TABELA 6.35: Absortância solar das amostras de cor amarela, com diferentes tonalidades.....	99
TABELA 6.36: Absortâncias medidas em espectrofotômetro e ajustadas ao espectro solar padrão (%), para as regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e total.....	100
TABELA 6.37: Curvas espectrais e absortâncias médias: Acrílica fosca x semi-brilho.....	116
TABELA 6.38: Curvas espectrais e absortâncias médias: Acrílica fosca x PVA fosca. ....	117
TABELA 6.39: Curvas espectrais e absortâncias médias: PVA fosca, fabricantes diferentes. ....	117
TABELA 6.40: Curvas espectrais e absortâncias médias: acrílica fosca, fabricantes diferentes. ....	118
TABELA 6.41: Curvas espectrais e absortâncias médias: amostras com diferentes níveis claro-escuro. ....	119
TABELA 6.42: Curvas espectrais e absortâncias médias: amostras com mesmo nível claro-escuro.....	119
TABELA 6.43: Classificação das amostras pelos sistemas RGB e HSL.....	120
TABELA 6.44: Absortâncias ajustadas ao espectro solar padrão e estimadas através do scanner (%). ....	124
TABELA 6.45: Absortâncias medidas em espectrofotômetro e estimadas através do ALTA II (%). ....	134
TABELA 6.46: Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 1, primeira etapa. ....	135
TABELA 6.47: Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 2, primeira etapa. ....	136
TABELA 6.48: Absortâncias medidas em espectrofotômetro e estimadas através das temperaturas superficiais (%). ....	140
TABELA 6.49: Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 1, segunda etapa. ....	140
TABELA 6.50: Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 2, segunda etapa. ....	141

<i>TABELA 6.51: Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 3, segunda etapa.</i>	142
<i>TABELA 6.52: Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 4, segunda etapa.</i>	142
<i>TABELA 6.53: Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 5, segunda etapa.</i>	143
<i>TABELA 6.54: Absortâncias totais para amostras lisas e rugosas.</i>	147

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xv</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>xix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1 CONTEXUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA .....	21
1.2 OBJETIVOS .....	24
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	24
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	25
<b>2. RADIAÇÃO SOLAR .....</b>	<b>27</b>
2.1 RADIAÇÃO SOLAR - ENERGIA ELETROMAGNÉTICA .....	27
2.2 RADIAÇÃO SOLAR E O ESPECTRO SOLAR PADRÃO .....	29
2.3 RADIAÇÃO SOLAR E AS SUPERFÍCIES OPACAS .....	30
<b>3. ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS.....</b>	<b>35</b>
3.1 ABSORTÂNCIA X ABSORTIVIDADE .....	35
3.2 ABSORTÂNCIA SOLAR E CORES DAS SUPERFÍCIES .....	36
3.2.1 OLHO HUMANO E VISÃO DAS CORES .....	36
3.2.2 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE CORES.....	39
3.3 ABSORTÂNCIA SOLAR E O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS.....	42
3.3.1 EFEITOS DA ABSORTÂNCIA NO ENVELOPE DOS EDIFÍCIOS.....	42
3.3.2 ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES SELETIVAS.....	49
3.4 FATORES DETERMINANTES DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS.....	52
3.4.1 A ABSORTIVIDADE DO MATERIAL .....	52
3.4.2 A RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE.....	52
3.4.3 A ONDULAÇÃO DA SUPERFÍCIE.....	55
3.4.4 A MANUTENÇÃO DA SUPERFÍCIE.....	56

<b>4.</b>	<b>TINTAS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>59</b>
4.1	DEFINIÇÃO E COMPOSIÇÃO BÁSICA .....	59
4.1.1	RESINAS.....	60
4.1.2	PIGMENTOS.....	61
4.1.2.1	Pigmentos Inorgânicos.....	62
4.1.2.2	Pigmentos Orgânicos.....	63
4.1.3	SOLVENTES.....	64
4.1.4	ADITIVOS.....	65
<b>5.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>67</b>
5.1	AMOSTRAS ANALISADAS.....	67
5.2	MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ABSORTÂNCIA SOLAR .....	71
5.2.1	MÉTODO 1: UTILIZAÇÃO DE ESPECTROFOTÔMETRO DE REFLETÂNCIA.....	71
5.2.1.1	Espectrofotômetro - Princípio de Funcionamento.....	72
5.2.1.2	Ensaio Espectrofotométrico.....	73
5.2.1.3	Ajuste das Absortâncias ao Espectro Solar Padrão .....	74
5.2.2	MÉTODO 2: UTILIZAÇÃO DE SCANNER COMUM .....	76
5.2.3	MÉTODO 3: UTILIZAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO ALTA II.....	78
5.2.4	MÉTODO 4: MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS .....	80
5.3	ANÁLISE DO EFEITO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DAS AMOSTRAS .....	82
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>85</b>
6.1	MÉTODO 1: USO DE ESPECTROFOTÔMETRO.....	85
6.1.1	CURVAS ESPECTROFOTOMÉTRICAS DE ABSORTÂNCIAS.....	85
6.1.2	AJUSTE DAS ABSORTÂNCIAS AO ESPECTRO SOLAR PADRÃO.....	99
6.1.3	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS AMOSTRAS.....	115
6.1.3.1	Para Amostras de Mesma Cor.....	116
6.1.3.2	Para Amostras de Cores Diferentes .....	118
6.2	MÉTODO 2: USO DE SCANNER COMUM.....	120
6.3	MÉTODO 3: USO DO ESPECTRÔMETRO ALTA II.....	125
6.4	MÉTODO 4: MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS .....	135
6.5	ANÁLISE DO EFEITO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DAS AMOSTRAS .....	145
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>149</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>153</b>
	<b>ANEXO A - LISTA DE PUBLICAÇÕES.....</b>	<b>159</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

---

### **1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA**

O projeto de uma edificação deve considerar parâmetros que proporcionem uma construção segura, adequada ao uso, durável, econômica e confortável. No entanto, por certa dificuldade em harmonizar todos esses objetivos, as decisões de projeto tornam-se freqüentemente insatisfatórias. O nível de conforto oferecido por um ambiente depende de condições adequadas térmicas, ergonômicas, acústicas, lumínicas e tátil, além da pureza do ar. Quanto ao desempenho térmico de uma edificação, este dependerá, fundamentalmente, de decisões tomadas nas primeiras fases do projeto arquitetônico, tais como: volumetria do edifício, orientação das fachadas, posicionamento e sombreamento de janelas, sistemas construtivos de paredes e coberturas e das propriedades termo-físicas dos elementos que o compõem, etc. As temperaturas dos ambientes internos dependerão do efeito conjugado destes diversos parâmetros e o clima de cada lugar.

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 torna-se um dos elementos de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura, tanto como fonte de calor como fonte de luz, principalmente em regiões tropicais e de baixas latitudes.

O impacto da carga térmica dos edifícios resultante da incidência de radiação solar dependerá, entre outros fatores, de uma propriedade denominada “absortância” que é definida como a razão entre a energia solar absorvida por uma superfície e a energia total incidente sobre a mesma. Para Givoni (1998), as absortâncias do envelope 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, e qual fração é refletida, sem nenhum efeito sobre as condições térmicas da edificação.

Em uma edificação, o consumo de energia com sistemas de refrigeração pode ser significativamente reduzido limitando-se o ganho de calor solar através de seu envelope, o qual depende da intensidade da radiação solar incidente e da absorvância da superfície externa, característica normalmente associada à utilização de diferentes cores superficiais.

Nas regiões mediterrâneas da Espanha e Grécia, diversos são os exemplos de edificações que utilizam cores de baixa absorvância solar como forma de diminuir o ganho de calor pelas envolventes (Figura 1.1). Para Taha et al. (1988), o uso de cores de baixa absorvância solar no exterior de edificações sem isolamento térmico é uma maneira eficaz de diminuir as cargas de energia com refrigeração.



(a) Exemplo de edificações localizadas na Grécia.



(b) Exemplo de edificações localizadas na Espanha.

**FIGURA 1.1:** Predomínio de edificações com cores claras de baixa absorvância na Espanha e Grécia.

Fonte: <<http://www.photosgratis.com>>

Como o balanço de energia de uma edificação é dependente da radiação solar incidente sobre suas superfícies externas, as absorvâncias das superfícies externas da edificação são importantes para determinar o efeito que a radiação solar terá sobre o desempenho térmico da edificação. O objetivo é melhorar o conforto térmico no interior de edificações naturalmente ventiladas, durante o verão, e/ou reduzir o custo de operação das edificações que possuem ar condicionado (MULHALL; AYNSLEY, 1999).

Devido aos diferentes ângulos de incidência solar sobre coberturas e paredes com diferentes orientações, a importância da absorvância como um controlador do clima interno é variável (GIVONI, 1994). A diferença da temperatura superficial máxima no verão em regiões desérticas, entre uma cobertura branca e uma preta, pode chegar a 40°C. O ganho de calor resultante no interior da edificação dependerá, fundamentalmente, das propriedades termo-físicas da cobertura, mas a absorvância tem efeito bastante significativo.

Pintar a cobertura com cores altamente refletivas permite diminuir o ganho de calor solar através da mesma, enquanto mantém a capacidade da edificação perder calor rapidamente após o pôr-do-sol (MULHALL; AYNSLEY, 1999). O uso de coberturas com elevado albedo (refletância solar) pode diminuir consideravelmente a temperatura do ar no interior das edificações e, em uma escala mesoclimática, diminuir as temperaturas do ambiente urbano que, por sua vez, reduzem os riscos das Ilhas de Calor (CHENG, 2004). Além disso, o elevado albedo permite diminuir o uso anual de energia em climas onde predomina o uso de refrigeração (TAHA et al., 1988).

Conforme Kolokotroni e Young (1990), quase 70% do desempenho térmico de uma edificação está relacionado às absorptâncias e à espessura das paredes do envelope do edifício, à orientação das aberturas e à possibilidade de sombreamento, e à ventilação que estas propiciam em relação a sua localização e dimensionamento.

Rosado e Pizzutti (1997) enfatizam que a escolha das absorptâncias (cores) de superfícies externas e internas de edificações minimiza gastos excessivos com eventuais equipamentos de climatização artificial, refletindo na racionalização energética e contribuindo na obtenção de conforto na habitação. Segundo os autores, conjugar “cores”, conforto e eficiência energética pode parecer um “trinômio” discutível, mas tanto pelas propriedades físicas e fisiológicas quanto psico-estéticas, o uso adequado das cores e suas respectivas absorptâncias pode trazer benefícios sem custo adicional. Basta que o profissional esteja atento às propriedades de cada cor utilizada e seja capaz de tirar partido desta simples ferramenta. Utilizar uma cor mais refletiva no envelope da edificação é a característica arquitetônica de controle climático mais eficaz e a maneira mais viável de minimizar as cargas térmicas das edificações, principalmente no verão (GIVONI, 1994).

Atualmente, a grande variedade de cores e tipos de tintas e revestimentos disponíveis no mercado tem influenciado significativamente nos projetos arquitetônicos. No entanto, os fabricantes das diversas marcas de tintas e revestimentos não apresentam valores de absorptância e/ou refletância das diferentes cores que produzem. Devido à falta destes dados, o profissional escolhe a cor a ser utilizada 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 absorptâncias e refletâncias em superfícies. Além disso, os dados encontrados na literatura brasileira atual baseiam-se, na maioria das vezes, na percepção visual ou em resultados obtidos no exterior, referindo-se a materiais e acabamentos que nem sempre correspondem aos utilizados nas construções brasileiras.

Neste trabalho, são apresentados dados de absorvância e refletância solar medidos em espectrofotômetro para diferentes cores e tipos de tintas comumente utilizadas em fachadas de edifícios no Brasil, além de propor quatro métodos para determinar a absorvância solar de superfícies opacas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

*Disponibilizar dados de absorvância solar para diversas cores e tipos de tintas, apresentar e comparar métodos de determinação da absorvância solar de superfícies opacas, contribuindo para a obtenção de valores mais realistas do que os apresentados em tabelas publicadas até o momento.*

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reapresentar os conceitos referentes à absorção de energia solar de maneira mais consistente do que foi apresentado até o momento pela literatura técnica especializada, assim como as definições que devem ser adotadas em cada caso;
- Discutir os fatores determinantes da absorvância solar de superfícies opacas: absorvidade do material, rugosidade, ondulação e manutenção das superfícies;
- Obter experimentalmente valores de absorvância ao longo do espectro solar para diversas cores de tintas látex acrílica e PVA utilizadas em superfícies opacas de edificações no Brasil, a partir das principais tonalidades disponíveis no mercado;
- Apresentar métodos de determinação da absorvância solar de superfícies opacas, alguns suficientemente simples para que possam ser facilmente utilizados por projetistas, pesquisadores e especialistas;
- Comparar e confrontar as curvas espectrais de absorção das diferentes tintas, a fim de identificar o comportamento destas frente à radiação solar, para as regiões do ultravioleta, visível e infravermelho;
- Complementar informações técnicas ainda não disponíveis no mercado.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

No capítulo após a introdução e justificativas do referido estudo, faz-se uma discussão teórica sobre a radiação solar e sua relação direta com a absorção de calor através das superfícies opacas de edifícios expostas ao Sol. No capítulo seguinte, apresenta-se a definição dos conceitos referentes à absorção de energia solar e seu uso adequado em cada caso, assim como a relação existente entre cores e absorções e as características do olho humano relacionado com a visão das cores. Uma compilação de estudos sobre absorção solar e seus efeitos sobre o desempenho térmico e energético de edifícios é apresentado a seguir, assim como uma discussão aprofundada sobre os fatores determinantes da absorção solar de superfícies opacas.

No capítulo 4 apresenta-se as características e propriedades físico-químicas das tintas utilizadas na construção civil e de seus principais componentes químicos, os quais são os principais responsáveis pelo comportamento espectrofotométrico das amostras estudadas, possibilitando melhor compreensão dos resultados obtidos para as tintas analisadas frente à radiação solar.

O capítulo seguinte trata dos materiais e métodos adotados nesta pesquisa: apresenta as características das diversas amostras analisadas experimentalmente, descreve o procedimento adotado para as medições espectrofotométricas, assim como os métodos propostos neste trabalho para determinar a absorção solar de superfícies opacas. Também relata o procedimento adotado para ajustar os dados de absorção ao espectro solar padrão e a análise do efeito da rugosidade superficial de diferentes amostras sobre a absorção solar.

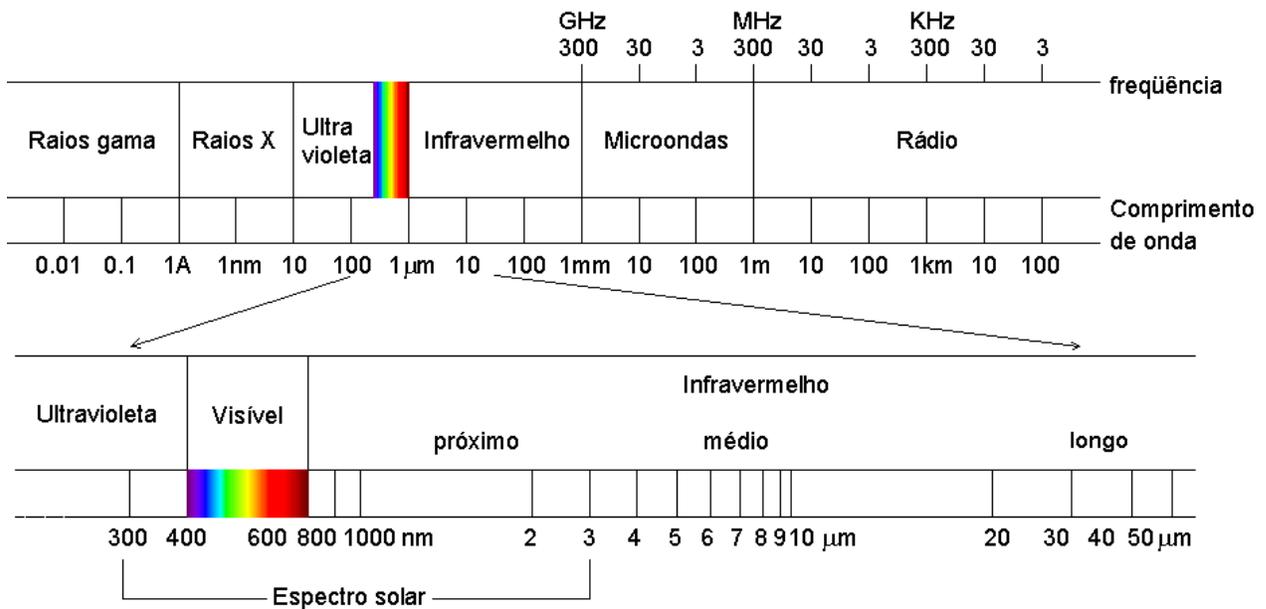
No capítulo 6 apresenta-se e discute-se os resultados obtidos nas diversas etapas da pesquisa, sendo: as curvas de absorção espectral das amostras analisadas, assim como as respectivas absorções médias por faixa do espectro (ultravioleta, visível, infravermelho e espectro solar total); o ajuste das absorções ao espectro solar padrão e a análise comparativa do comportamento espectral das amostras; os resultados de absorção solar determinados a partir dos métodos propostos neste trabalho; e a análise do efeito da rugosidade superficial das amostras.

Para finalizar, o capítulo 7 trata das conclusões, destacando os resultados obtidos com este estudo e a importância da correta quantificação da absorção solar de superfícies opacas.

## 2. RADIAÇÃO SOLAR

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR - ENERGIA ELETROMAGNÉTICA

A radiação eletromagnética é um tipo de energia que é transmitida através do espaço sem necessidade de meio de suporte para isso. A luz visível e o calor são as formas mais facilmente observadas e sentidas de radiação, mas ela pode ser encontrada em muitas outras formas, conforme se observa na figura 2.1 que representa o “espectro eletromagnético”.



**FIGURA 2.1:** Espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região, sendo que a transição de uma região para outra é feita de forma gradual. Cada divisão é função do tipo de processo físico que dá origem à energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética. Os limites do espectro eletromagnético se estendem desde comprimentos de onda muito curtos, associados aos raios cósmicos, até ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda.

A região do espectro eletromagnético entre 300 e 3000 nm é denominada de Espectro Solar e representa o conjunto de radiações geradas pelo Sol, abrangendo três regiões: ultravioleta, visível e infravermelho (Figura 2.1).

A radiação ultravioleta é produzida em grande quantidade pelo Sol, sendo emitida na faixa de 100 a 380 nm, mas é praticamente toda absorvida pela camada de ozônio. Apesar de chegar à superfície terrestre em pequena proporção, a radiação ultravioleta é muito energética, podendo causar diversos efeitos como o desbotamento ou descoloração de pinturas, móveis, quadros, etc. Normalmente, as radiações ultravioletas se dividem em três grupos de propriedades um pouco diferentes: ultravioleta UV-A ou ultravioleta próximo (315 a 380 nm), ultravioleta UV-B (280 a 315 nm) e ultravioleta UV-C (100 a 280 nm). A região do ultravioleta responsável pelo desbotamento da matéria situa-se entre 300 e 380 nm. Comprimentos de onda inferiores a este limite provocam também efeito, mas quase não chegam à superfície terrestre. A radiação solar, na verdade, pode produzir desbotamento até na região do visível em 600 nm, mas com reduzida intensidade, pois a região crítica situa-se nos limites citados acima (CARAM, 1998).

A região visível do espectro solar compreende uma faixa espectral bem definida, que varia de 380 nm a 780 nm, e é aquela para a qual o olho humano é sensível, permitindo a visão dos objetos. Dependendo do comprimento de onda, a luz refletida por uma superfície produz as diferentes sensações de cores (Figura 2.2).



**FIGURA 2.2:** Espectro visível (nm) e cores percebidas.

Os limites da faixa espectral relativa ao infravermelho não são bem definidos, mas são comumente considerados entre 780 nm e 1 mm. Esta região encontra-se dividida em três faixas, conforme descrito por Caram (1998):

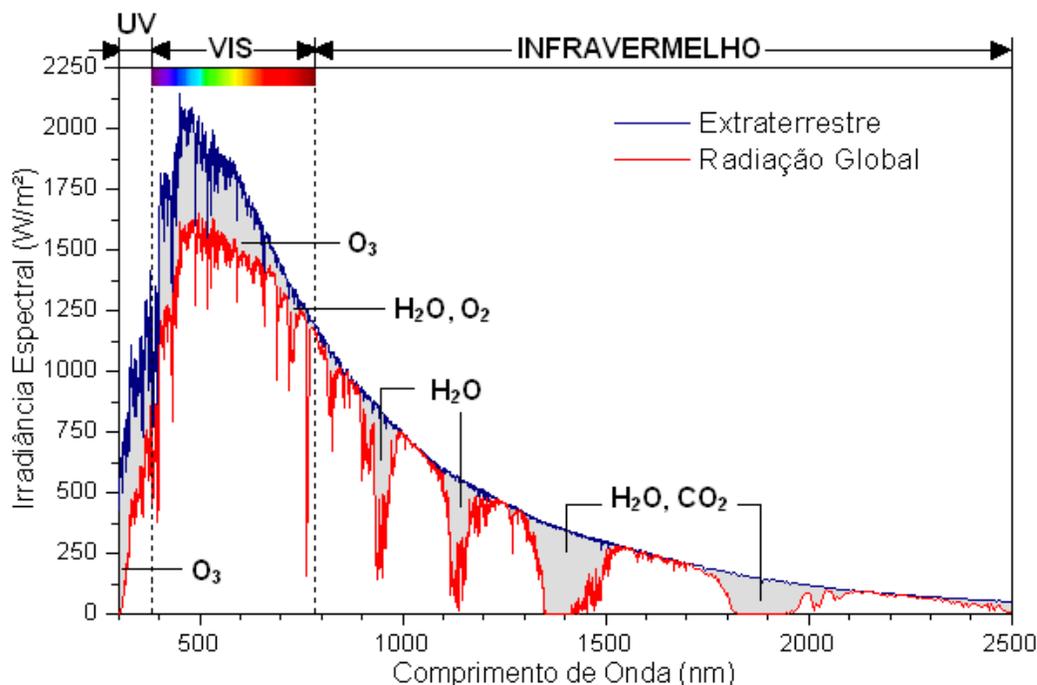
- Infravermelho de ondas curtas (próximo): 780 - 1400 nm;
- Infravermelho de ondas médias: 1400 - 3000 nm;
- Infravermelho de ondas longas: 3000 nm - 1 mm.

A radiação infravermelha é invisível ao olho humano, sendo que um de seus efeitos principais é o térmico, responsável pelo aquecimento dos ambientes. O infravermelho-próximo é fonte de calor e interfere nas condições internas dos ambientes através dos ganhos de calor solar. Essa faixa do infravermelho corresponde a mais da metade do espectro solar sendo, portanto, de extrema importância sua consideração.

## 2.2 RADIAÇÃO SOLAR E O ESPECTRO SOLAR PADRÃO

A radiação solar é a principal fonte de energia para todo o sistema solar e, devido à elevada temperatura do Sol, gera uma grande quantidade de energia que é irradiada para todo o espaço. Ao atravessar a atmosfera terrestre, essa energia pode ser absorvida, refletida ou espalhada, dependendo das partículas e dos gases presentes na atmosfera. Os gases apresentam capacidades de absorção muito variáveis em relação ao comprimento de onda da energia solar incidente no sistema Terra-atmosfera e da energia emitida pela superfície terrestre. Existem regiões do espectro eletromagnético para as quais a atmosfera absorve muito da energia incidente, minimizando a intensidade de radiação solar que chega à superfície terrestre. A parcela de radiação solar que passa livremente pela atmosfera é chamada de “Radiação Direta” e incide sobre a superfície terrestre em diferentes ângulos que dependem da posição relativa do Sol a cada momento. A parte dispersa pela atmosfera, refletida pelas nuvens é chamada de “Radiação Difusa”. A soma das duas parcelas denomina-se “Radiação Global” e a proporção entre ambas dependerá do clima, altitude e das diversas características atmosféricas que se modificam freqüentemente (nebulosidade, presença de vapor d’água, poluição, etc.). Os principais gases absorvedores da radiação solar são vapor de água (H<sub>2</sub>O), oxigênio (O<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>) (DUFFIE; BECKMAN, 1984).

Para servir de referência, a American Society for Testing and Materials (ASTM) definiu um espectro solar padrão com base em série de dados medidos (ASTM, 2003). 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 nesta 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. Na figura 2.3, são apresentadas as curvas de distribuição espectral da energia solar acima da atmosfera terrestre e ao nível do mar (Radiação Global), conforme a norma ASTM-G173-03. A curva de Radiação Global representa o espectro solar padrão e indica a proporção de energia proveniente do Sol correspondente a cada região do espectro solar que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre, distribuída nas seguintes proporções aproximadas: 3% no ultravioleta, 45% no visível e 52% no infravermelho.



**FIGURA 2.3:** Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extraterrestre), e principais gases absorvedores da radiação solar.

Fonte: adaptado de DUFFIE e BECKMAN (1984).

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. Na falta de dados específicos, esta pesquisa baseou-se nos dados publicados pela ASTM (2003).

### 2.3 RADIAÇÃO SOLAR E AS SUPERFÍCIES OPACAS

A incidência da radiação solar sobre os edifícios constitui sua maior fonte de ganhos térmicos e, por este motivo, o meio natural mais eficaz para reduzir ganhos de calor nas edificações é controlar e minimizar a radiação solar que atinge o envelope construtivo ou reduzir sua absorção pelo edifício. O envelope dos edifícios é a divisa entre o ambiente externo e o interno, e no interior das edificações é desejável criar condições de conforto apropriadas para as atividades humanas. Esse envelope é composto de elementos opacos, transparentes e translúcidos, os quais se comportam de maneira distinta frente à radiação solar. Os materiais transparentes e/ou translúcidos são aqueles que permitem a transmissão direta (ou difusa) de parte da radiação solar, enquanto os materiais opacos irão apenas absorver ou refletir essa radiação. Parte da energia absorvida será reirradiada para o ambiente externo, e o restante deste calor será conduzido para o interior do edifício.

Quando a energia radiante atinge uma superfície, essa energia pode ser absorvida, refletida ou transmitida através do material (Eq. 2.1). Assim, a partir da primeira lei da termodinâmica (ASHRAE, 2001):

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad [\text{Eq. 2.1}]$$

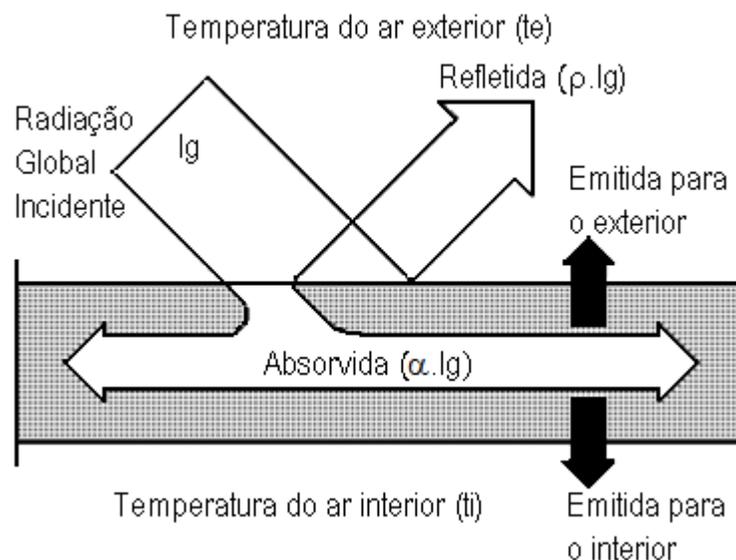
Onde:

- $\alpha$  = fração absorvida da radiação incidente, ou absorvância;
- $\rho$  = fração refletida da radiação incidente, ou refletância;
- $\tau$  = fração transmitida da radiação incidente, ou transmitância.

Para materiais opacos, do total da energia radiante que incide sobre suas superfícies, uma parcela é refletida e outra absorvida, sendo sua transmitância nula ( $\tau = 0$ ). Assim, é possível determinar qualquer uma dessas propriedades (absorvância ou refletância) a partir da outra. Nesta pesquisa, os dados de absorvância ( $\alpha$ ) apresentados com base nas medições de refletância ( $\rho$ ) em espectrofotômetro foram calculados conforme a equação 2.2.

$$\alpha = 1 - \rho \quad [\text{Eq. 2.2}]$$

Para uma superfície opaca exposta à radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa (interior e exterior), os mecanismos de trocas térmicas podem ser esquematizados conforme apresentado na Figura 2.4 e descritos a seguir (SZOKOLAY, 2001):



**FIGURA 2.4:** Trocas de calor através de vedações opacas.

- Parte da energia solar incidente é refletida para o exterior e o restante é absorvido pela superfície;
- A temperatura superficial externa aumenta, excedendo a temperatura do ar;
- Parte da energia é emitida para o exterior por radiação de onda longa, ou é transmitida para o interior por condução através do elemento construtivo.

Considerando-se a transmissão de calor em regime permanente para um corpo opaco, a densidade de fluxo térmico que atinge a superfície externa é a mesma que deixa uma área de mesma proporção na superfície oposta. Neste caso, não se considera a capacidade de armazenamento de calor pelo fechamento. Com relação aos materiais que os compõem, pode-se afirmar que dois fechamentos possuem características idênticas em regime permanente quando: a absorptância à radiação solar da superfície externa de ambos é a mesma, a relação entre a espessura do fechamento e a condutividade térmica ( $\lambda$ ) é igual e a emissividade ( $\epsilon$ ) da superfície interna é a mesma (Granja, 2002 apud Mackey e Wright, 1943).

A densidade do fluxo térmico ( $q$ ) que atravessa esse corpo, por efeito da radiação solar incidente e da diferença de temperatura do ar, em regime permanente, é dada pela equação 2.3:

$$q = U \left( t_e + \frac{\alpha I_g}{h_e} - t_i \right) \quad [\text{Eq. 2.3}]$$

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 ( $^\circ\text{C}$ );
- $\alpha$  = absorptância solar;
- $I_g$  = irradiância solar incidente global ( $\text{W/m}^2$ );
- $h_e$  = condutância térmica superficial externa ( $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Como indica a equação 2.3, o fluxo térmico através do corpo é diretamente afetado pela absorptância 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.

Akbari, Levinson e Berdahl (1996) estudaram as temperaturas superficiais de pavimentos urbanos e formularam a seguinte equação (Eq. 2.4), que ilustra a importância das absorptâncias sobre estas temperaturas, porém desconsidera o fluxo térmico por condução:

$$\alpha \cdot I_g = \varepsilon \cdot \sigma (T_S^4 - T_c^4) + h_c (T_S - T_a) \quad [\text{Eq. 2.4}]$$

Onde:

- $\alpha$  = absorptância solar;
- $I_g$  = irradiância solar global ( $\text{W}/\text{m}^2$ );
- $\varepsilon$  = emissividade da superfície;
- $\sigma$  = constante de Boltzmann =  $5,671 \times 10^{-8} (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4))$ ;
- $T_S$  = temperatura absoluta da superfície (K), válida para regime permanente ou pouca inércia;
- $T_c$  = temperatura aparente do céu (K);
- $T_a$  = temperatura absoluta do ar (K);
- $h_c$  = coeficiente de convecção ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ).

Os mesmos autores sugerem as seguintes condições ambientais como referência para a avaliação teórica de materiais (Tabela 2.1):

**TABELA 2.1:** Condições ambientais de referência para aplicação da equação 2.4.

$I_g$	$T_a$	$T_c$	$h_c$
1000 $\text{W}/\text{m}^2$	37°C = 310 K	27°C = 300 K	12 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Fonte: AKBARI; LEVINSON; BERDAHL, 1996.

Sob tais condições, as temperaturas superficiais ( $T_S$ ) podem ser estimadas através da equação 2.5. Para outras condições, as temperaturas superficiais são obtidas por iteração da equação 2.4.

$$T_S = 310,04 + 82,49 \cdot \alpha - 2,82 \cdot \varepsilon - 54,33 \cdot \alpha \cdot \varepsilon + 21,72 \cdot \alpha \cdot \varepsilon^2 \quad [\text{Eq. 2.5}]$$

As temperaturas apresentadas na tabela 2.2 foram calculadas através dessas equações e para as condições ambientais de referência (Tabela 2.1). Enquanto a absorptância indica a capacidade da superfície em absorver radiações solares (ondas curtas), a emissividade ( $\varepsilon$ ) determina o seu potencial para emitir e absorver energia radiante em ondas longas. As temperaturas superficiais resultantes são diretamente proporcionais à absorptância.

**TABELA 2.2:** Temperaturas superficiais como função de absorvâncias e emissividades médias de alguns materiais, para as condições indicadas na Tabela 2.1.

<b>Materiais</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\epsilon</math></b>	<b><math>\alpha/\epsilon</math></b>	<b>Temperatura Superficial (°C)</b>	
Sulfato de bário com álcool poliv.	0,06	0,88	0,07	37,6	
Alumínio polido	0,05	0,05	1,00	40,9	
Reboco	0,45	0,90	0,50	55,0	
Aço inoxidável polido	0,42	0,11	3,82	69,0	
Tijolo aparente	0,70	0,90	0,78	70,3	
Concreto aparente	0,75	0,90	0,83	72,9	
Telha de barro	0,80	0,90	0,89	75,5	
Asfalto	0,95	0,95	1,00	82,3	
Caiçãõ nova	0,15	0,90	0,17	42,2	
Branco, base óxido de titânio	0,20	0,90	0,22	44,7	
Aluminizado brilhante	0,30	0,31	0,97	56,5	
Aluminizado, base epóxi	0,77	0,81	0,95	75,4	
Negro, base carbono	0,96	0,88	1,09	84,0	

Fonte: RORIZ; DORNELLES; RORIZ, 2007.

Estes exemplos confirmam a importância da absorvância solar sobre o comportamento térmico das edificações, pois afeta diretamente as temperaturas alcançadas pelas superfícies expostas ao Sol e, conseqüentemente, a intensidade do fluxo térmico através do envelope construtivo.

### **3. ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS**

---

#### **3.1 ABSORTÂNCIA X ABSORTIVIDADE**

Um erro comum que ocorre na literatura técnica especializada, tanto nacional quanto internacional, é o emprego do termo “*absortividade*” ao invés de “*absortância*”, para caracterizar a quantidade de energia radiante que é absorvida por uma superfície. No entanto, esses dois termos representam conceitos distintos e, para serem adotados corretamente ao longo desta pesquisa e dos próximos estudos referentes ao tema, apresenta-se neste item a definição a ser adotada em cada caso.

Os sufixos “-ância” e “-idade”, que compõem a formação das palavras “*absortância*” e “*absortividade*”, designam significados diferentes para essas propriedades relacionadas à absorção de energia radiante. O sufixo “-idade” refere-se a propriedades específicas de materiais ou substâncias, enquanto o sufixo “-ância” refere-se a propriedades características de um corpo físico. Assim, o termo “*absortividade*” representa a quantidade de energia radiante absorvida do total que incide sobre um determinado material ou substância, e depende de sua composição química. Já o termo “*absortância*” é definido como a quantidade de energia radiante que atinge uma superfície e que é absorvida por ela. A absortância de uma superfície será função da absortividade do material que compõe a sua camada superficial exposta à radiação e de outras características da superfície, como a rugosidade, ondulação, etc., conforme discutido no item 3.4 a seguir.

Tanto as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005a) como os Fundamentos da ASHRAE (ASHRAE, 2001) apresentam os termos absortância (ou *absorptance*) para se referir a quantidade de energia absorvida por uma superfície, diferente de muitos autores que fazem confusão com os termos já citados. Neste trabalho, os termos absortância solar e refletância solar serão adotados conforme as definições apresentadas na NBR15220-1 (ABNT, 2005a):

- *Absortância Solar* ( $\alpha$ ): quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície;
- *Refletância Solar* ( $\rho$ ): quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

## 3.2 ABSORTÂNCIA SOLAR E CORES DAS SUPERFÍCIES

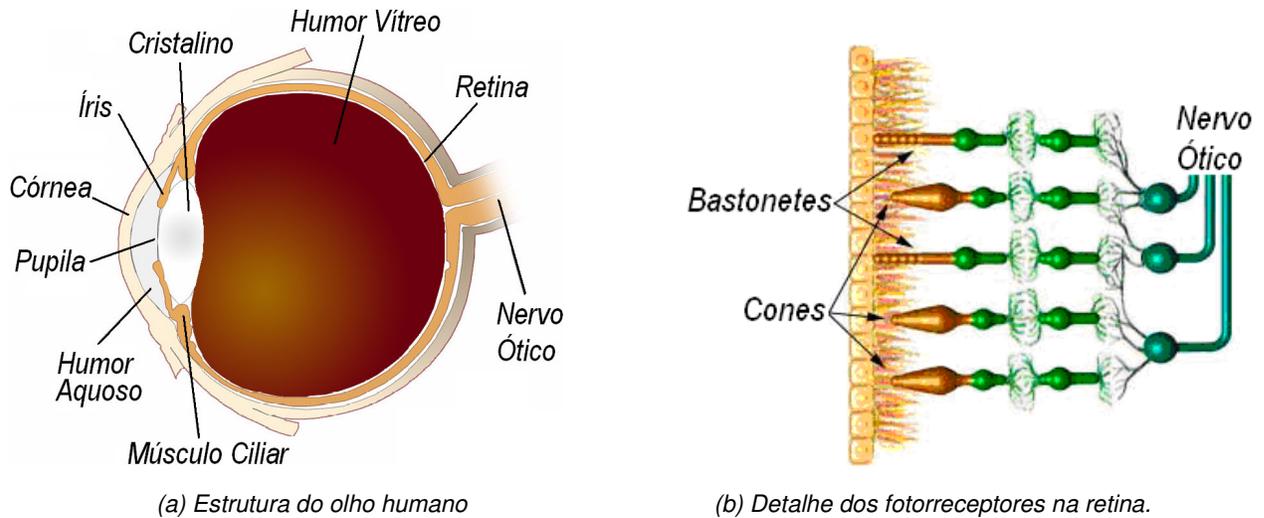
Freqüentemente, menciona-se uma relação direta entre cores e absorvâncias (ou refletâncias) das superfícies. Embora equivocada, esta simplificação ainda é adotada mesmo em importantes documentos considerados referência internacional, como os Fundamentos da ASHRAE (2001) ou a norma NBR15220-3 (ABNT, 2005b). Consagrou-se, dessa maneira, o conceito de que a absorvância seria crescente na medida em que as cores fossem mais escuras. Há mais de 300 anos, no entanto, Newton comprovou que as radiações não têm cor. Cores são apenas sensações visuais e podem variar entre diferentes observadores, não sendo indicadores confiáveis das propriedades físicas de uma superfície.

Para esclarecer este equívoco, esta pesquisa aprofunda as discussões sobre a relação entre cores e absorvâncias (ou refletâncias). Para isso, inicialmente discute-se neste capítulo as características do olho humano relacionado com a visão das cores, assim como os conceitos básicos sobre cores e alguns de seus sistemas de classificação.

### 3.2.1 OLHO HUMANO E VISÃO DAS CORES

A visão humana é resultado da estimulação do olho por radiação eletromagnética emitida na região visível do espectro solar, chamada de “luz visível”. As cores dos objetos percebidas pelo olho humano são determinadas por quais comprimentos de onda da luz são refletidos por esses objetos. O olho humano capta a energia luminosa refletida e a transforma em impulsos nervosos transmitidos ao cérebro, que serão convertidos na imagem do objeto observado.

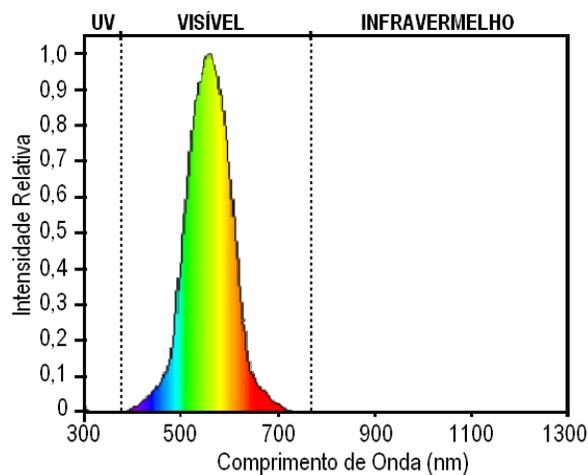
O olho humano é um sistema sensorial complexo que desempenha funções de formação e processamento de imagens em conexão com o cérebro. A principal função do olho é a conversão dos fótons incidentes em sinais elétricos para serem enviados ao sistema cerebral. A luz que penetra no olho percorre o meio óptico composto pela córnea, o humor aquoso, o cristalino e o humor vítreo, antes de chegar à retina, onde é criada a imagem invertida do objeto observado (Figura 3.1). A retina é um tecido nervoso formado por elementos fotorreceptores (cones e bastonetes), cujo objetivo principal é transformar a luz recebida em impulsos nervosos. Os bastonetes são muito sensíveis à luz, mas não permitem a visualização das cores, sendo responsáveis apenas pela acuidade visual (visão noturna), ou seja, pela resolução espacial da imagem. Os cones são ativados a níveis normais ou altos de luminosidade e permitem a visão das cores (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY, 1984).



**FIGURA 3.1:** Estrutura do olho humano e detalhe simplificado das conexões neurais na retina.

Fonte: adaptado de WYOFOTO (2006).

Nos cones podem ser encontrados fotorreceptores que respondem aos espectros de luz definidos em três comprimentos de onda distintos: 420 nm, 534 nm e 564 nm. Tais comprimentos de onda correspondem, respectivamente, às cores azul, verde e vermelho, mas a sensibilidade dos cones para os diferentes comprimentos de onda não é fisicamente idêntica. Este comportamento diferenciado descreve a sensibilidade espectral do olho humano, que não é constante ao longo da região visível do espectro eletromagnético. Na Figura 3.2, apresenta-se a curva de sensibilidade do olho humano para um observador padrão, cujo pico ocorre no comprimento de onda de 555 nm aproximadamente, para condições normais de luminosidade (IES, 1984).

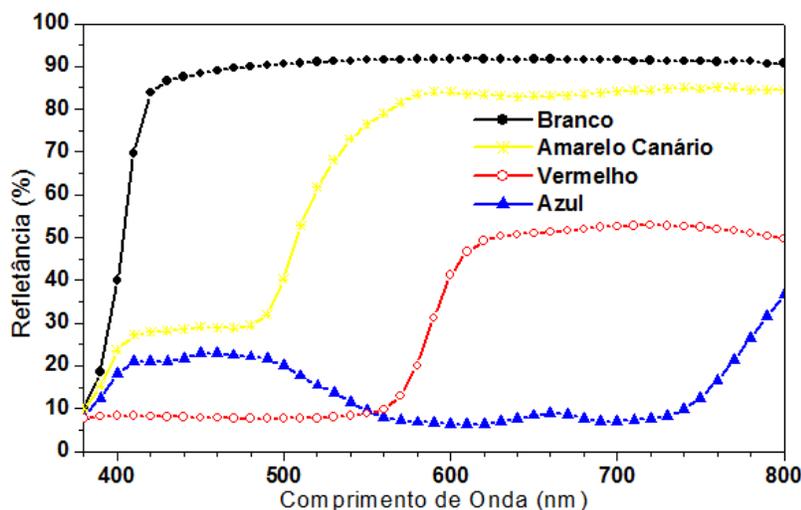


**FIGURA 3.2:** Curva de sensibilidade do olho humano.

Fonte: adaptado de IES (1984).

As cores da maioria dos objetos são vistas em função das propriedades espectrais da fonte luminosa, ou seja, da quantidade de luz emitida pela fonte para cada comprimento de onda. Além disso, cada superfície possui uma capacidade específica em refletir luz nos diferentes comprimentos de onda, o que define sua curva espectral de refletância característica. A cor de um objeto percebida pelo olho humano será função dessas características da fonte luminosa e do objeto observado, além da sensibilidade dos cones presentes na retina, para cada comprimento de onda. Como a visão humana percebe apenas um estreito intervalo de radiações, não permite identificar as propriedades físicas de uma superfície em relação ao espectro solar total, como a absorptância ou refletância solar.

Na Figura 3.3 são apresentadas curvas espectrais de refletância de algumas amostras analisadas nesta pesquisa, cujas refletâncias na região visível (380 a 780 nm) são mais altas nos comprimentos de onda correspondentes a cada cor.



**FIGURA 3.3:** Curvas espectrais de refletância para diferentes cores de tinta na região visível.

Fonte: DORNELLES; RORIZ, 2006.

Observa-se que a amostra pintada de branco reflete uniformemente em quase 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 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.

### 3.2.2 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE CORES

Ao se observar um objeto, associa-se a cor percebida como se a cor fosse uma característica material desse objeto. Mas embora pareça uma qualidade do material, ela é apenas uma impressão sensorial de quem observa. As cores atribuídas aos objetos são aquelas percebidas sob a iluminação na qual esses objetos são comumente vistos e sua cor pode mudar de acordo com as condições de observação (PEREIRA, 2000).

Segundo Pereira (2000), três fatores são essenciais para a cor ser produzida: uma fonte de luz, um objeto iluminado e um observador. Na primeira etapa da produção da cor, a luz emitida pela fonte atinge o objeto, parte dessa luz é absorvida pelo objeto e outra parte é refletida. Certa quantidade da luz refletida penetra no olho do observador, formando uma imagem do objeto na parte do olho que é sensível à luz. Assim, a luz que atinge as células visuais no olho origina impulsos nervosos que são propagados para o cérebro, causando uma reação fisiológica e psíquica no observador, chamada de “*resposta cromática*”. As respostas cromáticas possuem três características distintas: a *matiz*, a *claridade* e a *saturação*, chamadas de dimensões ou atributos da cor.

O **matiz** é a característica da sensação cromática que distingue, por exemplo, aquilo que se denomina “azul” daquilo que se denomina “vermelho”. É a característica que usualmente é chamada “cor” e está relacionada ao tipo de luz que atinge os olhos.

A **claridade** é a variação de claro-escuro da cor, refere-se à quantidade de luz que atinge os olhos. Trata-se da característica que distingue, por exemplo, aquilo que se denomina “azul” daquilo que se denomina “azul-claro”.

Já a **saturação** refere-se à variação de pureza da cor. É o que distingue, por exemplo, o que se denomina “azul” do que se denomina “azul-acinzentado”. Diz-se que uma tonalidade é saturada quando ela é pura, intensa. Ela se torna “*dessaturada*” à medida que se torna mais clara, escura ou acinzentada, ou seja, à medida que perde “cor”.

Assim, Pereira (2000) apresenta o seguinte conceito de cor:

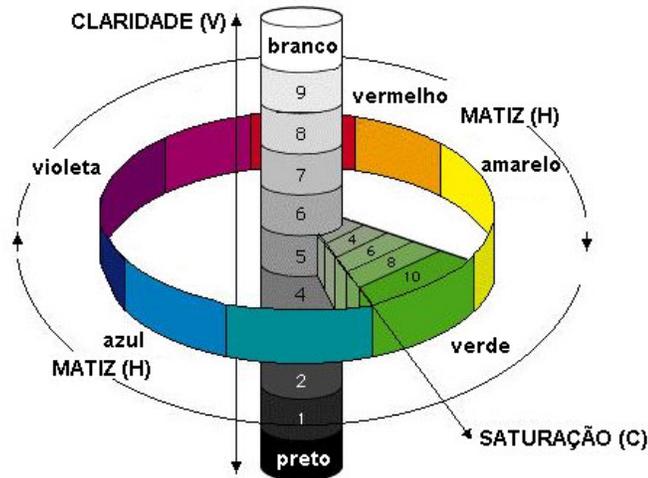
“[...] a cor é o aspecto visual dos objetos cuja percepção decorre do tipo e da quantidade da luz refletida pelas superfícies, provocando respostas fisiológicas e psicológicas no observador. Tais sensações visuais podem ser descritas por meio de suas características de matiz, claridade e saturação”.

As cores podem ser descritas por nomes ou designações numéricas. No entanto, os nomes de cores são uma forma pouco precisa de identificação, pois quando se descreve uma cor como “azul”, por exemplo, não se está informando exatamente qual tonalidade de azul está sendo mencionada.

Para identificar com precisão suficiente a cor de um objeto ou de uma luz, procura-se caracterizá-la por dados numéricos. Os resultados de comparações visuais de cores podem ser traduzidos por um conjunto de três números que se referem às três características cromáticas de matiz, claridade e saturação. A partir de tais características e utilizando-se um sistema de referência, é possível identificar objetivamente uma cor.

Existem diversos sistemas que organizam e descrevem cores. Alguns se baseiam em amostras materiais de cores, como a mistura de diferentes corantes, e outros são baseados na maneira como as cores são percebidas pelo olho humano. Segundo Pedrosa (1982), diversos cientistas tentaram elaborar um sistema de classificação das cores. As duas primeiras tentativas importantes de classificação foram o disco de Newton e a estrela de Goethe, seguidas por outros estudos ao longo dos séculos XVIII e XIX e início do século XX. Entretanto, o trabalho de maior sucesso foi desenvolvido pelo pintor americano Albert Munsell, que criou seu sistema em 1912 e foi adotado oficialmente pelos Estados Unidos em 1942. Mais tarde, foram rigorosamente determinados os comprimentos de onda, brilho e saturação das amostras do *Munsell Book of Color*. Baseado na percepção visual humana, este sistema é um dos mais conhecidos em todo o mundo, sendo utilizado ainda hoje como referência para o design, para a indústria e para a pesquisa.

O sistema de notação de cor Munsell identifica a cor de acordo com três atributos: matiz, claridade e saturação, que o sistema denomina respectivamente de *Hue* (H), *Value* (V) e *Chroma* (C). Os três atributos são organizados em um diagrama sólido semelhante a uma árvore (Figura 3.4), em que o tronco é o eixo da grandeza Valor (V), as ramificações em vários ângulos são as Matizes (H) e a distância ao longo do eixo de cada ramificação o Chroma (C). Munsell adotou 5 matizes (H) principais: Vermelho, Amarelo, Verde, Azul e Violeta, cada um deles subdivididos em 5 tons intermediários. O atributo valor (V) indica a posição relativa de cada cor em uma escala de cinzas neutros, que vão do preto absoluto ao branco absoluto. O chroma (C) indica o grau de saturação da cor. A gama de cores do *Munsell Book of Color* abrange grande parte dos materiais naturais e artificiais.

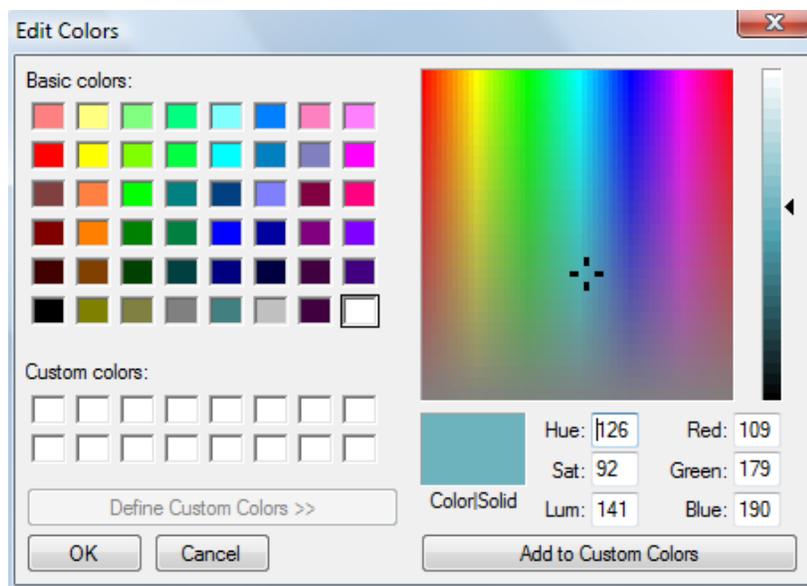


**FIGURA 3.4:** Escala de cores do Sistema de Classificação de Munsell.

Fonte: adaptado de SCHILS (2005)

A partir da classificação de cores de Munsell e de novos aperfeiçoamentos, desenvolveu-se instrumentos capazes de identificar rigorosamente as cores em substituição à sensação visual, que depende de cada indivíduo, pela obtenção de dados medidos em laboratório. Esses instrumentos passaram a ser conhecidos como colorímetros e sua técnica como colorimetria. Assim, ao lado da nomenclatura criada pela linguagem comum no decorrer dos séculos (por exemplo, vermelho-alaranjado, amarelo-esverdeado, etc.), formou-se uma nova maneira de se referir às cores, em que o matiz, a claridade e a saturação são objetivamente determinados.

O objetivo de se obter um modelo de cor é permitir especificações convenientes dentro de uma faixa de cores possíveis. Seu uso proporciona uma maneira de traduzir cores em dados numéricos de modo a poderem ser descritas de maneira consistente em vários meios. Existem alguns sistemas de classificação das cores, chamados de Sistemas Cromáticos Digitais, que representam tentativas de se reproduzir, em monitores ou em televisores, sensações visuais semelhantes às provocadas pelos objetos reais. Dentre esses sistemas, os mais conhecidos são o “Modelo RGB” e o “Modelo HSL”. Este modelos estão presentes na maioria dos programas computacionais de imagens e seus valores de RGB (*Red*, *Green* e *Blue*) e HSL (*Hue*, *Saturation* e *Luminance* ou *Lightness*) que classificam as cores das imagens podem ser facilmente obtidos através das janelas de edição de cores desses programas (Figura 3.5).



**FIGURA 3.5:** Exemplo de janela de edição de imagens com valores de RGB e HSL para cada cor.

Um dos métodos de determinação da absorção solar de superfícies opacas apresentados nesta pesquisa utiliza a classificação das cores das amostras analisadas através dos modelos RGB e HSL, conforme apresentado no capítulo 5, Materiais e Métodos.

### 3.3 ABSORTÂNCIA SOLAR E O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS

#### 3.3.1 EFEITOS DA ABSORTÂNCIA NO ENVELOPE DOS EDIFÍCIOS

O meio mais eficaz do projetista poder controlar a quantidade de calor que chega até o interior de uma edificação é considerar cuidadosamente o modo como o envelope construtivo tanto absorve quanto reflete a radiação solar. Segundo Givoni (1981), superfícies com baixa absorção solar que refletem a maior parte do calor e da luz do Sol (ou seja, radiação visível e infravermelha) usualmente são lisas e pintadas com cores “claras”.

Segundo Berdhal e Bretz (1997), a economia com sistemas de ar condicionado é alcançada reduzindo-se a temperatura superficial externa de edificações, que por sua vez reduz o fluxo de calor através do envelope da edificação. Esta redução pode ser atingida aumentando-se a refletância solar das superfícies opacas externas da edificação, o que diminui o ganho de calor pelas envoltentes.

Os impactos térmicos resultantes do uso de diferentes absorptâncias no envelope das edificações têm sido objeto de inúmeras pesquisas. Estudos experimentais e simulações por computador demonstraram que o uso de envelopes com alta refletância solar pode diminuir consideravelmente as temperaturas do ar no interior das edificações (MEIER, 1997).

Givoni (1981) apresenta resultados obtidos nos primeiros estudos sobre o efeito da absorptância solar do envelope construtivo nas temperaturas internas de edificações localizadas em Israel (GIVONI; HOFFMAN, 1965, 1968). Os estudos demonstraram que as temperaturas superficiais externas de paredes de alta absorptância foram muito superiores à temperatura do ar no exterior da edificação, indicando o efeito da radiação solar incidente. Por outro lado, as paredes com baixa absorptância solar apresentaram temperaturas superficiais externas muito próximas à temperatura do ar no exterior. Além desses resultados, comprovou-se que, para paredes de alta absorptância (pintadas de preto), a diferença entre as temperaturas superficiais de paredes em diferentes orientações pode chegar a até 23°C, enquanto para paredes de baixa absorptância (pintadas de branco), a diferença é inferior a 3°C.

Bansal, Garg e Kothari (1992) realizaram medições em protótipos para analisar o efeito da cor do envelope sobre o desempenho térmico de edificações. Os resultados experimentais demonstraram que a “cor” do envelope (ou sua absorptância) tem efeito considerável sobre o comportamento térmico das edificações. De acordo com seus resultados, as temperaturas do ar no verão em um ambiente pintado de branco (baixa absorptância) podem ser cerca de 7°C mais baixas do que no mesmo ambiente pintado de preto (elevada absorptância). Para o inverno, essa diferença pode ser de até 4°C, mesmo com trocas de ar no ambiente.

Em um estudo realizado por Shariah et al. (1998), analisou-se o efeito da absorptância solar de superfícies externas de edificações sobre as cargas de aquecimento e refrigeração para o clima de duas cidades na Jordânia: uma com clima moderado e outra de clima quente. Foram realizadas simulações computacionais com o programa TRNSYS, variando-se a absorptância de 0 a 100%, para diferentes tipos de paredes. Os resultados desta pesquisa demonstraram que, diminuindo-se a absorptância solar de 100% até 0, a carga de energia total (aquecimento e refrigeração) teve um decréscimo de aproximadamente 30% para a cidade de clima moderado e cerca de 40% para a cidade de clima quente.

Mulhall e Aynsley (1999) utilizaram o programa computacional BERS (*Building Energy Rating Scheme*) para determinar a influência do uso da pintura externa com baixa absorptância solar sobre o desempenho térmico de casas localizadas no clima quente e úmido da Austrália. Os resultados confirmaram que este tipo de pintura reduz significativamente o consumo de

energia com refrigeração, para casas com ar condicionado. Os autores citam o estudo realizado por Ballinger (1996), em que se comprovou que o uso de pinturas altamente refletivas gera benefícios na economia de energia para casas com ar condicionado e resultam em mais horas de conforto térmico para casas naturalmente ventiladas.

Cheng (2004) apresenta resultados de um experimento realizado em Hong Kong, em que foram medidas as temperaturas do ar no interior e exterior de dois protótipos pintados com duas cores diferentes: branco fosco, com absorvância solar de 25% e preto fosco, com absorvância solar de 80%. Os resultados demonstraram que, tanto no verão quanto no outono, a temperatura máxima interna no protótipo preto foi cerca de 12°C superior à do protótipo branco. A temperatura do ar no protótipo branco, durante o dia, permaneceu próxima à temperatura do ar exterior, com temperatura máxima interna cerca de 2°C a 3°C superior à externa. Durante a noite, as temperaturas internas nos dois protótipos foram similares.

Santana e Ghisi (2007) avaliaram a influência do percentual de área de janela na fachada e da absorvância de paredes externas no consumo de energia em edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC, através de simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus. Os resultados evidenciaram que, mantendo-se o percentual de área de janela fixo, o consumo de energia aumentou 21,6% para uma variação da absorvância solar das fachadas entre 10 e 90%.

A maior parte dos estudos com protótipos relacionados ao efeito das cores (ou absorvâncias) do envelope construtivo sobre as temperaturas internas de edificações considera apenas duas cores: o branco, representando as cores claras (baixa absorvância), e o preto (ou cinza) representando as cores escuras (alta absorvância). O mercado de tintas e revestimentos, entretanto, oferece grande variedade de cores, com diferentes tonalidades e tipos de acabamentos, enriquecendo as possibilidades estéticas dos projetos arquitetônicos. E o usuário, ao escolher a cor a ser utilizada nos fechamentos opacos de uma edificação, usufrui desta variedade de tons apenas por sua percepção visual, sem ter conhecimento dos efeitos que a cor selecionada produzirá sobre os desempenhos térmico ou lumínico da edificação.

Atualmente, a literatura técnica especializada dispõe de apenas alguns valores médios de absorvância solar e refletância, na maioria das vezes 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 absorvância solar de cores, a tabela 3.1 reúne alguns dados publicados no Brasil e exterior.

**TABELA 3.1:** Valores compilados de absorção solar publicados por diversos autores.

CORES	ABSORÇÃO SOLAR ( $\alpha$ )						
	Rivero (1986)	Szokolay (1987)	Mascaró (1991)*	Frota e Schiffer (1995)**	Lamberts, Dutra e Pereira (1997)	ASHRAE (2001)	ABNT (2005b)
<b>PINTURA:</b>							
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
<b>TIPO DE SUPERFÍCIE:</b>							
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
Caiação (pintura com cal)	---	---	---	---	---	---	0,12-0,15

\* Mascaró (1991) cita Cintra do Prado (1961). Os dados publicados por Mascaró foram de Refletância Solar ( $\rho$ ), 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 (2005b) são, aparentemente, uma compilação dos valores apresentados na tabela 3.1. Desta forma, torna-se de grande necessidade a divulgação de valores de absorção solar mais exatos e atualizados.

Segundo Berdahl e Bretz (1997), somente algumas informações limitadas sobre refletância solar têm sido publicadas. Os autores citam Touloukian, DeWitt e HERNICZ (1972), que apresentaram uma compilação de dados espectrais de vários materiais, inclusive pinturas brancas contendo pigmentos de dióxido de titânio, e Taha, Sailor e Akbari (1992), que apresentaram alguns resultados de refletância a partir de medições de campo. Reagan e Acklam (1979), também citados pelos autores, publicaram tabelas de refletância de materiais de construção comuns, como parte de um estudo sobre temperaturas de telhados.

No Brasil, são raras as pesquisas sobre o comportamento dos materiais opacos frente à absorção do calor solar. Rosado e Pizzutti (1997) publicaram dados obtidos em um estudo cujo objetivo principal foi elaborar um manual para aplicação de cores em edificações. O manual aborda a influência das cores sobre o conforto térmico na edificação, de acordo com a absorptância e refletância da radiação solar de 165 pigmentos de tinta, à disposição no mercado regional. Os experimentos consistiram em levantamentos das temperaturas do ar e temperaturas superficiais de 165 tarjetas preparadas sobre uma base de isolante térmico e dos valores relativos à radiação solar, no instante do experimento. A absorptância solar ( $\alpha$ ) para as diferentes cores foi determinada indiretamente, a partir da seguinte expressão (Eq. 3.1):

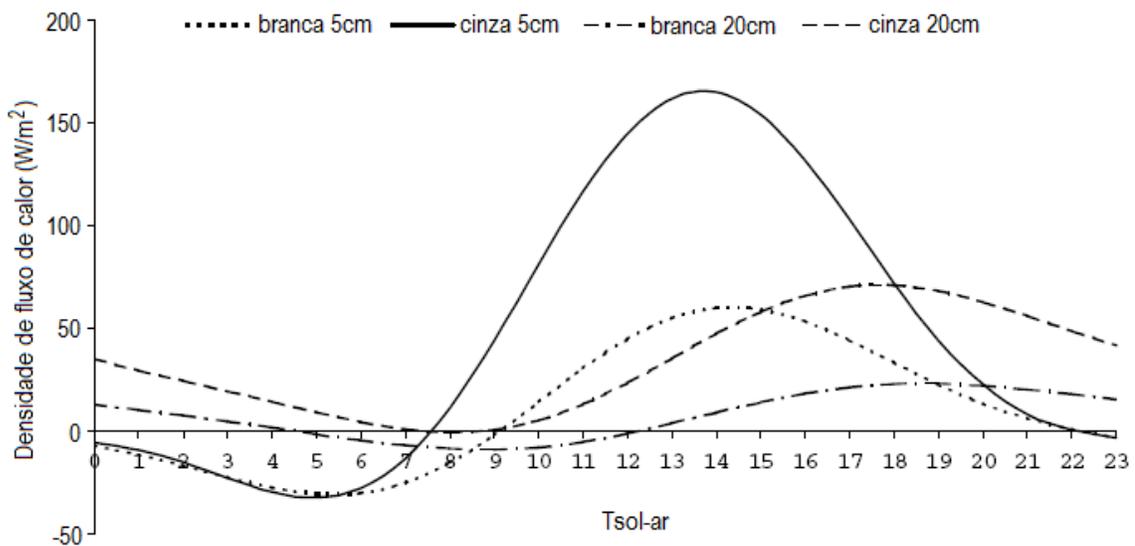
$$\alpha = \frac{(t_s - t_{ar}) \times h_c}{I_g} \quad [\text{Eq. 3.1}]$$

Onde:

- $\alpha$  = absorptância solar;
- $t_s$  = temperatura superficial (°C);
- $t_{ar}$  = temperatura do ar (°C);
- $h_c$  = coeficiente de convecção para planos horizontais;
- $I_g$  = energia da radiação solar incidente (W/m<sup>2</sup>).

Os resultados obtidos demonstraram que a cor branco gelo ( $\alpha=0,36$ ), usualmente utilizada como segunda opção de cor clara depois do branco ( $\alpha=0,30$ ), apresentou absorptância superior às cores palha ( $\alpha=0,34$ ), marfim ( $\alpha=0,34$ ) e areia ( $\alpha=0,35$ ), que são cores geralmente consideradas “claras” (de baixa absorptância solar), mas visualmente classificadas como “mais escuras” (maior absorptância solar) que o branco gelo. No entanto, o estudo não indica qual a precisão do método adotado para determinação da absorptância solar das amostras.

Granja (2002) estudou a influência da cor na transmissão de calor através de um fechamento opaco homogêneo (placa de concreto), considerando-se diferentes absorptâncias à radiação solar da face externa do fechamento (branca:  $\alpha = 20\%$  e cinza:  $\alpha = 70\%$ ). Também se investigou a diminuição da influência da absorptância à medida que se aumenta a espessura do fechamento. Conforme apresentado na Figura 3.6, os resultados baseados em um modelo matemático indicaram que, para uma placa de concreto de 5 cm de espessura, quando se altera a absorptância da superfície de 70% para 20%, há uma redução na amplitude da onda de calor de 105,1 W/m<sup>2</sup> (de 165 W/m<sup>2</sup> para 59,9 W/m<sup>2</sup>). Porém aumentando-se a espessura da placa para 20 cm, quando alterada de cinza para branco, a mesma registrou uma redução de 47,9 W/m<sup>2</sup> (de 70,9 W/m<sup>2</sup> para 23 W/m<sup>2</sup>). No entanto, nota-se que a redução percentual foi igual a 64% e 68%, respectivamente, o que indica, em números absolutos, que a influência da absorptância na transmissão de calor em fechamentos opacos apresenta maior importância em estruturas com menor espessura. Segundo Granja (2002), o aumento da espessura supera o efeito da absorptância na densidade de fluxo de calor, nesse caso.



**FIGURA 3.6:** Relação entre absorptâncias e espessura de uma placa de concreto.

Fonte: adaptado de GRANJA (2002).

Com relação ao aproveitamento da radiação solar para iluminação dos ambientes, Oiticica et al. (2000) especificaram a refletância à luz para diferentes cores de um fabricante de tintas local, adotando-se a cor branca como 85% de reflexão e medindo-se a refletância de outras cores, sempre em relação à cor branca. Comprovou-se que, para uma mesma cor, há diferenças de até 15% de refletância entre o valor máximo e mínimo (por exemplo, do vermelho claro ao vermelho escuro).

Castro (2002) estudou a atenuação do ganho de calor solar através da escolha adequada da cor externa. Para amostras de tintas obtidas a partir do catálogo do fabricante e medidas em espectrofotômetro, os resultados indicaram que a cor Amarelo Vanilla também pode ser considerada uma opção de cor de baixa absorvância, uma vez que apresentou refletância ao infravermelho (66%) superior ao Branco Gelo (57%), usualmente adotado como segunda opção de cor “clara” depois do branco. No caso de amostras de tinta pintadas em pastilhas de argamassa de cimento, os resultados indicaram que as cores que refletem mais no visível nem sempre refletem mais no infravermelho. A autora também constatou considerável diferença entre as refletâncias apresentadas por pastilhas pintadas e as obtidas a partir do catálogo. Este fato reforça os riscos representados pelas decisões tomadas com base apenas na aparência, pois nem sempre a cor escolhida no catálogo representa o comportamento da superfície pintada. Segundo Castro (2002), deve-se averiguar o comportamento da cor em superfície real.

Um estudo recentemente desenvolvido no Brasil por Ferreira e Prado (2003) apresenta resultados da medição de refletância solar de materiais utilizados em coberturas de edifícios, através da análise espectrofotométrica. Neste trabalho, foram medidas as características espectrais de telhas novas, para materiais comumente utilizados em coberturas de edifícios no país. Para a região do infravermelho, os materiais metálicos sem pintura (alumínio, aço galvanizado, metal com banho de alumínio e zinco) e a cerâmica vermelha e branca apresentaram refletância elevada, com valores em torno de 70%. Já os materiais metálicos com pintura apresentaram refletância inferior a 60%, com exceção de telhas termo-acústicas nas cores branca e cerâmica, que apresentaram valores de aproximadamente 63%. As telhas de cimento colorido e fibrocimento apresentaram refletâncias inferiores a 40%, sendo que o cimento colorido cinza escuro apresentou o pior resultado: aproximadamente 10% (FERREIRA; PRADO, 2003).

Além da refletância e absorvância solar de superfícies opacas, o efeito térmico causado pelos “atributos visuais” das cores também foi objeto de estudo de alguns pesquisadores. Estes atributos foram determinados por sistemas consagrados de classificação das cores, adotados internacionalmente nos diversos campos de estudo sobre percepção visual.

Jones (1968) conduziu experimentos para determinar a influência dos atributos visuais das cores sobre a absorção de calor superficial. Foram medidas temperaturas superficiais de placas de metal pintadas com cores de diferentes matizes, claridade e saturação, expostas ao sol do meio-dia. Seus resultados revelaram que, para cores com mesma claridade e saturação,

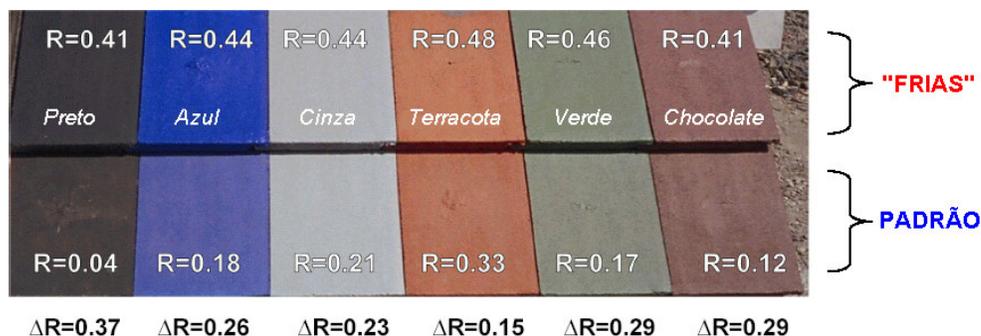
o matiz em comprimentos de onda intermediários, como o verde e o amarelo, absorvem mais calor, resultando nas temperaturas mais altas, cerca de 70°C. Cores com comprimentos de onda mais longos ou mais curtos, como vermelho ou azul, possuem temperaturas igualmente inferiores, em torno de 60°C. Segundo o autor, os resultados da pesquisa são bastante significativos para os arquitetos, considerando-se a escolha da cor externa para climas quentes.

Dando continuidade aos estudos de Jones (1968), Cheng (2004) estudou o efeito térmico dos atributos visuais da cor do envelope. Foram construídos em madeira pequenos protótipos de mesmas dimensões, pintados em 16 cores diferentes e com um termopar pendurado no interior de cada um deles. Estas pequenas caixas foram lacradas e instaladas na cobertura de uma edificação, sendo monitoradas as temperaturas do ar no interior das mesmas. As cores utilizadas nas caixas basearam-se no Sistema de Cores Munsell. Resumidamente, os resultados deste experimento sugeriram que o atributo valor (Value) tem influência significativa sobre o desempenho térmico do envelope da edificação, visto que, segundo a autora, este atributo indica a claridade da cor. Os atributos matiz (H) e croma (C), por outro lado, apresentaram efeito desprezível sobre o desempenho térmico do envelope da edificação.

### **3.3.2 ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES SELETIVAS**

A grande maioria das superfícies, naturais ou pintadas, reflete as radiações solares segundo curvas que variam em intensidade, mas que apresentam distribuições relativamente semelhantes entre elas ao longo do espectro. Há materiais, entretanto, cujo comportamento é denominado “seletivo”, pelo fato de absorverem ou refletirem com maior intensidade intervalos particulares de frequências. Estes materiais são extremamente úteis para objetivos específicos como, por exemplo, melhorar a eficiência de um coletor solar, elevando a absorção para a radiação solar e reduzindo as perdas que ocorreriam por radiações de ondas longas emitidas pelo próprio coletor.

Uma importante aplicação do conceito de seletividade ocorre nos Estados Unidos, onde pesquisadores financiados pela Comissão de Energia da Califórnia vêm desenvolvendo pigmentos “frios” para pintura de coberturas, com o objetivo de minimizar as cargas térmicas de edificações. Neste sentido, estão sendo identificados e caracterizados materiais que, embora mantenham a aparência normal das telhas, provocam alta refletância solar na região do infravermelho-próximo. Quando aplicados sobre telhas de concreto (Figura 3.7), estes pigmentos elevaram a refletância solar em torno de 0,30, com maior ganho na refletância para as cores mais escuras (LEVINSON, 2004).



**FIGURA 3.7:** Refletâncias de telhas de concreto pintadas com tinta padrão e seletiva e respectivas refletâncias.

Fonte: adaptado de LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (2004).

Diversos estudos têm apresentado resultados medidos de economia de energia com sistemas de ar-condicionado para períodos de verão decorrentes do uso de sistemas refletivos em coberturas. Estes estudos foram conduzidos em edifícios residenciais e comerciais em climas quentes, a maioria na Flórida e na Califórnia, Estados Unidos.

Em um estudo recente, Konopacki e Akbari (2001) estimaram economias de energia diárias de 11% e redução do pico de energia de 14% em uma grande loja de varejo localizada em Austin, através da aplicação de uma membrana refletiva na cobertura do edifício. Konopacki et al. (1998) demonstraram o impacto de coberturas refletivas em três edifícios comerciais da Califórnia, dois deles com consultórios médicos e um de varejo, com economias de energia diárias em dias de verão de 18%, 13% e 2% respectivamente.

Akbari et al. (1997) monitoraram o consumo de energia de uma casa localizada em Sacramento, cuja economia de energia diária para o período de verão foi de 63% e uma redução do pico de energia de 25%, a partir da aplicação de membranas refletivas na cobertura da edificação. Para uma escola, também localizada em Sacramento, a economia de energia foi de 46% e a redução do pico de 20% com a aplicação da mesma membrana. Hildebrandt, Bos e Moore (1998) mediram redução do consumo de energia diário com sistemas de ar-condicionado para um escritório, um museu e um hospital localizados em Sacramento, obtendo economias de energia de 17%, 26% e 39% respectivamente, a partir da utilização de coberturas refletivas.

Parker et al. (1998) monitoraram o desempenho de coberturas refletivas em 11 residências localizadas na Flórida, com economias de energia diárias entre 2 e 43% e redução da demanda de pico entre 12 e 28%. Parker e Sheinkopf (1999) constataram economias de energia diárias de 17% a partir da utilização de cobertura refletiva em uma casa de alta eficiência energética construída na Flórida. Parker, Sonne e Sherwin (1997) também monitoraram sete lojas de varejo localizadas em um shopping na Flórida antes e após a

aplicação de pinturas refletivas sobre a cobertura e constataram uma redução de 25% no uso de energia em períodos de verão e uma redução da demanda de 29%. Parker, Sherwin e Sonne (1998) analisaram o uso de coberturas refletivas em uma escola localizada na Flórida. Os resultados dos monitoramentos registraram economias de energia diárias de 25% e redução do pico de energia de 30%.

Akridge (1998) analisou o consumo de energia para um edifício escolar localizado na Georgia. Os monitoramentos indicaram economias diárias de 28% de energia após a aplicação de tinta acrílica branca refletiva sobre a cobertura, a qual possuía telhas galvanizadas inicialmente sem pintura. Segundo estudos realizados por Boutwell e Salinas (1986), um edifício de escritório localizado no sul do Mississippi apresentou economia de 22% de energia após a aplicação de pintura refletiva na cobertura.

Synnefa e Santamouris (2007) apresentaram resultados de um estudo experimental desenvolvido na Grécia sobre o desempenho térmico e as propriedades óticas de diversas pinturas refletivas “frias” aplicadas nas superfícies externas de edifícios. Três tintas seletivas foram aplicadas em placas de concreto de 40 cm x 40 cm e suas refletâncias foram medidas em espectrofotômetro. As tintas seletivas, apesar de possuírem mesma cor superficial das tintas padrões, apresentaram absorção seletiva na faixa do infravermelho, refletindo grande parte da energia solar que chega como radiação infravermelha, ao invés de absorvê-la. Este aumento da refletância solar resultou em menores temperaturas superficiais para todas as amostras. Além desses resultados, os autores realizaram simulações computacionais para estimar o impacto do uso de superfícies seletivas “frias” em coberturas de edifícios, sobre as cargas térmicas e as condições de conforto térmico no interior de edificações residenciais localizadas em regiões de clima tropical ou subtropical. Observou-se que um aumento da refletância em 0,65 resultante da aplicação de uma pintura “fria” reduz a carga térmica para refrigeração de 9,1 a 16,8 kWh/m<sup>2</sup>, e também as horas de desconforto e o pico das temperaturas de 0,6 a 1,2 °C. O estudo mostrou que o uso de materiais “frios” é uma solução barata e passiva que pode contribuir para aumentar o conforto térmico através da diminuição das temperaturas do ar e do consumo de energia para refrigeração.

Estas pesquisas demonstraram o forte impacto na economia de energia de edificações resultante da utilização de superfícies refletivas (ou de baixa absorptância solar), principalmente quando aplicadas sobre coberturas, tanto na forma de membranas, quanto na forma de telhas ou tintas seletivas que apresentem alta refletância.

### 3.4 FATORES DETERMINANTES DA ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS

Diferentemente do que é divulgado por muitos pesquisadores, a absorptância solar das superfícies opacas não é influenciada unicamente pela cor que elas apresentam. Como já foi discutido neste trabalho, cores são sensações visuais e podem variar entre diferentes observadores, não sendo indicadores confiáveis das propriedades físicas de uma superfície. As diversas características físicas que a superfície apresenta formam um conjunto de fatores que irão influenciar diretamente sua absorptância, e que são discutidos a seguir.

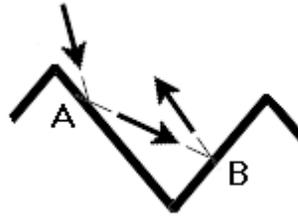
#### 3.4.1 A ABSORTIVIDADE DO MATERIAL

Entre os fatores que determinam a absorptância solar de uma superfície, o principal, denominado absorptividade, é definido como a *“fração de energia radiante que atinge uma unidade de área de uma substância e que é absorvida por esta substância”* (ASHRAE, 2001). Cabe observar que a substância ou material aqui mencionado é aquele que constitui as camadas moleculares mais próximas à superfície do corpo. Assim, a absorptância de uma parede pintada será sempre função da absorptividade característica da composição química da tinta e independente, portanto, do material usado na construção da parede.

Cada material absorve energia radiante principalmente em determinada frequência, denominada frequência de ressonância (Dionísio, 2006). As frequências mais altas do espectro solar, nas regiões do ultravioleta e do visível, são absorvidas em função da densidade das ligações atômicas da substância, enquanto as mais baixas, no infravermelho, envolvem escala molecular. Para comprovar que a absorptividade do material aplicado sobre a superfície é fator determinante de sua absorptância solar, são apresentados nesta pesquisa dados de absorptância medidos em espectrofotômetro para amostras pintadas com tintas de diferentes composições químicas.

#### 3.4.2 A RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE

A rugosidade de uma superfície é definida por suas micro-irregularidades geométricas. De modo geral, os materiais de construção civil apresentam considerável irregularidade, que estabelece picos e vales de diferentes alturas e a diferentes distâncias sobre sua superfície. A Figura 3.8 exemplifica, de modo muito simplificado, a relação entre absorptância e rugosidade. O ponto A recebe a energia solar e absorve uma parcela desta, que é proporcional à absorptividade do material.



**FIGURA 3.8:** Inter-reflexão provocada pela rugosidade.

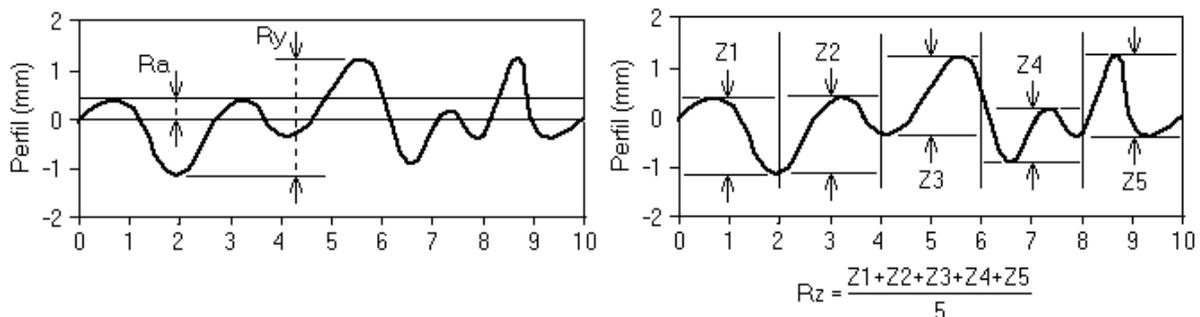
Supondo-se que esta absorvidade seja de 20%, os 80% restantes são refletidos, geralmente por reflexão difusa, em todas as direções. Uma parcela da energia refletida atinge outros pontos da mesma superfície e 20% dessa parcela também será absorvida, incrementando, assim, a fração total de energia absorvida pela superfície e, por definição, sua absorptância. Algumas geometrias poderão provocar sucessivas inter-reflexões, mas apenas a primeira afeta a absorptância em níveis significativos, conforme estudo de Roriz (2007).

A quantificação de rugosidades, procedimento indispensável ao controle de qualidade de muitos produtos, é regulamentada por normas como a ISO 4287 (ISO, 1997) ou a NBR 6405 (ABNT, 1988) e engloba diversos parâmetros, dentre os quais os mais usados são assim definidos:

**Ra** – Considerando-se todos os pontos de um perfil da amostra a ser avaliada, **Ra** é o desvio padrão desses pontos em torno de uma reta estabelecida a meia altura entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil (Figura 3.9). Trata-se, portanto, de um indicador da rugosidade média da superfície, sendo expresso pela equação 3.2:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad [\text{Eq. 3.2}]$$

**Ry** – Diferença de nível (mm) entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil considerado (Figura 3.8).



**FIGURA 3.9:** Parâmetros *Ra*, *Ry* e *Rz* de caracterização da rugosidade de superfícies.

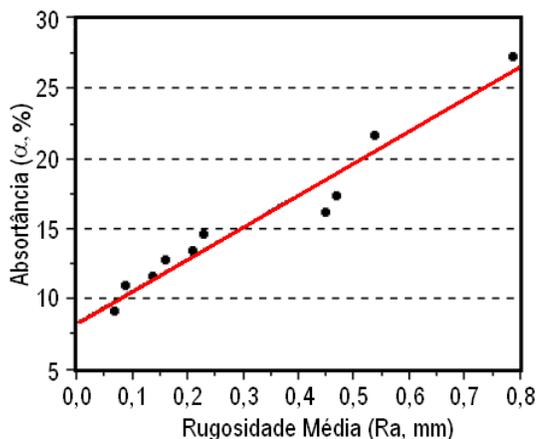
Fonte: adaptado de ABNT (1988).

**Rz** - Dividindo-se o perfil em N setores (5 é um número usual), registra-se a amplitude máxima (Z) de cada setor, ou seja, a diferença de nível entre seu pico mais alto e seu vale mais profundo. O parâmetro Rz é a média aritmética entre as N amplitudes (Figura 3.9).

Chevalier e Chevalier (1991) analisaram os efeitos da rugosidade superficial de rebocos expostos ao Sol e pintados com diferentes cores de tintas sobre a absorção solar dessas superfícies. As rugosidades médias das superfícies analisadas foram determinadas a partir de um perfilômetro a laser e suas refletâncias medidas com um refletômetro de grande abertura. Os resultados comprovaram que, para uma mesma tinta, o aumento da rugosidade gera um aumento na absorção e, conseqüentemente, em suas temperaturas superficiais. Para a superfície pintada na cor creme, por exemplo, o aumento da rugosidade provocou um aumento de 43% em sua absorção inicial.

Seker e Tavil (1996) mediram rugosidades e absorções de 10 amostras, obtendo os resultados indicados na Figura 3.10. As rugosidades foram produzidas sobre vidro e todas as amostras foram pintadas com uma mesma tinta branca. Para estas condições, a análise de regressão (Eq. 3.3) indicou que cada 1mm de acréscimo na rugosidade média (Ra) eleva a absorção ( $\alpha$ ) da superfície em 23%, valor muito significativo em edificações.

$$\alpha = 0,08 + 0,23.Ra \quad [\text{Eq. 3.3}]$$



**FIGURA 3.10:** Relação encontrada por Seker e Tavil (1996) entre absorção e rugosidade.

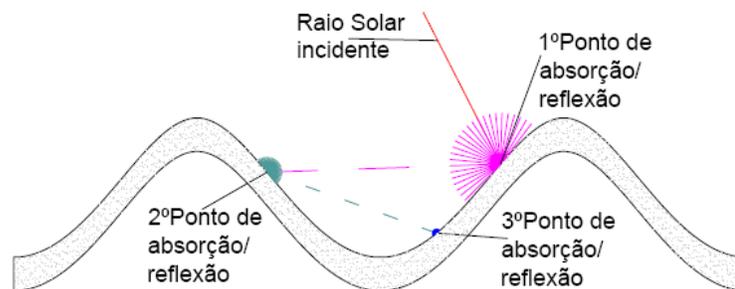
Fonte: adaptado de SEKER e TAVIL (1996).

Procurando quantificar o efeito da rugosidade superficial sobre a absorção solar de superfícies opacas, o presente trabalho apresenta resultados medidos em espectrofotômetro para amostras com 5 níveis diferentes de rugosidade superficial.

### 3.4.3 A ONDULAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Enquanto as rugosidades típicas das envoltentes das edificações correspondem a milímetros ou frações de milímetro, outra irregularidade dessas superfícies, aqui denominada ondulação, envolve a escala dos centímetros. Um estudo detalhado sobre a influência da ondulação nas absorptâncias de superfícies opacas expostas ao Sol é apresentado por Roriz (2007).

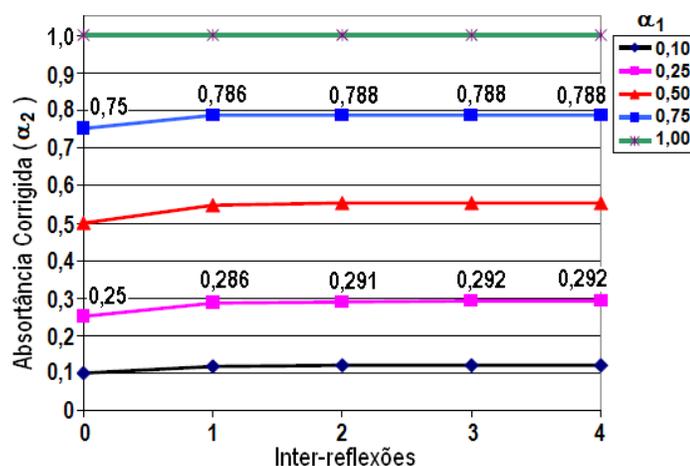
Assim como ocorre na escala da rugosidade, a ondulação das superfícies provoca inter-reflexões da radiação incidente sobre a superfície, o que provoca um aumento da quantidade de energia radiante absorvida (Figura 3.11).



**FIGURA 3.11:** Inter-reflexões da radiação solar incidente provocadas pela ondulação da superfície.

Fonte: Roriz (2007).

Análises para diferentes valores de absorptância solar comprovaram que apenas a 1ª e a 2ª inter-reflexões têm peso relevante no aumento da energia solar que é absorvida por uma superfície ondulada (Figura 3.12).



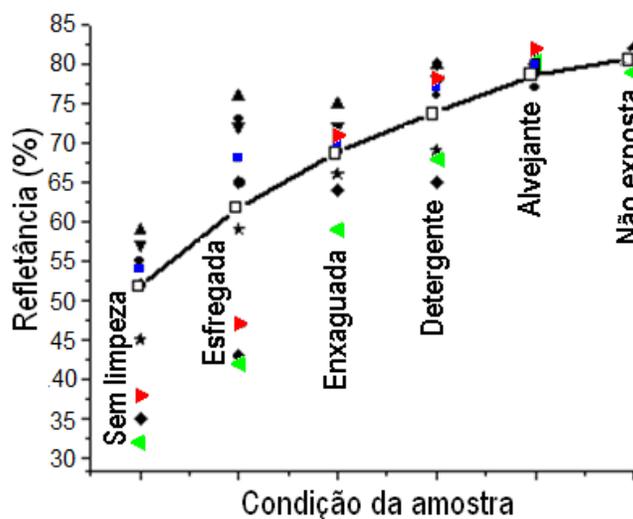
**FIGURA 3.12:** Relações entre absorptâncias corrigidas ( $\alpha_2$ ) e superficiais ( $\alpha_1$ ) com o número de inter-reflexões.

Fonte: adaptado de Roriz (2007).

### 3.4.4 A MANUTENÇÃO DA SUPERFÍCIE

Bretz e Akbari (1997) estudaram os efeitos provocados pelo envelhecimento sobre 26 tipos de telhados que originalmente apresentavam altas refletâncias. Concluíram que estes efeitos dependem do tipo de revestimento, de sua textura, da inclinação da cobertura e da proximidade de fontes de sujeira. A maior redução de refletância, em torno de 20%, ocorre no primeiro ano. Após o segundo ano, os decréscimos passam a ser pequenos, reduzindo entre 10 e 20% a economia originalmente estimada de energia pelo uso da alta refletância. A lavagem periódica das superfícies pintadas pode restabelecer entre 90 e 100% da refletância original.

Em publicação mais recente, Akbari et al. (2005) comparam os efeitos da idade em dezenas de coberturas de alta refletância, sob diferentes condições de conservação e limpeza. Os resultados referentes a oito edifícios localizados em diferentes cidades dos EUA estão resumidos na Figura 3.13, cuja linha contínua indica os valores médios.



**FIGURA 3.13:** Efeitos da manutenção sobre as refletâncias de telhados.

Fonte: adaptado de Akbari et al. (2005).

Estes autores verificaram que, com o passar do tempo, as refletâncias são progressivamente afetadas por radiações em ultravioleta e por acúmulo de pó, sujeira e poluição urbana.

No interior das cidades, a tendência do envelhecimento é reduzir altas refletâncias e elevar altas absortâncias, pois o pó e outros detritos urbanos acumulados sobre as superfícies geralmente apresentam refletâncias médias.

Encontra-se em discussão na Comissão de Energia da Califórnia, projeto de norma apresentado por Levinson et al. (2002), a respeito do efeito do envelhecimento sobre a refletância de coberturas. Para estimar esse efeito, o projeto recomenda a Equação 3.4, onde “ $R_e$ ” é a refletância da cobertura envelhecida e “ $R_n$ ” sua refletância quando nova:

$$R_e = 0,20 + 0,70.(R_n - 0,20) \quad [\text{Eq. 3.4}]$$

Ou seja, a alteração da refletância é suposta igual a 30% da diferença entre a refletância original e o valor de 0,2. O modelo reconhece que superfícies com baixa refletância inicial (abaixo de 0,2) tendem a ficar mais refletivas, ocorrendo o inverso com as de refletância inicial mais alta. Assim, quando se mede a refletância de uma superfície sem manutenção, a refletividade que está sendo realmente avaliada poderá ser a da sujeira ali depositada.

## **4. TINTAS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

---

A palavra tinta abrange uma gama variada de produtos utilizados para diversos fins, desde a decoração e a proteção das superfícies, até a impressão nas indústrias gráficas e ao simples ato de escrever. Um dos mais importantes segmentos do mercado de tintas se refere aos produtos utilizados na linha arquitetônica, também chamada de linha decorativa, imobiliária ou tintas para a construção civil. Neste segmento, as tintas são utilizadas principalmente para a proteção das superfícies às intempéries e para efeito decorativo.

Atualmente, a grande diversidade de cores de tintas destinadas à construção civil tem contribuído enormemente para o uso desse material como meio de embelezamento das edificações. Apesar de terem conhecimento das características das tintas como material de proteção às intempéries, os projetistas escolhem a cor a ser utilizada apenas por sua percepção visual, com enfoque nas características estéticas ou psicológicas que as cores exercem sobre as pessoas, sem dispor de dados referentes à absorção ou reflexão da radiação solar para as diferentes tonalidades. Os fabricantes das diversas marcas de tintas e revestimentos também não apresentam valores de absortância ou refletância das diferentes cores que produzem, o que dificulta a obtenção desses dados principalmente para o espectro solar total. Para melhor compreender o comportamento das tintas frente à radiação solar, apresenta-se neste capítulo as características e propriedades físico-químicas das tintas arquitetônicas e de seus principais componentes químicos, os quais são os principais responsáveis pelo comportamento espectrofotométrico das amostras analisadas.

### **4.1 DEFINIÇÃO E COMPOSIÇÃO BÁSICA**

As tintas são misturas homogêneas constituídas essencialmente por resinas, pigmentos, solventes e aditivos que, aplicados em camada fina, formam películas sólidas quando secas. Esse filme tem a finalidade de proteger e embelezar as superfícies. Atualmente, existe uma infinidade de tipos de tintas com as mais diversas aplicabilidades. Segundo Fazenda (1995), as principais tintas utilizadas no setor da construção civil no Brasil são as tintas à base de água, que representam 80% de todas as tintas consumidas por esse segmento de mercado, conforme dados divulgados pela Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAFATI).

Esses produtos, denominados genericamente de produtos látex, são baseados em dispersões aquosas poliméricas (emulsões) tais como: vinílicas, vinil-acrílicas, acrílicas, etc., e possuem em sua parte volátil cerca de 98% de água. Os principais tipos de tintas à base de água utilizados em paredes de edifícios no Brasil são:

- **Tinta Látex PVA:** tinta à base de água indicada essencialmente para interiores. Dependendo da qualidade da tinta, pode ser utilizada para exteriores. Possui de baixa a média lavabilidade, secagem rápida e média cobertura. Este tipo de tinta é indicado para reboco, fibrocimento, gesso e sobre superfícies com massa corrida e normalmente é feito nos acabamentos fosco e semi-brilho.

- **Tinta Acrílica:** tinta à base de água, indicada para exteriores e acabamentos de alta qualidade. Possui boa lavabilidade e cobertura. É indicada para reboco, fibrocimento, gesso, superfícies com massa corrida e repintura de superfícies pintadas com tinta látex e está disponível nos acabamentos fosco e semi-brilho.

- **Textura:** tinta à base de água com efeito de textura em alto relevo. É indicada para "textura" em superfícies internas e externas de concreto, fibrocimento, concreto aparente, massa corrida, acrílica ou PVA e está disponível no mercado com vários efeitos diferentes.

As matérias-primas básicas para a produção de quase todos os tipos de tintas são as resinas, os pigmentos, os solventes e os aditivos.

#### 4.1.1 RESINAS

A resina é a parte não-volátil da tinta, de origem natural, artificial ou sintética, com propriedade aglutinante. Na tinta, a resina é responsável pela aglutinação das partículas de pigmentos e formação de um filme seco homogêneo. Além disso, a resina também é responsável pela aderência à base, resistência química, mecânica e às intempéries, assim como outras características do revestimento por pintura. Algumas variações menores dessas propriedades podem ser conseguidas pela modificação de outros componentes da formulação, mas cabe ao sistema de resinas a maior influência.

Segundo Fazenda (1995), antigamente as resinas eram à base de compostos naturais, vegetais ou animais. Hoje em dia são obtidas através da indústria química ou petroquímica, por meio de reações complexas, dando origem a polímeros que conferem às tintas propriedades de resistência e durabilidade muito superiores às antigas. A formação do filme de tinta está

relacionada com o mecanismo de reações químicas do sistema polimérico, embora outros componentes como solventes, pigmentos e aditivos tenham influência no sentido de retardar, acelerar e até inibir essas reações.

A resina denomina o tipo de tinta ou revestimento empregado (por exemplo, tintas acrílicas, vinílicas, alquídicas, epoxídicas, etc.) e recebem o nome da resina básica que as compõem. As resinas acrílicas são as que formam as tintas do tipo acrílica e apresentam melhor desempenho para aplicações exteriores como, por exemplo:

- **Resistência à radiação ultravioleta:** apresentam melhor retenção das cores e menos calcinação e tendência ao envelhecimento.
- **Maior resistência à água:** resistência à formação de bolhas, resistência ao mofo e às algas e resistência ao acúmulo de sujeira.
- **Adesão em condições úmidas:** resistência à formação de bolhas e às rachaduras e descascamento.

Como resultado dessas propriedades e benefícios, as emulsões acrílicas puras, ainda que mais caras, são freqüentemente recomendadas para uso em superfícies exteriores quando se busca um desempenho superior.

#### 4.1.2 PIGMENTOS

A natureza e o teor de pigmento presente nas tintas são de grande importância, principalmente porque ele é o único constituinte que lhe confere opacidade, ou seja, torna opaca a película seca, de modo a cobrir completamente a superfície de aplicação. Esta aptidão está geralmente relacionada com o respectivo índice de refração, propriedade associada à estrutura cristalina do pigmento. Por exemplo, um dos pigmentos brancos mais utilizados nas tintas para a construção civil é o “dióxido de titânio” ( $\text{TiO}_2$ ), que se apresenta sob duas formas cristalinas, o *Rutilo* e a *Anatase*, cujos índices de refração são 2,7 e 2,55 respectivamente. Como consequência da diferença de índices de refração, verifica-se uma diminuição de 20 a 30% na opacidade da tinta quando se substitui o Rutilo por igual teor de Anatase. Os pigmentos também são responsáveis pelas propriedades anti-corrosivas, mecânicas, brilho, resistência aos produtos químicos e ao envelhecimento do revestimento por pintura, porém, em menor grau de importância (MARQUES; RODRIGUES, 2000).

Os pigmentos são utilizados nas tintas com a finalidade de dar cor e opacidade à película seca, além de reforçarem suas características protetoras através das suas propriedades físicas ou químicas. Assim, podem conferir às tintas, juntamente com o ligante, as seguintes propriedades:

- **Aparência estética:** cor, opacidade ou efeitos especiais;
- **Proteção da superfície:** resistência à corrosão ou ao envelhecimento;
- **Propriedades auxiliares:** fortalecimento da película, ação retardadora ao fogo, dureza, anti-condensação, etc.

Durante séculos utilizaram-se como pigmentos substâncias naturais como as terras coloridas ou certos produtos vegetais e animais. Estes últimos pertenciam ao grupo dos pigmentos orgânicos, enquanto que as terras coloridas são pigmentos inorgânicos, geralmente constituídos por metais sob a forma de óxidos, sulfatos, etc. Atualmente, a maior parte dos pigmentos orgânicos e dos inorgânicos é sintética. De maneira geral, os pigmentos orgânicos possuem maior poder de tingimento e menor poder de cobertura que os pigmentos inorgânicos, por isso, a designação “*corante*” é atribuída aos pigmentos orgânicos (SILVA, 2005).

#### 4.1.2.1 Pigmentos Inorgânicos

São considerados pigmentos inorgânicos os pigmentos brancos e cargas e uma grande faixa de pigmentos coloridos, sintéticos ou naturais. Entre os pigmentos inorgânicos presentes nas tintas analisadas nesta pesquisa, destacam-se:

- **Dióxido de Titânio:** fabricado a partir de um sal de ferro e titânio, é o pigmento que possui a maior opacidade em relação aos pigmentos atualmente conhecidos. Apresenta-se em duas variedades cristalinas (Rutilo e Anatase), sendo que os cristais de Rutilo apresentam uma estrutura mais compacta que a forma Anatase, o que explica as importantes diferenças entre as duas formas, particularmente o seu alto índice de refração, maior estabilidade e alta densidade. Segundo Fazenda (1995), “o alto índice de refração dos cristais de Rutilo, que leva ao seu maior poder opacificante e superior estabilidade exterior, é a principal razão para seu uso preferencial em relação ao Anatase”.

- **Óxidos de Ferro:** naturais ou sintéticos, possuem grande importância no mercado de pigmentos pela sua ampla variedade de cores, baixo custo, estabilidade e pela sua natureza não-tóxica. Os óxidos de ferro vermelho sintéticos representam a maior parte dos óxidos de ferro sintéticos. Ajudam na proteção dos veículos em tintas, plásticos, papéis e outros produtos contra a degradação da luz, por serem fortes absorvedores da radiação ultravioleta.

#### 4.1.2.2 Pigmentos Orgânicos

Assim designados por serem constituídos de átomos de Carbono e Hidrogênio. Em geral, apresentam poder de tingimento muito maior que os pigmentos inorgânicos. As propriedades técnicas de aplicação dos pigmentos orgânicos estão diretamente relacionadas com as características da sua estrutura química e também de seu estado físico. Entre as características físico-químicas mais importantes dos pigmentos utilizados em tintas para a construção civil, destacam-se:

- **Intensidade ou Poder de Tingimento:** avaliada a partir da proporção entre o pigmento colorido e o dióxido de titânio com a qual se atinge uma intensidade de cor padronizada. Quanto maior o teor de titânio a ser misturado com determinada quantidade de pigmento para se obter a intensidade padrão, maior será a intensidade ou poder de tingimento desse pigmento em relação a outro pigmento.
- **Solidez à Luz:** propriedade de permanência sem alteração de sua cor, ou durabilidade. A luz do sol contém radiações de vários níveis de energia, sendo a radiação ultravioleta a mais energética e a mais destrutiva para as moléculas de pigmento. Ao incidirem sobre uma partícula de pigmento, os raios ultravioletas causarão uma quebra de ligações químicas e, a partir desse momento, as moléculas não mais fornecerão cor e ocorre o desbotamento (perda de intensidade e/ou alteração de tonalidade). Esse desbotamento será tanto mais intenso ou mais rápido quanto maior for a incidência de raios ultravioleta.
- **Solidez às Intempéries:** neste caso, juntamente com o efeito da luz solar, é importante que os pigmentos apresentem resistência ao efeito da umidade, temperatura e outros poluentes presentes na atmosfera.

Os pigmentos orgânicos "*Azuis de Ftalocianina*" são os que possuem os mais elevados graus de solidez em geral. Podem se apresentar em diversas formas cristalinas, sendo que comercialmente as principais são a forma  $\alpha$  (possui tonalidade azul mais avermelhada) e a forma  $\beta$  (tonalidade azul mais esverdeada). Com relação ao poder de tingimento, a forma  $\alpha$  tem uma intensidade cerca de 20% maior que a forma  $\beta$ . Devido à relação custo/tingimento ser muito favorável e às suas ótimas propriedades de solidez, esses pigmentos são muito utilizados para todos os tipos de tintas (FAZENDA, 1995).

O volume e a concentração de pigmentos nas tintas regulam os diferentes níveis de brilho e interferem inclusive na resistência do produto. As variações de brilho são calculadas através de um índice chamado PVC (“*Pigment Volume Concentration*”), definido pela Equação 4.1. Quanto menor for o índice, mais baixo será o volume de pigmentos e maior o brilho da tinta.

$$PVC = \frac{\text{volume de pigmentos e cargas}}{\text{volume total da tinta seca}} \times 100 \quad (\%) \quad [\text{Eq. 4.1}]$$

Conforme o volume de pigmentos da fórmula, as tintas para construção civil são divididas em três tipos: *fosca* (maior quantidade de pigmento), *acetinada* e *semi-brilho* (menor quantidade de pigmento).

Os valores mais comuns de PVC associados com diferentes níveis de brilho de tinta são:

- ***Brilhante ou Alto Brilho:*** 20 a 25%;
- ***Semi-brilho:*** 30 a 35%;
- ***Acetinada:*** 40 a 45%;
- ***Fosca:*** 50 a 55%.

#### 4.1.3 SOLVENTES

Os solventes são líquidos voláteis de baixo ponto de ebulição, utilizados nas tintas para dissolver a resina. São classificados em solventes ativos ou verdadeiros, latentes e inativos. Entre os solventes e diluentes mais utilizados estão a água, os hidrocarbonetos (éter de petróleo, benzeno, etc.), solventes oxigenados (álcool, acetona, etc.), etc.

Apesar de caber às resinas o papel mais importante do desempenho do sistema, a má seleção dos solventes pode comprometê-la significativamente. Segundo Fazenda (1995), os solventes respondem por grande parte das propriedades de aplicabilidade às tintas, estando relacionados com o nivelamento, escorrimento, etc., ressaltando a importância da taxa de evaporação do solvente como um dos fatores de escolha.

#### 4.1.4 ADITIVOS

Os aditivos são ingredientes que, se adicionado às tintas, proporcionam características especiais às mesmas ou melhorias nas suas propriedades. Destacam-se os secantes, anti-espumantes, anti-sedimentares, niveladores, estabilizantes, etc. Os aditivos são compostos utilizados em pequenas quantidades, inferiores a 5%, na formulação das tintas. Os principais aditivos utilizados nas tintas à base de água são:

- **Espessantes e Modificadores de Reologia<sup>1</sup>:** fornecem a viscosidade apropriada para que a tinta possa ser aplicada adequadamente e influenciam a espessura do filme e sua fluidez quando aplicado. Atualmente, os modernos modificadores de reologia ajudam as tintas à base de água a respingar menos quando aplicadas com rolo, fluírem mais suavemente e a ter uma vida útil maior. Os espessantes mais antigos, de origem natural, são mais sensíveis à deterioração e reduzem a viscosidade.

- **Surfactantes:** estabilizam a tinta de forma que seus componentes não se separem ou que se torne muito espessa para ser usada; mantém os pigmentos dispersos para brilho e cobertura máximos; ajudam a umedecer a superfície que está sendo pintada, para que a tinta não se movimente ao ser aplicada; proporcionam compatibilidade entre corantes de forma que a cor correta seja obtida e não se altere ao ser aplicada.

- **Biocidas:** também conhecidos como conservantes, há dois tipos principais utilizados em tintas à base de água: *bactericida*, para evitar que bactérias cresçam sobre a pintura; *fungicida* ou *algicida*, para desestimular o crescimento de fungos e algas na superfície da tinta depois de aplicada (usados principalmente em produtos para exterior, e também em tintas destinadas às áreas úmidas).

- **Antiespumantes:** rompem as bolhas que se formam quando a tinta é misturada na fábrica, é colocada no misturador ou quando é aplicada na superfície.

- **Co-solventes ou Coalescentes:** outros líquidos adicionados além da água. Ajudam a tinta líquida a não sofrer danos quando congelada e facilitam a pintura a pincel.

---

<sup>1</sup> Reologia é a ciência que estuda como um líquido escoar.

• **Estabilizantes de Ultravioleta:** prolongam a durabilidade de tintas e vernizes que sofrem os efeitos da radiação ultravioleta. As tintas são sensíveis a fatores de intempéries como a luz do Sol, oxigênio e umidade. Com relação à radiação solar, esta contém radiações na faixa do ultravioleta que possuem ação destrutiva sobre as tintas. O UV-B é o principal responsável pela quebra de ligações moleculares e conseqüente degradação das películas de tintas e vernizes, manifestadas por meio de trincas, perda de brilho, etc. Para amenizar seus efeitos, utilizam-se “*estabilizantes de ultravioleta*”. Os “*absorvedores de ultravioleta*” são os estabilizantes mais utilizados em tintas e vernizes. Sua ação protetora é baseada principalmente na absorção dos raios ultravioletas existentes na faixa entre 280 e 580 nm e sua conversão em energia térmica (calor), que é facilmente dissipada, retornando assim à sua forma energética inicial.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

---

Para se atingir os objetivos deste trabalho, foram realizados diversos ensaios laboratoriais de amostras pintadas com diferentes cores de tintas, através do uso de espectrofotômetro. Este tipo de ensaio permitiu varrer a região espectral relativa ao ultravioleta, visível e infravermelho-próximo, possibilitando o estudo detalhado das regiões do espectro que interessam à pesquisa. Com base nos dados de refletância obtidos em laboratório, foram propostos métodos para estimar a absortância solar de superfícies opacas, sem a necessidade de realizar medições em espectrofotômetro, conforme descrito neste capítulo.

Além desses métodos, analisou-se a influência da rugosidade superficial das amostras sobre suas absortâncias, fato muitas vezes desconsiderado pela literatura técnica especializada. Esta análise foi feita a partir da confecção de amostras com diferentes níveis de rugosidade e pintadas com diferentes cores de tinta. Também se considerou nesta pesquisa a influência do espectro solar padrão sobre a intensidade de radiação solar que é absorvida pelas superfícies. Esta correção faz-se necessária, pois a intensidade da radiação solar não é constante ao longo do espectro, o que modifica a quantidade de energia solar que é realmente absorvida pelas superfícies expostas ao Sol.

Neste capítulo, são apresentados os materiais e métodos adotados nesta pesquisa e a forma de tratamento estatístico dos dados obtidos nas medições. No capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo da pesquisa.

### **5.1 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 (Figuras 5.1 e 5.2). As cores foram escolhidas a partir de catálogos de cores básicas das tintas do tipo látex acrílica e PVA produzidas pelas indústrias Suvinil e Sherwin Williams (Metalatex e Novacor). 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.

Para se obter resultados mais próximos àqueles de uma superfície real, foram utilizadas 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 na cor cinza claro como fundo, 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 junto ao suporte do espectrofotômetro, permitindo melhor fixação e assegurando maior estabilidade quanto ao manuseio no momento de ensaiá-las.

Além das tintas látex PVA e acrílica, também foram obtidas curvas de refletância espectral para a pastilha cerâmica sem nenhum tipo de acabamento superficial e para folhas de papel branco comum, uma delas utilizada como “*branco de referência*” para um dos métodos alternativos apresentado neste trabalho.



**FIGURA 5.1:** Amostras pintadas com tintas do tipo Acrílica e PVA produzidas pela Sherwin Williams.



**FIGURA 5.2:** Amostras pintadas com tintas do tipo Acrílica e PVA produzidas pela Suvinil.

A nomenclatura das cores foi adotada segundo os catálogos dos fabricantes e a cor e tonalidade aproximadas das amostras descritas nas tabelas 5.1 a 5.6, de acordo com a seguinte divisão:

- a) Tinta Acrílica Fosca - Metalatex (Sherwin Williams);
- b) Tinta Acrílica Semi-Brilho - Metalatex (Sherwin Williams);
- c) Tinta Látex PVA Fosca - Novacor (Sherwin Williams);
- d) Tinta Acrílica Fosca - Suvinil;
- e) Tinta Látex PVA Fosca - Suvinil;
- f) Materiais Diversos.

Na tabela 5.1 são apresentadas as cores de tinta do tipo látex acrílica com acabamento fosco produzidas pela Sherwin Williams.

**TABELA 5.1:** Amostras de tinta do tipo látex acrílica fosca - Metalatex (Sherwin Williams).

N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade	N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade
01	Amarelo Antigo	 Amarelo médio	10	Flamingo	 Laranja claro
02	Amarelo Terra	 Amarelo escuro	11	Jade	 Cinza claro
03	Areia	 Bege	12	Marfim	 Amarelo claro
04	Azul	 Azul escuro	13	Palha	 Amarelo claro
05	Azul Imperial	 Azul claro	14	Pérola	 Amarelo claro
06	Branco	 Branco	15	Pêssego	 Rosa claro
07	Branco Gelo	 Branco médio	16	Tabaco	 Marrom
08	Camurça	 Marrom claro	17	Terracota	 Laranja escuro
09	Concreto	 Cinza médio			

Na tabela 5.2 são apresentadas as tintas do tipo látex acrílica de acabamento semi-brilho, assim como suas respectivas tonalidades aproximadas.

**TABELA 5.2:** Amostras de tinta do tipo látex acrílica semi-brilho - Metalatex (Sherwin Williams).

N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade	N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade
18	Amarelo Antigo	 Amarelo médio	26	Marfim	 Amarelo claro
19	Amarelo Terra	 Amarelo escuro	27	Palha	 Amarelo claro
20	Azul	 Azul escuro	28	Pérola	 Amarelo claro
21	Branco Gelo	 Branco médio	29	Preto	 Preto
22	Cinza	 Cinza escuro	30	Telha	 Vermelho escuro
23	Cinza BR	 Cinza claro	31	Terracota	 Laranja escuro
24	Crepúsculo	 Rosa médio	32	Verde Quadra	 Verde escuro
25	Flamingo	 Laranja claro	33	Vermelho	 Vermelho

As amostras de tinta látex PVA com acabamento fosco produzidas pela Sherwin Williams e analisadas nesta pesquisa são apresentadas na tabela 5.3, assim com as respectivas cores e tonalidades aproximadas.

**TABELA 5.3:** Amostras de tinta do tipo látex PVA fosca - Novacor (Sherwin Williams).

N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade	N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade
34	Amarelo Canário	 Amarelo	41	Erva doce	 Verde claro
35	Amarelo Terra	 Amarelo escuro	42	Flamingo	 Laranja claro
36	Areia	 Bege	43	Laranja	 Laranja
37	Azul angra	 Azul claro	44	Marfim	 Amarelo claro
38	Bianco Sereno	 Branco médio	45	Palha	 Amarelo claro
39	Branco	 Branco	46	Pérola	 Amarelo claro
40	Branco Gelo	 Branco médio	47	Pêssego	 Rosa claro

As amostras de tinta látex acrílica com acabamento fosco produzidas pela Suvinil são apresentadas na tabela 5.4.

**TABELA 5.4:** Amostras de tinta do tipo látex acrílica fosca - Suvinil.

N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade	N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade
48	Alecrim	 Verde claro	55	Marrocos	 Amarelo médio
49	Azul bali	 Azul claro	56	Mel	 Amarelo
50	Branco Neve	 Branco	57	Palha	 Amarelo claro
51	Branco Gelo	 Branco médio	58	Pérola	 Amarelo claro
52	Camurça	 Marrom claro	59	Pêssego	 Rosa claro
53	Concreto	 Cinza médio	60	Telha	 Vermelho escuro
54	Marfim	 Amarelo claro	61	Vanila	 Amarelo

Na tabela 5.5 são apresentadas as cores de tinta do tipo látex PVA fosca produzidas pela Suvinil e analisadas nessa pesquisa, assim como suas tonalidades aproximadas.

**TABELA 5.5:** Amostras de tinta do tipo látex acrílica fosca - Suvinil.

N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade	N°	Nome Comercial	Cor e Tonalidade
62	Amarelo Canário	 Amarelo	71	Marfim	 Amarelo claro
63	Areia	 Bege	72	Palha	 Amarelo claro
64	Azul Profundo	 Azul escuro	73	Pérola	 Amarelo claro
65	Branco Neve	 Branco	74	Pêssego	 Rosa claro
66	Branco Gelo	 Branco médio	75	Preto	 Preto
67	Camurça	 Marrom claro	76	Vanila	 Amarelo
68	Cerâmica	 Vermelho escuro	77	Verde Musgo	 Verde
69	Concreto	 Cinza médio	78	Vermelho Cardinal	 Vermelho
70	Flamingo	 Laranja claro			

As amostras de materiais diversos (pastilha cerâmica sem pintura e papel branco comum das marcas *Ripax* e *Chamex*, de 75 g/cm<sup>2</sup>) são apresentadas na tabela 5.6.

**TABELA 5.6:** Amostras de materiais diversos.

N°	Nome	Cor e Tonalidade
79	Pastilha Cerâmica	 Vermelho escuro
80	Papel Branco Ripax	 Branco
81	Papel Branco Chamex	 Branco

É importante destacar que se optou por focalizar esta pesquisa apenas em superfícies opacas pintadas com tintas para a construção civil (tintas imobiliárias). Assim, a análise de outros tipos de superfícies opacas não foi realizada neste trabalho.

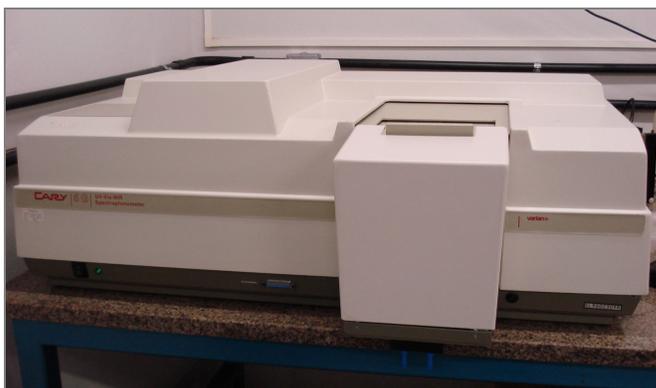
## 5.2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ABSORTÂNCIA SOLAR

### 5.2.1 MÉTODO 1: UTILIZAÇÃO DE ESPECTROFOTÔMETRO DE REFLETÂNCIA

A análise por espectrofotômetro é o meio mais indicado para obter as respostas que este trabalho se propõe a atingir, pois é o instrumento que fornece dados de refletância solar para superfícies opacas com maior precisão. A análise espectrofotométrica permite obter dados de refletância ao longo de todo o espectro solar para as regiões do ultravioleta, visível e infravermelho-próximo, permitindo escolher as regiões do espectro que interessam.

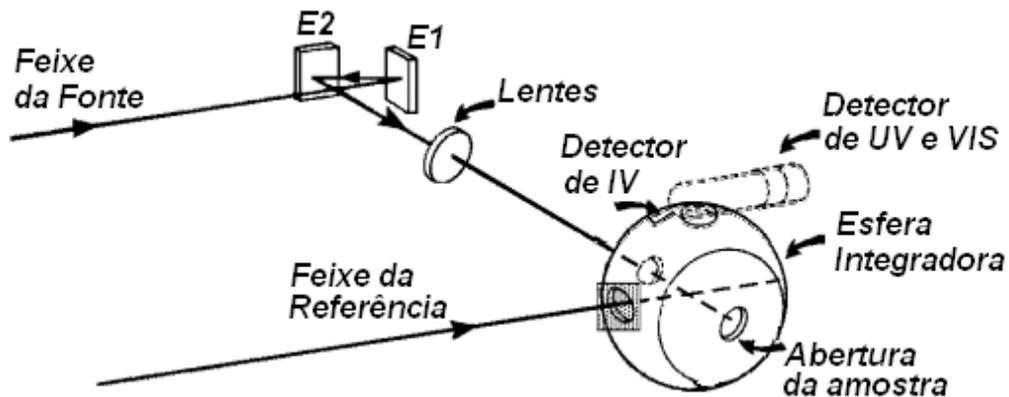
### 5.2.1.1 Espectrofotômetro - Princípio de Funcionamento

As análises óticas foram realizadas em espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G (Figura 5.3), que pertence ao Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica do Instituto de Química da Universidade Federal de São Carlos. O espectrofotômetro CARY 5G 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 pertinentes à pesquisa.



**FIGURA 5.3:** Espectrofotômetro CARY 5G.

Espectrofotômetros, em geral, são instrumentos compostos por uma fonte de radiação eletromagnética, um conjunto de componentes ópticos que levam esta radiação até a amostra (espelhos E1 e E2), um compartimento de amostra e um ou mais detectores que medem a intensidade de radiação (Figura 5.4). Neste caso específico, denomina-se radiação eletromagnética o feixe proveniente de uma fonte emissora (lâmpada). A fonte de radiação ideal para um espectrofotômetro é aquela que apresenta uma intensidade aproximadamente constante em toda faixa de comprimento de onda de operação, com pouco ruído e longo período de estabilidade. Como um único tipo de lâmpada não satisfaz todas estas condições, os espectrofotômetros para absorção têm, normalmente, dois tipos de fontes. As fontes comumente usadas nos espectrofotômetros que operam na região espectral do UV-VIS são as lâmpadas de deutério, para excitação na região do ultravioleta ( $\lambda < 350$  nm) e de tungstênio ou tungstênio-halogênio ( $\lambda > 350$  nm) para excitação na região do visível e infravermelho-próximo. Essas fontes apresentam uma emissão intensa e contínua na região do ultravioleta (deutério) e visível, continuando no infravermelho-próximo (tungstênio-halogênio), com intensidades dependendo da faixa espectral. Normalmente a troca de uma lâmpada por outra ocorre durante a varredura do espectro de modo completamente automático no equipamento, sem necessidade de interromper a medição (ANDRADE; CUSTODIO, 2005).



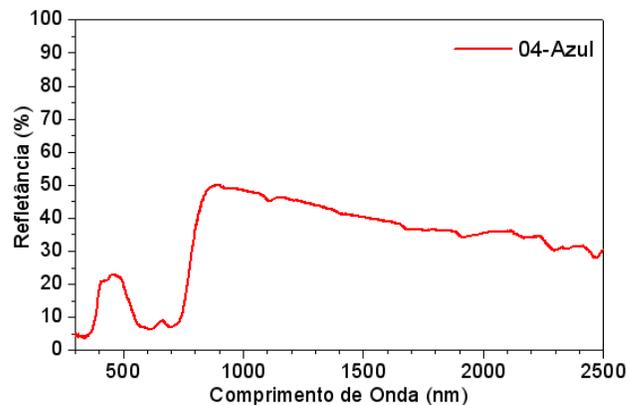
**FIGURA 5.4:** Esquema de funcionamento do espectrofotômetro para capturar a reflexão difusa.

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). Os detectores da radiação refletida pela amostra são de dois tipos de acordo com o tipo de radiação eletromagnética que será detectada. Para a radiação ultravioleta e visível, o detector consiste em um foto tubo, e para a radiação infravermelha o detector é constituído por elemento à base de sulfeto de chumbo (SKOOG et al., 2002).

### 5.2.1.2 Ensaios Espectrofotométricos

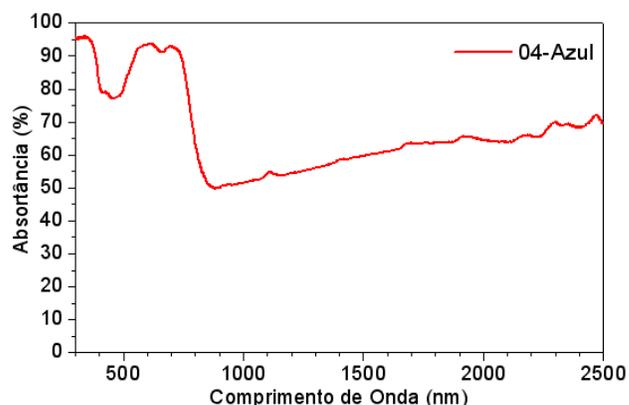
As medições de refletância foram realizadas de acordo com padrões definidos pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers através da norma ASHRAE 74-1988 (ASHRAE, 1988). Neste trabalho, as amostras foram ensaiadas a cada 1nm, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar que apresenta maior concentração de energia proveniente do Sol, de acordo com o espectro solar padrão definido pela ASTM (2003).

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 ensaiadas são obtidas para cada comprimento de onda a partir das curvas de base definidas por essas referências, em um gráfico que relaciona comprimento de onda (abscissas) com percentagem de reflexão (ordenadas), conforme a Figura 5.5.



**FIGURA 5.5:** Exemplo de gráfico resultante do espectrofotômetro nos ensaios de reflexão.

Para se obter a curva de absorptância espectral para as amostras, calculou-se a diferença entre 100% e a refletância em cada comprimento de onda ( $\alpha = 100\% - \rho$ ), pois são superfícies opacas (Figura 5.6).



**FIGURA 5.6:** Exemplo de gráfico de absorção resultante dos ensaios de reflexão em espectrofotômetro.

### 5.2.1.3 Ajuste das Absorptâncias ao Espectro Solar Padrão

O procedimento mais comum utilizado para a obtenção das características óticas de superfícies opacas é a integração da área sob a curva do gráfico resultante do ensaio e a divisão desta pela área total máxima dentro do intervalo medido, obtida quando a reflexão (ou absorção) é 100 % para todos os comprimentos de onda. Neste caso, seria 2200 (300 a 2500 nm) multiplicado por 100, resultando em 220.000. Desta forma, as refletâncias e absorptâncias médias foram calculadas para três intervalos do espectro solar, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho (780 a 2500 nm), além do espectro solar total (300 a 2500 nm), através da integração das curvas obtidas nos ensaios espectrofotométricos.

Os dados de absorvância solar obtidos pelo espectrofotômetro caracterizam o comportamento ótico das diferentes amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro solar. No entanto, este cálculo não considera o percentual de energia incidente em cada comprimento de onda, pois o espectrofotômetro não faz essa distinção, o que acarreta distorções no caso da caracterização das superfícies frente à radiação solar, pois esta apresenta variações acentuadas de valores de energia incidente no intervalo estudado (SANTOS, 2002).

Para se chegar à quantidade de energia relativa (ponderada) que é absorvida pelas superfícies, os valores de absorvância 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). Este espectro padrão considera a radiação hemisférica solar global, composta pela 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 absorvância solar total das amostras ao espectro solar padrão:

a) Obtém-se a curva de intensidade relativa do espectro solar padrão (Eq. 5.1):

$$IR_{\lambda} = \frac{I_{(\lambda)}}{I_{MÁX}} \times 100 \quad [\text{Eq. 5.1}]$$

Sendo:

$IR_{\lambda}$  = Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

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

$I_{MÁX}$  = Irradiância solar global máxima do espectro solar padrão ( $W/m^2$ ).

b) Calcula-se a absorvância relativa das amostras, para cada comprimento de onda:

$$\alpha_{\text{Rel}(\lambda)} = IR_{\lambda} \times \alpha_{\lambda} \quad [\text{Eq. 5.2}]$$

Onde:

$\alpha_{\text{Rel}(\lambda)}$  = Absorvância relativa, para cada comprimento de onda (%);

$IR_{\lambda}$  = Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

$\alpha_{\lambda}$  = Absorvância medida em espectrofotômetro, por comprimento de onda (%).

c) Calcula-se a média das Absortâncias Relativas ( $Med\alpha_{Rel}$ ) de cada amostra e a média da intensidade relativa da Irradiância Solar Global ( $Med_{IR}$ ), através da integração das curvas.

d) Obtém-se a Absortância Solar Ajustada ao espectro solar padrão, para cada amostra analisada, conforme a equação 5.3:

$$\alpha_{Ajust} = \frac{Med\alpha_{Rel}}{Med_{IR}} \quad [Eq. 5.3]$$

Sendo:

$\alpha_{Ajust}$  = Absortância ajustada ao espectro solar padrão (%);

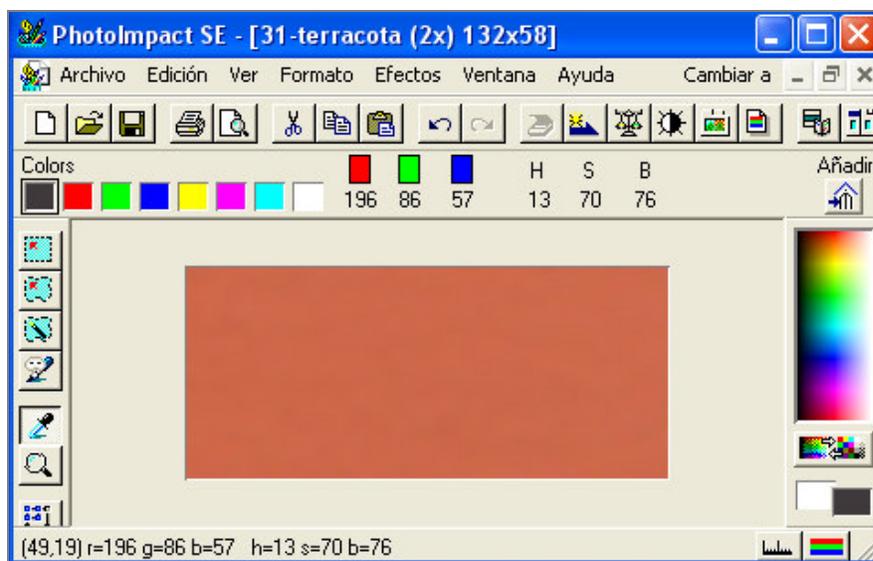
$Med\alpha_{Rel}$  = Média das absortâncias relativas da amostra (%);

$Med_{IR}$  = Média da Intensidade Relativa da Irradiância Solar Global.

### 5.2.2 MÉTODO 2: UTILIZAÇÃO DE SCANNER COMUM

Neste 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 reproduzir, em monitores ou em televisores, sensações visuais semelhantes às provocadas pelos objetos reais. A leitura dos valores de RGB e HSL foi feita através do programa *Photoimpact* (Figura 5.7), mas pode ser feita em qualquer programa de edição de imagens que forneça valores de RGB e HSL. Este programa pode ser obtido facilmente em páginas da internet que oferecem gratuitamente programas de computador para usos diversos.

Para a digitalização das amostras optou-se por utilizar um scanner comum porque este tipo de equipamento permite que as condições de iluminação e exposição das amostras frente ao sensor de captação da imagem sejam controladas, diferentemente do que aconteceria se fosse utilizada, por exemplo, uma máquina fotográfica digital.



**FIGURA 5.7:** Leitura dos parâmetros cromáticos digitais das amostras com o programa Photoimpact.

Ao identificar os parâmetros cromáticos digitais de cada amostra, observou-se que havia uma pequena oscilação entre seus valores, resultado do tipo de digitalização adotado neste trabalho. Para adotar um valor único para cada parâmetro, fez-se a média dos valores encontrados em uma pequena área de cada amostra, de tal forma a se obter uma maior homogeneização da cor superficial. Esta média não modifica a cor da amostra, mas determina com maior confiabilidade os parâmetros cromáticos digitais que melhor caracterizam a tonalidade da amostra considerada.

A partir dos dados de refletância medidos em espectrofotômetro e a classificação das amostras pelos sistemas RGB e HSL, procurou-se identificar equações que relacionassem as absorvâncias obtidas para diferentes intervalos do espectro com os parâmetros cromáticos digitais das amostras estudadas, através de análises de regressão linear. As 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 diferentes das equações obtidas para as tintas com acabamento semi-brilho. As equações encontradas permitem estimar as absorvâncias para a faixa visível (380 a 780 nm) e para o espectro solar total (380 a 2500 nm).

Não é original o método de estimar refletâncias ou absorvâncias a partir de imagens digitalizadas. Processos com este mesmo objetivo são usuais entre as técnicas de sensoriamento remoto (BACOUR et al., 2002) ou computação gráfica (MARSCHNER, 1998; SCHETTINI e BAROLO, 1996; TOMINAGA e TANAKA, 2000).

### 5.2.3 MÉTODO 3: UTILIZAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO ALTA II

Neste método, apresenta-se a utilização do espectrômetro ALTA II desenvolvido pelo Instituto Lunar e Planetário (*Lunar and Planetary Institute*, Houston - Texas) como uma ferramenta para ensino sobre radiação e sensoriamento remoto em escolas de ensino médio dos Estados Unidos. O espectrômetro ALTA II mede refletâncias correspondentes a radiações em 11 diferentes comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm, sendo sete na região visível e quatro na região do infravermelho-próximo. Este equipamento foi escolhido como alternativa ao espectrofotômetro por possuir baixo custo (cerca de US\$ 150,00) e apresentar resultados mais confiáveis e realistas do que os apresentados em tabelas de refletâncias ou absorvâncias publicadas até o momento, ou até mesmo do que os resultados obtidos através de medições com luminancímetros, que fornecem valores de refletância apenas para a luz visível.

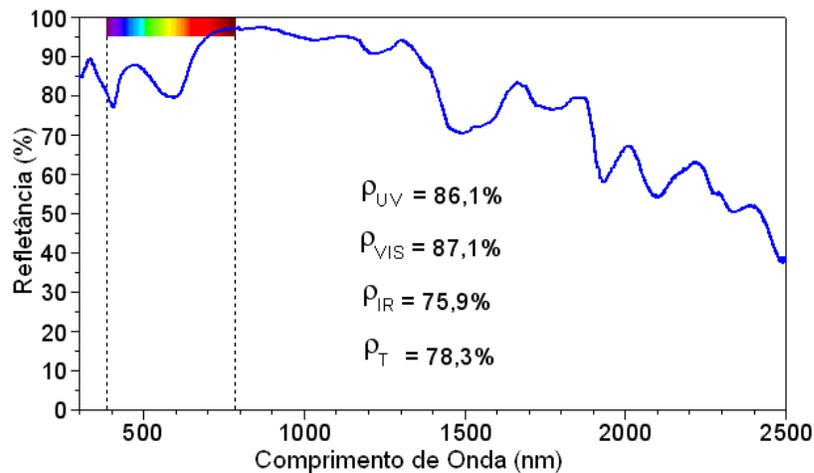
Na parte frontal do espectrômetro estão distribuídos 11 botões, correspondentes aos referidos comprimentos de onda (Figura 5.8). Ao pressionar cada um desses botões, o equipamento emite certa quantidade de energia (voltagem) e mede o quanto dessa energia é refletida de volta. As lâmpadas que emitem a 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 localizada no centro desta circunferência. Na parte frontal do equipamento há uma tela que indica o quanto de energia foi refletida de volta. A amostra fica posicionada sobre a abertura do equipamento e deve cobrir totalmente o orifício, de tal forma que não se perca parte da energia que é emitida pelas lâmpadas e que não haja interferência da iluminação do ambiente externo.



**FIGURA 5.8:** Espectrômetro ALTA II.

Fonte: Lunar and Planetary Institute (2005).

O espectrômetro não fornece o valor absoluto da refletância (indica apenas voltagem), 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 marca Ripax, 75 g/m<sup>2</sup>), cuja curva de reflexão espectral é apresentada na Figura 5.9. 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.



**FIGURA 5.9:** Curva de refletância espectral do papel branco Ripax 75 g/m<sup>2</sup>.

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

a) 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.

b) Medem-se as voltagens, em cada comprimento de onda, para a amostra de referência (papel branco) anotando-se os dados em uma planilha.

c) 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.

d) Faz-se o cálculo da refletância de cada amostra com os dados obtidos nas etapas *a*, *b* e *c*, a partir da Equação 5.4:

$$\rho_{\text{amostra}} = \left( \frac{V_{\text{amostra}} - V_{\text{fundo}}}{V_{\text{referência}} - V_{\text{fundo}}} \right) \times \rho_{\text{referência}} \quad [\text{Eq. 5.4}]$$

Sendo:

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

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

$V_{\text{fundo}}$  = voltagem de fundo (mV);

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

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

Os valores de absorptância estimados a partir dos dados medidos com o espectrômetro ALTA II foram comparados com os dados de absorptância obtidos através do espectrofotômetro.

#### 5.2.4 MÉTODO 4: MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

As temperaturas das superfícies opacas expostas ao Sol são bons indicadores de suas absorptâncias, pois são diretamente afetadas pela quantidade de energia que é absorvida por suas superfícies, conforme discussão apresentada no item 2.3. Por este motivo, procurou-se desenvolver um método para estimar a absorptância solar de superfícies opacas, a partir de medições de temperaturas superficiais.

Em estudos iniciais, placas de alumínio com 1 mm de espessura foram pintadas com 10 diferentes cores de tintas, das quais já haviam sido medidas em espectrofotômetro as respectivas refletâncias, conforme apresentado na tabela 5.7 a seguir. As placas de alumínio foram utilizadas por apresentarem elevada condutividade térmica, o que permite a transmissão de calor rapidamente para o sensor de temperatura superficial, sem que se perca grande parte do calor absorvido pelas superfícies pintadas das respectivas placas.

**TABELA 5.7:** Amostras confeccionadas para medições de temperaturas superficiais e respectivas refletâncias ( $\rho_{\text{TOT}}$ ) e absorptâncias totais ( $\alpha_{\text{TOT}}$ ), primeira etapa de medições.

Nº	Nome Comercial	Cor	Tipo de Tinta	$\rho_{\text{TOT}}$ (%)	$\alpha_{\text{TOT}} = 100 - \rho_{\text{TOT}}$ (%)
04	Azul		Acrílica Fosca	33,2	66,8
05	Azul Imperial		Acrílica Fosca	25,8	74,2
09	Concreto		Acrílica Fosca	20,9	79,1
11	Jade		Acrílica Fosca	39,7	60,3
13	Palha		Acrílica Fosca	54,4	45,6
14	Pérola		Acrílica Fosca	58,4	41,6
15	Pêssego		Acrílica Fosca	49,5	50,5
17	Terracota		Acrílica Fosca	35,0	65,0
29	Preto		Acrílica Semi-Brilho	2,3	97,7
39	Branco		Látex PVA Fosca	81,3	18,7

Para a coleta das temperaturas superficiais das amostras, foi adotado um sistema eletrônico de aquisição de dados constituído por registradores de temperatura, modelo “HOBO”, fabricados pela empresa ONSET Computer Corporation, cuja precisão é de  $\pm 0,39$  °C. As amostras foram expostas à radiação solar e os sensores de temperatura superficial foram posicionados na parte inferior das placas, conforme apresentado na Figura 5.10. Tomou-se o cuidado de proteger as placas da incidência direta de vento, para minimizar o efeito da convecção nas temperaturas superficiais das amostras. Como se dispunha apenas de 6 sensores para medir as temperaturas superficiais, as 10 placas foram divididas em dois grupos, ambos contendo as amostras pintadas com as tintas branca e preta, tomadas como referência para os cálculos das absorptâncias das outras tintas. A escolha dessas duas amostras como referências obedece ao mesmo princípio das referências utilizadas no espectrofotômetro para medições de refletância, conforme descrito no item 5.2.1.2. As medições foram realizadas durante 52 minutos para o primeiro grupo de amostras e por 1h26min para o segundo grupo, a intervalos de 2 minutos cada registro.



(a) Amostras da primeira etapa.



(b) Amostras da segunda etapa.

**FIGURA 5.10:** Medidas de temperaturas superficiais de amostras expostas ao Sol.

Em etapas posteriores da pesquisa, procurou-se ampliar o número de amostras expostas ao Sol que tiveram suas temperaturas superficiais coletadas (Tabela 5.8). No entanto, os resultados encontrados para esse grupo de amostras não apresentaram correlações satisfatórias, apesar de ter sido adotado o mesmo método de medição e análise estatística dos dados. Não se sabe o motivo que provocou a falta de correlação para este grupo de amostras, mas os resultados das medições são apresentados juntamente com os dois grupos de amostras da primeira etapa.

**TABELA 5.8:** Amostras confeccionadas para medições de temperaturas superficiais e respectivas refletâncias ( $\rho_{TOT}$ ) e absorvâncias totais ( $\alpha_{TOT}$ ), segunda etapa de medições.

N°	Nome Comercial	Cor	Tipo de Tinta	$\rho_{TOT}$ (%)	$\alpha_{TOT} = 100 - \rho_{TOT}$ (%)
3	Areia		Acrílica Fosca	47,8	52,2
7	Branco Gelo		Acrílica Fosca	53,6	46,4
19	Amarelo Terra		Acrílica Semi-Brilho	29,3	70,7
22	Cinza		Acrílica Semi-Brilho	10,3	89,7
29	Preto		Acrílica Semi-Brilho	2,3	97,7
33	Vermelho		Acrílica Semi-Brilho	37,4	62,6
34	Amarelo Canário		Látex PVA Fosca	68,9	31,1
39	Branco		Látex PVA Fosca	81,3	18,7
41	Erva doce		Látex PVA Fosca	73,6	26,4
43	Laranja		Látex PVA Fosca	61,4	38,6
44	Marfim		Látex PVA Fosca	65,4	34,6
48	Alecrim		Acrílica Fosca	31,6	68,4
49	Azul bali		Acrílica Fosca	50,3	49,7
52	Camurça		Acrílica Fosca	39,3	60,7
60	Telha		Acrílica Fosca	29,4	70,6
61	Vanila		Acrílica Fosca	71,9	28,1
64	Azul Profundo		Látex PVA Fosca	27,1	72,9
70	Flamingo		Látex PVA Fosca	56,7	43,3
74	Pêssego		Látex PVA Fosca	68,3	31,7
77	Verde Musgo		Látex PVA Fosca	21,3	78,7

### 5.3 ANÁLISE DO EFEITO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DAS AMOSTRAS

Procurando-se quantificar o efeito da rugosidade superficial sobre a absorvância solar de superfícies opacas, mediu-se as refletâncias em espectrofotômetro para amostras lisas e rugosas. Para simular amostras com superfícies rugosas, foram utilizadas lixas do tipo “lixa-ferro” fabricadas pela 3M com 4 diferentes rugosidades superficiais (Tabela 5.9), de acordo com padrões de granulometria definidos pela *Federation of European Producers of Abrasives* (FEPA), as quais foram pintadas com 5 cores distintas (Tabela 5.10). Essas lixas foram escolhidas porque apresentam rugosidades superficiais homogêneas quanto à distribuição dos grãos.

**TABELA 5.9:** Granulometria das amostras rugosas.

CLASSIFICAÇÃO FEPA	DIÂMETRO MÉDIO DO GRÃO (MM)
P16	1,324
P24	0,764
P36	0,538
P50	0,336

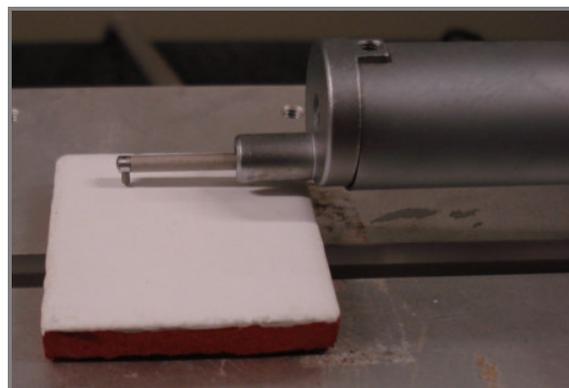
**TABELA 5.10:** Cores das tintas aplicadas sobre as amostras rugosas.

Nº	NOME COMERCIAL	COR	TIPO	IMAGEM DAS AMOSTRAS
01	Amarelo Antigo		Acrílica Fosca	
04	Azul		Acrílica Fosca	
12	Marfim		Acrílica Fosca	
32	Verde Quadra		Acrílica Semi-brilho	
39	Branco		Látex PVA Fosca	

As rugosidades médias das amostras lisas ( $R_a$ ) foram obtidas através de um Perfilômetro de Contato Mecânico (Figura 5.11), disponível do Departamento de Física da Universidade Federal de São Carlos. Este equipamento faz a leitura dos picos e vales da superfície considerada, cujos movimentos verticais são transformados em sinais elétricos. O equipamento fornece valores de  $R_a$ ,  $R_y$  e  $R_z$ , entre outros parâmetros, além do perfil de rugosidade superficial das amostras.



a) Perfilômetro durante medição da rugosidade.

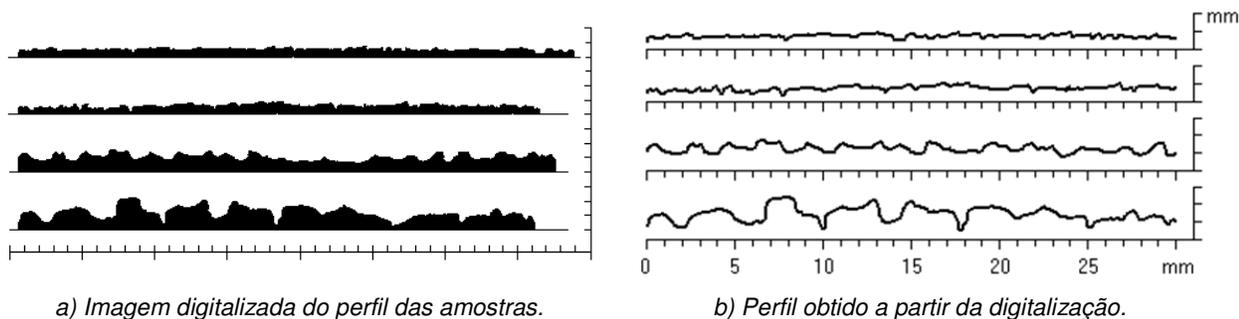


b) Detalhe do equipamento e da amostra.

**FIGURA 5.11:** Perfilômetro de contato mecânico para medir a rugosidade superficial das amostras.

Para determinar a rugosidade média das lixas pintadas não foi possível a utilização desse equipamento, pois ele não permite a medição de amostras com valores de  $R_y$  (diferença de nível entre picos e vales) superiores a 600  $\mu\text{m}$  (0,6 mm). Especificamente no Departamento de Física da UFSCar, esse equipamento é utilizado para medições de rugosidades superficiais de amostras de vidros, películas e cerâmicas, superfícies que apresentam escalas de rugosidade média inferiores às lixas utilizadas nesta pesquisa.

Assim, para estimar a rugosidade média das lixas pintadas, foi adotado um procedimento alternativo de leitura dos picos e vales das superfícies das amostras rugosas através da utilização de um scanner comum. O perfil de rugosidade das amostras foi digitalizado, posicionando-as na vertical sobre o scanner juntamente com uma régua de precisão milimétrica ao lado das amostras, a fim de obter a escala de variação dos picos e vales das amostras, conforme apresentado na Figura 5.12.



**FIGURA 5.12:** Perfil digitalizado das amostras rugosas para obtenção da rugosidade média.

Para o cálculo da rugosidade média ( $Ra$ ) das amostras a partir dos perfis digitalizados em scanner, foram desenvolvidas rotinas computacionais para a leitura dos picos e vales, e posterior cálculo do  $Ra$ , conforme definição apresentada através da equação 3.2 (repetida a seguir). Os valores de  $Ra$  calculados para as amostras lisas e rugosas (Tabela 5.10) foram utilizados em análises de regressão para verificar a influência da rugosidade sobre a absorvância solar das amostras estudadas.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad [\text{Eq. 3.2}]$$

As análises comparativas das curvas de absorvância espectral das amostras lisas e rugosas avaliadas nesta etapa da pesquisa são apresentadas no item 6.4, assim como as análises da influência da rugosidade superficial e do afastamento das amostras sobre suas absorvâncias.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa, incluindo as medições em espectrofotômetro para as diferentes amostras, as curvas de absortância ajustadas ao espectro solar padrão, as análises dos métodos propostos para determinar a absortância solar de superfícies opacas, assim como as análises da rugosidade superficial e sua influência sobre a absortância solar de superfícies opacas.

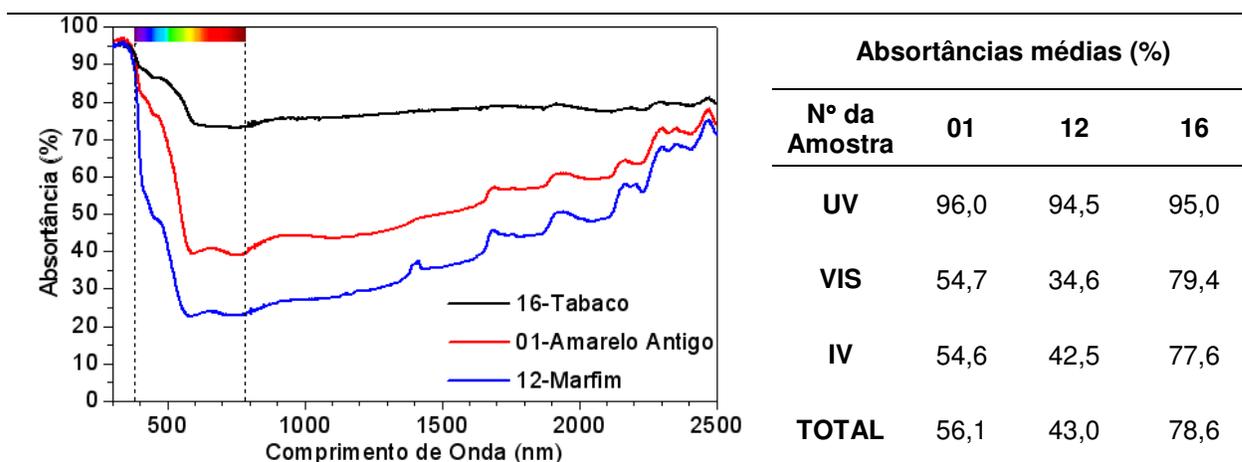
### 6.1 MÉTODO 1: USO DE ESPECTROFOTÔMETRO

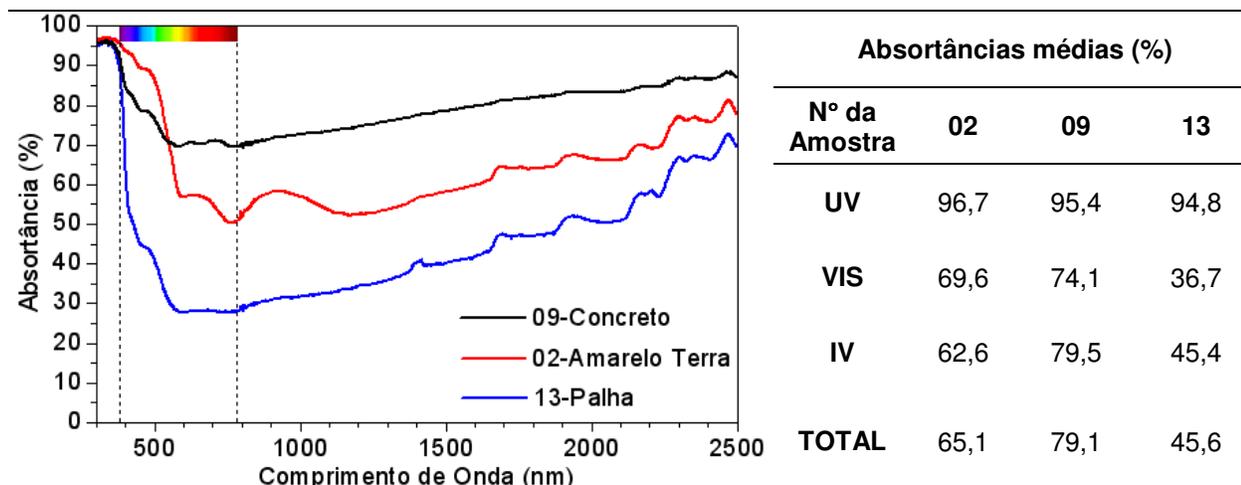
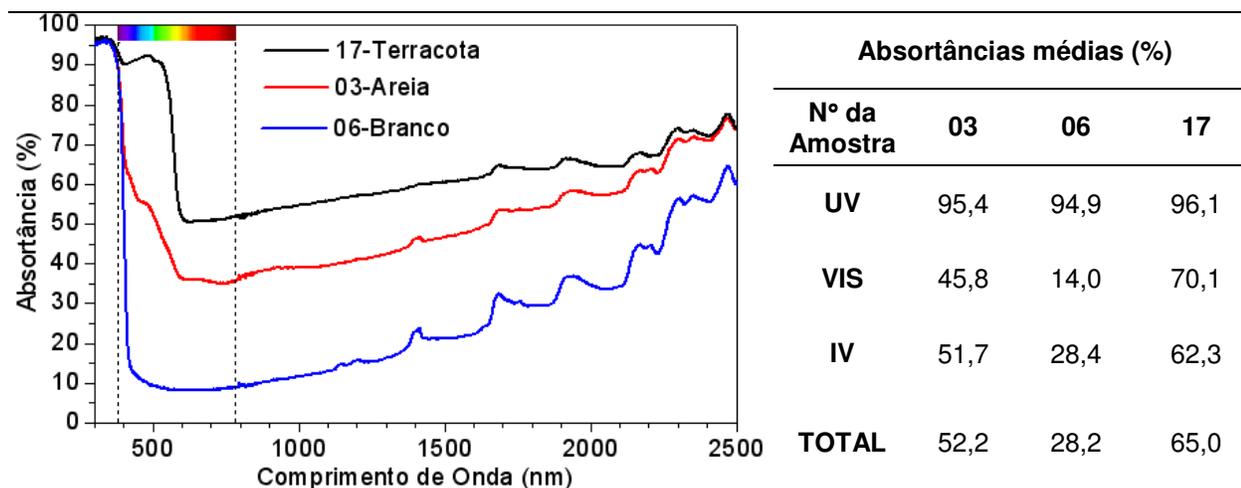
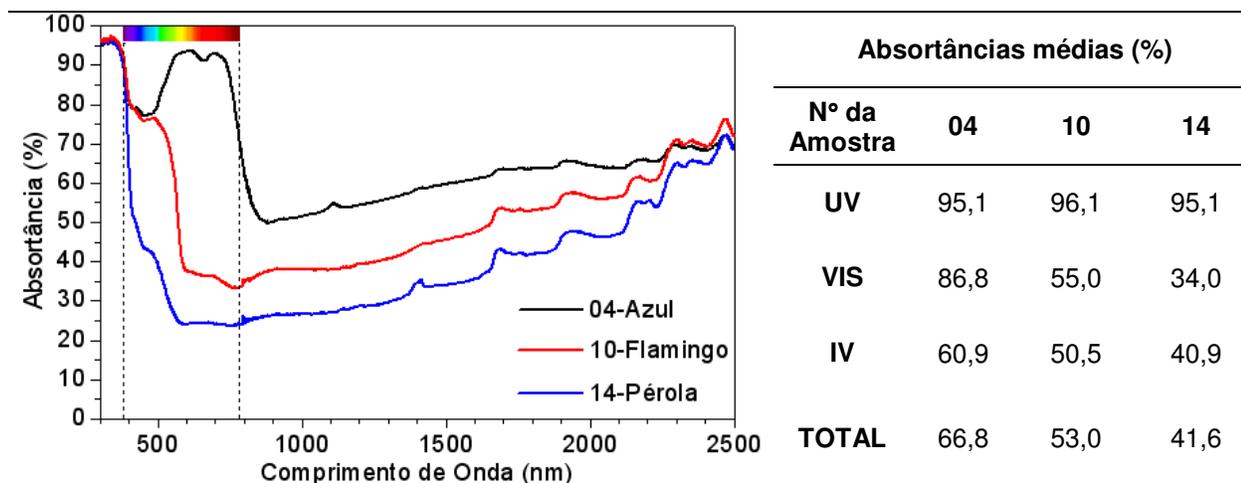
#### 6.1.1 CURVAS ESPECTROFOTOMÉTRICAS DE ABSORTÂNCIAS

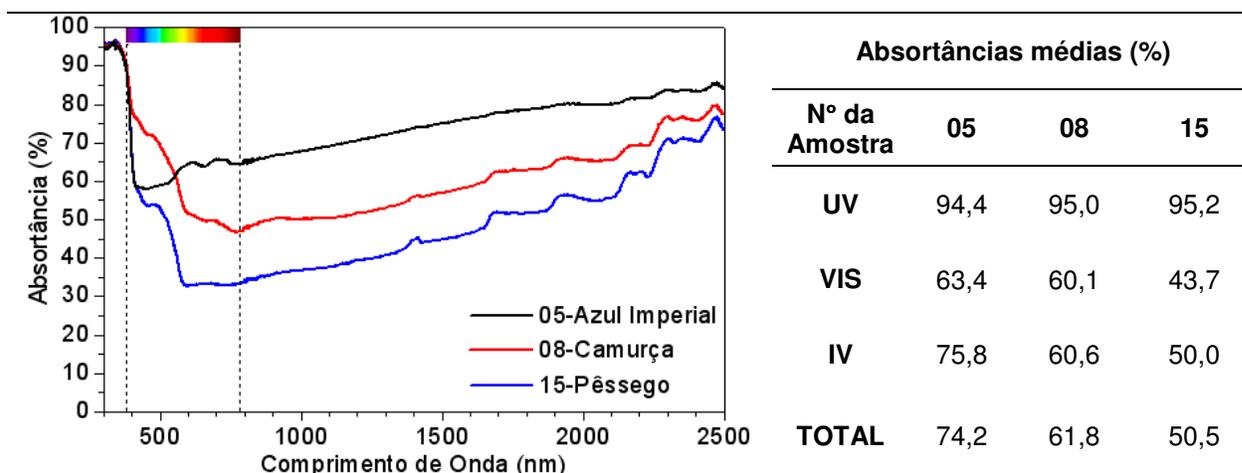
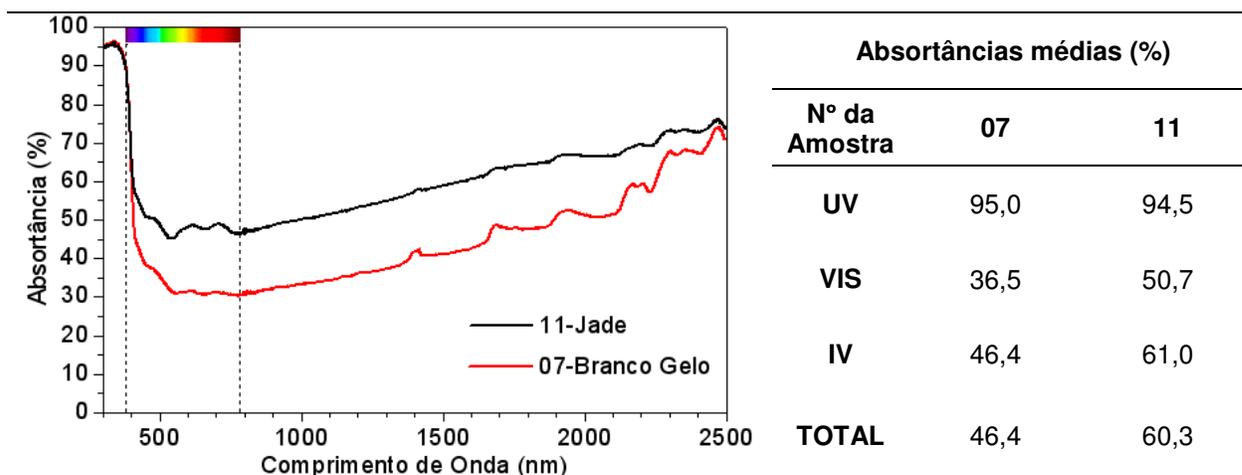
Nas tabelas 6.1 a 6.28 são apresentadas as curvas espectrais de absortância das 78 amostras pintadas com diferentes cores de tintas, além da pastilha cerâmica sem pintura, e as respectivas absortâncias médias para as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm), infravermelho (780 a 2500 nm) e espectro solar total (300 a 2500 nm), obtidas a partir das medições de refletância em espectrofotômetro ( $\alpha = 1 - \rho$ ). As curvas espectrais foram reunidas aleatoriamente em cada tabela.

Nas tabelas 6.1 a 6.6 são apresentadas as curvas de absortância espectral das amostras pintadas com tintas do tipo acrílica fosca produzidas pela Sherwin Williams (Metalatex), assim como suas absortâncias médias para as diferentes faixas do espectro solar.

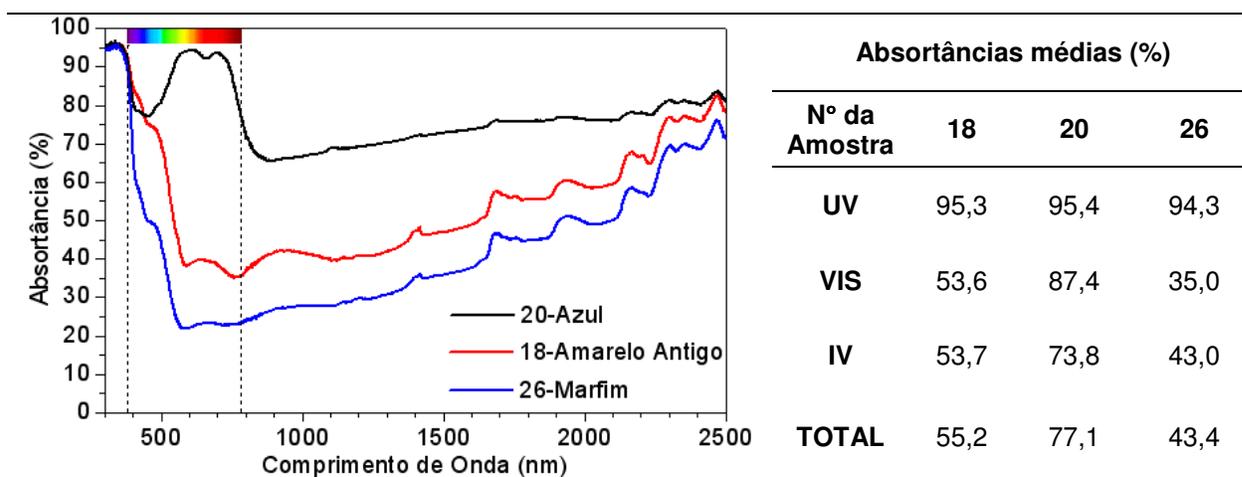
**TABELA 6.1:** Curvas espectrais de absortância das amostras n° 01, 12 e 16: acrílica fosca Metalatex.

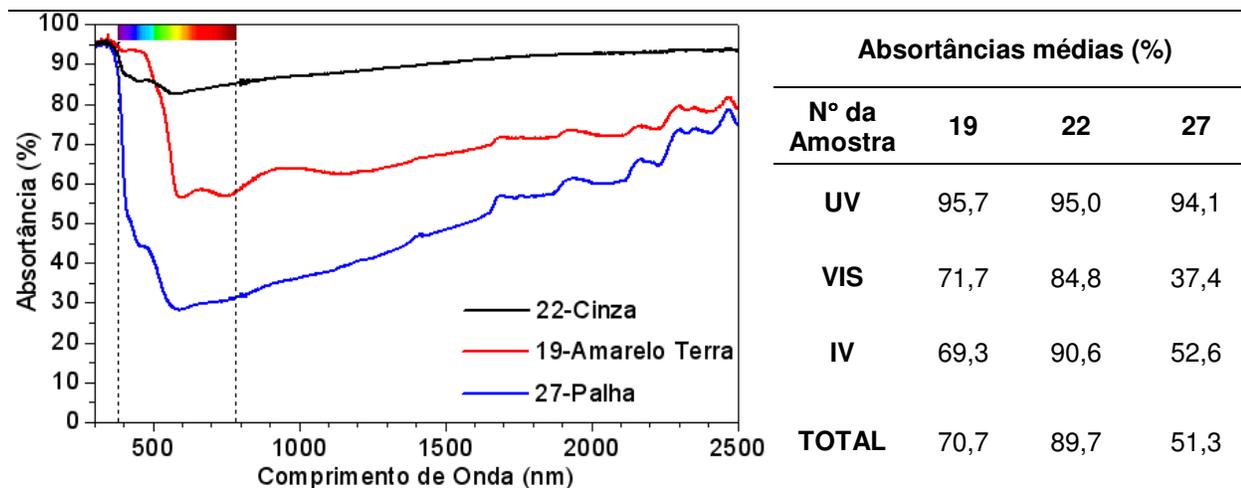
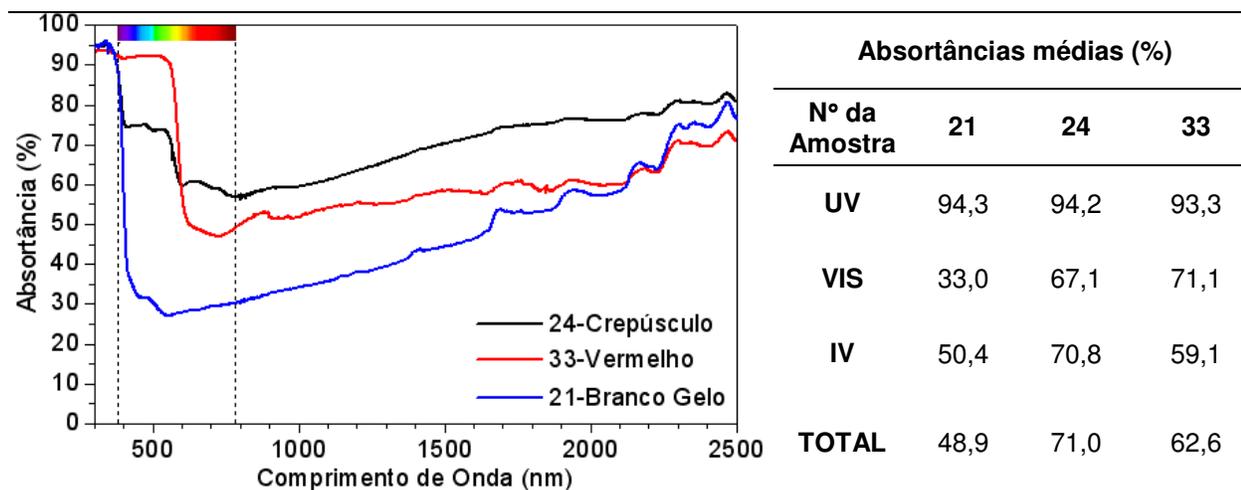
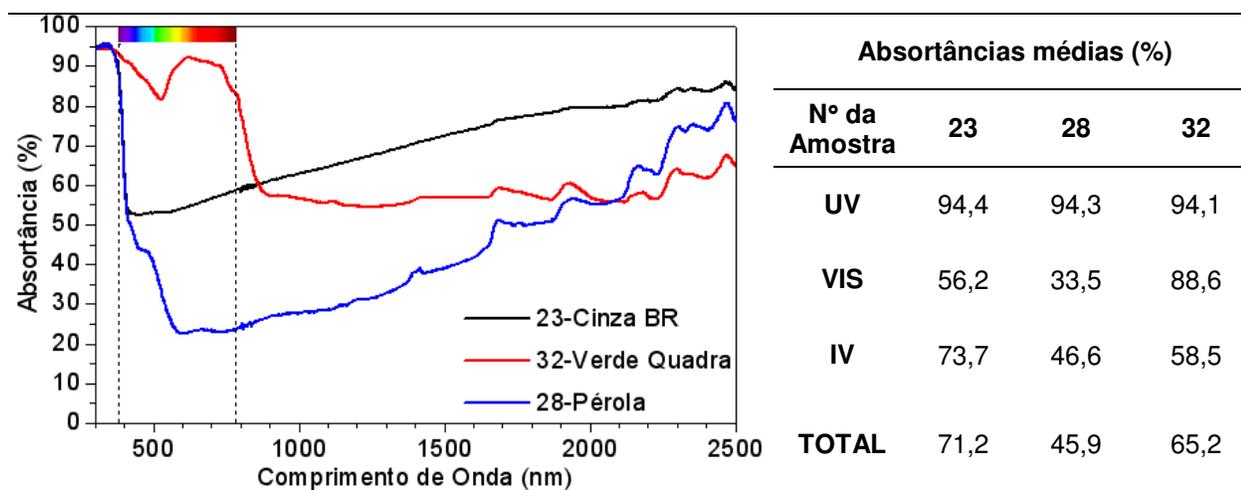


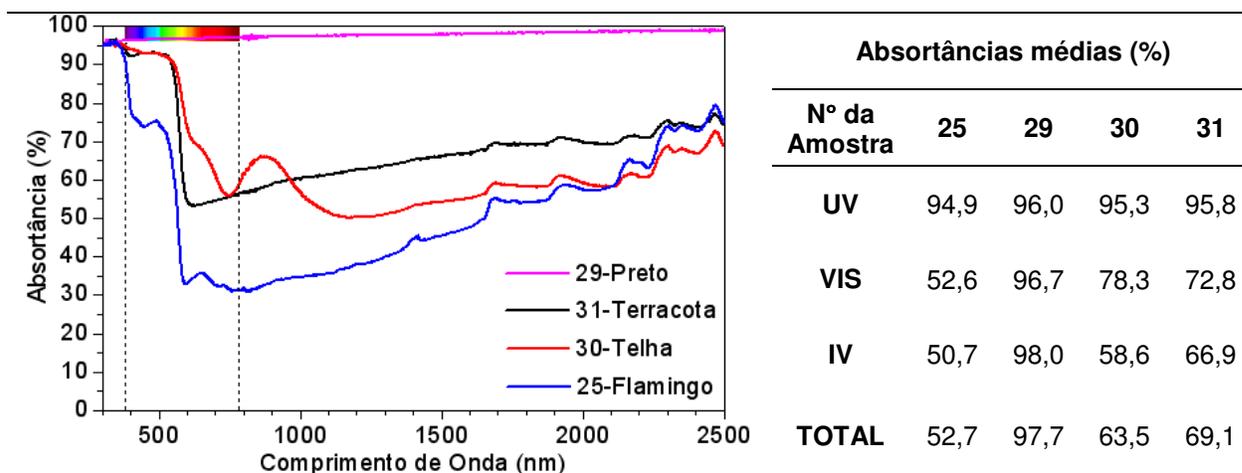
**TABELA 6.2:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 02, 09 e 13: acrílica fosca Metalatex.**TABELA 6.3:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 03, 06 e 17: acrílica fosca Metalatex.**TABELA 6.4:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 04, 10 e 14: acrílica fosca Metalatex.

**TABELA 6.5:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 05, 08 e 15: acrílica fosca Metalatex.**TABELA 6.6:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 07 e 11: acrílica fosca Metalatex.

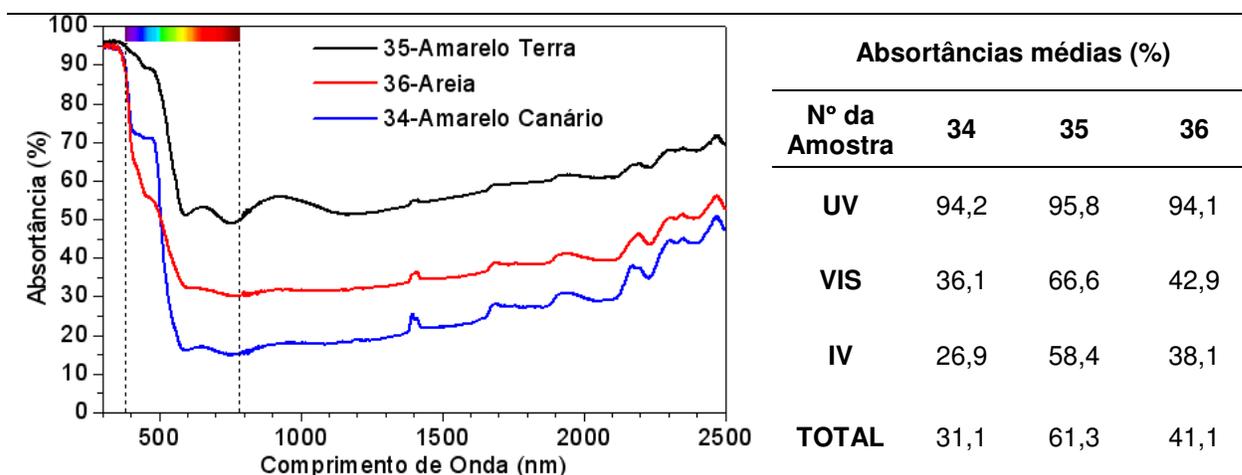
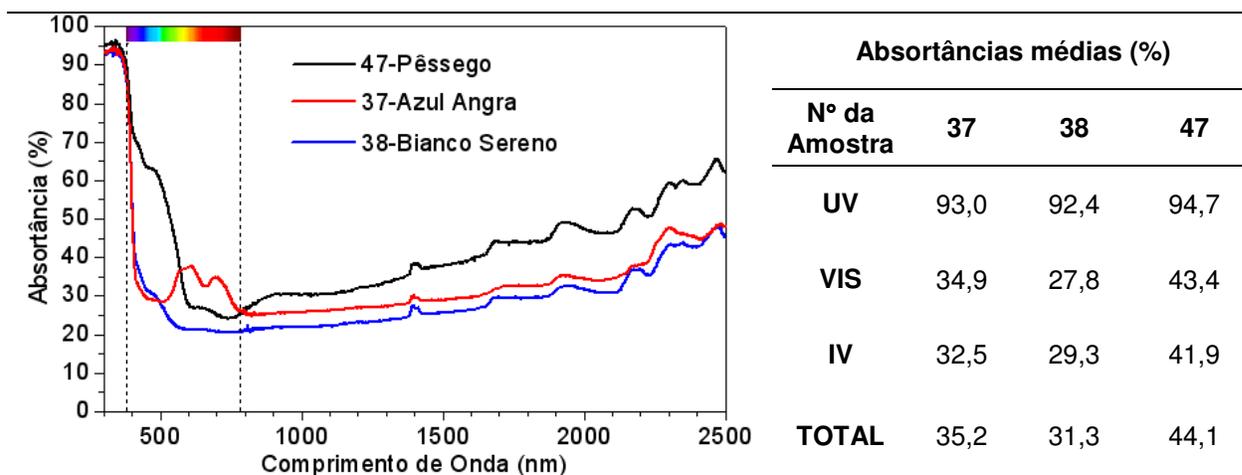
Nas tabelas 6.7 a 6.11 são apresentadas as curvas espectrais de absorvância das amostras pintadas com tintas do tipo acrílica semi-brilho produzidas pela Sherwin Williams.

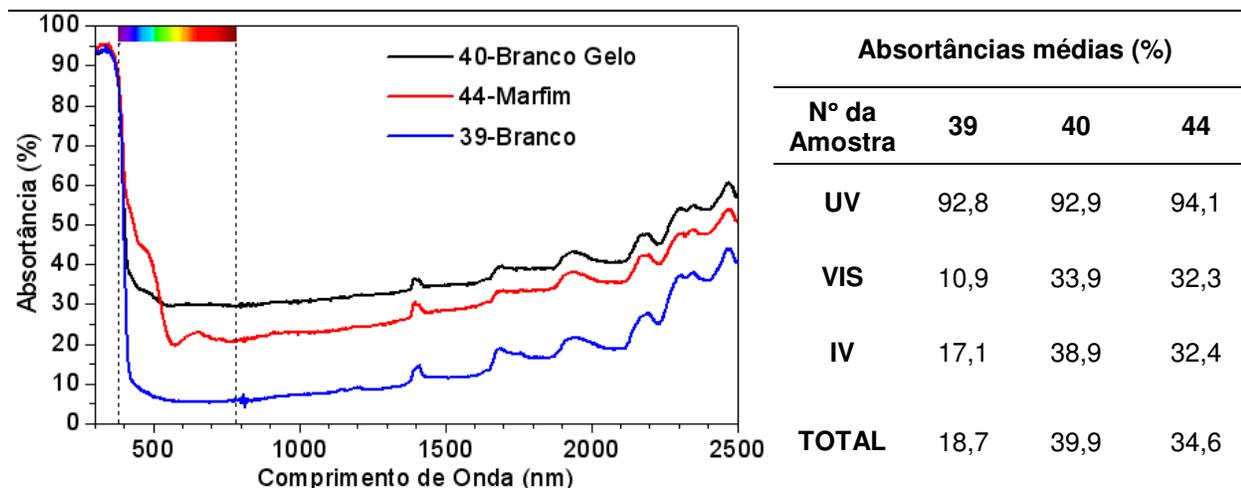
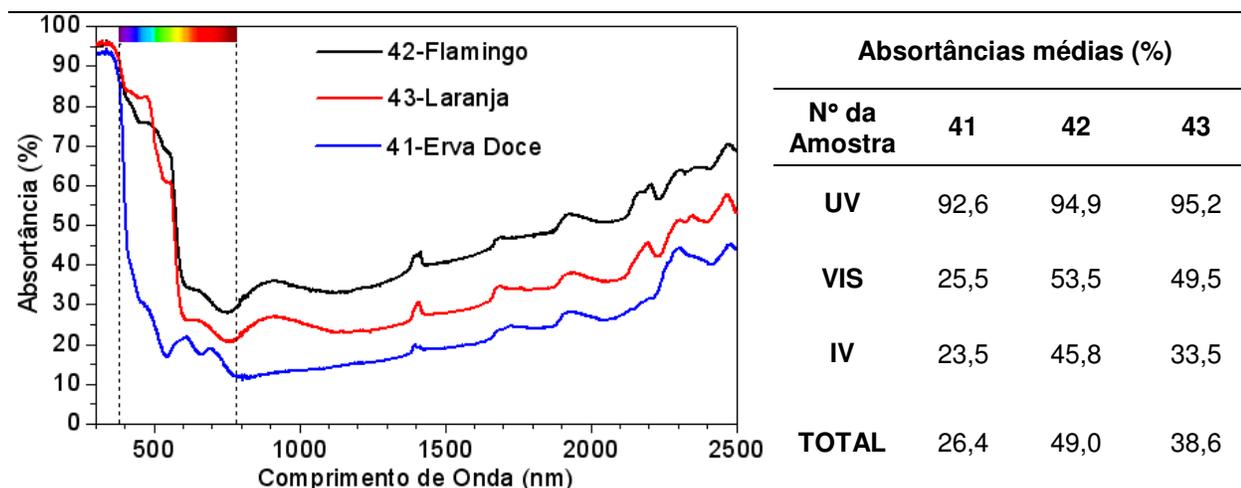
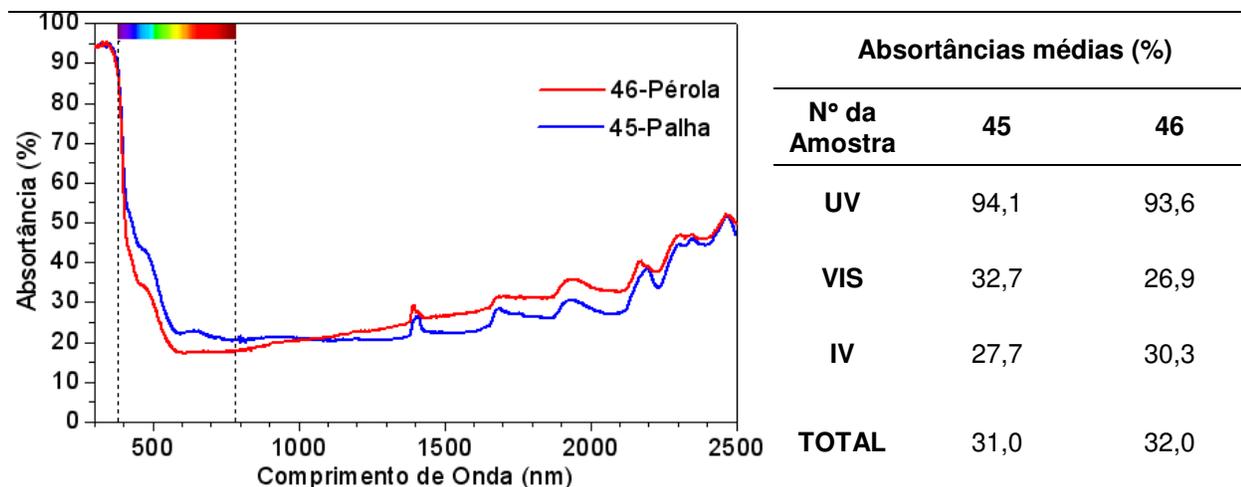
**TABELA 6.7:** Curvas espectrais de absorvância das amostras 18, 20 e 26: acrílica semi-brilho Metalatex.

**TABELA 6.8:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 19, 22 e 27: acrílica semi-brilho.**TABELA 6.9:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 21, 24 e 33: acrílica semi-brilho.**TABELA 6.10:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 23, 28 e 32: acrílica semi-brilho.

**TABELA 6.11:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 25, 29, 30 e 31: acrílica semi-brilho.

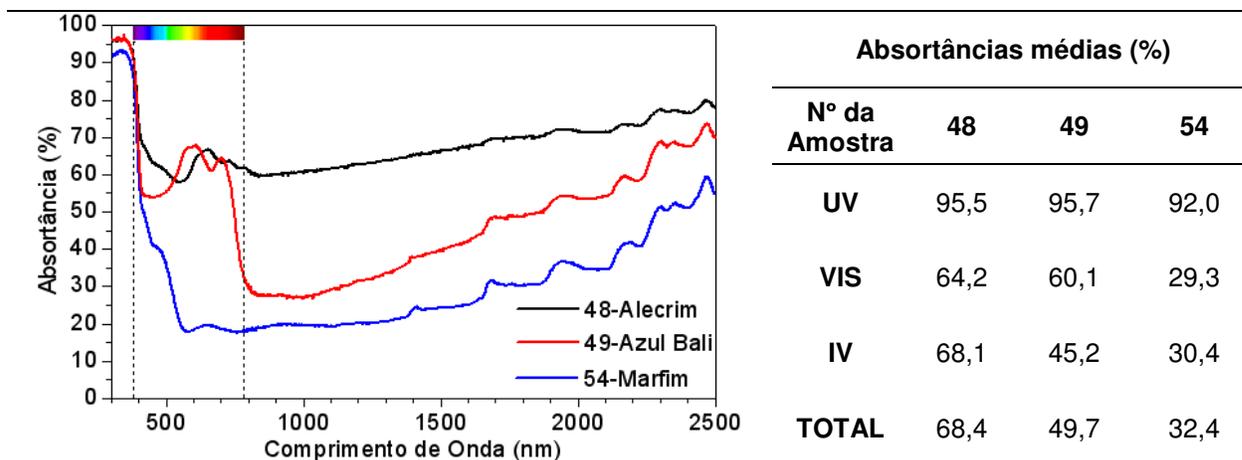
Nas tabelas 6.12 a 6.16 são apresentadas as curvas espectrais de absorvância das amostras pintadas com tintas látex PVA fosca produzidas pela Sherwin Williams (Novacor).

**TABELA 6.12:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 34, 35 e 36: PVA fosca Novacor.**TABELA 6.13:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 37, 38 e 47: PVA fosca Novacor.

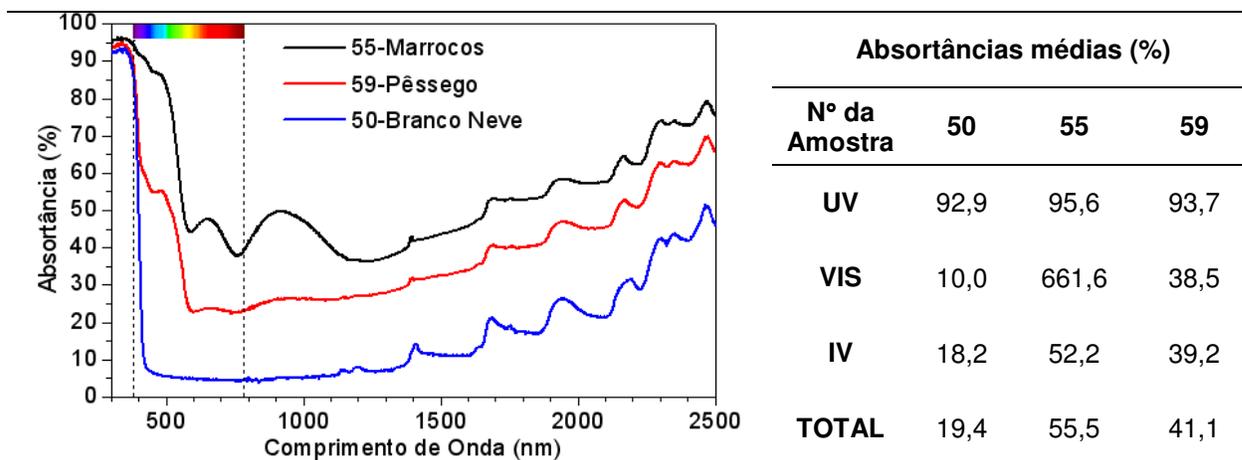
**TABELA 6.14:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 39, 40 e 44: PVA fosca Novacor.**TABELA 6.15:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 41, 42 e 43: PVA fosca Novacor.**TABELA 6.16:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 45 e 46: PVA fosca Novacor.

Nas tabelas 6.17 a 6.21 são apresentadas as curvas espectrais de absorvância das amostras pintadas com tintas do tipo acrílica fosca produzidas pela Suvinil.

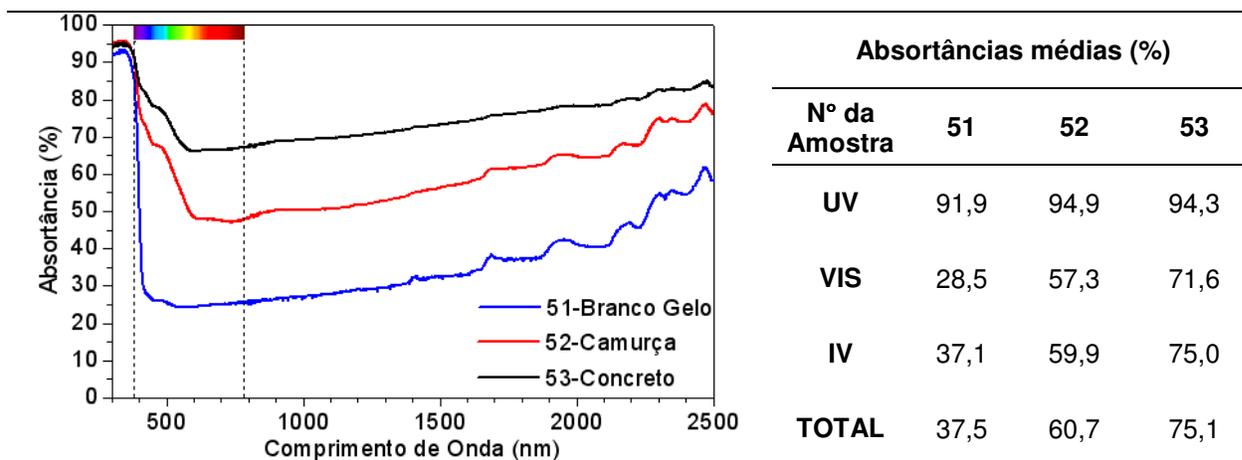
**TABELA 6.17:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 48, 49 e 54: acrílica fosca Suvinil.

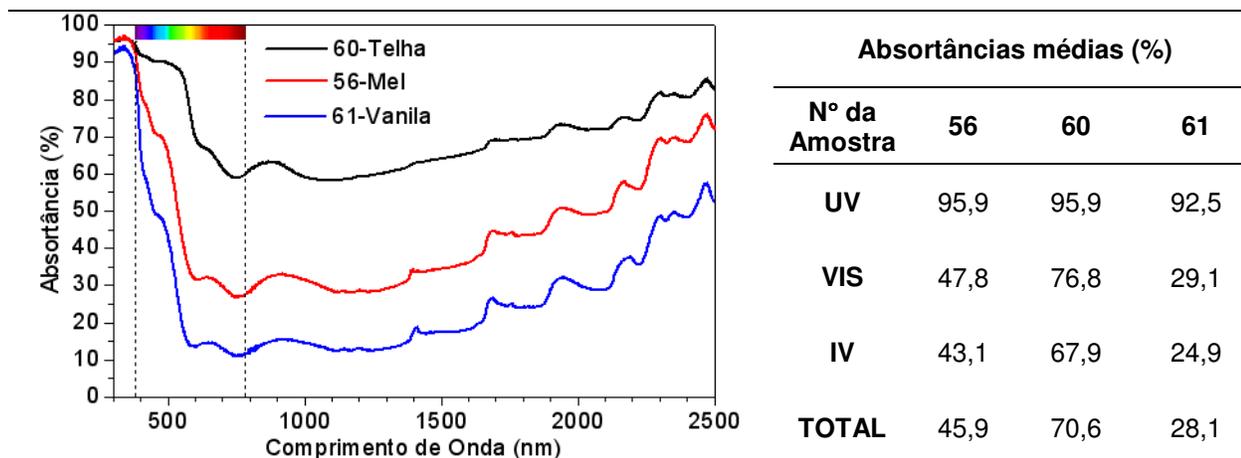
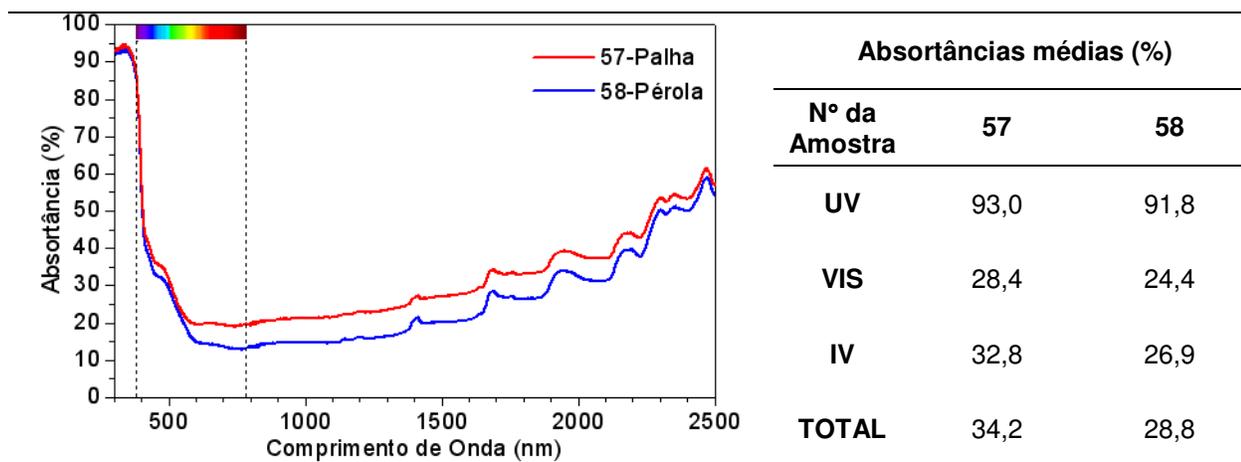


**TABELA 6.18:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 50, 55 e 59: acrílica fosca Suvinil.

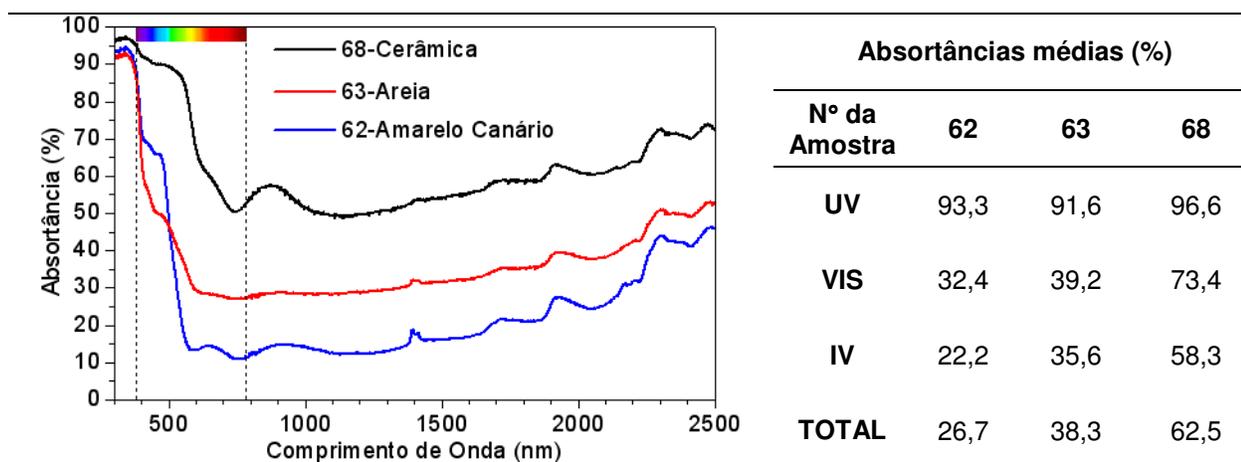


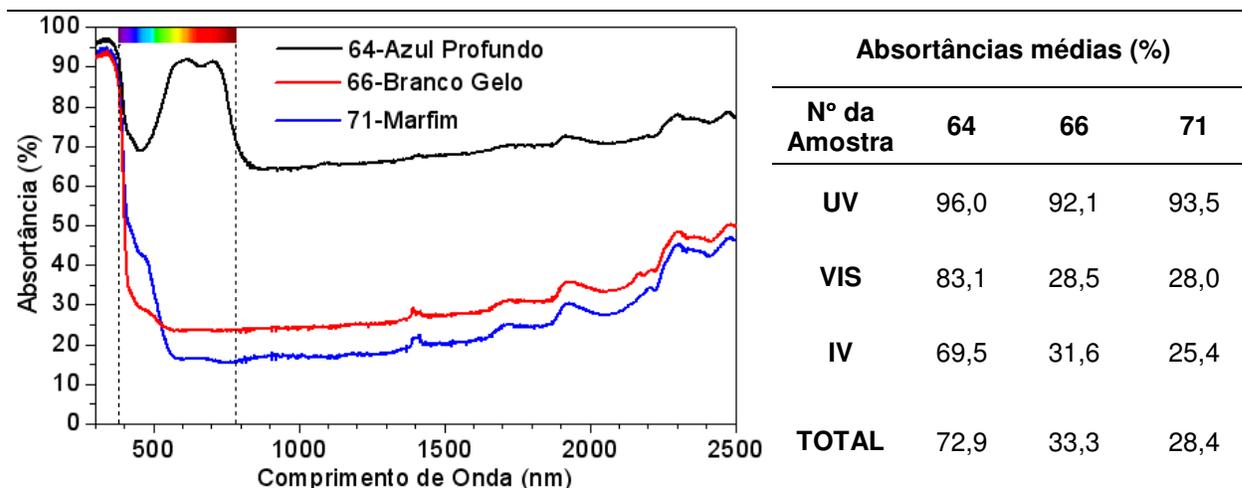
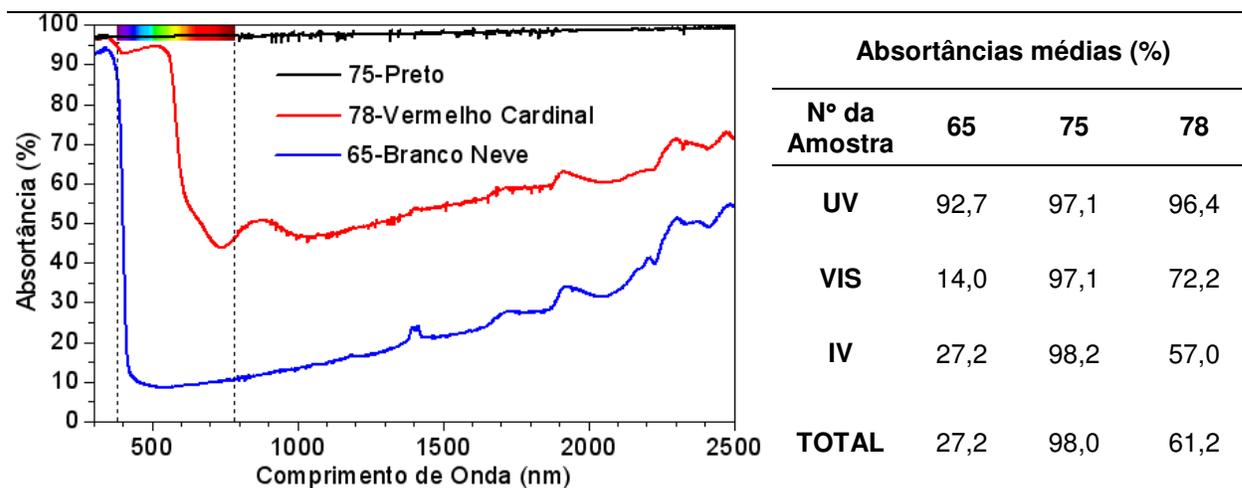
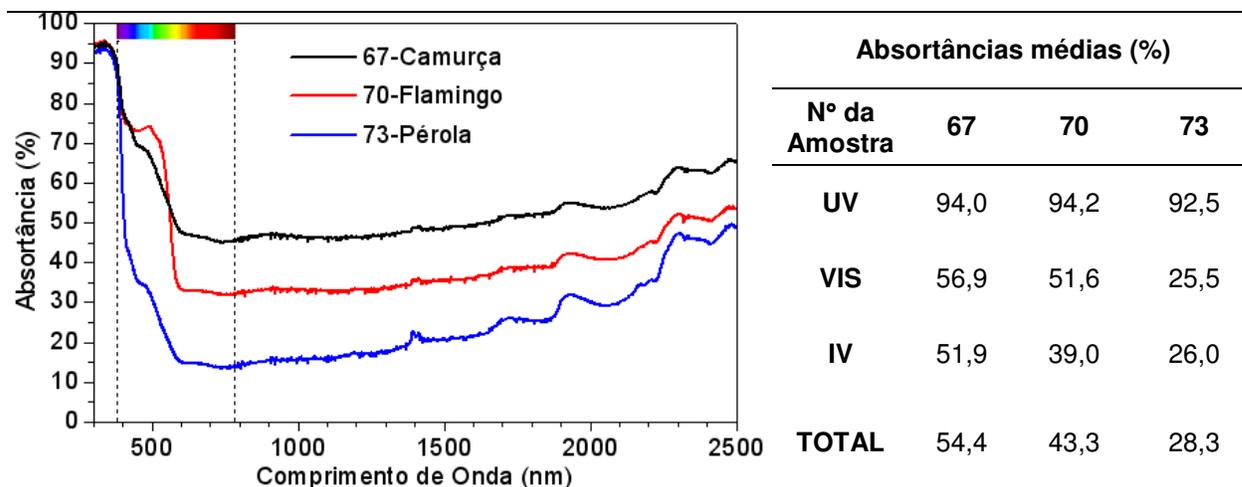
**TABELA 6.19:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 51, 52 e 53: acrílica fosca Suvinil.

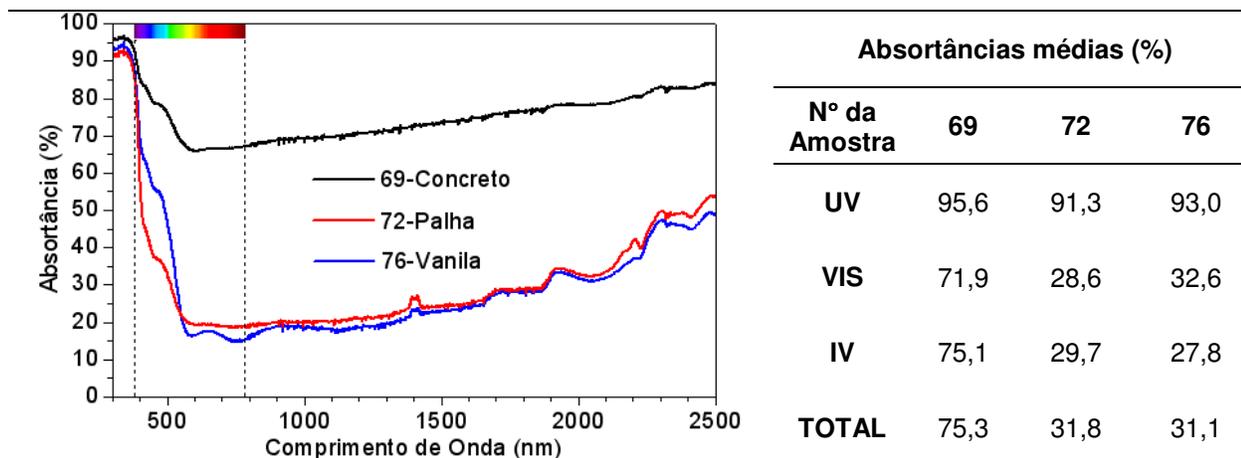
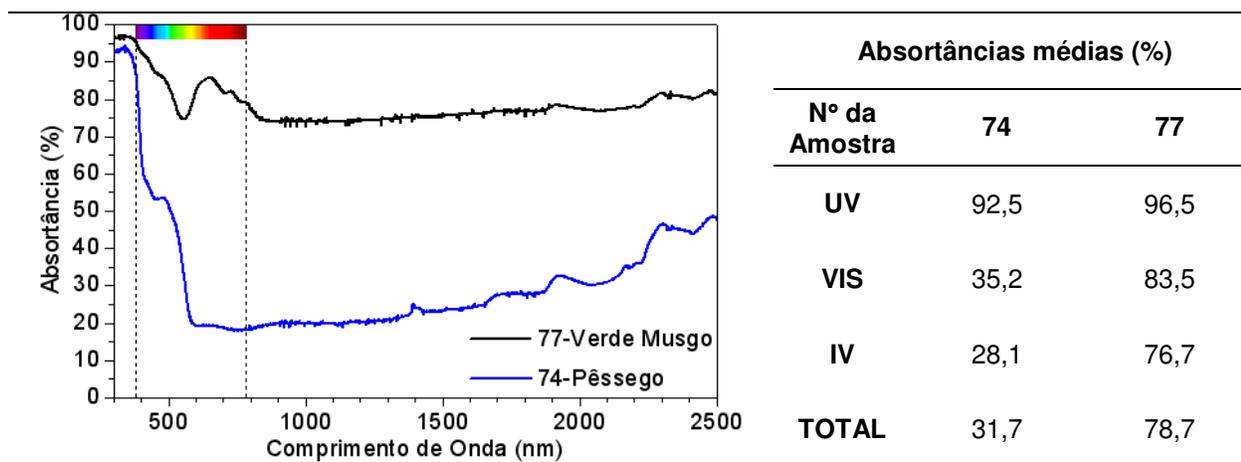


**TABELA 6.20:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 56, 60 e 61: acrílica fosca Suvinil.**TABELA 6.21:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 57 e 58: acrílica fosca Suvinil.

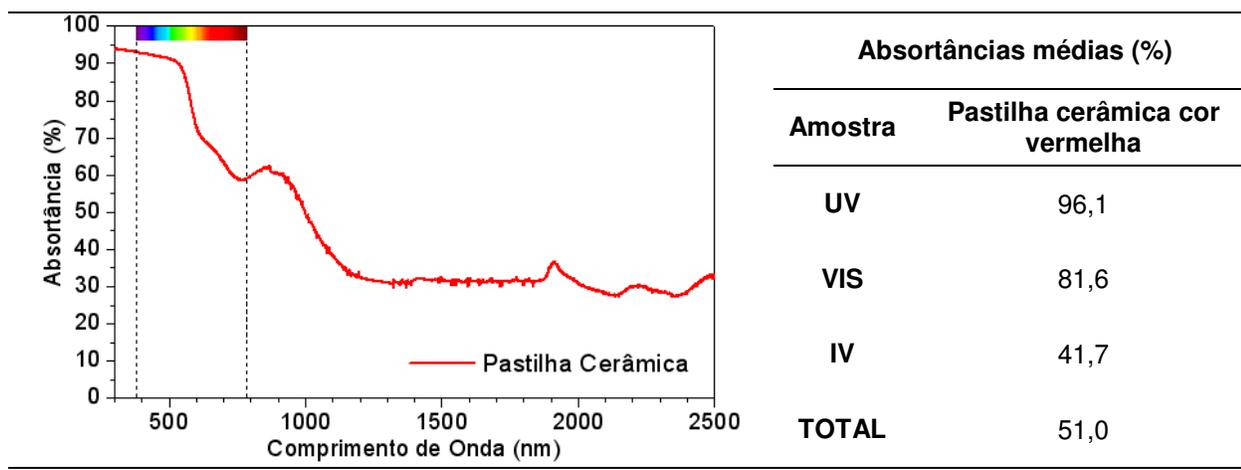
Nas tabelas 6.22 a 6.27 são apresentadas as curvas espectrais de absorvância das amostras pintadas com tintas do tipo látex PVA fosca produzidas pela Suvinil.

**TABELA 6.22:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 62, 63 e 68: PVA fosca Suvinil.

**TABELA 6.23:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 64, 66 e 71: PVA fosca Suviniil.**TABELA 6.24:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 65, 75 e 78: PVA fosca Suviniil.**TABELA 6.25:** Curvas espectrais de absorvância das amostras n° 67, 70 e 73: PVA fosca Suviniil.

**TABELA 6.26:** Curvas espectrais de absorptância das amostras n° 69, 72 e 76: PVA fosca Suvinil.**TABELA 6.27:** Curvas espectrais de absorptância das amostras n° 74 e 77: PVA fosca Suvinil.

Na tabela 6.28 é apresentada a curva espectral de absorptância da pastilha cerâmica vermelha sem pintura.

**TABELA 6.28:** Curva espectral de absorptância da pastilha cerâmica vermelha sem pintura.

Os valores de absorvância e refletância por faixa do espectro, para as 78 amostras analisadas nesta pesquisa, são apresentados nas tabelas 6.29 e 6.30. Estes valores não foram ajustados ao espectro solar padrão.

**TABELA 6.29:** Absortâncias médias por faixa do espectro (%), medidas em espectrofotômetro.

Tipo	N°	Nome Comercial	UV	VIS	IV	TOT	Tipo	N°	Nome Comercial	UV	VIS	IV	TOT	
Metalatex Acrilica Fosca	1	Amarelo Antigo	96,0	54,7	54,6	56,1	Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	92,9	33,9	38,9	39,9	
	2	Amarelo Terra	96,7	69,6	62,6	65,1		41	Erva doce	92,6	25,5	23,5	26,4	
	3	Areia	95,4	45,8	51,7	52,2		42	Flamingo	94,9	53,5	45,8	49,0	
	4	Azul	95,1	86,8	60,9	66,8		43	Laranja	95,2	49,5	33,5	38,6	
	5	Azul Imperial	94,4	63,4	75,8	74,2		44	Marfim	94,1	32,3	32,4	34,6	
	6	Branco	94,9	14,0	28,4	28,2		45	Palha	94,1	32,7	27,7	31,0	
	7	Branco Gelo	95,0	36,5	46,4	46,4		46	Pérola	93,6	26,9	30,3	32,0	
	8	Camurça	95,0	60,1	60,6	61,8		47	Pêssego	94,7	43,4	41,9	44,1	
	9	Concreto	95,4	74,1	79,5	79,1		Suvinil Acrilica Fosca	48	Alecrim	95,5	64,2	68,1	68,4
	10	Flamingo	96,1	55,0	50,5	53,0			49	Azul bali	95,7	60,1	45,2	49,7
	11	Jade	94,5	50,7	61,0	60,3			50	Branco Neve	92,2	10,0	18,2	19,4
	12	Marfim	94,5	34,6	42,5	43,0			51	Branco Gelo	91,9	28,5	37,1	37,5
	13	Palha	94,8	36,7	45,4	45,6			52	Camurça	94,9	57,3	59,9	60,7
	14	Pérola	95,1	34,0	40,9	41,6			53	Concreto	94,3	71,6	75,0	75,1
	15	Pêssego	95,2	43,7	50,0	50,5			54	Marfim	92,0	29,3	30,4	32,4
	16	Tabaco	95,0	79,4	77,6	78,6			55	Marrocos	95,6	61,6	52,2	55,5
	17	Terracota	96,1	70,1	62,3	65,0			56	Mel	95,9	47,8	43,1	45,9
Metalatex Acrilica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	95,3	53,6	53,7	55,2	57		Palha	93,0	28,4	32,8	34,2	
	19	Amarelo Terra	95,7	71,7	69,3	70,7	58		Pérola	91,8	24,4	26,9	28,8	
	20	Azul	95,4	87,4	73,8	77,1	59	Pêssego	93,7	38,5	39,2	41,1		
	21	Branco Gelo	94,3	33,0	50,4	48,9	60	Telha	95,9	76,8	67,9	70,6		
	22	Cinza	95,0	84,8	90,6	89,7	61	Vanila	92,5	29,1	24,9	28,1		
	23	Cinza BR	94,4	56,2	73,7	71,2	Suvinil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	93,3	32,4	22,2	26,7	
	24	Crepúsculo	94,2	67,1	70,8	71,0		63	Areia	91,6	39,2	35,6	38,3	
	25	Flamingo	94,9	52,6	50,7	52,7		64	Azul Profundo	96,0	83,1	69,5	72,9	
	26	Marfim	94,3	35,0	43,0	43,4		65	Branco Neve	92,7	14,0	27,2	27,2	
	27	Palha	94,1	37,4	52,6	51,3		66	Branco Gelo	92,1	28,5	31,6	33,3	
	28	Pérola	94,3	33,5	46,6	45,9		67	Camurça	94,0	56,9	51,9	54,4	
	29	Preto	96,0	96,7	98,0	97,7		68	Cerâmica	96,6	73,4	58,3	62,5	
	30	Telha	95,3	78,3	58,6	63,5		69	Concreto	95,6	71,9	75,1	75,3	
	31	Terracota	95,8	72,8	66,9	69,1		70	Flamingo	94,2	51,6	39,0	43,3	
	32	Verde Quadra	94,1	88,6	58,5	65,2		71	Marfim	93,5	28,0	25,4	28,4	
	33	Vermelho	93,3	71,1	59,1	62,6		72	Palha	91,3	28,6	29,7	31,8	
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	94,2	36,1	26,9	31,1	73	Pérola	92,5	25,5	26,0	28,3		
	35	Amarelo Terra	95,8	66,6	58,4	61,3	74	Pêssego	92,5	35,2	28,1	31,7		
	36	Areia	94,1	42,9	38,1	41,1	75	Preto	97,1	97,1	98,2	98,0		
	37	Azul angra	93,0	34,9	32,5	35,2	76	Vanila	93,0	32,6	27,8	31,1		
	38	Bianco Sereno	92,4	27,8	29,3	31,3	77	Verde Musgo	96,5	83,5	76,7	78,7		
	39	Branco	92,8	10,9	17,1	18,7	78	Vermelho Cardinal	96,4	72,2	57,0	61,2		

**TABELA 6.30:** Refletâncias médias por faixa do espectro (%), medidas em espectrofotômetro.

Tipo	N°	Nome Comercial	UV	VIS	IV	TOT	Tipo	N°	Nome Comercial	UV	VIS	IV	TOT
Metalatex Acrílica Fosca	1	Amarelo Antigo	4,0	45,3	45,4	43,9	Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	7,1	66,1	61,1	60,1
	2	Amarelo Terra	3,3	30,4	37,4	34,9		41	Erva doce	7,4	74,5	76,5	73,6
	3	Areia	4,6	54,2	48,3	47,8		42	Flamingo	5,1	46,5	54,2	51,0
	4	Azul	4,9	13,2	39,1	33,2		43	Laranja	4,8	50,5	66,5	61,4
	5	Azul Imperial	5,6	36,6	24,2	25,8		44	Marfim	5,9	67,7	67,6	65,4
	6	Branco	5,1	86,0	71,6	71,8		45	Palha	5,9	67,3	72,3	69,0
	7	Branco Gelo	5,0	63,5	53,6	53,6		46	Pérola	6,4	73,1	69,7	68,0
	8	Camurça	5,0	39,9	39,4	38,2		47	Pêssego	5,3	56,6	58,1	55,9
	9	Concreto	4,6	25,9	20,5	20,9		48	Alecrim	4,5	35,8	31,9	31,6
	10	Flamingo	3,9	45,0	49,5	47,0		49	Azul bali	4,3	39,9	54,8	50,3
	11	Jade	5,5	49,3	39,0	39,7		50	Branco Neve	7,8	90,0	81,8	80,6
	12	Marfim	5,5	65,4	57,5	57,0		51	Branco Gelo	8,1	71,5	62,9	62,5
	13	Palha	5,2	63,3	54,6	54,4		52	Camurça	5,1	42,7	40,1	39,3
	14	Pérola	4,9	66,0	59,1	58,4		53	Concreto	5,7	28,4	25,0	24,9
	15	Pêssego	4,8	56,3	50,0	49,5		54	Marfim	8,0	70,7	69,6	67,6
	16	Tabaco	5,0	20,6	22,4	21,4		55	Marrocos	4,4	38,4	47,8	44,5
	17	Terracota	3,9	29,9	37,7	35,0		56	Mel	4,1	52,2	56,9	54,1
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	4,7	46,4	46,3	44,8	57	Palha	7,0	71,6	67,2	65,8	
	19	Amarelo Terra	4,3	28,3	30,7	29,3	58	Pérola	8,2	75,6	73,1	71,2	
	20	Azul	4,6	12,6	26,2	22,9	59	Pêssego	6,3	61,5	60,8	58,9	
	21	Branco Gelo	5,7	67,0	49,6	51,1	60	Telha	4,1	23,2	32,1	29,4	
	22	Cinza	5,0	15,2	9,4	10,3	61	Vanila	7,5	70,9	75,1	71,9	
	23	Cinza BR	5,6	43,8	26,3	28,8	62	Amarelo Canário	6,7	67,6	77,8	73,3	
	24	Crepúsculo	5,8	32,9	29,2	29,0	63	Areia	8,4	60,8	64,4	61,7	
	25	Flamingo	5,1	47,4	49,3	47,3	64	Azul Profundo	4,0	16,9	30,5	27,1	
	26	Marfim	5,7	65,0	57,0	56,6	65	Branco Neve	7,3	86,0	72,8	72,8	
	27	Palha	5,9	62,6	47,4	48,7	66	Branco Gelo	7,9	71,5	68,4	66,7	
	28	Pérola	5,7	66,5	53,4	54,1	67	Camurça	6,0	43,1	48,1	45,6	
	29	Preto	4,0	3,3	2,0	2,3	68	Cerâmica	3,4	26,6	41,7	37,5	
	30	Telha	4,7	21,7	41,4	36,5	69	Concreto	4,4	28,1	24,9	24,7	
	31	Terracota	4,2	27,2	33,1	30,9	70	Flamingo	5,8	48,4	61,0	56,7	
	32	Verde Quadra	5,9	11,4	41,5	34,8	71	Marfim	6,5	72,0	74,6	71,6	
	33	Vermelho	6,7	28,9	40,9	37,4	72	Palha	8,7	71,4	70,3	68,2	
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	5,8	63,9	73,1	68,9	73	Pérola	7,5	74,5	74,0	71,7	
	35	Amarelo Terra	4,2	33,4	41,6	38,7	74	Pêssego	7,5	64,8	71,9	68,3	
	36	Areia	5,9	57,1	61,9	58,9	75	Preto	2,9	2,9	1,8	2,0	
	37	Azul angra	7,0	65,1	67,5	64,8	76	Vanila	7,0	67,4	72,2	68,9	
	38	Bianco Sereno	7,6	72,2	70,7	68,7	77	Verde Musgo	3,5	16,5	23,3	21,3	
	39	Branco	7,2	89,1	82,9	81,3	78	Vermelho Cardinal	3,6	27,8	43,0	38,8	

Para compreender melhor a diversidade de valores de absorvância solar que uma mesma cor pode ter, e que apenas a percepção visual não é indicador confiável dessa propriedade das superfícies, as tabelas a seguir apresentam os dados de absorvância agrupados conforme a cor das amostras analisadas nesta pesquisa.

Na tabela 6.31 estão reunidas amostras de cor preta e cinza, com diferentes tonalidades. Suas absorvâncias variam entre 60,3% e 98%, desde o cinza mais claro (Jade) até a cor Preta, de maior absorvância. Na tabela 6.32, estão reunidas as amostras de cor branca e branco gelo, cujas absorvâncias totais variam de 18,7% a 48,9%. A cor Branco Gelo engana o olho humano, pois apesar de ser muito utilizada como segunda opção de cor clara, apresenta absorvâncias elevadas que podem chegar a quase 50%, mesmo apresentando absorvâncias para a região visível em torno de 30%, como é o caso da amostra nº 21.

**TABELA 6.31:** Absorvância solar das amostras de cor preta e cinza, com diferentes tonalidades.

Nº	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)
75	Preta		98,0
29	Preta		97,7
22	Cinza		89,7
9	Concreto		79,1
69	Concreto		75,3
53	Concreto		75,1
23	Cinza BR		71,2
11	Jade		60,3

**TABELA 6.32:** Absorvância solar das amostras de cor branca, com diferentes tonalidades.

Nº	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)	Nº	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)
21	Branco Gelo		48,9	38	Bianco Sereno		31,3
7	Branco Gelo		46,4	6	Branco		28,2
40	Branco Gelo		39,9	65	Branco Neve		27,2
51	Branco Gelo		37,5	50	Branco Neve		19,4
66	Branco Gelo		33,3	39	Branco		18,7

Na tabela 6.33 estão reunidas as amostras de cores azul e verde, com diferentes tonalidades. Observa-se que a amostra Azul Imperial (nº 5), apesar de ter aparência próxima à amostra Azul Bali (nº 49), apresenta absorvância total 25% superior. Entre as amostras Alecrim (nº 48) e Verde Quadra (nº 32) acontece o contrário, pois são cores de tonalidades diferentes, mas com absorvâncias totais muito próximas.

**TABELA 6.33:** Absortância solar das amostras de cor azul e verde, com diferentes tonalidades.

N°	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)
20	Azul		77,1	77	Verde Musgo		78,7
5	Azul Imperial		74,2	48	Alecrim		68,4
64	Azul Profundo		72,9	32	Verde Quadra		65,2
4	Azul		66,8	41	Erva Doce		26,4
49	Azul Bali		49,7				
37	Azul Angra		35,2				

Amostras de cores vermelha e marrom de diferentes tonalidades estão agrupadas na tabela 6.34. Pode-se observar que amostras denominadas “Pêssego” apresentam variação em suas absortâncias totais entre 31,7% e 50,5%, amostras de cor Flamingo entre 43,3% e 53% e amostras de cor Areia entre 41,1% e 52,2%.

**TABELA 6.34:** Absortância solar das amostras de cor vermelha e marrom, com diferentes tonalidades.

N°	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)
16	Tabaco		78,6	10	Flamingo		53,0
24	Crepúsculo		71,0	25	Flamingo		52,7
60	Telha		70,6	3	Areia		52,2
31	Terracota		69,1	15	Pêssego		50,5
17	Terracota		65,0	42	Flamingo		49,0
30	Telha		63,5	47	Pêssego		44,1
33	Vermelho		62,6	70	Flamingo		43,3
68	Cerâmica		62,5	59	Pêssego		41,1
8	Camurça		61,8	36	Areia		41,1
78	Vermelho Cardinal		61,2	43	Laranja		38,6
52	Camurça		60,7	63	Areia		38,3
67	Camurça		54,4	74	Pêssego		31,7

As amostras de cor amarela, com diferentes tonalidades, são apresentadas na tabela 6.35, cujas absortâncias variam desde 26,7% a 70,7%. Para amostras de cor Pérola, as absortâncias variam entre 28,3% e 45,9%, para a cor Marfim entre 28,4% e 43,4% e a cor Palha entre 31% e 51,3%.

**TABELA 6.35:** Absortância solar das amostras de cor amarela, com diferentes tonalidades.

N°	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{TOT}$ (%)
19	Amarelo Terra		70,7	44	Marfim		34,6
2	Amarelo Terra		65,1	57	Palha		34,2
35	Amarelo Terra		61,3	54	Marfim		32,4
1	Amarelo Antigo		56,1	46	Pérola		32,0
55	Marrocos		55,5	72	Palha		31,8
18	Amarelo Antigo		55,2	34	Amarelo Canário		31,1
27	Palha		51,3	76	Vanila		31,1
28	Pérola		45,9	45	Palha		31,0
56	Mel		45,9	58	Pérola		28,8
13	Palha		45,6	71	Marfim		28,4
26	Marfim		43,4	73	Pérola		28,3
12	Marfim		43,0	61	Vanila		28,1
14	Pérola		41,6	62	Amarelo Canário		26,7

Os resultados de absortâncias e refletâncias encontrados para as 78 amostras comprovam a importância da correta quantificação desses dados, pois uma mesma cor pode apresentar grandes variações de sua absortância. Assim, quantificar a absortância (ou refletância) de uma superfície opaca apenas por sua cor pode levar a resultados equivocados.

### 6.1.2 AJUSTE DAS ABSORTÂNCIAS AO ESPECTRO SOLAR PADRÃO

Na tabela 6.36 são apresentadas as absortâncias das amostras ajustadas ao espectro solar padrão, conforme método apresentado no item 5.2.1.3.

Observa-se que a maioria das amostras teve uma redução de suas absortâncias, o que comprova que as superfícies se comportam de maneira distinta frente à radiação solar. Esta redução deve-se, principalmente, à baixa quantidade de radiação ultravioleta que chega à superfície terrestre. As amostras com tonalidade escura (grifadas em **vermelho**) foram as que apresentaram, em geral, aumento nas suas absortâncias quando ajustadas ao espectro solar padrão. Este comportamento é resultado da maior absortância dessas cores na região visível do espectro solar, que é a região com maior concentração de energia proveniente do Sol. Conseqüentemente, a proporção de energia solar absorvida por essas amostras será maior, conforme se pode observar nos gráficos a seguir (Figuras 6.31 a 6.39).

**TABELA 6.36:** Absortâncias medidas em espectrofotômetro e ajustadas ao espectro solar padrão (%), para as regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e total.

continua

N°	Nome Comercial	ULTRAVIOLETA		VISÍVEL		INFRAVERMELHO		TOTAL	
		Espect.	Ajust	Espect.	Ajust	Espect.	Ajust	Espect.	Ajust
Metalatex Acrílica Fosca	1 Amarelo Antigo	96,0	95,6	54,7	53,5	54,6	46,8	56,1	51,4
	2 Amarelo Terra	96,7	96,5	69,6	68,9	62,6	57,2	65,1	64,3
	3 Areia	95,4	94,8	45,8	44,5	51,7	42,8	52,2	44,9
	4 Azul	95,1	94,7	86,8	<b>87,0</b>	60,9	56,4	66,8	<b>73,3</b>
	5 Azul Imperial	94,4	93,8	63,4	62,7	75,8	70,4	74,2	66,9
	6 Branco	94,9	94,4	14,0	11,6	28,4	16,7	28,2	15,8
	7 Branco Gelo	95,0	94,5	36,5	34,8	46,4	37,2	46,4	37,2
	8 Camurça	95,0	94,5	60,1	59,3	60,6	53,3	61,8	57,4
	9 Concreto	95,4	95,0	74,1	73,4	79,5	74,8	79,1	74,5
	10 Flamingo	96,1	95,7	55,0	54,3	50,5	41,5	53,0	49,5
	11 Jade	94,5	94,0	50,7	49,5	61,0	53,5	60,3	52,3
	12 Marfim	94,5	93,9	34,6	32,8	42,5	31,5	43,0	33,6
	13 Palha	94,8	94,2	36,7	35,0	45,4	35,8	45,6	36,7
	14 Pérola	95,1	94,5	34,0	32,3	40,9	30,8	41,6	33,0
	15 Pêssego	95,2	94,6	43,7	42,5	50,0	40,6	50,5	42,8
	16 Tabaco	95,0	94,7	79,4	79,1	77,6	76,2	78,6	78,1
	17 Terracota	96,1	95,7	70,1	69,9	62,3	56,9	65,0	64,6
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18 Amarelo Antigo	95,3	95,1	53,6	52,4	53,7	44,2	55,2	49,7
	19 Amarelo Terra	95,7	95,6	71,7	71,0	69,3	64,5	70,7	68,6
	20 Azul	95,4	95,0	87,4	<b>87,6</b>	73,8	70,1	77,1	<b>79,9</b>
	21 Branco Gelo	94,3	93,7	33,0	31,2	50,4	39,1	48,9	36,2
	22 Cinza	95,0	94,6	84,8	84,5	90,6	88,2	89,7	86,4
	23 Cinza BR	94,4	93,9	56,2	55,2	73,7	66,3	71,2	61,1
	24 Crepúsculo	94,2	93,6	67,1	66,7	70,8	63,7	71,0	66,0
	25 Flamingo	94,9	94,5	52,6	51,9	50,7	39,5	52,7	47,3
	26 Marfim	94,3	93,9	35,0	33,1	43,0	31,8	43,4	33,9
	27 Palha	94,1	93,4	37,4	35,8	52,6	41,3	51,3	39,6
	28 Pérola	94,3	93,7	33,5	31,8	46,6	33,4	45,9	33,9
	29 Preto	96,0	96,1	96,7	96,7	98,0	97,6	97,7	97,1
	30 Telha	95,3	95,2	78,3	<b>78,5</b>	58,6	57,9	63,5	<b>69,6</b>
	31 Terracota	95,8	95,6	72,8	72,6	66,9	62,2	69,1	68,4
	32 Verde Quadra	94,1	94,0	88,6	88,4	58,5	59,7	65,2	<b>75,5</b>
	33 Vermelho	93,3	93,1	71,1	71,1	59,1	54,7	62,6	<b>64,2</b>
Novacor Látex PVA Fosca	34 Amarelo Canário	94,2	93,7	36,1	34,3	26,9	20,2	31,1	29,3
	35 Amarelo Terra	95,8	95,7	66,6	65,7	58,4	54,7	61,3	<b>61,4</b>
	36 Areia	94,1	93,4	42,9	41,5	38,1	33,4	41,1	39,0
	37 Azul angra	93,0	92,4	34,9	33,6	32,5	27,8	35,2	32,3
	38 Bianco Sereno	92,4	91,8	27,8	26,0	29,3	24,1	31,3	26,6
	39 Branco	92,8	92,0	10,9	8,7	17,1	9,9	18,7	11,1
	40 Branco Gelo	92,9	92,3	33,9	32,4	38,9	33,1	39,9	34,0
	41 Erva doce	92,6	92,0	25,5	23,6	23,5	16,3	26,4	21,9

									Conclusão
N°	Nome Comercial	ULTRAVIOLETA		VISÍVEL		INFRAVERMELHO		TOTAL	
		Espect.	Ajust	Espect.	Ajust	Espect.	Ajust	Espect.	Ajust
Novacor Látex PVA Fosca	42 Flamingo	94,9	94,6	53,5	52,8	45,8	37,4	49,0	46,8
	43 Laranja	95,2	94,7	49,5	48,6	33,5	27,0	38,6	<b>39,9</b>
	44 Marfim	94,1	93,4	32,3	30,4	32,4	25,6	34,6	29,7
	45 Palha	94,1	93,6	32,7	30,9	27,7	22,5	31,0	28,5
	46 Pérola	93,6	93,0	26,9	24,9	30,3	23,2	32,0	25,7
	47 Pêssego	94,7	94,2	43,4	42,2	41,9	33,6	44,1	39,5
Suviniil Acrílica Fosca	48 Alecrim	95,5	95,2	64,2	63,3	68,1	63,3	68,4	64,0
	49 Azul bali	95,7	95,3	60,1	59,8	45,2	34,0	49,7	48,9
	50 Branco Neve	92,2	91,7	10,0	7,6	18,2	9,0	19,4	10,2
	51 Branco Gelo	91,9	91,4	28,5	26,8	37,1	30,0	37,5	29,7
	52 Camurça	94,9	94,6	57,3	56,3	59,9	53,2	60,7	55,8
	53 Concreto	94,3	94,1	71,6	70,9	75,0	70,9	75,1	71,5
	54 Marfim	92,0	91,5	29,3	27,4	30,4	22,5	32,4	26,7
	55 Marrocos	95,6	95,5	61,6	60,7	52,2	45,7	55,5	54,7
	56 Mel	95,9	95,6	47,8	46,4	43,1	33,8	45,9	41,8
	57 Palha	93,0	92,5	28,4	26,6	32,8	24,6	34,2	27,2
	58 Pérola	91,8	91,3	24,4	22,6	26,9	18,1	28,8	22,1
59 Pêssego	93,7	93,4	38,5	37,1	39,2	29,7	41,1	35,0	
60 Telha	95,9	95,8	76,8	<b>76,7</b>	67,9	62,7	70,6	<b>70,8</b>	
61 Vanila	92,5	92,1	29,1	27,3	24,9	16,7	28,1	23,9	
Suviniil Látex PVA Fosca	62 Amarelo Canário	93,3	92,8	32,4	30,5	22,2	15,6	26,7	25,2
	63 Areia	91,6	91,1	39,2	37,8	35,6	30,4	38,3	35,7
	64 Azul Profundo	96,0	95,7	83,1	<b>83,2</b>	69,5	66,7	72,9	<b>76,0</b>
	65 Branco Neve	92,7	92,3	14,0	11,8	27,2	17,5	27,2	16,2
	66 Branco Gelo	92,1	91,5	28,5	26,8	31,6	26,3	33,3	28,1
	67 Camurça	94,0	93,6	56,9	55,9	51,9	47,9	54,4	53,2
	68 Cerâmica	96,6	96,4	73,4	73,4	58,3	54,4	62,5	<b>65,3</b>
	69 Concreto	95,6	95,3	71,9	71,1	75,1	71,0	75,3	71,6
	70 Flamingo	94,2	93,8	51,6	50,8	39,0	34,6	43,3	<b>44,4</b>
	71 Marfim	93,5	92,9	28,0	26,0	25,4	19,2	28,4	24,5
	72 Palha	91,3	90,8	28,6	26,8	29,7	22,7	31,8	26,4
	73 Pérola	92,5	91,9	25,5	23,6	26,0	18,6	28,3	22,9
	74 Pêssego	92,5	92,0	35,2	33,9	28,1	22,0	31,7	29,8
	75 Preto	97,1	97,1	97,1	97,1	98,2	97,7	98,0	97,4
76 Vanila	93,0	92,5	32,6	30,8	27,8	20,9	31,1	27,7	
77 Verde Musgo	96,5	96,4	83,5	83,0	76,7	75,4	78,7	<b>79,8</b>	
78 Vermelho Cardinal	96,4	96,2	72,2	<b>72,4</b>	57,0	51,2	61,2	<b>63,3</b>	

Nas figuras 6.1 a 6.39 são apresentadas as curvas espectrais de absorvância das amostras ajustadas ao espectro solar padrão, conforme dados da ASTM (2003).

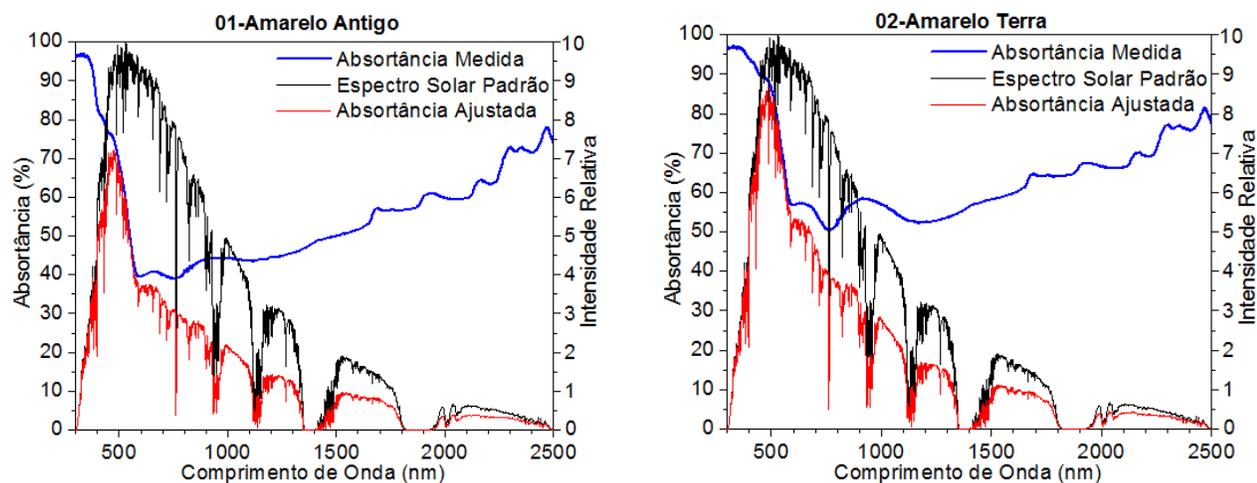


FIGURA 6.1: Curvas espectrais de absorvância das amostras 01 e 02 ajustadas ao espectro solar padrão.

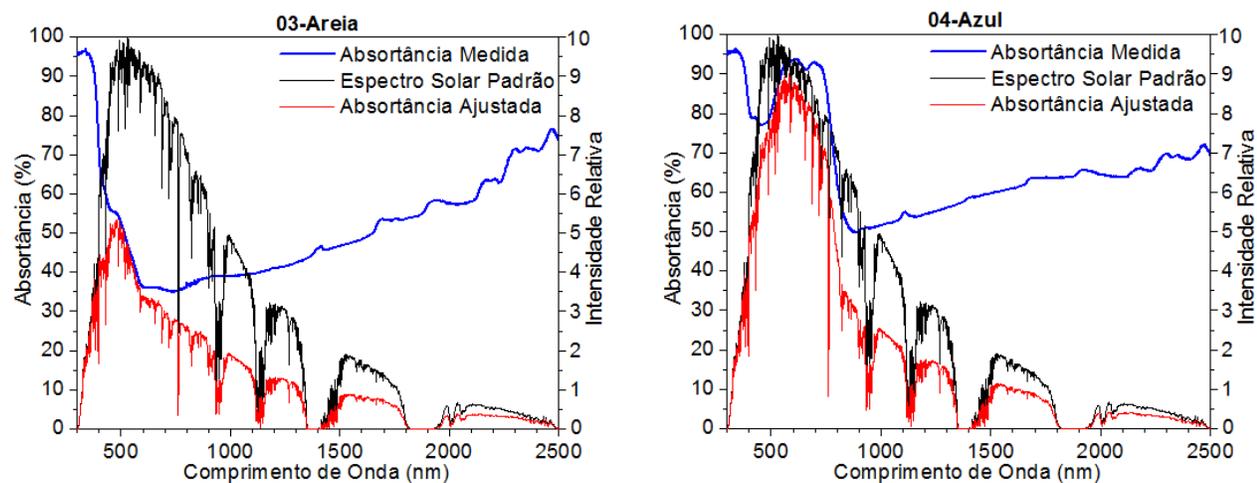


FIGURA 6.2: Curvas espectrais de absorvância das amostras 03 e 04 ajustadas ao espectro solar padrão.

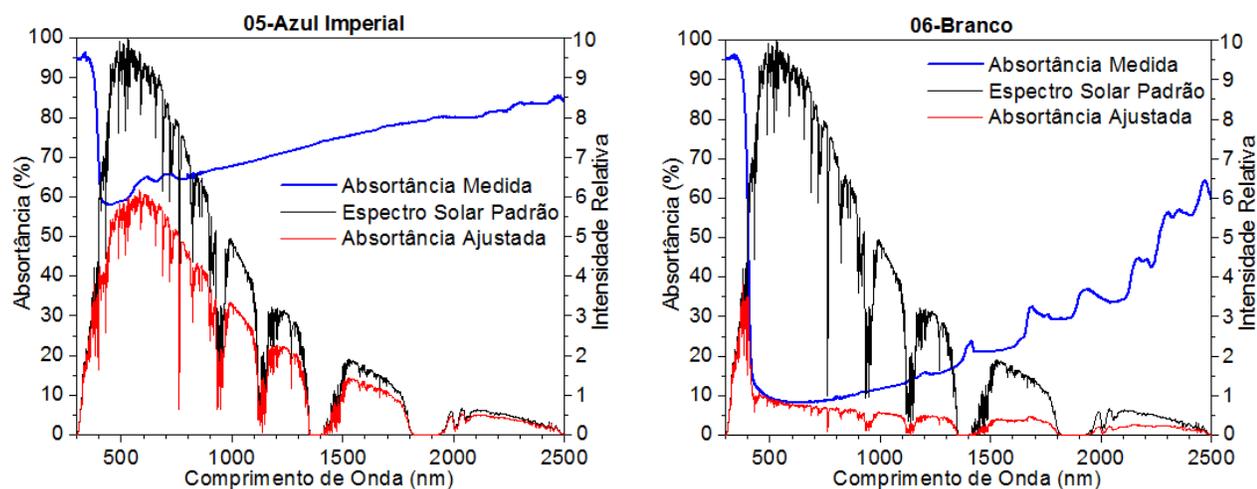


FIGURA 6.3: Curvas espectrais de absorvância das amostras 05 e 06 ajustadas ao espectro solar padrão.

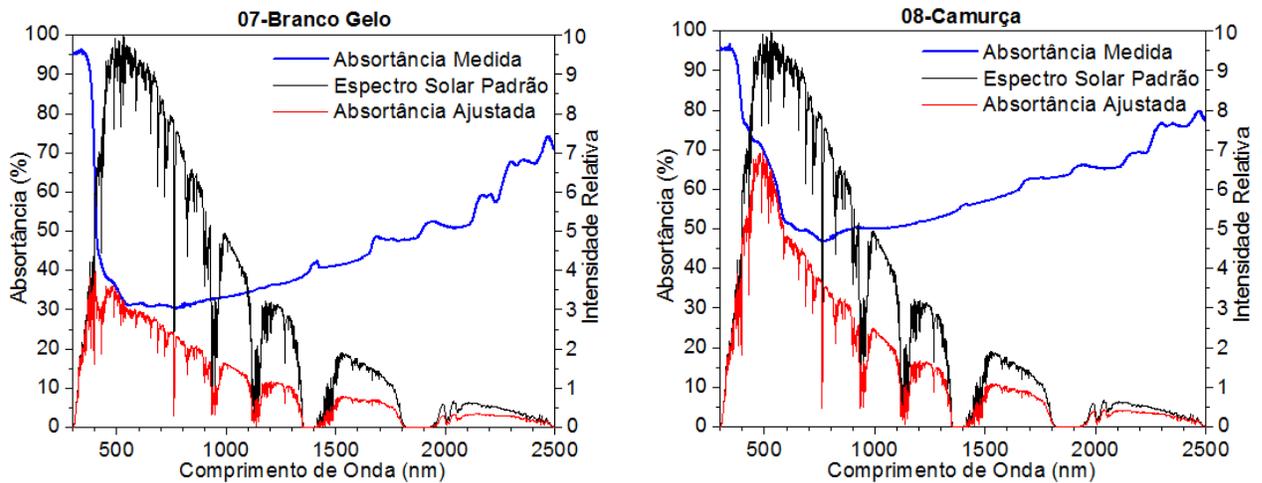


FIGURA 6.4: Curvas espectrais de absorvância das amostras 07 e 08 ajustadas ao espectro solar padrão.

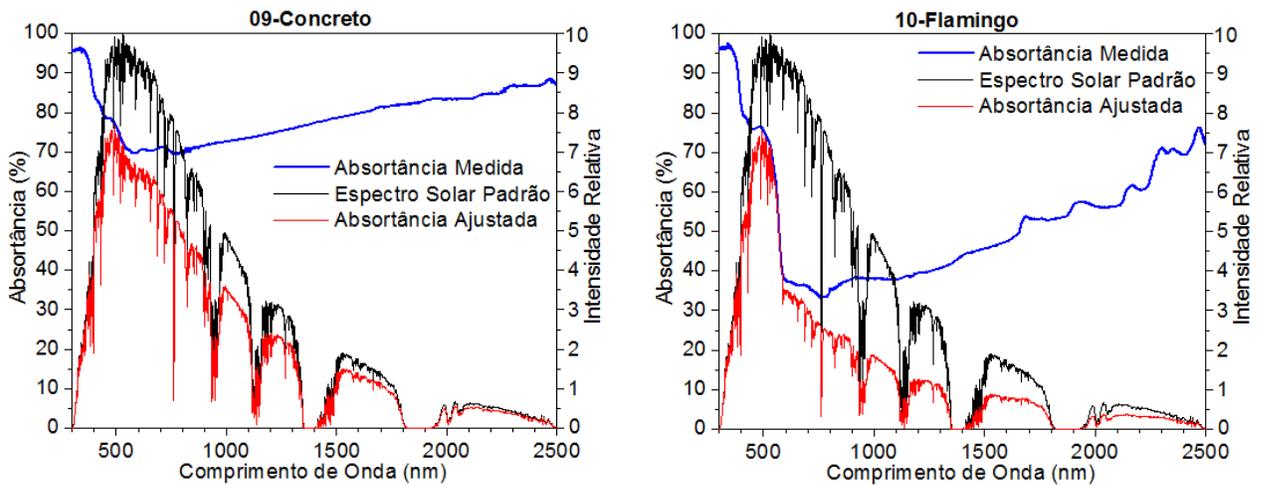


FIGURA 6.5: Curvas espectrais de absorvância das amostras 09 e 10 ajustadas ao espectro solar padrão.

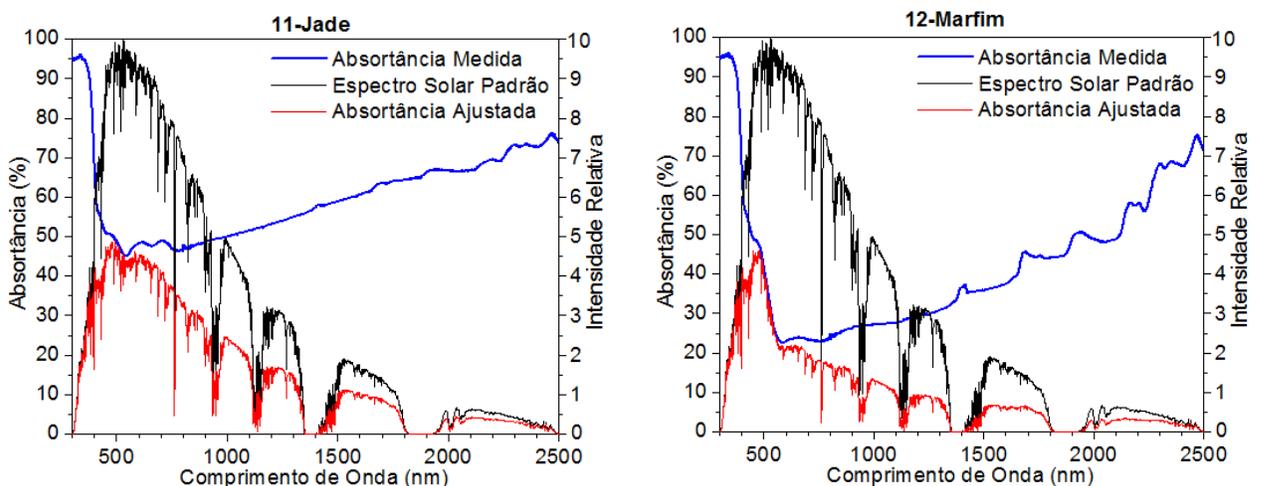


FIGURA 6.6: Curvas espectrais de absorvância das amostras 11 e 12 ajustadas ao espectro solar padrão.

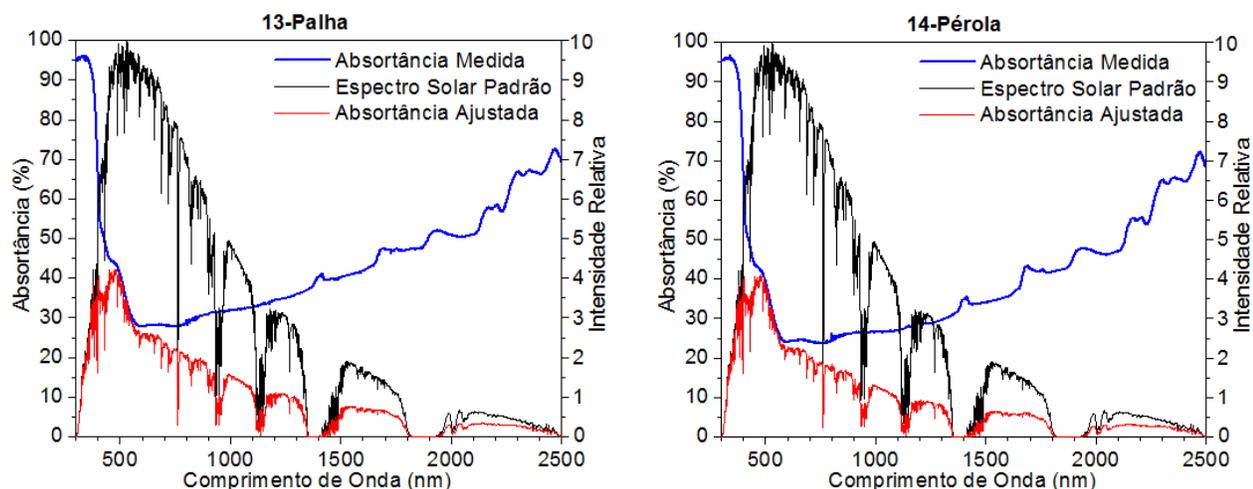


FIGURA 6.7: Curvas espectrais de absorvância das amostras 13 e 14 ajustadas ao espectro solar padrão.

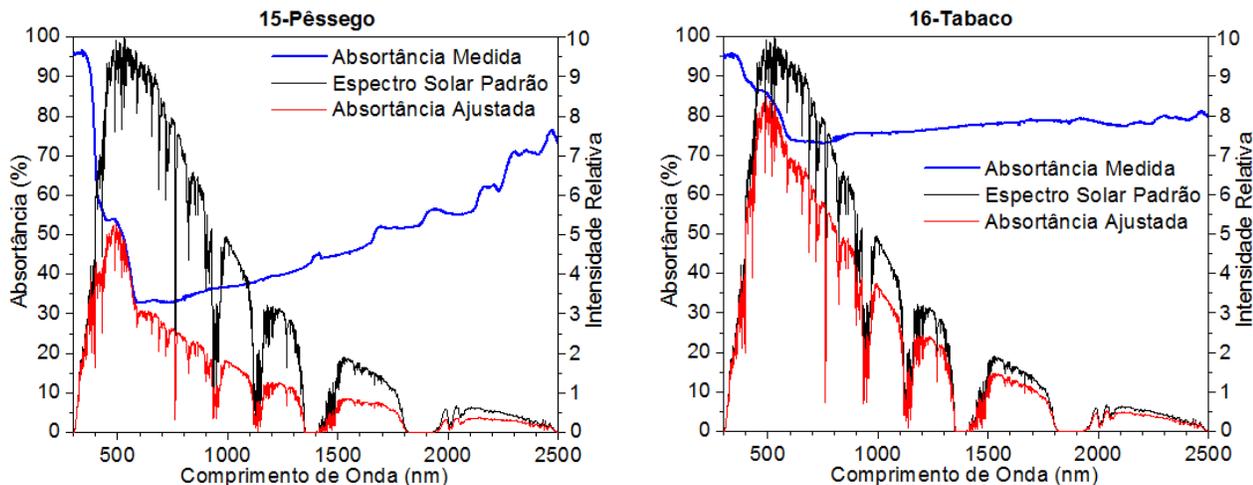


FIGURA 6.8: Curvas espectrais de absorvância das amostras 15 e 16 ajustadas ao espectro solar padrão.

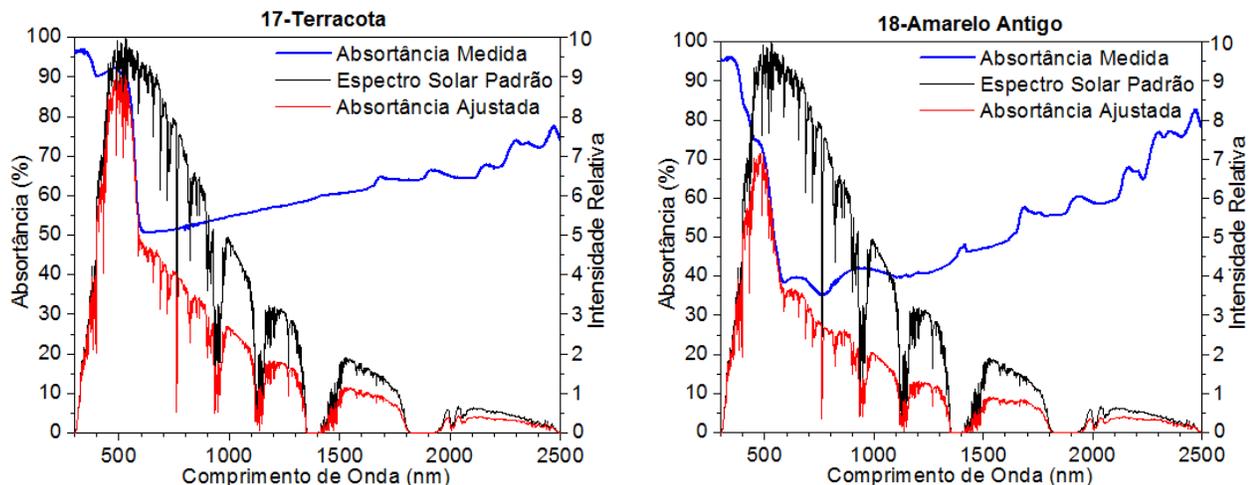
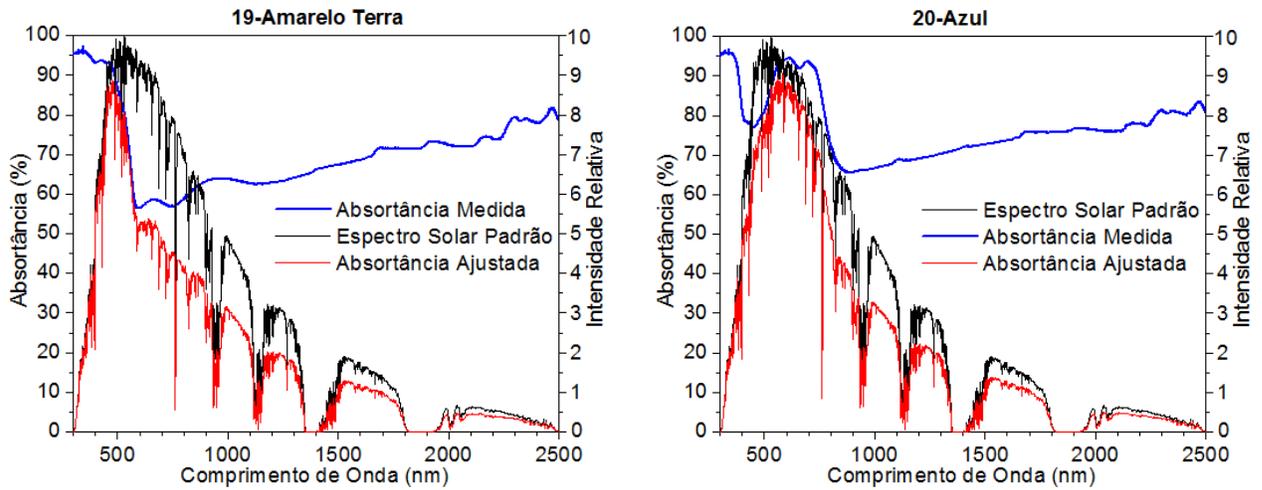
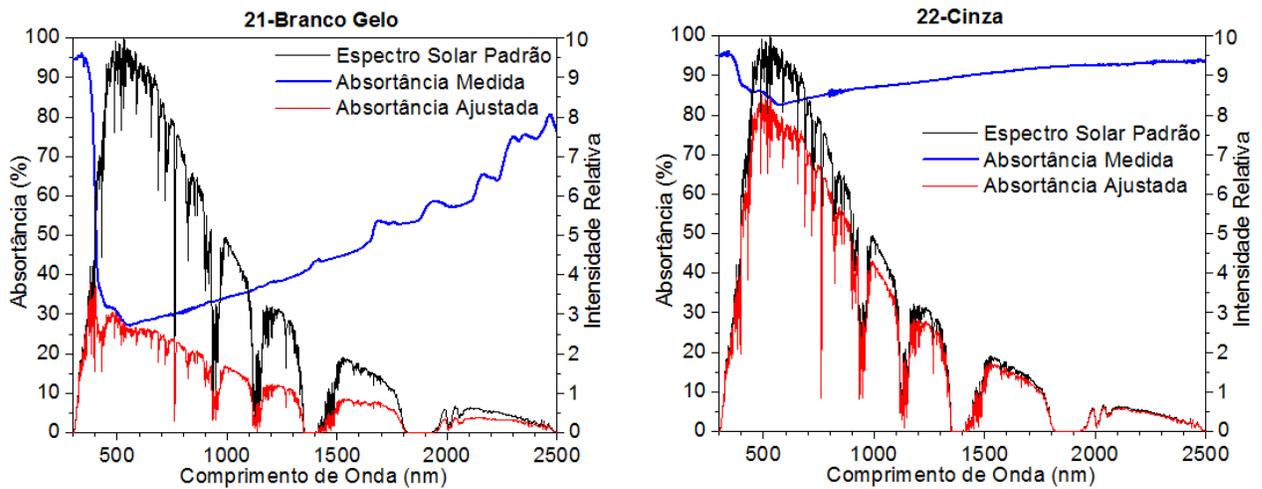


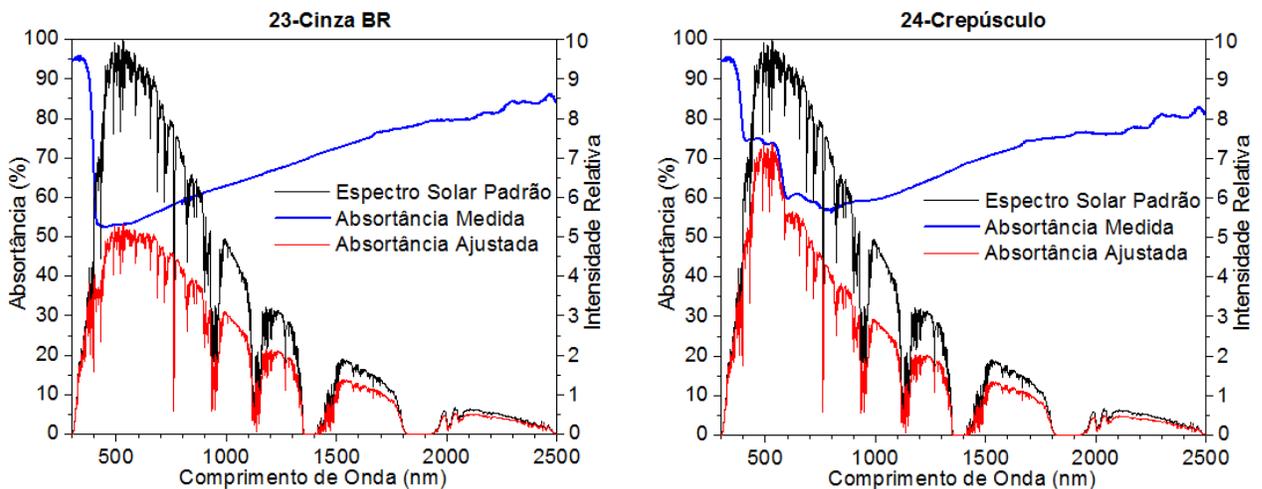
FIGURA 6.9: Curvas espectrais de absorvância das amostras 17 e 18 ajustadas ao espectro solar padrão.



**FIGURA 6.10:** Curvas espectrais de absorvância, amostras 19 e 20, ajustadas ao espectro solar padrão.



**FIGURA 6.11:** Curvas espectrais de absorvância, amostras 21 e 22, ajustadas ao espectro solar padrão.



**FIGURA 6.12:** Curvas espectrais de absorvância, amostras 23 e 24, ajustadas ao espectro solar padrão.

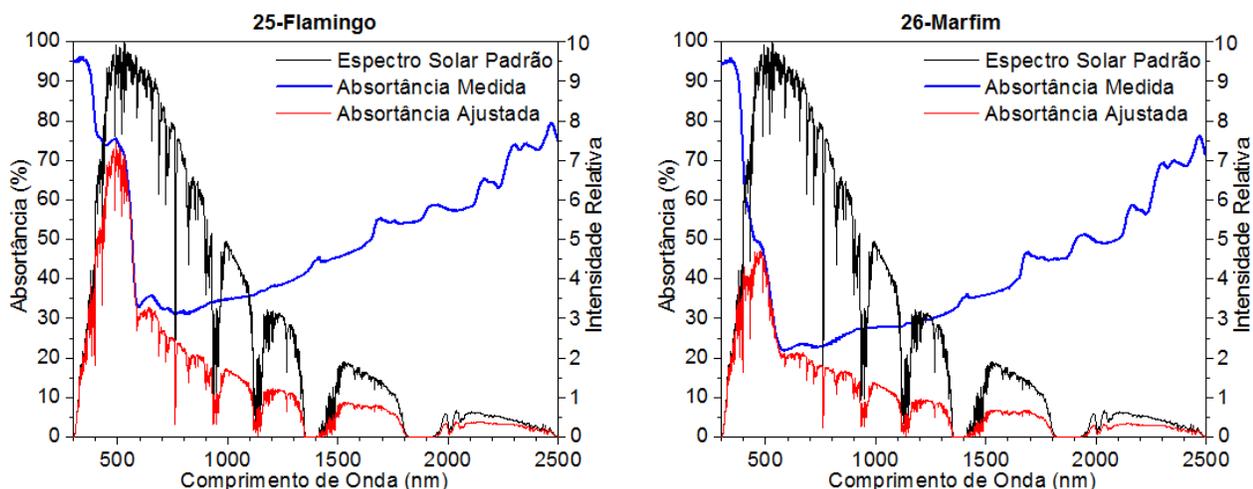


FIGURA 6.13: Curvas espectrais de absorvância, amostras 25 e 26, ajustadas ao espectro solar padrão.

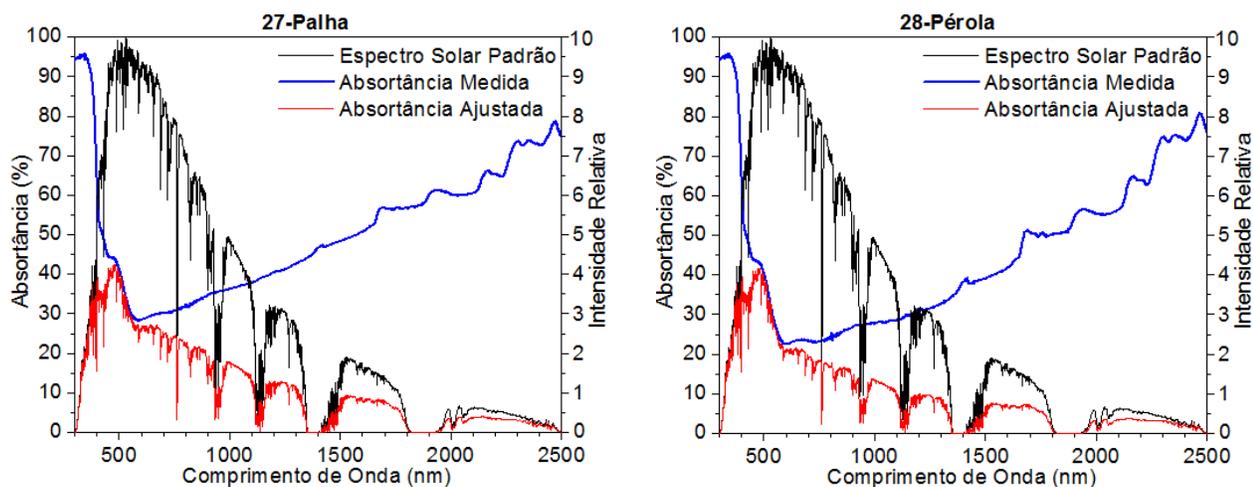


FIGURA 6.14: Curvas espectrais de absorvância, amostras 27 e 28, ajustadas ao espectro solar padrão.

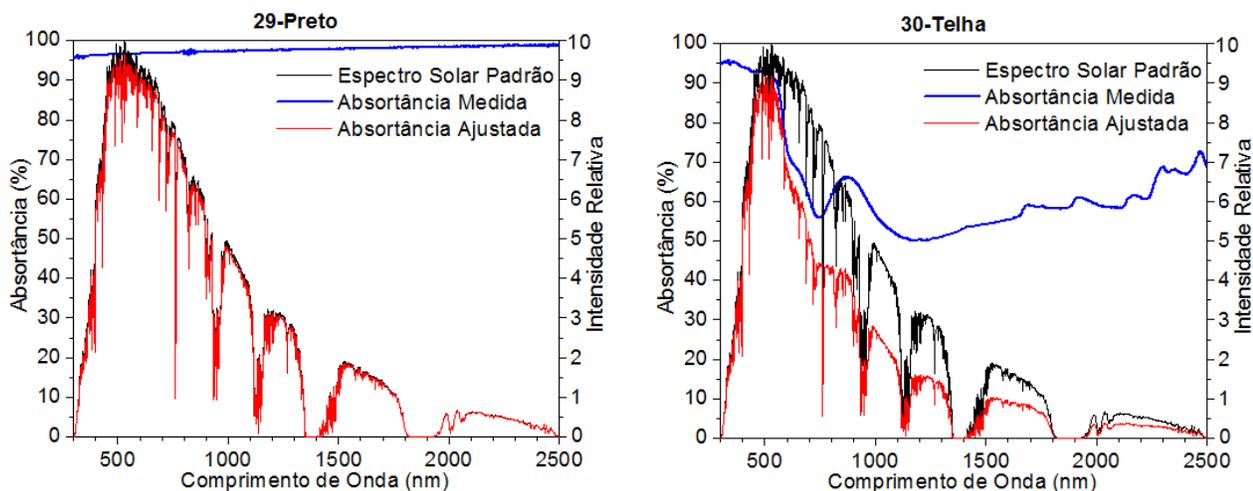


FIGURA 6.15: Curvas espectrais de absorvância, amostras 29 e 30, ajustadas ao espectro solar padrão.

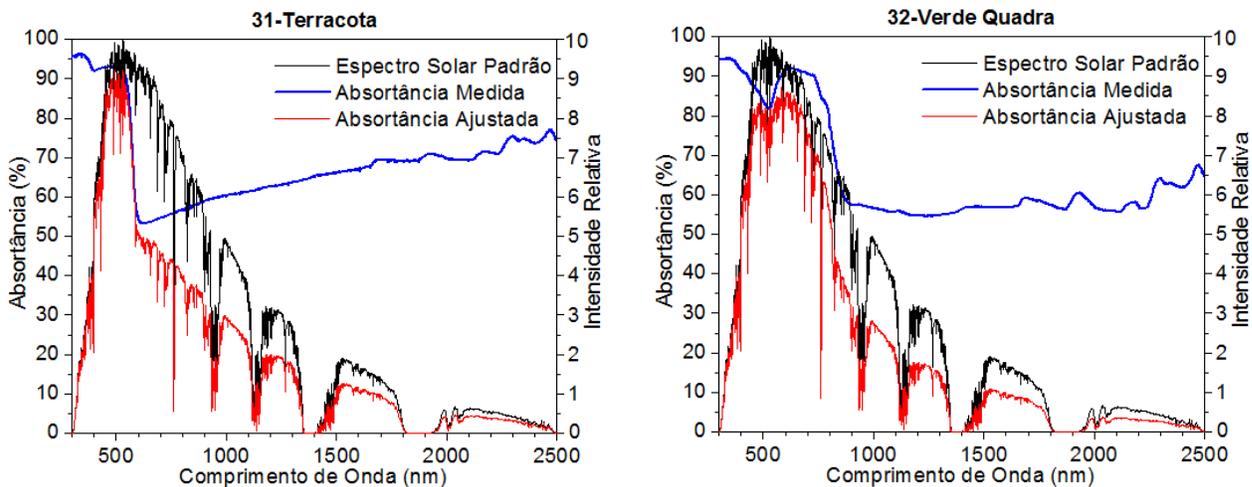


FIGURA 6.16: Curvas espectrais de absorvância, amostras 31 e 32, ajustadas ao espectro solar padrão.

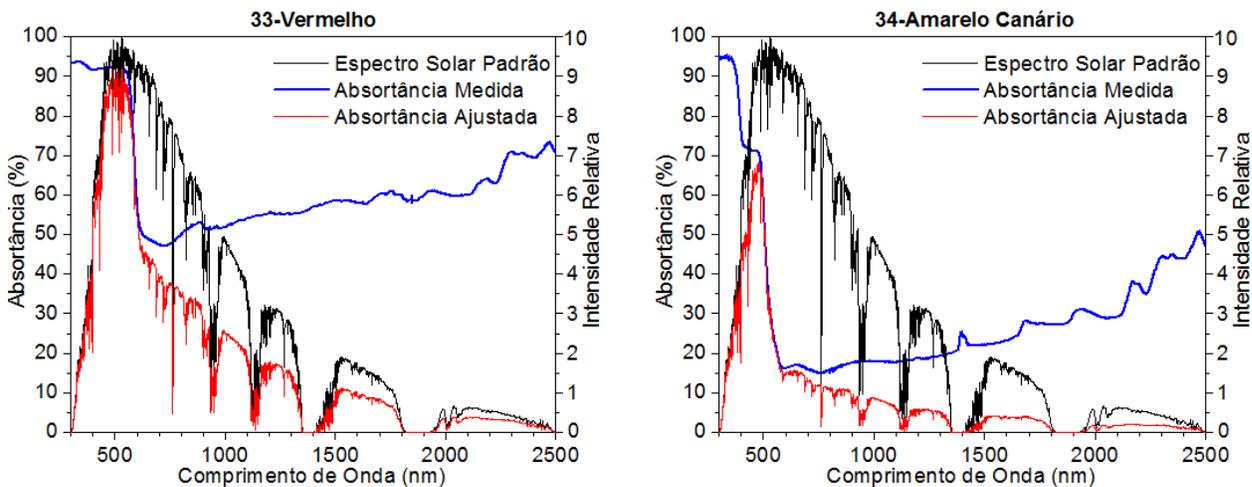


FIGURA 6.17: Curvas espectrais de absorvância, amostras 33 e 34, ajustadas ao espectro solar padrão.

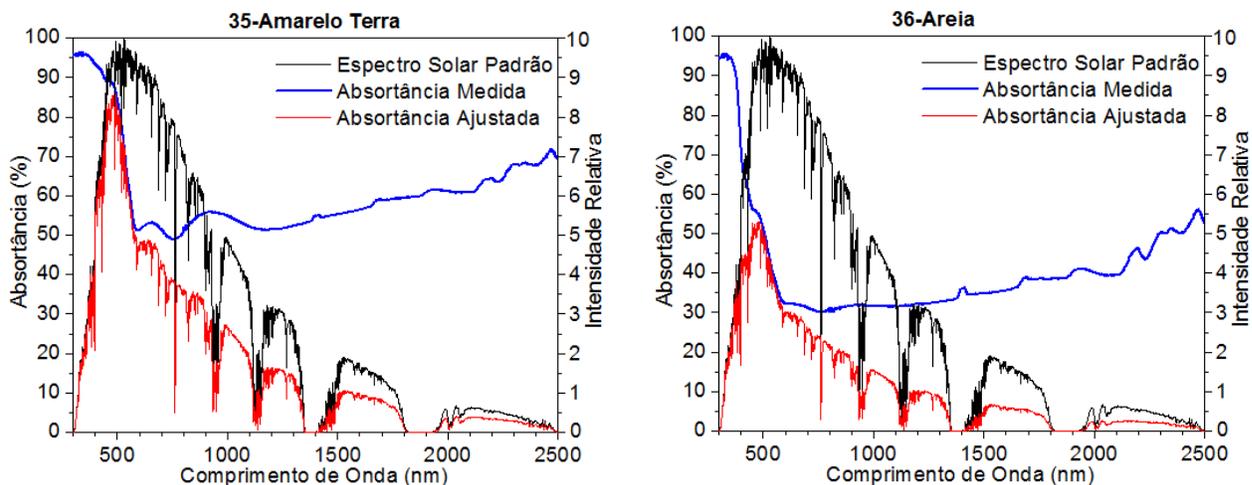


FIGURA 6.18: Curvas espectrais de absorvância, amostras 35 e 36, ajustadas ao espectro solar padrão.

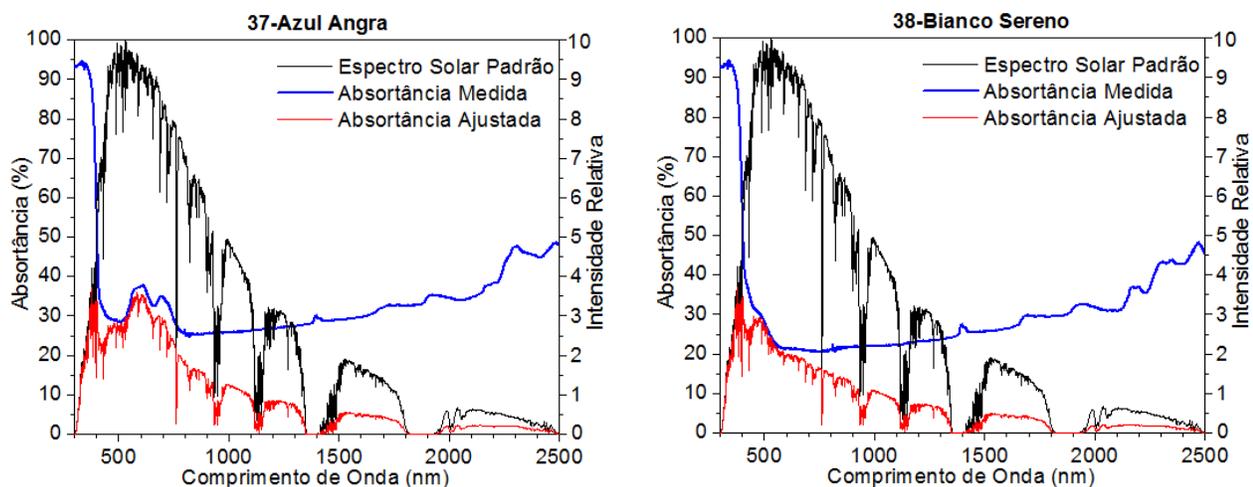


FIGURA 6.19: Curvas espectrais de absorvância, amostras 37 e 38, ajustadas ao espectro solar padrão.

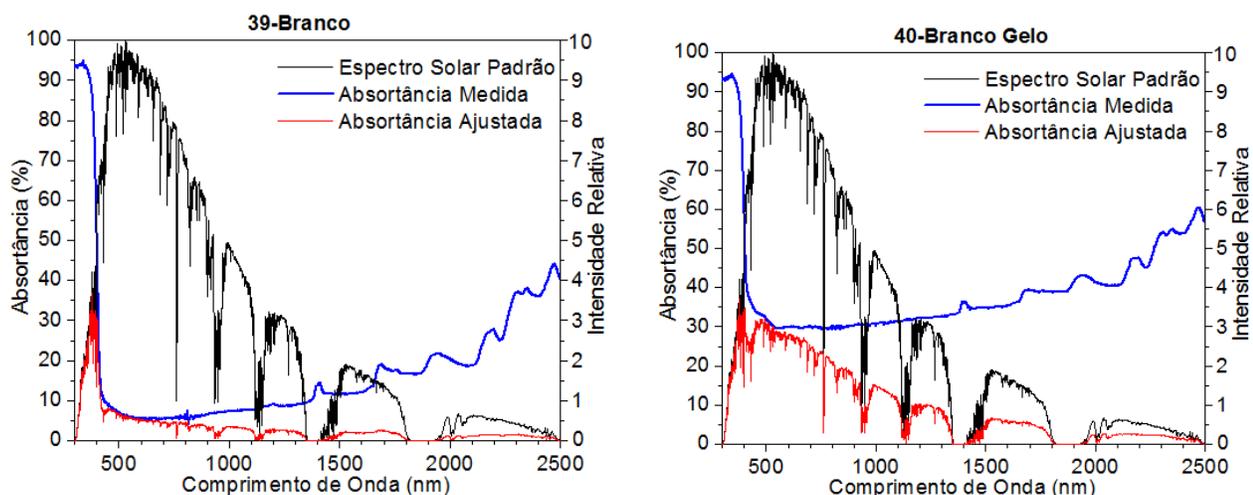


FIGURA 6.20: Curvas espectrais de absorvância, amostras 39 e 40, ajustadas ao espectro solar padrão.

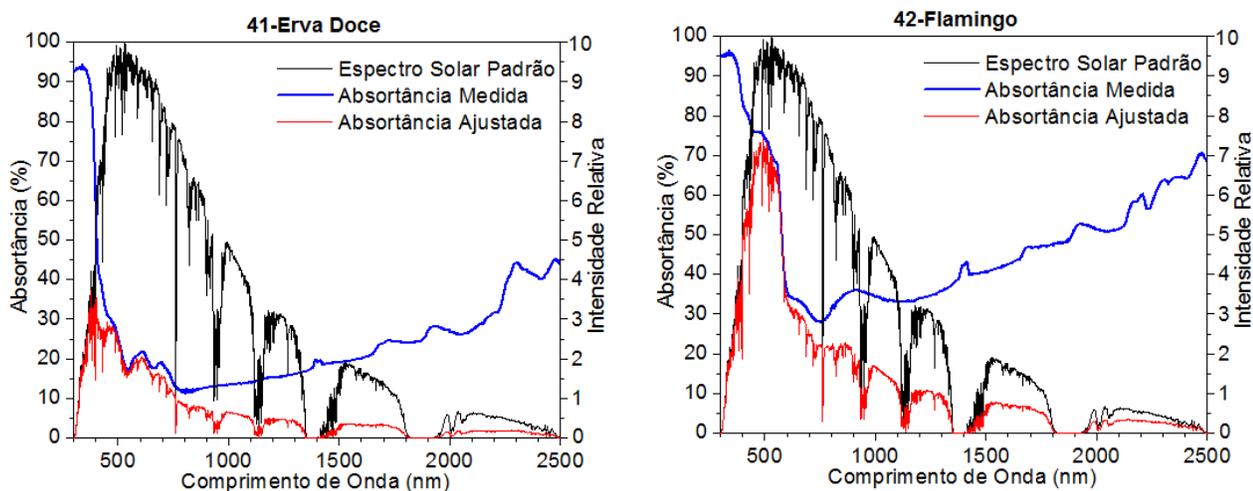


FIGURA 6.21: Curvas espectrais de absorvância, amostras 41 e 42, ajustadas ao espectro solar padrão.

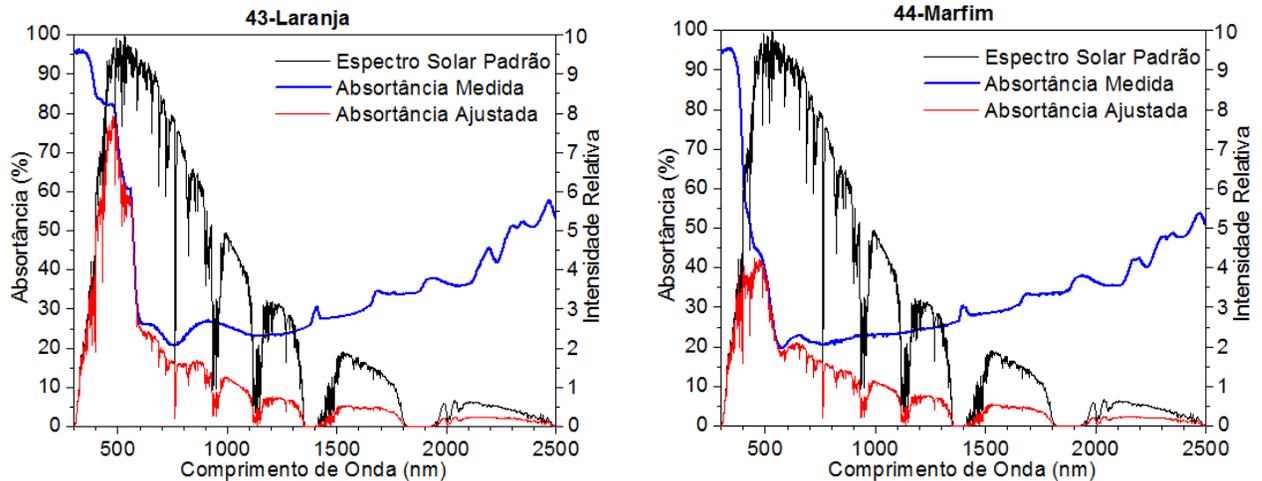


FIGURA 6.22: Curvas espectrais de absorvância, amostras 43 e 44, ajustadas ao espectro solar padrão.

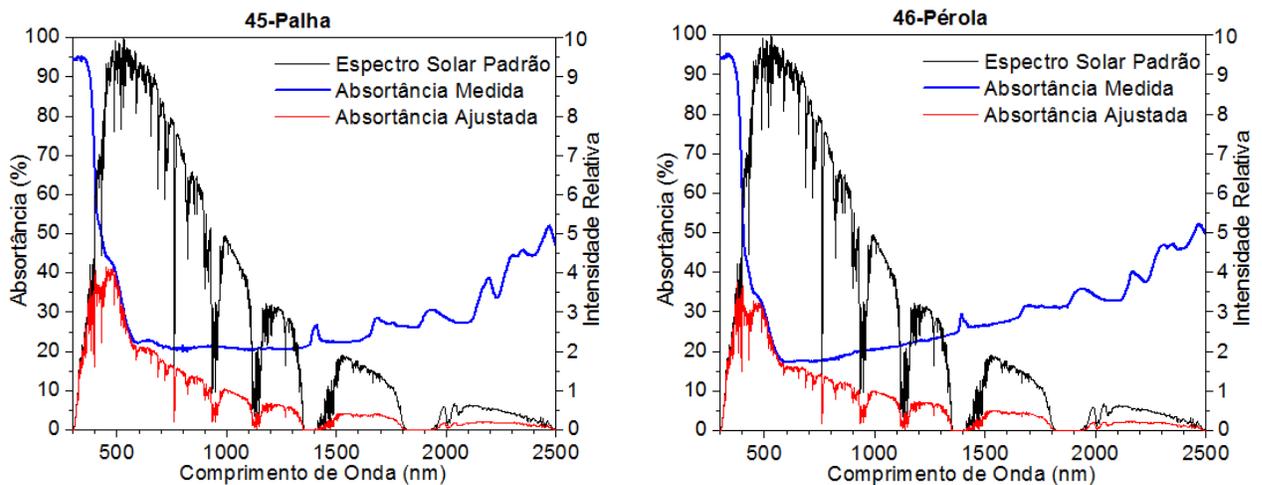


FIGURA 6.23: Curvas espectrais de absorvância, amostras 45 e 46, ajustadas ao espectro solar padrão.

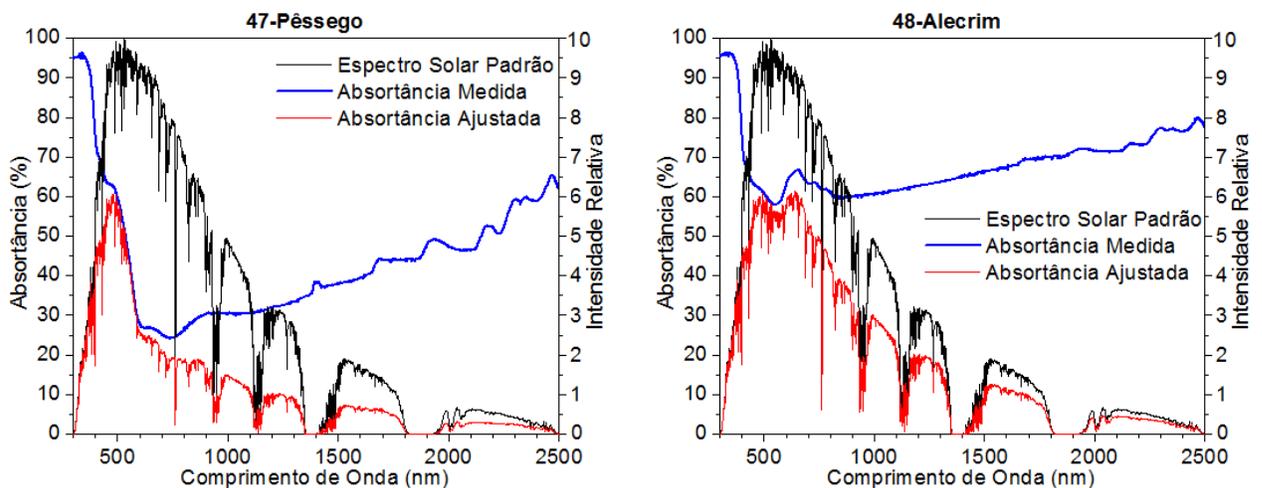


FIGURA 6.24: Curvas espectrais de absorvância, amostras 47 e 48, ajustadas ao espectro solar padrão.

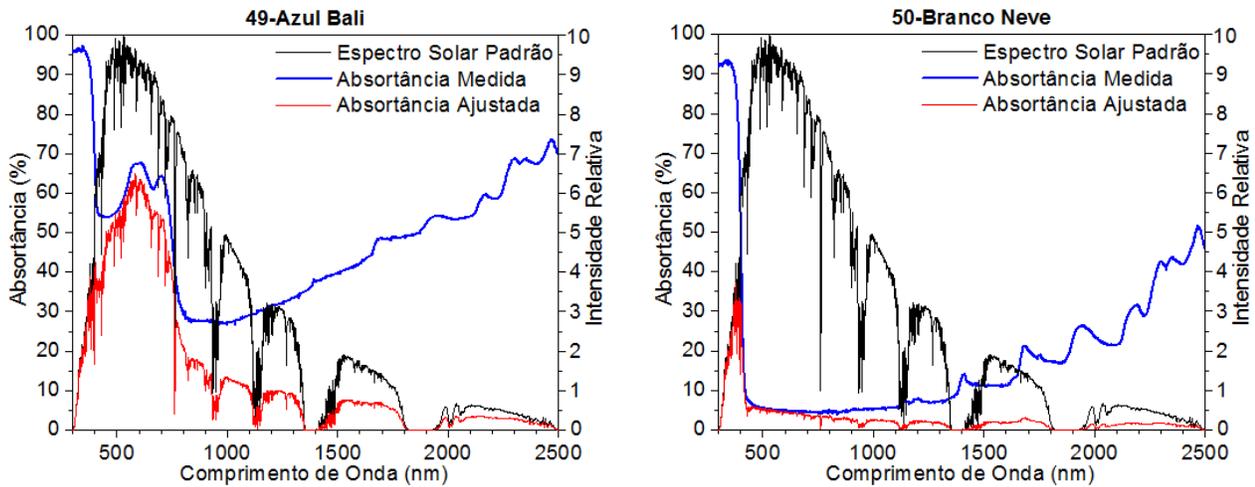


FIGURA 6.25: Curvas espectrais de absorptância, amostras 49 e 50, ajustadas ao espectro solar padrão.

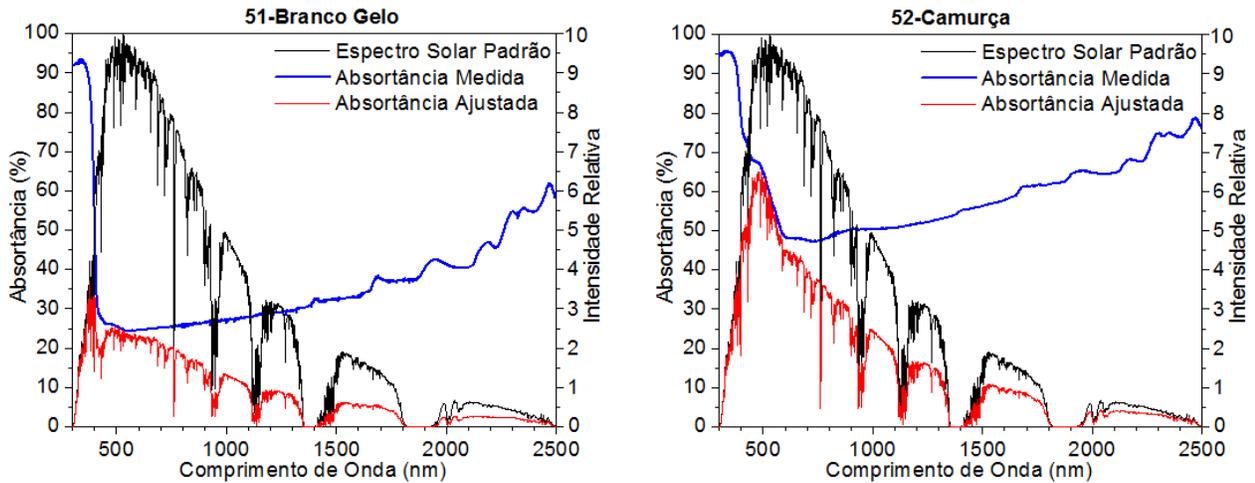


FIGURA 6.26: Curvas espectrais de absorptância, amostras 51 e 52, ajustadas ao espectro solar padrão.

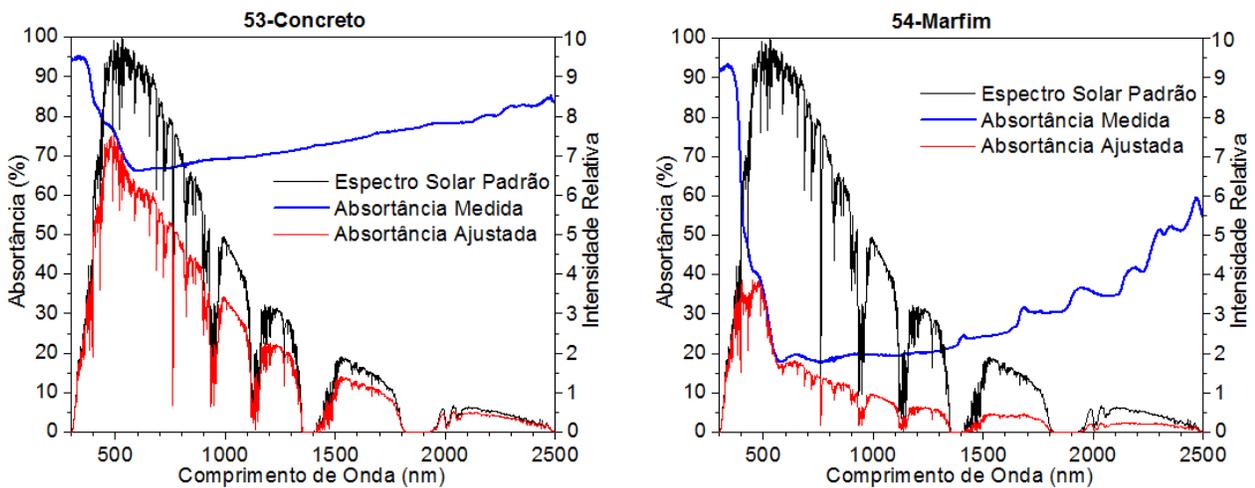
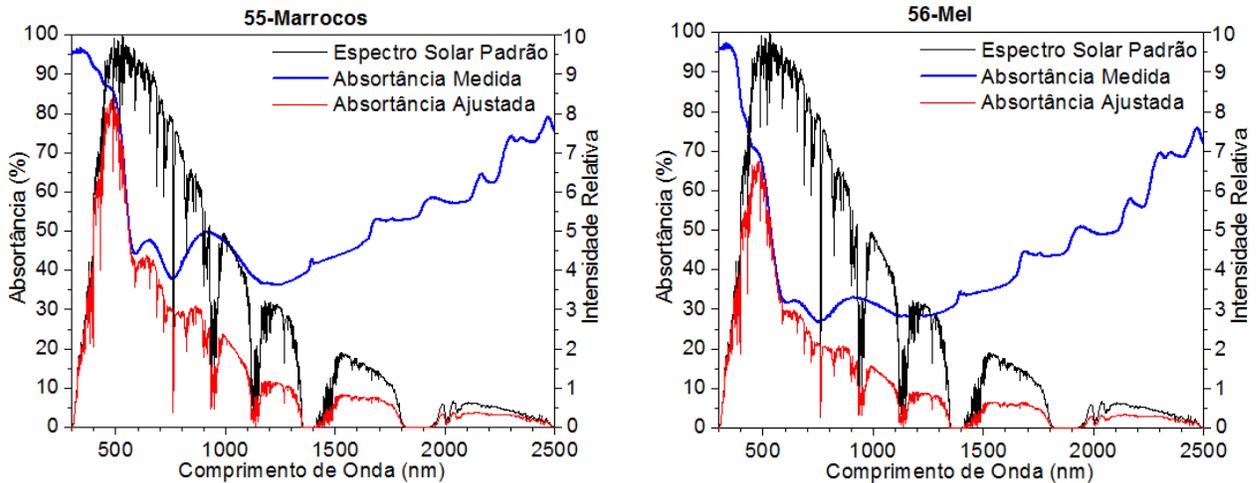
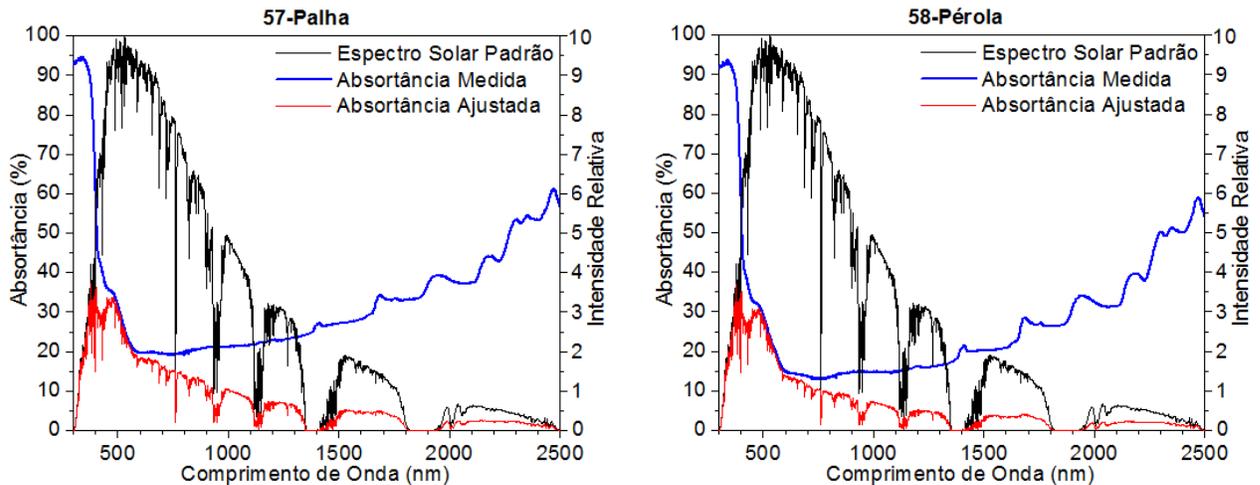


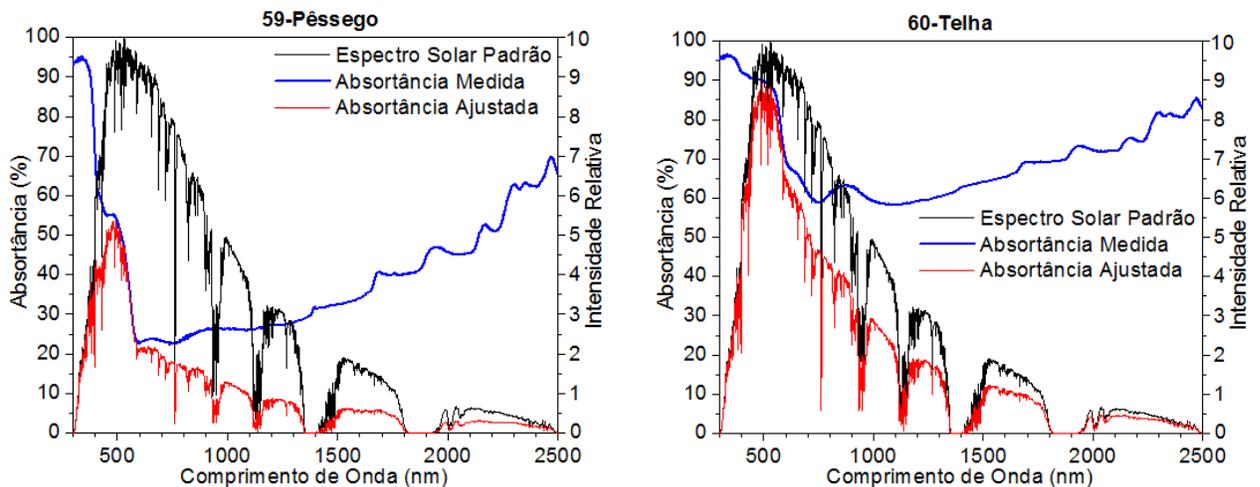
FIGURA 6.27: Curvas espectrais de absorptância, amostras 53 e 54, ajustadas ao espectro solar padrão.



**FIGURA 6.28:** Curvas espectrais de absorvância, amostras 55 e 56, ajustadas ao espectro solar padrão.



**FIGURA 6.29:** Curvas espectrais de absorvância, amostras 57 e 58, ajustadas ao espectro solar padrão.



**FIGURA 6.30:** Curvas espectrais de absorvância, amostras 59 e 60, ajustadas ao espectro solar padrão.

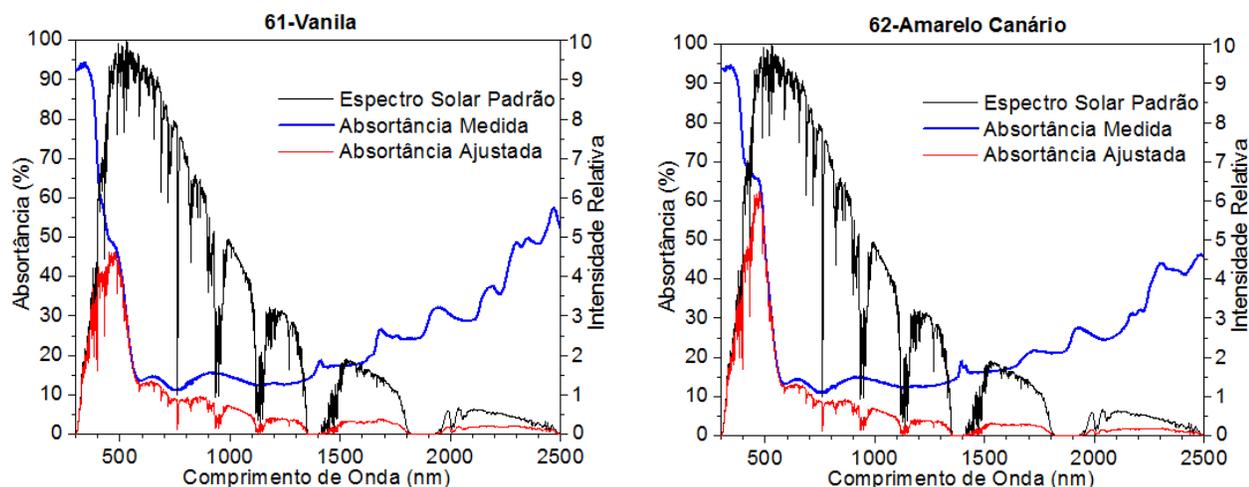


FIGURA 6.31: Curvas espectrais de absorvância, amostras 61 e 62, ajustadas ao espectro solar padrão.

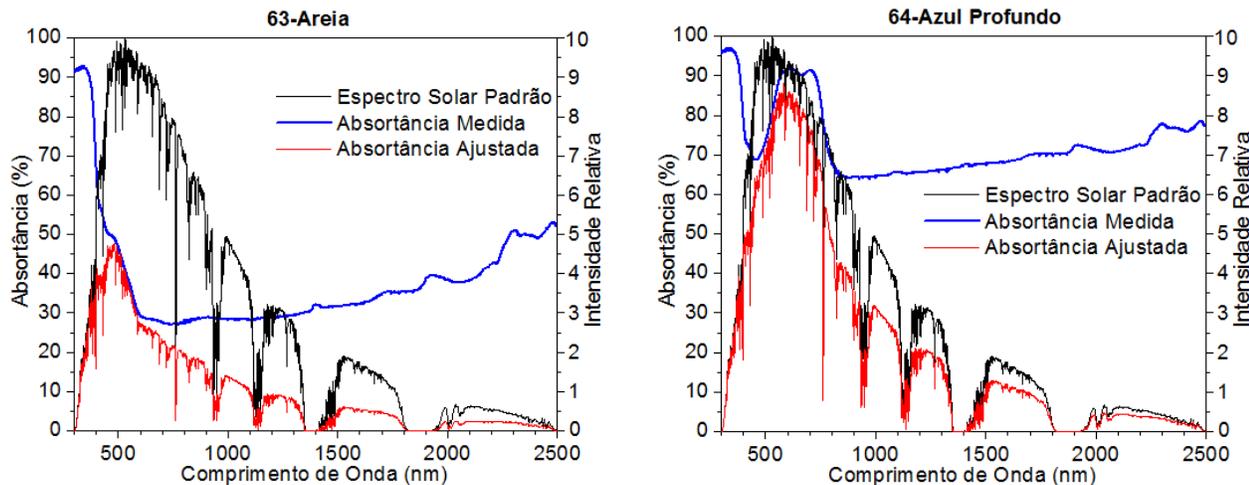


FIGURA 6.32: Curvas espectrais de absorvância, amostras 63 e 64, ajustadas ao espectro solar padrão.

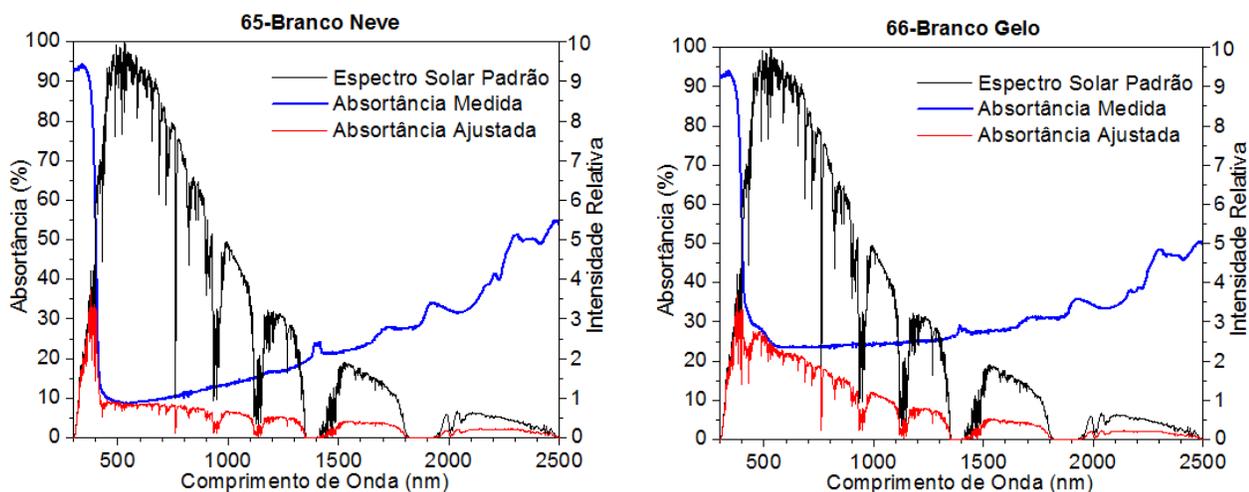


FIGURA 6.33: Curvas espectrais de absorvância, amostras 65 e 66, ajustadas ao espectro solar padrão.

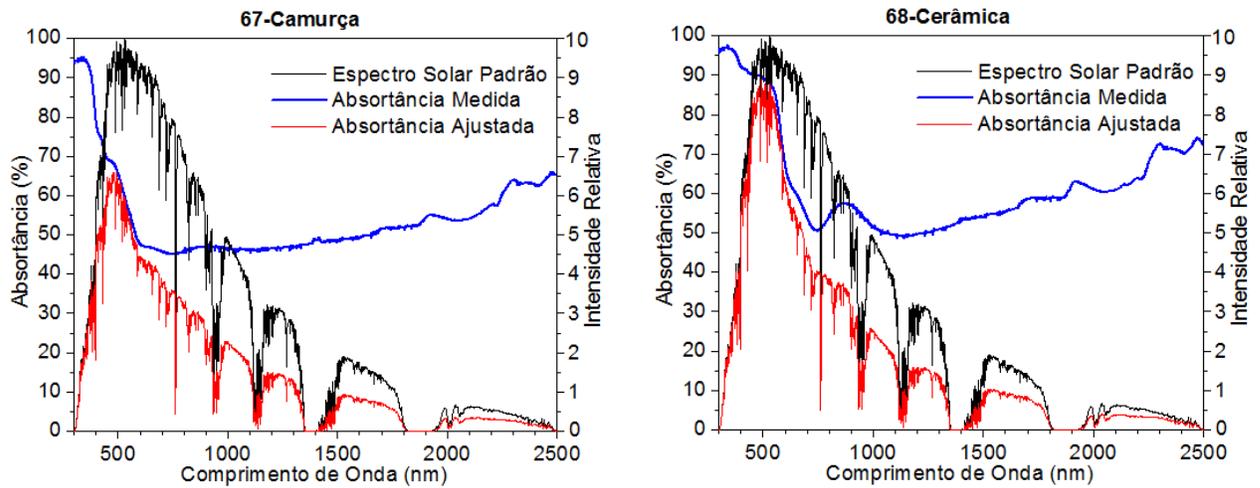


FIGURA 6.34: Curvas espectrais de absorvância, amostras 67 e 68, ajustadas ao espectro solar padrão.

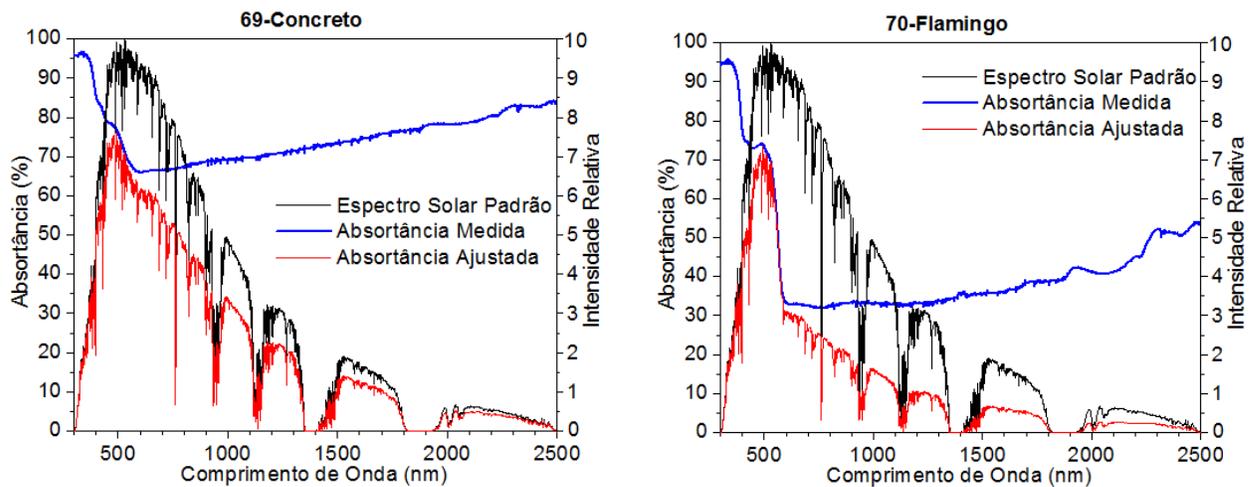


FIGURA 6.35: Curvas espectrais de absorvância, amostras 69 e 70, ajustadas ao espectro solar padrão.

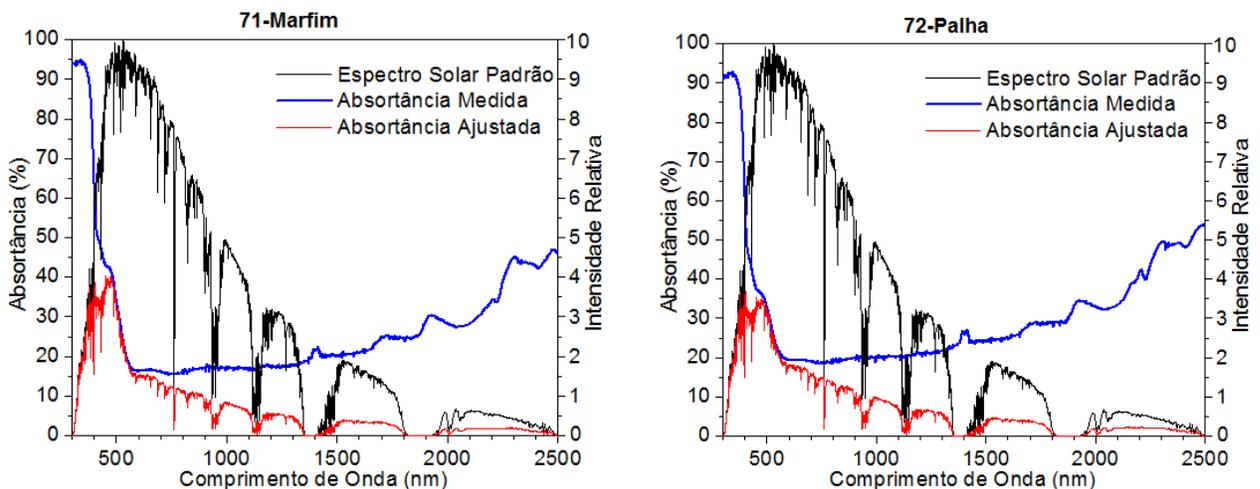


FIGURA 6.36: Curvas espectrais de absorvância, amostras 71 e 72, ajustadas ao espectro solar padrão.

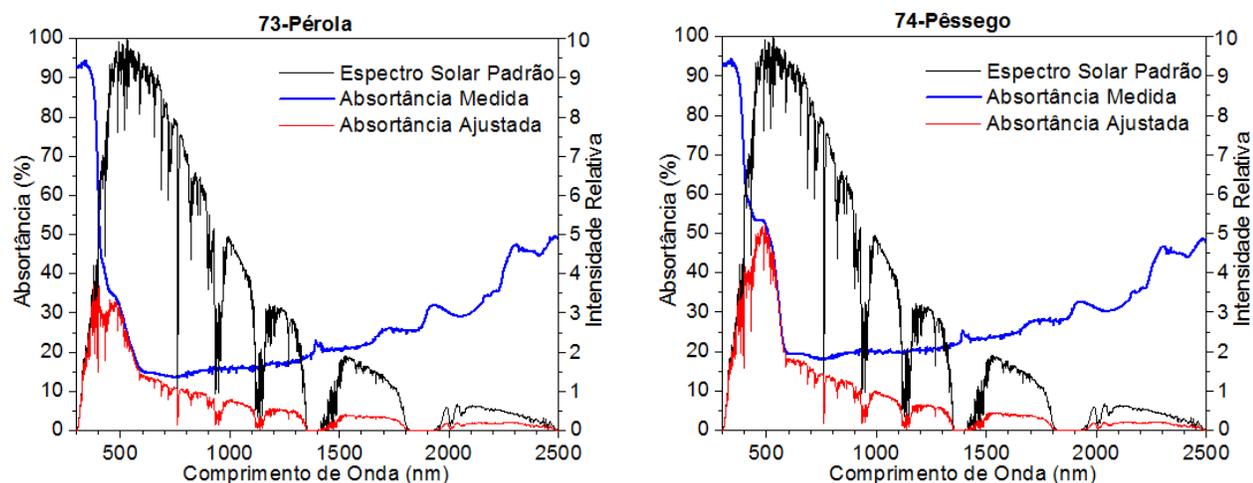


FIGURA 6.37: Curvas espectrais de absorvância, amostras 73 e 74, ajustadas ao espectro solar padrão.

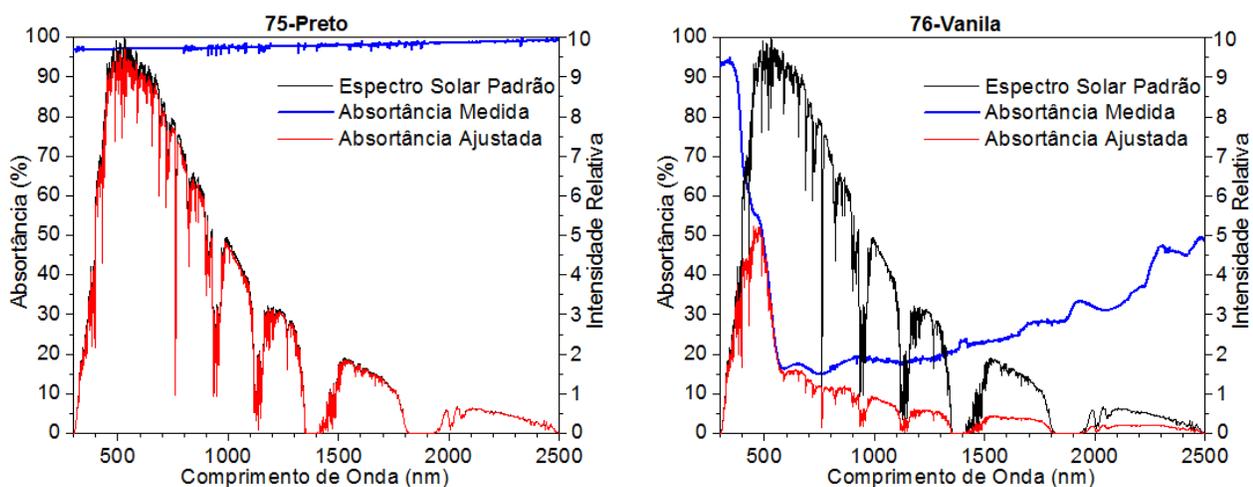


FIGURA 6.38: Curvas espectrais de absorvância, amostras 75 e 76, ajustadas ao espectro solar padrão.

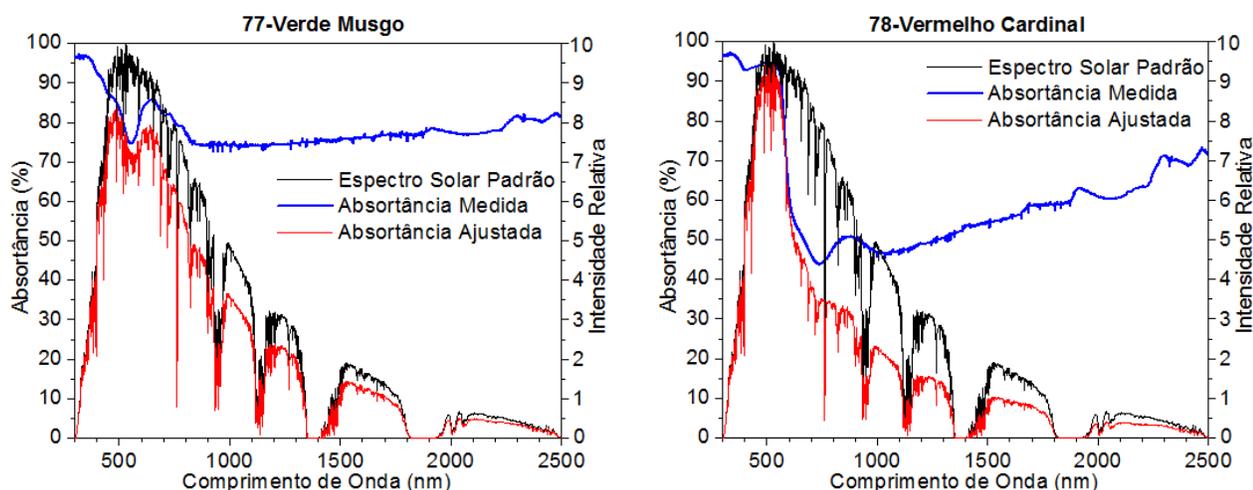


FIGURA 6.39: Curvas espectrais de absorvância, amostras 77 e 78, ajustadas ao espectro solar padrão.

### 6.1.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS AMOSTRAS

A análise por regiões do espectro normalmente não é feita na literatura técnica especializada, onde são apresentados dados referentes apenas à refletância (ou absorptância) no visível. Usualmente, a maioria dos autores considera que a refletância e a absorptância no visível se repetem para as outras regiões do espectro solar, induzindo a erros. Análises realizadas nesta pesquisa mostram que diferentes cores refletem de maneira bastante distinta para as três regiões do espectro solar. Assim, dados de refletância (ou absorptância) apenas na região do visível podem enganar, pois não representam efetivamente quanto uma superfície reflete ou absorve de calor solar, o que reforça a necessidade de se obter dados para as três regiões do espectro solar.

A partir das curvas de absorptância espectral das amostras e dos valores médios de absorptância por faixa do espectro, realizou-se diversas análises comparativas do comportamento das amostras frente à radiação solar. Estas análises permitiram comprovar que as cores não são indicadores confiáveis das propriedades físicas das superfícies. Assim, a análise foi dividida 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:

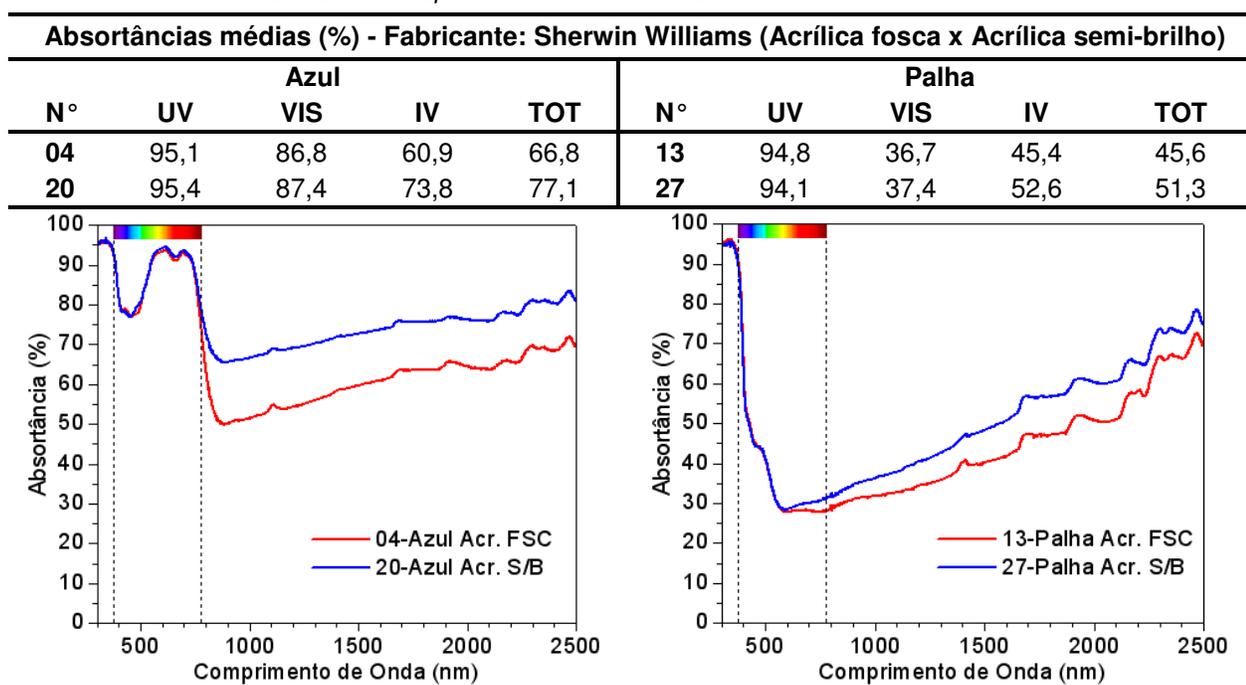
c. *Amostras com um mesmo nível em escala claro-escuro (claridade semelhante), mas absorptâncias totais diferentes;*

d. *Amostras com diferentes níveis em escala claro-escuro (claridades diferentes), mas absorptâncias totais semelhantes.*

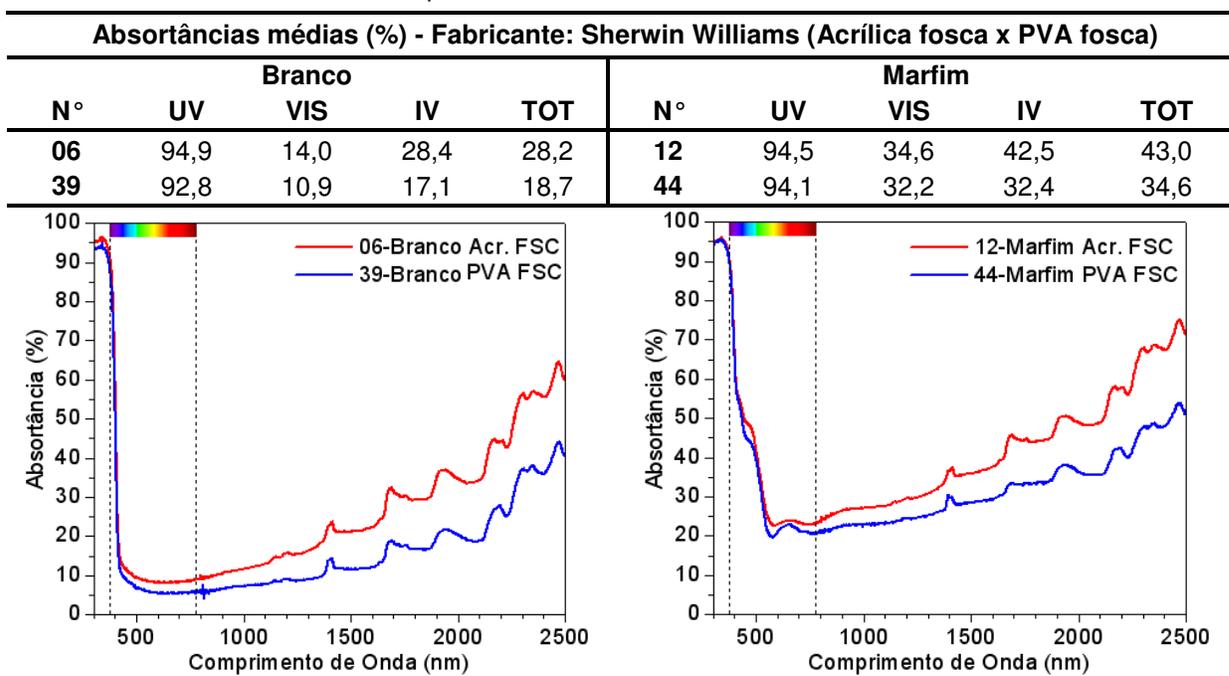
### 6.1.3.1 Para Amostras de Mesma Cor

Amostras pintadas com tinta acrílica de mesma cor e produzidas pelo mesmo fabricante, mas com acabamentos diferentes (fosca ou semi-brilho), apresentaram diferenças consideráveis em suas absorções totais, conforme apresentado na tabela 6.37. Amostras pintadas na cor Azul apresentaram diferenças em torno de 10% entre suas absorções totais, mesmo com absorções na região visível bastante próximas. A maior parte das amostras com acabamento semi-brilho apresentaram absorções totais superiores às de acabamento fosco, sendo a maior diferença na região do infravermelho (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.

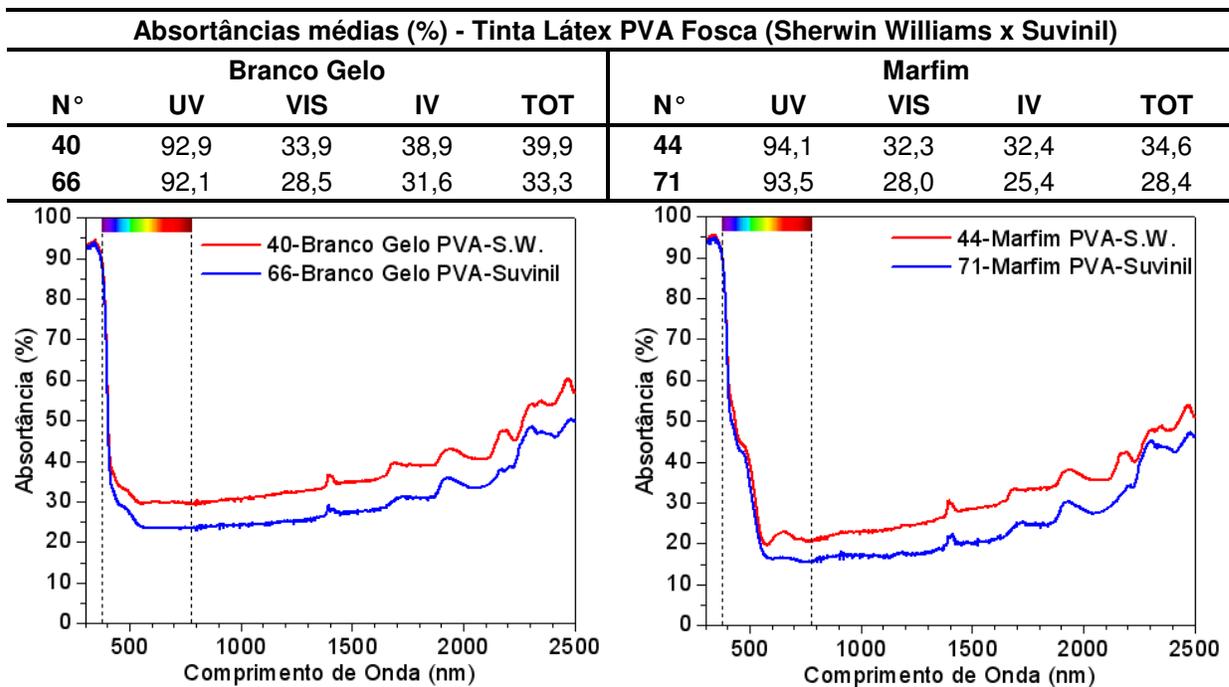
**TABELA 6.37:** Curvas espectrais e absorções médias: Acrílica fosca x semi-brilho.



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 absorções totais. As tintas do tipo PVA apresentadas na tabela 6.38 possuem absorções totais inferiores às tintas do tipo Acrílica. Amostras pintadas de Branco tiveram 9,5% de diferença em suas absorções 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 absorções totais.

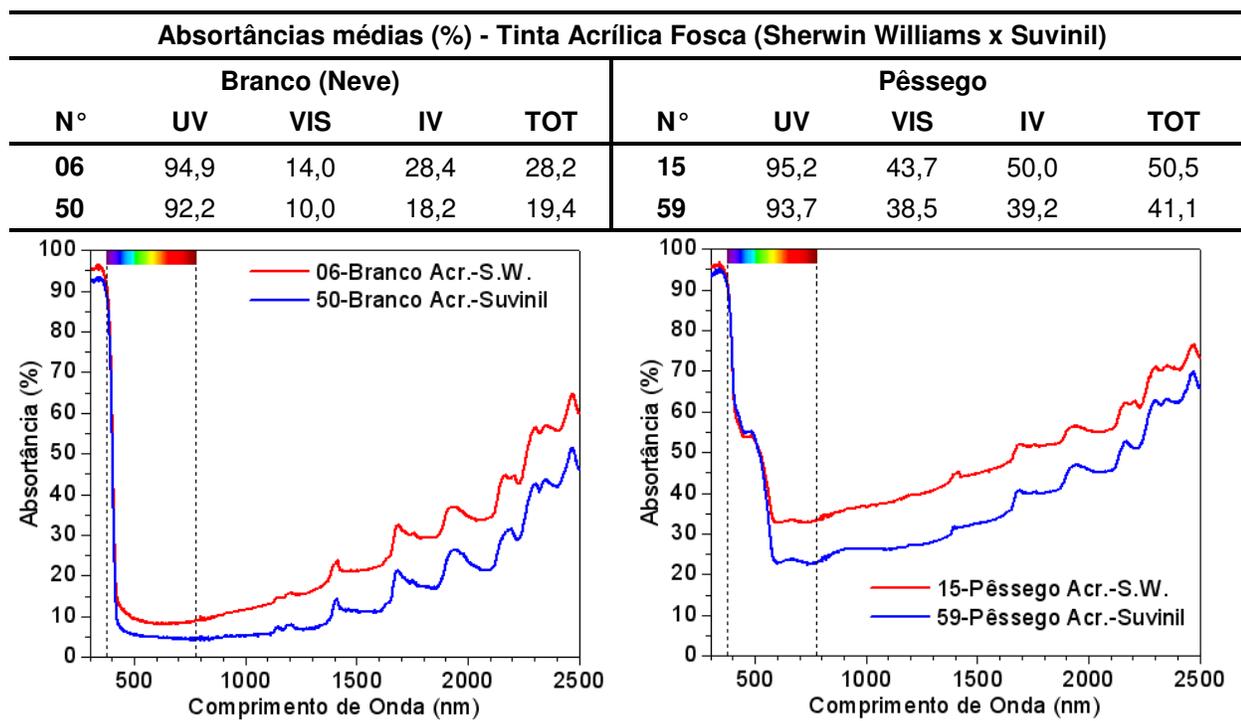
**TABELA 6.38:** Curvas espectrais e absorvâncias médias: Acrílica fosca x PVA fosca.

As amostras de tintas látex PVA de mesma cor produzidas por diferentes fabricantes, também apresentaram diferenças em suas absorvâncias totais (Tabela 6.39). As diferenças ocorrem principalmente na região do infravermelho 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 6.39:** Curvas espectrais e absorvâncias médias: PVA fosca, fabricantes diferentes.

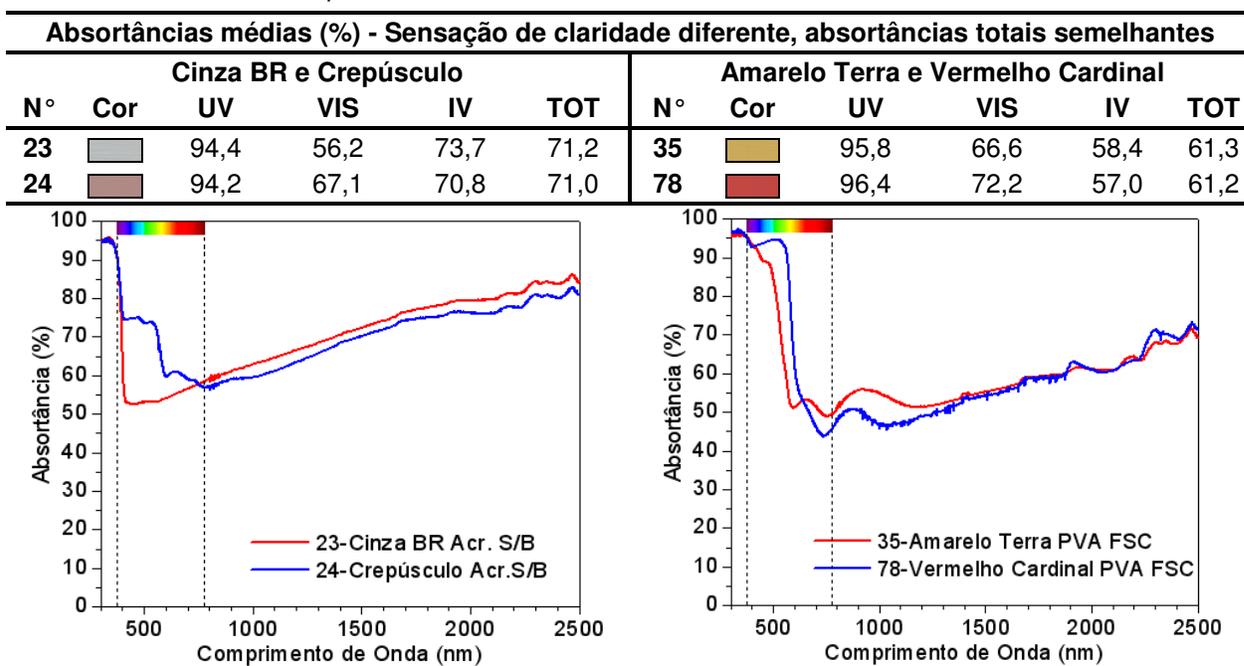
Situação semelhante ocorre com as tintas acrílicas de mesma cor produzidas por diferentes fabricantes (Tabela 6.40), pois suas absorvâncias totais apresentaram diferenças de até 9,4% (amostras n° 15 e 59, cor Pêssego).

**TABELA 6.40:** Curvas espectrais e absorvâncias médias: acrílica fosca, fabricantes diferentes.

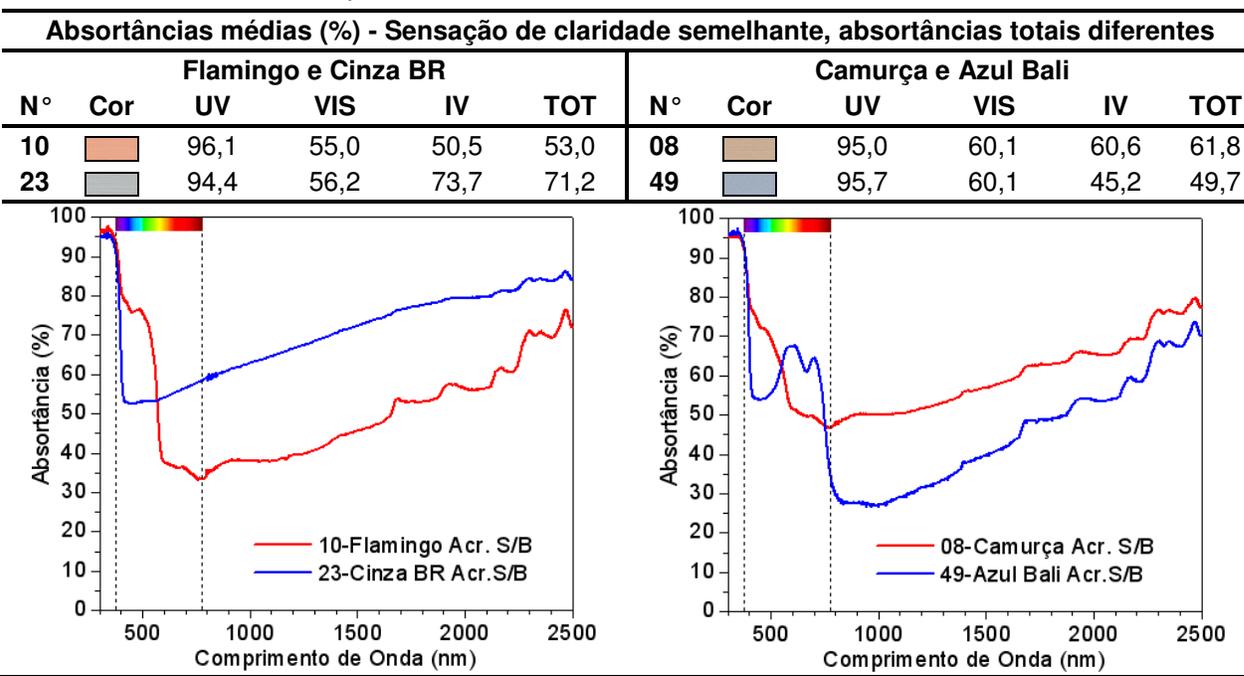


### 6.1.3.2 Para Amostras de Cores Diferentes

Algumas amostras apresentam absorvâncias totais muito próximas, mas provocam sensações diferentes de claridade (Tabela 6.41). As cores Cinza BR e Crepúsculo apresentaram absorvâncias totais praticamente iguais (71,2% e 71%, respectivamente), mas suas aparências são bastante distintas (cinza claro e rosa médio). Além disso, suas absorvâncias na faixa visível do espectro apresentam diferenças de 10,9%, o que comprova que apenas com a visão humana não seria possível identificar que suas absorvâncias totais são iguais. O mesmo ocorre para as amostras Amarelo Terra e Vermelho Cardinal, cujas absorvâncias totais são 61,3% e 61,2%, respectivamente. No entanto, a amostra de cor Amarelo Terra aparenta absorver muito mais radiação solar que a Vermelho Cardinal.

**TABELA 6.41:** Curvas espectrais e absorptâncias médias: amostras com diferentes níveis claro-escuro.

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 absorptância solar. Amostras pintadas nas cores Flamingo e Cinza BR possuem absorptâncias semelhantes na região visível, mas suas absorptâncias totais diferem em 18,2% (Tabela 6.42). O mesmo acontece para as amostras pintadas nas cores Camurça e Azul Bali (12,1%).

**TABELA 6.42:** Curvas espectrais e absorptâncias médias: amostras com mesmo nível claro-escuro.

As diversas análises comparativas apresentadas aqui comprovam que valores de absorvância ou refletância apenas para a região visível não são confiáveis para caracterizar quais porcentagens de energia solar são absorvidas ou refletidas por uma superfície.

## 6.2 MÉTODO 2: USO DE SCANNER COMUM

A seguir são apresentados os parâmetros cromáticos digitais para as amostras classificadas pelos sistemas RGB e HSL (Tabela 6.43) com o auxílio do programa *Photoimpact*. Os valores de RGB e HSL foram utilizados nas análises de regressão para estimar as absorvâncias das amostras, sem a necessidade de dados medidos em espectrofotômetro.

**TABELA 6.43:** Classificação das amostras pelos sistemas RGB e HSL.

continua

	N°	Nome Comercial	Cor	RGB			HSL		
				R	G	B	H	S	L
Metalatex Acrílica Fosca	1	Amarelo Antigo		225	198	142	40	36	88
	2	Amarelo Terra		190	151	94	36	50	74
	3	Areia		225	206	182	33	19	88
	4	Azul		79	95	136	223	41	53
	5	Azul Imperial		171	179	184	203	7	72
	6	Branco		255	255	252	60	1	100
	7	Branco Gelo		235	234	220	56	6	92
	8	Camurça		204	175	151	27	25	80
	9	Concreto		154	150	128	51	16	60
	10	Flamingo		233	167	139	18	40	91
	11	Jade		202	209	198	98	5	81
	12	Marfim		245	239	197	53	19	96
	13	Palha		238	234	207	52	12	93
	14	Pérola		250	243	216	48	13	98
	15	Pêssego		235	210	191	26	18	92
	16	Tabaco		148	123	102	27	30	58
	17	Terracota		207	108	85	11	58	81
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo		222	197	132	43	40	87
	19	Amarelo Terra		184	138	63	37	65	72
	20	Azul		64	85	126	220	49	49
	21	Branco Gelo		234	237	227	78	4	92
	22	Cinza		116	113	102	47	12	45
	23	Cinza BR		186	189	190	195	1	74
	24	Crepúsculo		175	138	133	7	23	68
	25	Flamingo		233	164	132	19	43	91
	26	Marfim		240	233	188	52	21	94

continua

	N°	Nome Comercial	Cor	RGB			HSL		
				R	G	B	H	S	L
Metalatex Acrílica Semi-brilho	27	Palha		234	230	204	52	12	91
	28	Pérola		245	235	205	45	16	96
	29	Preto		46	39	44	317	15	18
	30	Telha		157	78	67	7	57	61
	31	Terracota		196	86	58	12	70	76
	32	Verde Quadra		63	100	90	164	36	39
	33	Vermelho		198	53	51	1	74	77
Novacor PVA Fosca	34	Amarelo Canário		253	242	146	54	42	99
	35	Amarelo Terra		201	170	93	43	53	78
	36	Areia		228	217	182	46	20	89
	37	Azul angra		220	233	234	184	5	91
	38	Bianco Sereno		249	249	231	60	7	97
	39	Branco		255	255	252	60	1	100
	40	Branco Gelo		235	233	225	48	4	92
	41	Erva doce		250	254	234	72	7	99
	42	Flamingo		233	162	135	17	41	91
	43	Laranja		247	176	113	28	54	96
	44	Marfim		248	246	204	57	17	97
	45	Palha		247	239	206	48	16	96
	46	Pérola		252	247	223	50	11	98
	47	Pêssego		243	202	161	30	33	95
Suvinil Acrílica Fosca	48	Alecrim		168	181	171	134	7	70
	49	Azul bali		162	174	191	215	15	74
	50	Branco Neve		255	255	252	60	1	100
	51	Branco Gelo		244	246	240	80	2	96
	52	Camurça		203	183	155	35	23	79
	53	Concreto		166	159	131	48	21	65
	54	Marfim		252	247	212	53	15	98
	55	Marrocos		211	175	92	42	56	82
	56	Mel		238	205	149	38	37	93
	57	Palha		249	244	223	48	10	97
	58	Pérola		255	251	230	50	9	100
	59	Pêssego		250	216	186	28	25	98
	60	Telha		169	104	88	12	47	66
	61	Vanila		255	251	198	56	22	100
Suvinil PVA Fosca	62	Amarelo Canário		255	249	165	56	35	100
	63	Areia		237	218	193	34	18	92
	64	Azul Profundo		89	119	160	215	44	62
	65	Branco Neve		255	255	252	60	1	100
	66	Branco Gelo		244	245	234	65	4	96
	67	Camurça		208	186	156	35	25	81

			conclusão						
	N°	Nome Comercial	Cor	RGB			HSL		
				R	G	B	H	S	L
Suviniil PVA Fosca	68	Cerâmica		176	104	89	10	49	69
	69	Concreto		169	159	132	44	21	66
	70	Flamingo		238	174	142	20	40	93
	71	Marfim		254	251	211	56	16	99
	72	Palha		253	249	221	53	12	99
	73	Pérola		252	248	222	52	11	98
	74	Pêssego		253	222	186	32	26	99
	75	Preto		56	55	56	300	1	21
	76	Vanila		254	245	186	52	26	99
	77	Verde Musgo		114	144	107	109	25	56
	78	Vermelho Cardinal		196	73	68	2	65	76

Para determinar a absorptância solar ajustada ao espectro solar padrão para a faixa visível ( $\alpha_{VIS}$ ) e para o espectro solar total ( $\alpha_T$ ), a partir dos valores de RGB e HSL obtidos com o auxílio de um scanner comum, chegou-se às seguintes equações:

$$\alpha_{VIS} = 146,9258 - 0,2085 \cdot R - 0,2050 \cdot B - 0,0772 \cdot G - 0,1912 \cdot S \quad [\text{Eq. 6.1}]$$

Coeficiente de Determinação:  $R^2 = 0,98$

Desvio Padrão:  $SD = 2,58$

$$\alpha_T = 155,5135 - 0,2204 \cdot R - 0,3050 \cdot B - 0,4369 \cdot S \quad [\text{Eq. 6.2}]$$

Coeficiente de Determinação:  $R^2 = 0,96$

Desvio Padrão:  $SD = 3,59$

Sendo:

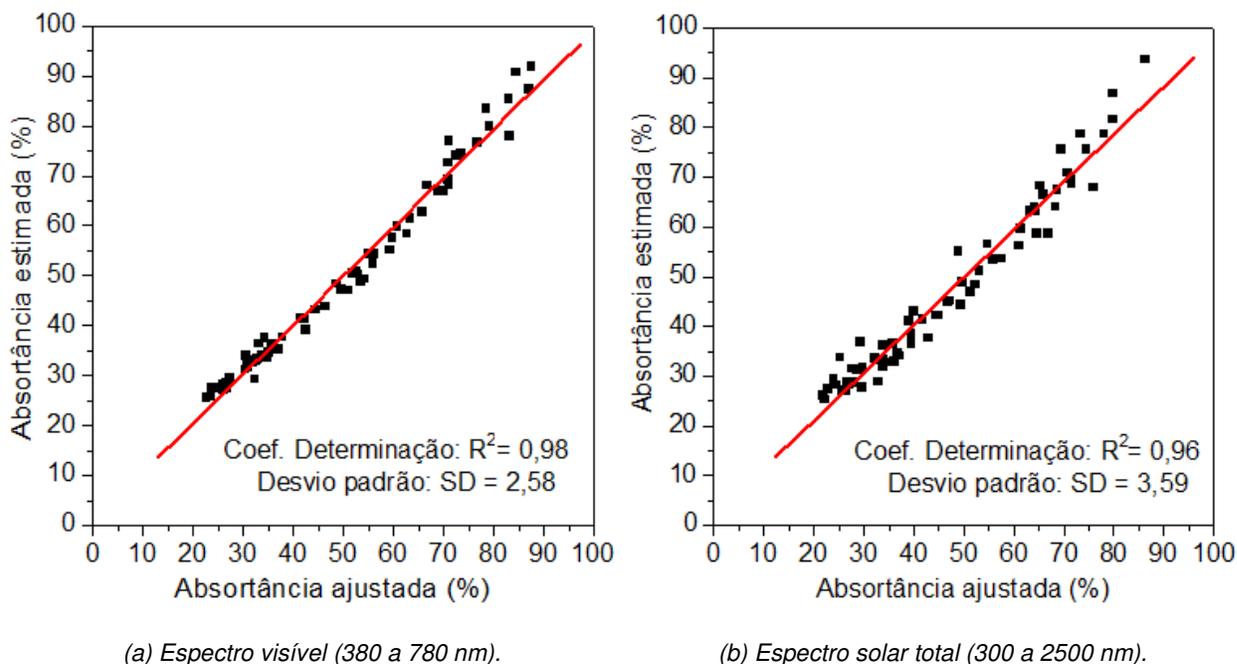
$\alpha_{VIS}$  = absorptância estimada para a faixa visível do espectro (%);

$\alpha_T$  = absorptância estimada para o espectro solar total (%);

R, B, G = parâmetros do sistema RGB;

S = parâmetro do sistema HSL.

Na Figura 6.40 são apresentadas as correlações encontradas entre absorvâncias ajustadas ao espectro solar padrão e valores estimados pelas equações de regressão para a região visível (a) e para o espectro solar total (b), baseadas nos parâmetros cromáticos digitais das amostras.



**FIGURA 6.40:** Correlações entre absorvâncias ajustadas e estimadas - Scanner comum.

Na Tabela 6.44 são apresentados os valores de absorvância ajustados ao espectro solar padrão (Ajs) e estimados (Est) através do uso de scanner comum. Estes dados indicam que a utilização do scanner comum para estimar a absorvância solar de superfícies opacas ajustadas ao espectro solar padrão apresenta resultados muito próximos aos obtidos a partir do espectrofotômetro. No entanto, algumas absorvâncias estimadas apresentaram diferenças superiores a 10% dos valores ajustados (ver valores marcados em **vermelho**). Para as amostras de cor Preta (n° 29 e 75) e Verde Quadra (n° 32), os valores estimados chegaram a ser maiores que 100%, o que mostra que as equações de regressão obtidas neste método não atendem a todas as cores de tintas estudadas nesta pesquisa. Este fato pode ser função da tonalidade dessas amostras, mais escuras que as demais. Também se pode observar que as amostras pintadas nas cores Branco (n° 06 e 39) e Branco Neve (n° 50 e 65) apresentaram valores estimados de absorvância quase duas vezes superiores às absorvâncias medidas em espectrofotômetro.

**TABELA 6.44:** Absortâncias ajustadas ao espectro solar padrão e estimadas através do scanner (%).

N° Nome Comercial	VISÍVEL		TOTAL		N° Nome Comercial	VISÍVEL		TOTAL	
	Ajs	Est	Ajs	Est		Ajs	Est	Ajs	Est
1 Amarelo Antigo	53,5	48,7	51,4	46,9	40 Branco Gelo	32,4	33,1	34,0	33,3
2 Amarelo Terra	68,9	66,8	64,3	63,1	41 Erva doce	23,6	25,9	21,9	26,0
3 Areia	44,5	43,2	44,9	42,1	42 Flamingo	52,8	50,3	46,8	45,1
4 Azul	87,0	87,4	73,3	78,7	43 Laranja	48,6	48,3	39,9	43,0
5 Azul Imperial	62,7	58,4	66,9	58,6	44 Marfim	30,4	31,2	29,7	31,2
6 Branco	11,6	<b>22,2</b>	15,8	22,0	45 Palha	30,9	31,7	28,5	31,3
7 Branco Gelo	34,8	33,6	37,2	34,0	46 Pérola	24,9	27,5	25,7	27,2
8 Camurça	59,3	55,1	57,4	53,6	47 Pêssego	42,2	41,4	39,5	38,4
9 Concreto	73,4	73,9	74,5	75,5	48 Alecrim	63,3	61,5	64,0	63,3
10 Flamingo	54,3	49,3	49,5	44,3	49 Azul bali	59,8	57,7	48,9	55,0
11 Jade	49,5	47,1	52,3	48,4	50 Branco Neve	7,6	<b>22,2</b>	10,2	<b>22,0</b>
12 Marfim	32,8	33,4	33,6	33,1	51 Branco Gelo	26,8	27,5	29,7	27,7
13 Palha	35,0	34,5	36,7	34,7	52 Camurça	56,3	54,3	55,8	53,4
14 Pérola	32,3	29,3	33,0	28,9	53 Concreto	70,9	69,2	71,5	69,8
15 Pêssego	42,5	39,1	42,8	37,6	54 Marfim	27,4	29,0	26,7	28,8
16 Tabaco	79,1	79,9	78,1	78,7	55 Marrocos	60,7	59,9	54,7	56,5
17 Terracota	69,9	66,9	64,6	58,6	56 Mel	46,4	43,9	41,8	41,4
18 Amarelo Antigo	52,4	50,7	49,7	48,8	57 Palha	26,6	28,5	27,2	28,2
19 Amarelo Terra	71,0	72,6	68,6	67,3	58 Pérola	22,6	25,5	22,1	25,2
20 Azul	87,6	91,8	79,9	81,6	59 Pêssego	37,1	35,2	35,0	32,8
21 Branco Gelo	31,2	32,5	36,2	33,0	60 Telha	76,7	76,6	70,8	70,9
22 Cinza	84,5	90,8	86,4	93,6	61 Vanila	27,3	29,6	23,9	29,3
23 Cinza BR	55,2	54,4	61,1	56,1	62 Amarelo Canário	30,5	34,0	25,2	33,7
24 Crepúsculo	66,7	68,1	66,0	66,3	63 Areia	37,8	37,7	35,7	36,5
25 Flamingo	51,9	50,4	47,3	45,1	64 Azul Profundo	83,2	78,0	76,0	67,9
26 Marfim	33,1	36,3	33,9	36,1	65 Branco Neve	11,8	<b>22,2</b>	16,2	22,0
27 Palha	35,8	36,3	39,6	36,5	66 Branco Gelo	26,8	28,4	28,1	28,6
28 Pérola	31,8	32,6	33,9	32,0	67 Camurça	55,9	52,4	53,2	51,2
29 Preto	96,7	<b>122,4</b>	97,1	<b>125,4</b>	68 Cerâmica	73,4	74,6	65,3	68,2
30 Telha	78,5	83,5	69,6	75,6	69 Concreto	71,1	68,3	71,6	68,8
31 Terracota	72,6	74,1	68,4	64,0	70 Flamingo	50,8	47,1	44,4	42,3
32 Verde Quadra	88,4	<b>100,7</b>	75,5	<b>98,4</b>	71 Marfim	26,0	28,3	24,5	28,2
33 Vermelho	71,1	76,9	64,2	64,0	72 Palha	26,8	27,4	26,4	27,1
34 Amarelo Canário	34,3	37,5	29,3	36,9	73 Pérola	23,6	27,6	22,9	27,5
35 Amarelo Terra	65,7	62,7	61,4	59,7	74 Pêssego	33,9	33,9	29,8	31,7
36 Areia	41,5	41,5	39,0	41,0	75 Preto	97,1	<b>119,3</b>	97,4	<b>125,7</b>
37 Azul angra	33,6	34,1	32,3	33,5	76 Vanila	30,8	32,0	27,7	31,4
38 Bianco Sereno	26,0	27,1	26,6	27,1	77 Verde Musgo	83,0	85,3	79,8	86,8
39 Branco	8,7	<b>22,2</b>	11,1	<b>22,0</b>	78 Vermelho Cardinal	72,4	74,1	63,3	63,2

### 6.3 MÉTODO 3: USO DO ESPECTRÔMETRO ALTA II

Nas figuras 6.41 a 6.44 são apresentados os gráficos comparativos entre absorvâncias obtidas através do espectrofotômetro e as obtidas através do espectrômetro ALTA II, para as amostras pintadas com tinta acrílica fosca da Metalatex.

A partir dos gráficos comparativos, pode-se observar que as medidas realizadas através do espectrômetro ALTA II resultam em valores de absorvâncias muito próximos aos medidos com o espectrofotômetro. As maiores diferenças concentram-se no comprimento de onda referente à cor Cian (525 nm), onde os valores de refletância medidos com o ALTA foram superiores às refletâncias obtidas em laboratório. Este fato é resultado da oscilação que o equipamento apresenta ao medir a voltagem nesse comprimento de onda.

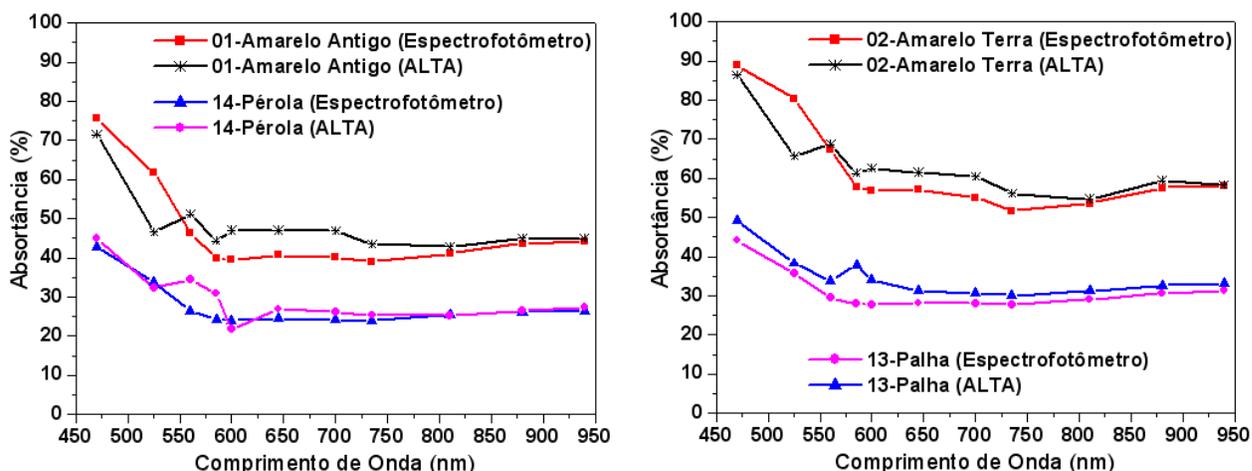


FIGURA 6.41: Absortância Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 01 e 14, 02 e 13.

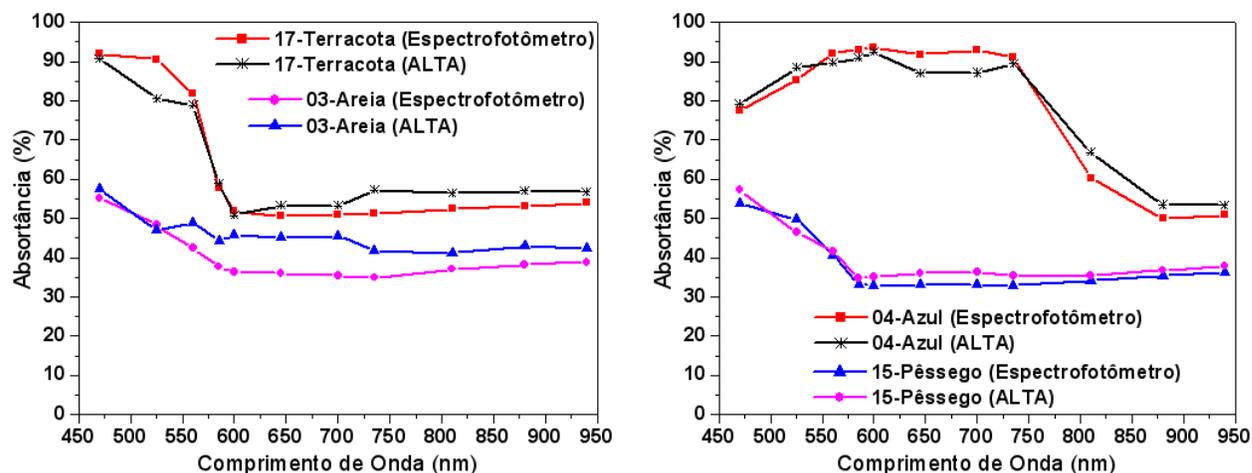
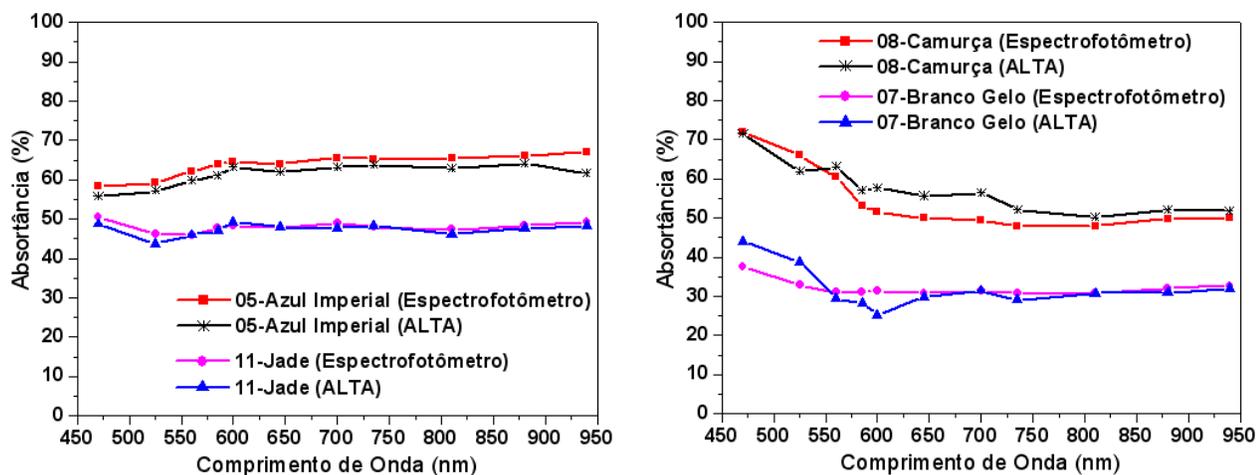
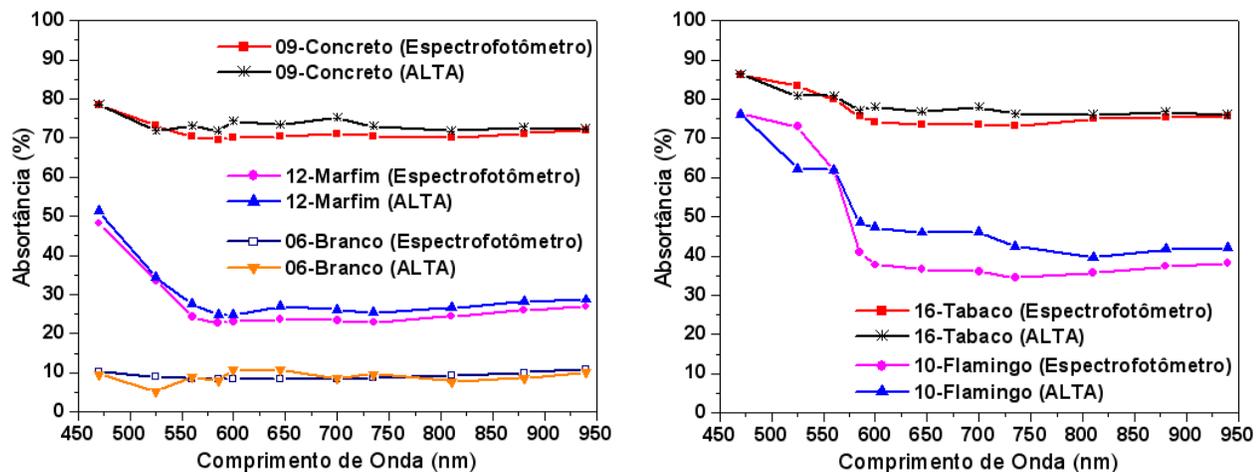


FIGURA 6.42: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 03 e 17, 04 e 15.



**FIGURA 6.43:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 05 e 11, 07 e 08.



**FIGURA 6.44:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 09, 06 e 12, 10 e 16.

Nas figuras 6.45 a 6.48 são apresentados os gráficos comparativos entre absortâncias obtidas através do espectrofotômetro e as obtidas através do espectrômetro ALTA II, para as amostras pintadas com tinta acrílica semi-brilho da Metalatex.

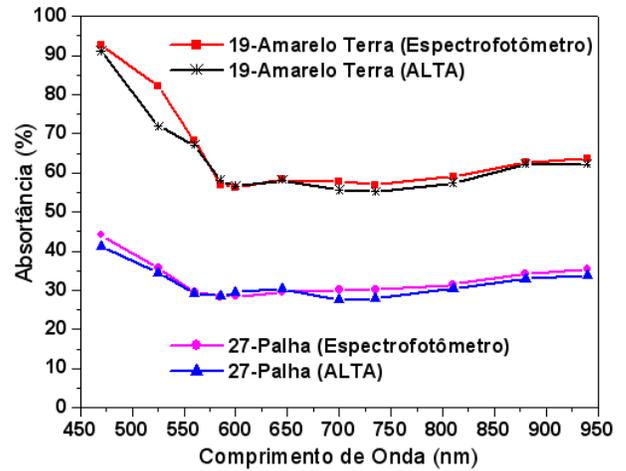
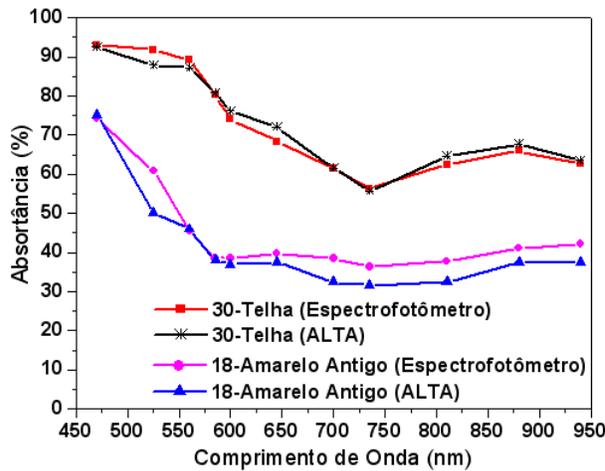


FIGURA 6.45:: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 18 e 30, 19 e 27.

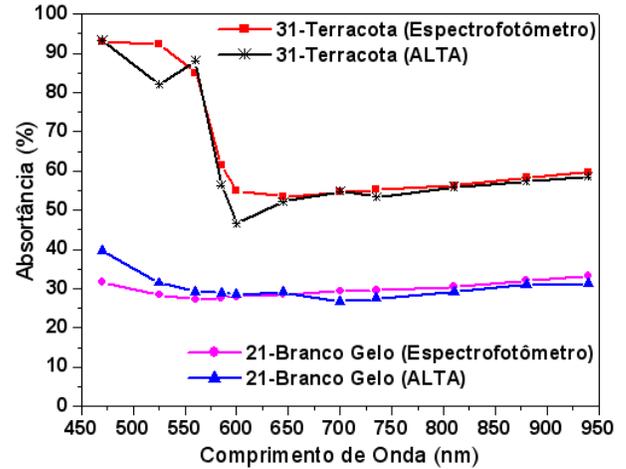
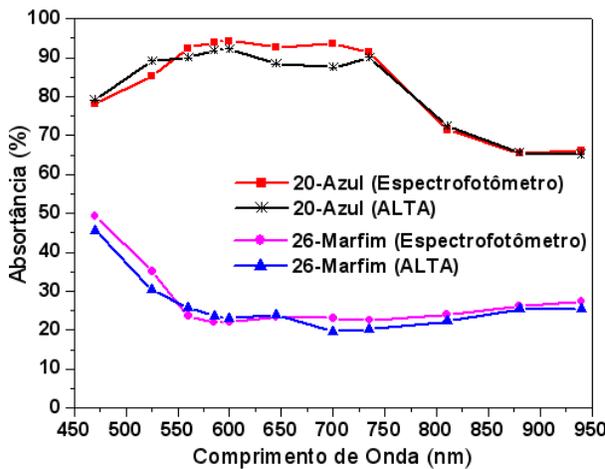


FIGURA 6.46: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 20 e 26, 21 e 31.

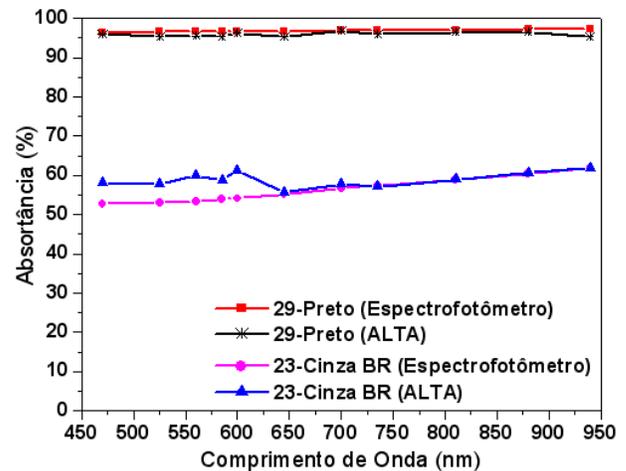
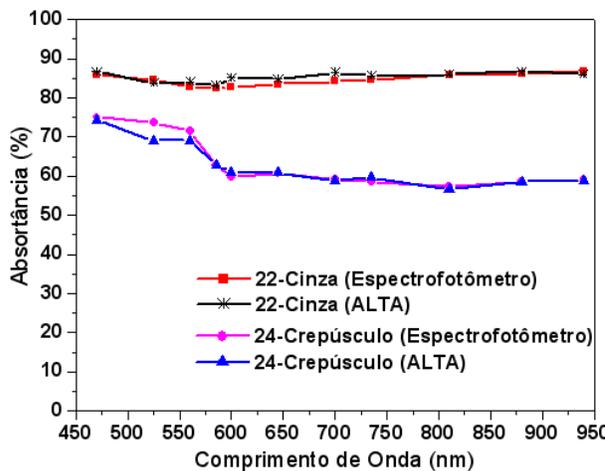
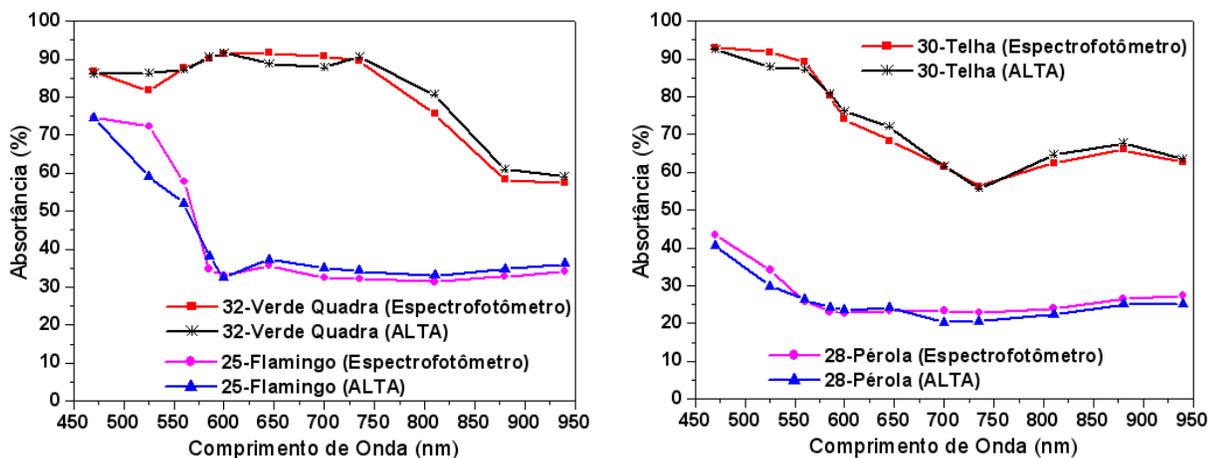
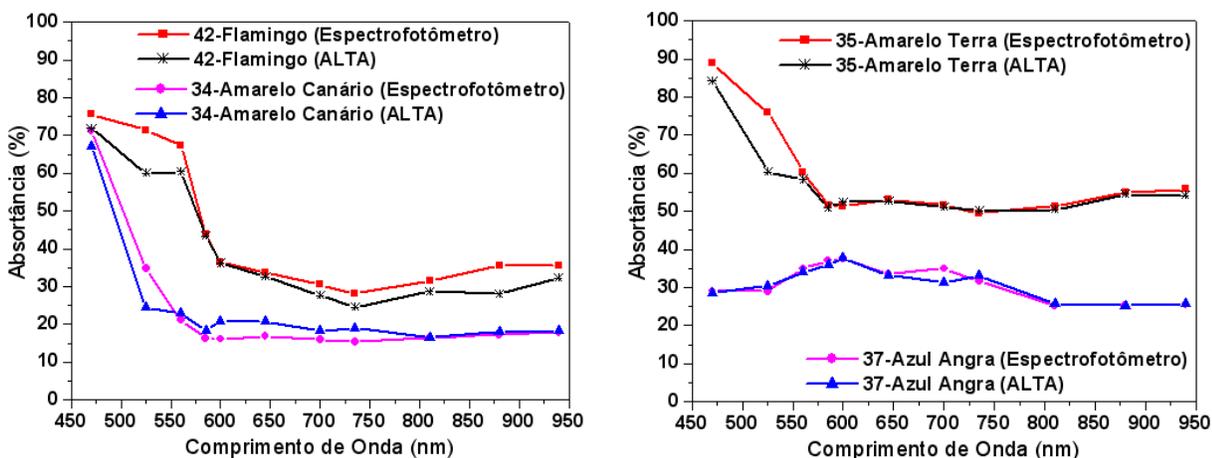


FIGURA 6.47: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 22 e 24, 23 e 29.

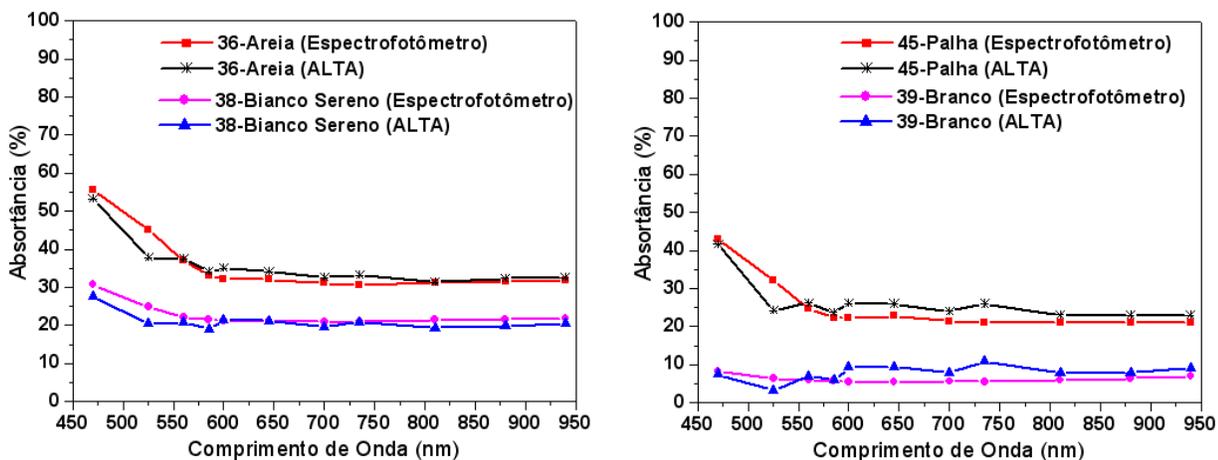


**FIGURA 6.48:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 25 e 32, 28 e 30.

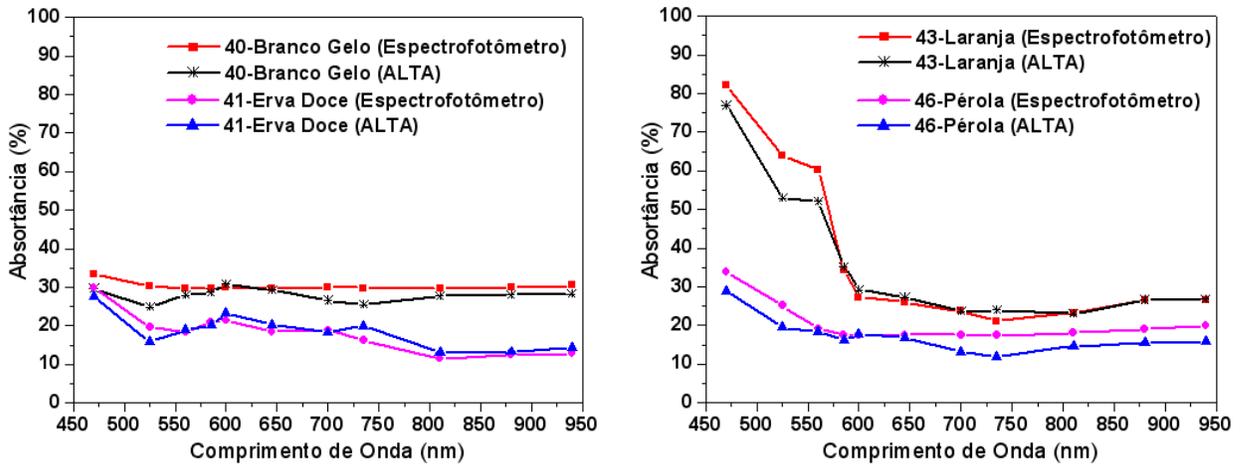
Nas figuras 6.49 a 6.52 são apresentados os gráficos comparativos entre absortâncias obtidas através do espectrofotômetro e as obtidas através do espectrômetro ALTA II, para as amostras pintadas com tinta látex PVA fosca da Novacor.



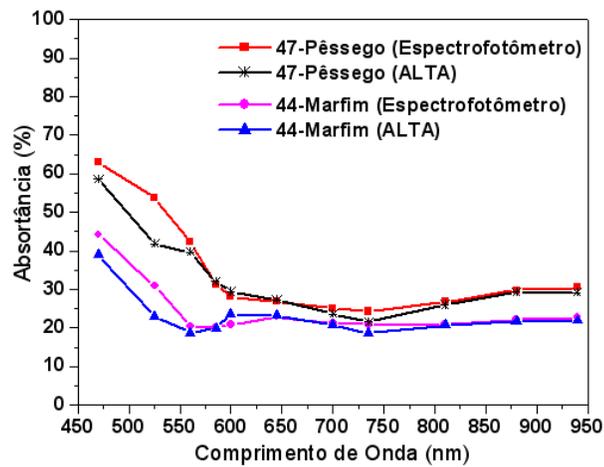
**FIGURA 6.49:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 34 e 42, 35 e 37.



**FIGURA 6.50:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 36 e 38, 39 e 45.

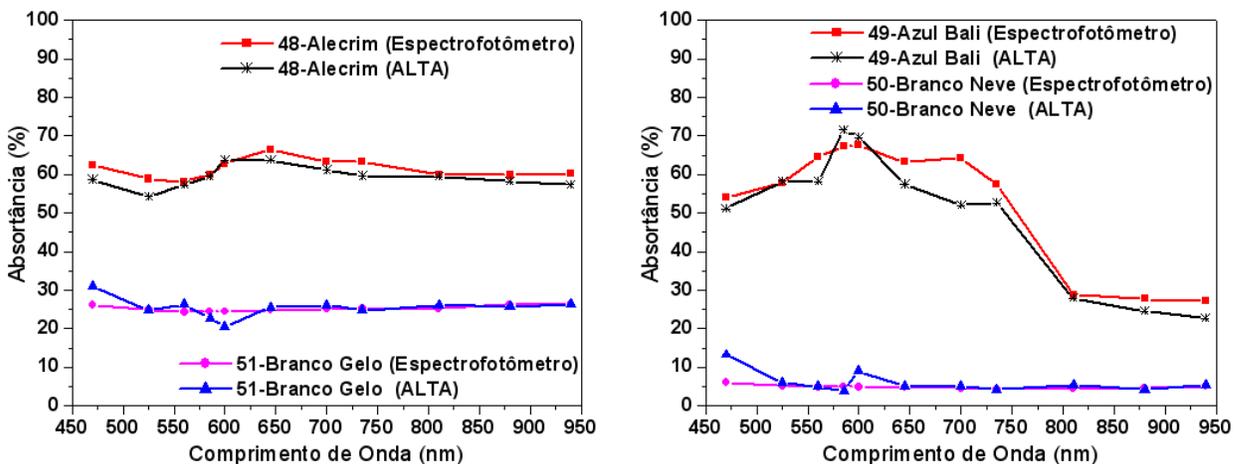


**FIGURA 6.51:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 40 e 41, 43 e 46.



**FIGURA 6.52:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 44 e 47.

Nas figuras 6.53 a 6.56 são apresentados os gráficos comparativos entre absortâncias obtidas através do espectrofotômetro e as obtidas através do espectrômetro ALTA II, para as amostras pintadas com tinta acrílica fosca da Suvnil.



**FIGURA 6.53:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 48 e 51, 49 e 50.

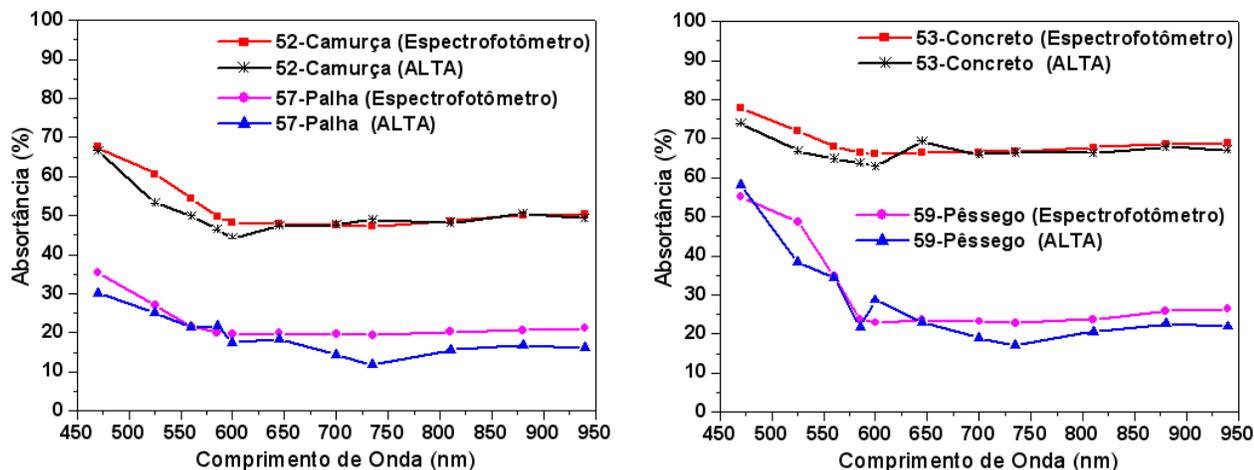


FIGURA 6.54: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 52 e 57, 53 e 59.

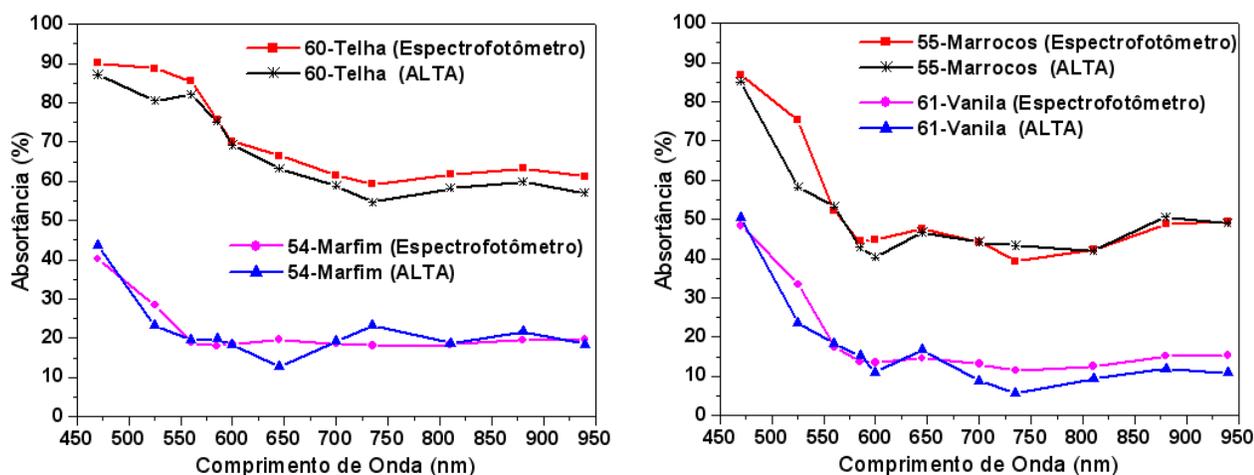


FIGURA 6.55: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 54 e 60, 55 e 61.

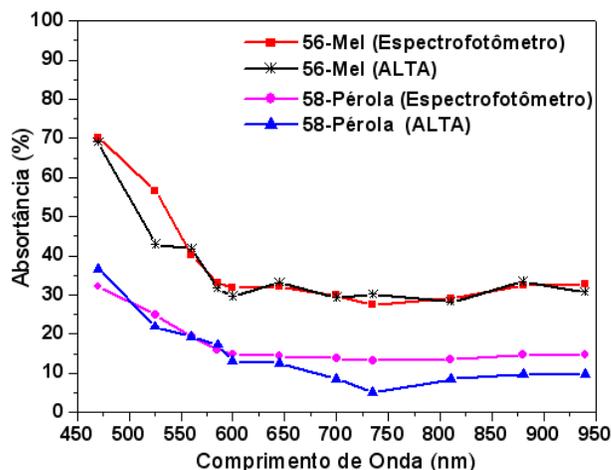
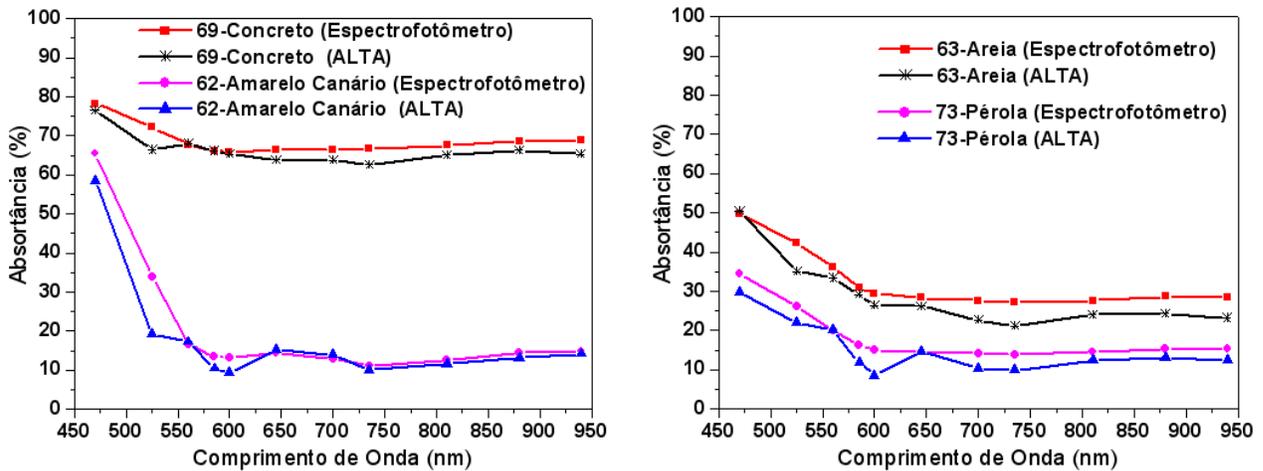
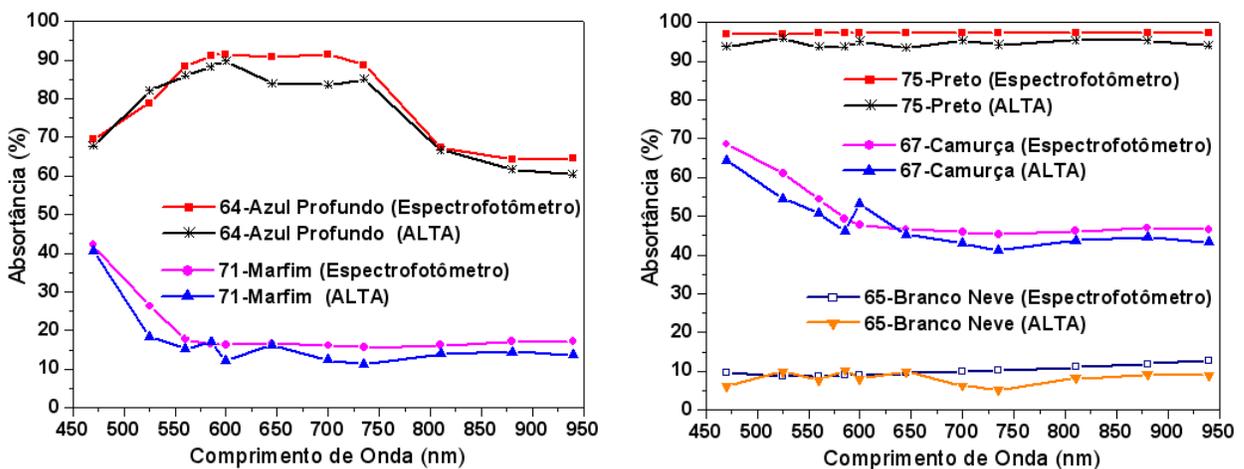


FIGURA 6.56: Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 56 e 58.

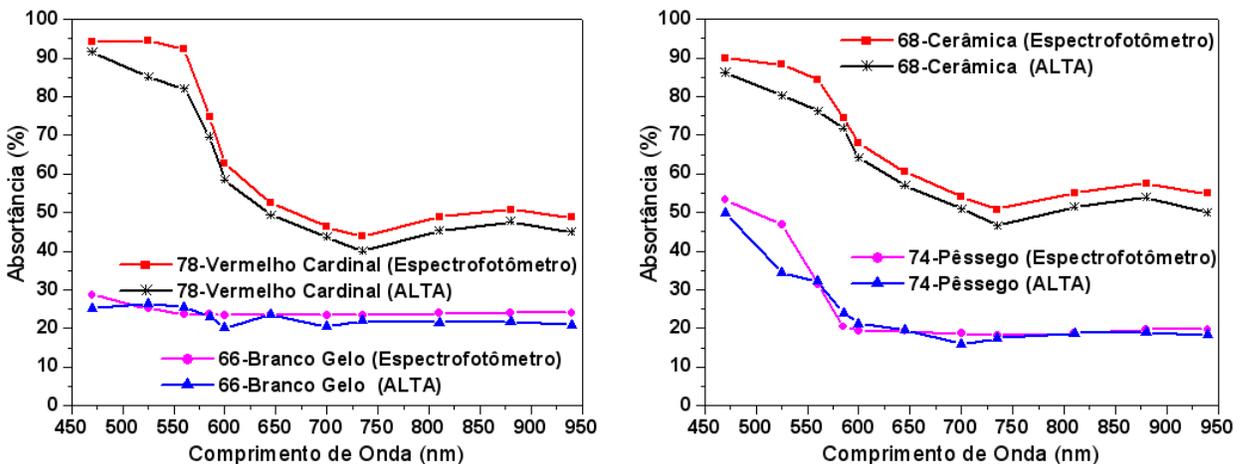
Nas figuras 6.57 a 6.60 são apresentados os gráficos comparativos entre absorvâncias obtidas através do espectrofotômetro e as obtidas através do espectrômetro ALTA II, para as amostras pintadas com tinta látex PVA fosca da Suvnil.



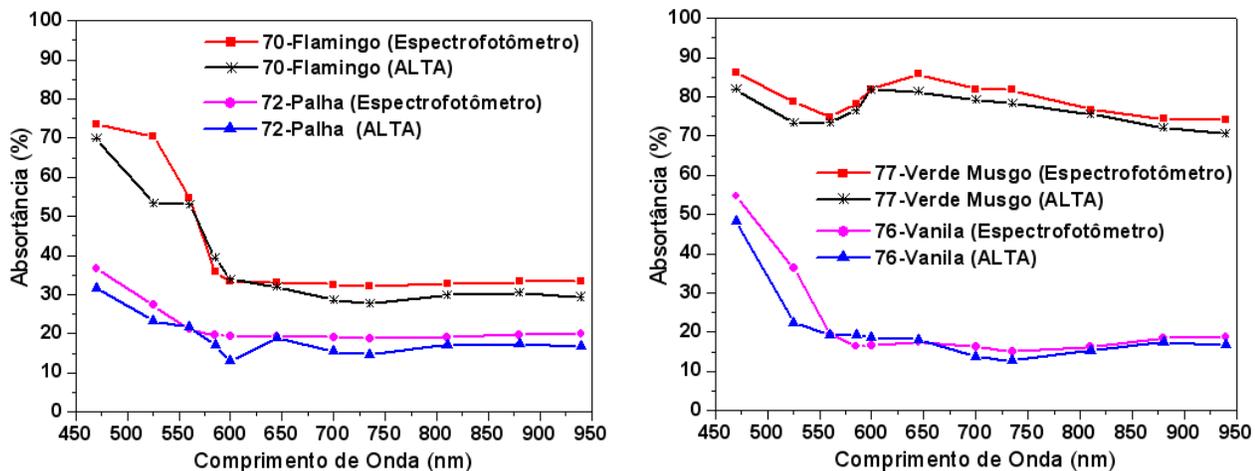
**FIGURA 6.57:** Absorvâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 62 e 69, 63 e 73.



**FIGURA 6.58:** Absorvâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 64 e 71, 65, 67, e 75.



**FIGURA 6.59:** Absorvâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 66 e 78, 68 e 74.



**FIGURA 6.60:** Absortâncias Espectrofotômetro x ALTA II, amostras n° 70 e 72, 76 e 77.

Com base nos dados obtidos com o espectrômetro ALTA II, procurou-se verificar se as absortâncias das amostras que foram ajustadas ao espectro solar padrão poderiam ser estimadas, sem a necessidade de se utilizar o espectrofotômetro. Por meio de análises de regressão, foram identificadas equações que relacionassem as absortâncias ajustadas, para diferentes intervalos do espectro, com os valores de refletância obtidos com o ALTA II, para as 78 amostras estudadas. As equações permitem estimar as absortâncias para a faixa visível ( $\alpha_{VIS}$ ) e para o espectro solar total ( $\alpha_T$ ), conforme apresentado nas equações 6.3 e 6.4, respectivamente.

$$\alpha_{VIS} = 100,6759 - 0,2188 * \rho_{470} - 0,29538 * \rho_{525} - 0,46781 * \rho_{645} \quad [\text{Eq. 6.3}]$$

Coeficiente de Determinação:  $R^2 = 0,99$

Desvio Padrão: SD = 2,11

$$\alpha_T = 100,7058 + 0,1921 * \rho_{700} - 0,2577 * \rho_{940} - 0,8690 * \rho_{Med} \quad [\text{Eq. 6.4}]$$

Coeficiente de Determinação:  $R^2 = 0,99$

Desvio Padrão: SD = 1,91

Sendo:

$\alpha_{VIS}$  = absorptância estimada para a faixa visível do espectro (%);

$\alpha_T$  = absorptância estimada para o espectro solar total (%);

$\rho_{Med}$  = refletância média obtida no ALTA (%);

$\rho_{470}$  = refletância obtida no ALTA para 470 nm (%);

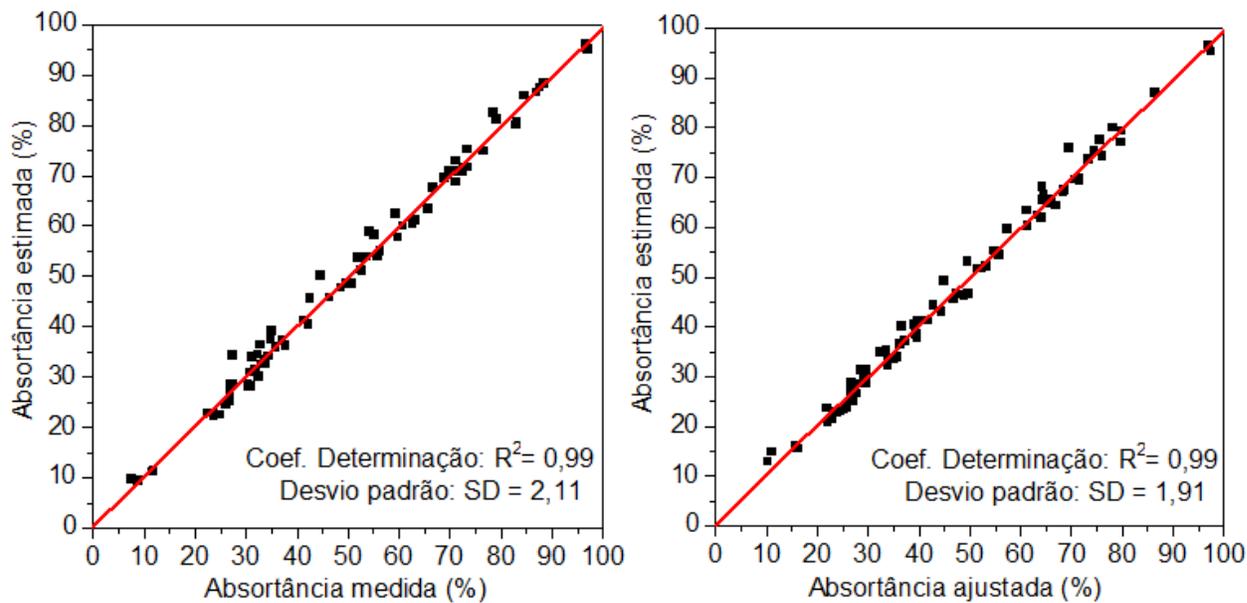
$\rho_{525}$  = refletância obtida no ALTA para 525 nm (%);

$\rho_{645}$  = refletância obtida no ALTA para 645 nm (%);

$\rho_{700}$  = refletância obtida no ALTA para 700 nm (%);

$\rho_{940}$  = refletância obtida no ALTA para 700 nm (%).

Na Figura 6.61 são apresentadas as correlações encontradas entre absorptâncias obtidas através do espectrômetro ALTA II e valores estimados por equações de regressão, baseadas nas medições em espectrofotômetro para todas as amostras. As correlações foram desenvolvidas para a faixa visível e para o espectro solar total.



(a) Espectro visível (380 a 780 nm).

(b) Espectro solar total (300 a 2500 nm).

**FIGURA 6.61:** Correlações entre absorptâncias medidas e estimadas - Espectrômetro ALTA II.

Na Tabela 6.45 são apresentados os valores de absorptância estimados através das medições com o ALTA II.

**TABELA 6.45:** Absortâncias medidas em espectrofotômetro e estimadas através do ALTA II (%).

N°	Nome Comercial	VISÍVEL		TOTAL		N°	Nome Comercial	VISÍVEL		TOTAL	
		Ajs	Est	Ajs	Est			Ajs	Est	Ajs	Est
1	Amarelo Antigo	53,5	53,9	51,4	51,7	40	Branco Gelo	32,4	30,0	34,0	33,6
2	Amarelo Terra	68,9	69,6	64,3	65,6	41	Erva doce	23,6	22,7	21,9	23,6
3	Areia	44,5	<b>50,1</b>	44,9	<b>49,1</b>	42	Flamingo	52,8	51,2	46,8	45,4
4	Azul	87,0	86,6	73,3	73,6	43	Laranja	48,6	47,7	39,9	41,0
5	Azul Imperial	62,7	60,6	66,9	64,3	44	Marfim	30,4	28,7	29,7	28,8
6	Branco	11,6	11,1	15,8	15,9	45	Palha	30,9	30,9	28,5	31,2
7	Branco Gelo	34,8	37,5	37,2	37,1	46	Pérola	24,9	22,5	25,7	23,8
8	Camurça	59,3	62,4	57,4	59,5	47	Pêssego	42,2	40,4	39,5	38,5
9	Concreto	73,4	75,3	74,5	75,3	48	Alecrim	63,3	61,2	64,0	61,9
10	Flamingo	54,3	59,0	49,5	53,0	49	Azul bali	59,8	57,8	48,9	46,2
11	Jade	49,5	48,5	52,3	51,6	50	Branco Neve	7,6	9,6	10,2	13,0
12	Marfim	32,8	36,4	33,6	35,2	51	Branco Gelo	26,8	28,5	29,7	31,2
13	Palha	35,0	39,2	36,7	40,1	52	Camurça	56,3	55,0	55,8	54,4
14	Pérola	32,3	34,4	33,0	34,8	53	Concreto	70,9	70,9	71,5	69,9
15	Pêssego	42,5	45,6	42,8	44,2	54	Marfim	27,4	<b>34,2</b>	26,7	28,8
16	Tabaco	79,1	81,1	78,1	80,0	55	Marrocos	60,7	60,1	54,7	55,3
17	Terracota	69,9	71,0	64,6	66,5	56	Mel	46,4	45,8	41,8	41,1
18	Amarelo Antigo	52,4	51,3	49,7	46,7	57	Palha	26,6	25,0	27,2	25,1
19	Amarelo Terra	71,0	70,8	68,6	67,5	58	Pérola	22,6	22,9	22,1	21,0
20	Azul	87,6	87,5	79,9	79,3	59	Pêssego	37,1	37,3	35,0	33,4
21	Branco Gelo	31,2	34,1	36,2	36,5	60	Telha	76,7	74,9	70,8	69,5
22	Cinza	84,5	85,9	86,4	86,9	61	Vanila	27,3	28,4	23,9	22,7
23	Cinza BR	55,2	58,3	61,1	63,4	62	Amarelo Canário	30,5	28,1	25,2	23,4
24	Crepúsculo	66,7	67,6	66,0	65,6	63	Areia	37,8	36,2	35,7	33,9
25	Flamingo	51,9	53,7	47,3	46,7	64	Azul Profundo	83,2	80,8	76,0	74,3
26	Marfim	33,1	32,6	33,9	32,5	65	Branco Neve	11,8	11,4	16,2	15,5
27	Palha	35,8	35,9	39,6	37,9	66	Branco Gelo	26,8	26,9	28,1	28,5
28	Pérola	31,8	31,5	33,9	32,2	67	Camurça	55,9	53,9	53,2	52,0
29	Preto	96,7	96,3	97,1	96,6	68	Cerâmica	73,4	71,7	65,3	64,7
30	Telha	78,5	82,4	69,6	<b>75,8</b>	69	Concreto	71,1	68,7	71,6	69,4
31	Terracota	72,6	71,5	68,4	67,0	70	Flamingo	50,8	48,5	44,4	43,1
32	Verde Quadra	88,4	88,4	75,5	77,4	71	Marfim	26,0	24,4	24,5	23,1
33	Vermelho	71,1	73,0	64,2	68,1	72	Palha	26,8	25,2	26,4	24,9
34	Amarelo Canário	34,3	34,2	29,3	29,4	73	Pérola	23,6	22,4	22,9	21,5
35	Amarelo Terra	65,7	63,3	61,4	60,3	74	Pêssego	33,9	32,8	29,8	30,3
36	Areia	41,5	41,2	39,0	40,5	75	Preto	97,1	95,1	97,4	95,3
37	Azul angra	33,6	33,3	32,3	34,8	76	Vanila	30,8	28,2	27,7	26,5
38	Bianco Sereno	26,0	24,4	26,6	26,9	77	Verde Musgo	83,0	80,1	79,8	77,0
39	Branco	8,7	9,5	11,1	14,9	78	Vermelho Cardinal	72,4	70,8	63,3	62,4

Os valores apresentados na Tabela 6.45 indicam que a utilização do espectrômetro ALTA II para estimar a absorvância solar de superfícies opacas ajustadas ao espectro solar padrão apresenta resultados muito próximos aos obtidos através do ajuste dos dados medidos em espectrofotômetro. As máximas diferenças entre valores ajustados e estimados não ultrapassaram 7% (ver valores marcados em **vermelho**), o que indica a grande precisão que se pode obter com este método proposto.

#### 6.4 MÉTODO 4: MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

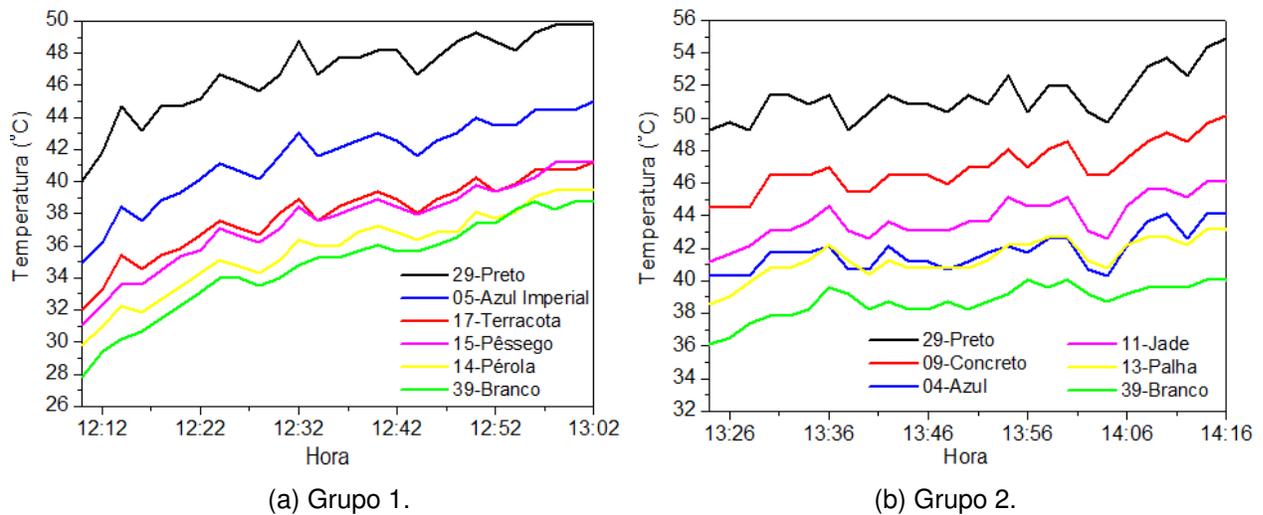
Nas tabelas 6.46 e 6.47 e na Figura 6.62 são apresentadas as temperaturas superficiais medidas nas placas de alumínio pintadas com 10 diferentes cores de tintas, para as amostras da primeira etapa de medições.

**TABELA 6.46:** Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 1, primeira etapa.

ETAPA 1 / GRUPO 1 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)						
Hora	29-Preto	05-Azul Imperial	17-Terracota	15-Pêssego	14-Pérola	39-Branco
12:10	39,98	34,93	32,05	31,08	29,82	27,81
12:12	41,82	36,21	33,28	32,33	31,02	29,41
12:14	44,67	38,41	35,39	33,60	32,23	30,22
12:16	43,22	37,52	34,54	33,60	31,83	30,63
12:18	44,67	38,85	35,39	34,46	32,64	31,45
12:20	44,67	39,30	35,82	35,32	33,46	32,27
12:22	45,16	40,21	36,68	35,75	34,30	33,11
12:24	46,65	41,14	37,56	37,09	35,13	33,95
12:26	46,15	40,67	37,12	36,63	34,71	33,95
12:28	45,65	40,21	36,68	36,19	34,30	33,52
12:30	46,65	41,60	38,01	37,09	35,13	33,95
12:32	48,72	43,02	38,90	38,43	36,40	34,80
12:34	46,65	41,60	37,56	37,53	35,97	35,22
12:36	47,67	42,07	38,46	37,98	35,97	35,22
12:38	47,67	42,55	38,90	38,43	36,84	35,64
12:40	48,20	43,02	39,36	38,88	37,26	36,08
12:42	48,20	42,55	38,90	38,43	36,84	35,64
12:44	46,65	41,60	38,01	37,98	36,40	35,64
12:46	47,67	42,55	38,90	38,43	36,84	36,08
12:48	48,72	43,02	39,36	38,88	36,84	36,51
12:50	49,25	43,99	40,28	39,80	38,14	37,39
12:52	48,72	43,50	39,36	39,34	37,70	37,39
12:54	48,20	43,50	39,82	39,80	38,14	38,28
12:56	49,25	44,48	40,74	40,26	39,02	38,73
12:58	49,78	44,48	40,74	41,21	39,47	38,28
13:00	49,78	44,48	40,74	41,21	39,47	38,73
13:02	49,78	44,98	41,21	41,21	39,47	38,73
<b>Média</b>	46,82	41,50	37,92	37,44	35,75	34,76

**TABELA 6.47:** Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 2, primeira etapa.

ETAPA 1 / GRUPO 2 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)						
Hora	29-Preto	09-Concreto	04-Azul	11-Jade	13-Palha	39-Branco
13:20	47,67	42,55	38,46	39,34	37,26	33,95
13:22	48,20	43,50	39,82	40,73	38,57	35,64
13:24	49,25	44,48	40,28	41,21	38,57	36,08
13:26	49,78	44,48	40,28	41,68	39,02	36,51
13:28	49,25	44,48	40,28	42,16	39,91	37,39
13:30	51,43	46,48	41,69	43,12	40,82	37,84
13:32	51,43	46,48	41,69	43,12	40,82	37,84
13:34	50,87	46,48	41,69	43,62	41,28	38,28
13:36	51,43	46,99	42,16	44,61	42,21	39,64
13:38	49,25	45,47	40,74	43,12	41,28	39,18
13:40	50,33	45,47	40,74	42,64	40,37	38,28
13:42	51,43	46,48	42,16	43,62	41,28	38,73
13:44	50,87	46,48	41,21	43,12	40,82	38,28
13:46	50,87	46,48	41,21	43,12	40,82	38,28
13:48	50,33	45,97	40,74	43,12	40,82	38,73
13:50	51,43	46,99	41,21	43,62	40,82	38,28
13:52	50,87	46,99	41,69	43,62	41,28	38,73
13:54	52,57	48,03	42,16	45,11	42,21	39,18
13:56	50,33	46,99	41,69	44,61	42,21	40,09
13:58	51,99	48,03	42,64	44,61	42,68	39,64
14:00	51,99	48,56	42,64	45,11	42,68	40,09
14:02	50,33	46,48	40,74	43,12	41,28	39,18
14:04	49,78	46,48	40,28	42,64	40,82	38,73
14:06	51,43	47,50	42,16	44,61	42,21	39,18
14:08	53,14	48,56	43,62	45,61	42,68	39,64
14:10	53,72	49,10	44,11	45,61	42,68	39,64
14:12	52,57	48,56	42,64	45,11	42,21	39,64
14:14	54,31	49,63	44,11	46,13	43,16	40,09
14:16	54,92	50,17	44,11	46,13	43,16	40,09
14:18	54,31	49,10	43,13	44,61	41,75	38,73
14:20	54,31	49,63	43,13	45,11	41,75	38,73
14:22	54,92	50,17	43,62	45,61	42,68	39,18
14:24	53,72	49,63	43,62	46,13	43,16	40,09
14:26	54,31	50,17	43,62	46,13	43,16	40,09
14:28	54,31	50,17	44,11	46,13	43,63	41,02
14:30	53,72	49,63	44,11	46,13	43,63	40,56
14:32	53,72	49,10	43,13	44,61	41,75	39,18
14:34	53,72	49,10	42,64	44,11	41,28	38,73
14:36	53,72	48,56	42,64	43,12	40,37	37,84
14:38	53,72	48,56	42,16	43,12	39,91	37,39
14:40	54,31	49,63	43,13	44,11	41,75	38,73
14:42	54,92	50,73	44,11	44,61	41,75	39,18
14:44	54,92	50,17	44,11	45,11	42,21	38,73
14:46	54,92	50,17	44,11	46,13	43,16	40,09
<b>Média</b>	52,17	47,70	42,23	44,06	41,50	38,75



**FIGURA 6.62:** Temperaturas superficiais medidas para as amostras dos Grupos 1 e 2, primeira etapa.

Com base nas médias das temperaturas superficiais obtidas para as 10 amostras e através de análises de regressão linear, procurou-se obter equações que permitissem estimar as absorptâncias das superfícies pintadas (exceto para as amostras de cor branca e preta, adotadas como referência), considerando-se a seguinte análise esquemática apresentada na Figura 6.63.

Dadas duas superfícies de cores branca e preta, cujas absorptâncias são conhecidas e suas temperaturas superficiais medidas, as absorptâncias de outras superfícies podem ser estimadas com base em suas temperaturas superficiais, a partir da hipótese de linearidade existente entre absorptâncias e temperaturas superficiais, conforme apresentado por Akbari, Levinson e Berdahl (1996). Assim, a partir da figura 6.63, tem-se:

$\alpha_{\text{Preto}}$  = absorptância da amostra de cor preta (%);

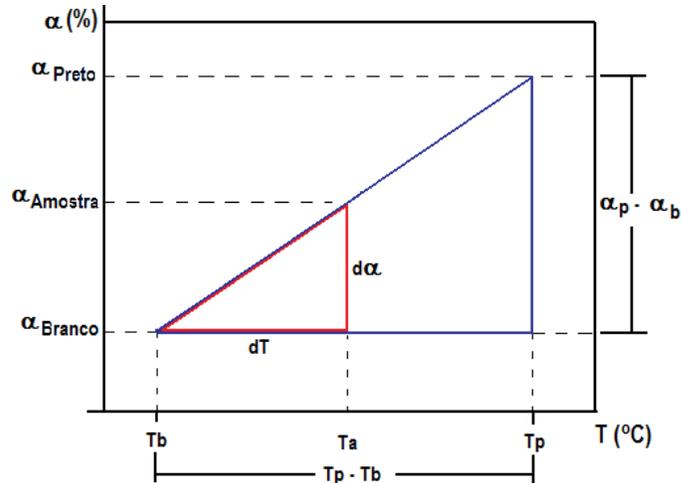
$\alpha_{\text{Branco}}$  = absorptância da amostra de cor branca (%);

$\alpha_{\text{Amostra}}$  = absorptância da amostra considerada (%);

$T_p$  = temperatura superficial da amostra de cor preta (°C);

$T_b$  = temperatura superficial da amostra de cor branca (°C);

$T_a$  = temperatura superficial da amostra considerada (°C);



**FIGURA 6.63:** Relação linear entre temperatura superficial e absorptância solar de superfícies opacas.

Onde :

$$dT = T_a - T_b \quad (^\circ\text{C}) \quad [\text{Eq. 6.5}]$$

$$d\alpha = \alpha_a - \alpha_b \quad (\%) \quad [\text{Eq. 6.6}]$$

Por semelhança de triângulos:

$$\frac{d\alpha}{dT} = \frac{\alpha_p - \alpha_b}{T_p - T_b} \quad [\text{Eq. 6.7}]$$

$$d\alpha = dT \times \left( \frac{\alpha_p - \alpha_b}{T_p - T_b} \right) \quad [\text{Eq. 6.8}]$$

$$\alpha_a = \alpha_b + d\alpha \quad [\text{Eq. 6.9}]$$

Assim, a partir das equações 6.8 e 6.9, chega-se à seguinte equação:

$$\alpha_a = \alpha_b + dT \times \left( \frac{\alpha_p - \alpha_b}{T_p - T_b} \right) \quad [\text{Eq. 6.10}]$$

A equação 6.10, resultante da análise gráfica da figura 6.63, foi utilizada para as análises de regressão linear para cálculo da absorptância solar total de superfícies opacas, a partir de suas temperaturas superficiais, chegando-se ao seguinte resultado:

$$\alpha_T = 17,29 + 0,898 \cdot K$$

[Eq. 6.11]

Sendo:

$\alpha_T$  = absorptância estimada para o espectro solar total (%);

K = fator de regressão, calculado pela seguinte expressão:

$$K = \alpha_{branco} + (T_{amostra} - T_{branco}) \times \left( \frac{\alpha_{preto} - \alpha_{branco}}{T_{preto} - T_{branco}} \right)$$

[Eq. 6.12]

Coeficiente de Determinação:  $R^2 = 0,99$

Desvio Padrão: SD = 2,13

Sendo:

$\alpha_{branco}$  = absorptância solar total do branco de referência (%);

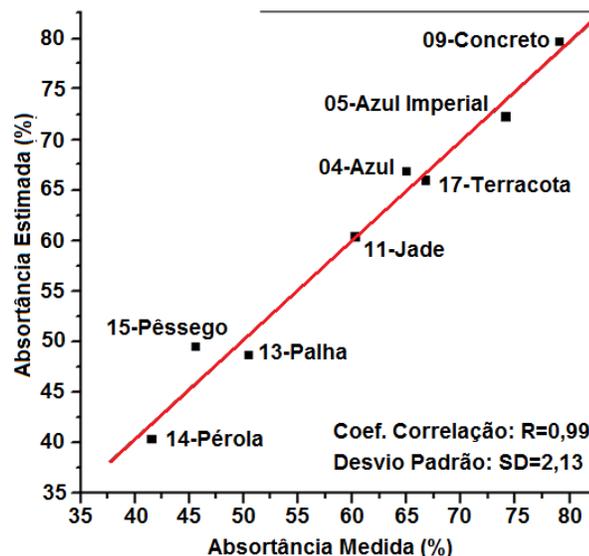
$\alpha_{preto}$  = absorptância solar total do preto de referência (%);

$T_{amostra}$  = temperatura superficial média da amostra considerada (°C);

$T_{branco}$  = temperatura superficial média do branco de referência (°C);

$T_{preto}$  = temperatura superficial média do preto de referência (°C).

Na Figura 6.64 é apresentada a correlação encontrada entre absorptâncias medidas em espectrofotômetro e valores estimados pela equação de regressão, baseadas nas medições de temperaturas superficiais das 10 amostras analisadas na primeira etapa.



**FIGURA 6.64:** Correlações entre absorptâncias medidas e estimadas - Temperaturas superficiais.

Na Tabela 6.48 são apresentados os valores de absorptância solar estimados através das medições de temperatura superficial das 10 amostras analisadas na primeira etapa.

**TABELA 6.48:** Absortâncias medidas em espectrofotômetro e estimadas através das temperaturas superficiais (%).

N°	Nome Comercial	Cor	Absortância Medida (%)	Absortância Estimada (%)
04	Azul		66,8	66,0
05	Azul Imperial		74,2	72,3
09	Concreto		79,1	79,7
11	Jade		60,3	60,3
13	Palha		45,6	49,3
14	Pérola		41,6	40,4
15	Pêssego		50,5	48,8
17	Terracota		65,0	66,9

Os valores estimados de absorptância solar a partir de medições de temperatura superficial para as 10 amostras da primeira etapa indicaram que este método é bastante preciso para obter valores de absorptância solar para superfícies opacas expostas ao Sol. A máxima diferença observada entre valores medidos e estimados foi de 3,7% para a amostra de cor Palha (n° 13), o que é um valor praticamente insignificante.

No entanto, em etapas posteriores da pesquisa, onde se procurou aumentar o número de amostras neste método de medição, não se obteve o mesmo comportamento esperado (quanto maior a absorptância da superfície, maior sua temperatura superficial). Não se sabe o motivo que provocou este comportamento para as amostras analisadas na segunda etapa, visto que se adotou o mesmo método de medição. Os resultados das temperaturas superficiais obtidas para estas amostras são apresentados nas tabelas 6.49 a 6.53 e nas figuras 6.65 a 6.67 a seguir.

**TABELA 6.49:** Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 1, segunda etapa.

continua

ETAPA 2 / GRUPO 1 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)							
Hora	29-Preto	33-Vermelho	22-Cinza	19-Amarelo Terra	07-Branco Gelo	39-Branco	
13:30	28,70	29,10	30,31	28,70	29,10	28,31	
13:31	28,70	29,10	29,90	28,70	29,10	28,31	
13:32	29,10	29,50	29,90	29,10	29,50	29,10	
13:33	29,10	29,90	30,31	29,50	29,90	29,50	
13:34	29,50	30,71	30,31	29,90	30,31	29,50	
13:35	29,90	31,12	30,71	30,31	30,31	29,90	
13:36	29,90	31,93	31,12	31,12	30,71	30,31	
13:37	30,31	32,34	31,52	31,52	31,12	30,31	
13:38	30,71	32,76	31,93	31,93	31,52	30,71	
13:39	31,12	33,59	32,34	32,34	31,93	31,12	
13:40	31,12	34,01	32,76	32,76	31,93	31,52	
13:41	31,52	34,43	33,17	33,17	32,34	31,93	
13:42	31,93	34,85	33,17	33,59	32,34	31,93	
13:43	31,93	35,27	33,59	33,59	32,76	32,34	

ETAPA 2 / GRUPO 1 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)						
Hora	29-Preto	33-Vermelho	22-Cinza	19-Amarelo Terra	07-Branco Gelo	39-Branco
13:44	32,34	35,70	34,01	34,01	32,76	32,76
13:45	32,34	36,13	34,43	34,43	33,17	32,76
13:46	32,76	36,57	34,85	34,85	33,59	33,17
13:47	33,17	37,00	35,27	35,27	34,01	33,59
13:48	33,17	37,44	35,70	35,70	34,01	34,01
13:49	33,59	37,88	36,13	36,13	34,43	34,43
13:50	34,01	38,32	36,13	36,13	34,85	34,43
13:51	34,43	38,32	36,57	36,57	34,85	34,85
13:52	34,43	38,77	37,00	37,00	35,27	35,27
13:53	34,85	39,22	37,00	37,00	35,27	35,27
13:54	34,85	39,22	37,44	37,00	35,27	35,70
13:55	34,85	39,67	37,44	37,44	35,70	35,70
13:56	35,27	39,67	37,44	37,44	35,70	36,13
13:57	35,27	40,13	37,88	37,88	36,13	36,13
13:58	35,70	40,13	37,88	37,88	36,13	36,57
13:59	35,70	40,59	38,32	38,32	36,57	36,57
<b>Média</b>	32,34	35,45	34,15	33,98	33,02	32,74

**TABELA 6.50:** Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 2, segunda etapa.

ETAPA 2 / GRUPO 2 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)						
Hora	29-Preto	34-Amarelo Canário	77-Verde Musgo	03-Areia	43-Laranja	39-Branco
14:05	37,00	40,59	39,22	39,22	37,44	37,88
14:06	37,00	40,13	39,22	39,22	37,88	37,88
14:07	37,00	40,13	39,22	39,22	37,88	37,88
14:08	37,00	40,13	39,22	39,22	37,44	37,88
14:09	37,00	40,13	39,22	38,77	37,44	37,88
14:10	37,00	40,59	39,22	39,22	37,88	37,88
14:11	37,44	41,05	39,22	39,22	37,88	37,88
14:12	37,44	41,52	39,22	39,22	37,88	37,88
14:13	37,44	41,52	39,22	39,22	37,88	37,88
14:14	37,44	41,99	39,67	39,22	37,88	37,88
14:15	37,44	41,99	39,67	39,22	37,88	37,88
14:16	37,44	42,46	39,67	39,67	38,32	38,32
14:17	37,88	42,46	40,13	39,67	38,32	38,32
14:18	37,88	42,94	40,13	39,67	38,32	38,32
14:19	37,88	43,42	40,13	39,67	38,77	38,77
14:20	37,88	43,42	40,59	40,13	38,77	38,77
14:21	38,32	43,91	40,59	40,13	38,77	38,77
14:22	38,32	43,91	41,05	40,13	39,22	39,22
14:23	38,77	44,40	41,05	40,13	39,22	39,22
14:24	38,77	44,40	41,05	40,13	39,22	39,22
14:25	38,77	44,40	41,05	40,13	39,22	39,22
14:26	38,77	43,91	41,05	40,13	39,22	38,77
14:27	38,77	43,42	41,05	39,67	39,22	38,77
14:28	38,77	43,42	41,05	39,67	39,22	38,77
14:29	38,77	43,91	41,05	39,67	39,22	38,77
14:30	38,77	43,91	41,05	39,67	39,22	38,77
14:31	38,77	43,91	41,05	39,67	39,22	38,77
14:32	38,77	44,40	41,05	39,67	39,22	38,77
14:33	38,77	44,40	41,05	39,67	39,67	39,22
14:34	38,77	44,89	41,05	40,13	39,67	39,22
14:35	38,77	44,89	41,52	40,13	39,67	39,22
<b>Média</b>	38,03	42,79	40,28	39,63	38,61	38,51

**TABELA 6.51:** Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 3, segunda etapa.

ETAPA 2 / GRUPO 3 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)						
Hora	29-Preto	70-Flamingo	49-Azul Bali	61-Vanila	41-Erva Doce	39-Branco
14:40	39,22	45,39	41,99	40,59	39,67	40,13
14:41	39,22	45,39	41,99	40,59	39,67	40,13
14:42	39,22	45,39	41,99	40,59	39,67	40,13
14:43	39,22	45,39	41,99	40,59	39,67	40,13
14:44	39,22	45,39	41,99	40,59	40,13	40,13
14:45	39,22	44,89	41,99	40,59	40,13	40,13
14:46	39,22	44,89	41,99	41,05	40,13	40,13
14:47	39,67	44,89	42,46	41,05	40,13	40,13
14:48	39,67	45,39	42,46	41,05	40,13	40,13
14:49	39,67	45,39	42,46	41,05	40,59	40,13
14:50	39,67	45,39	42,46	41,05	40,59	40,13
14:51	39,67	45,39	42,46	41,05	40,13	40,13
14:52	39,67	45,39	42,46	41,52	40,59	40,13
14:53	39,67	45,89	42,46	41,05	40,13	40,13
14:54	39,67	45,89	42,46	41,05	40,13	40,13
14:55	39,67	45,89	42,46	41,05	40,13	40,13
14:56	39,67	45,39	42,46	41,05	40,13	40,13
14:57	39,22	45,39	42,46	41,05	40,13	40,13
14:58	39,22	45,39	41,99	41,05	39,67	40,13
14:59	39,22	44,89	41,99	41,05	39,67	40,13
15:00	39,22	44,89	41,99	41,05	39,67	40,13
15:01	38,77	44,89	41,99	41,05	39,67	40,13
15:02	38,77	45,39	41,99	41,05	39,67	40,13
15:03	38,77	45,39	41,99	41,05	39,67	40,13
15:04	38,77	45,39	41,99	41,05	39,67	40,13
15:05	38,77	45,39	41,99	41,05	39,67	40,13
15:06	38,77	45,39	41,99	41,05	39,67	40,13
15:07	38,77	45,39	41,99	41,05	39,67	40,13
15:08	38,77	45,89	41,99	41,05	39,67	40,13
15:09	39,22	45,89	42,46	41,05	39,67	40,13
15:10	39,22	46,40	42,46	41,52	40,13	40,13
<b>Média</b>	<b>39,25</b>	<b>45,41</b>	<b>42,19</b>	<b>40,99</b>	<b>39,94</b>	<b>40,13</b>

**TABELA 6.52:** Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 4, segunda etapa.

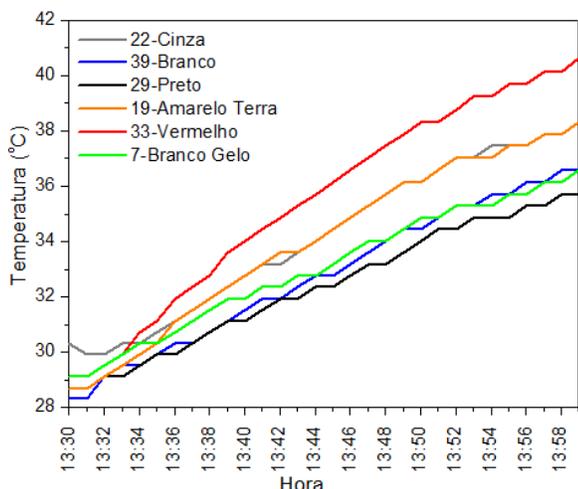
continua

ETAPA 2 / GRUPO 4 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)						
Hora	29-Preto	64-Azul Profundo	48-Alecrim	52-Camurça	44-Marfim	39-Branco
15:20	39,22	44,89	42,46	40,59	39,67	40,13
15:21	39,22	44,40	41,99	40,59	39,67	40,13
15:22	38,77	44,40	41,99	40,59	39,67	40,13
15:23	39,22	44,40	41,99	40,59	39,67	40,13
15:24	39,22	44,89	41,99	40,59	39,67	40,13
15:25	39,22	45,39	41,99	41,05	40,13	40,13
15:26	39,22	45,89	42,46	41,05	40,13	40,59
15:27	39,22	45,89	42,46	41,52	40,59	40,59
15:28	39,67	45,89	42,46	41,52	40,59	40,59
15:29	39,67	45,89	42,46	41,52	40,59	40,59
15:30	39,67	46,40	42,94	41,52	40,59	40,59
15:32	39,67	46,40	42,94	41,52	40,59	40,59
15:33	39,67	45,89	42,94	41,52	40,59	40,59
15:34	39,67	46,40	42,94	41,52	41,05	40,59
15:35	40,13	46,40	42,94	41,52	41,05	40,59

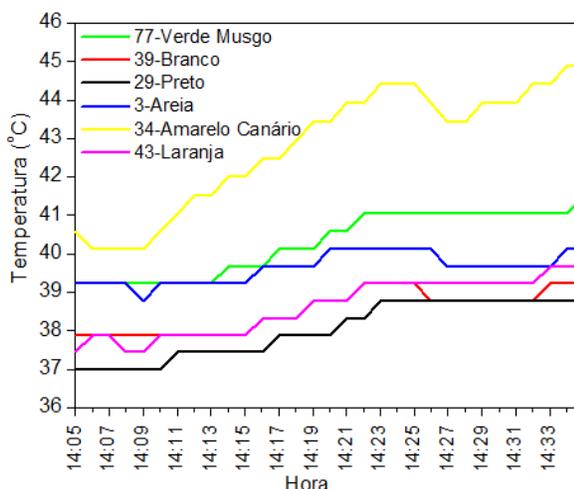
ETAPA 2 / GRUPO 4 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)						
Hora	29-Preto	64-Azul Profundo	48-Alecrim	52-Camurça	44-Marfim	39-Branco
15:36	40,13	46,91	42,94	41,99	41,05	41,05
15:37	40,13	46,91	42,94	41,52	41,05	40,59
15:38	40,13	46,91	42,94	41,52	40,59	40,13
15:39	40,13	46,91	42,94	41,05	40,59	40,13
15:40	39,67	46,40	42,46	40,59	40,13	39,67
15:41	39,67	45,89	42,46	40,13	40,13	39,67
15:42	39,22	45,39	41,99	40,13	39,67	39,22
15:43	39,22	44,40	41,99	39,67	39,67	39,22
15:44	38,77	43,91	41,52	39,67	39,67	38,77
15:45	38,77	43,42	41,05	39,22	39,22	38,77
15:46	38,77	42,94	41,05	38,77	39,22	38,32
15:47	38,32	41,99	40,59	38,32	38,77	37,88
15:48	38,32	41,52	40,13	37,88	38,32	37,88
15:49	37,88	41,52	40,13	37,88	38,32	37,44
15:50	37,88	41,52	39,67	37,44	37,88	37,44
<b>Média</b>	39,31	45,04	42,09	40,48	39,99	39,78

**TABELA 6.53:** Temperaturas superficiais medidas em placas de alumínio para amostras do grupo 5, segunda etapa.

ETAPA 2 / GRUPO 5 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS (°C)				
Hora	29-Preto	60-Telha	74-Pêssego	39-Branco
16:10	37,88	45,39	38,77	39,67
16:11	37,88	45,39	39,22	39,67
16:12	37,88	45,89	39,22	39,67
16:13	37,88	45,89	39,22	39,67
16:14	37,88	45,39	39,22	39,67
16:15	38,32	45,39	39,22	39,22
16:16	38,32	45,39	39,67	39,22
16:17	38,32	45,39	39,67	39,22
16:18	38,32	45,89	39,67	39,22
16:19	38,32	45,89	39,67	39,67
16:20	38,32	46,40	40,13	39,67
16:21	38,77	46,40	40,13	39,67
16:22	38,77	46,40	40,13	39,22
16:23	38,77	46,40	40,13	39,22
16:24	38,77	46,40	40,13	39,22
16:25	38,77	46,40	40,13	39,22
16:26	38,77	46,40	40,13	38,77
16:27	38,77	45,89	40,13	38,77
16:28	38,77	45,89	40,13	38,77
16:29	38,77	45,89	40,13	38,77
16:30	38,77	45,89	40,13	38,77
16:31	38,77	45,89	40,13	39,22
16:32	38,77	45,89	40,13	39,22
16:33	38,77	45,89	40,13	39,67
16:34	38,77	46,40	40,13	39,67
16:35	38,77	46,40	40,13	39,67
16:36	38,77	46,40	40,13	39,67
16:37	38,77	46,40	40,59	40,13
16:38	38,77	46,40	40,13	39,67
16:39	38,77	46,40	40,13	39,67
16:40	38,77	46,40	40,13	39,67
<b>Média</b>	38,54	46,02	39,89	39,39

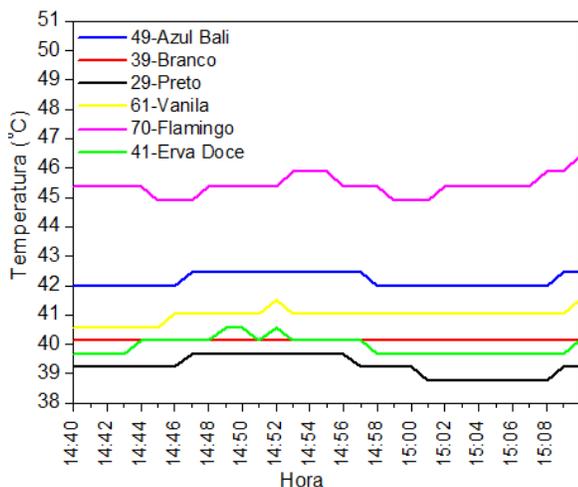


(a) Grupo 1.

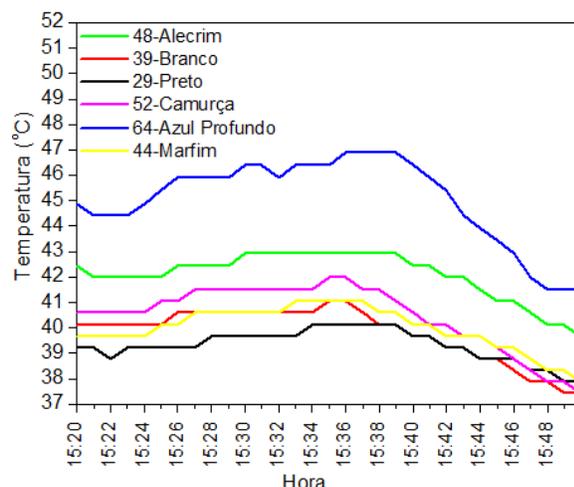


(b) Grupo 2.

**FIGURA 6.65:** Temperaturas superficiais medidas para as amostras dos Grupos 1 e 2, segunda etapa.

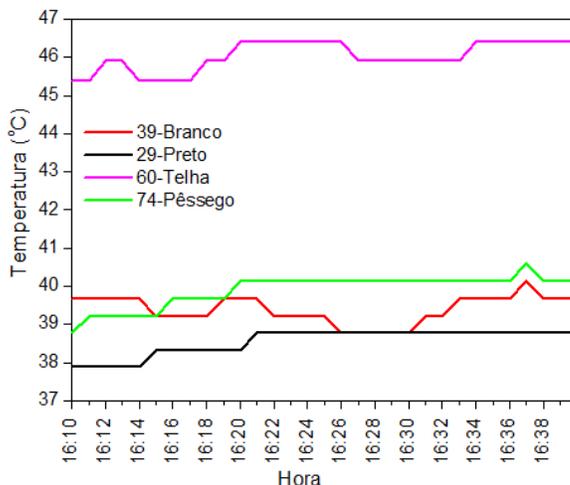


(a) Grupo 3.



(b) Grupo 4.

**FIGURA 6.66:** Temperaturas superficiais medidas para as amostras dos Grupos 3 e 4, segunda etapa.

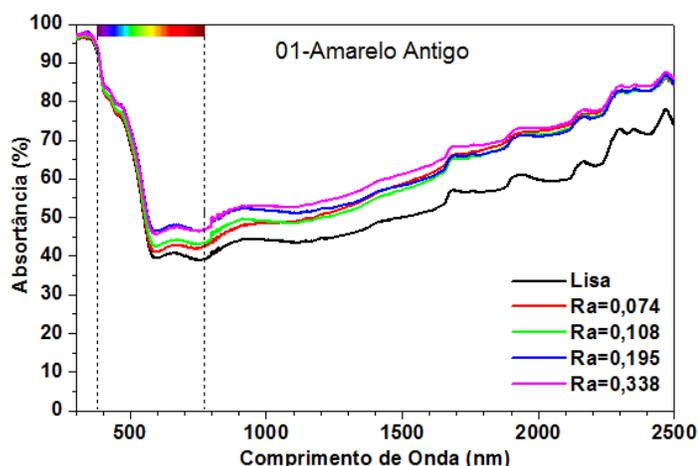


**FIGURA 6.67:** Temperaturas superficiais medidas para as amostras do Grupo 5, segunda etapa.

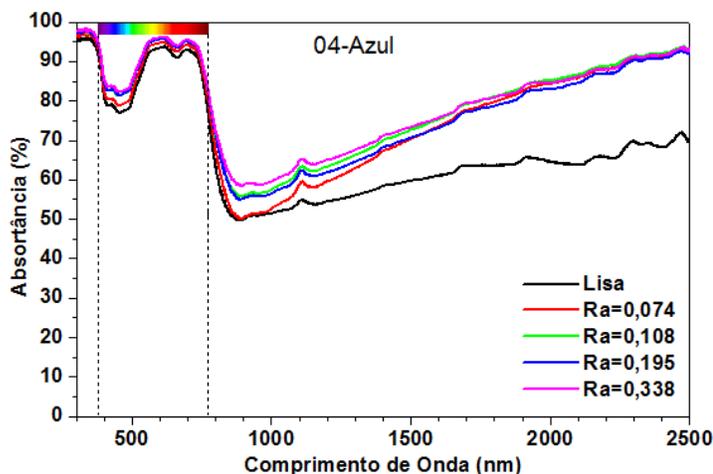
A amostra de cor preta (Preto 29,  $\alpha=97,7\%$ ), apesar de apresentar a maior absorptância entre as amostras analisadas na segunda etapa de medições, na maioria das vezes apresentou a menor temperatura superficial, menor até mesmo que a amostra de cor branca (Branco 39,  $\alpha=18,7\%$ ). Não se sabe o motivo deste comportamento para a amostra 29-Preto, e até mesmo de outras amostras de alta absorptância que apresentaram temperaturas superficiais mais baixas que amostras de menor absorptância. Sugere-se que este método seja revisto e aprofundado em outras pesquisas, pois os primeiros resultados indicaram que é possível obter a absorptância de superfícies opacas a partir de suas temperaturas superficiais, com valores estimados bastante satisfatórios quando comparados com dados medidos em espectrofotômetro.

## 6.5 ANÁLISE DO EFEITO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DAS AMOSTRAS

Nas figuras 6.68 a 6.72, são apresentadas as curvas espectrais de absorptância das amostras lisas e rugosas analisadas nesta etapa da pesquisa.



**FIGURA 6.68:** Curvas espectrais de absorptância das amostras rugosas e lisa: 01-Amarelo Antigo.



**FIGURA 6.69:** Curvas espectrais de absorptância das amostras rugosas e lisa: 04-Azul.

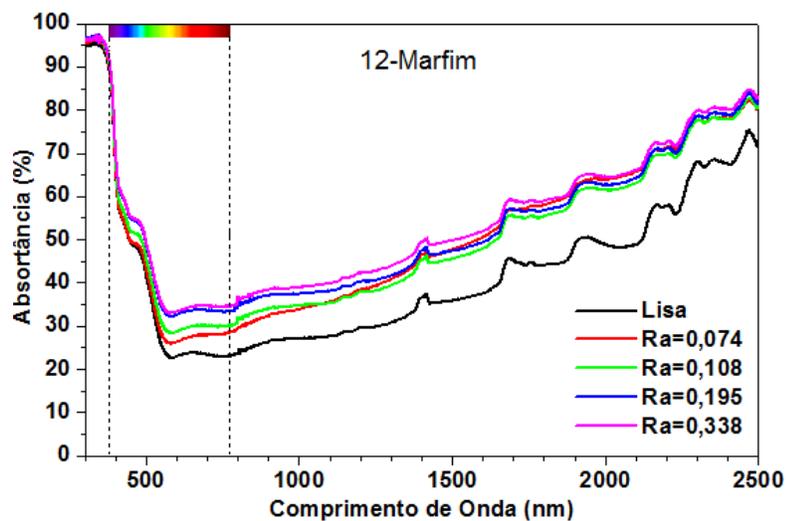


FIGURA 6.70: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 12-Marfim.

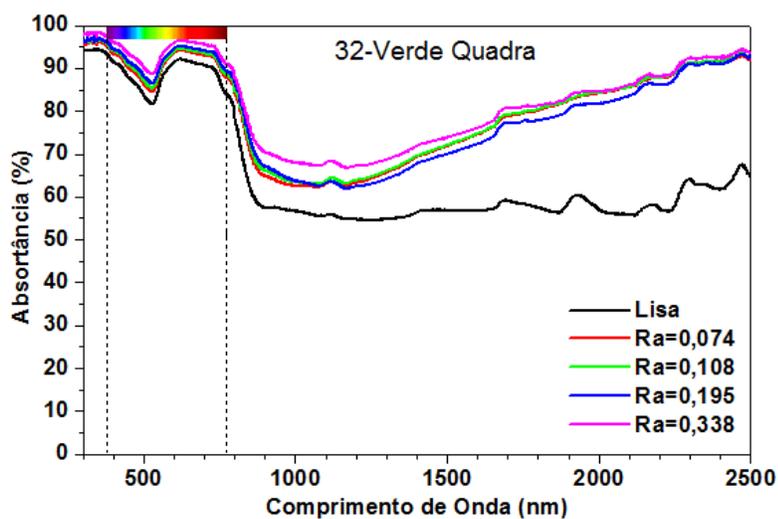


FIGURA 6.71: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 32-Verde Quadra.

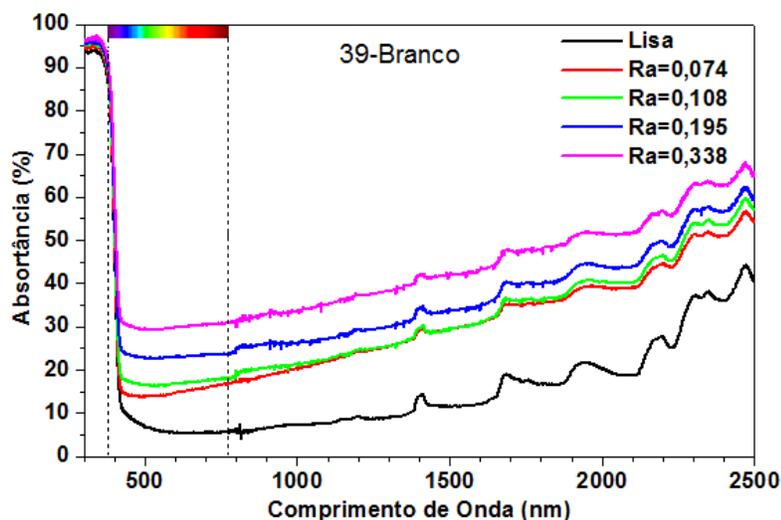


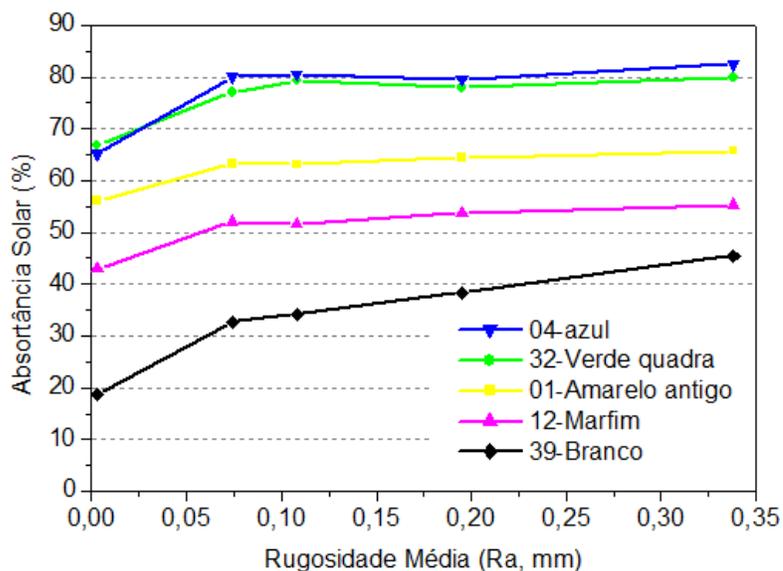
FIGURA 6.72: Curvas espectrais de absortância das amostras rugosas e lisa: 39-Branco.

Na Tabela 6.54 são apresentados os dados de absorvância solar médios obtidos para as amostras lisas e rugosas.

**TABELA 6.54:** Absortâncias totais para amostras lisas e rugosas.

Tinta aplicada sobre as amostras	Absortâncias totais (%), em função da rugosidade superficial.				
	Rugosidade (Ra, em mm) das amostras apoiadas sobre o sensor				
Nome comercial	Lisa (0,003)	0,074	0,108	0,195	0,338
01-Amarelo Antigo	56,1	63,3	63,1	64,5	65,8
04-Azul	66,8	77,1	79,2	78,0	79,8
12-Marfim	43,0	52,1	51,7	53,7	55,3
32-Verde Quadra	65,2	80,1	80,5	79,6	82,5
39-Branco	18,7	32,8	34,2	38,4	45,5

Análises de regressão indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absorvância de cada amostra (Figura 6.73) e os coeficientes angulares das retas apontam aumento mais significativo na tinta branca, de menor absorvância. Este comportamento seria previsível, pois nas amostras de menores absorvâncias as inter-reflexões envolvem grandes quantidades de energia. Os resultados sugerem, no entanto, a existência de outros fatores interferindo no processo, pois os aumentos de absorvância nas outras tintas não são proporcionais às suas respectivas absorvâncias. O marfim, cuja amostra lisa tem a segunda menor absorvância, sofre um aumento proporcionalmente menor que o azul. A explicação para esta aparente contradição exigirá novas análises dos resultados obtidos.



**FIGURA 6.73:** Absortâncias médias das amostras rugosas, em função da rugosidade média (Ra).

Embora sua amostra lisa indique absorvidade ligeiramente mais baixa, a tinta verde é mais sensível aos efeitos da rugosidade que a azul. Nesse caso, o motivo provável da inversão seja o fato da tinta verde ser do tipo semi-brilho, enquanto a azul é fosca. Já foi provado que a maior parte das tintas de acabamento semi-brilho analisadas neste trabalho apresentaram absorvências superiores às tintas de acabamento fosco.

## **7. CONCLUSÕES**

---

A partir do estudo aprofundado sobre a absortância solar de superfícies opacas e sua correta quantificação por métodos confiáveis e acessíveis apresentados nesta pesquisa, destaca-se:

- A divulgação de dados precisos e atualizados de absortância e refletância solar de superfícies opacas, a partir de ensaios laboratoriais em espectrofotômetro para 78 amostras pintadas com diferentes cores e tipos de tintas. Os resultados indicaram a necessidade da correta quantificação dessas propriedades físicas das superfícies, visto que o olho humano não é um indicador confiável de quanto uma superfície absorve ou reflete de energia solar.

- A necessidade de ajustar as absortâncias medidas em espectrofotômetro ao espectro solar padrão adotado. Esta correção faz-se necessária, pois as medições em espectrofotômetro caracterizam o comportamento ótico das diferentes amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro solar, o que não representa a quantidade de energia relativa que é absorvida pelas superfícies. Os valores de absortância solar obtidos através das medições em espectrofotômetro foram corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, a partir do espectro solar padrão adotado pela ASTM (ASTM, 2003). É importante salientar que o mais adequado é adotar um espectro solar padrão específico para o local que se está considerando, a partir das condições atmosféricas e climáticas locais.

- A divulgação de quatro métodos para determinar a absortância solar de superfícies opacas, sendo:

- *Medições com espectrofotômetro de refletância:* é o método mais preciso, permite obter a absortância de amostras ao longo de todo o espectro solar, possibilitando escolher as regiões de interesse para cada estudo. Fornece valores de refletância e absortância solar das superfícies quando expostas a uma energia constante ao longo do espectro, porém sem ajustar ao espectro solar padrão. Apesar de sua grande precisão, é um método pouco acessível a especialistas e projetistas, devido ao alto custo do equipamento e a sua pequena disponibilidade em laboratórios de pesquisa.

- *Medições com scanner comum:* a partir dos valores de RGB e HSL obtidos com a digitalização das amostras em scanner comum, pode-se estimar a absorptância solar para as regiões visível e total do espectro solar, com boas correlações e pequenos desvios-padrão. Os valores de absorptância obtidos neste método já são ajustados ao espectro solar padrão e indicam a quantidade de energia solar real que é absorvida pela superfície. Os valores estimados através desse método, na sua maioria, apresentaram diferenças inferiores a 10% dos dados medidos em espectrofotômetro.
- *Medições com o espectrômetro ALTA II:* equipamento de baixo custo, fácil de manipular e que fornece valores de refletância para onze diferentes comprimentos de onda das regiões visível e infravermelho-próximo. O método proposto nesta pesquisa apresenta equações para estimar a absorptância solar de superfícies opacas para as regiões visível e total do espectro solar, com base nos valores de refletância medidos com o espectrômetro ALTA II, cujos resultados indicaram a grande precisão do equipamento e do método proposto, com diferença máxima de 7% entre dados medidos e estimados. Os valores obtidos neste método já são ajustados ao espectro solar padrão.
- *Medições de temperatura superficial:* método que apresentou grande precisão (máxima diferença entre dados medidos e estimados de 3,7%), cujas absorptâncias são estimadas a partir das temperaturas superficiais das amostras, obedecendo à hipótese da linearidade. No entanto, medições realizadas para outros grupos de amostras não indicaram o mesmo comportamento linear, o que indica a necessidade de estudo mais aprofundado deste método. A equação apresentada neste método fornece valores de absorptância solar não ajustadas ao espectro solar padrão.
- Dos três procedimentos propostos nesta pesquisa, ***a estimativa de absorptância solar a partir de medições com o espectrômetro ALTA II se mostrou a mais precisa e confiável.***

- A rugosidade superficial da amostra deve ser considerada na determinação de sua absorvância solar. As análises de regressão para amostras rugosas pintadas com diferentes cores de tintas indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absorvância de cada superfície, com aumento mais significativo na amostra pintada de cor branca. Este comportamento é resultado da menor absorvância da tinta branca, onde as inter-reflexões na superfície rugosa envolvem maiores quantidades de energia. Os resultados das outras amostras sugerem, no entanto, a existência de outros fatores interferindo no processo, pois os aumentos de suas absorvâncias não foram proporcionais às suas respectivas absorvâncias. A explicação para esta aparente contradição exige novas análises dos resultados obtidos. Também se observou que as amostras pintadas com tintas semi-brilho foram mais sensíveis aos efeitos da rugosidade do que àquelas pintadas com tintas de acabamento fosco. Este comportamento provavelmente seja resultado da maior absorvância que as tintas semi-brilho apresentam em relação às tintas de acabamento fosco.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Medir em espectrofotômetro a absorvância solar de superfícies pintadas com outras cores e tipos de tintas e para diferentes materiais.
- Obter novas equações para o método baseado na medição de temperaturas superficiais.
- Aprofundar o estudo sobre o efeito da rugosidade superficial na absorvância solar, aumentando o número de amostras rugosas.
- Analisar a composição química das tintas para identificar os componentes que interferem no comportamento espectral das mesmas.
- Analisar o comportamento espectral de tintas “seletivas” quando expostas à radiação solar.
- Simular o desempenho térmico e energético de edificações com diferentes absorvâncias no envelope construtivo, e seu impacto para diferentes climas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AKBARI, H.; LEVINSON, R.; BERDAHL, P. ASTM standards for measuring solar reflectance and infrared emittance of construction materials and comparing their steady-state surface temperatures. **ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings: Efficiency and Sustainability**, v. 1, p. 1.1-1.9, 1996.
- AKBARI, H.; BRETZ, S.; KURN, D. M. ; HANFORD, J. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 117-126, 1997.
- AKBARI, H. ; BERHE, A. A. ; LEVINSON, R. ; GRAVELINE, S. ; FOLEY, K. Aging and weathering of cool roofing membranes. **Report LBNL-58055**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005.
- AKRIDGE, J. High-albedo roof coatings: impact on energy consumption. **ASHRAE Technical Data Bulletin**, v. 14, n. 2, 1998.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2003.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. (ASHRAE). **74-1988**: method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta, 1988.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE fundamentals handbook**. Atlanta, 2001.
- ANDRADE, J. C.; CUSTODIO, R. **Elementos de espectroscopia**: espectroscopia eletrônica de absorção. Disponível em: <<http://www.chemkeys.com.br>>. Acesso em: 25 nov. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6405**: Rugosidade das superfícies - Procedimentos. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-1**: desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-3**: desempenho térmico de edificações - parte 3: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.
- BACOUR, C.; Jacquemouda, S.; Tourbierb, Y.; Dechambrec, M.; Frangi, J.-P. Design and analysis of numerical experiments to compare four canopy reflectance models. **Remote sensing of environment**, n. 79, p. 72–83, 2002.

- BALLINGER, J. The impact of exterior colour on the thermal performance of dwellings. In: SOLAR 96: ENERGY FOR LIFE CONFERENCE, 34., 1996, Darwin. **Proceedings...** Darwin, 1996.
- BANSAL, N. K.; GARG, S. N.; KOTHARI, S. Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings. **Building and Environment**, v. 27, p. 31-37, 1992.
- BERDHAL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 149-158, 1997.
- BOUTWELL, C; SALINAS, Y. **Building for the future - phase 1: an energy saving materials research project**. Oxford: Mississippi Power Co., Rohm and Hass Co. and the University of Mississippi. 1986.
- BRETZ, S. E.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 159-167, 1997
- CARAM, R. M. **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com conforto ambiental em edificações**. 1998. 196p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1998.
- 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, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.
- CHENG, V. **Predicting thermal performance of building design in Hong Kong: scale-model measurement and field study**. 2004. 171p. Thesis (Master of Philosophy in Architecture) - The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong. 2004.
- CHEVALIER, B.; CHEVALIER, J. Caractérisation optique des enduits de façade. **Cahiers du CSTB**. Paris: Centre Scientifique et Technique du Batiment, livraison 320, n. 2499, 1991.
- CINTRA DO PRADO, L. **Iluminação natural**. São Paulo: FAU-USP, 1961.
- CROISSET, M. **L'higrothermique dans le bâtiment**. Paris: Eyrolles Éditions, 1972.
- DIONÍSIO, M. **Métodos instrumentais de análise: introdução aos métodos espectroscópicos**. Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Disponível em: <<http://www.dq.fct.unl.pt>>. Acesso em: 18 fev.2007.
- 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 (ASADES), 29., 2006, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires, 2006.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1984.
- FAZENDA, J. M. R. (Coord.) **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: ABRAFATI, 1995.

- FERREIRA, F; PRADO, R. T. A. Medição do albedo ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.
- GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied Science Publishers, 1981.
- GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- GIVONI, B.; HOFFMAN, M. E. Experimental study of the thermal characteristics of curtain walls in warm climate. **Building Research Station**, Technion, Haifa, 1965.
- \_\_\_\_\_. Effect of building materials on internal temperatures. **Building Research Station**, Technion, Haifa, 1968.
- GRANJA, A. D. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. 2002. 132p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.
- HILDEBRANDT, E.; BOS, W.; MOORE, R. Assessing the impacts of white roofs on building energy loads. **ASHRAE Technical Data Bulletin**, v. 14, n. 2, 1998.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. **IES Lighting Handbook: the standard lighting guide**. New York: Illuminating Engineering Society, 1984.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4287: geometrical product specifications (GPS) - surface texture: profile method - terms, definitions and surface texture parameters**. International Organization for Standardization, 1997.
- JONES, M. **The influence of color on heat absorption**. Report n. 246, Agricultural Experimental Station, The University of Arizona, 1968.
- KOENIGSBERGUER, O. H. ; INGERSOLL, T. ; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madri: Paraninfo, 1977.
- KOLOKOTRONI, M. YOUNG, A. N. Guidelines for bioclimatic housing design in Greece. **Building and Environment**, v. 25, p. 297-307, 1990.
- KONOPACKI, S.; AKBARI, H. Measured energy savings and demand reduction from a reflective roof membrane on a large retail store in Austin. **Report LBNL-47149**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001.
- KONOPACKI, S. et al. Demonstration of energy savings of cool roofs. **Report LBNL-40673**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 1998.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **The cool colors project**. Disponível em: <http://coolcolors.lbl.gov>. Acesso em: 10 nov. 2004.

LEVINSON, R.; AKBARI, H.; KONOPACKI, S. J.; BRETZ, S. Inclusion of cool roofs in non-residential title 24: prescriptive requirements. **Report LBNL-50451**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2002.

LEVINSON, R. **Cool colors for summer**: characterizing the radiative properties of pigments for cool roofs. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004. Disponível em: <<http://coolcolors.lbl.gov>>. Acesso em 30 ago. 2004.

LUNAR AND PLANETARY INSTITUTE. **ALTA reflectance spectrometer**. Disponível em: <http://www.lpi.usra.edu>. Acesso em 05 set. 2005.

MARQUES, M. I. E.; RODRIGUES, M. P. **Tintas, vernizes e revestimentos por pintura para a construção civil**. Lisboa: LNEC, 2000.

MARSCHNER, S, R, **Inverse rendering for computer graphics**. 1998. 163p. Dissertation (Doctor in Philosophy) - Cornell University, Cornell, 1998. Disponível em: <http://www.graphics.cornell.edu/pubs/1998/Mar98.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2005.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1991.

MEIER, A. Special issue on urban heat islands and cool communities. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 95-177, 1997.

MULHALL, C.; AYNSLEY, R. Solar absorptance and uninsulated houses in the humid tropics. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 16., 1999, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane, 1999.

OITICICA, M. L. G. R.; BARBIRATO, G. M.; SILVA, C. A. C.; MACHADO, I. B. L. Refletância de cores em superfícies construtivas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais...** Salvador, 2000.

PARKER, D.; Huang, J.; Konopacki, S.; Gartland, L.; Sherwin, J.; Gu, L. Measured and simulated performance of reflective roofing systems in residential buildings. **ASHRAE Transactions**, v. 104, n. 1, p. 963-975, 1998.

PARKER, D.; SHEINKOPF, K. Cool home features bring peak energy savings. **Home Energy**, v. 16, p. 22-27, 1999.

PARKER, D.; SHERWIN, J.; SONNE, J. Measured performance of a reflective roofing system in a Florida commercial building. **ASHRAE Technical Data Bulletin**, v. 14, n. 2, 1998.

PARKER, D.; SONNE, J.; SHERWIN, J. Demonstration of cooling savings of light colored roof surfacing in Florida commercial buildings: retail strip mall. **Report FSEC-CR-964-97**. Florida: Florida Solar Energy Center, 1997.

PEDROSA, I. **Da cor à cor inexistente**. 2. ed. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília, 1982.

- PEREIRA, C. P. A. **A cor no desenho industrial**: fundamentos para o projeto cromático de produtos. 2000. 183p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.
- 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.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima**: condicionamento térmico natural. Porto Alegre: Luzzatto, 1986.
- RORIZ, V. F. **Refrigeração evaporativa por aspersão em telhas de fibrocimento**: estudo teórico e experimental. 2007. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2007.
- RORIZ, V. F.; DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Fatores determinantes da absorptância solar de superfícies opacas In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.
- ROSADO, C.; PIZZUTTI, J. L. A influência das cores no conforto térmico-lumínico e na redução do consumo de energia nas edificações. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997.
- SANTANA, M. V.; GHISI, E. Influência do percentual de área de janela na fachada e da absorptância de paredes externas no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis-SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.
- SANTOS, J. C. P. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. 2002. 393p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo. 2002.
- SCHETTINI, R.; BAROLO, B. Estimating reflectance functions from tristimulus values. **Applied Signal Processing**, v. 3, p. 104-115, 1996.
- SCHILS, PAUL. **Color phenomena**. Disponível em: <http://home.wanadoo.nl/paulschils/04.03.html>. Acesso em: 20 set. 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.
- SHARIAH, A.; SHALABI, B.; ROUSAN, A.; TASHTOUSH, B. Effects of absorptance of external surfaces on heating and cooling loads of residential buildings in Jordan. **Energy Conversion and Management**, v. 39, n. 3/4, p. 273-284, 1998.
- SILVA, J. M. **Caracterização de tintas látex para a construção civil**: diagnóstico do mercado do estado de São Paulo. 2005. 199p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J. **Fundamentals of analytical chemistry**. 6th ed. New York: Sounders College Publishing, 2002.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal design of buildings**. Canberra: Raia Education Division, 1987.

SZOKOLAY, S. V. **Keeping cool**: principles to avoid overheating in buildings. Kangaroo Valley: PLEA Notes, 2001.

TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; HUANG, J. Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo. **Building and Environment**, v. 23, p. 271-283, 1988.

TAHA, H.; SAILOR, D.; AKBARI, H. High-albedo materials for reducing building cooling energy use. **Report LBNL-31721**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 1992.

TOMINAGA, S.; TANAKA, N. Estimating reflection parameters from a single color image. **IEEE Computer Graphics and Applications**, n. 20, p. 58-66, 2000.

TOULOUKIAN, Y. S.; DE WITT, D. P.; HERNICZ, R. S. Thermal radiative properties: coatings, thermophysical properties of matter. **IFI/Plenum**, New York, v. 9, 1972.

TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y.; SOULIOTIS, M.; NOUSIA, T. H. Solar collectors with colored absorbers. **Solar energy**, v. 68, n. 4, p. 343-356, 2000.

WYOFOTO. **Light, color and human vision**. Disponível em:  
[http://www.wyofoto.com/light\\_color\\_vision.htm](http://www.wyofoto.com/light_color_vision.htm). Acesso em: 12 mar. 2006.

## **ANEXO A - LISTA DE PUBLICAÇÕES**

---

1. DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Um método para estimar a absortância solar de superfícies opacas com base em imagens digitais. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 3., 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2005.
2. RORIZ, M.; DORNELLES, K. A. Identificação da absortância solar de superfícies opacas a partir de imagens digitalizadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005. p.1649-1657.
3. DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Identificação da absortância solar de superfícies opacas por meio de espectrômetro de baixo custo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.
4. DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A method to identify the solar absorptance of opaque surfaces with a low-cost spectrometer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 23., 2006, Genebra. **Proceedings...** Genebra, 2006.
5. DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Absortância solar de superfícies opacas e seus efeitos sobre micro-climas urbanos. In: Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 2., 2006, Braga. **Anais...** Braga, 2006.
6. 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 (ASADES), 29., 2006, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires, 2006.
7. DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absortância solar de superfícies opacas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

8. RORIZ, V. F.; DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Fatores determinantes da absorptância solar de superfícies opacas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.
9. DORNELLES, K. A.; RORIZ, V. F.; RORIZ, M. Solar absorptance of building opaque surfaces In: CISBAT - INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE, 6., 2007, Lausanne. **Proceedings...** Lausanne, 2007.
10. DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absorptância solar de superfícies opacas. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre: ANTAC, v.07, n.03, p.109-127, jul./set. 2007.
11. DORNELLES, K. A.; RORIZ, V. F.; RORIZ, M. Determination of the solar absorptance of opaque surfaces. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 24., 2007, Singapore. **Proceedings...** Singapore, 2007.