

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais PPGE3M

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTOS COLORIDOS
REFLETORES DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA
PROVENIENTE DA RADIAÇÃO SOLAR**

Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Eliane Coser, M.Sc.

Porto Alegre
Novembro 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica
e de Materiais PPGE3M

TESE DE DOUTORADO

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTOS COLORIDOS
REFLETORES DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA
PROVENIENTE DA RADIAÇÃO SOLAR**

Eliane Coser, M. Sc.

Trabalho realizado no Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Porto Alegre
2014

Está Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração de Ciência e Tecnologia dos Materiais e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Arthur Ferreira (UFRGS)

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Izete Zanesco - Tecnologia em Energia Solar – NT-Solar – PUCRS

Prof. Dr. Arno Krenzinger - Laboratório de Energia Solar — LABSOL- UFRGS

Dr. Rafael Silveira Peres - UFRGS

Prof. Dr.-Ing. Telmo Roberto Strohaecker
Coordenador do PPGE3M

Que os nossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

AGRADECIMENTO

A minha família e principalmente ao Maikon,
pelo incentivo, pelo carinho
e por todo o apoio.

AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu sincero reconhecimento.

Ao professor Carlos Arthur Ferreira do Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o meu reconhecimento pela orientação, auxílio e confiança no desenvolvimento desta Tese e por todo o apoio e contribuição para o meu desenvolvimento profissional e pela amizade.

Aos demais professores do PPGE3M, que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento durante a minha pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Arno Krenzinger do Laboratório de Energia Solar (LABSOL) e o Prof. Dr. Marcelo Pereira do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o meu reconhecimento pelo auxílio no desenvolvimento desta Tese, o meu muito obrigada.

Aos amigos do Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL) e do Instituto SENAI de Inovação de Engenharia de Polímeros (ISI), pela amizade, compreensão e ajuda para realização deste trabalho.

A UFRGS, PPGE3M, CNPq e ISI Engenharia de Polímeros pelo suporte técnico financeiro para a realização do meu doutorado.

As empresas Águia Química, BYK e Net Color, pelo apoio e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos alunos bolsistas de iniciação científica, William M. Souza e Vicente F. Moritz pela amizade e colaboração na realização dos experimentos práticos durante a realização deste trabalho, o meu mais sincero agradecimento.

Aos meus amigos e colegas do LAPOL e ISI de Engenharia de Polímero, muito obrigada pela amizade, parceria e estímulo e por todos os ótimos momentos vividos em suas companhias.

Aos meus amigos (as) Cristiane Becker, Jonathan Ramos e Núbia Preuss, o meu muito obrigada por todo o apoio e colaboração para a realização deste trabalho.

A minha família meus pais e meus irmãos, principalmente a minha cunhada Elise Coser, pelo apoio e incentivo e por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu marido Maikom, por sua cumplicidade, paciência, incentivo e total companheirismo em todos os momentos o meu muito obrigada.

Aos amigos do peito que estiveram e estão comigo em todas as horas, o meu muito obrigada.

PUBLICAÇÕES

Artigo Publicado em revistas científicas

- COSER, E. Vicente F. Moritz, Krenzinger A., Ferreira C. A.; Colouread near infrared reflective paints. POLÍMEROS. ACEITO PARA PUBLICAÇÃO.

Trabalhos Publicados em congressos

Uma parte do trabalho experimental realizado durante o doutorado foi divulgado em diversos congressos de âmbito nacional e internacional.

- 12º CBPol - Congresso Brasileiro de Polímeros, 22-26 Setembro, 2013. Florianópolis, Brasil. REVESTIMENTOS POLIMÉRICOS COLORIDOS REFLETORES DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA.

COSER, E. Vicente Fróes Moritz, Ferreira, C. A.

- XV congreso Ibérico y X Congreso Iberoamericano de Energía Solar, 20 – 22 Junho, 2012. Vigo, Espanha. EFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA TEMPERATURA DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

KRENZINGER, A; Ferreira, C. A.; Coser, E.

- IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES, 18-21 Setembro, 2012. São Paulo, Brasil. INFLUÊNCIA DA REFLETIVIDADE SOLAR DO REVESTIMENTO DE TRANSFORMADORES NO SEU DESEMPENHO TÉRMICO.

KRENZINGER, A; Ferreira, C. A.; Coser, E.

- 20º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 4-8 Novembro, 2012, Juvenile, Brasil. ESTUDO DO EFEITO DE TINTAS COM PIGMENTOS ESPECIAIS USADAS NO REVESTIMENTO DE TRANSFORMADORES.

COSER, E.; Krenzinger, A. ; Ferreira, C. A. ; William M. Souza .

- 11º CBPol - Congresso Brasileiro de Polímeros, 16-20 de Outubro, 2012. Campos do Jordão, Brasil. AVALIAÇÃO DE TINTAS COM PIGMENTOS REFLETORES DE INFRAVERMELHO.

COSER, E.; Ferreira, C. A.; William M. Souza;

- IX Simpósio Argentino de Polymers - SAP, 15-18 Novembro, 2011, Bahía Blanca, Argentina. EVALUATION OF PAINT WITH INFRARED REFLECTIVE PIGMENTS.

COSER, E.; Ferreira, C. A.; William M. Souza,

Sumário

RESUMO.....	XXI
ABSTRACT	XXII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Radiação solar.....	4
3.2. Espectro Eletromagnético.....	7
3.3. Espectro Solar	7
3.4. Aquecimento Global	9
3.5. Transferência de calor	10
3.5.1. Condução	10
3.5.2. Convecção.....	11
3.5.3. Radiação térmica ou irradiação	12
3.6 Refletância Solar	13
3.7 Emissividade.....	13
3.7.1 Absorção, Transmissão e Reflexão.	17
3.7.2 Absorção.....	18
3.7.3 Refletância.....	18
3.7.4 Transmitância de Luz.....	19
3.8. Ilha de calor urbana	20
3.9. Pigmentos refletivos.....	23
3.10. Tintas contendo pigmentos refletivos	25
3.11. Resfriamento Passivo nas Edificações	28
3.12. Tintas.....	29
3.12.1. Composição de uma tinta	29
3.12.2. Fração volumétrica de pigmentos (PVC)	31
3.12.3. Concentração Volumétrica Crítica de Pigmento (CPVC)	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1. Reagentes	34
4.2. Tintas comerciais.....	37
4.3. Preparações das tintas	37
4.4. Preparação dos corpos de prova	41

4.5.	Aplicação das tintas à base de solvente sobre os corpos de provas.....	43
4.6.	Caracterizações das amostras	47
4.6.1.	Espessura da película úmida.....	47
4.6.2.	Espessura da película seca	47
4.6.3.	Medida da Emissividade	47
4.6.4.	Distribuição Granulométrica.....	48
4.6.5.	Teste de Aderência.....	49
4.6.6.	Método de aderência por tração Pull-off	49
4.6.7.	Espectrofotômetro	51
4.6.8.	Câmera Termográfica.....	51
4.6.9.	Determinação da Cor e Brilho.....	52
4.7.	Técnicas de envelhecimento acelerado.....	55
4.7.1.	Envelhecimento Acelerado por Weatherometer	55
4.7.2.	Envelhecimento acelerado por Radiação Ultravioleta- UV	56
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1.	Concentração volumétrica de pigmento (PVC).....	58
5.2.	Espessura da película seca e úmida	59
5.3.	Distribuição de tamanho de partícula por Difração a Laser	60
5.4.	Emissividade e Refletância Solar	61
5.5.	Método de aderência por tração Pull-off	62
5.6.	Teste de aderência por arrancamento em fita	64
5.7.	Análise Espectrofotométrica	65
5.7.1.	Revestimentos com cargas refletivas	68
5.8.	Temperaturas Superficiais por Câmera Termográfica	73
5.9.	Determinação da Cor e Brilho.....	80
5.10.	Influência do Envelhecimento Acelerado por Weatherometer	82
5.11.	Influência do Envelhecimento Acelerado por Radiação Ultravioleta (UV).....	98
5.12.	Medidas da temperatura durante irradiação com lâmpada Infravermelho	111
5.13.	REVESTIMENTOS REFLETIVOS A BASE ÁGUA	119
5.13.1.	Concentração volumétrica de pigmento (PVC) das tintas à base água	119
5.13.2.	Espessura da película seca e úmida das tintas a base água	120
5.13.3.	Análise espectrofotometria de diferentes resinas.....	120
5.13.4.	Tintas base aquosas com pigmentos diferentes	121
6.	CONCLUSÕES.....	124

7. TRABALHOS FUTUROS.....	126
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

Índice de Figuras

Figura 1: A energia do Sol provém de reações nucleares no seu interior.	5
Figura 2: Irradiação solar no hemisfério sul e norte no planeta Terra	6
Figura 3: Espectro eletromagnético.....	7
Figura 4: Comprimento de onda aproximado das cores no espectro visível (nm)	7
Figura 5: Espectro Solar.....	9
Figura 6: Representação esquemática do aquecimento do Planeta Terra	10
Figura 7: Esquema da distribuição da radiação solar em uma edificação	12
Figura 8: Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de materiais de construção	15
Figura 9: Esquema do processo de absorção, reflexão e transmissão da radiação solar.	17
Figura 10: Esquema da reflexão especular e difusa	19
Figura 11: Fenômeno típico das grandes cidades.....	21
Figura 12: Telhados verdes	21
Figura 13: Refletância total do dióxido de titânio nas formas anatase e rutilo.....	25
Figura 14: Imagem da câmera de infravermelho do pigmento convencional (a) e refletivo (b)	26
Figura 15: Imagem da câmera termográfica do revestimento da cor preta, (1,2) revestimento frio e (3,4) revestimentos da cor padrão	27
Figura 16: Imagens dos revestimentos termocrômicos, a) visíveis e b) infravermelha, ambas na cor marrom	28
Figura 17: Composição básica de tintas à base solvente	29
Figura 18: Influência do PVC nas propriedades das tintas	32
Figura 19: Equipamento para a produção da tinta a) dispersor, b) disco do tipo Cowles, c) reator encamisado.....	38
Figura 20: Dispositivo utilizado para determinar a fineza da tinta.	39
Figura 21: Moinho de microesfera Dispermat ® SL-M	40
Figura 22: Placas de fibrocimento e de vidro sem revestimentos.....	41
Figura 23: Placas de vidro (10 x 5 cm) tintas à base de solvente, a) TARBr e TCBr, b) TARAz e TCAz, c) TARAM-1 e TCAM-1 d) TARAM-2 e TCAM-2, e) TARMr-1 e TCMr-1, f) TARAM-2 e TCAM-2 e g) TARPr TCPr.....	44
Figura 24: Placas de fibrocimento no tamanho de 15 x 15 cm, a) TARAM-2 e TCAM-2, b) TARAM-1 e TCAM-1, c) TARPr TCPr, d) TARAz e TCAz, e) TARBr e TCBr, f) TARAM-2 e TCAM-2 e g) TARAM-1 e TCAM-1.....	46
Figura 25: Esquema do aparato comercial para medidas de emissividade e	

materiais [42.].....	48
Figura 26: Equipamento para ensaio de arrancamento <i>Pull-off</i> .	50
Figura 27: Forma do aplicador da força no equipamento	50
Figura 28: (a) Espectrofotômetro Agilent Cary 5000 e (b) esfera integradora para medidas de refletância total.	51
Figura 29: Câmera termográfica FlukeTiR35.	52
Figura 30: Espectrofotômetro portátil da Byk Gardner	52
Figura 31: Sistemas de cor L^* , a^* , b^*	53
Figura 32: Esquema do equipamento para a exposição da lâmpada radiante infravermelha.	55
Figura 33: Câmara de envelhecimento “Xênon” e suporte para as amostras.	56
Figura 34: Câmara de envelhecimento em radiação ultravioleta.	57
Figura 35: Porta amostra em radiação ultravioleta (UV).	57
Figura 36: Distribuição granulométrica da amostra de dióxido de titânio (TiO_2).	61
Figura 37: Método de arrancamento <i>pull-off</i> (a) e arrancamento da Dolly do substrato (b).	63
Figura 38: Força de arrancamento das tintas comerciais e refletivas segundo a norma ASTM D4541-09	63
Figura 39: Curvas de refletância das placas de fibrocimento sem revestimento (a) e das tintas refletiva TARBr e comercial TCBBr (b).	65
Figura 40: Curvas de refletância das tintas, a) TARAm-1 e TCAM-1 e b) TARAm-2 e TCAM-2.	66
Figura 41: Curvas de refletância das tintas, a) TARMr-1 e TCMr-1 e b) TARMr-2 e TCMr-2.	67
Figura 42: Curvas de refletância das placas de fibrocimento, (a) TARAz e TCAz e (b) TARPr e TCPr.	68
Figura 43: Refletância das tintas com (a) pigmento TiO_2 , (b) cargas com esferas ocas de vidro e (c) cargas lamelares.	69
Figura 44: Refletância das tintas, (a) TARBr, (b) TARAm-1, (c) tinta preparada com mistura de 25% TiO_2 e 75% do pigmento amarelo 1 e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO_2 e 25% do pigmento amarelo 1.	70
Figura 45: Refletância das tintas, (a) TARBr, (b) TARAm-2, (c) tinta preparada com mistura de 25% TiO_2 e 75% do pigmento amarelo 2 e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO_2 e 25% do pigmento amarelo 2.	71
Figura 46: Espectro das tintas, (a) TARBr, (b) TARMr-1, (c) tinta preparada com mistura de 25% TiO_2 e 75% do pigmento marrom 1 e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO_2 e 25% do pigmento marrom 1.	72
Figura 47: Espectro das tintas, (a) TARBr, (b) TARAz, (c) tinta preparada com	

mistura de 25% TiO ₂ e 75% do pigmento azul e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO ₂ e 25% do pigmento azul.....	73
Figura 48: a) Imagem térmica e b) natural da placa de fibrocimento sem revestimento.....	74
Figura 49: Imagens térmicas e naturais das placas de fibrocimento com revestimento a) TCB _r e b) TARBr	75
Figura 50: Imagens térmicas e naturais das placas de fibrocimento com revestimento a) TCM _r 1 e b) TARM _r 1.	76
Figura 51 Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento, a)TCM _r 2 e b)TARM _r 2.....	77
Figura 52: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimento TCA _m 1 e b) TARA _m 1.	77
Figura 53: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimento, a) TCA _m 2 e b) TARA _m 2.	78
Figura 54: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimento	79
Figura 55: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimentos a) TCP _r e b) TARPr.....	80
Figura 56: Distribuição de cores no gráfico do CIE a* b* da amostra TCB _r após o envelhecimento em 500 h.	86
Figura 57: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARBr (a) e TCB _r (b) e das imagens da amostra TARBr (c) e TCB _r (d) após 1000 horas de envelhecimento.	87
Figura 58: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARA _m -1 (a) e TCA _m -1 (b) e das imagens da amostra TARA _m -1 (c) e TCA _m -1 (d) após 1000 horas de envelhecimento.	88
Figura 59: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARA _m -2 (a) e TCA _m -2 (b) e das imagens da amostra TARA _m -2 (c) e TCA _m -2 (d) após 1000 horas de envelhecimento.	89
Figura 60: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARM _r -1 (a) e TCM _r -1 (b) e das imagens da amostra TARM _r -1 (c) e TCM _r -1 (d) após 1000 horas de envelhecimento.....	90
Figura 61: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARM _r -2 (a) e TCM _r -2 (b) e das imagens da amostra TARM _r -2 (c) e TCM _r -2 (d) após 1000 horas de envelhecimento.....	91
Figura 62: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARA _z (a) e TCA _z (b) e das imagens da amostra TARA _z (c) e TCA _z (d) após 1000 horas de envelhecimento.....	92
Figura 63: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento	

weatherometer da amostra TARPr (a) e TCPr (b) e das imagens da amostra TARPr (c) e TCPr (d) após 1000 horas de envelhecimento.....93

Figura 64: Curvas de refletância antes sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das placas de fibrocimento sem revestimento (a), das tintas refletivas TARBr e comerciais TCBr (b).....94

Figura 65: Curvas de refletância sem envelhecer e antes e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das tintas, a) TARAM-1 e TCAM-1 e b) TARAM-2 e TCAM-2.....95

Figura 66: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das tintas, a) TARMr-1 e TCMr-1 e b) TARMr-2 e TCMr-2.....96

Figura 67: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das tintas, a) TARAz e TCAz e b) TARPr e TCPr.97

Figura 68: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARBr (a) e TCPr (b) e das imagens da amostra TARBr (c) e TCBr (d) após 1000 horas de envelhecimento..... 101

Figura 69: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARAM-1(a) e TCAM-1(b) e das imagens da amostra TARAM-1(c) e TCAM-1(d) após 1000 horas de envelhecimento..... 102

Figura 70: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento UV da amostra TARAM-2 (a) e TCAM-2 (b) e das imagens da amostra TARAM-2 (c) e TCAM-2 (d) após 1000 horas de envelhecimento..... 103

Figura 71: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento UV da amostra TARMr-1 (a) e TCMr-1 (b) e das imagens da amostra TARMr-1 (c) e TCMr-1 (d) após 1000 horas de envelhecimento..... 104

Figura 72: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARMr-2 (a) e TCMr-2 (b) e das imagens da amostra TARMr-2 (c) e TCMr-2 (d) após 1000 horas de envelhecimento..... 105

Figura 73: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARAz (a) e TCAz (b) e das imagens da amostra TARAz (c) e TCAz (d) após 1000 horas de envelhecimento. 106

Figura 74: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARPr (a) e TCPr (b) e das imagens da amostra TARPr (c) e TCPr (d) após 1000 horas de envelhecimento..... 107

Figura 75: Curvas de refletância sem envelhecimento e após 1000 h de envelhecimento pela radiação Ultravioleta na placa de fibrocimento sem revestimento (a), das tintas refletivas TARBr e comerciais TCBr (b). 108

Figura 76: Curvas de refletância antes do envelhecimento e após 1000 h de envelhecimento pela radiação Ultravioleta nas tintas, a) TARAM-1 e TCAM-1 e

b) TARAm-2 e TCAm-2.....	109
Figura 77: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento por radiação UV das tintas, a) TARMr-1 e TCMr-1 e b) TARMr-2 e TCMr-2....	110
Figura 78: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento por radiação UV das tintas, a) TARAz e TCAz e b) TARPr e TCPr.	111
Figura 79: Temperatura da placa de fibrocimento revestida com amostra TARBr.	112
Figura 80: Temperatura das tintas TARBr e TCBr aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.	112
Figura 81: Temperatura das tintas TARAm-1 e TCAm-1 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.	113
Figura 82: Temperatura das tintas TARAm-2 e TCAm2 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.	114
Figura 83: Temperatura das tintas TARMr-1 e TCMr-1 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.	115
Figura 84: Temperatura das tintas TARMr-2 e TCMr-2 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.	116
Figura 85: Temperatura das tintas TARAz e TCAz aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.	117
Figura 86: Gráfico de temperatura da TARPr e TCPr aplicada em placas de fibrocimento.....	118
Figura 87: Refletância das tintas com diferentes resinas, (a) AQ 1621, (b) T8904, (c) 6170 BR.	121
Figura 88: Refletância das tintas base água com pigmentos, (a) branco, (b) amarelo 1, (c) marrom 1 e (c) azul.	122
Figura 89: Espectro das tintas à base água com diferentes pigmentos, a) somente resina, b) óxido de cobre, c) alumínio, d) óxido de zinco (ZnO_2), e) sulfato de bário ($BaSO_4$).....	123

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Aspecto de acabamento da pintura em função do PVC	31
Tabela 2: Composição utilizada nas tintas à base de solvente.....	38
Tabela 3: Composição utilizada nas tintas à base água.....	41
Tabela 4: Classificação do teste de adesão.	49
Tabela 6: Densidade e PVC das tintas à base solvente.	58
Tabela 7: Espessuras dos filmes úmidos e secos das tintas refletivas utilizadas nas placas de fibrocimento.	59
Tabela 8: Espessura dos filmes úmidos e secos das tintas comerciais utilizadas nas placas de fibrocimento.	59
Tabela 9: Distribuição granulométrica dos pigmentos na forma de pós.	60
Tabela 10: Valores de emissividade e refletância solar nas diferentes tintas.....	62
Tabela 11: Resultados do teste de aderência das tintas refletivas e comerciais.	64
Tabela 12: Médias das coordenadas das cores das películas de tintas refletivas e comerciais.	81
Tabela 13: Coordenadas das películas de tintas refetivas e comerciais após o envelhecimento de 500h e 1000h.	83
Tabela 14: Coordenadas das películas de tintas refletivas e comerciais após o envelhecimento de 500 h e 1000 h.	85
Tabela 15: Coordenadas das películas de tintas refletivas e comerciais após o envelhecimento de 500 h e 1000 h.	98
Tabela 16: Coordenadas das películas de tintas refletivas e comerciais após o envelhecimento UV de 500 h e 1000 h.	100
Tabela 17: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARBr e TCBr.....	113
Tabela 18: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARAm-1 e TCAm-1.....	114
Tabela 19: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARAm-2 e TCAm-2.....	115
Tabela 20: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARMr-1 e TCMr-1	116
Tabela 21: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARMr-2 e TCMr-2.....	117
Tabela 22: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARAz e TCAz.	118
Tabela 23: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARPr e TCPr.....	119

Tabela 24: PVC das tintas à base água	120
Tabela 25: Espessura das tintas a base água	120

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

UV	Ultravioleta
IV	Infravermelho
VIS	Visível
NIR	Infravermelho próximo
λ	Comprimento de onda
ε	Emissividade
G_{λ}	Irradiação espectral
G	Irradiação total
α	Absorbância
ρ	Refletância
T	Transmissividade
L*	Luminosidade
a*	Tons de verde/vermelho
b*	Tons de laranja/azul
w	watts
W/m ²	Watts por metro quadrado
TiO ₂	Dióxido de titânio
μ	Mícrons
nm	Nanômetros
ZnO	Óxido de cobre
CuO	Óxido de cobre
BaSO ₄	Sulfato de bário

RESUMO

Um dos fatores responsáveis pelo aquecimento da superfície terrestre é a absorção da radiação visível e infravermelha emitida pelo Sol. Os telhados das edificações são grandes absorvedores da radiação infravermelha provocando o aquecimento no interior das residências e causando desconforto aos moradores. Com o crescente desenvolvimento de cidades situadas em regiões quentes do planeta, ocorre um aumento do consumo de energia elétrica. Este aumento é provocado principalmente pela utilização de equipamentos de refrigeração, como por exemplo, ar condicionado doméstico. Para evitar o consumo excessivo de energia elétrica, é possível utilizar alguns revestimentos formulados com pigmentos especiais coloridos que são capazes de refletir a radiação infravermelha do espectro do infravermelho próximo. Para avaliar esse fenômeno, este trabalho de pesquisa teve o intuito de desenvolver tintas contendo pigmentos refletivos à radiação infravermelha, e também, realizar um estudo comparativo com as tintas disponíveis comercialmente às desenvolvidas na pesquisa. As tintas utilizadas nesta investigação foram processadas através de equipamentos adequados, visando à obtenção de produtos com qualidade superior as disponíveis no mercado. A resistência ao intemperismo dos revestimentos foi avaliada através de ensaios de envelhecimento acelerado, ensaio de intemperismo (weatherometer) e câmara de ultravioleta (UV) por um período de até 1000 horas. As propriedades refletivas foram avaliadas por espectrofotometria UV/VIS/NIR, câmara termográfica, determinação da cor e brilho e desempenho térmico por irradiação com uma lâmpada UV. Foi observado que as tintas produzidas no laboratório refletiram a radiação solar de uma forma mais satisfatória do que as tintas existentes no mercado. Desta forma é possível prever que a utilização de tintas com propriedades refletivas pode melhorar o conforto térmico dos moradores e diminuir os problemas decorrentes das quedas de energia elétrica.

ABSTRACT

One of the responsible factors for the warming of the earth's surface is the absorption of visible and infrared radiation emitted by the sun. The roofs of buildings are great absorbers of infrared radiation, generating heat inside homes and causing discomfort to residents. The development of cities located in warmer regions cause increase electricity in consumption resulting in, among other factors, by the use of refrigeration equipment, such as domestic air conditioning. For avoid excessive consumption of electricity, it is possible to use some colored coatings formulated with special pigments that are able to reflect near-infrared radiation. To evaluate this phenomenon, this work aimed to develop paints containing pigments reflective of infrared radiation and to perform a comparative study with some paints available commercially. The paints used in this investigation were processed using appropriate equipment, in order to obtain products with comparable quality to the paints available in the market. The weather resistance of the coatings has been evaluated by accelerated aging tests, exposition on weatherometer and ultraviolet (UV) camera for a period of up to 1000 hours. The reflective properties have been evaluated by UV / VIS / NIR spectrophotometry, thermographic camera, determination of color and brightness and thermal performance by irradiation with a UV lamp. It was observed that the paints produced in the laboratory reflected solar radiation in a more satisfactory manner than the coatings existing on the market. It is inferred, therefore, that one can improve the thermal comfort of residents and reduce problems arising from falls of electricity using the paints with reflective properties.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das grandes cidades provoca a elevação da temperatura nas grandes metrópoles, que também pode ser influenciada pelas propriedades radiantes dos materiais empregados na construção.

Recentemente, foi observado, principalmente nos países em desenvolvimento, uma crescente demanda por refrigeração no setor residencial. Os efeitos da ilha de calor urbano são sentidos em cidades densamente construídas, com reflexos no aumento da temperatura interna das edificações. Desta forma, o consumo de energia aumenta significativamente.

Atualmente, já é crescente a busca por construções que minimizem o aquecimento dos grandes centros e que ampliem o conforto térmico sem o uso de energia elétrica. Uma das alternativas é o uso da técnica de resfriamento passivo que através de uma arquitetura adequada, pode contribuir significativa na redução de calor das edificações.

O desempenho térmico dos materiais de construção é principalmente determinado por suas características ópticas e térmicas. A absorção da radiação solar e da emissividade à radiação de ondas longas são os fatores mais significativos.

Neste sentido, o desenvolvimento de produtos que se adaptem as novas condições impostas pelo ambiente é importante, uma vez que podem influenciar no consumo de energia elétrica, além de melhorar o conforto térmico no interior das edificações. A cobertura é o componente da construção mais exposta à radiação solar, logo, a seleção dos materiais usados nos revestimentos da superfície (telhados) influencia no comportamento térmico interno das edificações. A tinta é o material orgânico mais utilizado como revestimento na construção civil devido as suas propriedades estéticas e protetoras.

Pesquisas sobre tintas formuladas com pigmentos brancos e coloridos especiais, capazes de refletir a radiação solar na região do infravermelho próximo estão sendo realizadas e apresentam respostas favoráveis na diminuição do aquecimento da superfície de edificações. Aliar essas propriedades ao desempenho térmico de materiais de cobertura utilizados no mercado, formando um sistema de

telha-tinta, pode ser benéfico, uma vez que pode melhorar o conforto térmico dos moradores e diminuir os problemas de queda de energia que as concessionárias de energia elétrica enfrentam todos os anos nas estações quentes (verão).

Este trabalho visa estudar revestimentos especiais obtidos a partir de tintas contendo pigmentos coloridos refletores da radiação solar na região do infravermelho próximo que poderão ser aplicadas na construção civil (telhados, platibanda, paredes, etc.).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar tintas contendo pigmentos coloridos capazes de refletir a radiação infravermelha e verificar seu potencial para melhorar o desempenho térmico das edificações em telhados de fibrocimento, nas habitações brasileiras. Nos revestimentos produzidos no laboratório com diferentes pigmentos especiais foram mantidos constantes todos os parâmetros, tais como: resina, concentração dos aditivos, tempo de dispersão, espessura da amostra, os quais podem influenciar na refletância difusa. Os mesmos são comparados com revestimentos convencionais da mesma cor que estão disponíveis no mercado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Devido à rápida urbanização, o aquecimento urbano tornou-se um grave problema, juntamente com o aquecimento global. Na década de 90, estudos foram realizados e constataram que as ondas de calor têm aumentado e os eventos climáticos como estes deverão ser mais graves no futuro [1]. O aumento no consumo de energia continua a impulsionar o avanço de novas tecnologias destinadas a melhorar a eficiência energética. A utilização de pigmentos coloridos refletivos da radiação infravermelha em tintas pode contribuir para esta melhoria. Esses pigmentos são usados para dar cor ao substrato e refletir a radiação solar, conseqüentemente minimizando o acúmulo de calor, quando exposto à radiação solar. A reflexão proporciona uma diminuição do aquecimento do substrato exposto a radiação solar resultando em uma economia nos custos de energia elétrica [2, 3].

As coberturas das edificações são grandes absorvedores da radiação solar, conforme estudo realizado pela Universidade de Atenas. Pesquisadores avaliaram a eficiência dos revestimentos coloridos chamados “revestimentos frios” em comparação com revestimentos existentes no mercado. Eles foram monitorados por um período de 3 meses durante o dia (Agosto a Outubro, das 8h:00min às 19h:00min) e um período de 2 meses durante a noite (Novembro a Dezembro, das 22h:00 as 05h:00) através da medida da temperatura nas coberturas das edificações. Durante o dia, as temperaturas das superfícies das edificações (telhados) ficavam entre 31-36 °C quando pintadas na cor laranja e 40-49 °C quando pintadas na cor preta [4]. Desta forma os pesquisadores verificaram que os revestimentos coloridos reflexivos (frios) mantiveram-se em uma temperatura menor do que os revestimentos padrões.

3.1. Radiação solar

A radiação solar é a energia eletromagnética que atinge a terra, após ser absorvida pela atmosfera. A radiação solar é fonte de energia para todos os seres vivos, sendo responsável direta e indiretamente pela manutenção da vida na Terra e mantendo o planeta aquecido o ano todo [5]. A energia produzida pelo Sol é resultado de reações de fusão nuclear. A emissão ao meio circundante ocorre sob a forma de radiação eletromagnética, que é absorvida pelo planeta Terra e refletida de

volta para o espaço [6].

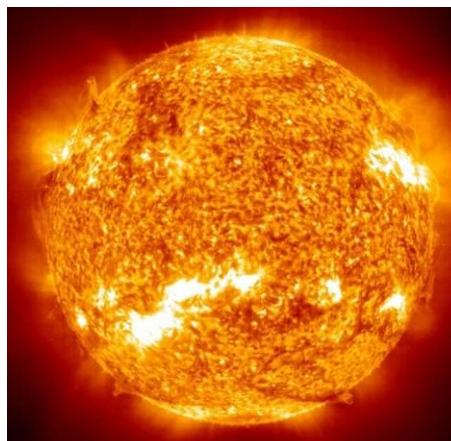


Figura 1: A energia do Sol provém de reações nucleares no seu interior [7].

Com uma potência total do Sol de $384,6 \times 10^{24}$ watts [8,9], o fluxo de radiação que a Terra recebe do Sol anualmente é estimada em $1,7 \times 10^{17}$ watts [8]. Este número representa cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia em todas as formas conhecidas. Em comparação com todas as outras formas de energia utilizada no nosso planeta, pode-se dizer que o Sol é uma fonte inesgotável de energia [9,10].

Com um volume de cerca de 1,3 milhões de vezes o volume do planeta, essa gigantesca usina consome 4 milhões de toneladas de matéria por segundo, mas ainda continuará a aquecer e iluminar a Terra por alguns bilhões de anos [11].

A quantidade de radiação varia em função da época do ano e da latitude. Este fenômeno pode ser entendido se examinado o movimento aparente da Terra em relação do Sol, que proporciona a alternância entre dias e noites. Além disso, o eixo de rotação da Terra está inclinado $23,5^\circ$ em relação ao plano, provocando um aquecimento muito menor nas latitudes polares do que no equador [7,12,13]. A Figura 2 mostra a posição relativa do Sol em relação do planeta Terra.

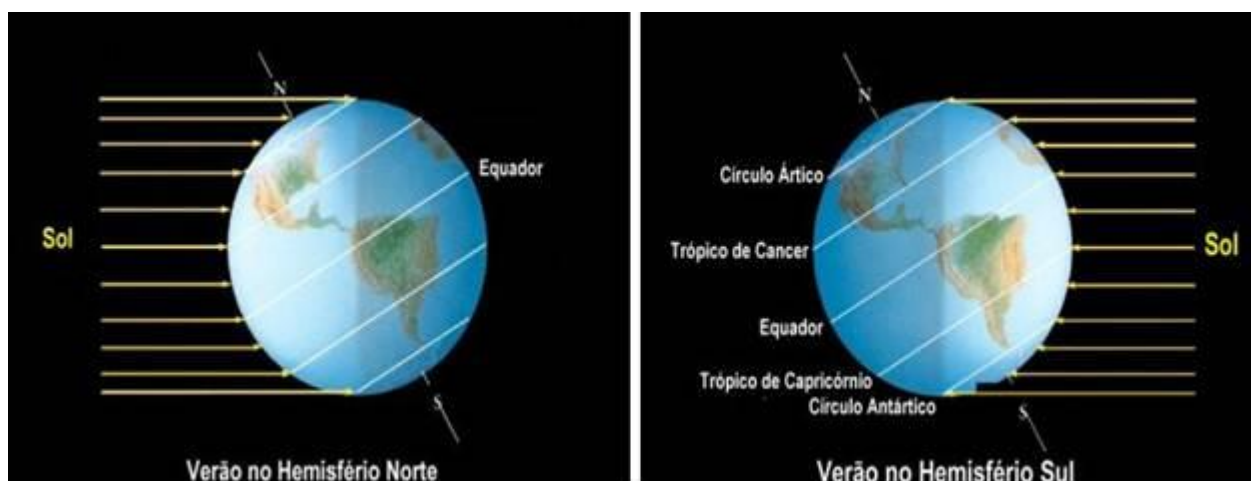


Figura 2: Irradiação solar no hemisfério sul e norte no planeta Terra [13].

Nem toda a radiação solar que atinge as camadas mais externas da atmosfera terrestre consegue chegar ao nível do solo. A maior parte é refletida de volta ao espaço ou absorvida pela atmosfera, e somente uma parcela chega à superfície. Cerca de 30% de toda a radiação solar que atinge a nossa atmosfera é refletida de volta para o espaço e outros 47% aproximadamente são absorvidos pela atmosfera e pela superfície do planeta [5,8]. De toda a energia que o Sol transmite à Terra, apenas 22,78% efetivamente é utilizada na geração de algum tipo de trabalho que atua no clima como: nos ventos, nas ondas, nas correntes e até no ciclo da água em todo o planeta.

Finalmente, apenas 0,22% - cerca de $4,0 \times 10^{10}$ kW - penetra no sistema biológico terrestre, através da fotossíntese, nas plantas e em outros organismos [6,14]. “O Sol, importante fonte de calor, incide sobre o edifício representando sempre certo ganho de calor (energia), que será função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos parâmetros dos edifícios” [15].

Conhecer o percurso dos raios solares é fundamental para o controle da radiação solar sobre as edificações. A localização do edifício, a criação de aberturas, o uso de artifícios para sombreamento, o uso de materiais isolantes etc., estão relacionados diretamente com o conhecimento da trajetória dos raios solares. Também é importante conhecer os materiais que cobrem a superfície das edificações, pois dependendo de suas características, os mesmos podem reduzir ou ampliar a produção de calor através da absorção ou reflexão da radiação solar.

3.2. Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético representa o conjunto de todas as ondas eletromagnéticas de diferentes frequências com os seus respectivos comprimentos de ondas. A Figura 3, mostra os sentidos inversos do aumento na frequência e do aumento no comprimento de onda.

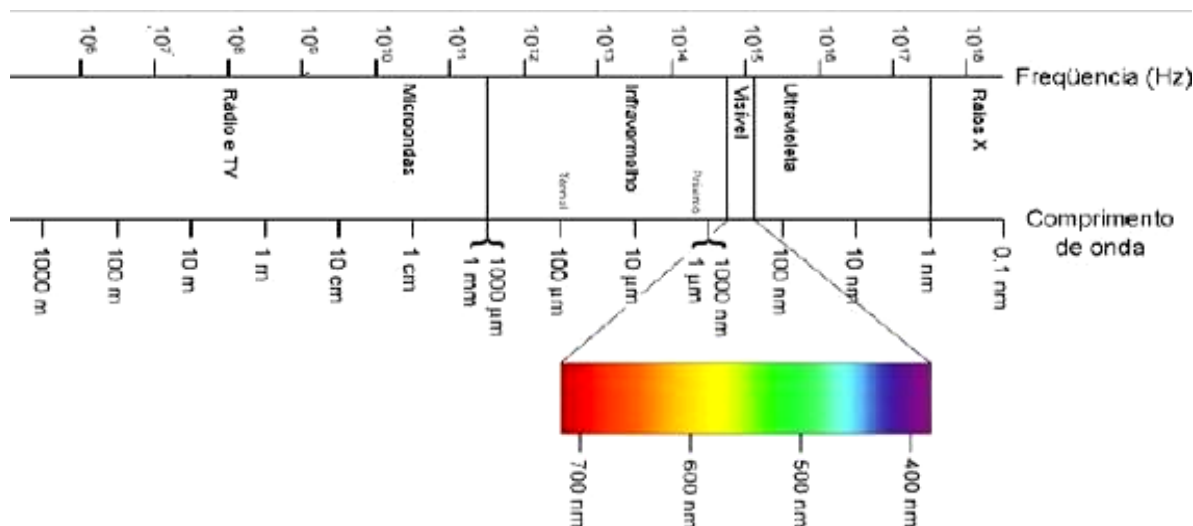


Figura 3: Espectro eletromagnético.
 Fonte: Info Escola [16]

Algumas frequências são visíveis, podendo ser captadas pelo olho humano. A sensação de cor que é produzida pela luz está associada a diferentes comprimentos de onda. As cores estão associadas aos intervalos espectrais conforme mostrado na Figura 4 [17].

Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Azul	Violeta
700	622	622	597	577	492
		577	492	455	455
					390

Figura 4: Comprimento de onda aproximado das cores no espectro visível (nm) [17].

3.3. Espectro Solar

O espectro solar, que atinge a superfície terrestre, é dividido em três regiões: ultravioleta (UV) (1 a 5%), visível (41 a 45%) e infravermelho (IV) (52 a 60%). Essas proporções são alteradas conforme as condições atmosféricas, nebulosidade e presença de vapor de água [18].

- **Ultravioleta (UV): (200– 400 nm)**– Região de ondas curtas subdividida em radiação UV-A – de 315 a 400 nm – que é responsável pelo bem estar dos peixes, corais e invertebrados, e ao ser humano é a radiação menos destrutiva; radiação UV-B – de 300 a 315 nm - que é o espectro responsável pelo bronzeamento da pele dos seres humanos sendo biologicamente destrutivo em caso de superexposição ao Sol, mas sendo componente vital para os répteis poderem assimilar o cálcio em seus sistemas; radiação UV-C – de 200 a 290 nm - são extremamente tóxicas, letais para muitos microorganismos, bem como para a maior parte dos vegetais, os quais são filtrados pela camada de ozônio. A radiação UV representa apenas 5% da energia do Sol que chega à superfície da Terra e é um dos principais contribuintes para a degradação dos revestimentos, provocando a quebra das ligações primárias, além de ser responsável pelas queimaduras solares em seres vivos [6,19,20,21].
- **Visível (VIS): (400- 700nm)** - Cerca de 45% da energia solar ocorre na região visível, através das diferentes cores detectadas pelo sistema óptico. Esta faixa de comprimento de onda é responsável pela cor. A luz branca é formada pela reflexão de todos os comprimentos de onda da região visível do espectro eletromagnético. Os pigmentos absorvem seletivamente a luz visível e refletem o restante. Se um objeto reflete toda a radiação na faixa do visível,então, o objeto é branco, mas se for um pigmento preto ocorre uma larga absorção sobre tal faixa espectral [2, 22].
- **Infravermelho (IV): (700- 2500 nm)** – Cerca de 50% da energia total do Sol que atinge a superfície terrestre se encontra na região do infravermelho. O IV é invisível ao olho humano, sendo que o infravermelho próximo é fonte de calor. Este espectro (IV) é dividido em duas partes [18,19,22,23]:
 - IV de ondas curtas (próximo) - de 700 a 1400 nm, onde ocorre a maior parte da incidência da energia solar;
 - IV de ondas médias – de 1400 a 2500 nm há pouca energia solar nesta faixa [24].

A radiação de onda longa (ou radiação térmica) é emitida a temperatura ambiente pelos corpos (ex: a Terra perde calor para o exterior equilibrando o calor ganho pela radiação solar incidente) [25].

Quanto maior a radiação solar sobre o objeto, maior o acúmulo de calor, porem quanto maior for a refletância solar, menor será o aquecimento. A radiação solar é a quantidade de energia que atinge a superfície da Terra por comprimento de onda. Na Figura 5 está representado o espectro da energia solar nos comprimentos de onda entre 200 e 2500 nm [23].

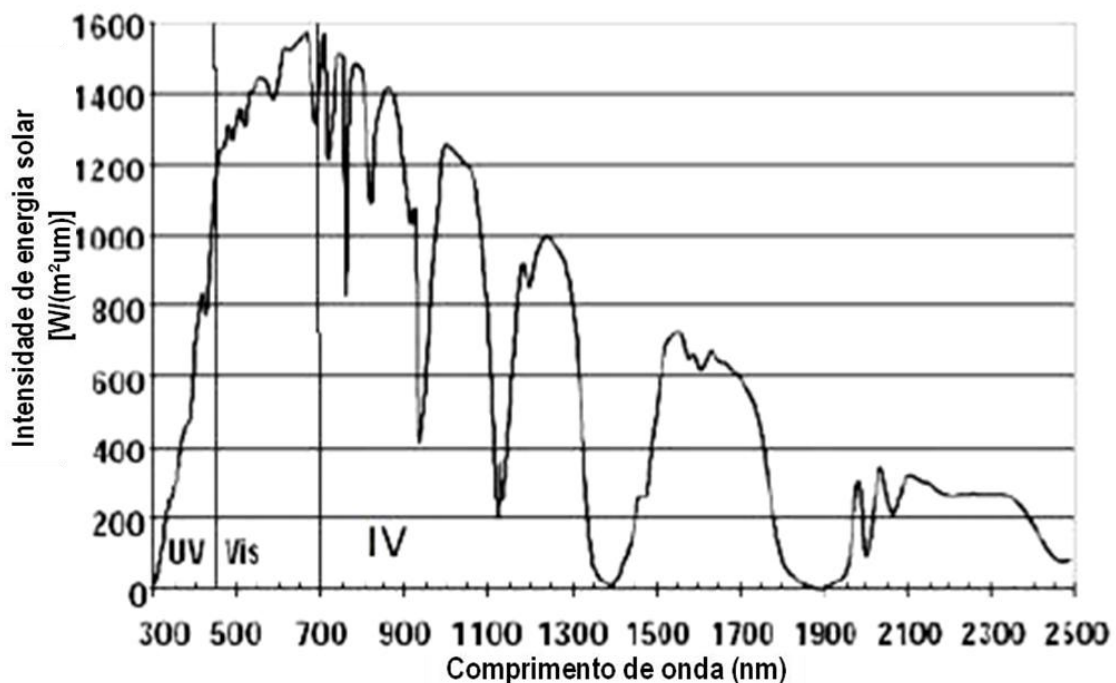


Figura 5: Espectro Solar [22].

3.4. Aquecimento Global

Para explicar as causas do aquecimento global pesquisadores da NASA simulam na forma computacional o sistema climático, que explica as mudanças na superfície da Terra e os efeitos naturais induzidos pelo homem. Segundo Pereira et al. [26], os estudos preveem que, as concentrações de gases provocam o aquecimento global. Baseado em uma série de cenários de emissões poluentes, as temperaturas médias da superfície poderão aumentar entre 2°C e 6°C até o final do século 21.

Segundo os cientistas, nos últimos 10 anos a temperatura da Terra está aumentando cada vez mais. A temperatura média do planeta em 2013 foi 0,8 °C mais quente que a linha base em meados do século 20 [27,28,29]. Pesquisadores indicam que a cada ano o planeta se torna mais quente.

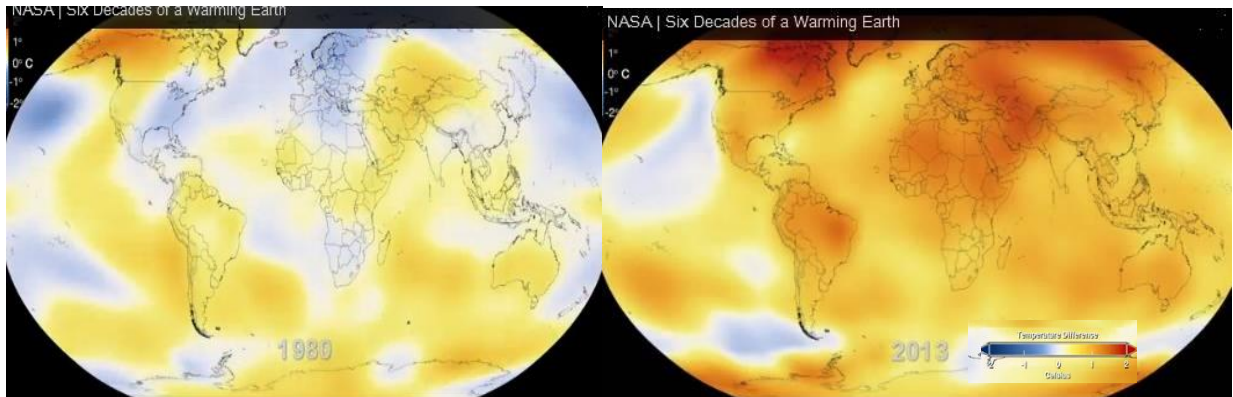


Figura 6: Representação esquemática do aquecimento do Planeta Terra [27].

3.5. Transferência de calor

Na transferência de calor, um dos principais conceitos envolvidos é a temperatura. A transferência de calor ocorre quando há diferentes temperaturas em uma ou mais massas (corpos) ou entre um corpo e o ambiente. “Este fenômeno de acordo com a primeira lei da termodinâmica diz que a energia (na forma de calor ou trabalho) não é criada e sim, transformada” [30].

Na prática o processo de transmissão de calor, não ocorre somente de uma maneira, sempre há simultaneidade entre dois ou mais destes fenômenos. A intensidade de qualquer processo de transferência de calor pode ser medida como fluxo de calor.

3.5.1. Condução

A condução realiza-se por contato molecular, ou, por contato entre dois corpos em diferentes temperaturas, de forma que o fluxo de calor é direcionado para as áreas de menor temperatura [31]. A transferência de calor por condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases. No caso de fluidos (gases e líquidos), a condução ocorre através das colisões entre átomos e moléculas e subsequente transferência de energia cinética. Em sólidos ocorre a combinação de vibrações das

moléculas e a energia transportada por elétrons livres. Assim, durante a transferência de energia cinética de uma molécula para outra não ocorre alteração da posição espacial das moléculas, ocorre apenas troca de energia [31].

A condução térmica em edificações é um processo de transferência de calor através de materiais sólidos (paredes ou telhados), ocorrendo pelo lado mais quente para o lado mais frio da edificação. É importante entender a forma como o fenômeno térmico ocorre dentro e fora das edificações [32].

A temperatura ao longo de um material homogêneo gera um fluxo de energia por condução no interior da cobertura. No caso de uma cobertura plana, por exemplo, o fluxo de transferência de calor por condução depende da espessura do corpo (envoltório da edificação), a condutividade (λ), da diferença de temperatura entre dois pontos (ΔT) e da área por onde o calor irá fluir [32].

3.5.2. Convecção

Convecção é a propagação que poderá ocorrer entre dois corpos, sendo que um deles é sólido e outro fluido (líquido, gás e vapor), em virtude de uma diferença de densidade entre as partes do sistema. A convecção pode ser de dois tipos: natural (causada pela diferença de temperatura) ou forçada. A convecção natural ocorre devido ao movimento do fluido que não é gerado por fonte externa como, por exemplo: bomba, ventilador, dispositivo de sucção entre outras, mas somente por diferença de densidade no fluido devido a um gradiente de temperatura. Na convecção forçada é provocado por fator mecânico como, por exemplo, uma bomba, no caso de um líquido, ou por um ventilador, no caso de um fluido gasoso [33].

A transferência de calor por convecção pode ocorrer em edificações, quando a temperatura da parede é maior do que a temperatura do ar. As moléculas do ar que estão próximas à parede irão trocar energia com as moléculas mais externas da parede. Quando as moléculas alcançarem certa temperatura elas irão subir, como consequência de sua menor densidade, fazendo com que outras moléculas ocupem o seu lugar sucessivamente [34].

3.5.3. Radiação térmica ou irradiação

A radiação é um mecanismo de troca de calor entre dois corpos como sólidos e pelos fluidos, pois a emissão do calor através da radiação ocorre nas moléculas que se situam a uma distância qualquer em relação à superfície. Essa forma de transferência de calor não necessita de um meio material para ocorrer como no caso da condução e convecção, pois a energia é transportada por ondas eletromagnéticas [35].

A radiação térmica é o processo de transferência de calor através de ondas eletromagnéticas e se refere à emissão contínua de energia da superfície em todos os corpos. Deslocam-se com a velocidade da luz e são transmitidas tanto através do vácuo como no ar [36]. Quando as ondas eletromagnéticas atingem um corpo que não é transparente, tal como a superfície da mão ou telhados de uma casa, elas são absorvidas e sua energia é convertida em calor [37].

Em uma edificação, a maior parte da transmissão de calor ocorre através das paredes e telhados e está transmissão se dá principalmente por radiação e por convecção (Figura 7) [38].



Figura 7: Esquema da distribuição da radiação solar em uma edificação [39].

A radiação solar ao se propagar na atmosfera é submetida a transformações complexas. Na camada exterior à atmosfera até incidir na superfície da Terra, a radiação é absorvida e espalhada. Devido a este espalhamento observa-se, no nível do solo, não somente radiação solar direta, na forma de feixe de raios solares

paralelos, mas também a radiação difusa (Figura 7). A soma destes componentes denomina-se de radiação solar global [40,41].

A transferência de calor por radiação pode ser diminuída através da redução da absorção da energia solar com o uso de um material externo altamente refletivo sobre a superfície. Materiais inorgânicos não metálicos, como telhas de fibrocimento são pouco emissivas, e quando pintados com tintas altamente refletivas podem contribuir para a redução da absorção de calor.

3.6 Refletância Solar

A refletância solar mede a capacidade de um material de refletir a radiação solar de sua superfície, considerando-se a refletância da radiação hemisférica. Será realizada a integral do espectro solar com a refletância difusa de uma amostra. A média é realizada na escala de 0 a 1 ou 0 a 100%.

A norma ASTM G173-03 [42] contém as tabelas do espectro da irradiação solar terrestre, o qual é utilizado nos cálculos de refletância solar como padrão. Nos dados contidos nestas tabelas estão em um intervalo de 280 nm a 4.000 nm para o comprimento de onda. Estes dados representam condições atmosféricas sem nuvens, às medidas à radiação solar (representa a radiação difusa e especular).

O cálculo da refletância solar (equação 1) de uma amostra é realizado segundo a norma ASTM E903-12 (equação 10 da norma) [43], com uma integral da amostra com o espectro da irradiação solar padrão segundo a norma ASTM G173-03 (tabela 2 na norma).

$$R_s = \frac{I_R}{I_0} = \frac{\int_0^{\infty} R_{\lambda} i_{\lambda,i} d\lambda}{\int_0^{\infty} i_{\lambda,i} d\lambda}$$

Equação 1

3.7 Emissividade

“A emissividade pode ser definida como a razão entre a energia radiante emitida por uma superfície real e a energia radiante emitida pelo corpo negro, de

mesma área e nas mesmas condições de temperatura” (Equação 2) [45].

$$Emissividade \equiv \varepsilon = \frac{\text{Energia emitida pela superfície real}}{\text{Energia emitida pelo corpo negro}} \quad \text{Equação 2}$$

Por definição, a emissividade do corpo negro é igual a um (1), para todos os comprimentos de onda, $\varepsilon = 1$. A emissividade é medida em uma escala de 0 a 1. A emissividade em qualquer material deve ser igual a 1 somando sempre a refletividade mais a transmissibilidade [44].

“A emissividade pode depender de alguns fatores como a temperatura do corpo, o comprimento de onda da energia emitida, e o ângulo da emissão”. Para calcular o potencial total radiante emitida por uma superfície é necessário incluir todas as direções e comprimentos de ondas [45].

Os materiais mais comuns da construção civil possuem uma alta emissividade, entretanto, tintas de todas as cores e vidros tem alta emissividade (emissividade hemisférica total da ordem de 0,90). Esses materiais são capazes de transferir 90% de sua energia radiante. Por outro lado, a folha de alumínio é uma excelente barreira radiante, ele tem uma baixa emissividade (0,05), portanto, elimina 95% da transferência de calor por radiação radiante [44,45]. Na Figura 8, são apresentadas, em forma de diagrama, as propriedades radiantes de alguns materiais utilizados na construção civil.

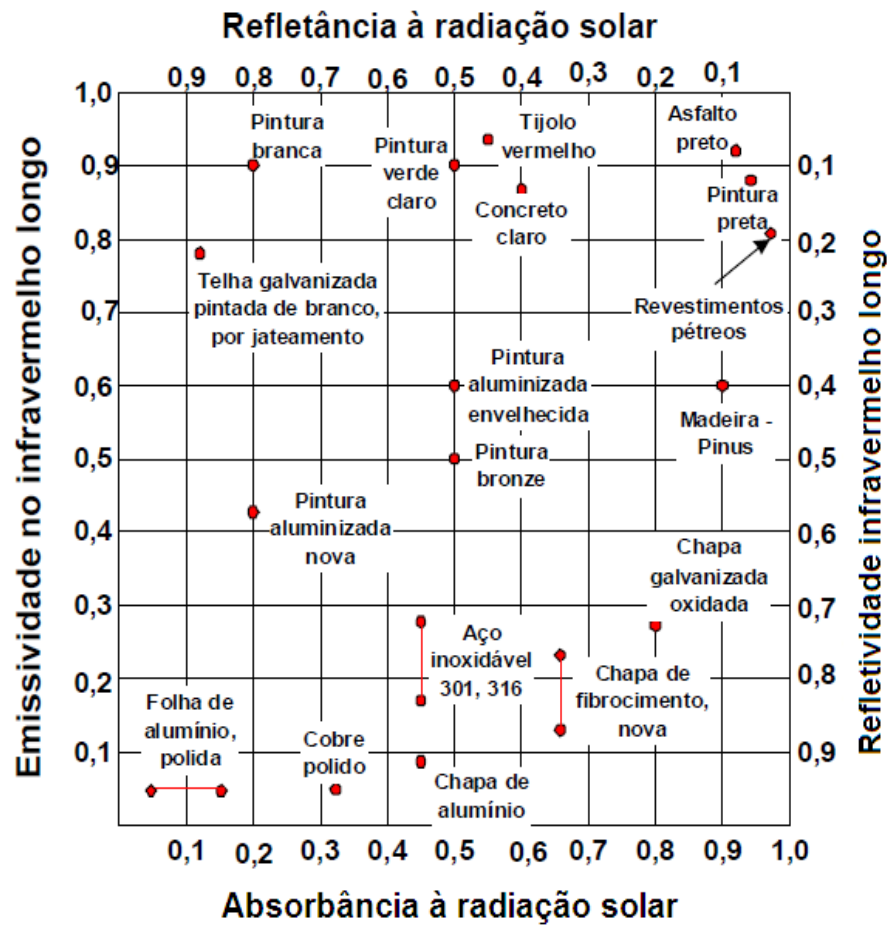


Figura 8: Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de materiais de construção [46].

A resposta de um material a radiação infravermelha pode ser bastante diferente de sua resposta à luz solar. Sabemos, por exemplo, que tinta branca reflete a radiação solar, muito mais do que uma tinta preta [44]. Na Figura 8 podemos comparar a emissividade com a refletância infravermelha em alguns materiais usados na construção civil. É importante observar que tipo de material será aplicado sobre o substrato, pois este pode aumentar ou diminuir a dissipação do calor superficial [47].

No Brasil, as telhas frequentemente utilizadas na construção são constituídas de três materiais: cimento, amianto ou barro (cerâmicas). As telhas de fibrocimento geralmente são utilizadas em edificações de baixa renda, por possuir um custo menor em relação às telhas de barro (cerâmicas), porém seu desempenho térmico é menor.

O melhor desempenho térmico ocorre nas telhas barros (cerâmicas) devido à capacidade de absorver água durante a noite através de seus poros. Desta maneira, parte da radiação incidente durante o dia é gasta no processo de evaporação da água absorvida, e somente após o término este processo é que as telhas começam a ser aquecidas [48].

A maneira de reduzir o ganho térmico vindo da cobertura pode ser encontrada ao utilizar materiais que tenham baixa emissividade, como o alumínio, emitindo pouco calor para o interior da edificação e refletindo a maior parte da radiação incidente para o ambiente externo. Os materiais que desempenham esta função na construção civil, geralmente são chamados de isolantes térmicos reflexivos ou de barreiras radiantes, pois dificultam a passagem do calor por radiação. O material mais utilizado neste processo é laminas de alumínio. Assim, os isolantes térmicos diferem na maneira de reduzir o fluxo de calor. As barreiras radiantes reduzem a transferência de calor através da baixa emissão e da alta reflexão da radiação incidente (CAREM, 2007, [48]).

A ideia de isolar termicamente ou diminuir a transferência de calor entre dois materiais que se encontram a níveis diferentes de temperatura visa: diminuir o consumo de energia elétrica, tanto para resfriar o ambiente como para aquecer o mesmo [48]. Assim, a razão de isolar termicamente as edificações é controlar ao máximo as condições térmicas do meio devido às altas temperaturas.

Segundo Al-Homoud [49], o isolamento térmico é formado por materiais ou combinações de materiais, que quando usados corretamente diminuem a passagem do fluxo de calor que atravessa o invólucro da edificação. Esse processo ocorre por condução, convecção e radiação. Os materiais mais utilizados para isolamento térmico são: materiais inorgânicos, orgânicos e metálicos ou membranas refletivas. Existem muitos tipos de isolantes térmicos no mercado, alguns com alta eficiência, outros com baixa eficiência, de qualquer forma, o uso destes isolamentos térmicos é importante.

Rosa et al. [50], estudaram a resistência térmica de quatro tipos de placas: placas de cortiça produzidas em laboratório (cortiça com resina epóxi), placas de cortiça industriais, placas de cortiça com cimento e também foram comparadas as placas de espuma de PVC. As placas foram adicionadas entre os tijolos. Ambos os materiais apresentaram um bom desempenho em condutividade térmica. O uso do

PVC garante maior proteção em casos de incêndio, mas são usados produtos clorados e a placa produzida no laboratório contém resina epóxi.

3.7.1 Absorção, Transmissão e Reflexão.

A irradiância espectral “ G_λ ” ($W/m^2 \mu m$) fluxo de energia da irradiância (λ) que incide sobre uma superfície por unidade de área e por intervalo de comprimento de onda unitário $d\lambda$ em torno de λ . A irradiação total “ G ” (W/m^2) engloba todas as contribuições espectrais, e pode ser calculada pela Equação 3 [45].

$$G = \int_0^{\infty} G_\gamma(\lambda) d\lambda \quad \text{Equação 3}$$

Para o componente espectral da irradiância G_λ , parte desta radiação pode ser absorvida $G_{\lambda,abs}$, parte pode ser refletida $G_{\lambda,ref}$, e parte pode ser transmitida $G_{\lambda,tr}$. A partir de um balanço de radiação no meio [45], está representado na Figura 9. A radiação é dada pela equação 4.

$$G_\lambda = G_{\lambda,abs} + G_{\lambda,ref} + G_{\lambda,tr} \quad \text{Equação 4}$$

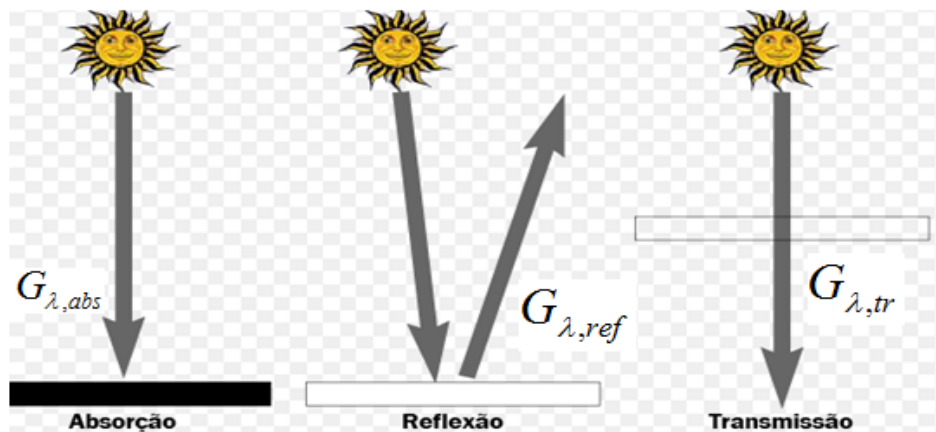


Figura 9: Esquema do processo de absorção, reflexão e transmissão da radiação solar.

Ou ainda, dividindo tudo pela irradiação G_λ , temos:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + T_\lambda = 1 \quad \text{Equação 5}$$

Onde α é a absorvância, ρ é a refletância, é a T transmitância.

Em geral, a determinação deste componente é complexa, depende das condições superiores e inferiores da superfície, do comprimento de onda da radiação, da composição e espessura do meio.

3.7.2 Absorção

A absorção é definida como uma fração de energia incidente na superfície de um corpo (material) que é absorvida pelo mesmo. A distribuição espectral da radiação incidente é independente da temperatura ou da natureza física da superfície absorvente, a menos que a radiação emitida pela superfície seja refletida de volta para a superfície [45].

A energia do infravermelho é convertida em calor na superfície de um material e esse calor é transmitido para a região interna através do processo de condução. Materiais como metais, que têm condutividade térmica elevada, apresentam distribuição rápida e uniforme ao longo desta região. Já o plástico, a madeira, o concreto e outros materiais com baixa condutividade térmica, podem atingir temperaturas de superfícies elevadas, antes que temperaturas internas aumentem.

3.7.3 Refletância

A refletância de um corpo é definida como a fração de energia solar que é refletida em relação à energia incidente, e esta é uma propriedade física fundamental para o entendimento do comportamento térmico dos materiais. O valor da refletância sobre o material depende da composição e a morfologia do material [51].

Materiais com baixa emissividade frequentemente são bons refletores (como se observa na Figura 8). Por exemplo, ouro polido tem uma emissividade de 0,018, é uma refletância ao infravermelho excelente e não oxida facilmente. Alumínio polido com uma emissividade de 0,04 é uma segunda escolha excelente [52]. A refletância pode ser analisada de duas formas: **especular ou difusa**, (de acordo com a maneira pela qual ocorre a reflexão do feixe sobre o substrato).

A reflexão difusa ocorre se a intensidade da radiação refletida for independente do ângulo de reflexão, e da direção da radiação incidente (Figura 10),

esta reflexão ocorre em superfícies irregulares. Já a reflexão especular está relacionada em um único ponto e equivale a um único feixe de luz incidente na amostra, que é refletido sob mesmo ângulo de incidência [53]. A reflexão especular refere-se a um substrato bem definido, quer dizer, a uma superfície lisa (Figura 10).

Na prática, a reflexão não é nem puramente difusa e nem especular, mas uma combinação desses dois fenômenos. Porém, de um modo geral, costuma-se considerar como superfícies difusoras aquelas que refletem difusamente por volta de 25% ou mais da radiação incidente [54].

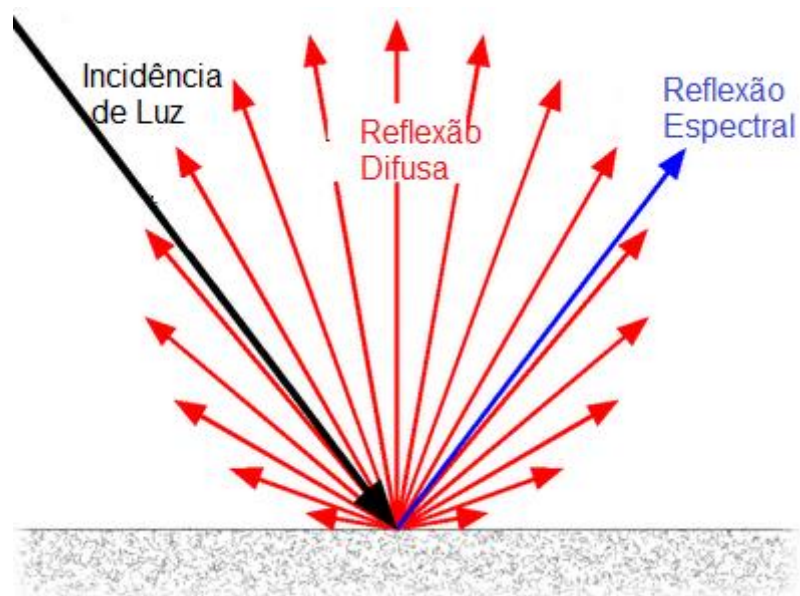


Figura 10: Esquema da reflexão especular e difusa [55].

A composição química de pigmentos pode incluir componentes de estruturas moleculares que interagem e absorvem a luz.

Superfícies cobertas de neve apresentam valores de refletância alta. Teoricamente, podemos concluir que cores claras refletem mais a radiação solar [56]. A maneira mais fácil de aumentar a refletividade no IV é a utilização de pigmentos brancos, como o dióxido de titânio (TiO_2).

3.7.4 Transmitância de Luz

Transmissão de luz é a propagação espontânea de energia térmica de um corpo para outro em diferentes temperaturas. Com exceção do vidro e alguns plásticos transparentes, que são opacos no infravermelho ou a energia é absorvida

ou refletida. Normalmente podem ser ignoradas perdas por transmissão.

3.8. Ilha de calor urbana

Ilha de calor é o fenômeno mais documentado na mudança do clima, que está relacionada com as temperaturas mais elevadas nas áreas suburbanas em comparação com as áreas rurais. O aumento da temperatura urbana tem um efeito direto sobre a sustentabilidade energética e ambiental das cidades [57].

Devido à rápida urbanização, os grandes centros mundiais estão atualmente sofrendo as consequências de seu mau planejamento. O superaquecimento que ocorre nestes locais é denominado ilha de calor urbana [58,59].

A ilha de calor nos grandes centros urbanos é gerada basicamente pelas modificações impostas à drenagem do solo, devido o seu revestimento de concreto e asfalto. Além deste fato, grandes edificações são construídas ocorrendo à modificação natural dos ventos [60]. As cidades recebem grande quantidade de calor durante o dia e a noite este calor acumulado é irradiado, é absorvida pelo concreto ou pelos vidros, pois possuem grandes superfícies de vidro e concreto. Desta forma a temperatura no centro urbano é de 4 °C a 8°C mais alta que a temperatura em regiões rurais [59,61].

As superfícies de vidro nas edificações fazem com que ocorram grandes perdas de calor durante o inverno e aquecimento excessivo por radiação solar no verão. Desta forma o custo de energia elétrica aumenta significativamente [62].

O aumento da temperatura no verão em grandes centros como, por exemplo, em Porto Alegre – (Rio Grande do Sul) - provoca desconforto térmico ocasionando problemas de saúde, favorecendo o aumento na demanda de energia elétrica usada na refrigeração dos ambientes domésticos, comerciais e industriais [4, 57, 58,63].

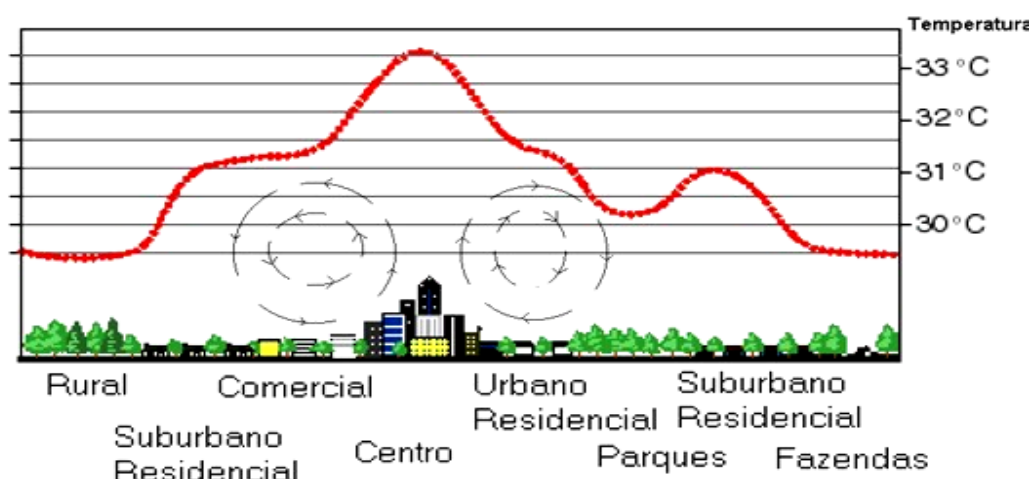


Figura 11: Fenômeno típico das grandes cidades [64].

A substituição da vegetação natural (desmatamento) por grande quantidade de casas, prédios, asfaltos (avenidas), concreto, telhados, vidro e uma série de outras construções provocaram o acúmulo de calor, ocasionando um superaquecimento [64,65,66].

Para diminuir o aquecimento interno e o consumo de energia elétrica nas edificações, muitos arquitetos têm usado telhado verde (técnica de resfriamento passivo), também conhecido como eco-telhado, que consiste em telhados-jardim (paredes) e é caracterizado por ter elevada eficácia no resfriamento nos ambientes internos. Sendo que, sem esta cobertura vegetal, a radiação solar iria aquecer os substratos, e por condução, aquecer a parte interna das edificações [67, 68].



Figura 12: Telhados verdes [67,69].

Muitos estudos foram realizados a fim de identificar o potencial de resfriamento nos telhados frios e as possíveis melhorias do conforto térmico no interior das edificações [70]. Os materiais refletivos são caracterizados pela alta

refletância solar e por seus valores de emissividade altos.

Uma das soluções para diminuir o calor nas grandes cidades seria pintar as edificações (telhados e paredes) de branco (tinta com pigmento de dióxido de titânio (TiO₂)). Alguns trabalhos comprovam que a cor branca confere alta refletividade da luz solar e, com isso, diminui o aquecimento nos grandes centros [71]. Entretanto, os *designs* modernos necessitam de cores, incluindo tons mais escuros.

As superfícies de cor clara, como a neve, têm uma refletividade elevada, refletindo quase a totalidade da energia solar nelas incidente, logo, não aquecem muito. A neve reflete a maior parte da energia solar (50 a 70% e absorve 50 a 30%). Por outro lado o asfalto, por ser escuro, reflete cerca de 14 a 18% da energia solar (86 a 82% de absorção) [72].

Um estudo do Laboratório Nacional Lawrence, em Berkeley, na Califórnia [73], mostrou telhados pintados em branco que segundo os autores ajudariam a combater a ilha de calor urbano. Os autores explicam que as coberturas com revestimentos escuros absorvem 80% do calor externo, enquanto que os revestimentos claros refletem até 90%, da luz solar. Com isso, cidades pintadas de branco sofreriam menos com o aquecimento nos grandes centros [41]. Mas coberturas pintadas de branco sofrem com o problema da sujeira (poluição, poeira e fuligem depositadas sobre os substratos), com isso diminui a refletância à radiação solar do pigmento, além de ocasionar um aspecto visual feio com o passar do tempo. A utilização de revestimento hidrofóbico pode diminuir este problema.

Como o território brasileiro recebe intensa insolação durante a maior parte do ano, as coberturas deveriam ter uma maior proteção térmica, em particular nas edificações e pavimentos. Muitas coberturas são desenvolvidas para minimizar o fluxo energético entre interior e exterior de uma edificação.

Com isso, surge a necessidade de produzir tintas coloridas escuras com alta refletividade solar e alta emissividade para aplicação em coberturas (telhados) e paredes nas edificações. Esses produtos são usados como revestimento contra a corrosão e estética, mas sua principal função é diminuir a absorção da radiação solar.

Essas tintas devem apresentar em sua composição um tipo de pigmento com a propriedade de refletir a radiação solar. Desta maneira, o pigmento refletivo atua

na diminuição da temperatura da superfície das edificações, tornando o ambiente mais agradável.

Por outro lado, a arquitetura das edificações desenvolve um papel importante no desempenho do conforto térmico no interior dos edifícios, não importando quais forem às condições climáticas externas. Outro ponto positivo é avaliar o desempenho das propriedades das superfícies atingidas pela radiação solar. Sabe-se que diferentes processos poderão ocorrer, absorção, reflexão e transmissão da radiação solar.

Segundo Alchapar et. al. [74], a cidade de Mendoza na Argentina sofre com o problema do efeito da ilha de calor urbano. Além disso, o alto nível de radiação solar e a baixa disponibilidade de água, impede o uso de telhados verdes agrava ainda mais este problema. Desta forma, para minimizar o efeito de calor urbano a alternativa viável é o uso de materiais frios. Os substratos utilizados foram: calçadas (concreto, pedra natural e concreto de calcário), telhas (fibrocimento e argilas) e outros substratos acrílicos, ambos variam sua composição e tamanhos (dependendo de seu fornecedor). O desempenho térmico dos materiais depende de cada material e seu fabricante, mas concluíram que materiais mais claros têm uma maior refletância solar e uma maior emissividade.

3.9. Pigmentos refletivos

Pigmentos refletivos são materiais que absorvem fortemente a região visível e refletem uma significativa quantidade da radiação infravermelha. Segundo FANG et. al. (2013) [75] os pigmentos refletivos a radiação no infravermelho próximo (NIR) podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos. Os pigmentos inorgânicos são em sua maioria óxidos metálicos, que possuem excelente resistência ao intemperismo e alta estabilidade ao calor, fatores que favorecem a sua aplicação em tintas para telhado. Além disso, estes pigmentos inorgânicos são altamente estáveis, quimicamente inertes, podem resistir a meios quimicamente agressivos e ainda manter a cor.

A refletância e a absorbância dos pigmentos são independentes uns dos outros, assim um pigmento refletivo (infravermelho) pode ter qualquer cor. Pigmentos refletivos são submetidos a misturas de hidróxidos metálicos, nitratos,

acetatos ou mesmo óxidos, a temperaturas muito elevadas em um processo chamado calcinação a uma temperatura acima de 1000 °C [75].

O tamanho da partícula do pigmento tem uma grande importância para a refletância ao infravermelho próximo. Pigmentos constituídos por pequenas partículas ou nanopartículas melhoram significativamente as propriedades refletivas, pois quanto menor a partícula maior seus contornos e conseqüentemente maior sua refletância [76, 77].

Em pigmentos com alta refletividade, o tamanho das partículas deve ter o comprimento de onda da radiação incidente, ou seja, para um comprimento de onda entre 800 e 1200 nm o tamanho de partícula deve ser pelo menos de 0,4 a 0,6 µm [75]. A refletividade no NIR de uma partícula depende do meio circundante, distribuição na tinta, concentração da resina e comprimento de onda da radiação incidente.

É explicado na literatura que superfícies brancas permanecem frias (refletem a radiação solar), enquanto que superfícies pretas esquentam (absorvem a radiação solar). A razão para isso é a interação do objeto colorido com a radiação Solar (78).

A radiação absorvida é convertida fisicamente em calor. A superfície interage não só através da absorção da radiação, mas também refletindo a região do infravermelho até atingir o equilíbrio a uma determinada temperatura [79].

A forma mais adequada de obter uma tinta refletiva é utilizar em sua composição pigmento refletivo ou conhecidos como pigmentos frios. Pigmentos brancos (ex: TiO_2) ou pigmentos claros, geralmente apresentam um alto valor de refletância à radiação solar, quando comparado com pigmentos coloridos escuros (ex. preto) [80].

O dióxido de titânio é encontrado em três fases cristalinas: anatase, rutilo e brookite. As três formas de TiO_2 têm alto índice de refração quando comparados com os outros pigmentos. A fase rutilo é conhecida por ser mais estável [81], também possui boa propriedade efetiva de espalhamento de luz, maior índice de refração, obtém bom poder de cobertura e é amplamente utilizado como pigmento refletivo nos revestimentos [82].

A fase de anatase é muito utilizada para fotocatalise devido ao seu alto poder

fotoreatividade [83, 84, 85]. A Figura 13 apresenta o espectro do TiO_2 na forma rutilo e na forma anatase [73]. Observa-se que o pigmento rutilo apresenta uma refletância maior à radiação solar no comprimento de onda infravermelho próximo.

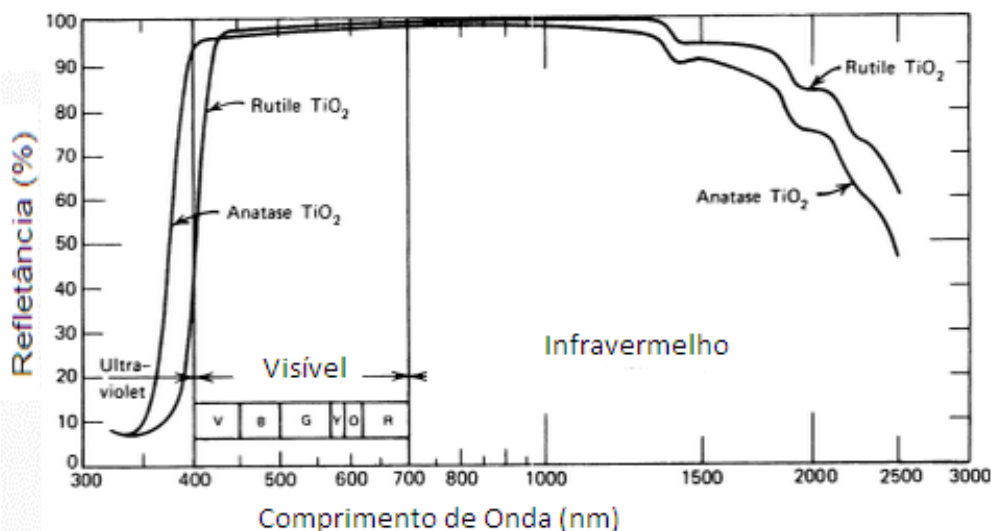


Figura 13: Refletância total do dióxido de titânio nas formas anatase e rutilo [86].

O uso de pigmentos coloridos com alta refletância na região do infravermelho próximo iniciou na área de roupas militares, visando minimizar os efeitos da radiação solar sobre a camuflagem escura dos soldados em combate. Atualmente pesquisa está sendo desenvolvida em tintas coloridas com pigmentos reflexivos à radiação do infravermelho próximo, que possam ser aplicados em telhados e invólucros das edificações [90].

3.10. Tintas contendo pigmentos refletivos

Tintas com pigmentos refletivos têm a finalidade de diminuir o aquecimento interno dos telhados das edificações, possibilitando uma redução da necessidade do uso do ar-condicionado nos dias quentes de verão. Esses revestimentos apresentam a capacidade de refletir a luz solar na região do infravermelho próximo [4,87,88].

Na literatura, tinta térmica é capaz de refletir até 90% de a luz solar [1]. Para diminuir o aquecimento interno das edificações, alguns fabricantes brasileiros de tintas vêm utilizando uma tecnologia inovadora, as microesferas ocas de vidro. Estas esferas apresentam boa resistência térmica, baixa densidade, e é utilizada para garantir o isolamento térmico dos telhados [89]. Outro método de isolamento térmico

consiste em utilizar microesferas ocas de cerâmicas, constituídas à base de silicato de alumínio, a qual proporciona uma maior barreira térmica sobre o substrato, porém essas esferas não são totalmente brancas [90, 91].

Substratos pintados com cores semelhantes podem apresentar propriedades refletivas muito diferentes, como pode ser observado na Figura 14. Os pigmentos são da mesma cor (convencional e refletivo) porém apresentam temperaturas superficiais diferentes: quanto mais avermelhada mais quente [22, 92].

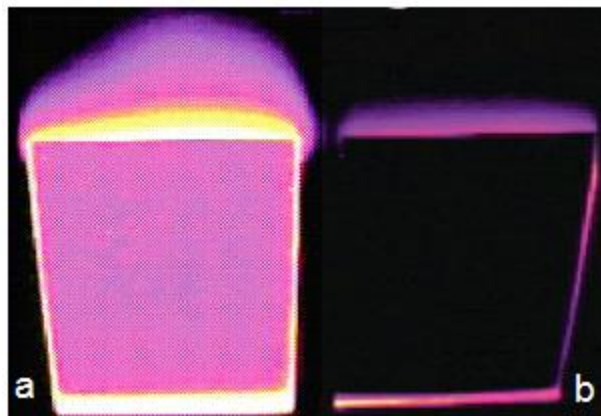


Figura 14: Imagem da câmera de infravermelho do pigmento convencional (a) e refletivo (b) [22].

Uemoto et.al. [93] estudaram os revestimentos coloridos produzidos por uma indústria de tinta, avaliando uma tinta não refletiva e outra tinta refletiva, ambas na mesma cor. As tintas nas cores branca, marrom e amarela, foram aplicadas sobre um substrato de fibrocimento. Observaram que as telhas que continha as tintas com pigmentos refletivos tiveram menor absorção na radiação do NIR, conseqüentemente, a transferência de calor para o interior das edificações é menor.

Levinson Ronnen et. al. [94], desenvolveram quatro casas idênticas com um planejamento ideal para as edificações com paredes externas pintadas de branco, com ventilação natural e a exposição ao Sol de forma que fique livre de sombreamento. Os telhados foram pintados com revestimentos refletivos não brancos com aparências semelhantes aos convencionais (tintas nas cores terracota, chocolate, cinza, preta, azul e verde). O ambiente interno foi controlado com ar condicionado e mantido na mesma temperatura. Os resultados mostraram que os revestimentos refletivos nos telhados das edificações e planejadas de forma ideal, podem-se diminuir a necessidade do uso de ar condicionado nos dias quentes, além de ter uma economia nos gastos de energia elétrica.

Synnefa et al. [4], realizaram um estudo com tintas coloridas refletivas, onde foi avaliado o desempenho térmico de tintas coloridas refletivas e convencionais durante um período de 4 meses, com constante monitoramento da temperatura. Os revestimentos foram aplicados em telhas de concreto e expostos ao ambiente urbano. No período de agosto a dezembro as amostras foram monitoradas com termopar para verificar as diferenças de temperaturas nas telhas. Uma câmera de infravermelho foi usada para mostrar esta diferença de temperatura. Na Figura 15, observam-se imagens termográficas dos revestimentos refletivos (1,2) e dos revestimentos convencionais (3,4), ambos na cor preta.

A imagem revela a diferença de temperatura entre eles, embora a cor seja a mesma visivelmente. A cor preta absorve todos os comprimentos de onda. Esta energia proveniente dos fótons é absorvida e convertida em calor, resultando em um aumento na temperatura na superfície das amostras (Figura 15 (4)). O mesmo se aplica para o revestimento frio na faixa do visível, embora uma grande parte da radiação do infravermelho próximo é refletida ao invés de ser absorvida, como pode ser observado na Figura 15 (2) [4].

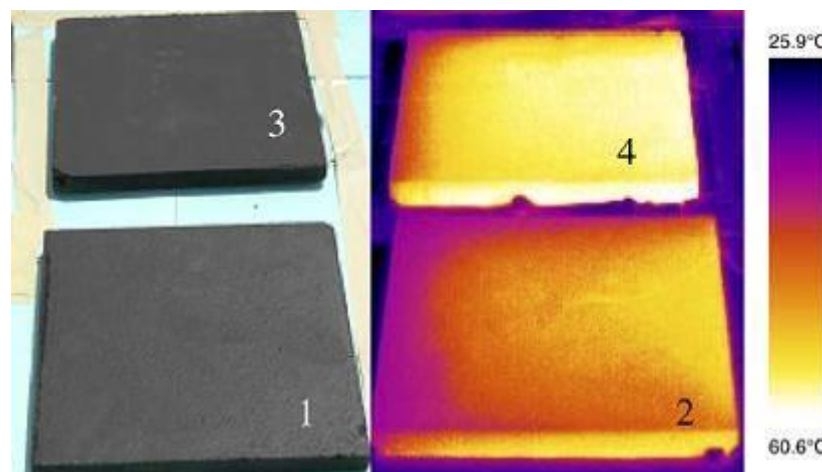


Figura 15: Imagem da câmera termográfica do revestimento da cor preta, (1,2) revestimento frio e (3,4) revestimentos da cor padrão [4].

Segundo Santamouris et. al. [78], os materiais termocrômicos, têm uma alta eficácia na diminuição a ilha de calor urbano. Estes materiais podem mudar seu desempenho energético e ambiental melhorar o microclima urbano. Diminuindo as cargas de energia dos edifícios e fornece um ambiente mais confortável no interior das edificações.

O diferencial dos materiais termocrômicos é que eles possuem uma alta refletância o que contribui para diminuir o aquecimento dos edifícios. Na Figura 16: todas as placas estão revestidas com um revestimento marrom, e pode-se observar que a placa com revestimento termocrômico apresenta uma menor temperatura.

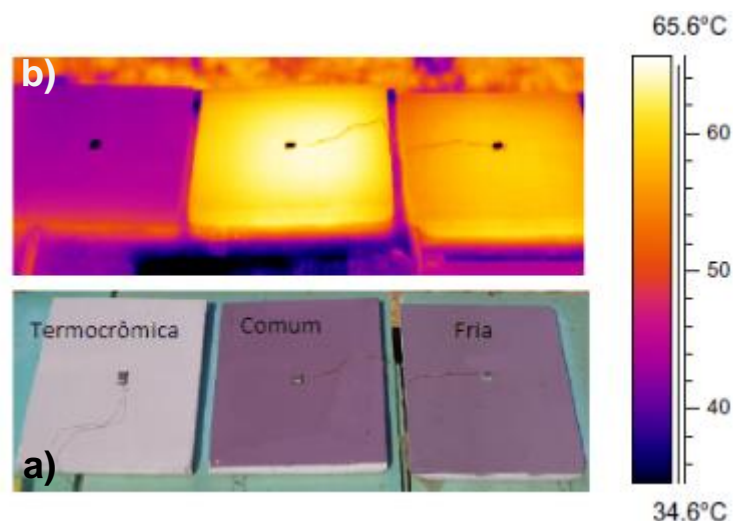


Figura 16: Imagens dos revestimentos termocrômicos, a) visíveis e b) infravermelha, ambas na cor marrom [78].

Os pesquisadores concluíram que revestimentos termocrômicos com alta refletividade à radiação solar e altos valores de emissividade contribuem muito para a redução do transporte do calor e ganho térmico no ambiente urbano. Entretanto, perceberam que esses materiais apresentam envelhecimento e problemas de degradação ópticas, sendo, portanto necessário novo estudo [78].

3.11. Resfriamento Passivo nas Edificações

Os resfriamentos passivos são técnicas naturais de controle a radiação solar para o resfriamento em uma edificação a qual mantém a radiação solar afastada, permitindo a entrada de ar frio [95]. As edificações são construídas com os melhores materiais que absorvem a radiação solar, mas podem ajudar a manter o ar frio em seu interior no verão, por meio natural na forma de radiação, condução e convecção. Desta forma, deve-se evitar ao máximo que a luz solar atinja diretamente as paredes, telhados e pisos, para que não retenham calor [96].

Para o conforto térmico interno das edificações existem várias técnicas de resfriamento passivo como: estratégia de ventilação natural, resfriamento evaporativo, sombreamento e isolamento térmico [95, 96,97].

Na arquitetura de hoje, é essencial para os arquitetos e os engenheiros civis a incorporação da técnica de resfriamento passivo em edifícios como parte inerente do design e expressão arquitetônica as quais devem ser incluídos conceitualmente desde o início. A incorporação destas técnicas de resfriamento passivo certamente pode reduzir a nossa dependência de meios artificiais para o conforto térmico e minimizar os problemas ambientais devido ao consumo excessivo de energia elétrica e outros recursos naturais, portanto irá evoluir de forma sustentável a um clima mais amigável.

3.12. Tintas

As tintas são produtos que apresentam ampla gama de aplicação na área decorativa e também para a proteção corrosiva contra a degradação do substrato. A grande parte dos materiais de construção civil é de natureza não metálica e, portanto absorve grande parte da energia térmica emitida pela radiação solar [98]. As tintas com pigmentos refletivos podem ser classificadas como materiais frios, que apresentam alta emissividade e, conseqüentemente alta reflexão à radiação solar.

3.12.1. Composição de uma tinta

Na Figura 17 são apresentados os componentes básicos de uma tinta: pigmentos, resinas, solventes e aditivos, sendo que a proporção destes compostos varia com o tipo de acabamento que é desejado [99].

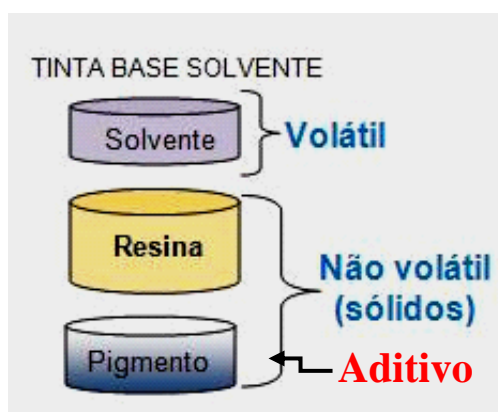


Figura 17: Composição básica de tintas à base solvente

A tinta é uma emulsão, geralmente líquida viscosa, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um líquido, que ao sofrer um processo de cura quando

estendida em película fina, forma uma camada de filme sobre o substrato. Esse filme de tinta tem a finalidade de proteger e embelezar o substrato. Os requisitos principais de um revestimento na construção civil ou industrial são:

- proteção duradoura do substrato;
- fácil aplicação;
- baixa toxicidade;
- secagem rápida;
- boa resistência à lavagem;
- aspecto decorativo agradável à vista.

Quanto à aplicação sobre substratos expostos ao exterior, as tintas devem ter algumas características adicionais:

- boa resistência à intempérie;
- boa aderência à base;
- estabilidade da cor;
- neutralidade química em relação à base e vice-versa;
- aspecto decorativo.

Problemas diversos como falta de estabilidade, pouco brilho e defeitos, entre outros, são facilmente evitados quando se procede à mistura de resinas antes de introduzir a pigmentação. A tinta obtida pode ser avaliada quanto à variação de viscosidade, separado em fases, desenvolvimento de névoa, pontos ou outras imperfeições. Misturas límpidas no estado líquido podem se apresentar leitosas durante ou após a evaporação dos solventes, o que sugere problemas no filme seco.

3.12.2. Fração volumétrica de pigmentos (PVC)

A proporção dos pigmentos constituintes das tintas tem elevada importância nas características de uma pintura. Um dos parâmetros mais utilizados para descrever a composição de uma tinta é a fração volumétrica do pigmento (ou carga), denominada internacionalmente por PVC (termo em inglês *pigment volume content*). O PVC é a fração volumétrica ocupada pelo pigmento dividido pelo volume da película de pintura seca, também conhecido como veículo sólido, conforme ilustrada pela equação a seguir [99,98].

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_v} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

V_p = Volume de pigmento

V_v = Volume do veículo sólido

O PVC é o fator que influencia diretamente na porosidade da pintura, resultando em diferença na permeabilidade, no grau de proteção do substrato, na resistência à tração, na aderência, no brilho. Em geral, permite distinguir os acabamentos: brilhante, semi-brilho e fosco. As tintas foscas possuem um PVC elevado, enquanto uma tinta semi-brilho possui um PVC baixo. Na Tabela 1 é apresentada a porcentagem do PVC de acordo com o tipo de acabamento da tinta [99].

Tabela 1: Aspecto de acabamento da pintura em função do PVC [99].

Tipo de acabamento	PVC (%)
Alto brilho	10 a 15
Semi-brilho	15 a 30
Acetinado	30 a 35
Fosco	35 – 45

A Figura 18 mostra a relação entre as propriedades para os dois extremos: excesso de pigmento e excesso de veículo. Observa-se também que uma reta vertical que situa o PVC crítico que é a concentração máxima de pigmento que o

veículo pode agregar. Na região próxima ao PVC crítico é onde as propriedades do revestimento variam de forma mais acentuada.

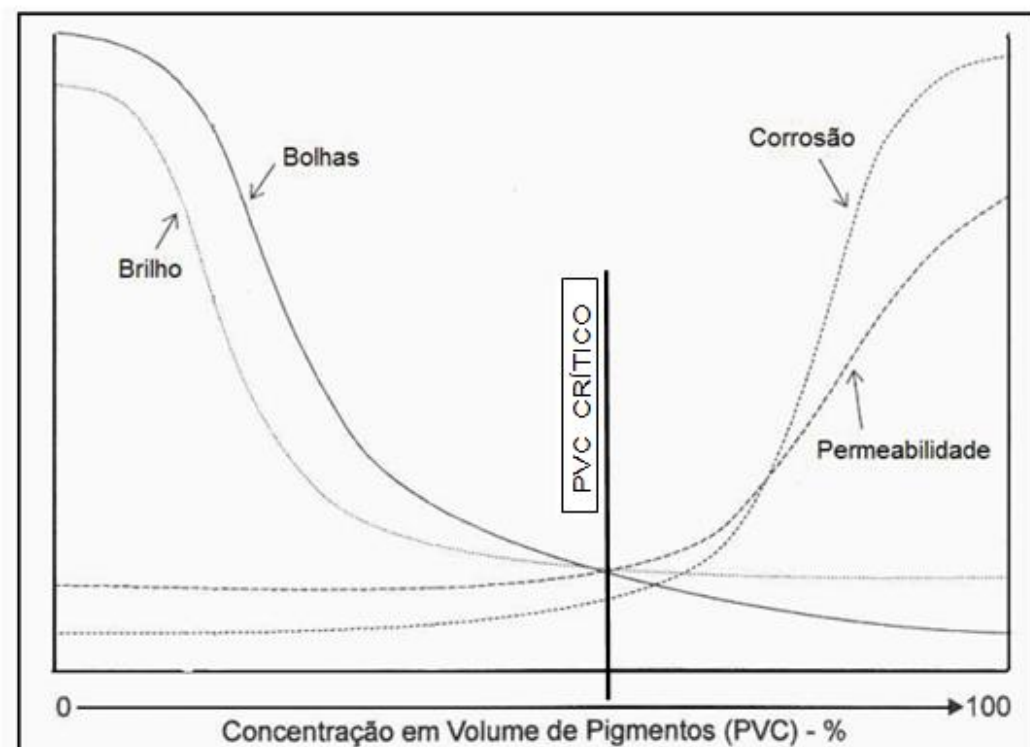


Figura 18: Influência do *PVC* nas propriedades das tintas [99]

O entendimento do efeito da composição pigmento/veículo é facilitado quando se emprega o cálculo do *PVC*, ainda que na realidade o sistema em estudo possa apresentar desvios significativos do valor calculado [99, 98].

Brilho: É importante entender o processo que pode ocorrer quando a luz incide sobre uma superfície pigmentada. Um filme é opaco porque as partículas pigmentadas espalham e/ou absorvem a luz incidente, evitando que ela alcance o substrato. Quanto maior o teor de pigmento de uma tinta menor será o brilho [98].

Permeabilidade: O aumento da quantidade de pigmentos na matriz polimérica favorece a formação de “vazios” no filme da tinta. E esses “vazios” aumentam a absorção de água no filme da tinta. O volume de água absorvido pelo filme de tinta aumenta com o aumento do *PVC*, portanto esse aumento acarreta no aumento da permeabilidade da tinta [98].

Resistência à corrosão: Quanto maior o *PVC*, maior é a permeabilidade do revestimento, e conseqüentemente a difusão de água e oxigênio, logo, é de se

esperar que a resistência à corrosão diminua. A Figura 18 ilustra como algumas propriedades variam com o PVC. Observa-se que, com o aumento do PVC, diminui a formação de bolha e o brilho, e aumenta a permeabilidade e a tendência à corrosão do substrato [98].

3.12.3. Concentração Volumétrica Crítica de Pigmento (CPVC)

CPVC ou PVC crítico, conceito amplamente utilizado no segmento de tinta, e é definida como sendo a proporção de volume de pigmento no volume de veículo, em que há meio suficiente para umectar todas as partículas de pigmento e preencher todos os vazios entre elas, não deixando excesso de veículo. Um aumento adicional de pigmento leva o PVC a um ponto acima do crítico, resultando em coesão descontínua e de elevada porosidade (Figura 18) [99].

Existem diversos procedimentos para a determinação do CPVC, em muitos casos a reprodutibilidade é baixa. O método mais utilizado na determinação do CPVC é a medida de absorção de óleo de linhaça. A absorção de óleo expressa em gramas de óleo por 100 gramas de pigmento. O CPVC é calculado de acordo com a seguinte equação [100].

$$CPVC = \frac{1}{1 + \frac{(AO)x(\rho)}{93,5}} \times 1000 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

AO = Absorção de óleo de linhaça (grama de óleo / 100g de pigmento)

ρ = densidade do pigmento.

93,5 = é 100 vezes a densidade do óleo de linhaça.

A equação considera que a absorção do óleo de linhaça será igual para os demais veículos (epóxi, poliuretano, alquídica, borracha clorada, etc.).

O cálculo do CPVC está diretamente associado à precisão na determinação da absorção de óleo. Normalmente os fornecedores de pigmentos fornecem a absorção de óleo, facilitando assim o trabalho do formulador de tinta [100].

4. MATERIAIS E MÉTODOS

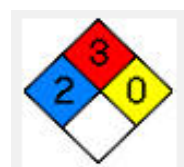
Este capítulo apresenta as condições experimentais e os reagentes necessários para a formulação das tintas à base de solvente utilizando resina acrílica hidroxilada bi-componente e pigmentos com alta refletância na região do infravermelho próximo. A telha escolhida foi devido a maior demanda encontrada no território brasileiro, a qual proporciona absorção solar. As tintas comerciais foram formuladas para ter a mesma cor que as tintas refletivas. As cores escolhidas foram as mais prováveis de aceitação no mercado.

4.1. Reagentes

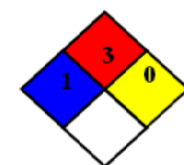
Solventes são aditivos importantes na formulação de uma tinta, a substituição dos solventes menos agressivos ao meio ambiente é importante para eliminar ou diminuir as emissões de compostos orgânicos voláteis (VOC's), desta forma foi utilizado solventes com menor índice de VOC's [101]. Neste trabalho foram utilizados os seguintes reagentes para uma produção de uma tinta a base solvente:

Solventes

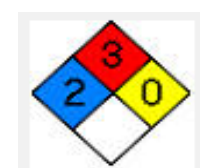
- Acetato de Etilglicol - resulta da reação do éter etílico do monoetilenoglicol (ETILGLICOL) com ácido acético. É um líquido límpido, parcialmente solúvel em água e completamente miscível com a maioria dos solventes orgânicos– adquirido da empresa Água Químico Ltda;



- Acetato de Etila é um solvente pouco volátil – P.A =99,5%; fornecedor Fmaia;



- Xileno – O termo xileno refere-se ao conjunto de compostos dimetil benzeno, onde a diferença é a posição relativa dos radicais metil. Esse conjunto de compostos também é conhecido como xilol. P.A =99,5%; fornecedor Ecibra;



Aditivo

- Disperbyk 108 – Aditivo umectante e dispersante para sistemas à base de solvente - adquirido da empresa BYK Additives & Instruments [102];
- Dispersante – copolímero acrílico-metacrílico, nome comercial - Emucryl D, Clariant do Brasil;
- Antiespumante (Polyapp 2534) – E eficiente no controle de espumas, devido à sinergia de ações dos seus componentes: polióis, poliésteres e extratos vegetais em equilíbrio funcional, adquirido da empresa Polystell do Brasil Ltda.
- Espessante - A base de ácidos acrílicos e metacrílicos melhora as propriedades reológicas, minimizando os respingos, nome comercial Mowilith LDM 7030, adquirido da empresa Clariant do Brasil.
- Biocida e fungicida – Nitrito de sódio, proporcionam características especiais as tintas melhorando suas propriedades, adquirido da empresa Vetec.

Resina base solvente

- Resina acrílica hidroxilada - apresenta uma ótima aderência, alto brilho e baixo teor de hidroxilas livres. Possui teor de não voláteis 67 – 70%, adquirido da empresa Água Química (AQ - 1501) [103];

Catalisador

- O pré-polímero de hexametileno diisocianato (HDI) alifático, diluído no solvente xilol. Este pré-polímero tem como característica a excelente resistência à intempérie, ótima retenção de cor e ótima flexibilidade. Suas principais aplicações são em esmaltes e vernizes poliuretanos (PU) industriais de alta performance - adquirido da empresa Água Química (AQ - 6008) [104].

Resina base água

- Resina ésteres acrílicos e estireno em emulsão aquosa, possui um teor de não voláteis 49 a 51%, nome comercial Mowilith VP 6170 – Clariant do Brasil;
- Resina ésteres do ácido acrílico e metacrílico em emulsão aquosa possui um teor de não voláteis 50 a 55%; nome comercial Mowilith T-8904 - Clariant do

Brasil;

- Resina de copolímero acrílico-estirenado em emulsão aquosa aniônica, possuindo também alto brilho e ótima resistência a absorção de água, com muito boa lavabilidade, possui um teor de não voláteis 49 a 51%; – Água Químico – AQ-1621.

Pigmentos inorgânicos

A indústria de tintas, sempre utiliza pigmentos de alta qualidade, a uniformidade no tamanho de partículas importante devido a sua influência no brilho, propriedade de recobrimento e intensidade de espalhamento da tinta. Os pigmentos utilizados neste trabalho possuem característica de refletirem a radiação infravermelha.

- Azul (Light blue) – adquirido da empresa Arctic;
- Marrom (Brown 157) – adquirido da empresa Shepherd;
- Marrom (Rosse 208) - adquirido da empresa Arctic;
- Amarelo (Yellow 346) – adquirido da empresa Shepherd;
- Preto (Black – 469) - adquirido da empresa Shepherd;
- Dióxido de Titânio (TiO_2) – adquirido da empresa Ipiranga Ltda;
- Oxido Cuproso (Cu_2O) - adquirido da empresa Transcor Ind. de Pigmentos e Corantes Ltda;
- Alumínio em pasta - adquirido da empresa Clariant do Brasil;
- Oxido de Zinco (ZnO_2) - adquirido da empresa Topsul Coml. Elast. E Minerais Ltda;
- Sulfato de bário (BaSO_4) - adquirido do Laboratório LABSOL.

Pigmentos Orgânicos

- Negro de fumo - Monarch 430 – Adquirido da empresa Focus Química Ltda;
- Amarelo ouro – Net - adquirido da empresa Shepherd;

4.2. Tintas comerciais

As seguintes tintas comerciais com resina acrílica foram usadas como referência:

- Tinta Branca, monocomponente de matriz solúvel.
- Tinta Marrom 1, monocomponente de matriz solúvel.
- Tinta Marrom 2, monocomponente de matriz solúvel.
- Tinta Azul, monocomponente de matriz solúvel.
- Tinta Amarela 1, monocomponente de matriz solúvel.
- Tinta Amarela 2, monocomponente de matriz solúvel.

4.3. Preparações das tintas

As tintas foram preparadas em um equipamento adequado constituído de um reator encamisado de 400 mL, no qual foram misturadas inicialmente a resina acrílica hidroxilada (bi-componente), o aditivo (umectante) e os solventes (Acetato de Etil Glicol, Acetato de Etila e Xileno). Nesta etapa foi realizada uma pré-mistura. Em seguida o pigmento foi adicionado lentamente sendo disperso por um dispersor de marca DISPERMAT, modelo N1, com uma velocidade de 5.000 rpm e disco do tipo *Cowles*.

O *cowles* consiste de uma lâmina circular com a borda alternadamente virada para cima como é apresentada na Figura 19b ligada a um eixo de alta rotação. Esta lâmina foi mergulhada nos componentes de dispersão (resina, solvente, aditivo e pigmento) de moagem até uma determinada profundidade, de modo que se forme um “vórtex” que é fundamental para que ocorra uma boa dispersão em uma tinta. Esta dispersão ocorreu por aproximadamente 60 min, (Figura 19).

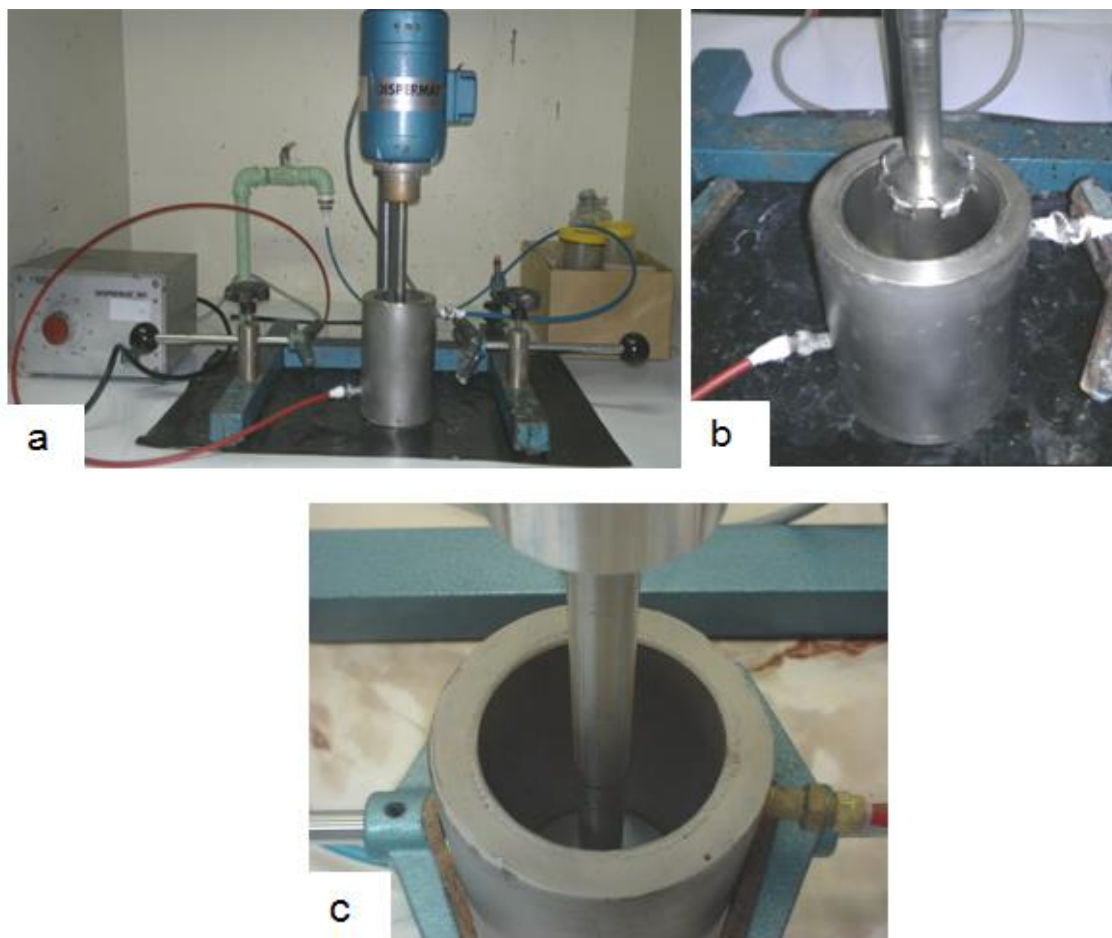


Figura 19: Equipamento para a produção da tinta a) dispersor, b) disco do tipo Cowles, c) reator encamisado.

As tintas à base de solvente foram preparadas conforme a formulação desenvolvida que está descrita na Tabela 2.

Tabela 2: Composição utilizada nas tintas à base de solvente.

Componentes (parte A)	Formulação à base seca %
Resina	50,0
Pigmento	22,0
Aditivo – Bisperbyk -108	0,30
Solventes	27,7
Componentes parte B (2A x 1B)	Quantidade %
Catalisador AQ – 6008	38,0
Solvente– Xilol	62,0

Nas tintas refletivas utilizou-se uma resina bi-componente, parte A da formulação corresponde ao veículo (resina), pigmento e seus aditivos, na parte B da

formulação corresponde ao agente de cura ou catalizador. Foram adicionadas duas partes do componente A e uma parte do componente B.

Após os 60 min de dispersão, foram analisados os tamanhos das partículas com o auxílio de uma ferramenta chamada grindômetro (BYK) (Figura 20), que é um bloco plano de aço em cuja superfície existem duas ranhuras de fundo chato que variam uniformemente em profundidade desde um máximo em uma extremidade do bloco até zero ao se aproximar da outra extremidade. A profundidade da ranhura é graduada no bloco de acordo com uma ou mais escalas usadas na medição do tamanho da partícula.

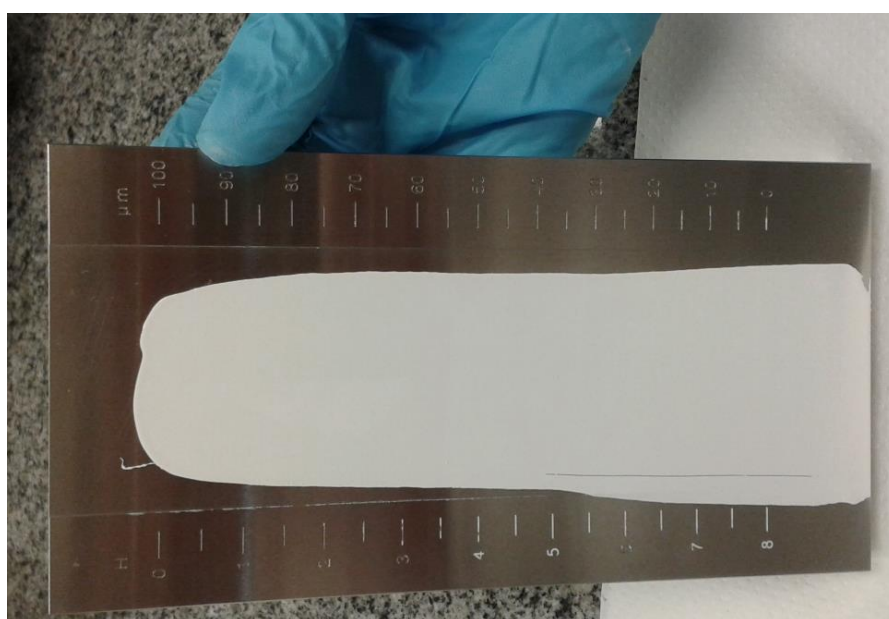


Figura 20: Dispositivo utilizado para determinar a fineza da tinta.

O grindômetro é usado para indicar a fineza da moagem ou a presença de partículas grossas e de aglomerados em uma dispersão. Este equipamento determina o tamanho das partículas. Uma boa moagem é alcançada quando se atinge um grau de fineza entre 6 e 7 Hegman (25 e 15 µm). Não atingindo a fineza necessária, é possível preparar a tinta em um moinho de microesfera horizontal de marca Dispermat, modelo SL-M (Figura 21).

Cabe salientar que a dispersão dos componentes da tinta na resina só pode ser alcançada quando são observados alguns parâmetros de mistura como velocidade de rotação do misturador, perfil da haste, tamanho de partícula do moinho, etc. [99].

As esferas de zircônio foram adicionadas a câmara de moagem do

Dispermat® SL-M Figura 21 junto com os componentes da tinta para fazer a moagem dos pigmentos até alcançar tamanho adequado. O tamanho de partícula da dispersão foi analisado com o auxílio do grindômetro (Figura 20). Durante a dispersão, a velocidade do moinho foi aumentada para 6.000 rpm, a fim de aumentar o atrito das esferas com a mistura. Solvente (Acetato de Etil Glicol) foi adicionado durante a moagem, visto que, com o aumento da temperatura provocado pelo atrito das esferas, há um aumento na viscosidade da tinta.



Figura 21: Moinho de microesfera Dispermat® SL-M

Por fim, se necessário solvente será adicionado à tinta até alcançar a viscosidade desejada. As amostras foram acondicionadas em recipientes adequados.

As tintas à base água foram preparadas conforme a formulação desenvolvida que está descrita na Tabela 3. Foram desenvolvidas da mesma forma que as tintas a base solvente.

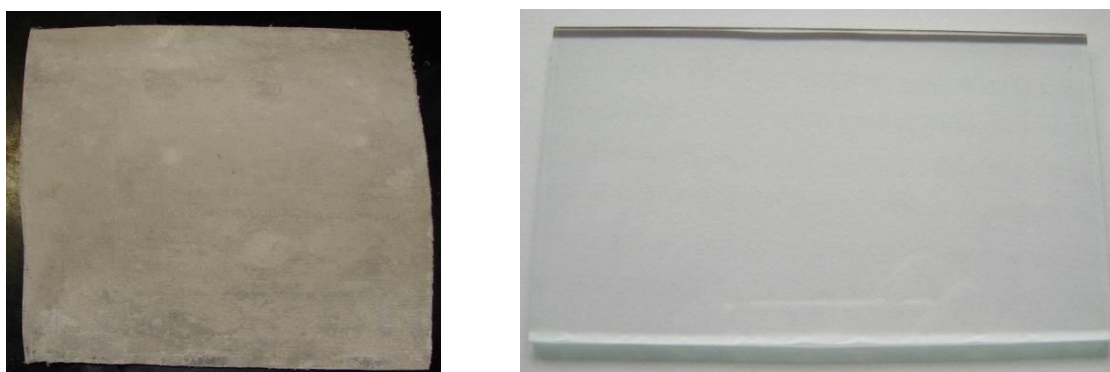
Tabela 3: Composição utilizada nas tintas à base água.

<i>Matéria prima</i>	<i>Quantidade base seca %</i>
Resina	28,0
Pigmento	23,0
Dispersante	0,45
Antiespumante	0,25
Espessante	2,0
Bactericida/fungicida	0,40
Água - destilada	43,0
Solvente - Acetato de Etila	2,9

4.4. Preparação dos corpos de prova

Os corpos de provas foram preparados utilizando placas de fibrocimento com uma dimensão de 15x15 cm e espessura de 8 mm e as placas de vidro tem uma dimensão de 10x5 cm e espessura de 2 mm (Figura 22). As placas de vidros foram limpas com xilol para remover toda a gordura que poderia estar exposta sobre as placas, estas placas foram utilizadas para realizar o ensaio no espectrofotômetro (UV, visível e IV próximo).

As placas de fibrocimento foram lavadas em água corrente para remover as contaminações por pó após o corte.

**Figura 22:** Placas de fibrocimento e de vidro sem revestimentos.

Nomenclaturas das tintas

As tintas à base solvente foram preparadas conforme descrito em Materiais e Métodos. Foram produzidas 7 tintas refletivas bicomponente com o mesmo veículo (resina acrílica hidroxilada) e tipos de pigmentos diferentes e 7 tintas comerciais com a mesma tonalidade. Na Tabela 4 estão apresentadas as amostras.

Tabela 4: Nomenclaturas das tintas refletivas e comerciais.

Tintas	Resina acrílica hidroxilada	Pigmentos
TARBr	Bicomponente	Branca (TiO ₂)
TCBr	Monocomponente Comercial	Branca
TARAm-1	Bicomponente	Amarelo 346
TCAm-1	Monocomponente Comercial	Amarela
TARAm-2	Bicomponente	Amarelo ouro – Net
TCAm-2	Monocomponente Comercial	Amarelo ouro
TARMr-1	Bicomponente	Marrom 157
TCMr-1	Monocomponente Comercial	Marrom
TARMr-2	Bicomponente	Marrom Rosse 208
TCMr-2	Monocomponente Comercial	Marrom
TARAz	Bicomponente	Azul claro
TCAz	Monocomponente Comercial	Azul
TARPr	Bicomponente	Preto 469
TACPr	Monocomponente	Preto - negro de fumo Monarch 430

T= tinta;

A= acrílica;

R= refletiva;

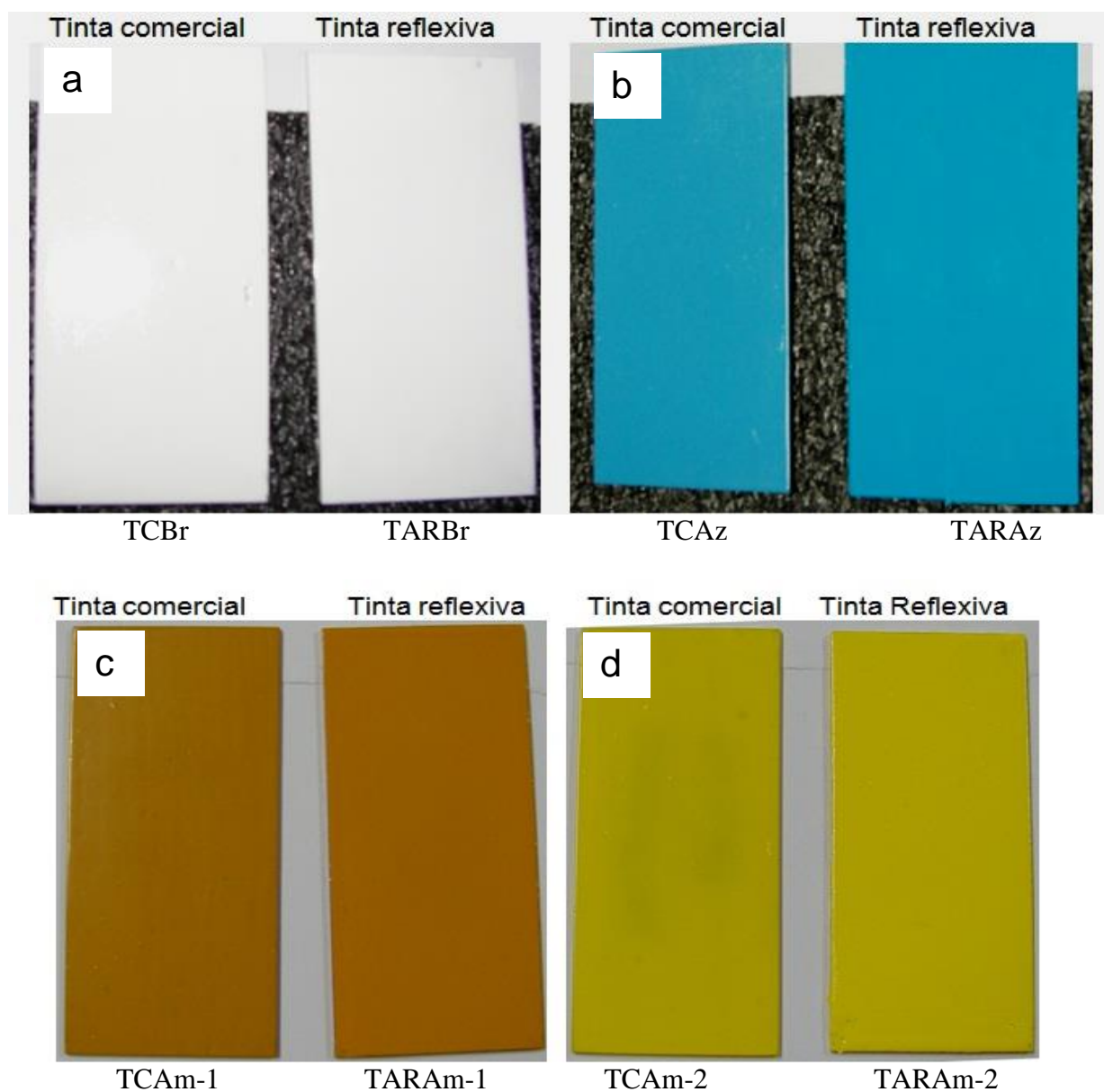
C= Comercial

As últimas duas letras indicam a cor de cada tina, ex: Br = branca

4.5. Aplicação das tintas à base de solvente sobre os corpos de provas

Na pintura em menor escala, normalmente é utilizada a aplicação manual como pincel, trincha, rolo e pistola pneumática. Neste trabalho, foi utilizado pincel para aplicação das tintas tanto nos corpos-de-prova de vidro (Figura 23), quanto nos corpos-de-prova de fibrocimento (Figura 24).

As tintas foram aplicadas sobre as placas em duas demãos de cada corpo-de-prova em um intervalo de 30min. Os corpos de prova foram secos a temperatura ambiente ($23\pm 5^{\circ}\text{C}$) por um período de 24 horas.



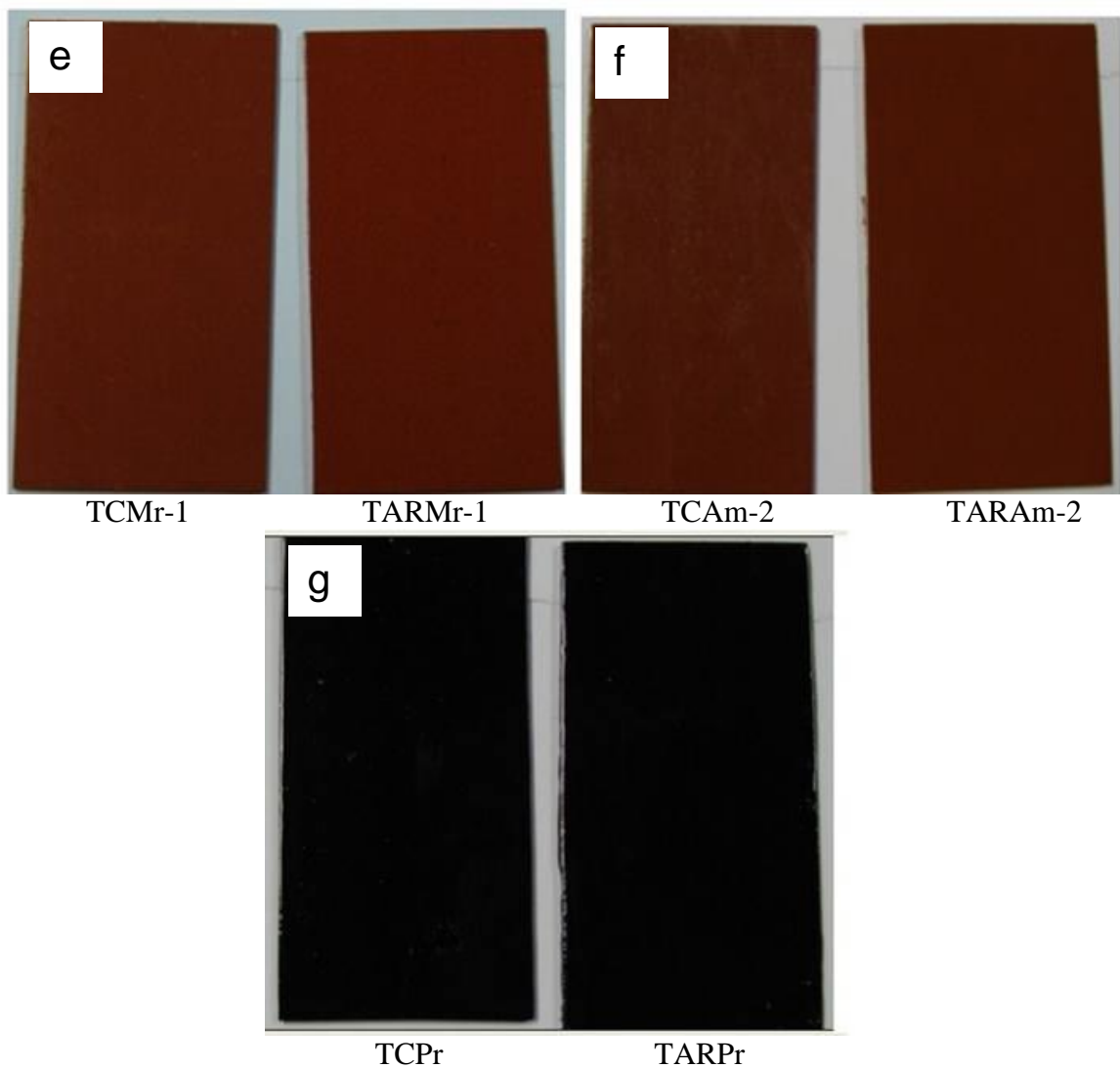
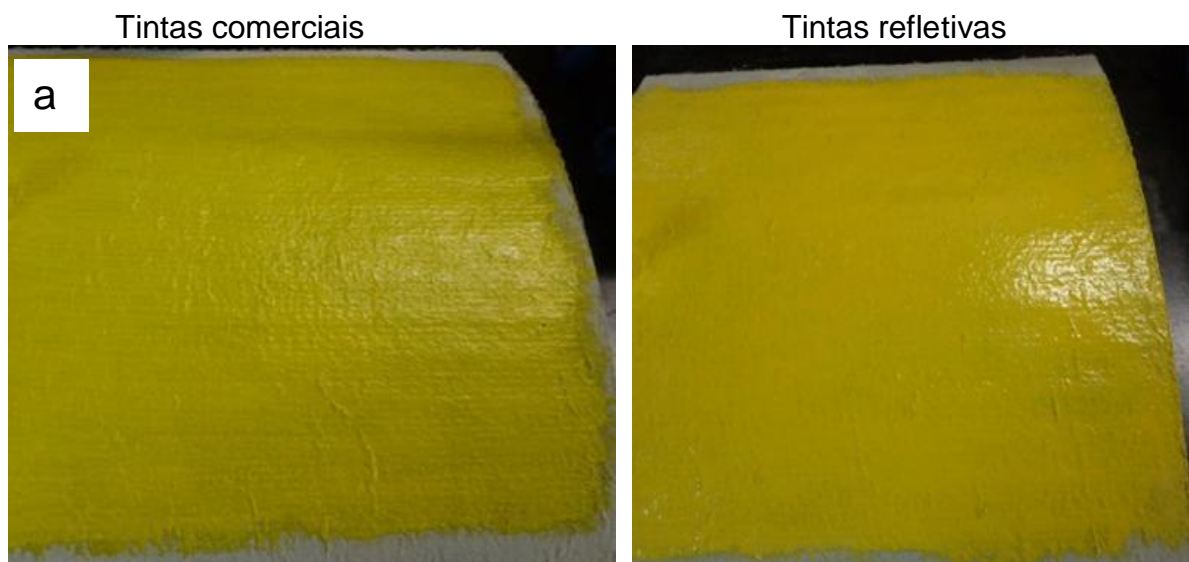
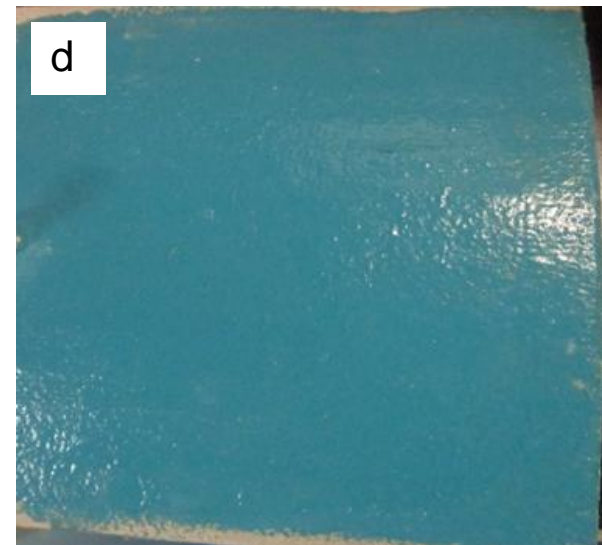


Figura 23: Placas de vidro (10 x 5 cm) tintas à base de solvente, a) TARBr e TCBr, b) TARAz e TCAz, c) TARAM-1 e TCAM-1 d) TARAM-2 e TCAM-2, e) TARMr-1 e TCMr-1, f) TARAm-2 e TCAM-2 e g) TARPr TCPr.





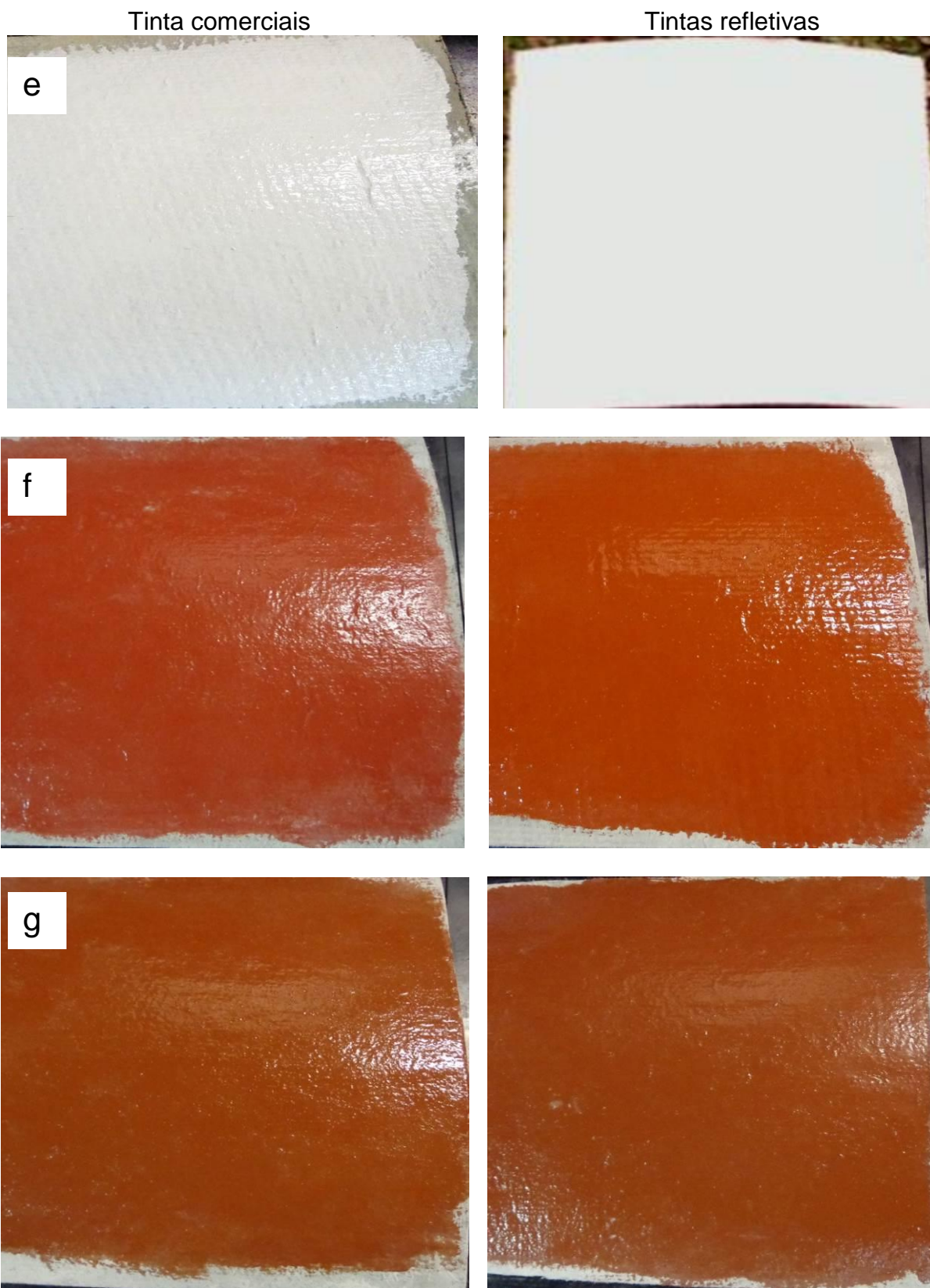


Figura 24: Placas de fibrocimento no tamanho de 15 x 15 cm, a) TARAM-2 e TCAM-2, b) TARAM-1 e TCAM-1, c) TARPr TCPr, d) TARAz e TCAz, e) TARBr e TCBBr, f) TARAM-2 e TCAM-2 e g) TARAM-1 e TCAM-1.

4.6. Caracterizações das amostras

4.6.1. Espessura da película úmida

Para a medição da espessura de película do revestimento em estado úmido, foi utilizado o medidor de espessura do tipo “pente hexagonal” modelo Messka mm da Byk Gardner, cujo campo de medição é de 25 a 2000 μm .

4.6.2. Espessura da película seca

Para medir a espessura do filme seco foi utilizado o método de corrente difusa com uma unidade de medida Byko-test 7500 fabricada pela BYK GARDNER. As medidas foram repetidas oito vezes e, então, foi realizada uma média das mesmas.

4.6.3. Medida da Emissividade

A emissividade térmica é medida através de um emissômetro que mede através da transmissão da radiação infravermelha do aparelho para o substrato. O valor da emissividade é atingido quando o detector entra em equilíbrio térmico com o substrato.

A emissividade no infravermelho das amostras também foi medida com o uso do dispositivo modelo Emissômetro AE Devices & Servives conforme esquema da Figura 25. Este dispositivo determina emitância térmica total, para isto tem-se uma cavidade no corpo negro na mesma temperatura. A detecção a radiação ocorre em todo o comprimento de onda, possuindo um filtro basicamente para todos.

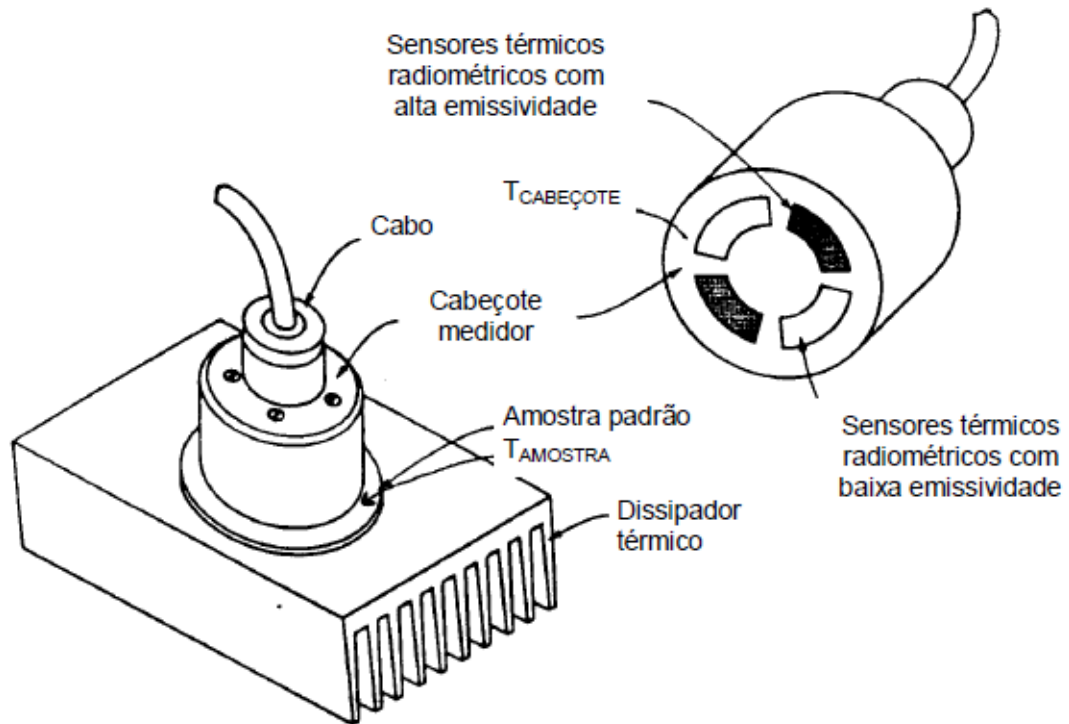


Figura 25: Esquema do aparato comercial para medidas de emissividade e materiais [42,105]

“O sensor de radiação do monocromador fica oscilando, ora medindo a intensidade da radiação emitida pelo corpo negro artificial, ora medindo a intensidade da radiação emitida pela amostra, em cada comprimento de onda” [106]. Esta intensidade pode ser calculada pela Equação 7.

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{I_{\lambda} amostra}{I_{\lambda} Corponegro}$$

Equação 7

Onde:

$$\varepsilon(\lambda) = \quad I_{\lambda} = amostra$$

$$I_{\lambda} = corpo negro$$

4.6.4. Distribuição Granulométrica

A medida de granulometria dos pigmentos foi realizada em um granulômetro a laser modelo Cilas 1180 na faixa de 0,04 a 2500 μm , utilizando sem a adição de agentes dispersantes do Laboratório de Materiais Cerâmicos da UFRGS. Foi usado para verificar distribuição granulométrica das amostras de pigmentos comerciais na

forma de pó. Foi aplicado o ultrassom por 60 s para evitar aglomeração das partículas.

4.6.5. Teste de Aderência

O ensaio de aderência é realizado para avaliar a interação entre o revestimento e o substrato, de acordo com a norma ASTM D3359-97 [107], a avaliação é qualitativamente a aderência nas tintas sobre seu substrato (placas de fibrocimento). As amostras foram cortadas em seis cortes cruzados em ângulo reto marca Byk Gardner modelo Cross-Cut-tester em 2 mm. Foi utilizada uma fita adesiva scotch 3M que é aplicada sobre os cortes e em seguida é puxada rapidamente a fita, os resultados são avaliados conforme a Tabela 4. Cabe salientar que as análises foram realizadas em substrato de fibrocimento.

Tabela 4: Classificação do teste de adesão [107].

Classificação	Percentual da área removida
5B	0%
4B	Menos que 5%
3B	5 – 15%
2B	15 – 35%
1B	35 – 65%
0B	Mais que 65%

4.6.6. Método de aderência por tração *Pull-off*

O ensaio de arrancamento pelo método *pull-off*, como está representado na Figura 26, é utilizado para medir a aderência de revestimentos sobre uma placa. Este método consiste em colar sobre o revestimento em um pino de alumínio conhecido como “*dolly*” (Figura 26). Após a cura da adesivo que fixa a *dolly*, é aplicado uma força perpendicular a superfície até completa remoção da *dolly*. Devido as placas de fibrocimento serem onduladas foram utilizadas *dolly* de 10mm de diâmetro. Este ensaio foi realizado com um equipamento modelo Positest AT-A Automatic Adhesion Tester Marca Defelsko.



Figura 26: Equipamento para ensaio de arrancamento *Pull-off* [108].

O resultado do teste se dá em função da força aplicada do tipo de falha que ocorre e pode ser de dois tipos:

Falha coesiva – a fratura ocorre entre a camada de tinta de revestimento e o substrato;

Falha adesiva – a fratura ocorre no plano de ligação entre a tinta e o *dolly*;

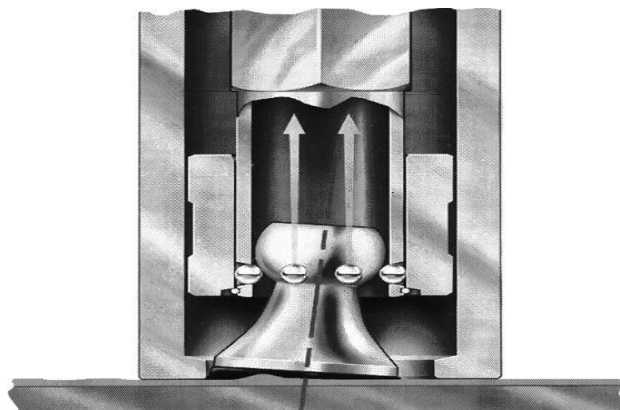


Figura 27: Forma do aplicador da força no equipamento [107].

O adesivo utilizado é de resina epóxi bi-componente, com alto poder de adesão para colagens. A superfície pode ser lisa ou irregular, a cura da mesma ocorreu em 24h. Após este período foi executado o ensaio, sendo a *dolly* encaixada no pistão como representado na Figura 27. Foi aplicada uma pressão até a *dolly* ser arrancada do substrato, o arrancamento é apresentada em Mpa.

4.6.7. Espectrofotômetro

As análises de refletância das amostras foram realizadas com um espectrofotômetro modelo Agilent Cary 5000 (ultravioleta (UV), visível (VIS) e infravermelho (IV)) (**Figura 28:a**), equipado com um acessório para medidas de refletância da superfície difusa: esfera integradora de 114mm de diâmetro interno, revestida de PTFE e com detecção via PMT (UV e VIS) e InGaAs (IV) (**Figura 28:b**). As medidas de refletância total foram realizadas num intervalo espectral entre 300 e 1700 nm.

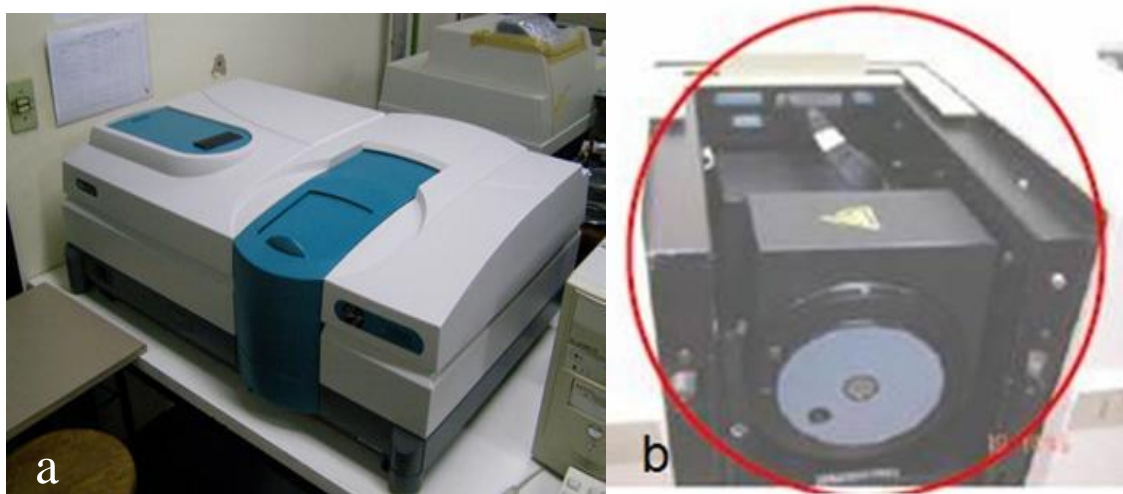


Figura 28: (a) Espectrofotômetro Agilent Cary 5000 e (b) esfera integradora para medidas de refletância total.

O software Origin 8.0 foi utilizado para tratamento dos dados de refletância. As curvas foram obtidas após a integração das áreas correspondentes às três regiões do espectro (UV, Vis e IV próximo).

4.6.8. Câmera Termográfica

A câmera termográfica infravermelha foi utilizada para investigar a distribuição de temperatura das amostras e descrever seu desempenho térmico. A câmera de infravermelho usada é da marca Fluke, modelo TiR35, ilustrada na Figura 29. Essa tecnologia permite ao usuário ilustrar a temperatura do objeto e caracterizar o desempenho da refletividade da radiação infravermelha nos produtos. O filme da tinta foi aplicado sobre um substrato fibrocimento e exposto à radiação solar por um período de 3 horas, com o aquecimento sendo monitorado de 60 em 60 min.



Figura 29: Câmera termográfica FlukeTiR35.

4.6.9. Determinação da Cor e Brilho

Para determinação da cor das tintas foi utilizado o espectrofotômetro portátil modelo Spectro-guide marca Byk Gardner, com geometria direcional de $45^{\circ}/0^{\circ}$, conforme mostra a Figura 30, conforme a norma ASTM D2244-09b [109]. A luz é projetada no revestimento sob um ângulo determinado e, posteriormente, capturada pela célula fotoelétrica do aparelho. Pela diferença entre a incidência e a absorção, é definido o poder do brilho. São efetuadas leituras em diversos locais do revestimento e, então, efetuadas a média.



Figura 30: Espectrofotômetro portátil da Byk Gardner

As cores das amostras foram medidas de acordo com a CIE (Commission

Internationale de l'Eclairage) [110], neste trabalho foi utilizando iluminador D65°, representa a luz do dia e observador padrão de 10° [111]. Esta tecnica é amplamente utilizado para caracterizar a cor das tintas que foram produzidas em laboratório (tinta refletiva) e tintas comerciais (fornecidas por uma indústria de tinta). As coordenadas L^* , a^* e b^* são chamados de CIELAB [112, 113] a coordenada G representa o brilho da amostra. Cada cor é representada pelas coordenadas de um sistema tridimensional de gerar um conjunto de três membros, estão representadas na Figura 31.

- O vertical, que representa a luminosidade (L^*), variando do nível zero escuro ($L^*=0$) ao máximo em cem, que é o claro ($L^*=100$), que guarda as informações de luminosidade;
- Escala de **a**: vermelho versus verde onde o sinal positivo indica vermelho e um sinal negativo indica verde.
- Escala de **b**: amarelo versus azul onde o sinal positivo indica amarelo e um sinal negativo indica azul [114, 115].

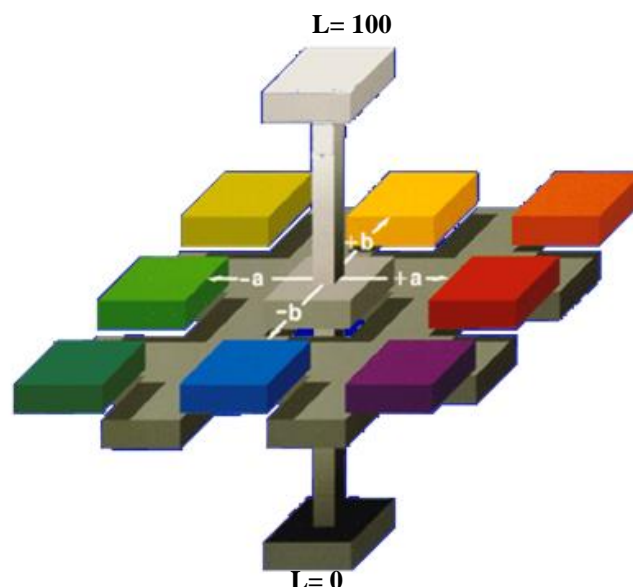


Figura 31: Sistemas de cor L^* , a^* , b^* [116].

É possível verificar a diferença de cor pelo ΔE , que é determinada matematicamente pela equação 8:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Equação 8

ΔL^* = diferença de luminosidade;

Δa^* = diferença entre os tons de verde/vermelho;

Δb^* = diferença entre os tons de laranja/azul.

Sendo que, o ΔE representa a variação da coloração dos materiais estudados os valores apresentados indicam: $\Delta E < 1$ tonalidades idênticas ou podemos dizer indistinguíveis e o $\Delta E > 1$ tonalidades perceptíveis. [114,117].

4.6.10. Verificação da temperatura por lâmpada Infravermelha

A verificação da temperatura por lâmpada infravermelha foi realizada no Laboratório de Materiais Poliméricos – LAPOL na UFRGS. As tintas foram aplicadas sobre placas de fibrocimento de 8 mm de espessura. As placas foram expostas a radiação infravermelha gerada por uma lâmpada Philips 250 W, 220 V. A distância entre a placa e a lâmpada foi mantida constante em 30 cm. Dois termopares foram usados para registrar a temperatura das placas de fibrocimento. Um termopar foi posicionado na parte frontal da placa, sobre a superfície pintada, cuja temperatura está representada pela sigla TS (temperatura de superfície). O outro termopar foi colocado na parte a trás da placa, onde foi utilizado a sigla TI (temperatura interna) para representar a temperatura logo abaixo da telha de fibrocimento. Após uma hora de exposição à radiação infravermelha verificou-se a estabilização da temperatura, assim foram realizados os registros das TS e TI. O mesmo procedimento foi realizado para todas as placas revestidas com tintas refletidas e comerciais (Figura 32).

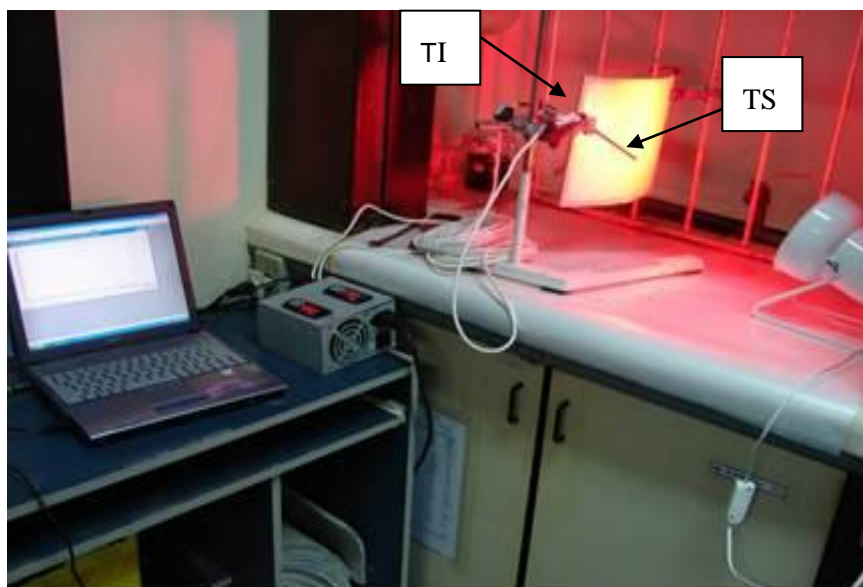


Figura 32: Esquema do equipamento para a exposição da lâmpada radiante infravermelha.

4.7. Técnicas de envelhecimento acelerado

Ensaio de envelhecimento acelerado são utilizados para a avaliação da qualidade e desempenho funcional dos materiais. Através desses ensaios é possível verificar o comportamento destes materiais frente às solicitações que simulam condições ambientais reais. Neste trabalho, foram utilizadas três condições que simulam as intempéries: weatherometer, câmara de ultravioleta e radiação infravermelha. Foram submetidas aos ensaios as amostras produzidas no laboratório e amostras comerciais.

4.7.1. Envelhecimento Acelerado por Weatherometer

O ensaio foi realizado em câmara de envelhecimento acelerado do tipo Weatherometer no Laboratório do Centro Tecnologia de Polímeros – CETEPO – São Leopoldo – RS. O envelhecimento acelerado foi realizado em um equipamento da marca Q-LAB modelo Xe-3 (Figura 33), conforme a norma ASTM G26 - 96 [118]. Este equipamento trabalha com uma lâmpada de arco de Xenônio de 6500 W de potência, com filtros de borossilicato, de irradiação banda larga de 300 nm a 400 nm (W/m^2) e banda estreita 340 nm ($W/m^2 \cdot nm$) ($0,51 \pm 0,02$) simulando a incidência de luz solar às 12:00h, com ciclo de 102 minutos de luz incidindo a 90° com

temperatura do painel preto de 65 °C e umidade relativa de 50%; e 18 minutos de luz e spray de água deionizada e com temperatura do ar na câmara de 38 °C.

Para compensar a variação de incidência de radiação e temperatura nas amostras, os corpos-de-prova devem ser trocados de lugar dentro da câmara durante a realização do ensaio. Essa troca deve ser realizada periodicamente a fim de que todos os corpos-de-prova fiquem aproximadamente em todas as áreas de exposição. Foram realizados envelhecimentos acelerado sobre as tintas refletivas e comerciais, as quais foram aplicadas sobre placas de vidros em um período de 1000 horas, sendo avaliadas em 150 h, 300 h, 500 h, 750 h e 1000 horas.



Figura 33: Câmara de envelhecimento “Xênon” e suporte para as amostras.

4.7.2. Envelhecimento acelerado por Radiação Ultravioleta- UV

A câmara de envelhecimento usando radiação ultravioleta marca Atlas modelo UV Test está representada na Figura 34. Este envelhecimento foi realizado conforme o ciclo 2 da norma ASTM G154 – 06 [119], com uma lâmpada fluorescente UVB, irradiância de 0,71 W/m² com comprimento de onda aproximada a 313 nm. As amostras ficam exposta por 4 horas ao UV a (60 ± 3) °C pelo painel preto, por um período de 4 horas em condensação a (50 ± 3) °C. As amostras ficaram expostas a radiação UV por 1000 horas.



Figura 34: Câmara de envelhecimento em radiação ultravioleta.

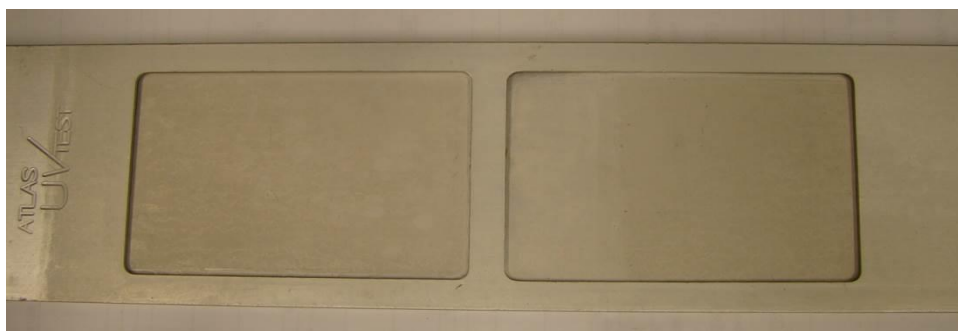


Figura 35: Porta amostra em radiação ultravioleta (UV).

As amostras tiveram de ser adaptadas conforme porta amostra que está representado na Figura 35 na forma de um retângulo com 10 cm de comprimento por 5 cm de largura e 2 mm de espessura, sendo que as amostras foram avaliadas no intervalo de 150 h, 300, 500, 750 e 1000 horas.

A maior parte da energia do UVB está em comprimentos de onda mais curtos que os emitidos pela radiação solar. Os comprimentos de onda curtos são altamente energéticos e causam rápida degradação nos materiais sensíveis a estes comprimentos de onda. Também podem iniciar diferentes mecanismos e tipos de degradação, além de distorcer os ingredientes de estabilidade dos materiais, em comparação com a sua exposição à radiação solar.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa o trabalho será discutido os resultados e conclusões.

5.1. Concentração volumétrica de pigmento (PVC)

Todas as formulações foram desenvolvidas conforme a Tabela 2. Um dos parâmetros empregados na descrição da composição de uma tinta é a concentração volumétrica de pigmento (PVC) [99].

Na Tabela 6 está representada a densidade de cada pigmento que foi utilizado para o desenvolvimento da tinta no laboratório e o valor do PVC calculado conforme a Equação 6.

Tabela 5: Densidade e PVC das tintas à base solvente.

Amostra Tintas	Componente	Densidade (g/cm³)	PVC
Resina	Resina acrílica hidroxilada	-	-
TARBr	Branco (TiO ₂)	3,35	21,4
TARAm-1	Amarelo Arctic. 157	4,6	17,6
TARAm-2	Amarelo ouro – Net	4,2	17,8
TARMr-1	Marrom 157	4,6	17,6
TARMr-2	Marrom Rosse 208	4,5	18,3
TARAz	Azul claro	3,8	17,2
TARPr-1	Preto 469	5,4	18,8
TACPr-2	Preto - negro de fumo Monarch 430	2,4	20,5

Observa-se que a concentração em volume de pigmento das tintas preparadas em laboratório permaneceu em média de 20%. As tintas com baixo PVC apresentam alto brilho, permeabilidade baixa, elevada tendência à formação de bolha e elevada proteção contra a corrosão [99]. Tintas com valor de PVC baixo apresentam alto brilho, enquanto tintas com alto PVC apresentam acabamento fosco. Segundo essas classificações, as tintas produzidas no laboratório podem ser classificadas como semi-brilho, conforme pode ser observado na Tabela 1.

5.2. Espessura da película seca e úmida

Na Tabela 7 estão representadas as médias das espessuras dos filmes úmidos e dos filmes secos das tintas refletivas.

Tabela 6: Espessuras dos filmes úmidos e secos das tintas refletivas utilizadas nas placas de fibrocimento.

Amostras Tintas reflexivas	Filme úmido (μm)	Filme seco (μm)
TARBr	250,0	80,9 \pm 0,6
TARAm-1	250,0	76,7 \pm 0,2
TARAm-2	225,0	137,7 \pm 0,9
TARMr-1	275,0	98,4 \pm 0,2
TARMr-2	250,0	88,9 \pm 0,2
TARAz	275,0	97,4 \pm 0,3
TARPr-1	225,0	61,3 \pm 0,2

Com exceção da tinta TARAm-2 que, apresenta pigmentos com diâmetro mais elevado as espessuras das tintas refletivas mantiveram a média próxima de (83,9 \pm 2) μm . É de 91 μm se incluir a amostra TARAm-2 na média. Se retirar esta a média cai para 83,9 μm .

Na Tabela 8 são representadas as espessuras dos filmes úmidos e dos filmes secos das tintas comerciais.

Tabela 7: Espessura dos filmes úmidos e secos das tintas comerciais utilizadas nas placas de fibrocimento.

Amostras Tintas comerciais	Filme úmido (μm)	Filme seco (μm)
TcBr	275,0	80,6 \pm 0,3
TcAm-1	250,0	62,4 \pm 0,2
TcAm-2	225,0	61,5 \pm 0,1
TcMr-1	250,0	61,6 \pm 0,3
TcMr-2	250,0	66,8 \pm 0,2
TcAz	250,0	61,3 \pm 0,2
TcPr-2	275,0	68,5 \pm 0,2

As espessuras médias obtidas nos filmes secos nas tintas comerciais são próximas a (66 \pm 2) μm .

5.3. Distribuição de tamanho de partícula por Difração a Laser

Os pigmentos utilizados neste trabalho são de diferentes granulometrias, pois é sabido que quanto menor sua partícula maior será sua refletância [76]. Na Tabela 9 está descrito o tamanho das partículas dos pigmentos utilizados na formulação de cada tinta preparada no laboratório. Observa-se que o pigmento branco (TiO_2) apresenta o menor diâmetro (médio) de partícula de $0,17 \mu\text{m}$. Já o pigmento amarelo ouro – Net apresenta o maior diâmetro (médio) de $14,29 \mu\text{m}$.

Tabela 8: Distribuição granulométrica dos pigmentos na forma de pós.

Faixa de distribuição granulométrica (μm)				
Amostras	d10%	d50%	d90%	Diâmetro médio
Branco - TiO_2	0,07	0,14	0,29	0,17
Amarelo 346	0,45	1,27	2,95	2,15
Amarelo ouro – Net	0,57	9,25	36,48	14,29
Marrom 157	0,55	1,55	3,76	1,91
Marrom Rosse 208	0,60	1,45	3,86	1,98
Azul claro	0,43	1,28	3,97	1,78
Preto 469	0,92	1,33	2,04	1,42

d10= $0,07 \mu\text{m}$, ou seja, 10% das partículas estão abaixo de $0,07 \mu\text{m}$.

d50= $0,14 \mu\text{m}$, ou seja, 50% das partículas estão abaixo de $0,14 \mu\text{m}$.

d90= $0,29 \mu\text{m}$, ou seja, 90% das partículas estão abaixo de $0,29 \mu\text{m}$.

Diâmetro médio = $0,17 \mu\text{m}$.

Observa-se que entre todos os pigmentos estudados o TiO_2 apresenta o menor tamanho de partícula, em d10% encontra-se abaixo de $0,07 \mu\text{m}$, d50% abaixo de $0,14 \mu\text{m}$ e d90% abaixo de $0,29 \mu\text{m}$.

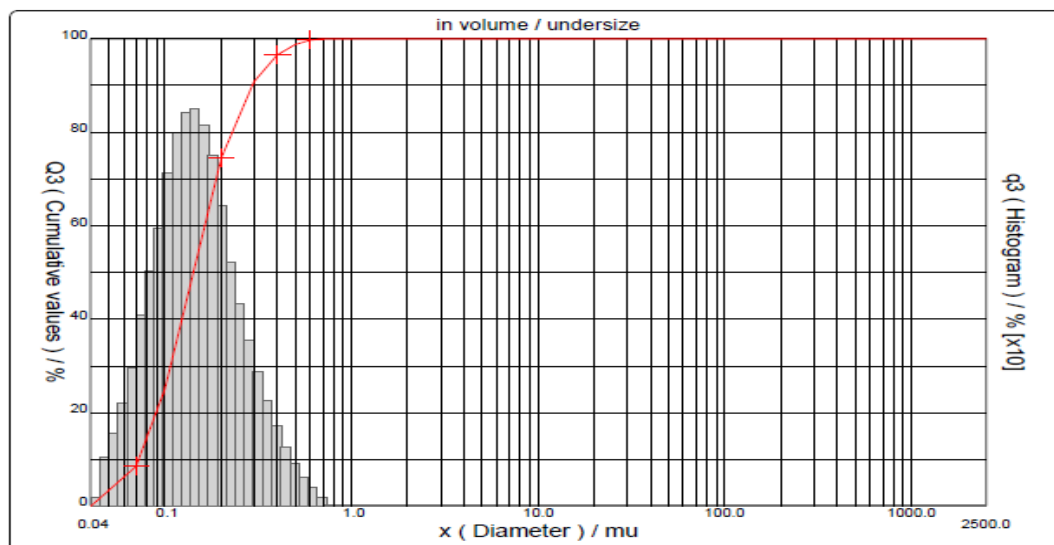


Figura 36: Distribuição granulométrica da amostra de dióxido de titânio (TiO_2).

Na Figura 36 pode ser observado a distribuição granulométrica do pigmento de TiO_2 . Com referência ao poder de refletância, parâmetro foco deste trabalho, cabe salientar que, quanto menor o tamanho de partícula maior será a refletância.

5.4. Emissividade e Refletância Solar

Nas telhas de fibrocimento revestidas com as tintas comerciais e refletivas foi medida a emissividade e a refletância solar média. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Para calcular a refletância solar é usado um conjunto de equações segundo a ASTM D903. O espectro da refletância difusa está representado na Figura 39, sendo que o espectro de referência (Figura 5) é o da irradiação solar segundo a norma ASTM G173-03.

Quanto menor for à emissividade, menor será a perda de calor do substrato. Superfícies com uma alta emissividade podem contribuir para a dissipação do calor superficial. A emissividade (ϵ) de uma tinta branca a base de dióxido de titânio (TiO_2) corresponde a 0,87 - 0,90, e sua refletância solar em 0,85 a 0,82. Além disso, observa-se uma diferença da ordem de 50% nos valores de refletância solar nos substratos com revestimento branco comparado com o substrato sem revestimento e, essa diferença influencia no desempenho térmico do substrato quando exposto a radiação solar. Observa-se ainda que os valores de emissividade das tintas reflexivas e comerciais mostraram-se muito similares.

Tabela 9: Valores de emissividade e refletância solar nas diferentes tintas.

Amostras	Pigmento	Emissividade	Refletância solar até 1600 nm
TARBr	Branca (TiO ₂)	0,90 ± 0,02	0,85 ± 0,01
TCBr	Branca Comercial	0,87 ± 0,02	0,82 ± 0,02
TARAm-1	Amarelo Arctic 346	0,92 ± 0,02	0,73 ± 0,01
TCAm-1	Amarelo Comercial	0,87 ± 0,02	0,41 ± 0,02
TARAm-2	Amarelo Arctic.NET	0,88 ± 0,02	0,55 ± 0,01
TCAm-2	Amarelo Comercial	0,86 ± 0,02	0,46 ± 0,01
TARMr-1	Marrom Arctic 157	0,90 ± 0,02	0,78 ± 0,01
TCMr-1	Marrom Comercial	0,92 ± 0,02	0,58 ± 0,02
TARMr-2	Marrom Arctic 208	0,89 ± 0,02	0,24 ± 0,02
TCMr-2	Marrom Comercial	0,89 ± 0,02	0,18 ± 0,02
TARAz	Azul Claro	0,88 ± 0,02	0,33 ± 0,02
TCAz	Azul Comercial	0,85 ± 0,02	0,29 ± 0,02
TARPr	Preto Black	0,90 ± 0,02	0,06 ± 0,02
TCPr	Preto Comercial	0,91 ± 0,02	0,05 ± 0,02

Quanto maior for a refletância solar maior será a capacidade desse material em não absorver calor e conseqüentemente, de não transferir o calor para o interior das edificações. Como pode-se observar na Tabela 10 uma tinta branca apresenta refletividade de 85% e emissividade 90%, enquanto que uma tinta preta apresenta refletividade de 6% e emissividade 90%. Desta forma, as tintas refletivas ou comerciais com tons escuros apresentam refletância solar baixa, indicando que estão absorvendo a radiação incidente podendo sofrer aumento de temperatura em sua superfície.

5.5. Método de aderência por tração Pull-off

O método de aderência por *pull-off* é utilizado para revestimentos orgânicos, e foi realizado conforme a Norma ASTM D4541-09e1 [108]. Este método consiste em arrancar a Dolly preso ao substrato como está representado na Figura 37 (b).

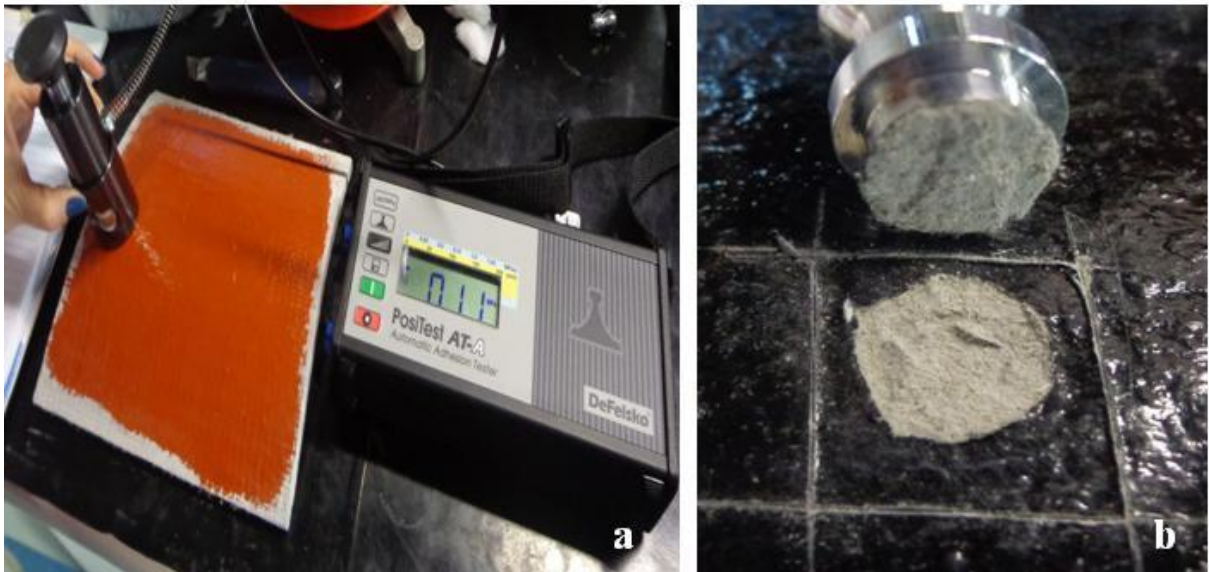


Figura 37: Método de arrancamento *pull-off* (a) e arrancamento da Dolly do substrato (b).

Em todas as tintas é observada uma fratura coesiva, que ocorre abaixo da camada do revestimento como é observado na Figura 37 (b).

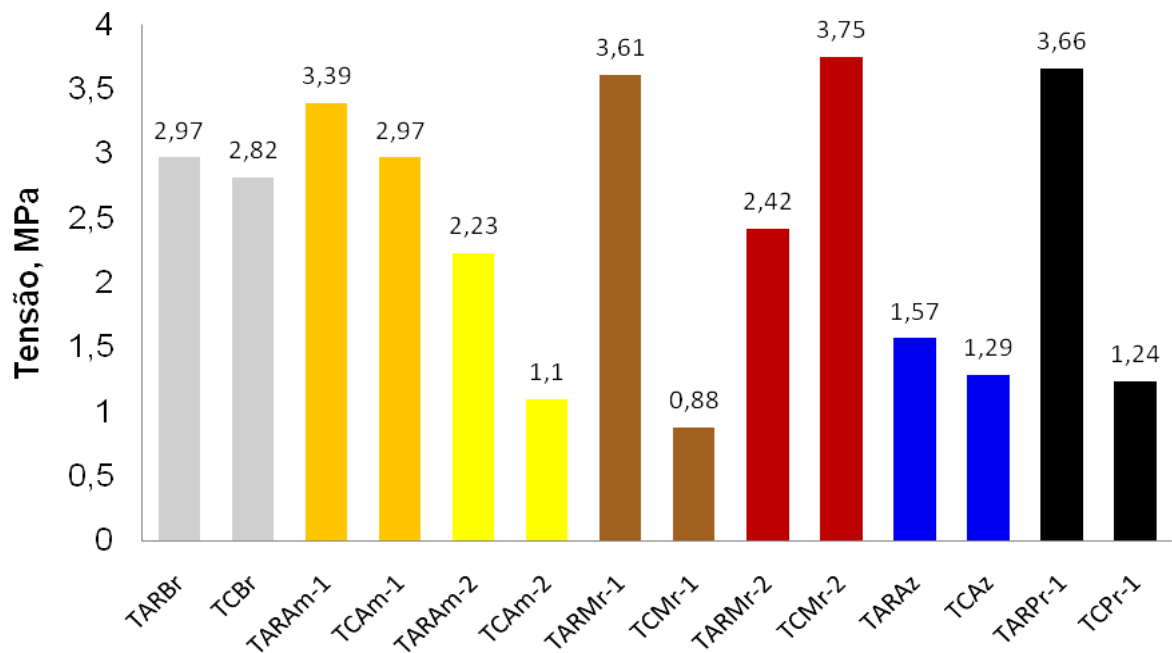


Figura 38: Força de arrancamento das tintas comerciais e refletivas segundo a norma ASTM D4541-09

Como pode ser observado na Figura 38 as tintas que foram desenvolvidas no laboratório, apresentam uma tensão (MPa) de arrancamento maior que as tintas comerciais. Esta resistência de tensão é proveniente da resina utilizado na formulação das tintas. Com exceção da tinta TARMr-2, onde a tinta comercial (TCMr-2) apresenta uma tensão de arrancamento maior que a refletiva (TARMr-2).

5.6. Teste de aderência por arrancamento em fita

Foram realizados os ensaios de aderência em todas as tintas refletivas produzidas no laboratório e nas tintas comerciais fornecidas pela empresa Kresil. As placas de fibrocimento receberam duas demãos das tintas refletivas e das tintas comerciais. O ensaio foi realizado conforme a Norma ASTM D3359 – 09e2 e os critérios de classificação de testes de adesão estão descritos na Tabela 4. Os ensaios de aderência realizados estão representados na Tabela 11.

Tabela 10: Resultados do teste de aderência das tintas refletivas e comerciais.

Amostras	Classificação	Percentual da área removida
TARBr	4B	Menos que 5%
TCBr	3B	5 – 15%
TARAm-1	4B	Menos que 5%
TCAm-1	3B	5 – 15%
TARAm-2	3B	5 – 15%
TCAm-2	2B	15 – 35%
TARMr-1	4B	Menos que 5%
TCMr-1	1B	35 – 65%
TARMr-2	3B	5 – 15%
TCMr-2	4B	Menos que 5%
TARAz	2B	15 – 35%
TCAz	1B	35 – 65%
TARPr	3B	5 – 15%
TCPPr	1B	35 – 65%

Observa-se que os revestimentos a partir das tintas refletivas produzidas no laboratório apresentaram um desempenho melhor ou similar em aderência que as tintas comerciais, com exceção da tinta TARMr-2 que apresentou classificação 3B (percentual da área removida entre 5 – 15%), menor que a comercial Classificação 4B. Esta mesma deficiência da tinta é observada no ensaio de tensão de

arrancamento.

5.7. Análise Espectrofotométrica

Na região do ultravioleta todos os revestimentos apresentam refletância baixa, inclusive a tinta branca (TARBr) como pode ser verificado na Figura 39, indicando uma elevada absorção. Na região do visível (400 a 700 nm) observa-se que todos os revestimentos refletivos e os comerciais apresentam uma intensidade de refletância difusa diferente para cada cor. Nas amostras pretas TARPr e TCPPr, observa-se que todos os comprimentos de ondas são emitidos na forma de radiação.

Segundo Hide et al. [23], a maior parte da incidência da energia solar ocorre nas ondas curtas (700 a 1400 nm) da região do IV próximo, Essa região do espectro solar é a principal responsável pelo aquecimento das edificações sendo, portanto tomada como ponto referência para a análise de refletância difusa.

Na Figura 39 está apresentada a refletância difusa (UV, VIS e NIR) dos revestimentos refletivos e comerciais aplicados sobre as placas de fibrocimento.

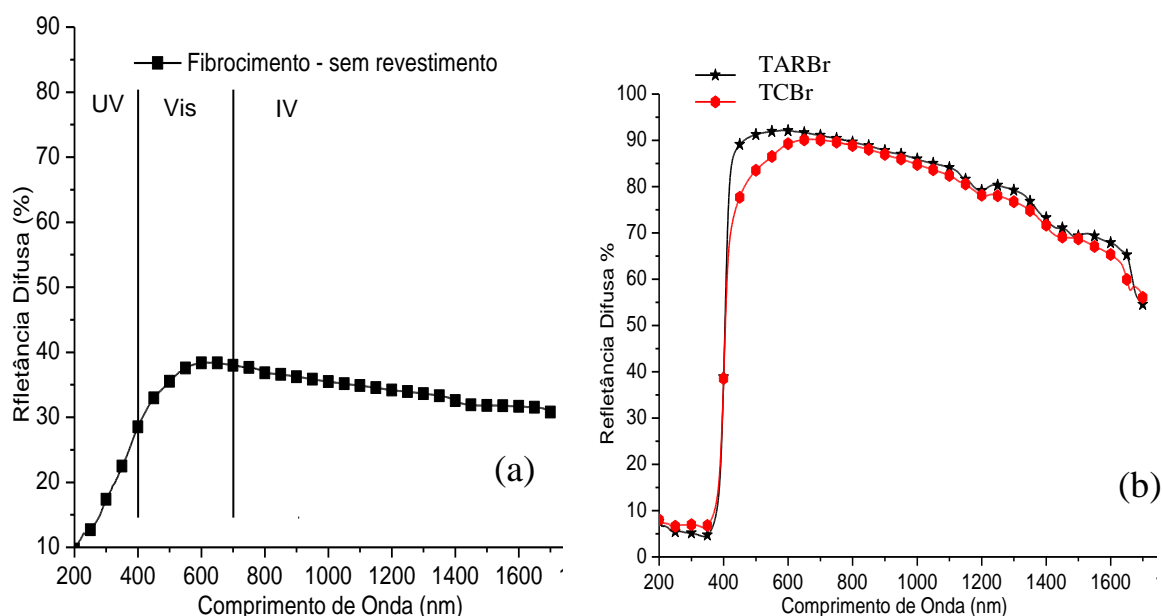


Figura 39: Curvas de refletância das placas de fibrocimento sem revestimento (a) e das tintas refletiva TARBr e comercial TCBr (b).

Na Figura 39a está representada o espectro de refletância da placa de fibrocimento sem revestimento, a qual apresenta refletância entre 38 e 30% na região do infravermelho próximo. Na Figura 39b ambas as curvas TARBr e TCBr

apresentam refletância elevada entre 93 e 75% na região do IV próximo, comportamento esse característico do pigmento de TiO_2 .

A tinta que contém o pigmento refletivo TARAm-1 apresenta refletância entre 48 a 62% na região do IV próximo, enquanto a tinta TCAm-1 apresenta refletância entre 45 a 34% no mesmo comprimento de onda, como é observado na Figura 40a. Nota-se que não ocorrem alterações significativas de refletância em relação ao substrato sem revestimento (Figura 39a). A TCAm-1 apesar de ser uma tinta de cor clara, o seu pigmento não tem um bom poder de refletância difusa, o qual pode ser explicado devido ao tamanho de suas partículas e o tipo de pigmento. Neste caso esta tinta apresenta somente função estética.

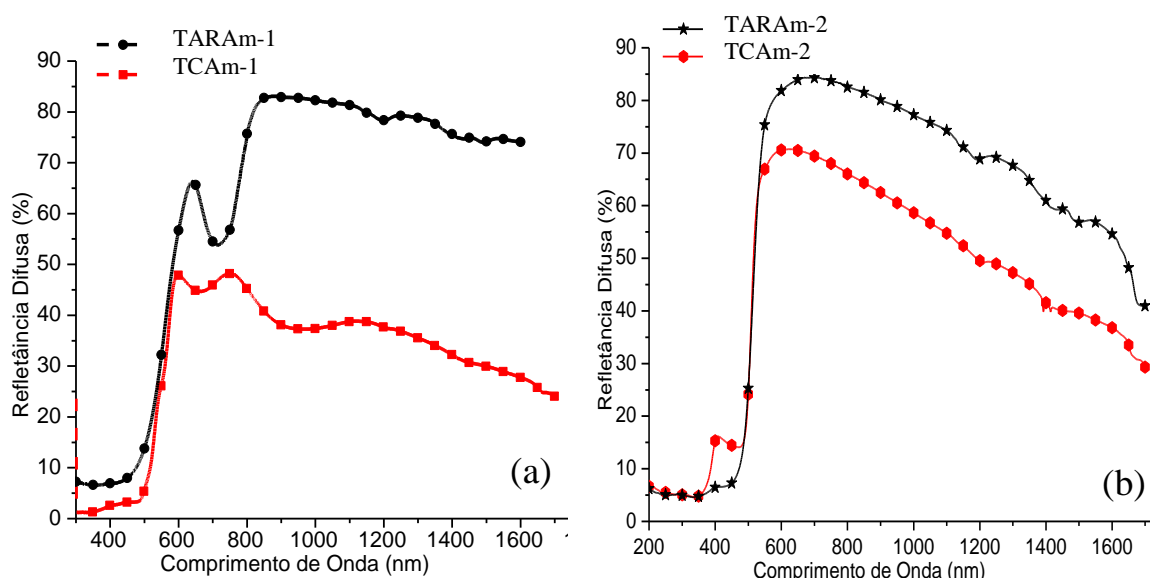


Figura 40: Curvas de refletância das tintas, a) TARAm-1 e TCAm-1 e b) TARAm-2 e TCAm-2.

Na Figura 40b a tinta TARAm-2 apresenta refletância entre 84 a 62% no comprimento de onda IV próximo, e a TCAm-2 apresenta refletância entre 70 a 42% no comprimento de onda IV próximo. A tinta TARAm-2 apresenta alta refletância difusa, apesar de ter um tamanho de partícula consideravelmente grande (Tabela 9).

A Figura 41a está representada a TARMr-1, apresenta refletância crescente entre 27 a 60% no comprimento de onda no IV próximo e a TCMr-1 apresenta uma refletância difusa muito baixa entre 14 a 8%, sendo esta refletância muito inferior à da placa de fibrocimento sem revestimento (Figura 39a). Constata-se que este revestimento não é eficiente para diminuir o aquecimento interno nas edificações.

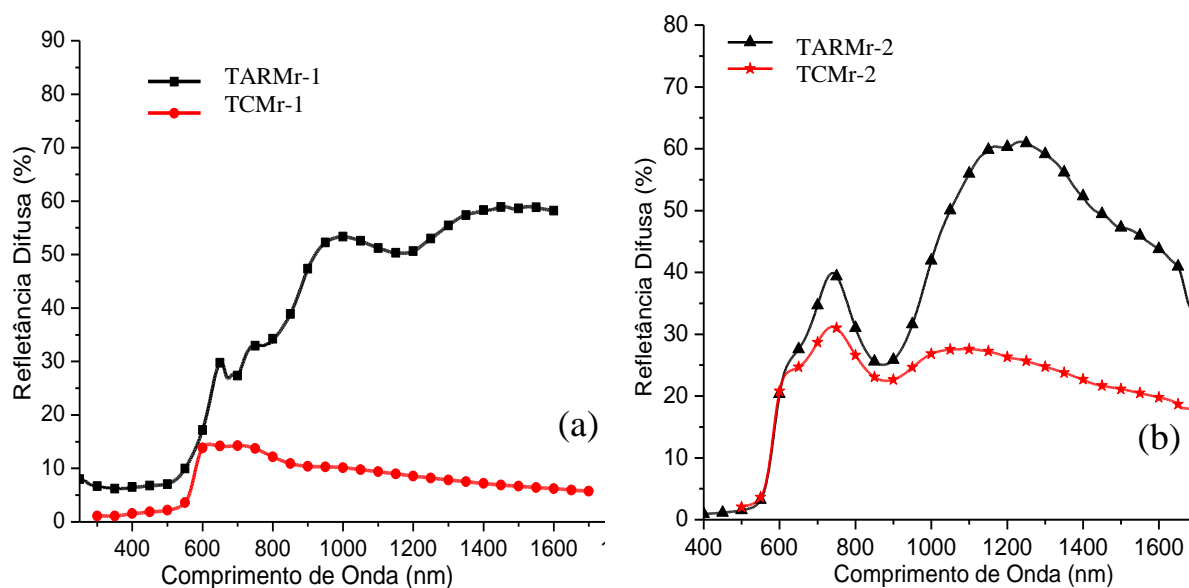


Figura 41: Curvas de refletância das tintas, a) TARMr-1 e TCMr-1 e b) TARMr-2 e TCMr-2.

A amostra TARMr-2 apresenta refletância inicial entre 28 a 53% no comprimento de onda de 700 a 1400 nm. Já a amostra TCMr-2 apresenta refletância entre 28 a 20% em todos os comprimentos de onda do NIR (Figura 41b), ficando abaixo da placa sem revestimento (Figura 39a).

No espectro da TRAz (Figura 42a) observa-se um pico bem intenso em 60% de refletância difusa de 700 a 1145 nm no comprimento de onda. Em seguida ocorre um decréscimo brusco em 1160 nm chegando a 5%, estabilizando a esta refletância. Este fenômeno ocorre devido ao tipo de pigmento que foi utilizado nesta tinta. Já para a amostra TCAz apresenta um aumento de refletância que inicia em 10% no comprimento de onda 700 nm, mas em 900 nm a refletância permanece entre 65 a 35%. Observa-se, nessas amostras uma inversão de resultados. A amostra comercial apresenta um melhor desempenho na refletância difusa.

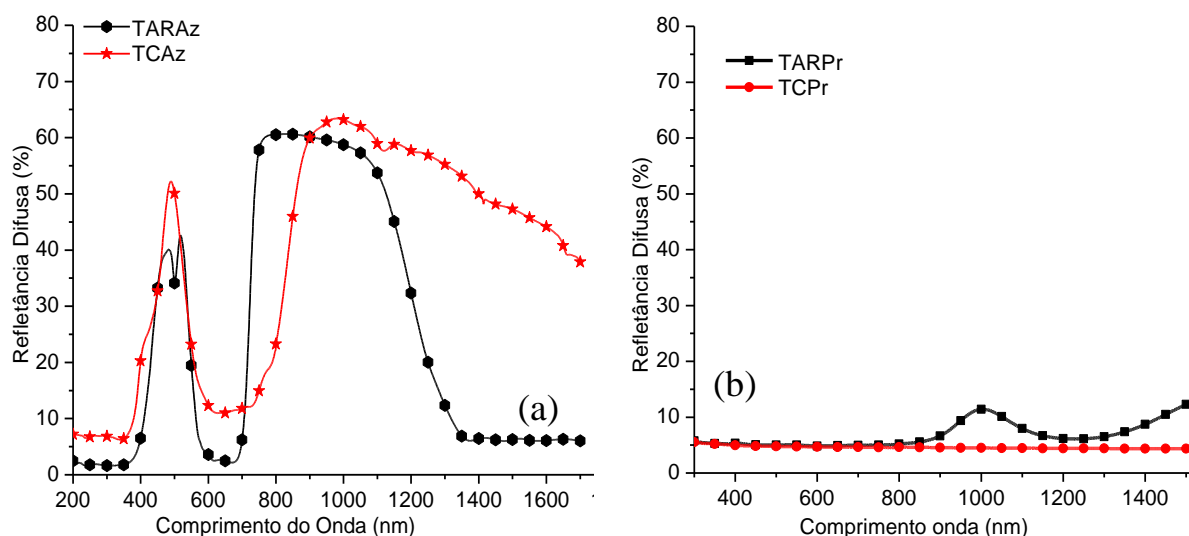


Figura 42: Curvas de refletância das placas de fibrocimento, (a) TARAz e TCAz e (b) TARPr e TCPr.

Já a amostra TARPr apresenta uma absorção quase total do espectro solar, ou seja, uma refletância próxima a 10% no comprimento de onda em 1000nm. Já a amostra TCPr apresenta absorção total em todo o espectro UV, Visível e IV próximo. Pode-se concluir que estes revestimentos não são adequados para estas aplicações, como está representado na Figura 42b.

5.7.1. Revestimentos com cargas refletivas

No mercado existem outras formas de impedir o aquecimento da superfície dos telhados [89,90], além dos pigmentos refletivos, são utilizadas cargas lamelares e as esferas ocas de vidros [88], ambas de mesma cor clara.

Observa-se na Figura 43a que a tinta que contém como pigmento o TiO_2 apresenta refletância na região do IV próximo entre 95 a 84% (Figura 43a), superior as tintas que contém como cargas as esferas ocas de vidro (apresentam refletância entre 78 a 57% Figura 43b) e as cargas lamelares (apresentam refletância entre 78 a 54% Figura 43b). As cargas apresentam uma diferença entre 17 a 29% menor de refletância na região do IV próximo do que a tinta que contém TiO_2 .

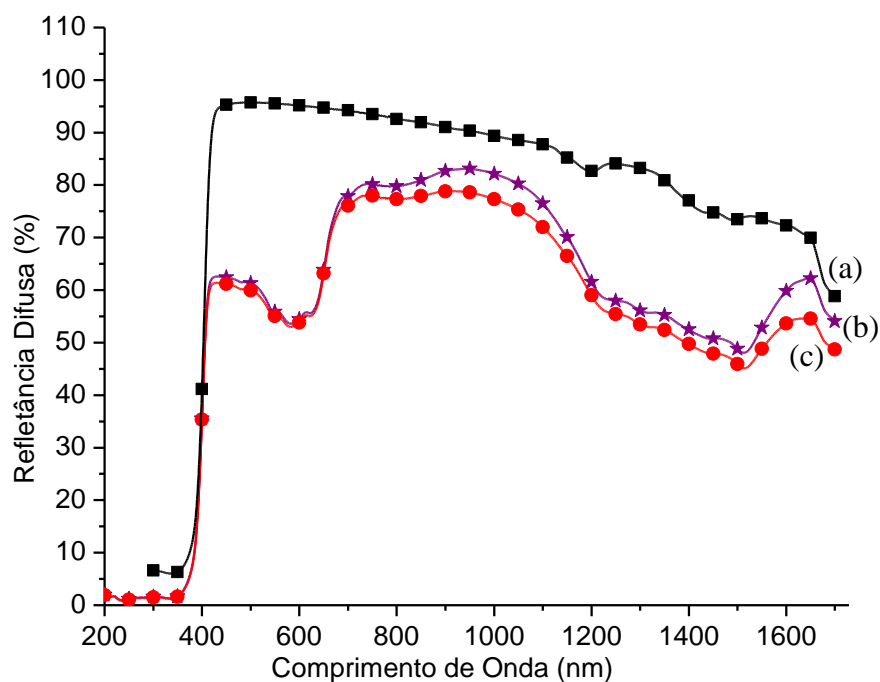


Figura 43: Refletância das tintas com (a) pigmento TiO_2 , (b) cargas com esferas ocas de vidro e (c) cargas lamelares.

Na Figura 44 está representada a refletância difusa nos comprimentos de ondas UV, VIS e NIR, para as tintas refletivas que foram elaboradas com uma porcentagem de 25% e 75% do pigmento de TiO_2 . Inicialmente o TiO_2 foi adicionado em uma tinta com um pigmento conhecido (TARAM-1), no qual observa-se que sua refletividade aumentou em comparação ao revestimento sem a adição do TiO_2 .

Na Figura 44c, observa-se o espectro da tinta que contém 25% de TiO_2 e 75% do pigmento amarelo 1. Apresenta refletância entre 78 a 73% no comprimento de onda de 700 a 1400nm. Já a tinta que contém 75% de TiO_2 e 25% do pigmento amarelo 1 apresenta uma refletância entre 57% a 80% conforme está representada na Figura 44d.

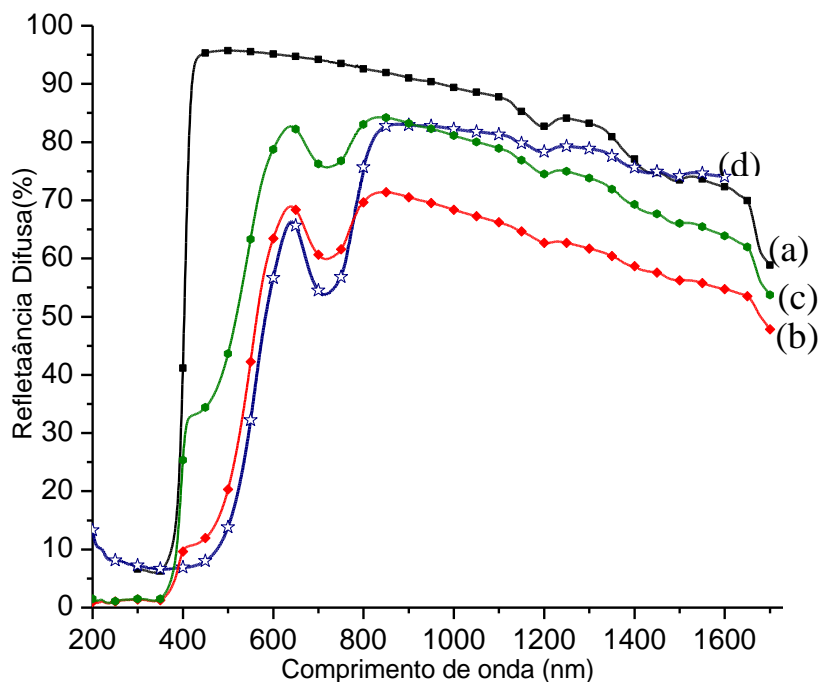


Figura 44: Refletância das tintas, (a) TARBr, (b) TARAM-1, (c) tinta preparada com mistura de 25% TiO₂ e 75% do pigmento amarelo 1 e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO₂ e 25% do pigmento amarelo 1.

Conforme o esperado, com a adição de 25% TiO₂ e 75% do pigmento amarelo 1 (Figura 44d) na tinta, houve um aumento significativo na refletância difusa no infravermelho próximo. Assim, pode ser uma alternativa viável para melhorar as propriedades óticas de tintas convencionais, entretanto, deve-se levar em consideração que ao adicionar TiO₂, a tinta se torna mais clara.

Na Figura 45 foi realizado o estudo com o pigmento refletivo amarelo 2 com percentuais 75 e 25% do mesmo. Como era previsto, a tinta TARBr (Figura 45a) apresenta maior refletância do que a tinta que contém somente pigmento amarelo 2 (TARAM-2, Figura 45b).

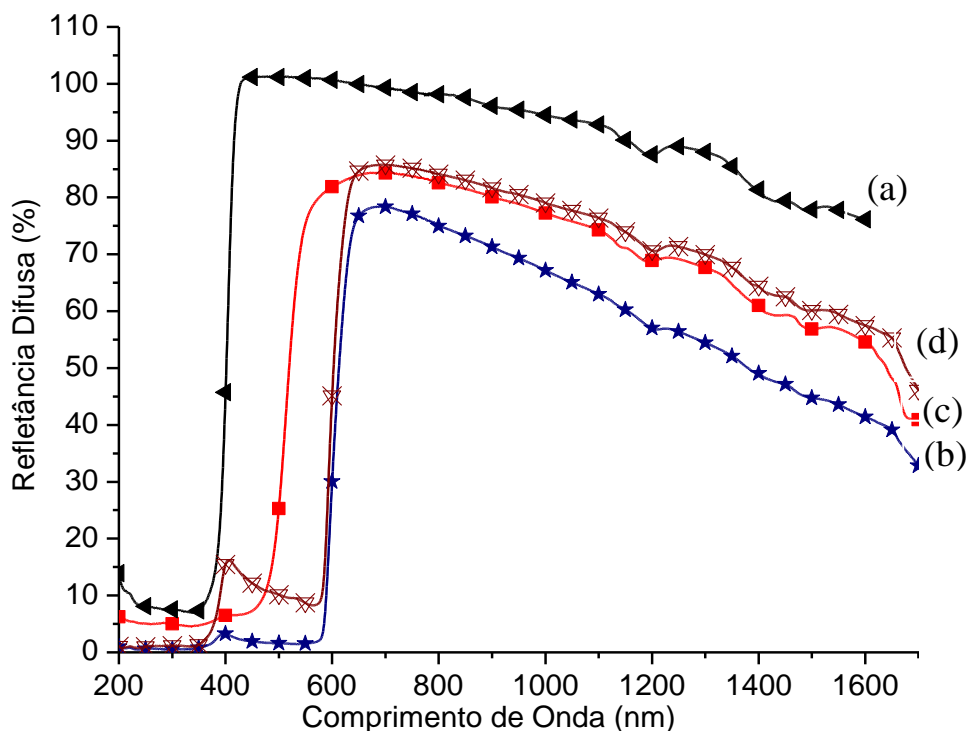


Figura 45: Refletância das tintas, (a) TARBr, (b) TARAm-2, (c) tinta preparada com mistura de 25% TiO_2 e 75% do pigmento amarelo 2 e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO_2 e 25% do pigmento amarelo 2.

Na Figura 45c observa-se que a tinta que contém 25% do pigmento de TiO_2 e a que contém 75% do pigmento amarelo 2, apresenta uma refletância entre 87 a 68% no comprimento de onda. Na Figura 45d apresenta-se uma tinta que contém 75% do pigmento de TiO_2 e 25% do pigmento amarelo 2 representando refletância entre 87 a 70%. Ambas as tintas sua refletância é muito próxima do infravermelho próximo (700 a 1400nm). Neste caso, é possível obter boa refletância com a adição de menor quantidade do pigmento amarelo 2 (25%) (Figura 45c). Desta forma, pode ser uma alternativa economicamente viável para melhorar essa propriedade ótica em uma tinta convencional.

O pigmento branco é encontrado no mercado com maior facilidade além de ser mais barato que o pigmento amarelo 2, assim pode-se obter uma tinta com poder refletivo eficaz em um preço viável.

Na Figura 46 foi realizado o estudo com o pigmento refletivo marrom-1, e com os mesmos percentuais de pigmento TiO_2 (25 e 75%). A tinta branca que contém somente pigmento TiO_2 (TARBr) (Figura 46a) apresenta maior refletância do que a tinta que contém somente pigmento marrom-1 (TARMr) (Figura 46b), a qual

apresenta menor refletância difusa.

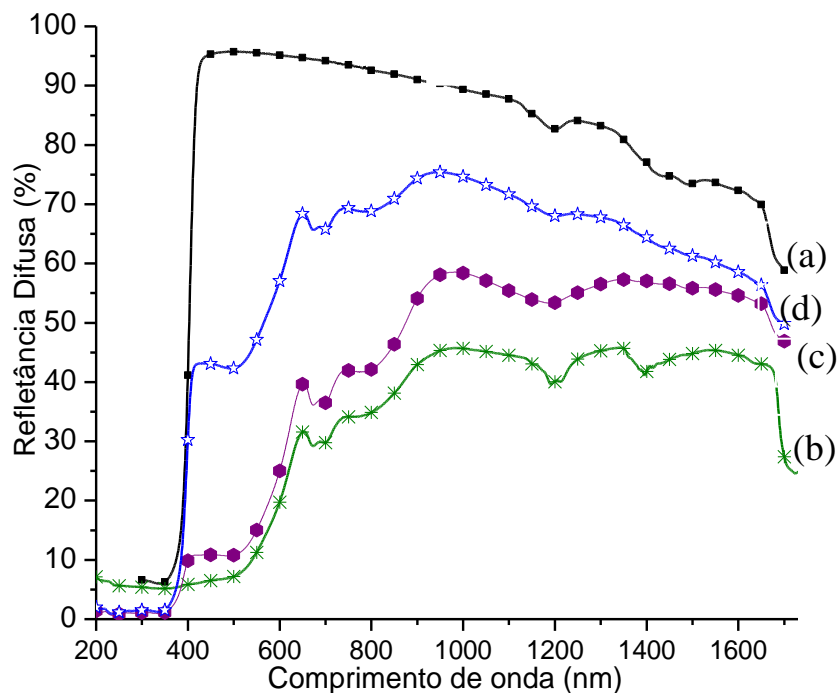


Figura 46: Espectro das tintas, (a) TARBr, (b) TARMr-1, (c) tinta preparada com mistura de 25% TiO₂ e 75% do pigmento marrom 1 e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO₂ e 25% do pigmento marrom 1.

Conforme o esperado, o espectro da tinta que contém 25% de TiO₂ e 75% do pigmento marrom1 apresenta refletância entre 37 a 55% no comprimento de onda de 700 a 1400 nm (Figura 46c). Já a tinta que contém 75% de TiO₂ e 25% do pigmento marrom 1 apresenta uma refletância em 65% a 75% conforme está representada na Figura 46.d. Conclui-se que quanto menor a quantidade de pigmento marrom 1 melhor é sua refletividade.

Na Figura 47 foi realizado o estudo com o pigmento refletivo azul, e com os mesmos percentuais de pigmento TiO₂ (25 e 75%). A tinta branca que contém somente pigmento TiO₂ (TARBr Figura 47a) apresenta maior percentual de refletância difusa, enquanto a tinta que contém somente pigmento azul (TARAz Figura 47b) apresenta menor refletância difusa.

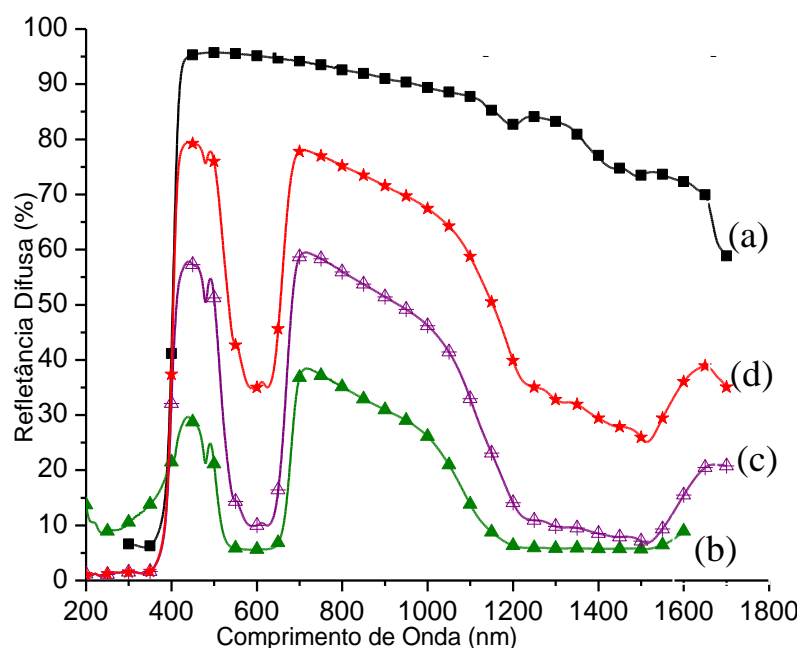


Figura 47: Espectro das tintas, (a) TARBr, (b) TARAz, (c) tinta preparada com mistura de 25% TiO_2 e 75% do pigmento azul e (d) tinta preparada com mistura de 75% TiO_2 e 25% do pigmento azul.

Conforme o esperado, o espectro da tinta que contém 25% de TiO_2 e 75% do pigmento azul, apresenta refletância entre 60 a 28% no comprimento de onda de 700 a 1400 nm (Figura 47c). Enquanto a tinta que contém 75% de TiO_2 e 25% do pigmento azul apresenta uma refletância entre 78% a 39% conforme está representada na Figura 47d. Conclui-se que quanto menor a quantidade de pigmento azul melhor é sua refletividade.

Em cores mais escuras como os revestimentos TARMr-1 e TARAz (Figuras 46 e 47) é observado um aumento da refletância após a adição crescente do pigmento refletivo (TiO_2).

5.8. Temperaturas Superficiais por Câmera Termográfica

Neste trabalho esta técnica é utilizada para detectar a influência da natureza do pigmento na temperatura superficial das amostras expostas ao sol.

Na Figura 48 está representada a imagem captada por meio do uso de uma câmera termográfica de infravermelho da placa de fibrocimento sem revestimento. Através da imagem térmica é possível observar o registro da temperatura próxima a 57°C , conforme a escala de temperatura ao lado direito da imagem térmica (Figura

48.a). A Figura 48.b lado esquerdo ilustra a imagem natural da placa sem revestimento, todos os outros revestimentos estão representados da mesma forma.

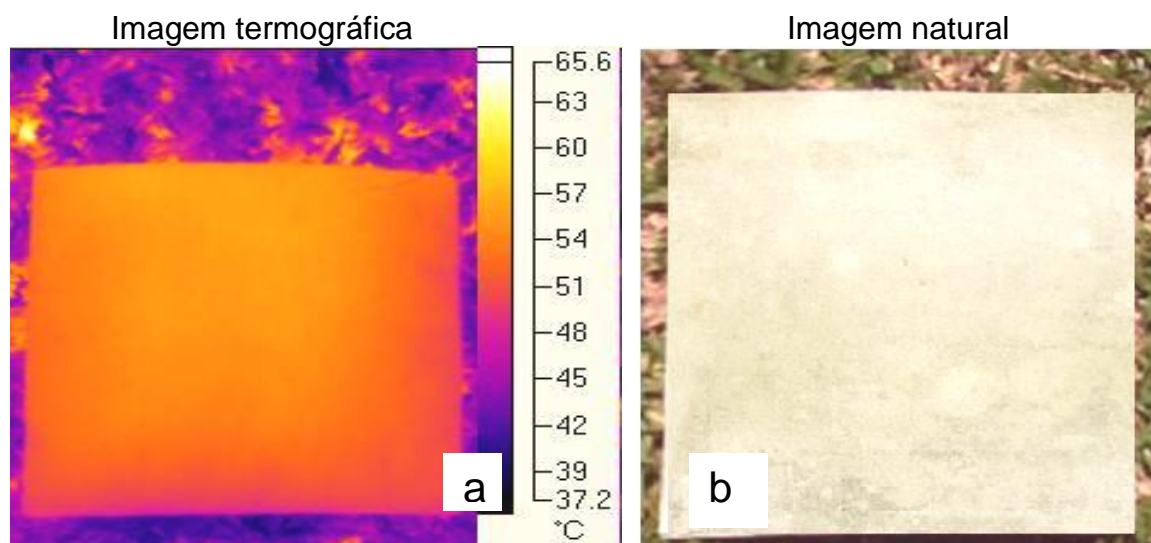
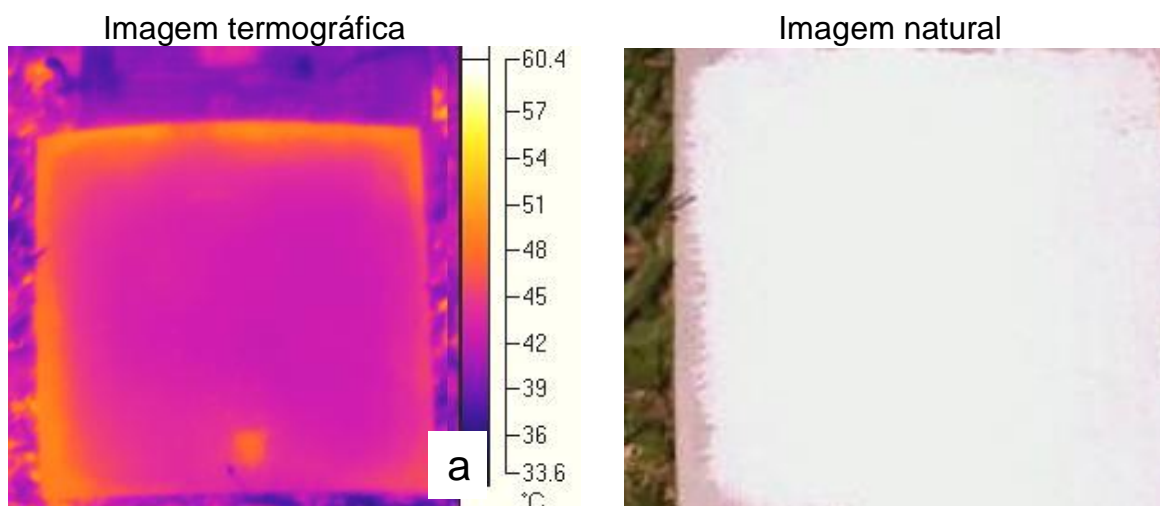


Figura 48: a) Imagem térmica e b) natural da placa de fibrocimento sem revestimento.

Na Figura 49.a, é possível observar a imagem térmica da placa de fibrocimento revestida com a tinta TCB_r. A câmera termográfica registrou temperatura próximo à 47 °C.



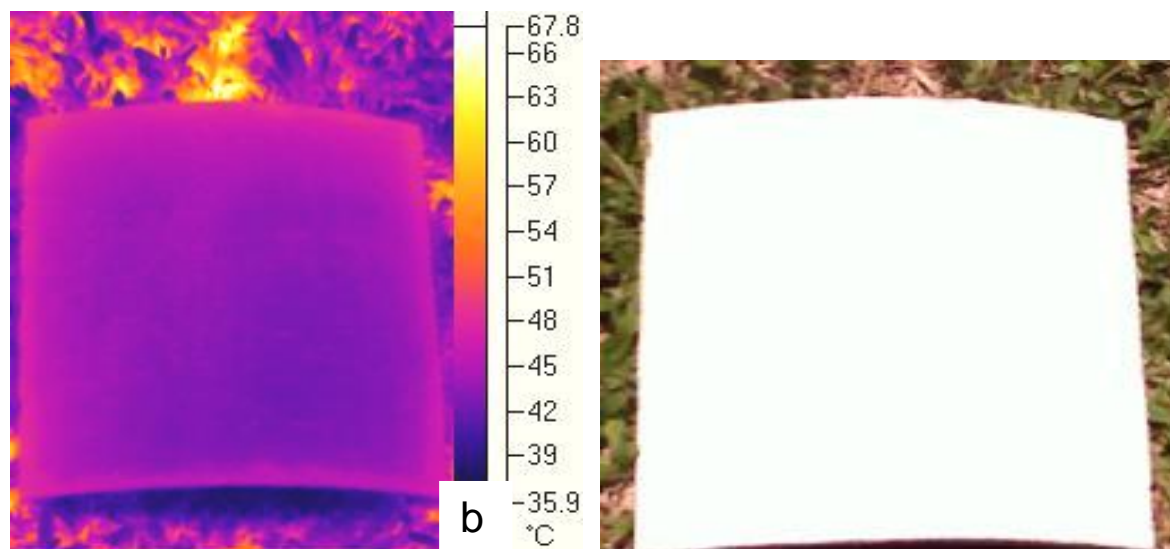
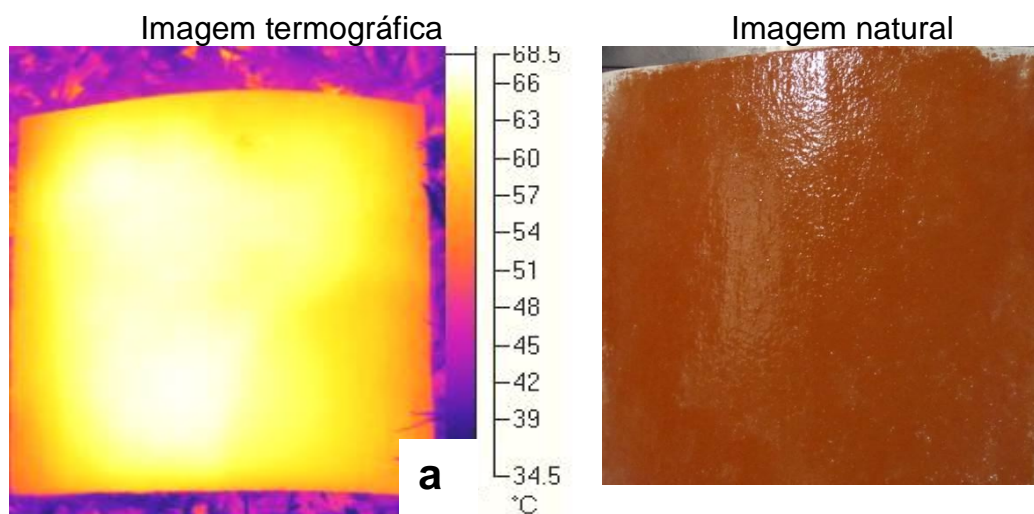


Figura 49: Imagens térmicas e naturais das placas de fibrocimento com revestimento a) TCBr e b) TARBr .

Na Figura 49.b está representada a imagem da TARBr, a câmera termográfica registrou temperatura próximo à 42 °C, onde é possível observar que há uma diferença de temperatura entre a tinta comercial e a tinta refletiva e seu valor é de 5 °C, esta diferença de temperatura é importante em dias quentes no interior das edificações, pois mantém o ambiente interno mais agradável por um período maior.

Na Figura 50.a é possível observar a imagem térmica da placa de fibrocimento revestida com a tinta TCMr1, a câmera termográfica registra a temperatura próximo à 63 °C. Já a amostra TARMr1 apresenta uma temperatura próxima a 57 °C (Figura 50.b).



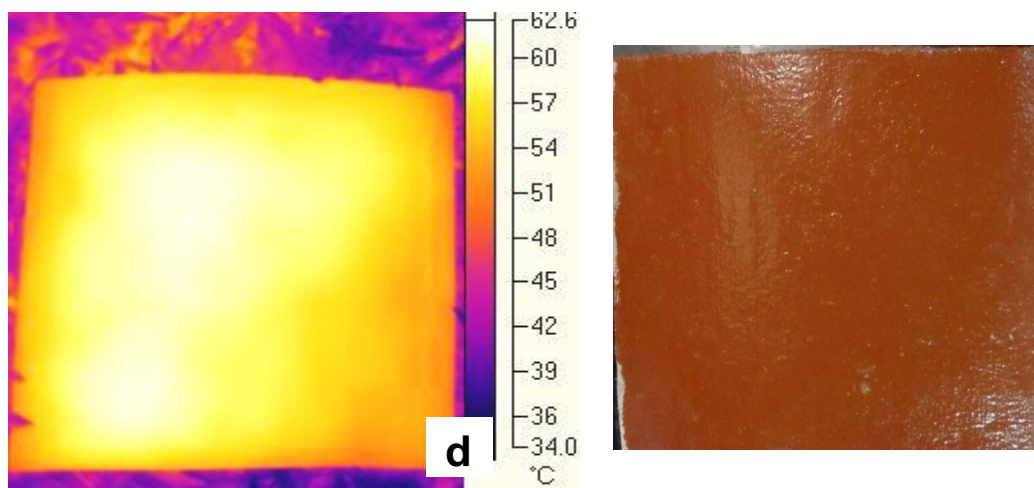
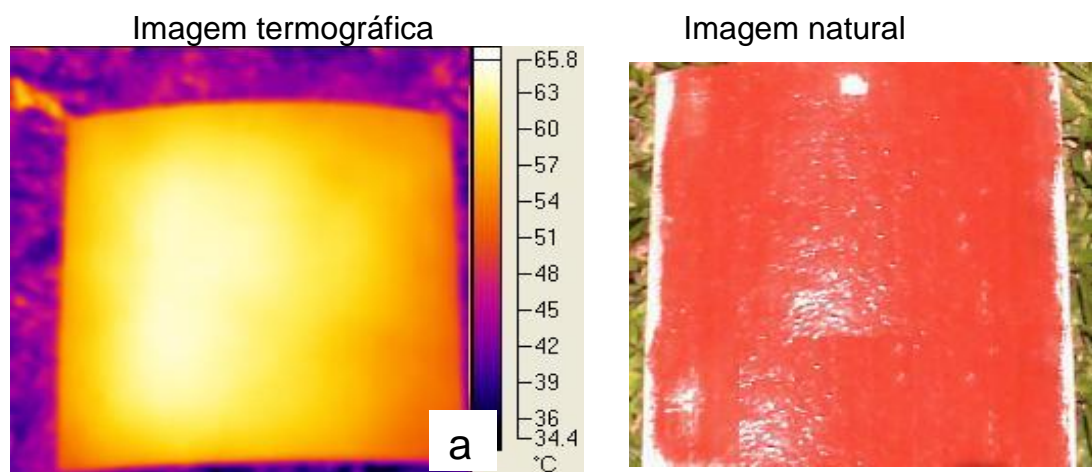


Figura 50: Imagens térmicas e naturais das placas de fibrocimento com revestimento a) TCMr1 e b) TARMr1.

Observa-se uma diferença de temperatura entre a tinta comercial e a tinta refletiva na ordem de 7 °C.

Na Figura 51.a está representada a placa de fibrocimento revestida com tinta TCMr2, onde a câmera termográfica registrou temperatura próximo à 60 °C, e na placa revestida com a tinta TARMr2 (Figura 51.b) observa-se uma temperatura em 57 °C.



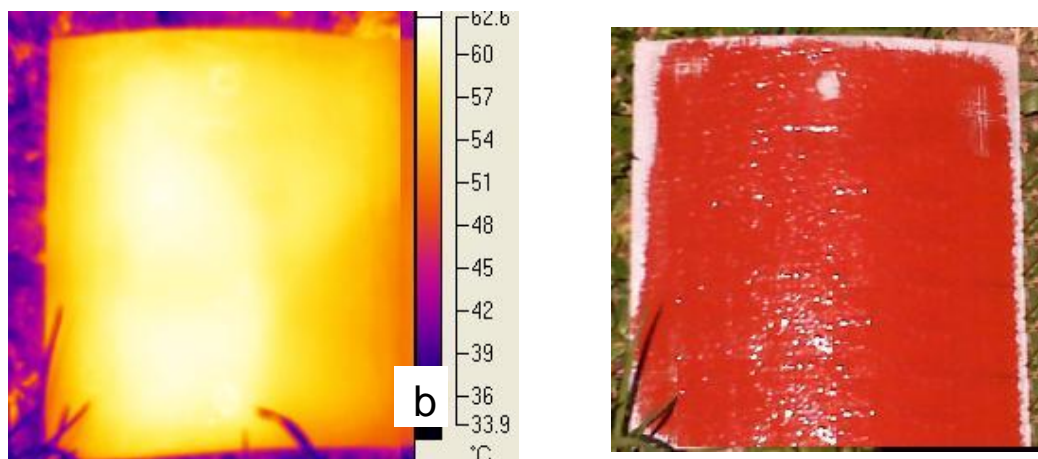


Figura 51 Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento, a) TCMr2 e b)TARMr2.

Observa-se que a diferença de temperatura entre a tinta comercial e a tinta refletiva na ordem de 3 °C.

Na Figura 52.a está representada a placa de fibrocimento revestida com tinta TCAM1, onde a câmera termográfica registrou temperatura próximo à 57 °C, já a amostra TARAm1 apresenta uma temperatura próxima a 50 °C (Figura 52.b).

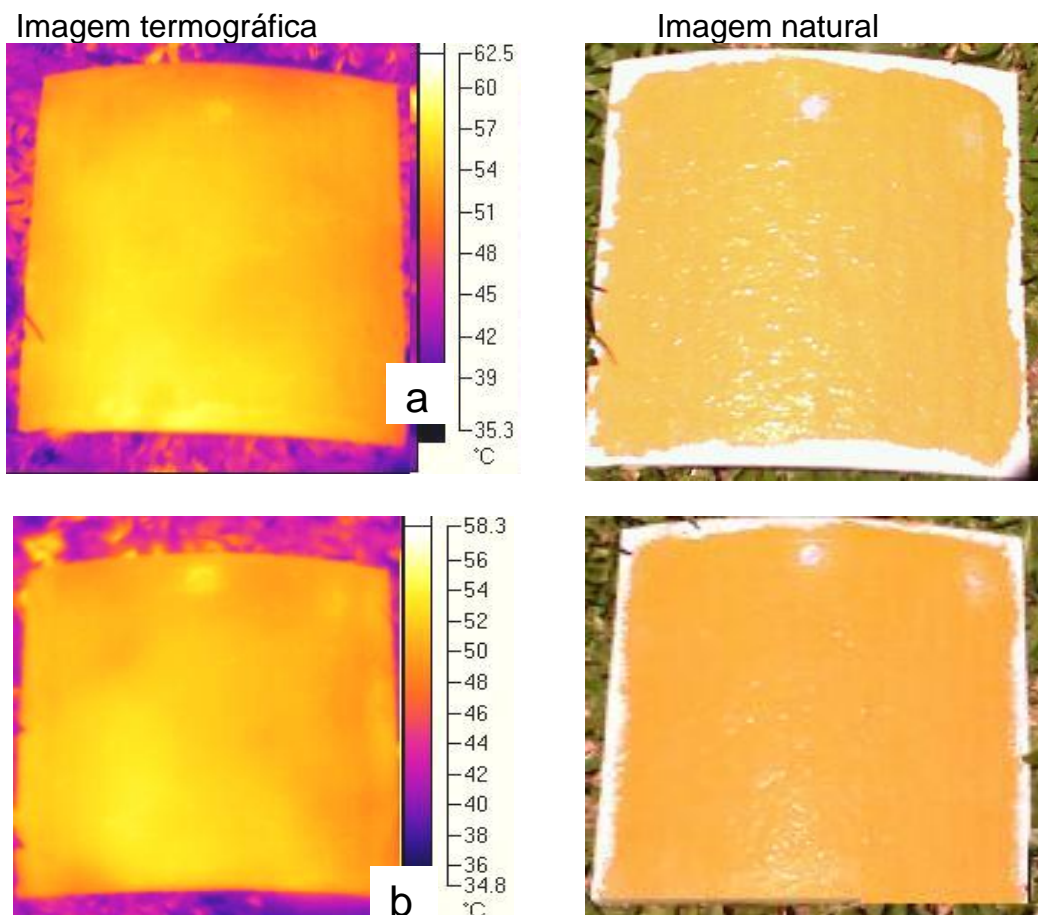


Figura 52: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimento TCAM1 e b) TARAm1.

Observa-se uma diferença de temperatura entre a tinta comercial e a tinta refletiva é de 7 °C.

Na Figura 53.a está representada a placa de fibrocimento revestida com tinta TCAm2, onde a câmera termográfica registrou temperatura próximo à 54 °C, já a amostra TARAm2 apresenta uma temperatura próxima a 50 °C (Figura 53.b).

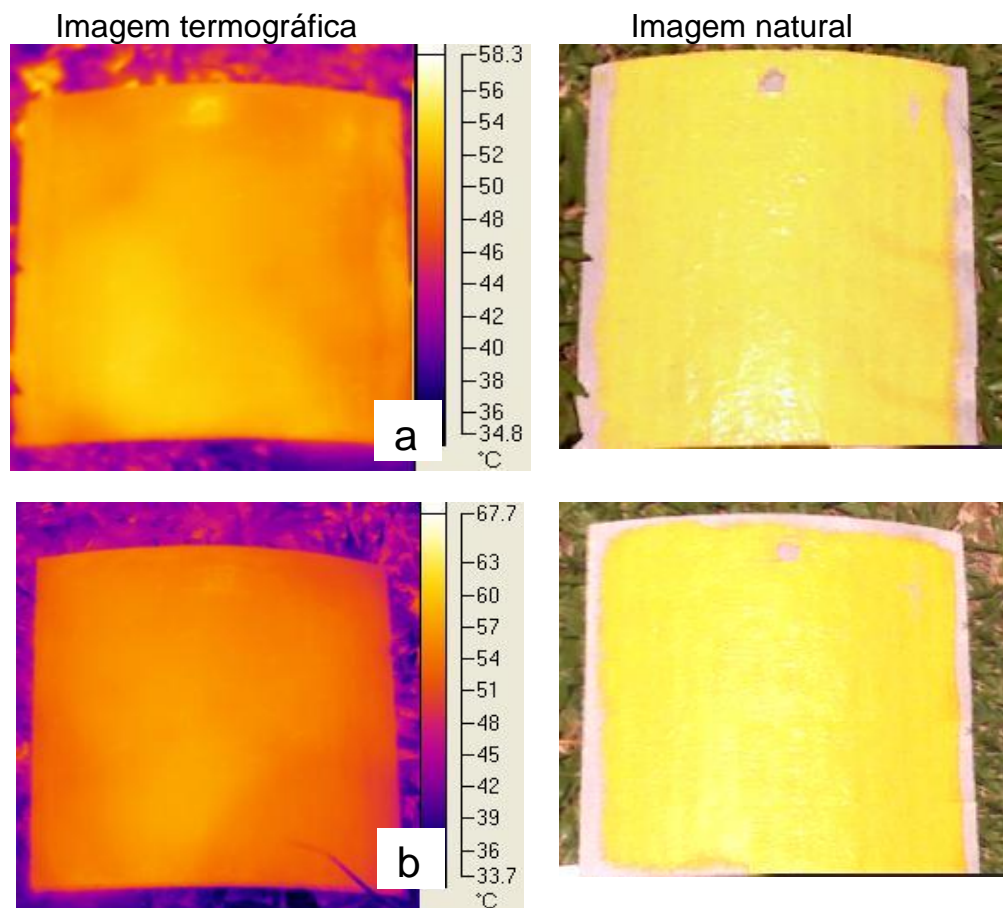


Figura 53: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimento, a) TCAm2 e b) TARAm2.

Observa-se uma diferença de temperatura entre a tinta comercial e a tinta refletiva de 4 °C.

Na Figura 54.a está representada a placa de fibrocimento revestida com tinta TCAz, onde a câmera termográfica registrou temperatura próximo à 60 °C, já a amostra TARAz apresenta uma temperatura próxima a 54 °C (Figura 54.b).

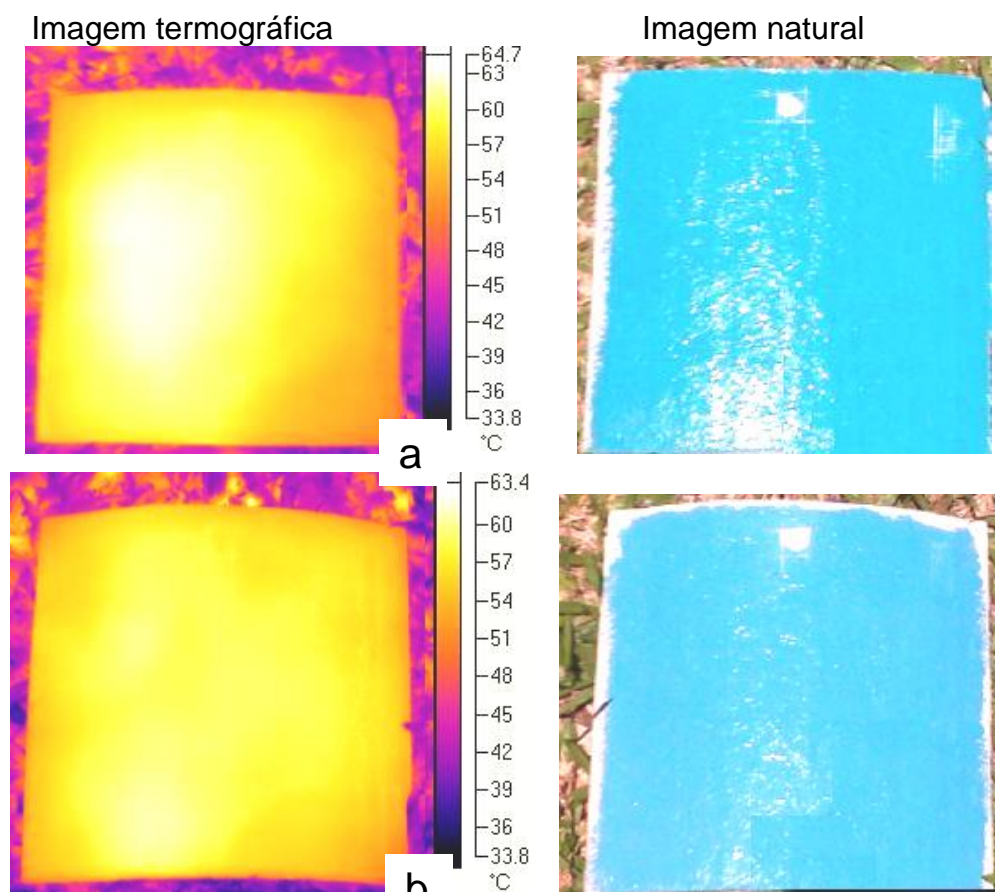
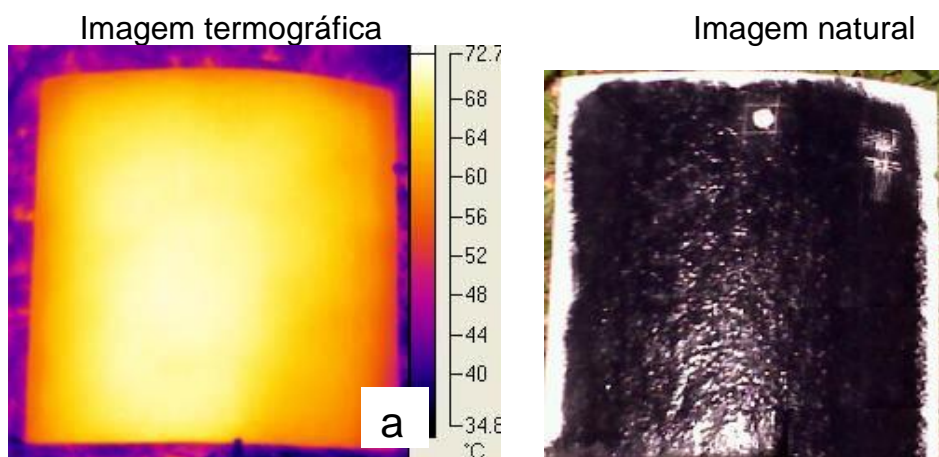


Figura 54: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimento a) TCAz e b) TARAz.

Observa-se uma diferença de temperatura entre a tinta comercial e a tinta refletiva é de 6 °C.

Na Figura 55.a está representada a placa de fibrocimento revestida com tinta TCPPr, onde a câmera termográfica registrou temperatura próximo à 68 °C, a mesma temperatura pode ser observada na amostra TARPr (Figura 55.b).



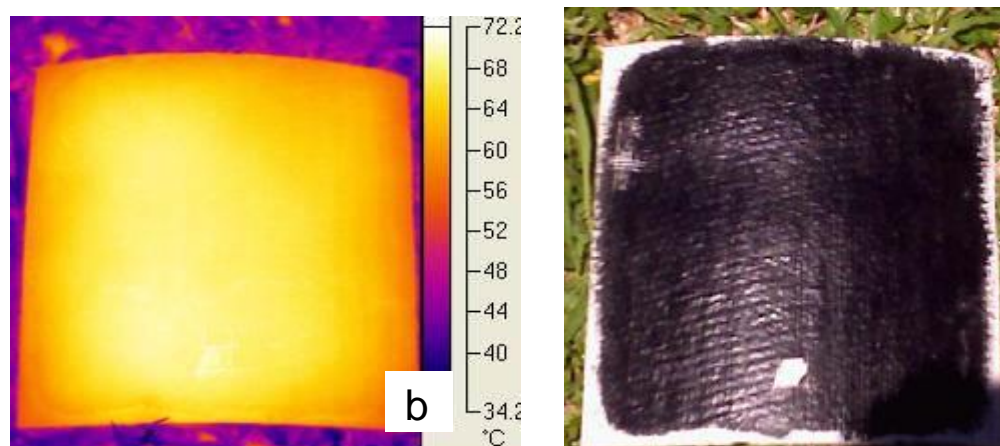


Figura 55: Imagens térmicas e naturais das placas fibrocimento com revestimentos a) TCPPr e b) TARPr.

A análise visual da imagem permite verificar que a intensidade da cor nas placas é semelhante.

Conclui-se que todos os revestimentos que contém pigmento refletivo apresentam uma menor temperatura de superfície em comparação aos revestimentos que contém pigmento comercial.

5.9. Determinação da Cor e Brilho

Os dados espectrofotométricos das tintas refletivas e comerciais sem envelhecimento foram convertidos para o sistema CIELAB, e os valores das coordenadas L^* , a^* , b^* , ΔE e o G estão representados na Tabela 12.

A diferença de cor (ΔE) entre duas tintas é calculada pela equação 8 a partir das medidas do sistema CIELAB.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Equação 8

Tabela 11: Médias das coordenadas das cores das películas de tintas refletivas e comerciais.

Amostras	Coordenadas de cores				
	L*	a*	b*	ΔE	G
Refletiva					
Comercial					
TARBr	97,26	-0,60	1,96	0,98 \pm 0,10	92,4
TCBr	95,10	-1,19	4,50		82,3
TARAm1	64,20	22,01	52,88	3,05 \pm 0,37	91,3
TCAm1	61,74	20,91	52,43		69,0
TARAm2	86,21	2,66	64,8	2,89 \pm 0,38	65,7
TCAm2	78,92	1,42	61,87		59,0
TARMr1	38,31	17,16	13,51	1,51 \pm 0,18	85,0
TCMr1	37,62	18,66	16,11		71,7
TARMr2	44,63	29,53	23,22	2,51 \pm 0,30	86,6
TCMr2	41,20	27,46	22,61		75,2
TARAz	56,54	-40,06	-17,07	3,25 \pm 0,30	89,7
TCAz	57,48	-32,67	-12,57		66,7
TARPr	56,54	-40,06	-17,07	0,85 \pm 0,10	51,3
TCPPr	23,50	-0,17	-0,99		23,1

L* = Luminosidade;
a* e b* = coordenadas cromáticas;
 ΔE = variação das cores;
G = brilho

Na Tabela 12 estão representados os valores de luminosidade (L*) de cada tinta e as coordenadas cromáticas (a*, b*), as quais permitem caracterizar de maneira quantitativa a cor de cada tinta. O mesmo pode ser observado quanto ao brilho (G) (maior brilho maior refletividade) das tintas.

De acordo com os resultados apresentados para cada coordenada pode-se observar que a coordenada L* demonstra que há maior luminosidade nas tintas refletivas em comparação as tintas comerciais. O mesmo ocorre com a coordenada G (brilho) e desta forma pode-se perceber que as tintas que foram desenvolvidas no laboratório apresentam uma maior eficiência de refletividade. Isso poder ser explicado devido ao tipo de pigmento que foi utilizado.

As tintas TARBr e TCBBr, TARPr e TCPPr apresentam colorações semelhantes, pois ΔE menor que 1, segundo o sistema CIELAB, indica semelhança entre as cores analisadas. A coordenada ΔE das tintas que contém o pigmento amarelo 1 $\Delta E=3,05$ (TARAM1 e TCAM1) e azul $\Delta E=3,25$ (TARAZ e TCAz) indicam cores diferentes, pois o ΔE é maior que 1 (amarelo 1: $\Delta E=3,05$ e azul: $\Delta E=3,25$), porém visualmente é observada diferença na coloração.

Nas tintas que contém o pigmento amarelo 2 $\Delta E= 2,89$ (TARAM2 e TCAM2) e marrom 2 $\Delta E= 2,51$ (TARMr2 e TCMr2). Esta diferença, segundo o sistema CIELAB, também é significativa, porém esta diferença de cor não é muito perceptível visualmente. As tintas TARMr1 e TCMr1 apresentam coordenadas ΔE acima de 1 ($\Delta E = 1,51$), porém visualmente não se observa diferença na coloração.

Pelos ensaios anteriores, conclui-se que as tintas que foram desenvolvidas no laboratório apresentam maior refletividade (Figura 39 a Figura 42) e maior brilho que é devido à resina utilizada (Tabela 12).

5.10. Influência do Envelhecimento Acelerado por Weatherometer

O envelhecimento das amostras após 500 horas e 1000 horas de envelhecimento em câmara de lâmpada xênon, estão apresentadas as coordenadas ΔE e G na Tabela 13, sempre comparadas com as amostras ao natural (não envelhecidas).

Tabela 12: Coordenadas das películas de tintas refetivas e comerciais após o envelhecimento de 500h e 1000h.

Amostras	Coordenadas de cores							
	Sem envelhecimento		500h envelhecimento		1000h envelhecimento			
Refletiva Comercial	G ₀	ΔE ₀	G ₁	ΔE ₁	G ₂	ΔE ₂	ΔG ₁	ΔG ₂
TARBr	92,4	0,98	83,9	0,26	78,4	0,39	8,5	5,5
TCBr	82,3		61,9	1,91	56,9	1,67	20,4	5,0
TARAm1	91,3	3,05	50,6	3,58	41,0	4,85	40,7	9,6
TCAm1	61,0		46,2	2,10	38,8	6,30	14,8	7,4
TARAm2	65,7	2,89	41,3	2,77	27,4	4,60	24,4	13,9
TCAm2	59,0		27,6	5,92	19,6	7,72	31,0	8,0
TARMr1	85,0	1,51	64,5	0,20	50,2	0,34	20,5	14,3
TCMr1	71,7		60,8	1,96	24,1	2,75	10,9	36,7
TARMr2	86,4	2,50	73,3	0,78	61,2	0,29	13,1	12,1
TCMr2	78,2		67,9	1,36	24,1	2,60	10,3	43,8
TARAz	89,7	3,25	81,6	0,24	72,4	0,58	8,1	13,3
TCAz	66,7		52,0	1,16	16,9	2,64	14,7	35,1
TARPr	51,3	0,85	9,5	1,33	0,2	4,91	41,8	9,3
TCPr	23,1		21,9	0,72	19,7	1,35	1,20	2,2

G₀ = Brilho inicial;

ΔE₀ cor inicial;

G₁ = Brilho após 500 horas;

ΔE₁ mudança de cor após 500h;

G₂ = Brilho após 1000 horas;

ΔE₂ mudança de cor após 1000h;

ΔG₁ = G₀ - G₁;

ΔG₂ = G₁ - G₂.

Comparando os dados das amostras envelhecidas e com as amostras sem envelhecimento (Tabela 13), verificou-se que as maiores modificações ocorreram no índice de brilho (G). A perda de brilho das amostras envelhecidas é provocada pela degradação da resina. Com 500 h de envelhecimento, em algumas amostras a perda de brilho é muito intensa como a amostra TARAm1 (ΔG₁ = 40,70) TCAm2 (ΔG₁ = 31,4) e TARPr (ΔG₁ = 41,80). Que após 500 h sofre uma pequena perda de

brilho elevada. Entretanto, a 1000 h de envelhecimento ocorreu um pequeno aumento da perda de brilho de apenas (TARAM1) $\Delta G_2 = 9,6$; (TCAM2) $\Delta G_2 = 8,00$; (TARPr) $\Delta G_2 = 9,30$, como é observado na Tabela 13.

Após 1000 h de envelhecimento as amostras TCMr1 ($\Delta G_2 = 36,70$), TCMr2 ($\Delta G_2 = 43,80$) e TCAz ($\Delta G_2 = 35,10$) a perda de brilho é intensa, como pode ser observado na Tabela 13. Nas demais amostras não ocorreram variações do índice de brilho significativo após 1000 h de envelhecimento.

Em relação à variação de cor (ΔE), observou-se que nas amostras TARBr, TARMr1, TARMr2 e TARAz o ΔE é menor que 1, indicando que após o envelhecimento de 1000 h não ocorreu alteração de cor. Já nas amostras TCBBr ($\Delta E_2 = 1,67$) e TCPPr ($\Delta E_2 = 1,35$) o ΔE está um pouco acima de 1 [103] ocorreu alteração de cor, porém visualmente esta diferença não é observada. As demais tintas TARAM1 ($\Delta E_2 = 4,85$), TCAM1 ($\Delta E_2 = 6,30$), TARAM2 ($\Delta E_2 = 4,60$), TCAM2 ($\Delta E_2 = 7,72$), TCMr1 ($\Delta E_2 = 2,75$), TCMr2 ($\Delta E_2 = 2,60$), TCAz ($\Delta E_2 = 2,64$) e TARPr ($\Delta E_2 = 4,91$) apresentaram uma alteração significativa de cor, como pode ser observado na Tabela 13.

Na Tabela 14 está apresentada a distribuição das cores no sistema CIELAB após 500 e 1000 horas de envelhecimento acelerado por weatherometer, (os valores das coordenadas L^* , a^* e b^*). Para critério de comparação foram apresentadas as fotos das tintas após 1000 h de envelhecimento. A coordenada da luminosidade (L^*) após o envelhecimento de 1000 h não apresentou alterações significativas nas tintas testadas.

Tabela 13: Coordenadas das películas de tintas refletivas e comerciais após o envelhecimento de 500 h e 1000 h.

Amostras	Coordenadas de cores							
	500 h				1000 h			
Refletiva Comercial	L*	a*	b*	G	L*	a*	b*	G
TARBr	97,12	-0,77	1,27	83,9	97,42	-0,72	1,70	78,4
TCBr	95,55	-0,26	2,89	61,9	95,75	-0,14	3,39	16,9
TARAm1	61,20	24,15	49,98	50,6	63,26	19,95	50,83	41,0
TCAm1	61,01	20,68	50,02	46,2	61,97	19,57	45,94	3,8
TARAm2	84,52	4,47	81,00	41,3	83,92	5,06	79,05	27,4
TCAm2	81,03	1,99	57,73	27,6	81,55	1,92	55,90	19,6
TARMr1	38,67	19,75	18,21	64,5	38,47	19,80	50,2	50,2
TCMr1	38,36	17,13	14,90	60,8	38,99	16,64	14,58	24,1
TARMr2	40,56	29,83	24,04	73,3	41,08	30,08	24,59	61,2
TCMr2	41,84	26,61	21,48	67,9	42,76	25,71	20,89	24,1
TARAz	56,16	-40,2	-16,2	81,6	56,07	-40,37	-15,8	72,4
TCAz	57,72	-31,8	-13,2	52,0	58,61	-30,29	-13,1	16,9
TARPr	27,33	-0,32	-0,62	9,5	21,08	-0,26	-0,66	0,2
TCPPr	24,11	-0,08	-0,61	21,9	24,60	-0,04	-0,25	19,7

Na Figura 56 está representada o diagrama do sistema CIELAB na amostra TCBr onde se observa as coordenadas (+db), (-db), (+da) e (-da), sem envelhecer e após 500h de envelhecimento.

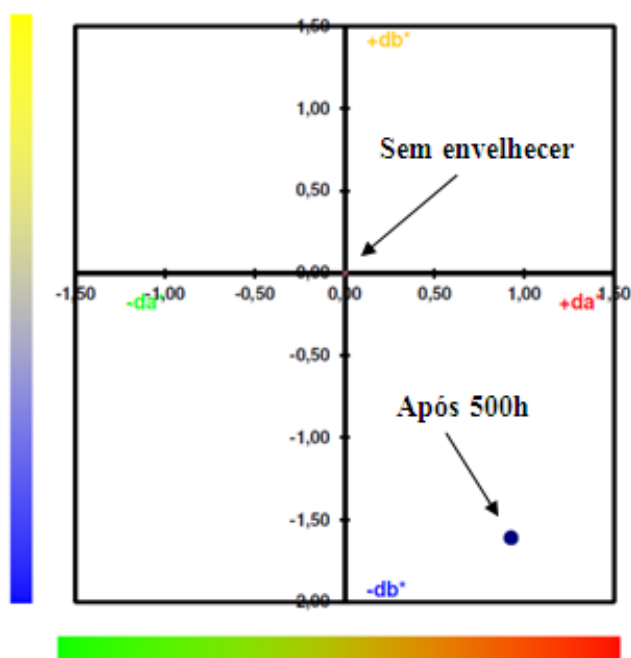


Figura 56: Distribuição de cores no gráfico do CIE $a^* b^*$ da amostra TCBr após o envelhecimento em 500 h.

Observa-se que após 500 h de envelhecimento da tinta TCBr ocorreu deslocamento para tom mais escuro (-db), como pode ser observado na Figura 56.

Na Figura 57.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARBr após o envelhecimento de 500 h, onde observa-se que não ocorreu alteração de sua cor. Após 1000 h de envelhecimento ocorreu um pequeno deslocamento para um tom amarelado (+db). Pode ser concluído que ocorreu uma leve oxidação do na resina.

A amostra TCBr após 1000 h de envelhecimento mostrou deslocamento da cor para um tom violeta, tornando-se levemente escuro (Figura 57.b(-db)).

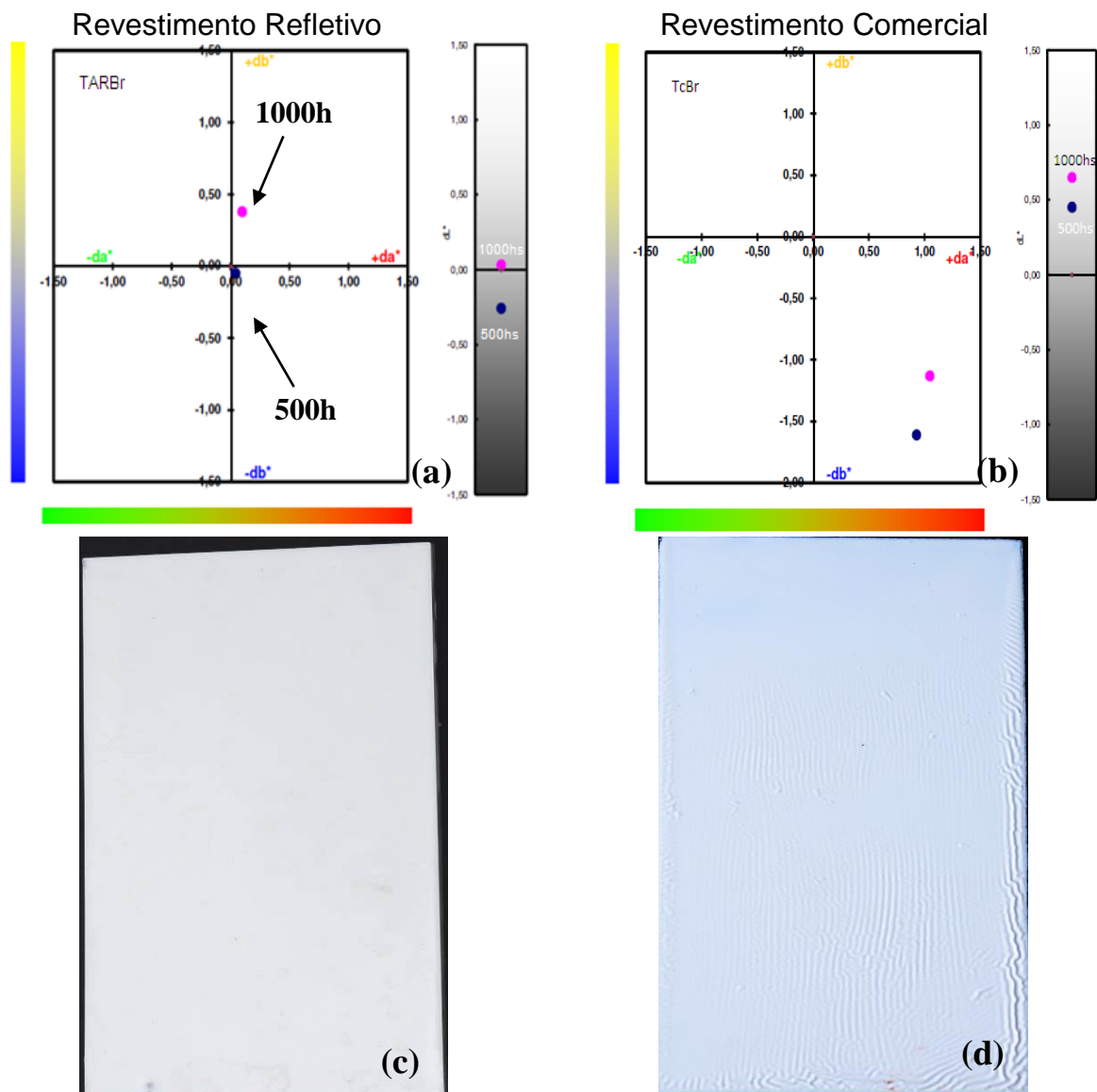


Figura 57: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARBr (a) e TcBr (b) e das imagens da amostra TARBr (c) e TcBr (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Na Figura 57.c e d está representada a imagem das amostras TARBr e TcBr. Visivelmente é observado que somente na amostra comercial ocorreu alteração de cor e aspecto físico da amostra, tornando-se rugoso.

Após o envelhecimento de 500 h da amostra TARAM-1 (Figura 58a), observa-se um deslocamento para o azul e após 1000 h de envelhecimento os parâmetros da cromaticidade deslocaram-se para o verde musgo (-db), tornando-se mais escura.

Na amostra TCAM-1 em 500 h de envelhecimento ocorreu um pequeno deslocamento para o azul (-db) e após 1000 h de envelhecimento os parâmetros da

cromaticidade deslocaram-se para o verde musgo (-db), tornando-se mais escura (Figura 58b). Visivelmente este revestimento se tornou mais escuro, como pode ser observado na Figura 58d.

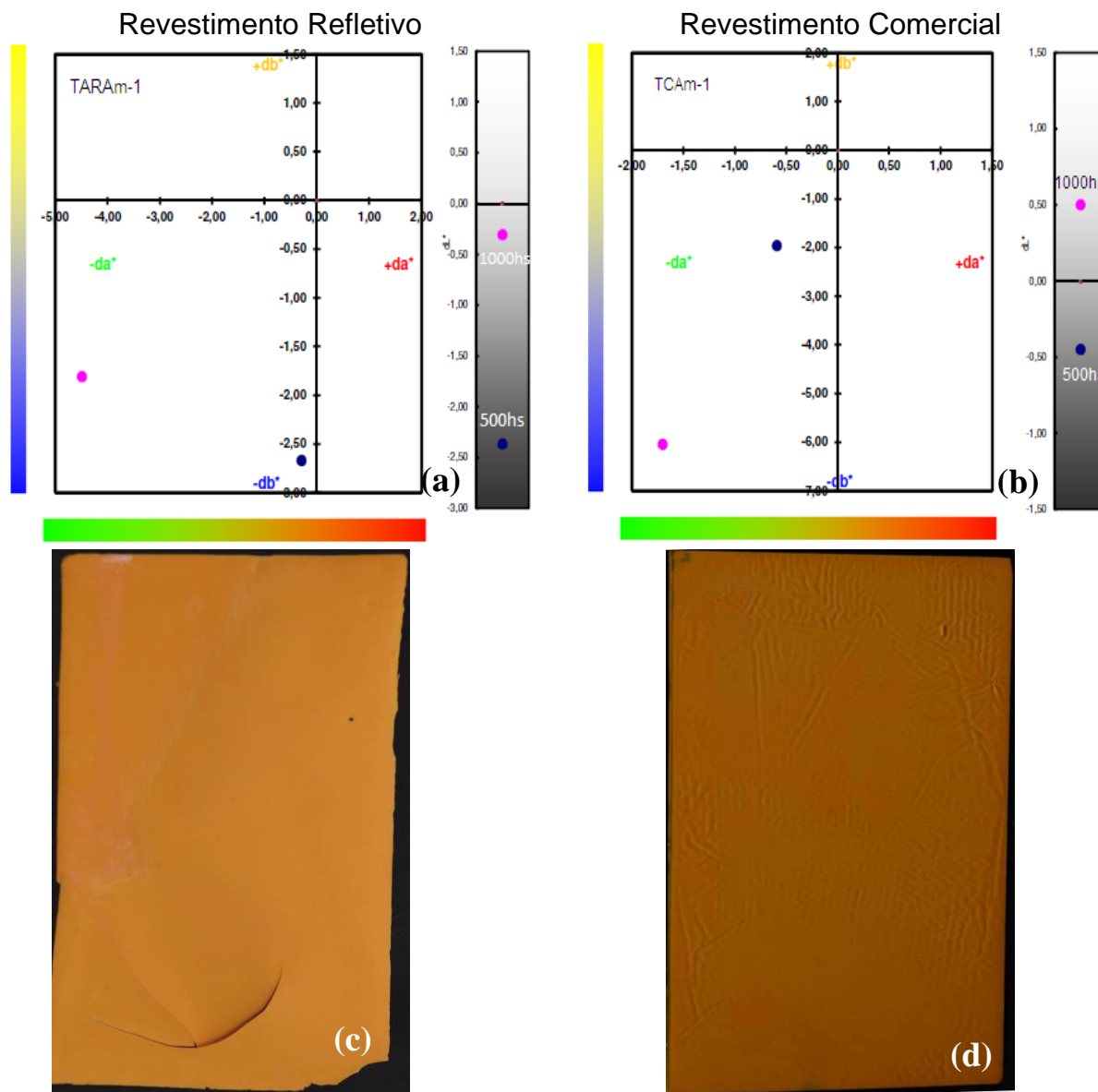


Figura 58: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARAM-1 (a) e TCAM-1 (b) e das imagens da amostra TARAM-1 (c) e TCAM-1 (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Na Figura 59.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARAM-2 após o envelhecimento de 500h observa-se que ocorreu leve alteração em sua cor. Após 1000h de envelhecimento observou-se um deslocamento para um tom avermelhado (+da). A amostra TCAM-2 após 1000h de envelhecimento mostrou o deslocamento para um tom verde musgo, tornando-se mais escuro (Figura 59.b (-db)).

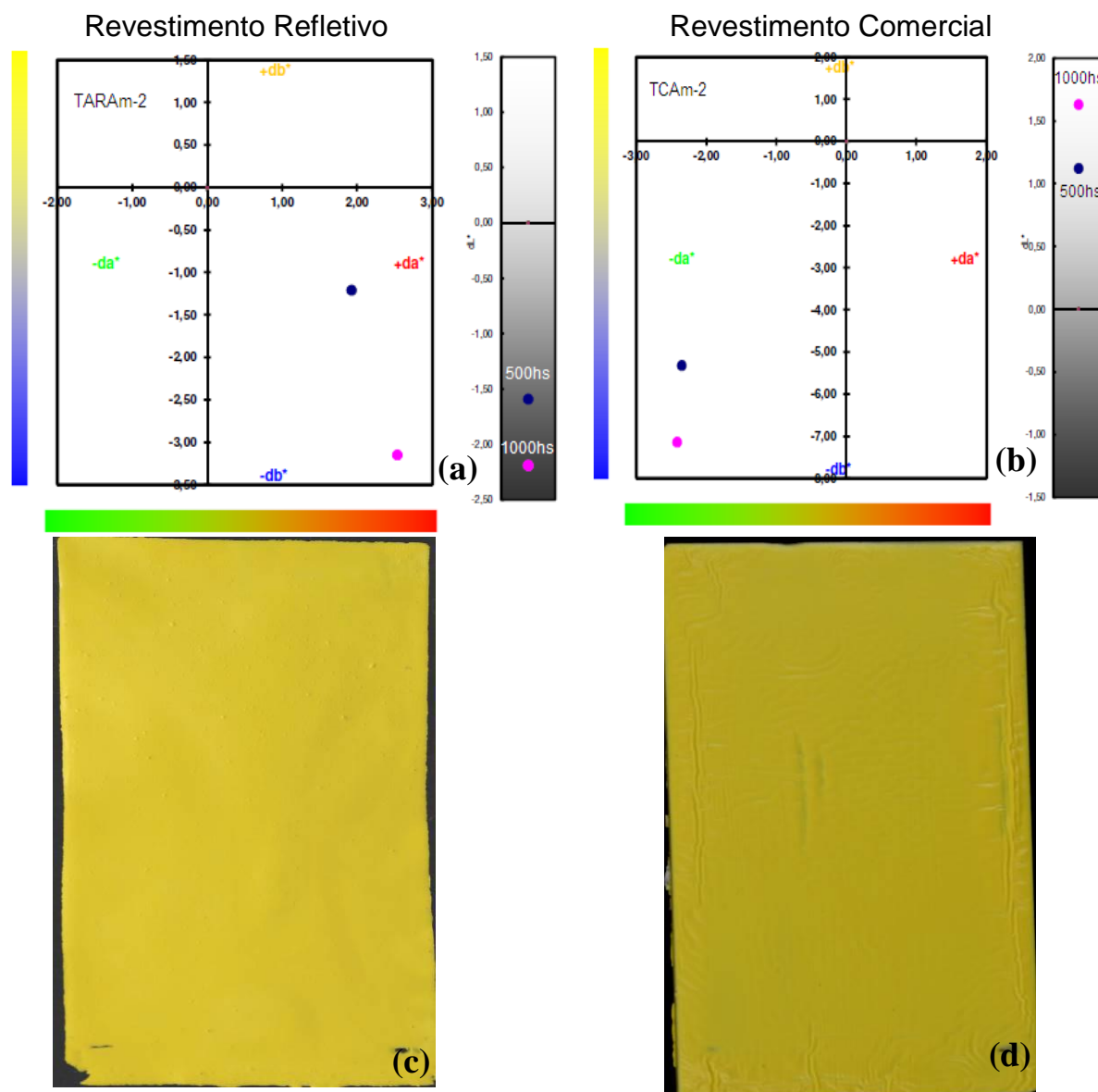


Figura 59: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARAM-2 (a) e TCAM-2 (b) e das imagens da amostra TARAM-2 (c) e TCAM-2 (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Após 500 h e 1000 h de envelhecimento a amostra TARMr-1 (Figura 60.a) percebe-se que não ocorreu alteração de cor, enquanto a amostra TCMr-1 (Figura 60.b) apresentou um pequeno deslocamento para o verde musgo (-db), tornando a tinta mais escura. Visivelmente está alteração de cor é perceptível (Figura 60 d).

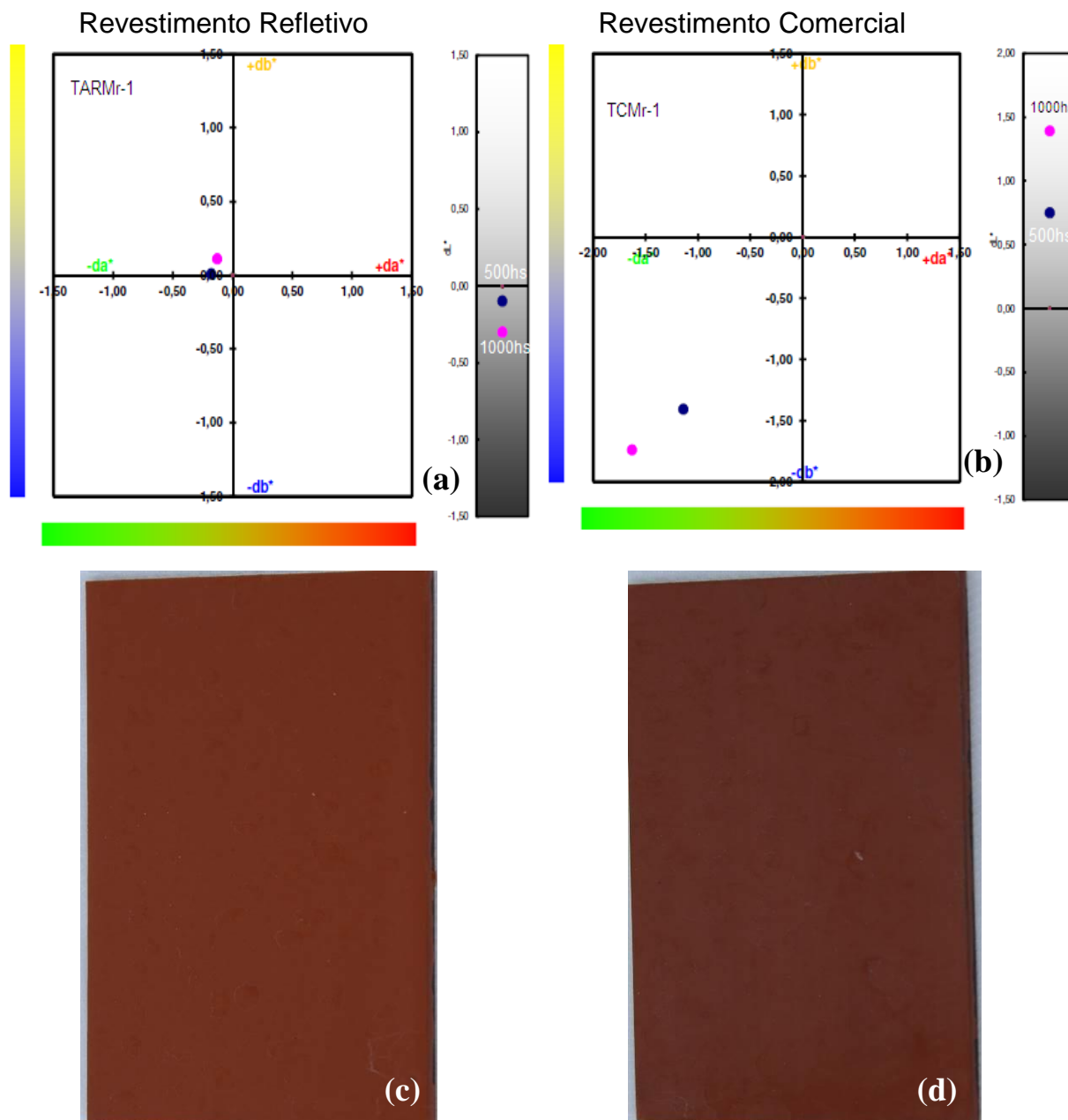


Figura 60: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARMr-1 (a) e TCMr-1 (b) e das imagens da amostra TARMr-1 (c) e TCMr-1 (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Na Figura 61.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARMr-2. Após o envelhecimento de 500 h observa-se uma pequena alteração de sua cor ($+db$), e após 1000 h de envelhecimento mostrou um leve deslocamento ($-db$). Observa-se na Figura 61c que não teve alteração de cor, apesar de observar um manchamento na forma de gotículas na superfície da amostra.

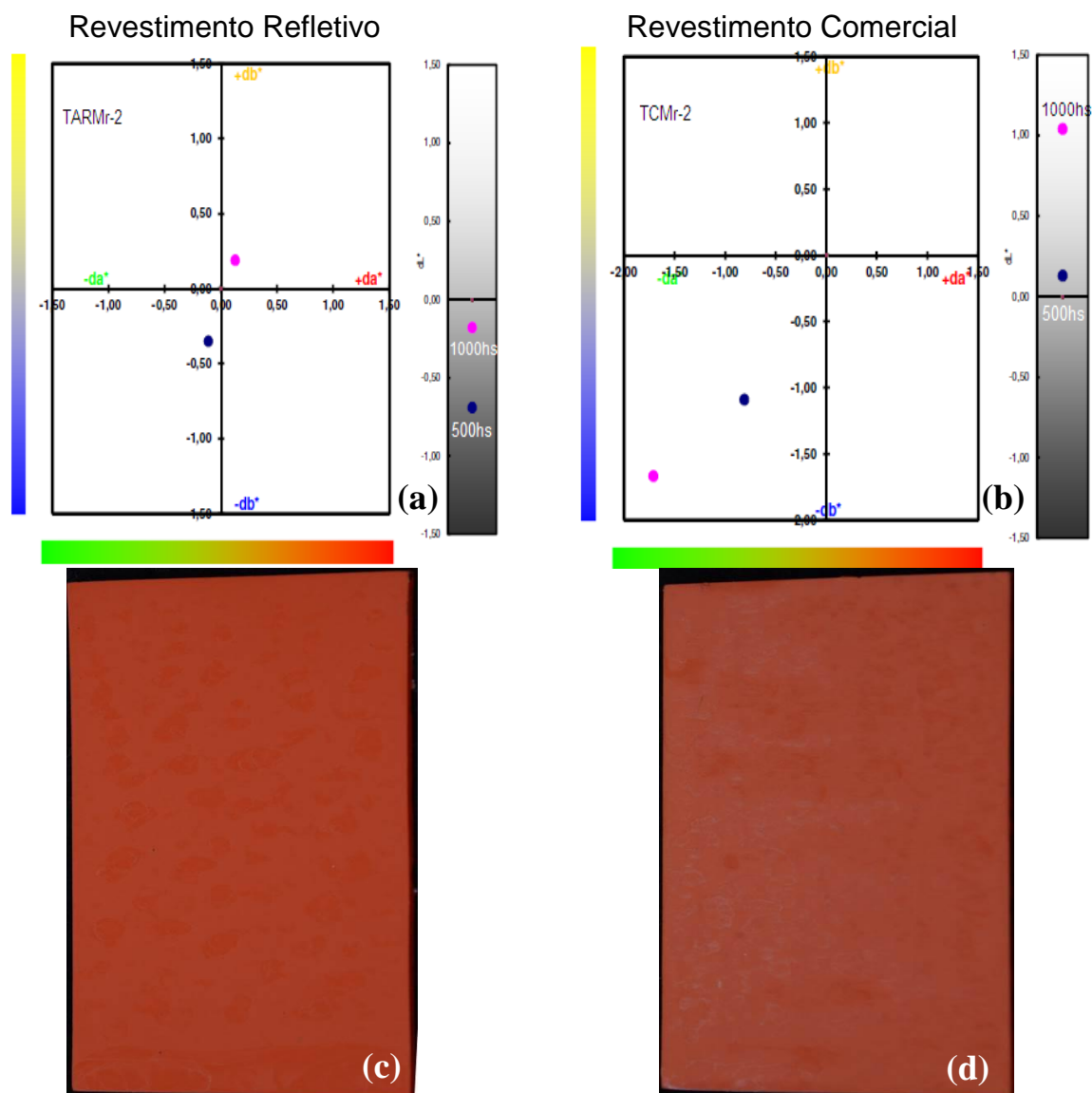


Figura 61: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARMr-2 (a) e TCMr-2 (b) e das imagens da amostra TARMr-2 (c) e TCMr-2 (d) após 1000 horas de envelhecimento.

A cor da amostra TCMr-2 (Figura 61b) se deslocou para um tom verde musgo tornando a tinta mais escura. Visivelmente esta alteração é pouco perceptível, apesar de observa-se um manchamento na forma de gotículas na superfície da amostra (Figura 61d).

Na Figura 62.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARAz após o envelhecimento de 500 h e 1000 h ocorreu um pequeno deslocamento para um tom amarelado (+db). A amostra TCAz (Figura 62b) após 500h e 1000h de envelhecimento mostrou um pequeno deslocamento para um tom violeta, tornando-se levemente escuro (-db)). Apesar de observar um leve

manchamento na superfície nos filmes das tintas (Figura 62.c e d) a alteração da cor é muito pouco perceptível visualmente, como pode e ser observado na Figura 23b (amostra sem envelhecer).

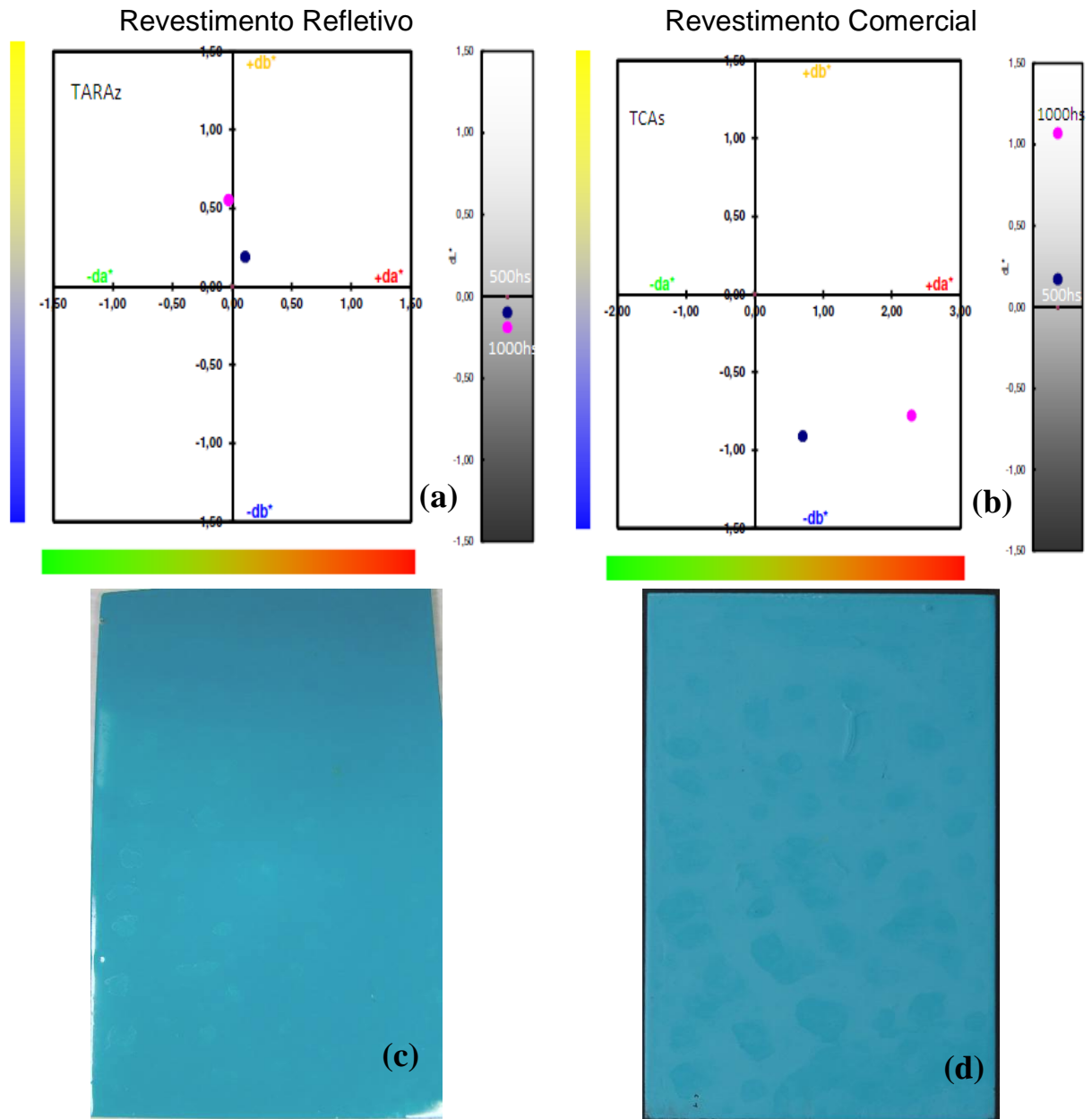


Figura 62: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARAz (a) e TCAz (b) e das imagens da amostra TARAz (c) e TCAz (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Na Figura 63.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARPr após o envelhecimento de 500 h e 1000 h observa-se que não ocorreu alteração de sua cor, A amostra TCPPr após 1000h de envelhecimento mostrou um pequeno deslocamento para um tom amarelado ($+db$) (Figura 63.b). Apesar de observar um leve manchamento na superfície nos filmes das tintas (Figura 63.c e d)

a alteração da cor é muito pouco perceptível visualmente, como pode e ser observado na Figura 23b (amostra sem envelhecer).

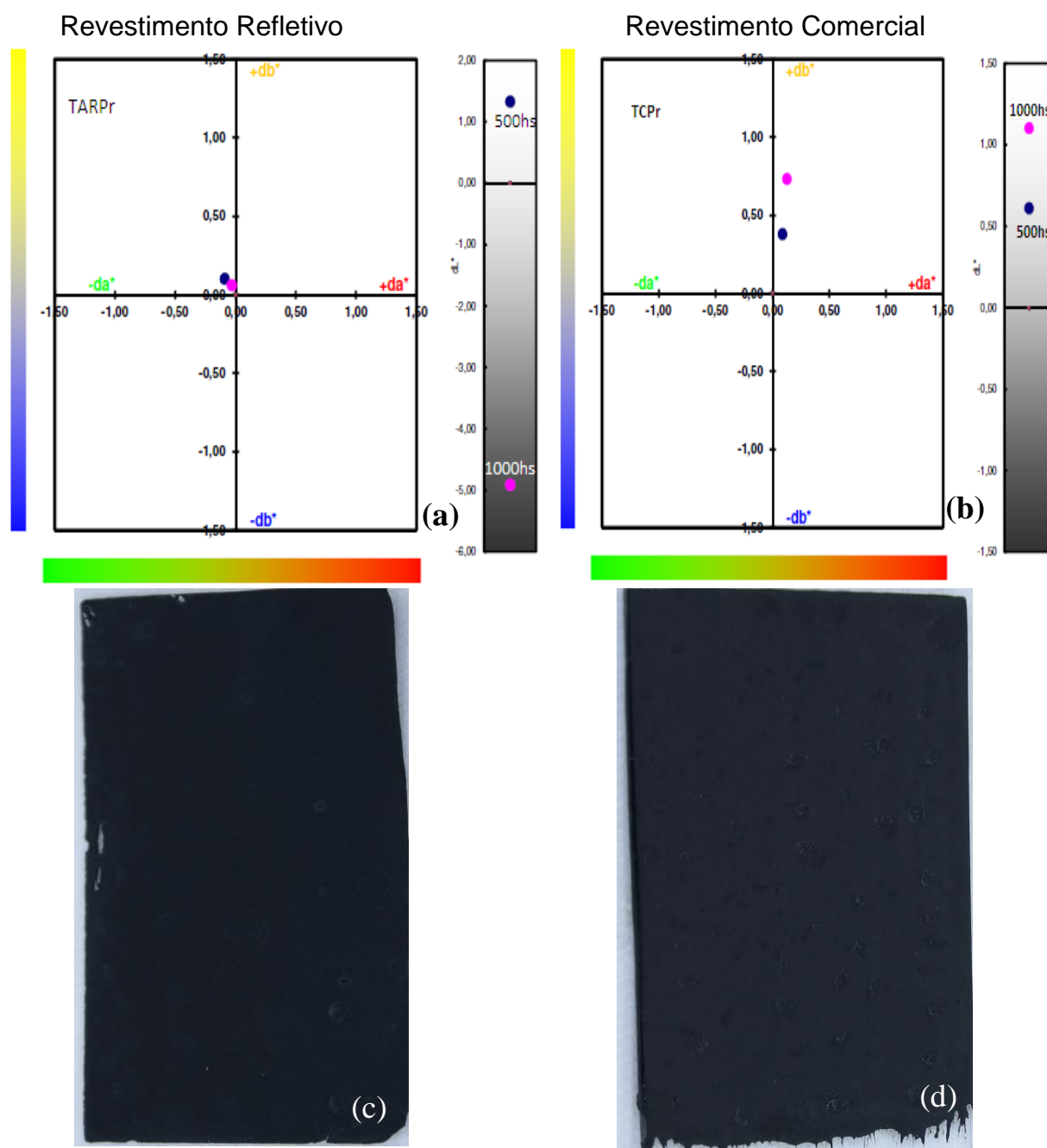


Figura 63: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento weatherometer da amostra TARPr (a) e TCPr (b) e das imagens da amostra TARPr (c) e TCPr (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Após o envelhecimento em weatherometer de 1000 h, observa-se que na região do ultravioleta todos os revestimentos apresentam refletância baixa, inclusive a tinta branca (TARBr) como pode ser verificado nas Figuras 64b. Na região do visível observa-se que todos os revestimentos refletivos e os comerciais apresentam

uma intensidade de refletância diferente para cada cor. As amostras pretas TARPr e TCPPr absorvem em todos os comprimentos de ondas e a emitem na forma de radiação, o mesmo pode ser comparado com as amostras sem envelhecer (Figura 64a).

A Figura 64a mostra a de refletância da placa de fibrocimento sem revestimento, a qual apresenta refletância entre 30 e 38% na região do infravermelho próximo. Na Figura 64b ambas as curvas (TARBr e TCBBr) apresentam refletância elevada entre 90 e 70% na região do IV próximo, comportamento esse característico do pigmento de TiO_2 . Ao observar as tintas antes do envelhecimento constata-se que não teve alteração no espectro de refletância conforme pode-se ver na Figura 64b.

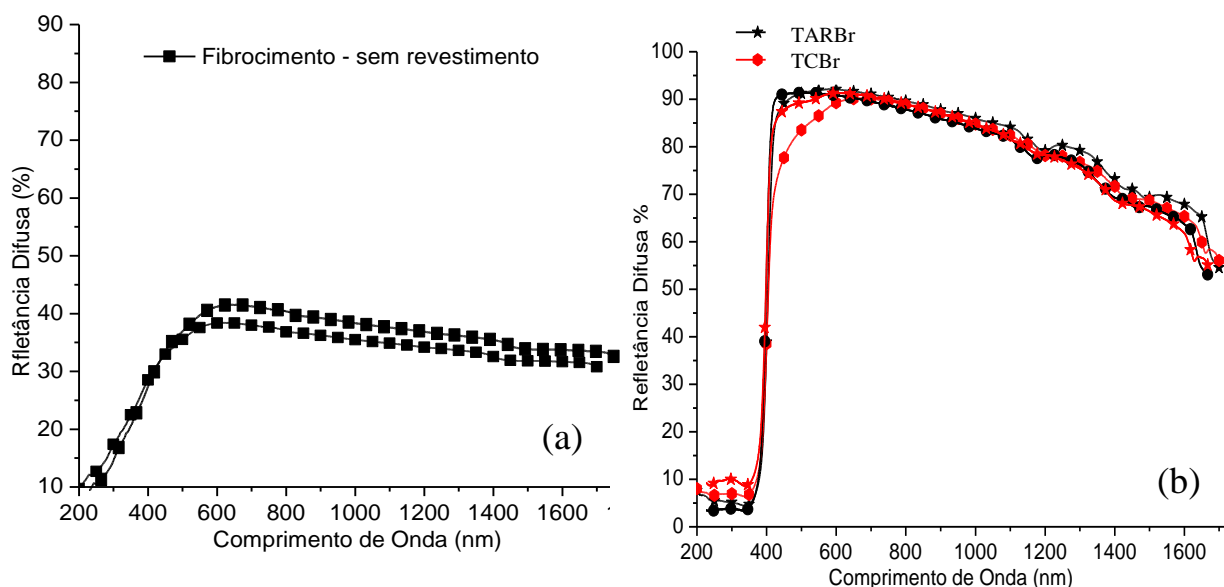


Figura 64: Curvas de refletância antes sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das placas de fibrocimento sem revestimento (a), das tintas refletivas TARBr e comerciais TCBBr (b).

A tinta que contém o pigmento refletivo TARAM-1 apresenta refletância entre 53 a 80% na região do IV próximo, enquanto a tinta TCAM-1 apresenta refletância entre 47 a 36% no mesmo comprimento de onda, como é observado na Figura 65a. Observa-se que não ocorrem alterações significativas de refletância em relação à amostra sem envelhecer.

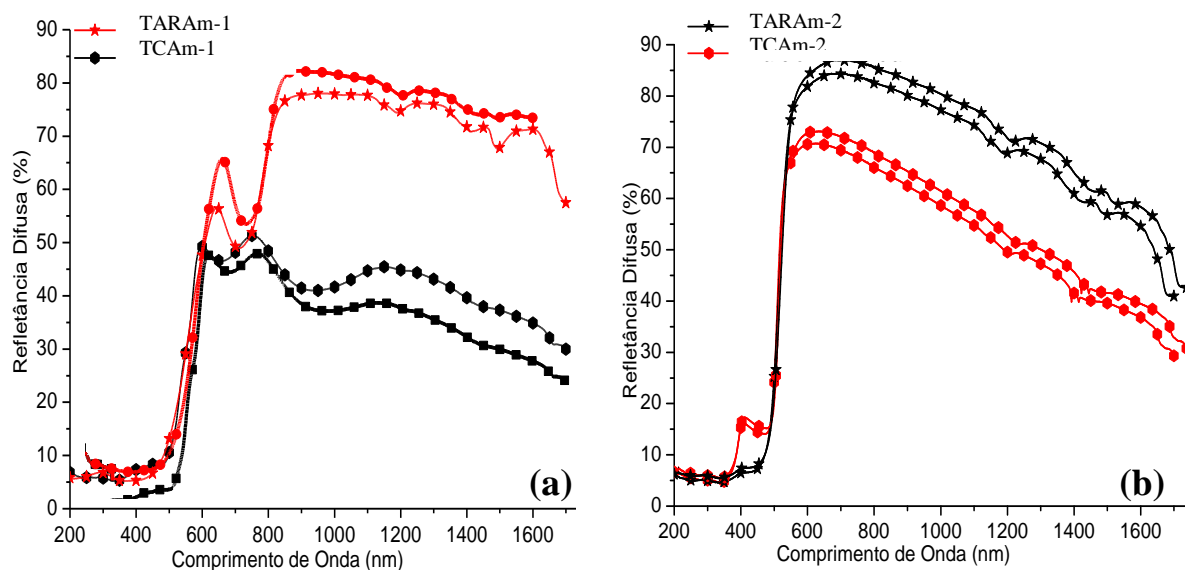


Figura 65: Curvas de refletância sem envelhecer e antes e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das tintas, a) TARAM-1 e TCAM-1 e b) TARAM-2 e TCAM-2.

Na Figura 65b a tinta TARAM-2 apresenta refletância entre 80 a 60% no comprimento de onda IV próximo, e a TCAM-2 apresenta refletância entre 68 a 42% no comprimento de onda IV próximo. Observa-se que após o envelhecimento não ocorreu alteração significativa em nenhuma das tintas.

Na Figura 66a está representada a TARMr-1 que apresenta refletância entre 35% a 27% no comprimento de onda no IV próximo. A TCMr-1 apresenta uma refletância difusa muito baixa entre 17 a 10%, observa-se que após o envelhecimento ocorreu uma diminuição da refletância somente nas tintas que contém pigmento refletivo em 32%.

A amostra TARMr-2 (Figura 66b) apresenta refletância entre 38% a 50% no comprimento de onda de 1400nm. Já a amostra TCMr-2 apresenta refletância entre 34 a 22% em todos os comprimentos de onda do NIR, observa-se que após o envelhecimento ocorreu uma diminuição da refletância somente na tinta que contém o pigmento refletiva em 10% (Figura 66b).

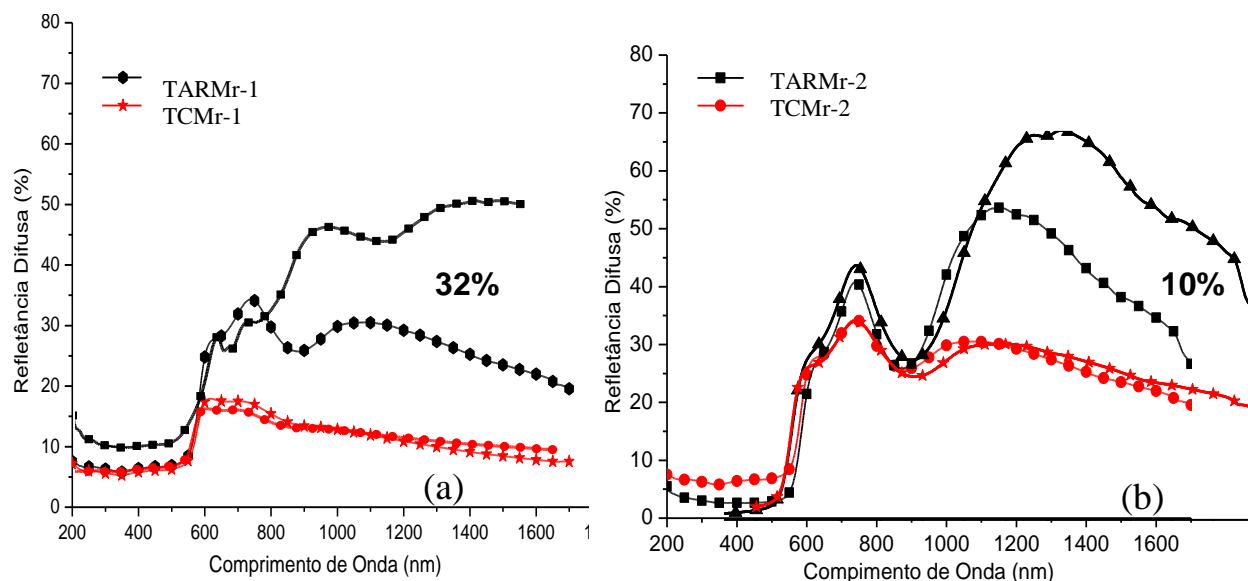


Figura 66: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das tintas, a) TARMr-1 e TCMr-1 e b) TARMr-2 e TCMr-2.

Nas tintas comerciais TCMr-1 e TCMr-2 observou-se que estes revestimentos aprestam um refletância inferior a refletância das tintas sem revestimentos, como pode ser observada na Figura 41a e 41b.

Na Figura 67a está representado o espectro da amostra TARAz e observa-se uma refletância entre 60 a 7% no comprimento de onda IV próximo(700 a 1400 nm). Entretanto, um pico bem intenso de 60% de refletância difusa entre 900 a 1145 nm no comprimento de onda. Já a amostra TCAz (Figura 67a) um aumento de refletância entre 11 a 55% no comprimento de onda 700 nm a 1400 nm, é observado nessas amostras que ocorreu uma inversão de resultados, a amostra comercial apresentando um melhor desempenho na reflexão difusa. Em ambas as amostras após o envelhecimento não ocorreu alteração em sua propriedade de refletância(Figura 67a).

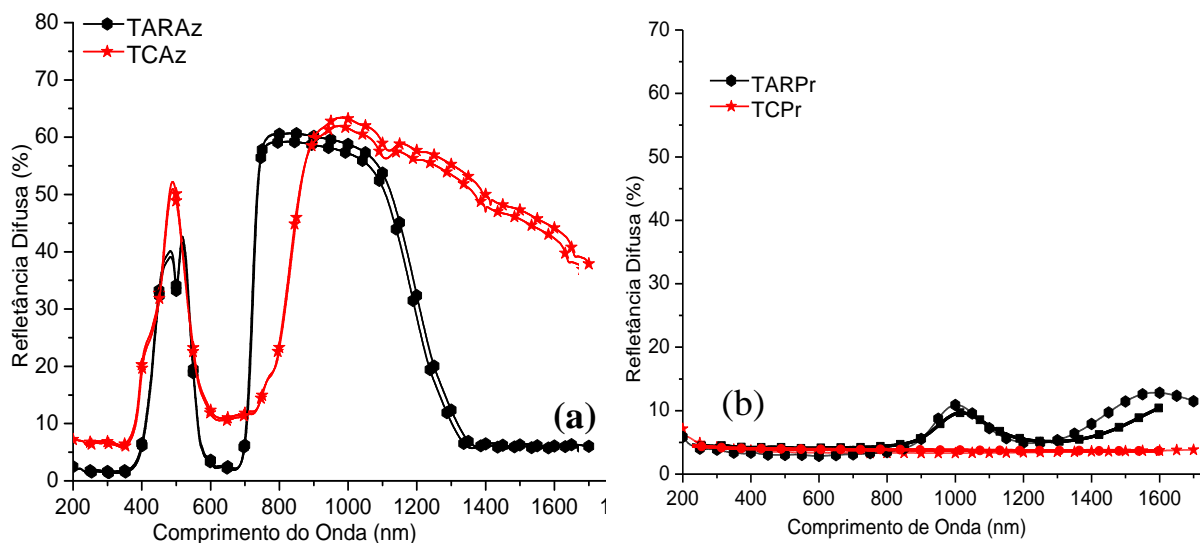


Figura 67: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento weatherometer das tintas, a) TARAZ e TCAZ e b) TARPr e TCPr.

A Figura 67b apresenta os resultados da amostra TARPr. A absorção é praticamente total na refletância difusa. Já a amostra TCPr apresenta absorção total em todo o espectro de 300 a 1400 nm. Como visto anteriormente pode-se concluir que estes revestimentos não são adequados para estas aplicações.

5.11. Influência do Envelhecimento Acelerado por Radiação Ultravioleta (UV)

Na tabela 15 são apresentados os dados de ΔE e G das tintas após terem sido submetida à radiação ultravioleta (UV) por um período de 500 a 1000 h.

Tabela 14: Coordenadas das películas de tintas refletivas e comerciais após o envelhecimento de 500 h e 1000 h.

Amostras	Coordenadas de cores							
	Sem envelhecimento		500 h envelhecimento		1000 h envelhecimento			
Refletiva Comercial	G_0	ΔE_0	G_1	ΔE_1	G_2	ΔE_2	ΔG_1	ΔG_2
TARBr	92,4	0,98	66,2	0,95	60,9	1,56	26,20	5,30
TcBr	87,3		60,9	1,09	21,5	3,11	26,40	39,4
TARAm1	91,3	3,05	71,0	0,48	63,8	1,03	20,30	7,20
TcAm1	61,0		43,2	4,17	34,2	7,79	17,80	9,00
TARAm2	65,7	2,89	31,9	5,32	23,0	5,60	33,80	8,90
TcAm2	59,0		17,5	19,90	6,6	28,16	41,50	10,90
TARMr1	86,0	1,51	60,7	1,13	52,7	1,48	25,30	8,00
TcMr1	78,5		38,2	1,37	35,2	1,26	40,30	3,00
TARMr2	86,4	2,50	23,2	0,78	12,17	1,65	63,20	11,03
TcMr2	78,2		36,7	2,53	19,4	2,39	41,50	17,30
TARAz	89,7	3,25	19,6	13,50	7,6	17,01	70,10	12,00
TcAz	68,7		19,7	3,30	13,4	3,86	49,00	6,30
TARPr	51,3	0,85	24,1	0,38	11,3	0,84	27,20	12,80
TcPr	86,2		32,6	0,01	22,1	0,22	53,60	10,50

G_0 = Brilho inicial;

ΔE_0 cor inicial;

G_1 = Brilho após 500 horas;

ΔE_1 mudança de cor após 500h;

G_2 = Brilho após 1000 horas;

ΔE_2 mudança de cor após 1000h;

$\Delta G_1 = G_0 - G_1$

$\Delta G_2 = G_1 - G_2$

Comparando os dados das amostras envelhecidas com as amostras sem envelhecimento (Tabela 12), verificou-se que as maiores modificações ocorreram no índice de brilho (ΔG_1). A perda de brilho pelas amostras envelhecidas é, esperada devido a modificação causada pela radiação UV, a qual provoca quebra nas cadeias poliméricas e esta degradação altera significativamente o brilho das tintas estudadas.

As maiores variações do índice brilho (G) ocorreram após 500 h de envelhecimento, indicando que a degradação da resina ocorreu nas primeiras 500 h de irradiação UV, como é observado na Tabela 14, com exceção TCB_r (ΔG_2 39) que teve a maior variação de brilho após 1000 h de envelhecimento.

Em relação à variação de cor (ΔE_1), observou-se que nas amostras TARBr, TARAm-1, TARMr-2, TARPr e TCP_r o ΔE é menor que 1, indicando que após o envelhecimento de 500 h não ocorreu alteração de cor. Já após 1000 h de envelhecimento os revestimentos TARBr ($\Delta E_2 = 1,56$), TARAm-1 ($\Delta E_2 = 1,03$), e TARMr-2 ($\Delta E_2 = 1,65$), sofreram alterações mais expressivas na cor, porém tintas TARPr e TCP_r que permanecerem com o ΔE menor que 1.

As amostras TARBr ($\Delta E_2 = 1,56$), TARMr1 ($\Delta E_2 = 1,48$) e TCMr1 ($\Delta E_2 = 1,26$) o ΔE está um pouco acima de 1 [103] segundo a literatura ocorreu alteração de cor, porém visualmente esta diferença não é observada. As tintas TCB_r ($\Delta E_2 = 3,11$), TCAM1 ($\Delta E_2 = 7,79$), TARAm₂ ($\Delta E_2 = 5,60$), TCMr₂ ($\Delta E_2 = 2,39$) e TCAz ($\Delta E_2 = 3,86$) apresentaram uma alteração significativa de cor, como pode ser observado na Tabela 15. Já nas amostras TCAM₂ ($\Delta E_2 = 28,16$) e TARAz ($\Delta E_2 = 17,01$) ocorreu uma alteração de cor muito intensa, indicando uma degradação da resina e do pigmento.

Na Tabela 16 estão apresentadas a distribuição das cores no sistema CIELAB após 500 e 1000 horas de envelhecimento acelerado na radiação ultravioleta. Para critério de comparação foram apresentadas as fotos das tintas após 1000 h de envelhecimento. A coordenada da luminosidade (L^*) após o envelhecimento de 1000 h não apresentou alterações significativas nas tintas testadas.

Tabela 15: Coordenadas das películas de tintas refletivas e comerciais após o envelhecimento UV de 500 h e 1000 h.

Amostras	Coordenadas de cores							
	500 h				1000 h			
Refletiva Comercial	L*	a*	b*	G	L*	a*	b*	G
TARBr	96,42	-0,75	2,65	66,2	96,90	-0,78	3,47	60,9
TcBr	93,56	-0,37	7,91	30,1	94,03	-0,09	7,13	21,5
TARAm1	64,26	21,66	52,55	71,0	63,98	22,13	51,99	63,8
TCAm1	60,87	20,41	48,38	43,2	61,68	19,92	44,70	34,2
TARAm2	83,95	5,97	78,79	31,9	83,30	5,58	78,21	23,0
TCAm2	71,22	5,82	44,05	17,5	71,39	5,66	35,07	6,6
TARMr1	35,20	16,98	13,64	60,7	35,40	16,01	13,29	52,7
TCMr1	37,39	17,76	15,10	38,2	37,91	17,77	15,26	35,2
TARMr2	41,15	29,07	23,65	23,2	40,93	29,89	24,69	12,17
TCMr2	41,14	26,00	20,76	36,7	42,68	26,00	20,76	19,4
TARAz	56,54	-39,62	-4,39	19,6	56,71	-38,20	-1,18	7,6
TCAz	57,60	-32,20	-12,89	19,7	57,60	-29,20	-10,89	13,4
TARPr	25,76	-0,30	-0,50	24,1	25,28	-0,31	-0,46	11,3
TCPr	24,76	-0,07	-0,54	32,6	24,95	-0,09	-0,44	22,1

Abaixo estão representados os diagramas do sistema CIELAB nas amostras onde se observa as coordenadas (+db), (-db), (+da) e (-da). Na Figura 68.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARBr após o envelhecimento de 500h, onde observa-se que ocorreu pequena alteração de sua cor. Após 1000h de envelhecimento ocorreu o deslocamento para um tom amarelado (+db), onde pode ter ocorrido uma leve oxidação da resina.

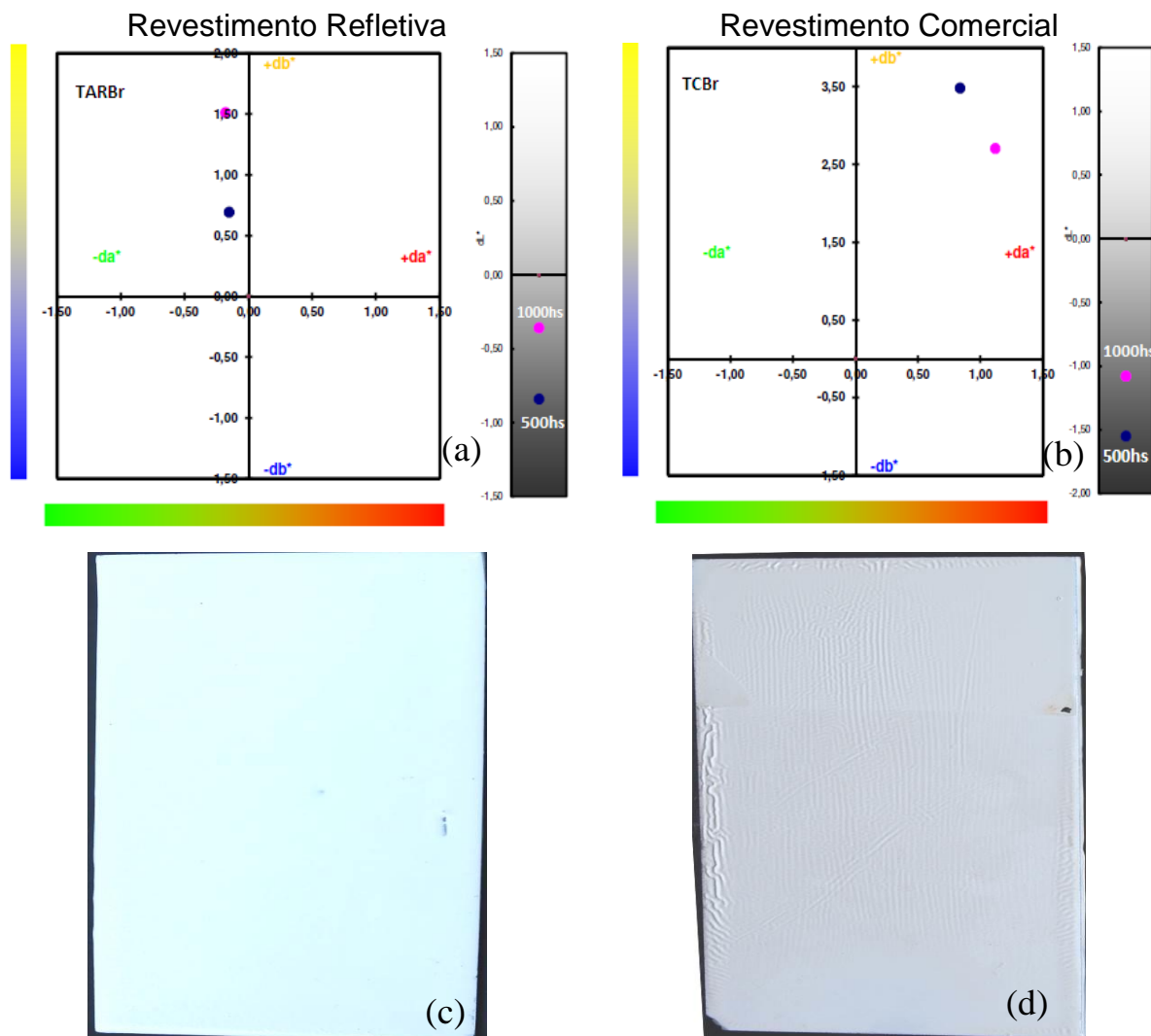


Figura 68: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARBr (a) e TCPr (b) e das imagens da amostra TARBr (c) e TCBR (d) após 1000 horas de envelhecimento.

A amostra TCBR após 1000 h de envelhecimento mostrou um deslocamento para um tom avermelhado, tornando-se levemente escura (Figura 68.b, d (+da)).

Após o envelhecimento de 500 h da amostra TARAM-1 (Figura 69a) observa-se um pequeno deslocamento para tom azulado. Após 1000h de envelhecimento os parâmetros da cromaticidade deslocaram-se para o azul (-db), tornando-se levemente escuro.

Na amostra TCAM-1 em 500 h de envelhecimento ocorreu um pequeno deslocamento para o azul (-db). Após 1000 h de envelhecimento os parâmetros da cromaticidade deslocaram-se para o verde musgo (-db), tornando-se mais escura (Figura 69b). Visivelmente este revestimento se tornou mais escuro, como pode ser

comparado com a imagem sem envelhecer da Figura 52a.

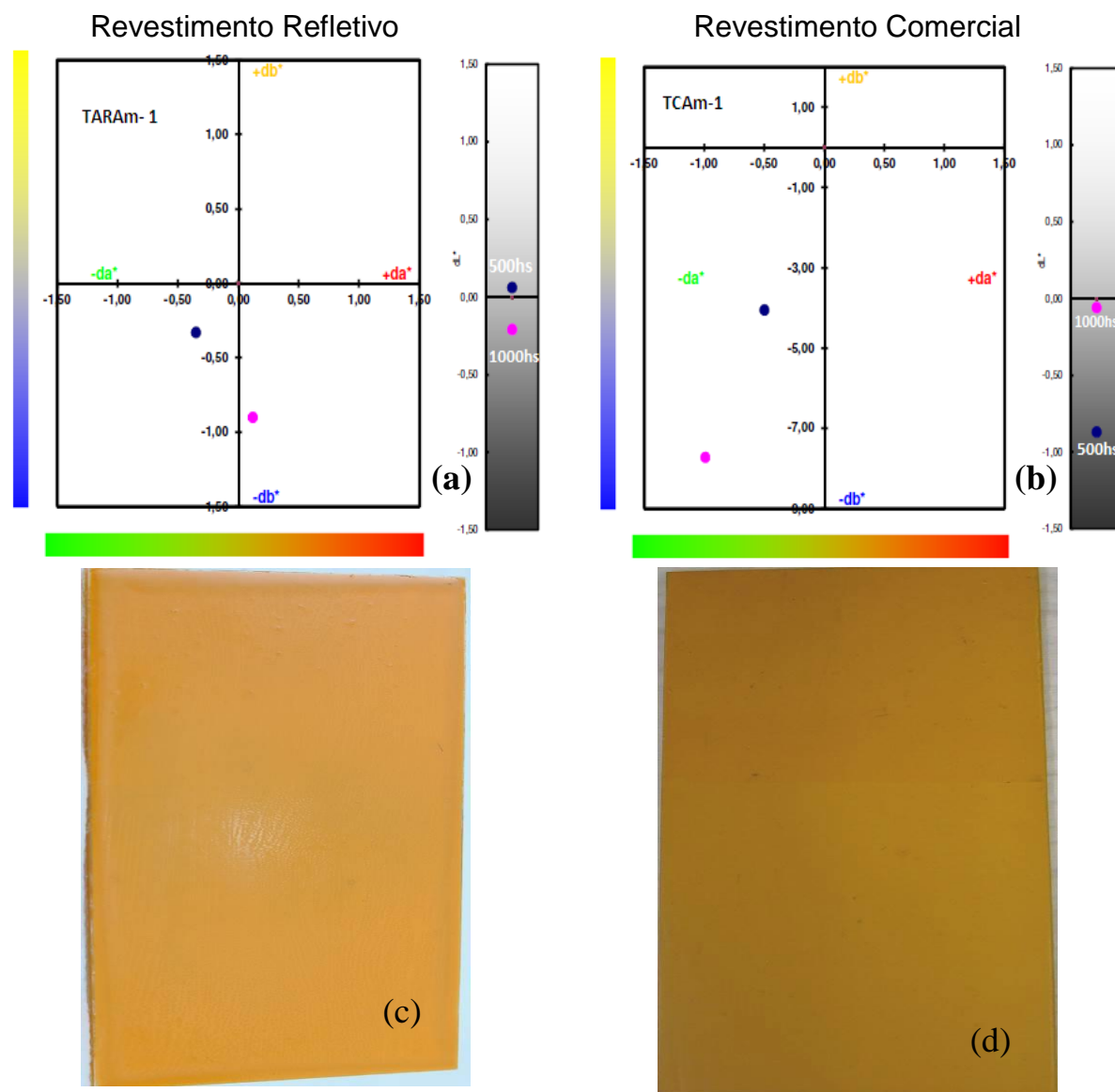


Figura 69: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARAM-1(a) e TCAM-1(b) e das imagens da amostra TARAM-1(c) e TCAM-1(d) após 1000 horas de envelhecimento.

Na Figura 70a (TARAM-2) após 1000h de envelhecimento os parâmetros da cromaticidade deslocaram-se para violeta ($-db$), tornando-se levemente escuro. Já a TCAM-2 ocorreu um deslocamento significativo para o violeta, provocando a alteração de cor muito intensa. Visivelmente esta alteração pode se observada (Figura 70b). Nesta tinta pode ser concluído que ocorreu a degradação na resina e grande probabilidade que tenha degradado o pigmento.

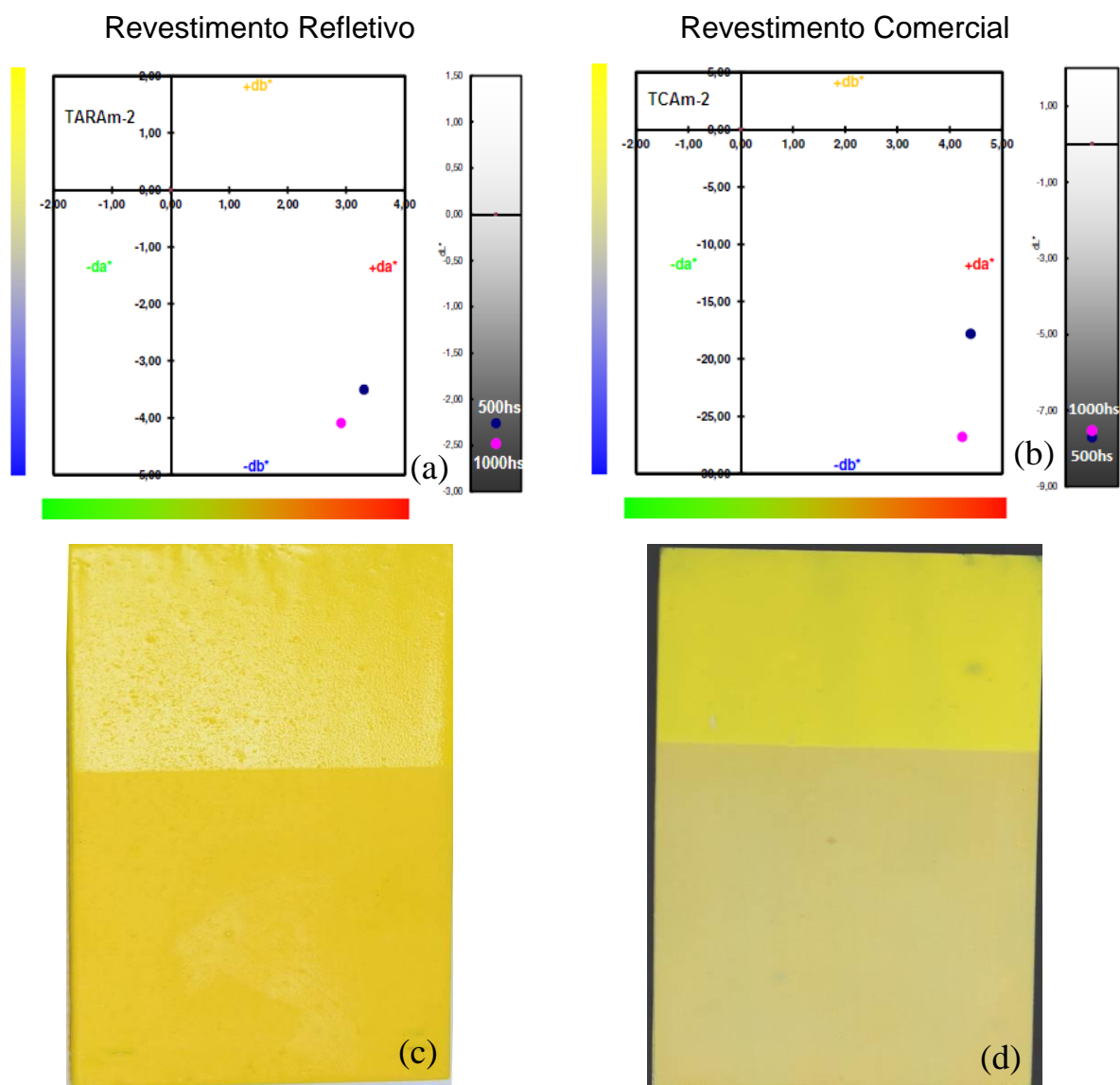


Figura 70: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento UV da amostra TARAM-2 (a) e TCAM-2 (b) e das imagens da amostra TARAM-2 (c) e TCAM-2 (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Observa-se a TARMr-1 após o envelhecimento UV percebe-se um pequeno deslocamento para o verde (-da), enquanto que a TCMr-1 ocorreu um pequeno deslocamento para o azul. Em ambas as tintas a perda de brilho foi significativa (Tabela 16). No entanto a variação de cor permaneceu dentro de um limite aceitável (Figura 71a e b).

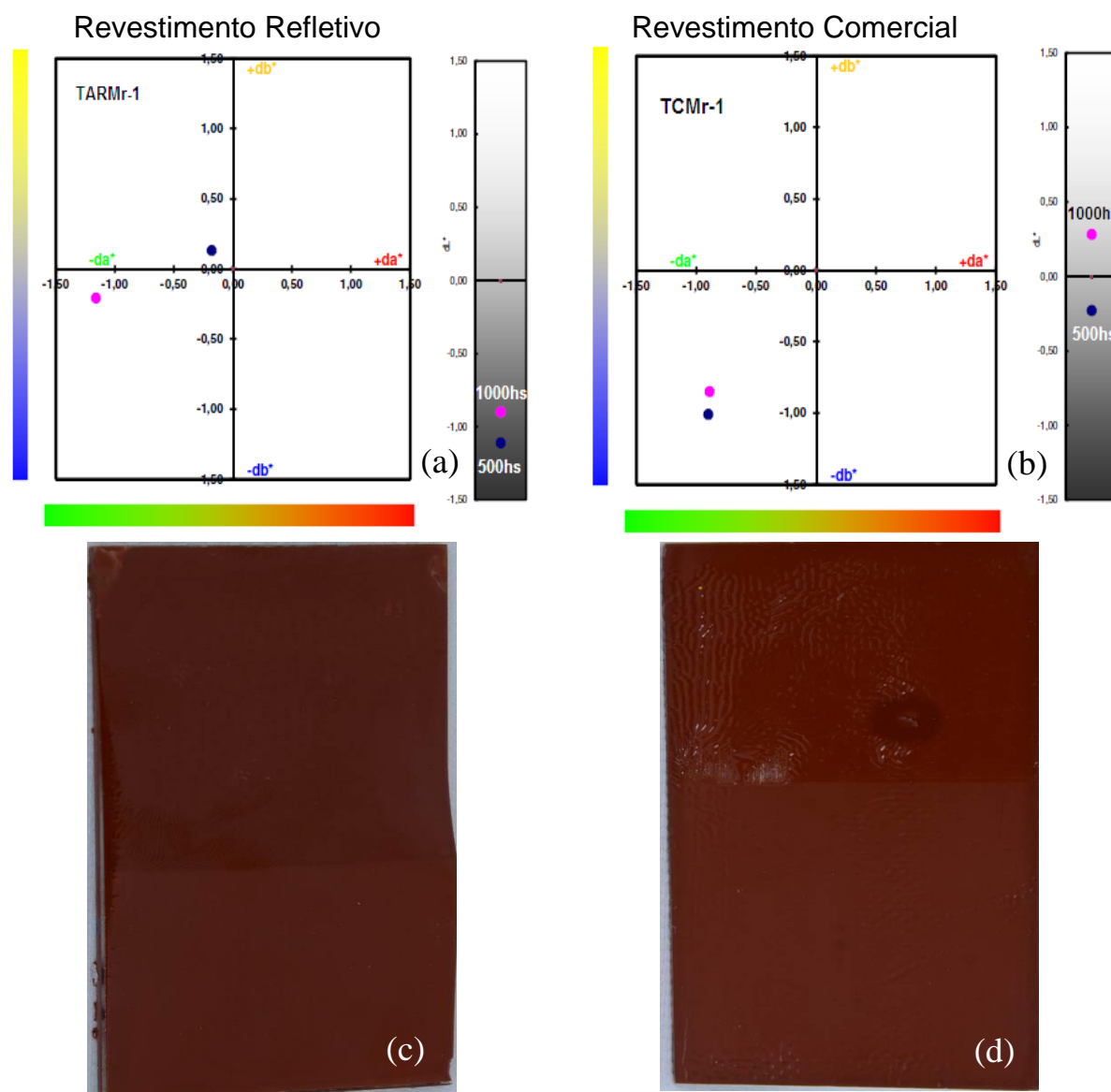


Figura 71: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500h e 1000h de envelhecimento UV da amostra TARMr-1 (a) e TCMr-1 (b) e das imagens da amostra TARMr-1 (c) e TCMr-1 (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Na Figura 72.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARMr-2. Após o envelhecimento de 500 h observa-se uma pequena alteração de sua cor (+da). Após 1000 h de envelhecimento, a cor mostrou um leve deslocamento (+da). Na amostra TCMr-2 (Figura 72b) houve um deslocamento para um tom verde musgo tornando a tinta mais escura (-db). Visivelmente estas alterações são pouco perceptíveis.

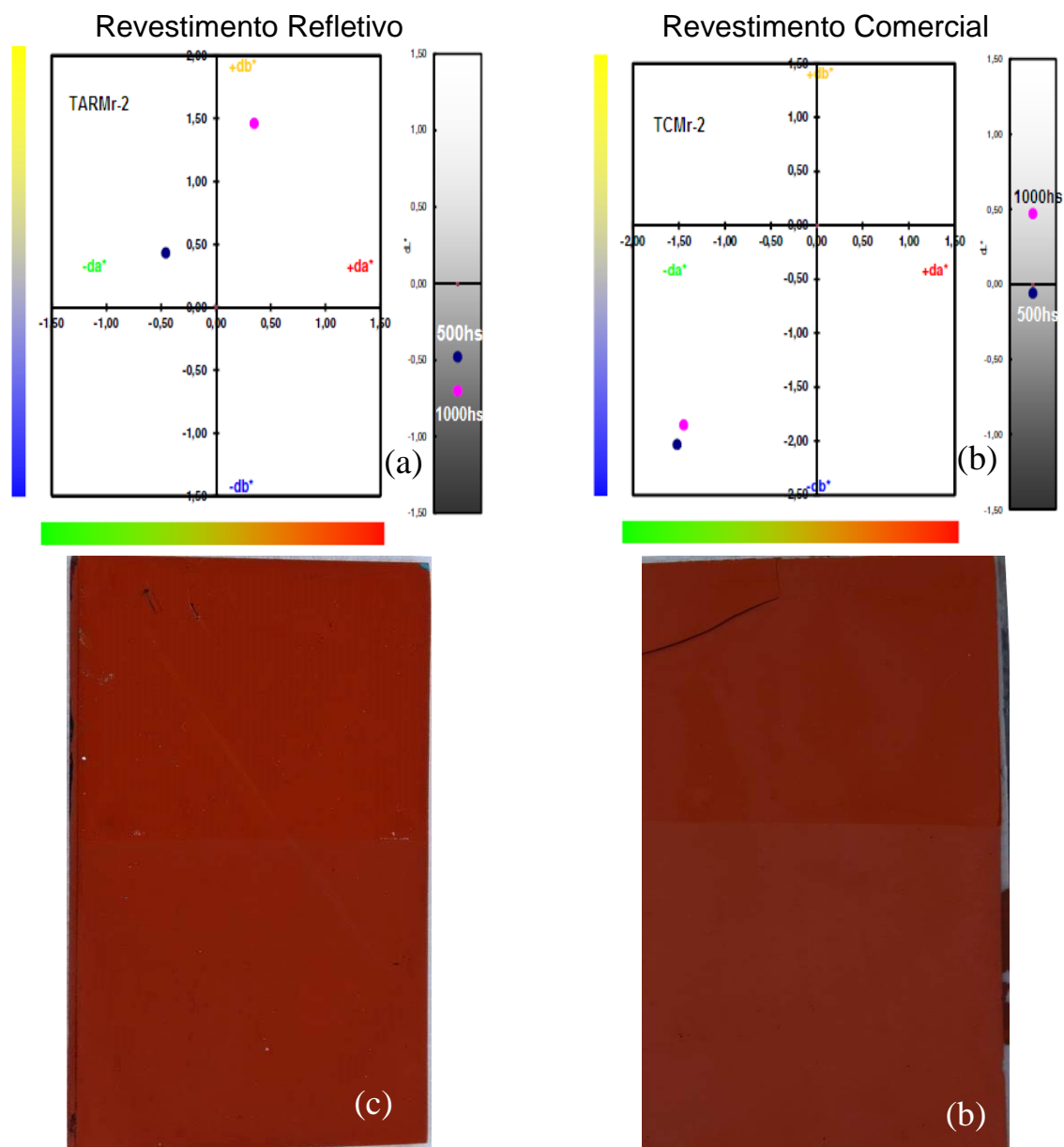


Figura 72: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARMr-2 (a) e TCMr-2 (b) e das imagens da amostra TARMr-2 (c) e TCMr-2 (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Na Figura 73.a está representado o diagrama da cromaticidade da amostra TARAZ. Após o envelhecimento de 500 h e 1000 h ocorreu um deslocamento para um tom laranja (+da), tornando a amostra escura. Além disso, observa-se que em 500 h a perda de brilho foi significativa (Tabela 14, $\Delta G_1 = 70$), indicando a degradação na resina e grande probabilidade que tenha degradado o pigmento.

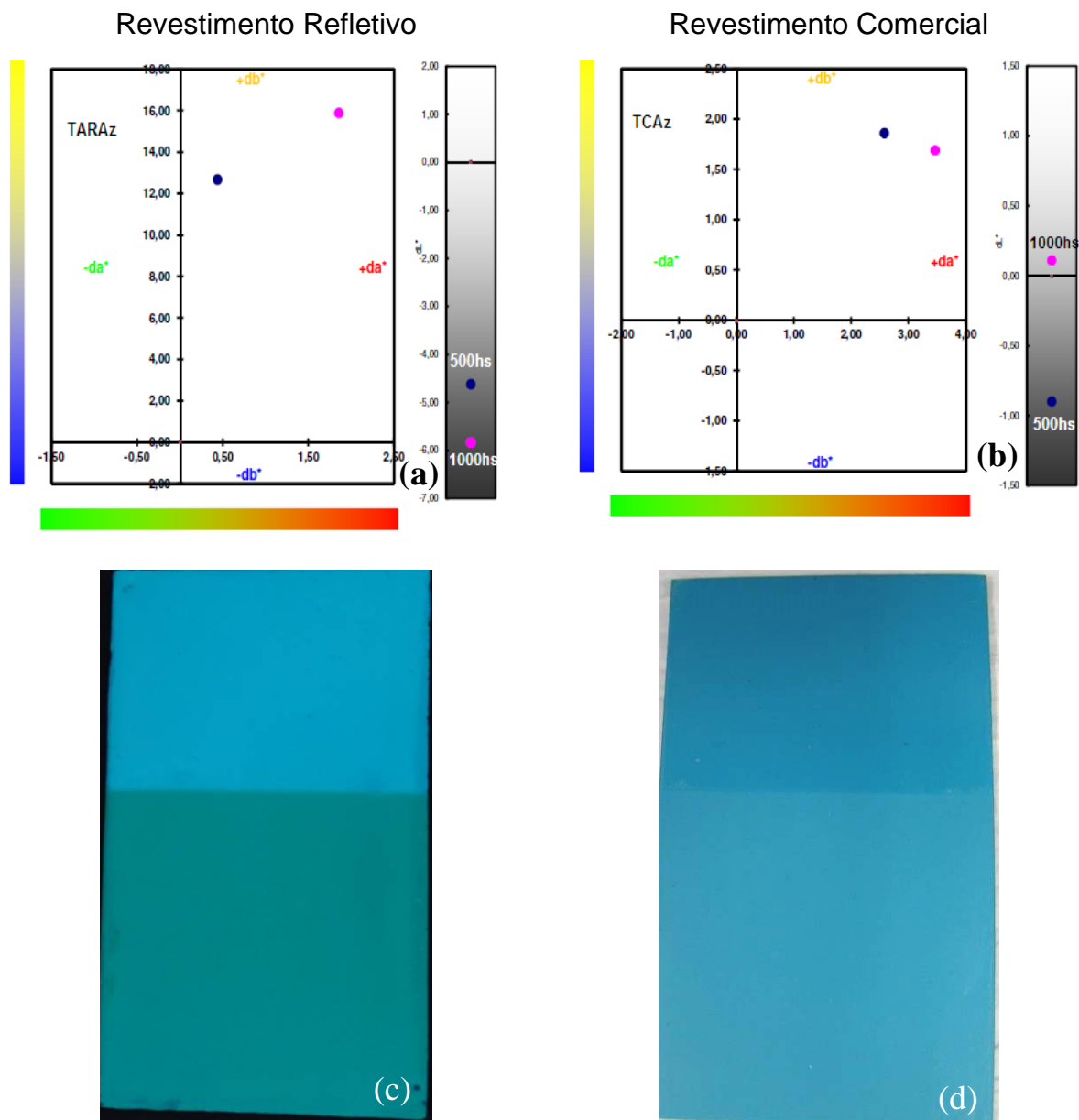


Figura 73: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARAz (a) e TCAz (b) e das imagens da amostra TARAz (c) e TCAz (d) após 1000 horas de envelhecimento.

A amostra TCAz (Figura 73b) após 500 h e 1000 h de envelhecimento mostrou um pequeno deslocamento para um tom laranja, tornando-se mais clara (+da)), sendo a alteração da cor pouco perceptível. No entanto, a perda de brilho é significativa principalmente nas primeiras 500h de exposição a radiação UV (Tabela 15 $\Delta G_1 = 49$).

Para a TARPr (Figura 74a) e TCPPr (Figura 74b) não se observa alteração significativa no diagrama CIELAB. Entretanto, a radiação ultravioleta causou perda de brilho, principalmente nas primeiras 500 h de radiação de UV, pode ser

observada na Tabela 15.

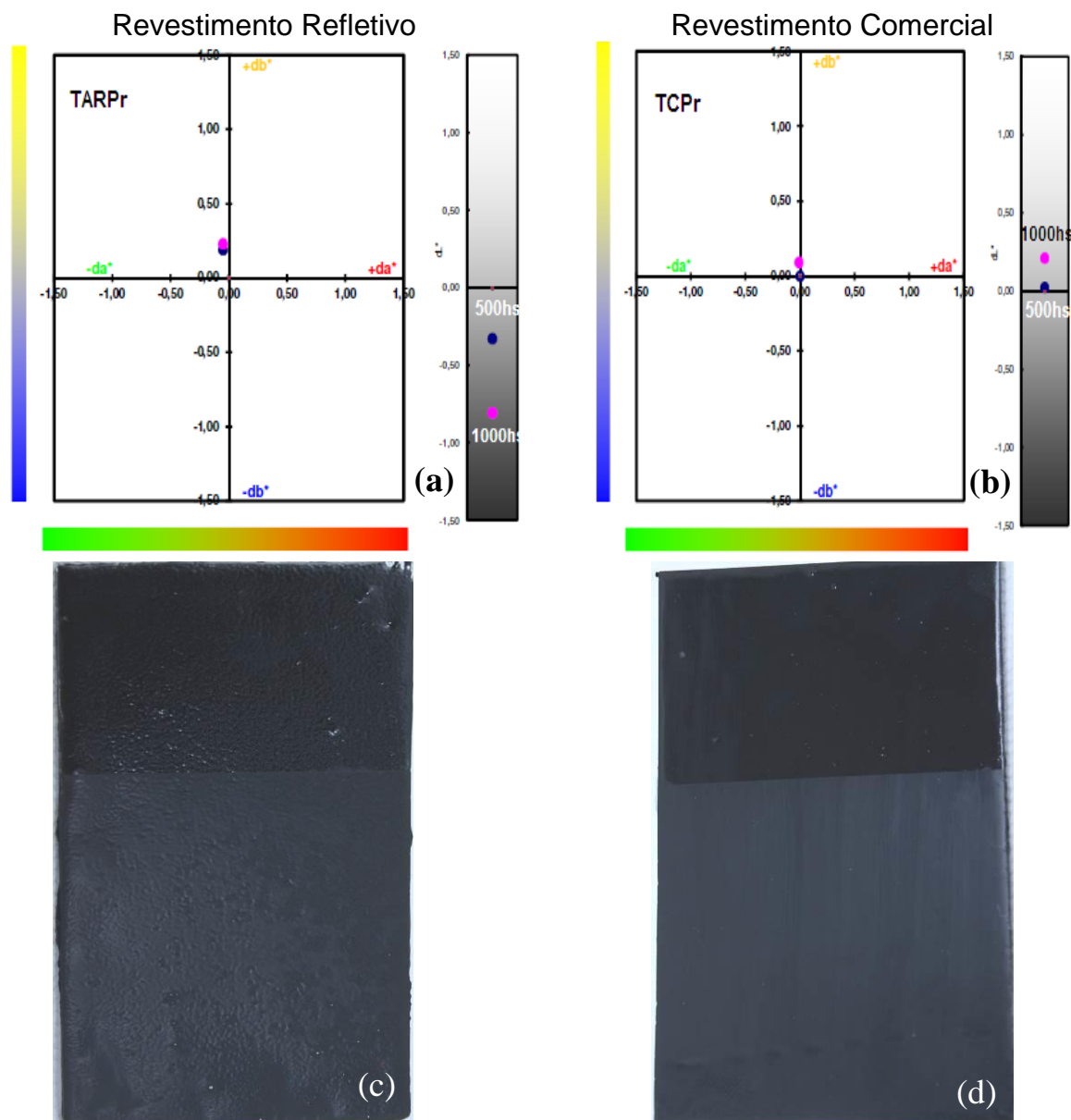


Figura 74: Diagrama da cromaticidade X, Y após 500 h e 1000 h de envelhecimento UV da amostra TARPr (a) e TCPPr (b) e das imagens da amostra TARPr (c) e TCPPr (d) após 1000 horas de envelhecimento.

Após o envelhecimento em radiação Ultravioleta (UV) de 1000 h, observa-se que na região do ultravioleta todos os revestimentos apresentam menor refletância, inclusive a tinta branca (TARBr) como pode ser verificado nas Figuras 75b. Na região do visível observa-se que todos os revestimentos refletivos e os comerciais apresentam uma intensidade de refletância diferente para cada cor, porque cada pigmento tem seu próprio comprimento de onda.

A Figura 75a representa a refletância da placa de fibrocimento sem revestimento, a qual apresenta refletância entre 28 e 22% na região do infravermelho próximo. Na Figura 75b ambas as curvas (TARBr e TCBr) apresentam refletância elevada. A TARBr apresenta refletância entre 93 e 79% e a TCBr entre 86 a 75% na região do IV próximo, comportamento esse característico do pigmento de TiO_2 e, ao observar as curvas de refletância sem envelhecer, constata-se que não tiveram alterações no espectro de refletância conforme está representada na Figura 75a.

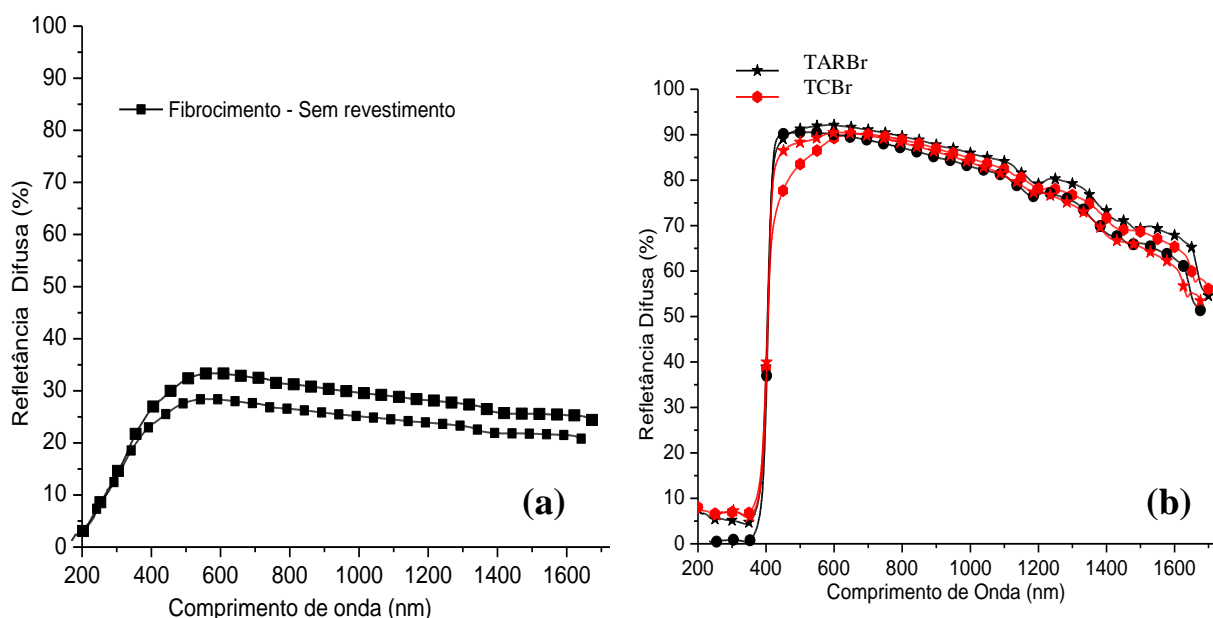


Figura 75: Curvas de refletância sem envelhecimento e após 1000 h de envelhecimento pela radiação Ultravioleta na placa de fibrocimento sem revestimento (a), das tintas refletivas TARBr e comerciais TCBr (b).

A tinta que contém o pigmento refletivo TARAm-1(Figura 76a) apresenta refletância entre 61 a 48% na região do IV próximo, comparando com o revestimento sem envelhecer ocorre uma perda de refletância próximo a 15%, como pode ser observado na Figura 76a. Já a tinta TCAm-1 apresenta refletância entre 48 a 33% no mesmo comprimento de onda, e a tinta sem envelhecer a refletância está entre 46 a 33% (Figura 40a), não ocorrendo alteração significativa em sua refletância.

Na Figura 76b a tinta TARAm-2 apresenta refletância entre 85 a 60% no comprimento de onda IV próximo, ao observarmos a refletância do revestimento sem envelhecer, nota-se uma pequena perda de sua eficiência de refletância. A amostra

TCAm-2 apresenta refletância entre 55 a 35% no comprimento de onda IV próximo.

Observa-se que após o envelhecimento UV ocorreu uma perda de 15% de refletância, apesar de sua coloração ter mudado significativamente para o tom escuro, como pode ser observado na Figura 70b. Desta forma, conclui-se que ocorreu uma oxidação no pigmento, mas não perdeu sua propriedade de refletir.

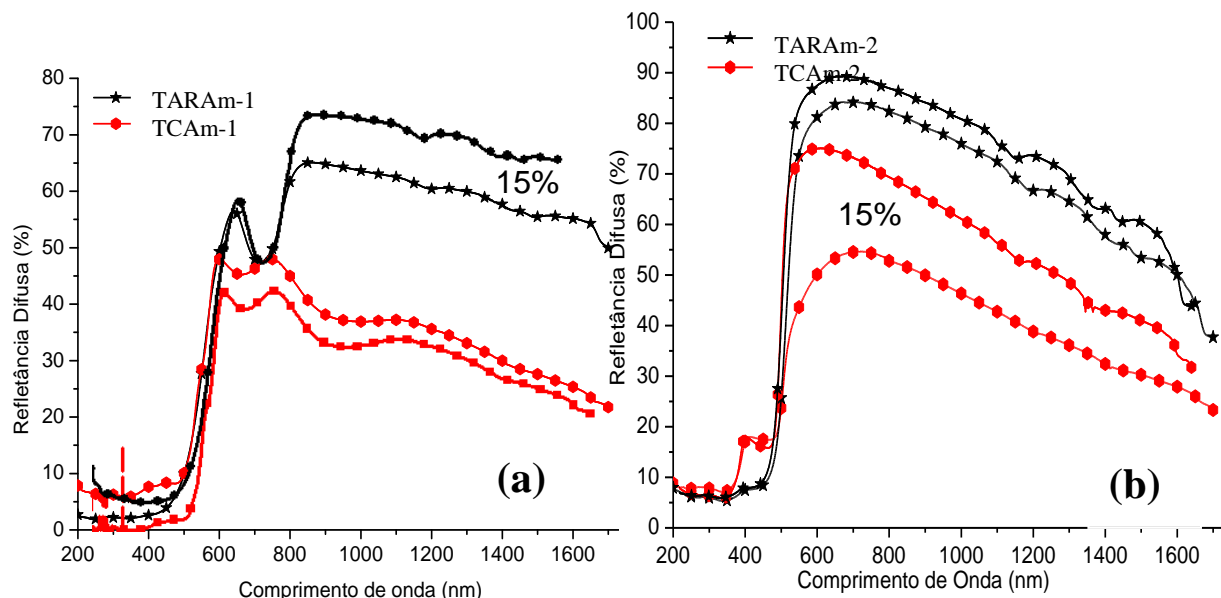


Figura 76: Curvas de refletância antes do envelhecimento e após 1000 h de envelhecimento pela radiação Ultravioleta nas tintas, a) TARAm-1 e TCAm-1 e b) TARAm-2 e TCAm-2.

É muito importante utilizar a tinta que contém pigmento refletivo (TARAm-2), porque após o envelhecimento UV não ocorreu alteração significativa de refletância, assim tem-se uma maior refletividade, conseqüentemente a possibilidade de diminuir o aquecimento interno de uma edificação.

A Figura 77a está representada a tinta TARMr-1, a qual apresenta refletância entre 17% a 48% no comprimento de onda no IV próximo após o envelhecimento UV, representando uma boa estabilidade da refletância na região do IV próximo, ocorrendo uma perda próximo a 12% de sua eficiência de refletância. A TCMr-1 apresenta uma refletância difusa muito baixa, entre 17 a 10%, observa-se que após o envelhecimento não ocorreu alteração nos valores de refletância à radiação infravermelho próximo na tinta comercial (Figura 77a).

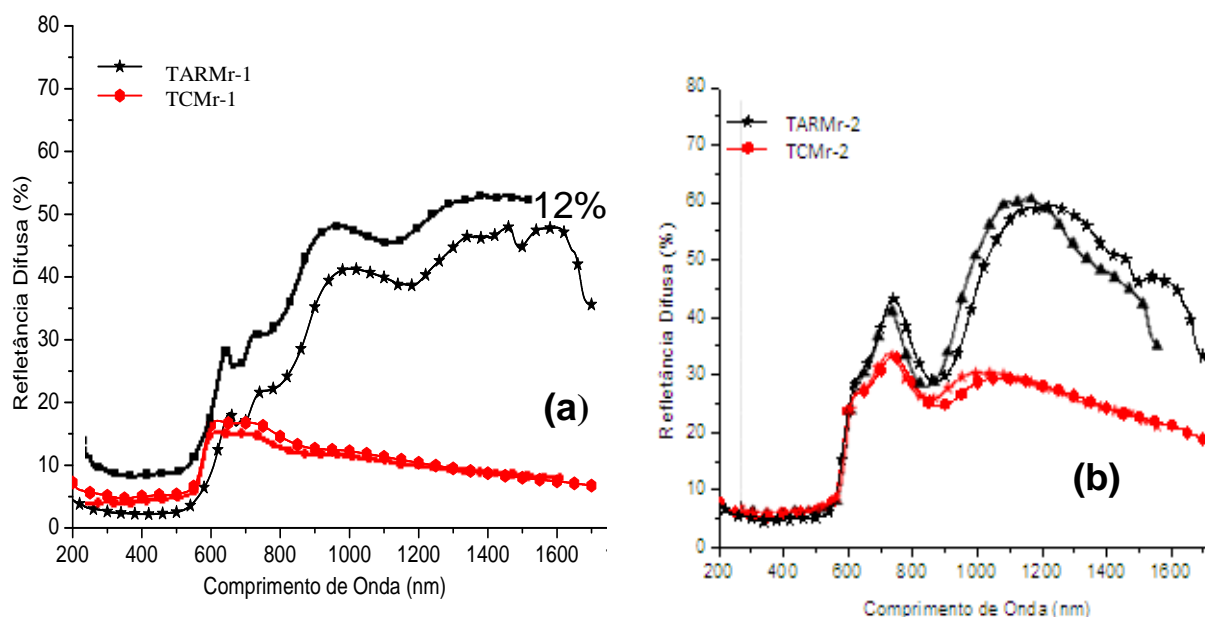


Figura 77: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento por radiação UV das tintas, a) TARMr-1 e TCMr-1 e b) TARMr-2 e TCMr-2.

A amostra TARMr-2 (Figura 77b) apresenta refletância entre 32% a 52% no comprimento de onda e, quando comparado com a tinta sem envelhecer observa-se uma pequena alteração entre 8 a 3%. Já a amostra TCMr-2 apresenta refletância entre 30 a 25% em todos os comprimentos de onda do IV próximo. Observa-se que após o envelhecimento não ocorreu alteração na radiação infravermelho próximo na tinta comercial (Figura 77b).

Na Figura 78a está representado o espectro da amostra TARAz, onde observa-se que ocorre a refletância entre 60 a 7% no comprimento de onda IV próximo (700 a 1400 nm), entretanto, ocorre um pico bem intenso em 65% de refletância difusa entre 750 a 1150 nm. Ao comparar com a amostra sem envelhecer observa-se que não ocorre alteração de intensidade (Figura 78a), apesar de ter ocorrido um alteração em sua cor após o envelhecimento, como pode ser observado na Figura 73c.

A amostra TCAz apresenta uma refletância entre 12 a 47% no comprimento de onda 700 nm a 1400 nm, mas, ocorre um pico bem intenso em 58 a 47% de refletância difusa de 900 a 1400 nm. Observa-se nessa amostra que ocorreu uma diminuição de refletância difusa após o envelhecimento em UV, entre 8 a 3% em comparação com a amostra sem envelhecer (Figura 78a).

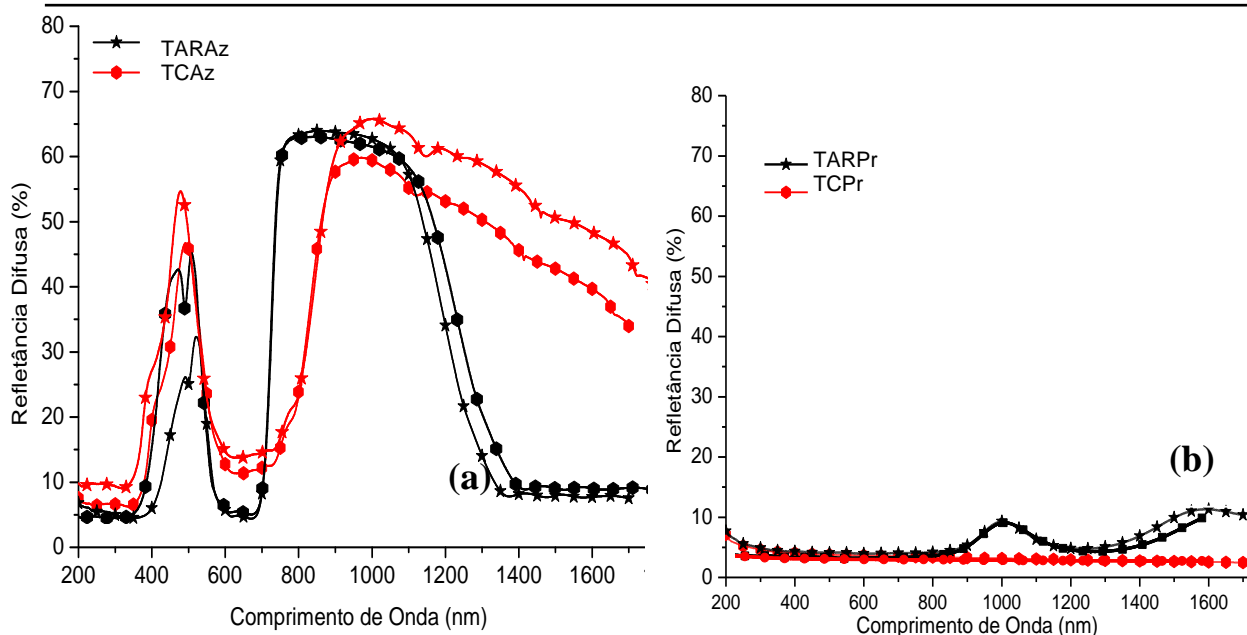


Figura 78: Curvas de refletância sem envelhecer e após 1000 h de envelhecimento por radiação UV das tintas, a) TARAz e TCAz e b) TARPr e TCPr.

Na Figura 78b apresenta a refletância da amostra TARPr e TCPr, onde a absorção é praticamente total, antes do envelhecimento e após o envelhecimento.

5.12. Medidas da temperatura durante irradiação com lâmpada Infravermelho

Nas Figuras abaixo são apresentadas as temperaturas das placas de fibrocimento com revestimento, durante a irradiação de uma lâmpada de infravermelho. As temperaturas foram medidas com o auxílio de um termopar sendo que a temperatura de superfície (TS) (placa voltada para a lâmpada) e a temperatura interna (TI) (temperatura atrás da placa) foram registradas como está representada na Figura 32.

Na Figura 79 é apresentado o diagrama da variação da temperatura durante a irradiação com a lâmpada de infravermelho sobre a placa de fibrocimento com TARBr, onde foi aplicada a irradiação por um período de 60 min. Todos os outros revestimentos apresentam o mesmo comportamento.

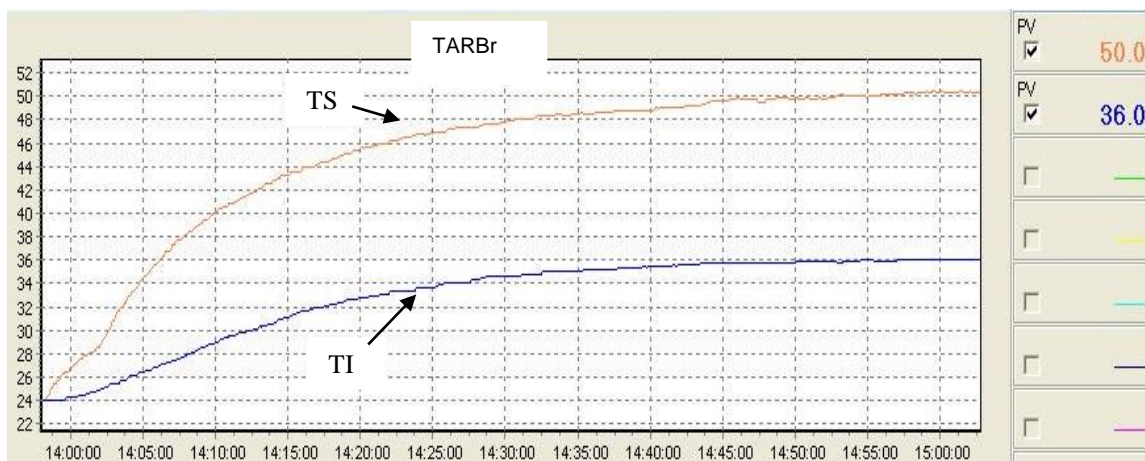


Figura 79: Temperatura da placa de fibrocimento revestida com amostra TARBr.

Na Figura 80 é apresentada a média das temperaturas das amostras TARBr e TCBr em comparação com a placa de fibrocimento sem revestimento. Observa-se que com a irradiação em ambas as amostras com revestimento (TARBr e TCBr) estas apresentam uma menor temperatura interna comparada com a da placa de fibrocimento sem nenhum revestimento.

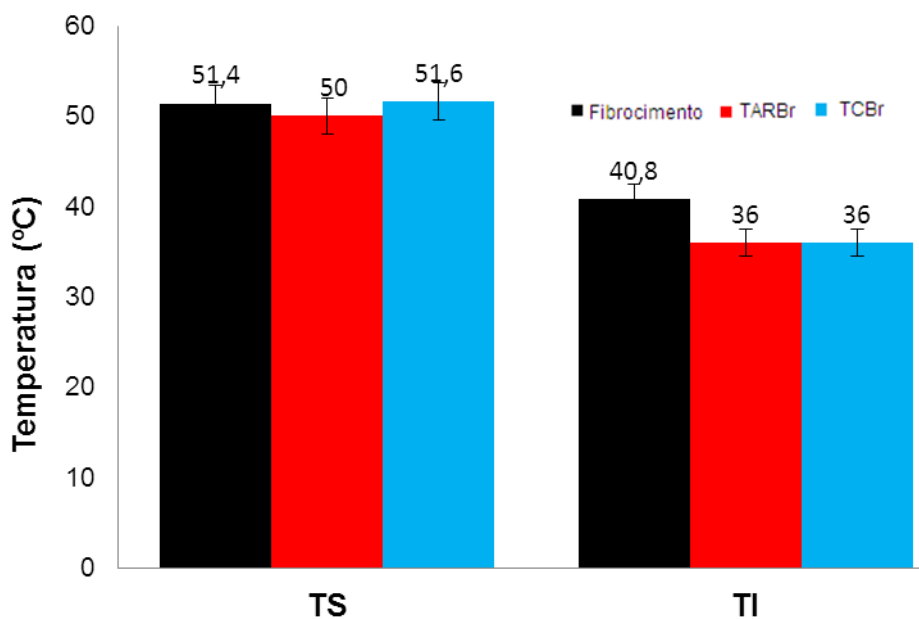


Figura 80: Temperatura das tintas TARBr e TCBr aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.

Desta forma, pode-se inferir que, caso fosse aplicada uma tinta branca em um telhado, seria esperado menor aquecimento interno. Conforme observado na Tabela 17, o ΔT_i (diferença de temperatura interna) representa que ocorreu uma diminuição de 4,8 °C nas amostras TARBr e TCBr. Não ocorrendo diferença de temperatura nas

tintas.

Tabela 16: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARBr e TCBr

	TS	TI	ΔT_s	ΔT_i
Sem revestimento	51,4	40,8	-	-
TARBr	50	36	- 1,4	- 4,8
TCBr	51,6	36	+ 0,2	- 4,8

$\Delta T_s = TS_2$ (Com revestimento) – TS_1 (sem revestimento)

$\Delta T_i = TI_2$ (Com revestimento) – TI_1 (sem revestimento)

Na Figura 81 é apresentada a média das temperaturas das amostras TARAM-1 e TCAM-1 em comparação a placa de fibrocimento sem revestimento. Observa-se que com a irradiação ambas as amostras com revestimento TARAM-1 e TCAM-1 apresentam uma menor temperatura interna comparada com a placa de fibrocimento sem revestimento.

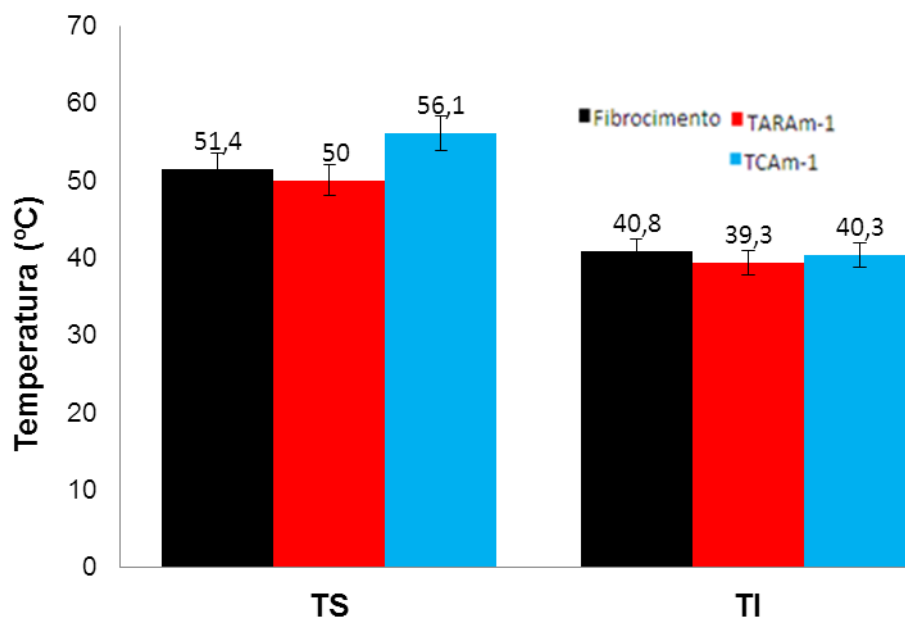


Figura 81: Temperatura das tintas TARAM-1 e TCAM-1 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.

Os valores de temperatura descritos na Tabela 18 indicam que ao aplicar uma tinta TARAM-1 sobre um telhado, poderia-se obter uma menor transferência de calor $\Delta T_i = - 1,5$ °C. Já a tinta TCAM-1 apresenta uma transferência de calor maior $\Delta T_i = -$

0,5 °C que a tinta refletiva (TARAm-1).

Tabela 17: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARAm-1 e TCAM-1.

	TS	TI	ΔT_s	ΔT_i
Sem revestimento	51,4	40,8	-	-
TARAm-1	50	39,3	- 1,4	- 1,5
TCAM-1	56,1	40,3	+ 4,7	- 0,5

Na Figura 82 é apresentada a média das temperaturas das amostras TARAm-2 e TCAM-2 em comparação a placa de fibrocimento sem revestimento. Observa-se que com a irradiação a amostra com revestimento TARAm-2 apresenta uma menor temperatura interna comparada com a da placa de fibrocimento sem revestimento.

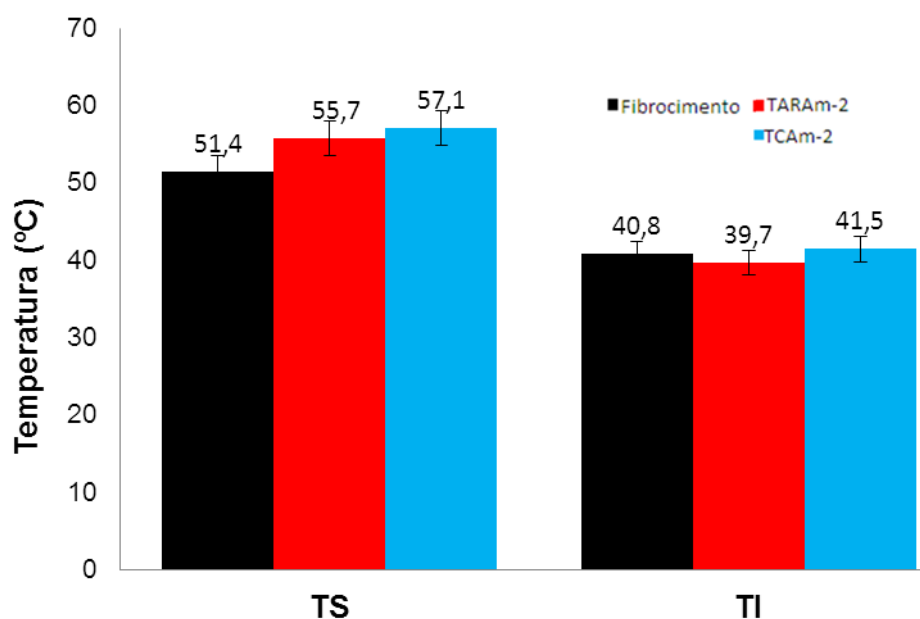


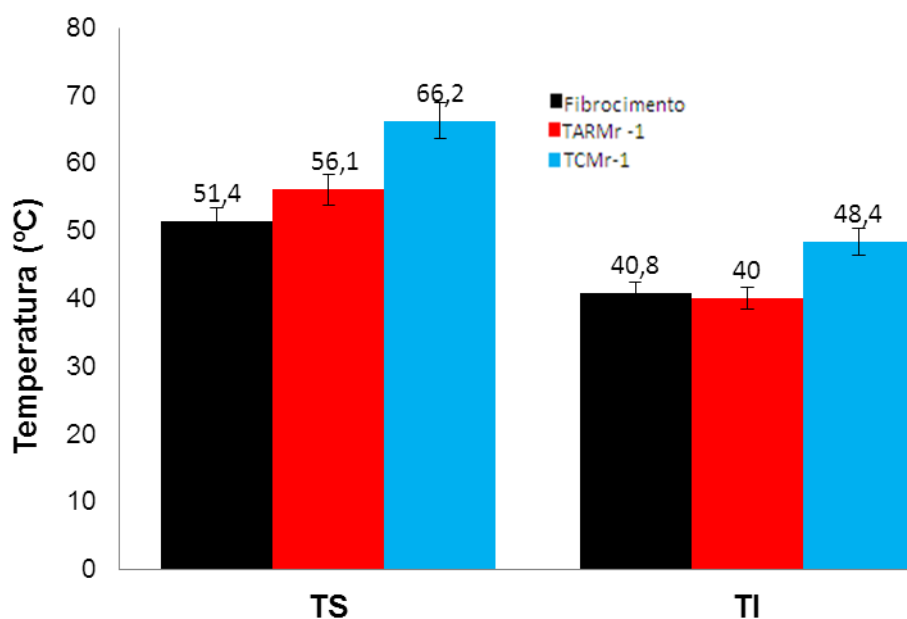
Figura 82: Temperatura das tintas TARAm-2 e TCAM2 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.

Desta forma, pode-se inferir que, caso fosse aplicada uma tinta TARAm-2 em um telhado, seria esperado menor aquecimento interno. Conforme é observado na Tabela 19 o $\Delta T_i = -1,1$ °C. Já para a tinta TCAM-2 a temperatura interna é superior a da placa sem revestimento $\Delta T_i = +0,7$ °C, assim, caso fosse aplicado em um telhado este revestimento não será eficiente.

Tabela 18: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARAm-2 e TCAM-2.

	TS	TI	ΔT_s	ΔT_i
Sem revestimento	51,4	40,8	-	-
TARAm-2	55,7	39,7	+4,3	-1,1
TCAM-2	57,1	41,5	+ 5,7	+0,7

Na Figura 83 é apresentada a média das temperaturas das amostras TARMr-1, e TCMr-1 em comparação a placa de fibrocimento sem revestimento. Observa-se que com a irradiação a amostra com revestimento TARMr-1 esta apresenta uma menor temperatura interna comparada com a placa de fibrocimento sem revestimento.

**Figura 83:** Temperatura das tintas TARMr-1 e TCMr-1 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.

Os valores de temperatura descritos na Tabela 20 indicam que ao aplicar uma tinta TARMr-1 sobre uma telha de fibrocimento ocorre uma menor transferência de calor $\Delta T_i = - 0,8$ °C. Já para a tinta TCMr-1 apresenta uma transferência de calor maior $\Delta T_i = + 7,6$ °C, tanto para o substrato revestido com a tinta TARMr-1 quanto o substrato sem revestimento. Desta forma, pode-se inferir que, caso fosse aplicado

uma tinta TCMr-1 em um telhado, este apresentaria maior aquecimento interno na edificação.

Tabela 19: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARMr-1 e TCMr-1

	TS	TI	ΔT_s	ΔT_i
Sem revestimento	51,4	40,8	-	-
TARMr-1	56,1	40	+4,7	-0,8
TCMr-1	66,2	48,4	+ 14,8	+7,6

Na Figura 84 é apresentada a média das temperaturas das amostras TARMr-2 e TCMr-2 em comparação a placa de fibrocimento sem revestimento. Observa-se que com a irradiação a amostra com revestimento TARMr-2 apresenta uma menor temperatura interna comparada com a placa de fibrocimento sem revestimento.

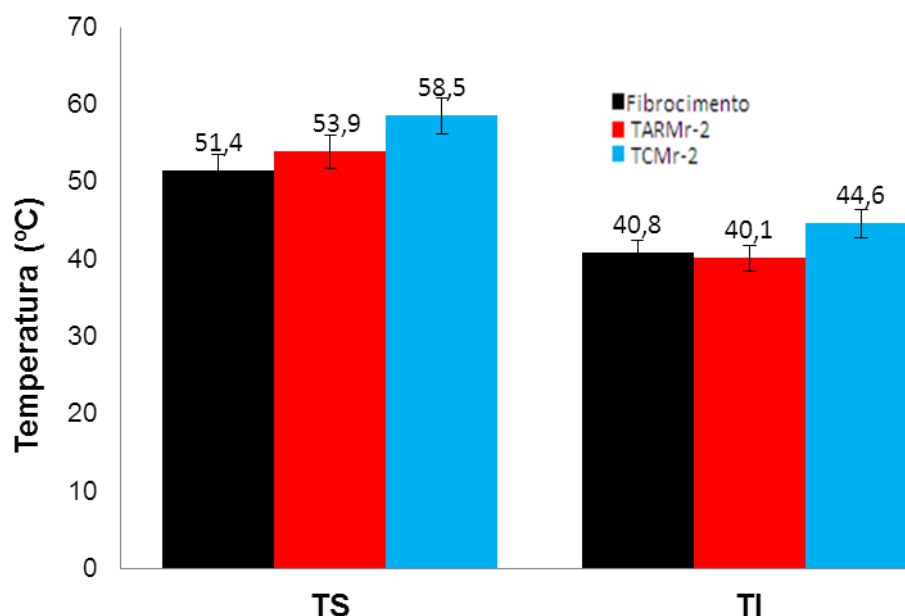


Figura 84: Temperatura das tintas TARMr-2 e TCMr-2 aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.

Os valores de temperatura descritos na Tabela 21 indicam que ao aplicar uma tinta TARMr-2 sobre um telhado de fibrocimento, ocorre uma menor transferência de calor $\Delta T_i = - 0,7$ °C. Já para a tinta TCMr-2 apresenta uma transferência térmica maior $\Delta T_i = + 3,8$ °C, tanto para o substrato revestidos com a tinta TARMr-2 quanto o

substrato sem revestimento. Desta forma, pode-se inferir que, caso fosse aplicado uma tinta TCMr-2 em um telhado, este apresentaria maior aquecimento interno na edificação.

Tabela 20: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARMr-2 e TCMr-2

	TS	TI	ΔT_s	ΔT_i
Sem revestimento	51,4	40,8	-	-
TARMr-2	53,9	40,1	+2,5	-0,7
TCMr-2	58,5	44,6	+ 7,1	+3,8

Na Figura 85 é apresentada a média das temperaturas das amostras TARAz e TCAz em comparação a placa de fibrocimento sem revestimento. Observa-se que com a irradiação, a amostra com tinta TARAz apresenta uma maior temperatura interna comparada com as placas de fibrocimento sem revestimento.

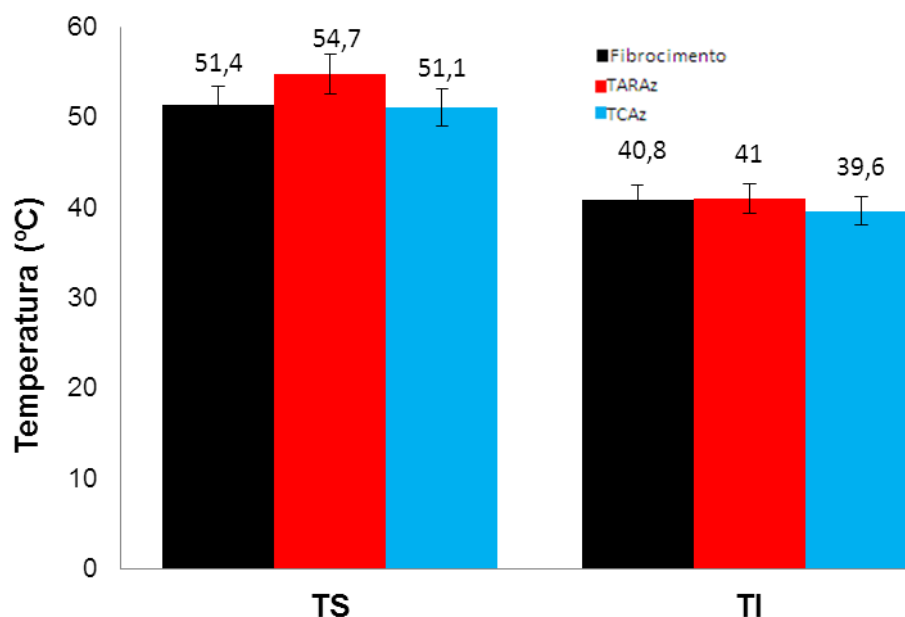


Figura 85: Temperatura das tintas TARAz e TCAz aplicadas sobre superfície e na face interna da placa de fibrocimento sem tinta.

Os valores de temperatura descritos na Tabela 22 indicam que ao aplicar uma

tinta TARAz sobre uma telha de fibrocimento, ocorre uma maior transferência de calor onde o $\Delta T_i = + 0,2$ °C. Já para a tinta TCAz apresenta uma transferência térmica menor $\Delta T_i = - 1,2$ °C, tanto para o substrato revestidos com a tinta TARAz quanto o substrato sem revestimento. Desta forma, pode-se inferir que, caso fosse aplicado uma tinta TCAz em um telhado, este apresentaria menor aquecimento interno na edificação.

Tabela 21: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARAz e TCAz.

	TS	TI	ΔT_s	ΔT_i
Sem revestimento	51,4	40,8	-	-
TARAz	54,7	41	+ 3,3	+ 0,2
TCAz	51,1	39,6	- 0,3	-1,2

Na Figura 86 é apresentada a média da temperatura das amostras TARPr e TCPPr em comparação a placa de fibrocimento sem revestimento. Observa-se que ambas as amostras apresentam uma maior temperatura interna quando comparadas com a placa de fibrocimento sem revestimento.

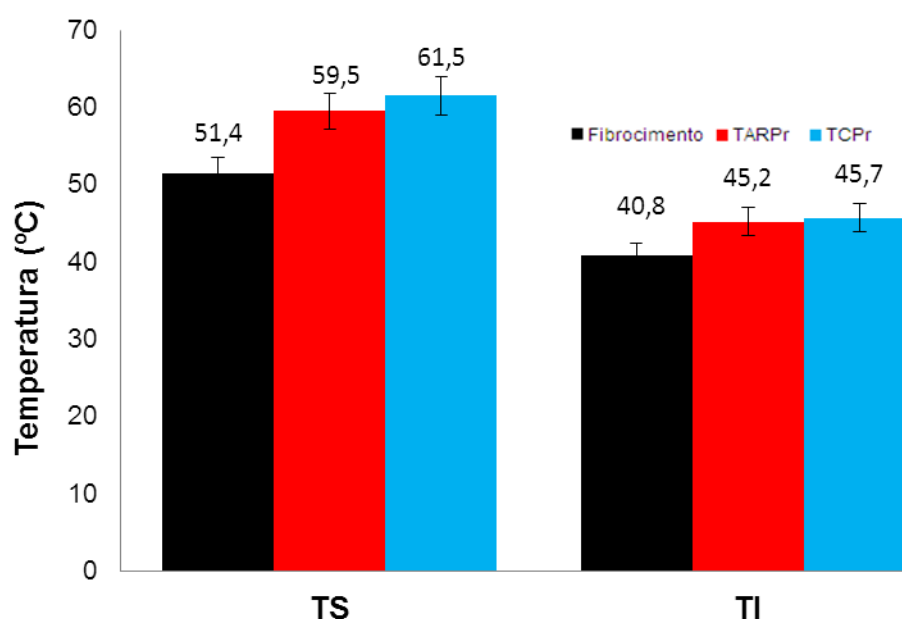


Figura 86: Gráfico de temperatura da TARPr e TCPPr aplicada em placas de fibrocimento.

Os valores de temperatura descritos na Tabela 23 indicam que ao aplicar uma tinta TARPr ($\Delta T_i = + 4,4^\circ\text{C}$) e uma tinta TCPPr ($\Delta T_i = + 4,9^\circ\text{C}$), ambas as tintas apresentam uma transferência de calor é maior que a placa sem revestimento. Desta forma, pode-se inferir que, um telhado pintado com estes revestimentos apresenta maior aquecimento interno na edificação.

Tabela 22: Diferença de temperatura das placas revestidas com tintas TARPr e TCPPr.

	TS	TI	ΔT_s	ΔT_i
Sem revestimento	51,4	40,8	-	-
TARAz	59,5	45,2	+ 8,1	+ 4,4
TCAz	61,5	45,7	+ 10,1	+ 4,9

5.13. REVESTIMENTOS REFLETIVOS A BASE ÁGUA

5.13.1 Concentração volumétrica de pigmento (PVC) das tintas à base água

Nesta etapa do trabalho foram desenvolvidas tintas empregando resina a base água. Inicialmente foram utilizados três tipos de resina AQ1621 (Água Química), T8904 (Clariant T8904) e 6170BR (Clariant 6170Br), permanecendo constante o restante dos aditivos, solvente e pigmento, foi realizado este processo para verificar se diferentes resinas apresentam alteração na análise de refletância difusa.

Observa-se que a concentração em volume de pigmento (PVC) nas tintas preparadas em laboratório, foram mantidos os percentuais em torno de 20%.

Tabela 23: PVC das tintas à base água

Identificação	Pigmento TiO ₂ (%)	Resina	PVC	Cor
TBr T8904	22	Ésteres do ácido acrílico e metacrílico	19,5	Branca
TBr ÁQ1621	22	Copolímero acrílico estirenado	21,1	Branca
TBr 6170BR	22	Ésteres acrílicos e estireno	20,1	Branca

T = Tinta;
Br = Branca (pigmento TiO₂)

5.13.2 Espessura da película seca e úmida das tintas a base água

As espessuras dos filmes foram medidas no filme úmido e no filme seco, os quais foram aplicados sobre placa de vidro e metal, como estão descritas na Tabela 25.

Tabela 24: Espessura das tintas a base água

Identificação das amostras	Filme úmido (µm)	Filme seco (µm)
TBr T8904	250,0 ± 0,5	91,8 ± 0,5
TBr 6170BR	225,0 ± 0,5	88,4 ± 0,5
TBr ÁQ1621	225,0 ± 0,5	87,8 ± 0,5

5.13.3 Análise espectrofotometria de diferentes resinas

Na Figura 87 estão apresentados os espectros de refletância difusa (UV, VIS e IV próximo) com diferentes resinas. Na região do ultravioleta as tintas apresentam o mesmo comportamento, refletância baixa indicando uma elevada absorção, já na região do visível apresentam uma refletância entre 95 a 90%.

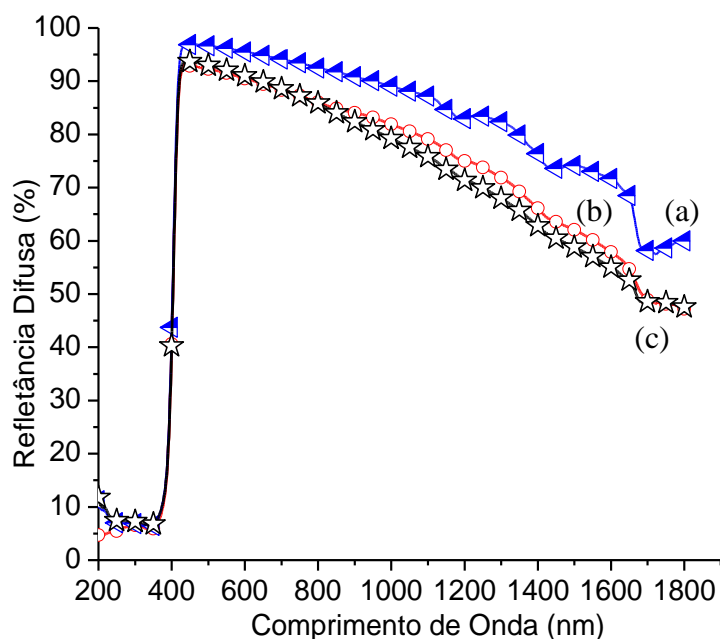


Figura 87: Refletância das tintas com diferentes resinas, (a) AQ 1621, (b) T8904, (c) 6170 BR.

Na região do IV próximo, de 700 a 1400 nm, constata-se que a tinta que contém a resina AQ1621 apresentou maior refletância difusa entre 96 a 77%. As demais tintas que contém as resinas T8904 e 6170BR apresentaram uma refletância difusa entre 90 a 66%, por apresentarem uma refletância menor foi decidido utilizar a resina AQ1621 para a preparação das tintas à base aquosa.

5.13.4 Tintas base aquosas com pigmentos diferentes

Na Figura 88 está representado o diagrama da refletância difusa, nesta etapa utilizou-se alguns dos pigmentos que já foram relatados anteriormente. Na região do ultravioleta todos os revestimentos apresentam uma refletância baixa, inclusive a tinta branca que contém TiO_2 . Na região do visível a tinta que possui o pigmento TiO_2 apresenta alta refletância, nos demais pigmentos apresentam uma intensidade de refletância diferente para cada pigmento.

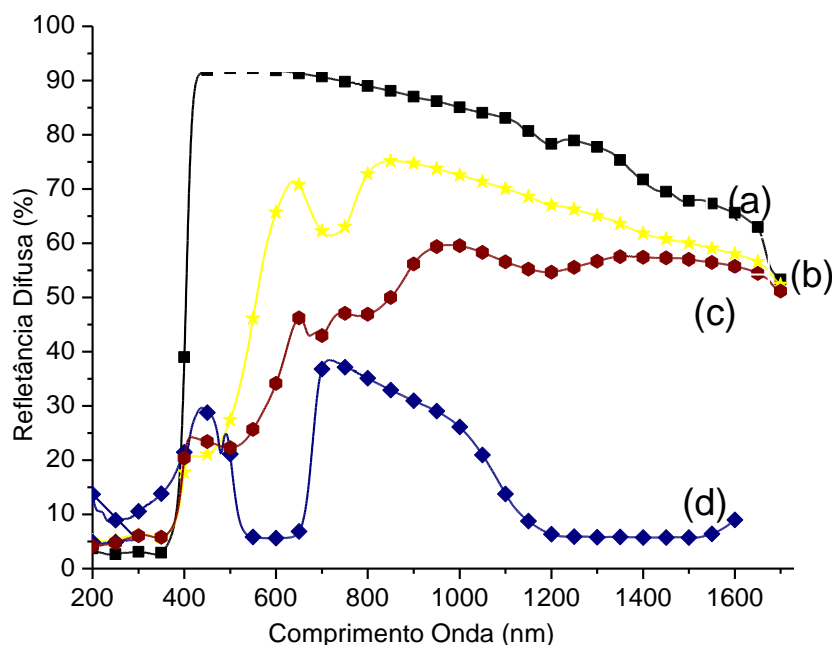


Figura 88: Refletância das tintas base água com pigmentos, (a) branco, (b) amarelo 1, (c) marrom 1 e (d) azul.

Na região do IV próximo (Figura 88a) está representada a curva com pigmento branco, apresentando refletância difusa elevada entre 93 e 76% na região do IV próximo, comportamento esse característico dos pigmentos claros. Na Figura 88b observa-se que a refletância difusa da tinta com pigmento amarelo 1 ocorre entre 70 a 65%, já a tinta com pigmento marrom 1 (Figura 88c) apresenta sua refletância entre 45 a 58%, e a tinta que contém pigmento azul (Figura 88d) sua refletância é baixa entre 38 a 7%.

Na Figura 89 foram avaliados outros tipos de pigmentos, observa-se que na região ultravioleta somente a tinta com pigmento de alumínio apresenta refletância entre 14 a 55% no comprimento e onda (nm), os demais pigmentos não apresentam refletância difusa, indicando elevada absorção. Na região do visível (400 a 700 nm) observa-se que todas as tintas com diferentes pigmentos apresentam uma intensidade de refletância difusa diferente para cada cor.

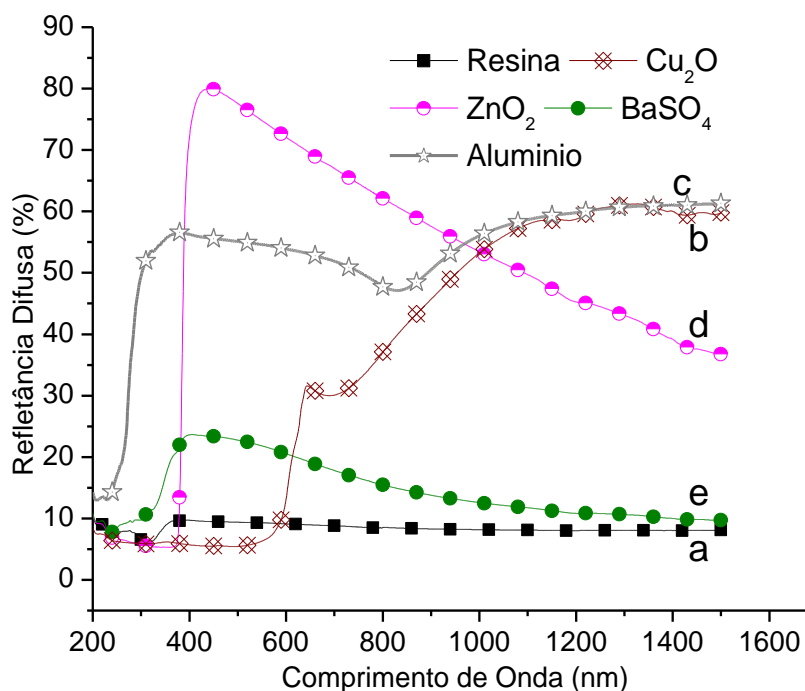


Figura 89: Espectro das tintas à base água com diferentes pigmentos, a) somente resina, b) óxido de cobre, c) alumínio, d) óxido de zinco (ZnO₂), e) sulfato de bário (BaSO₄).

Na Figura 89a está representada a refletância difusa da resina sem pigmento, foi realizado este ensaio para verificar se sem pigmento a resina tem a propriedade de refletir a radiação solar na região do infravermelho próximo e constata-se que a resina não tem esta propriedade.

A Figura 89b, a qual apresenta a tinta que contém o pigmento óxido cuproso (Cu₂O) que apresenta refletância entre 30 a 60% na região do infravermelho próximo. O mesmo pode ser observado na Figura 89c que contém o pigmento de alumínio. A refletância difusa ocorre entre 53 a 63%.

Já na Figura 89d, a qual contém o pigmento óxido de zinco (ZnO) em sua formulação apresenta refletância difusa entre 67 a 48% na região do IV próximo. Segundo a literatura [120] o pigmento de sulfato de bário (BaSO₄) apresenta alta refletância chegando a 99,8%, muito utilizado para revestir esfera integradora. Ao adicionar somente este pigmento em uma resina a base água sua refletância difusa foi totalmente anulada (20 a 10%) como é observada na Figura 89e.

6. CONCLUSÕES

Neste estudo foi estabelecida a metodologia para avaliar tintas com pigmentos de natureza inorgânica com propriedades refletivas na região do infravermelho próximo em comparação com tintas comerciais de cores semelhantes, através do estudo da refletância difusa e seu comportamento térmico.

A partir dos resultados obtidos através dos ensaios de refletância pode ser observado que as tintas refletivas claras (TARAm-1 e TARAm-2) apresentam refletância difusa na ordem de 80 a 60 % na região do infravermelho próximo. Ao mesmo tempo, pode ser observado que adicionando dióxido de titânio (TiO_2) na formulação das tintas escuras (TARMr-1 e TARAz), as mesmas apresentaram aumento na sua refletância de (TARMr-1) 35 a 45% sem a adição de TiO_2 para 70 a 60% com adição de TiO_2 já a tinta TARAz inicia em 38 a 10% e após a adição do TiO_2 sua refletância é de 78 a 39%.

As tintas desenvolvidas neste trabalho apresentaram valores de emissividades semelhantes entre si (0,85 – 0,92), indicando comportamentos equivalentes quanto à dissipação de calor superficial.

As tintas coloridas contendo somente pigmento refletivo, apresentam uma tensão de arrancamento maior que as tintas comerciais, com exceção da tinta TCMr-2.

Ao submeter às tintas refletivas e comerciais ao ensaio de intemperismo acelerado por Weatherometer, verificou-se que as tintas refletivas sofreram pequeno valor de perda de suas propriedades de brilho, com exceção da tinta marrom TARAm-1 e TARPr. Já na refletância após as 1000h de envelhecimento a tinta que apresenta uma perda significativa foi a TARMr-1 de 25 a 35%. Já as tintas comerciais apresentam diminuição de brilho com maior intensidade, e sua refletância não apresenta diminuição significativa.

Quando submetidas ao intemperismo acelerado por irradiação em câmara ultravioleta, verificou-se que as tintas reflexivas e comerciais sofreram degradação em sua estrutura química, provocando perda considerável de suas propriedades de

brilho. A refletância difusa, em ambas as tintas apresentam uma pequena diminuição de sua refletância, mas a TCAm-2 e TARAz apreseem alteração de cor, porém a refletividade da tinta TCAm-2 sofreu alteração de perda de 17 a 5% e a tanta TARAz sofreu uma pequena alteração de 5% de sua refletância. Aparentemente os pigmentos refletivos protegem a resina da degradação pela radiação UV.

As temperaturas obtidas com a câmera termográfica confirmam as observações do comportamento das tintas na região do infravermelho, ou seja, aquelas tintas que apresentaram maiores refletâncias também apresentaram menores temperaturas na superfície irradiada por uma lâmpada infravermelho.

7. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros:

7.1 Estender o estudo desenvolvido neste trabalho a pigmentos com nanopartículas, tanto branco quanto colorido;

7.2 Estudar novas tecnologias para a produção de tintas a base água com propriedades hidrofóbicas, considerando a importância da refletância difusa, e a submissão ao envelhecimento acelerado em nevoa salina e UV;

7.3 Avaliar a concentração de solventes e quantidade de pigmento na formulação de tintas e avaliar a refletância versus PVC;

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- DIAS, Diana et al. Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building. **Applied Thermal Engineering**, v. 65, p. 273-281, abr. 2014.
- 2- HYDE, M. D.; Brannon, S. M. Investigation of infrared reflective pigmentation technologies for coatings and composite applications. **Composites**, p.1-10; 2006.
- 3- AKBARI, H.; Levinson, R.; Stern, S. Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies. **Solar Energy**, v. 82, n. 7, p. 648–655, jul. 2008.
- 4- SYNNEFA, A.; Santamouris, M.; Apostolakis, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 81, n. 4, p. 488–497, abr. 2007.
- 5- KELLY, N. A.; Gibson, T. L. Increasing the solar photovoltaic energy capture on sunny and cloudy days. **Solar Energy**, v. 85, n. 1, p. 111–125, jan. 2011.
- 6- REQUENA, Michelle Barreto. Células solares: fundamentos e aplicações. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP - Rio Claro, (2009). Disponível em: <<http://unesp.br/proex/congressos/5congresso/fscommand/web/docs/273.pdf>>. Acesso em set. 2014.
- 7 - FOX K. C. NASA Releases Images of M-class Solar Flare. 2014. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/content/20140402-nasa-releases-images-of-m6.5-class-solar-flare/#.U03piKKuYps>> Acesso em abr. de 2014.
- 8- JAMES Charles C. at. al. LESSON 1: STAR POWER! Discovering the power of sunlight. 2004. Disponível em: <<http://lasp.colorado.edu/home/wp-content/uploads/2011/09/59.pdf>>. 2004. Acesso mar. 2013.
- 9- KANDEL, R., Viollier, M. Observation of the Earth's radiation budget from space. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 342, n. 4-5, p. 286–300, maio 2010.
- 10- CECATTO J. R., O Sol, Ministério da ciência e tecnologia - INPE, Capítulo 4, São José dos Campos, 2003.
- 11- FARIA, Romildo P. et al. **Fundamentos de Astronomia**. 9ª Edição. São Paulo:

Papirus. 2007.

12- NASA. What is earth? 2011. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/what-is-earth-58.html#.U1Fzw6KuYps>>. Acesso abr. 2011.

13- OLIVEIRA, K.; Saraiva, M. F. **Astronomia e astrofísica**. 2ª Edição. Porto Alegre. Editora UFRGS. 2004.

14- CRUZ, D. **Meio ambiente e energia solar**. 1ª Edição. São Paulo: Ática. 2001.

15- FROTA, Anésia B.; Schiffer, S. Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel. 2001.

16- CARVALHO Thomas. Espectro Eletromagnético, Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico>>, Acesso em abr. de 2013.

17 - SILVA, M. A. Radiação, meteorologia e climatologia. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia. 2006. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso set. 2013.

18- MALSHE, V. C.; Bendiganavale, A. K. Infrared reflective inorganic pigments. **Recent Patents on Chemical Engineering**, v. 1, n.1, p. 67-79, jan. 2008.

19- ESCOBEDO, J. F. et. al. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. **Renewable Energy**, v. 36, p. 169-178, 2011.

20- JEANNIE Allen. Ultraviolet Radiation: How it Affects Life on Earth. 2001. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/UVB/>>. Acesso em abr. de 2012.

21- KARL Hille. Exposure Has Increased Over the Last 30 Years, but Stabilized Since the Mid-1990s. 2010. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/uv-exposure.html>>. Acesso em julho de 2012.

22- RYAN, Mark. Introduction to IR-Reflective pigments. **Paint & Coatings Industry**. p. 70-76, 2005.

-
- 23- HYDE, M. D.; Brannon S. M. Investigation of infrared reflective pigmentation technologies for coatings and composite applications. **Composites**, n. 10, p. 1 -10, 2006.
- 24 - GIVENS, D. I.; Boever, J. L.; Deaville, E. R. The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. **Nutrition Research Reviews**, v. 10, p. 83-114, 1997.
- 25- PEREIRA F. O. R., Souza M. B. Iluminação, Apostila de Conforto Ambiental. 2005. Universidade Federal de Santa Catarina, Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/140.pdf>>, Acesso em jan. 2014.
- 26 - NASA, Earth Observatory. How Much More Will Earth Warm?. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/page5.php>> . Acesso em Setembro de 2014.
- 27- SALMONS D. Global Warming and Cold Winters. 2011. Disponível em: <<http://www.skepticalscience.com/Global-Warming-Cold-Winters.html>>. Acesso em Setembro de 2014
- 28- KANDEL, R.; Viollier, M. Observation of the Earth's radiation budget from space. **Comptes Rendus GeoScience**, v. 342, n. 4, p. 286–300, 2010.
- 29- STEVE C. Long-term global warming trend sustained in 2013. 2014, Disponível em: <<http://climate.nasa.gov/news/1029>>, Acesso em Março de 2014.
- 30- Transmissão de calor. 2011. Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/fisica/termologia/transmissao-de-calor>>. Acesso em out. 2013.
- 31- PERALTA Gizela. Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica. Dissertação de Mestrado (2006) Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.
- 32- COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: 2º edição. Edgard Blucher, 2000.
- 33- FROTA, A. B., Schiffer, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª edição, São Paulo: Studio Nobel. 2001.
- 34- DOMINGOS Luís. Propagação do calor, Disponível em:

<<http://www.if.ufrgs.br/~leila/propaga.htm>>. Acesso em out. 2013.

35- Peralta G., Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normatização específica. Dissertação de Mestrado. (2006) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

36- SILVA M. Aurélio. Princípios de Radiação Eletromagnética. Universidade Escola Brasil, Disponível em: <<http://www.ccta.ufcg.edu.br/admin.files.action.php?action=download&id=1948>>. Acesso em out. 2013.

37- DRECHMER, P. A. O. Comportamento e correção da radiação difusa obtida com o anel de sombreamento. Cascavel, 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

38- ANDREASI W. A., Silva J. N. Estudo das Variáveis Climáticas Internas que Influenciam no Conforto Térmico e na Eficiência Energética das Edificações. p. 1-16, 2003. Disponível em: < <http://www.dec.ufms.br/lade/docs/dt/jucimeire.pdf>> Acesso em out. 2013.

39- Disponível no www.rapplus.pt/termico, acesso em maio de 2011.

40- RICIERI, R.P., et al.; Eficiência do método de medida da radiação solar difusa medida por sombreamento em função do tipo de cobertura do céu. An. 4. **Enc. Energ. Meio Rural**. 2002.

41- SOUZA, Adilson P. et al. Estimativas dos componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 277–288, 2011.

42- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G173-03** (revisado 2012). Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface1.

43- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E903-12**. Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres.

44- FAIREY Philip. Radiant energy transfer and radiant barrier systems in buildings.

Florida Solar Energy Cente, 1986. Center/University of Central Florida, USA, Disponível em: <<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-DN-6-86.pdf>> Acesso em: out. 2013.

45- KRENZINGER, A. at. al., **Conversão térmica da energia solar**. Apostila editada a partir de textos de trabalhos, teses e dissertações do Grupo de Energia Solar da UFRGS. Porto Alegre. 2010.

46- VITTORINO F., Sato, N. M. N. Akutsu M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas; ENCAC – COTEDI; p.1277 – 1284, 2003. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/ENCAC03_1277_1284.pdf>, Acesso em out. 2013.

47- HYDE, M. D.; Brannon, S. M. Investigation of infrared reflective pigmentation technologies for coatings and composite applications; **Composites**, n. 10, p. 1 -10, 2006.

48- MICHELS, Caren. Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes. Florianópolis. Dissertação Mestrado (2007) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

49- AL-HOMOUD, M. S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and Environment**. v. 40, p. 353-366, 2005.

50- LA ROSA, A. D. et al. Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications. **Construction and Building Materials**, v. 55, 406–414, 2014.

51- MOUSSA, Ly. Influência do ataque anisotrópico e do processo de queima de pastas metálicas em células solares industriais. Porto Alegre. Tese Doutorado (2011) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

52- ERGIO H. de P. 2012. **Teoria Infravermelha**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAlccAD/teoria-infravermelho>>. Acesso em fev. 2014.

-
- 53- KAUR B. Development of IR-reflective pigments for coatings and polymers. School of Civil, Doutor em Filosofia. Environmental & Chemical Engineering RMIT University, 2012.
- 54- MORAES E. C., et al.; Comparação entre placas de referência de sulfato de bário (pintada e prensada). Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 927-931. Salvador, Brasil, 1996.
- 55 ZAGALO Nelson, Virtual Illusion. 2011. Disponível em: <<http://virtual-illusion.blogspot.com.br/2011/05/estetica-3d-o-efeito-difuso.html>>. Acesso em out. de 2013.
- 56- THEVENARD, D.; Haddad, K. Ground reflectivity in the context of building energy simulation. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 38, n. 8, p. 972-980, 2006.
- 57 ALCHAPAR, N. L.; Correa, E. N.; Cantón, M. A. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. **Energy and Buildings**. v. 69, p. 22–32, 2014.
- 58- KATAOKA, K. et al. Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years. **Science of the Total Environment**. v. 407, n. 9, p. 3112-3119, 2009.
- 59- SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v.85, n.12, p. 1-18, 2011.
- 60- ALBUQUERQUE M. M.; Relação entre uso e ocupação do solo e variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. Dissertação de mestrado (2012). Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - (PRODEMA), Universidade Federal do Piauí, 2012.
- 61- A SYNNEFA, A. et al. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. **Building and Environment**, v. 46, n. 1, p. 38-44, jan. 2011.
- 62- BENDIGANAVALA, A. K.; Malshe, V. C. Infrared reflective inorganic pigments. **Recent Patents on Chemical Engineering**, v. 1, n.1, p. 67-79, 2008.

- 63- UEMOTO, Kai L.; Sato, N. M.N.; JOHN; Vanderley M. Estimating thermal performance of cool colored paints, **Energy and Buildings**, v. 42, n. 1, p. 17–22, jan. 2010.
- 64- Earth Exploration Toolbook Disponível em: <http://serc.carleton.edu/eet/cities_warm/teaching_notes.html>, Acesso em: maio de 2013.
- 65- SYNNEFA, A. et al. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. **Building and Environment**, v. 46, n. 1, p. 38-44, jan. 2011..
- 66- LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles**. 1ª Edição, São Paulo: Hucitec, 1985.
- 67- KATHLEEN H. et. Al. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Heat Island Reduction Activities – DRAFT. 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/ActivitiesCompendium.pdf>>, Acesso em jan. 2014.
- 68- OULDBOUKHITINE Salah-Eddine, et al. Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside buildings. **Applied Energy**, v. 114, p. 273–282, 2014.
- 69- Ecotelhado, Telhados verdes. 2013. Disponível em: <<http://ecotelhado.com/portfolio/ecotelhado/>>. Acesso em marco de 2014.
- 70- SANTAMOURIS, M., Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p.682–703, 2014.
- 71- LIMA, M. Telhados brancos viraram tema de discussão e podem se tornar obrigatórios na cidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/sustentabilidade/telhados-192346-1.aspx>>. Acesso maio de 2013.
- 72- MENDES R. Agrometeorologia. 2009. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/118824977/Climatologia-agricola>. Acesso em out. 2013.
- 73- ENGEL Jaap, Painting the Town White. 2009.

<http://www.loe.org/shows/segments.html?programID=09-P13-00007&segmentID=7>.

Acesso em maio de 2011.

74- ALCHAPAR, N. L.; et. al. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 22–32, febr. 2014.

75- FANG, V. et. al. A review of infrared reflectance properties of metal oxide nanostructures, **GNS Science Report**, p.1-26, 2013.

76- GAO Qiang, X. Wu, Yueming Fan. Solar spectral optical properties of rutile TiO₂ coated mica-titania pigments. **Dyes and Pigments**, v.109, p.90-95, 2014.

77- SANJEEV K., Narendra K. V.; Madan L. S.; Highly reflective titania nanoparticle-based coating. **Pigment & Resin Technology**, v. 41, n. 3, p. 156–162, 2012.

78- SANTAMOURIS, M; Synnefa, A.; Karlessi, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011.

79- HEUBACH, IR Reflecting Pigments hot pigments for cool solutions. 2012. Disponível em: <<http://www.heubachcolor.de/fileadmin/documents/downloads/Brochures/HEUCODUR%20IR.pdf>>. Acesso em fev. 2014.

80- CASTRO, A. P. A. S. C. et al. Medidas de refletância de cores de tintas através de análises espectral. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-76, jun 2003. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3452/1871>>. Acesso em: 14 dez 2013.

81- RAY, A.K., Tracey, S.M., McQuillin, B., Hodgson, S.N.B.; Optical studies on sol-gel derived titanium dioxide films, **IEEE Proc. Sci, Meas. Technol.** v. 147, n 6, p. 301-305, 2000.

82- RAY, A.K., Tracey, S.M., McQuillin, B., Hodgson, S.N.B. Optical studies on sol-gel derived titanium dioxide films, **IEEE Proc. Sci, Meas. Technol.** v. 147, n. 6, p. 301-305, 2000.

83- TAYADE, R.J., Surolia, P.K., Kulkarni, R.G., Jasra, R.V. Photocatalytic

degradation of dyes and organic contaminants in water using nanocrystalline anatase and rutile TiO₂. **Sci. Technol. Adv. Mater.** v. 8, n. 6, p. 455-62, 2007.

84- PEDRAZA-AVELLA, J.A.; Lopez, R.; Martinez-Ortega, F., Paez-Mozo, E.A.; Gomez, R. Effect of chromium doping on visible light absorption of nanosized titania sol-gel, **J. Nano. Res.** v. 5, n.1, pp. 95-104, 2009.

85- SANJEEV Kumar, Narendra K.; Verma, Madan L. Singla. Highly reflective titania nanoparticle-based coating. **Pigment & Resin Technology.** v. 41, n. 3, pp. 156–162, 2012.

86- LEWIS P. A., Pigment Handbook, Properties and Economics, segund edição, vol.1, copyrighted Material, Capitulo 1, 1988. Disponível em: <http://www.amazon.com/Pigment-Handbook-Properties-Economics-Volume/dp/0471828335>>, Acesso em maio de 2011.

87- LEVINSON R., H. Akbari, J. C. Reilly, Cooler tile-roofed buildings with near-infrared - reflective non-white coatings, **Building and Environment.** Lausanne. v. 42, n. 07, pp. 2591–2605, 2007.

88- SANTAMOURIS M., et al. Recent progress on passive cooling techniques Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. **Energy and Buildings.** Lausanne, v. 39, n. 7, pp. 859–866, jun. 2007.

89- Telhado branco e tinta térmica ajudam a reduzir custos com ar-condicionado. 2013. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/telhado-branco-tinta-termica-ajudam-reduzir-ar-condicionado>>. Acesso em: mar. 2014.

90- SEKAR, M. et al. Attaining the room comfort by solar reflective paint. **American Journal of Environmental Science**, v .8, n. 5, p.556-562, 2012.

91- RUSSO Carlos, Microesferas ocas de cerâmica. 2014. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=17>>. Acesso em julho de 2014.

92- SHEPHERD, Pigments Arctic. Disponível em: <<http://www.shepherdcolor.com/Products/Arctic>>. Acesso em julho de 2012.

93 UEMOTO, Kai L.; Sato, N., JOHN M.N.; Vanderley M. Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 1, p. 17–22, jan.

2010.

94- LEVINSON, R; AKBARI, H.; Reilly, J. C. Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2591–2605, Jul. 2007.

95- SANTAMOURISA, M.; Kolokotsa, D. Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: the state of the art. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 74–94, fev. 2013.

96- PIRES, L.; Silva P. D.; Gomes C., Experimental study of an innovative element for passive cooling of buildings. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 4, p. 29–35, dez. 2013.

97 KAMAL M. A. An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions. **Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture**, v. 55, n. 1, p. 84-97, 2012.

98- FAZENDA J. M. R. et al.; Tintas e vernizes, Ciência e Tecnologia. 5ª edição, EdgardBlücher, 2005.

99- FAZENDA J. M. R. Tintas e Vernizes; Ciência e Tecnologia, 2ª edição, Ed.: Abrafati, 1995.

100- COKER A. K., Organic Coating: science and technology; 2º ed. New York; pp. 461 a 466; 1999.

101- CAPELLO C., Ulrich F., Konrad H.; What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment of solvents. **Green Chem.**, v. 9, p.927–934, 2007.

102- BYK Additives & Instruments. DISPERBYK 108. 2010. Disponível em: <<https://www.b2bcomposites.com/msds/byk-chemie/601748.pdf>>. Acesso em março de 2014.

103- ÁGUA QUÍMICA, Ficha de informação de segurança de produtos químicos (FISPQ). **Resina Acrílica Hidroxilada**. 2011. Disponível em: <<https://www.google.com.br/#q=Resina+acr%C3%ADlica+hidroxilada+FISPQ>>, Acesso em março de 2014.

104- ÁGUA QUÍMICA, Ficha de informação de segurança de produtos químicos

(FISPQ). **Catalisador Isocianato**. 2010. Disponível em: <<http://www.aguiaquimica.com/pt/produto/103/aq---6008---catalisador-isocianato>>.

Acesso em março de 2014.

105- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1371-10 04a (2010)e1**. Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers. West Conshohocken, 2010.

106- PERIN, A. L. Desenvolvimento de um equipamento para medição de emissividade. Dissertação mestrado. (2009). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15838>>. Acesso em: 15 out. 2013.

107- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3359 – 09E2** Standard test methods for measuring adhesion by tape test. West Conshohocken, 2009.

108 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4541 – 09e1**: standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers. West Conshohocken, 2009.

109- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2244-09b**: standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. West Conshohocken, 2009.

110- KHAN, M. A. I. et al. CIELAB color variables as indicators of compost stability. **Waste Management**, New York, v. 29, n. 12, p. 2969-2975, dez. 2009.

111- GILLET Steve,; Colorimétrie. 2009. Disponível em: <<http://perso.latribu.be/shagar/documents/colorim.pdf>>; Acesso em Junho de 2014.

112- Fundamentos da colorimetria, PUC-RIO, Disponível em: <http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/9324/9324_3.PDF>. Acesso em: Junho de 2014.

113- HUNTERLAB, CIE Standard Observers and calculation of CIE X, Y, Z color values. 2012. Disponível em: <www.hunterlab.com/an-1002b.pdf>, Acesso em: Junho de 2014.

-
- 114- PHILLIPS, R. W. et al. **Patente, US6114018 A**. Paired optically variable article with paired optical structures and ink, paint and foil incorporating the same and method. 2000.
- 115- KORIFI R. et al. CIEL*a*b* color space predictive models for colorimetry devices - Analysis de perfume quality. **Talanta**, v. 104, p.58–66, jan. 2013.
- 116- HUNTERLAB. 2010. Disponível em: <http://www.quimanil.com.br/empresa/informacoes_detalhe.php?id=7>, Acesso em: out. 2013.
- 117- GARCÍA-MARINO M., Matilde et al. Color-copigmentation study by tristimulus colorimetry (CIELAB) in red wines obtained from Tempranillo and Graciano varieties. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 123-131, abr. 2013.
- 118- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G26 – 96**: standard practice for operating light-exposure apparatus (xenon-arc type) with and without water for exposure of nonmetallic materials. West Conshohocken, 1996
- 119- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 154 – 06**: Practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials. West Conshohocken, 2006.
- 120 - DOS SANTOS E. I., Comparação de métodos para medição de absorvância solar em elementos opacos. Dissertação mestrado. 2013. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACA_O_Elisiane_iza_dos_santos.pdf>. Acesso em: 22 out. 2014.