ISABELA LIBÓRIO MARTINS DA SILVA

**ESTUDO DE DURABILIDADE DE PINTURAS “FRIAS” E
CONVENCIONAIS EXPOSTAS AO ENVELHECIMENTO NATURAL**

**São Paulo
2017**

ISABELA LIBÓRIO MARTINS DA SILVA

**ESTUDO DE DURABILIDADE DE PINTURAS “FRIAS” E
CONVENCIONAIS EXPOSTAS AO ENVELHECIMENTO NATURAL**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências.**

**São Paulo
2017**

ISABELA LIBÓRIO MARTINS DA SILVA

**ESTUDO DE DURABILIDADE DE PINTURAS “FRIAS” E
CONVENCIONAIS EXPOSTAS AO ENVELHECIMENTO NATURAL**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências.**

**Área de concentração: Engenharia de
Construção Civil e Urbana**

Orientadora: Dra Kai Loh

São Paulo

2017

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Silva, Isabela

Estudo de durabilidade de pinturas "frias" e convencionais expostas ao envelhecimento natural / I. Silva -- versão corr. -- São Paulo, 2017.

170 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Pinturas 2.Pinturas "frias" 3.Superfícies "frias" 4.Envelhecimento natural 5.Durabilidade I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

À minha amada mãe Ana Rita.
Ao meu marido Rodrigo, meu amor e
companheiro de aventuras.

AGRADECIMENTOS

Acredito que agradecer é, sem dúvida, a parte mais especial de qualquer trabalho, é muito recompensador saber que tantas pessoas nos ajudaram ao longo da caminhada.

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora, minha mãezinha do céu, pela proteção e amparo em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao meu amado marido Rodrigo por TUDO. Obrigada meu amor, pelo incentivo, ajuda e cuidados. Você é a manteiga do meu pão.

Aos meus pais, Ana Rita e Eduardo, pelo dom da vida. E particularmente à minha mãe por ser tão incrível e incansável. Essa conquista só foi possível porque acreditamos juntas, eu te amo.

Aos meus irmãos queridos em especial, as minhas irmãs e melhores amigas Cinthia, Juliana e Carolina, e toda família pelo amor e torcida. Aos meus avós amados e à dona Sônia, nosso anjo, por cuidar de nós com tanto carinho.

Aos meus sogros João e Silvia, meus cunhados Milena e Paulinho, tia Vera e toda família que a vida me deu, por todo apoio, carinho e orações.

Agradeço a minha querida amiga-irmã Juliana Santos pelo amor, apoio e orações.

Agradeço ao Sensei Maruyama e à dona Neusa Maruyama por todos os ensinamentos, orações e cuidados, e também a todos os meus instrutores e amigos do Aikido pela torcida e amizade.

À minha orientadora Professora Dra Kai Loh por toda generosidade, paciência com as minhas limitações e por me incentivar em todos os momentos. A senhora é uma grande inspiração para mim.

Agradeço à professora Dra Neide Sato que, na graduação, me apresentou o mundo do conforto térmico e acreditou que eu poderia fazer um bom trabalho. Muito obrigada por me proporcionar uma oportunidade tão especial de crescimento e aprendizagem.

Agradeço aos professores Vanderley Jonh, Antônio Figueiredo, Aquiles Grimoni, Arlindo Tribess, Massao Futae, e Rafael Pileggi pelos incontáveis ensinamentos.

Minha gratidão e carinho à pesquisadora Dra Márcia Shirakawa por todo apoio e orientação durante esse estudo.

À querida Engrácia Bartuciotti, obrigada pelo auxílio ao longo desses anos, pelo seu carinho e conselhos.

À Carla pela ajuda com os trâmites burocráticos e pela sua gentileza e bom humor.

À Wandréia Dantas que me auxiliou inúmeras vezes sempre sorrindo e prestativa.

À Shirlei Marks que me auxiliou nos ensaios sempre com entusiasmo e seriedade, obrigada pela sua amizade e carinho.

Ao João Rodrigues pelo auxílio inestimável na montagem das racks e em todas as viagens aos sítios de envelhecimento, sempre proativo e animado.

Ao Mario Takeashi pelo auxílio ao longo desses anos e por sua amizade.

À querida Liz Zanchetta pelo carinho, amizade e pelas lindas imagens de MEV.

Aos meus queridos colegas e amigos da pós-graduação com quem dividi tantas histórias e momentos. Aos companheiros: Felipe Jaime, Ricardo Alferes, Camila Numazawa, Winnie Franco, Karol, Gabi, Yazmin, Juliana. Muito obrigada pessoal!

Aos amigos Lidiane Oliveira, Leonardo Augusto e Juliana Moretti um agradecimento especial pela torcida e orações. À amiga Débora Cavalheiro por toda ajuda e apoio com as correções, pela amizade e por todas as risadas que demos juntas.

Às minhas meninas do coração: Ana Werle, Eliane Betânia e Marylinda França, vocês fazem diferença na minha vida, muito obrigada!

Agradeço aos pesquisadores do IPT pelo apoio, prestatividade e pela oportunidade de aprender tanto trabalhando com vocês. Dra Maria Akutsu, Dr. Marcelo Aquilino, Dr André Scabbia. Aos colegas e amigos: Adriana Brito, Elisa Morandé, João Fontenelle, André Azevedo, Cristina Kanaciro, Cristina Ikeda, Luciano Zanella, Rebecca Bayeh.

Ao consultor Ronald Flores pela consultoria e suporte no preparo das tintas.

À FAPESP que financiou parte desse estudo e à Capes pela bolsa de Mestrado.

Obrigada a todos os funcionários do laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência (LME) por todo auxílio.

“O progresso virá com a prática constante, não procure por ensinamentos secretos que não levarão a nada. Confie nas experiências próprias. Quem vence alguém é o um vencedor, mas quem vence a si mesmo é invencível” (Morihei Ueshiba).

RESUMO

O uso de pinturas “frias”, em coberturas e fachadas, é uma estratégia utilizada para melhorar a sensação térmica dos usuários por meio do aumento desempenho térmico das edificações, potencializar a eficiência energética e mitigar ilhas de calor. Por outro lado, a exposição ao longo do tempo pode alterar a capacidade refletiva dessas superfícies, devido à deposição de sujidades e crescimento microbiológico. Esse estudo tem o objetivo de avaliar a manutenção da capacidade refletiva, a alteração da cor, do aspecto e da emissividade de pinturas expostas por três anos ao envelhecimento natural.

Para esse estudo foram produzidos, em laboratório, dois grupos de tintas tipo *premium*, para uso em superfícies externas de fachadas e coberturas, com dois acabamentos: acetinado (PVC 30%) e fosco (PVC 50%), nas cores: branco, cinza, amarelo e marrom, que são cores usualmente utilizadas em fachadas e coberturas no Brasil.

Um grupo é composto por tintas convencionais, formuladas com pigmentos inorgânicos naturais e orgânicos. O outro grupo é composto por tintas formuladas com pigmentos, com alta capacidade de refletância solar na região do infravermelho próximo, conhecidos como pigmentos “frios”. Ainda há um terceiro grupo de tintas que foi coletado do mercado e utilizado como referência.

Na exposição ao envelhecimento natural o microclima é um dos fatores determinantes no tipo de degradação da pintura, por isso esse estudo contempla os três microclimas predominantes do Estado de São Paulo: rural (Pirassununga), urbano (São Paulo) e costeiro (Ubatuba). Nesse trabalho estão sendo apresentados os resultados obtidos com três anos de exposição e já foi possível observar redução da refletância inicial, alteração de cor (diminuição do índice L luminosidade) e indícios de crescimento microbiológico.

Palavras-chave: Pinturas; Pinturas “frias”; Coberturas “frias”; Envelhecimento natural; Durabilidade; Refletância e Luminosidade.

ABSTRACT

The application of cool paints, on roofs and facades components, is a strategy to improve indoor thermal comfort for users in rooms that are not air conditioned. Increasing the thermal performance of buildings, enhance thermal efficiency and mitigate urban heat island. On the other hand, the exposure of paints over time can change reflectance capability of the surface, due to dirty deposition and microbiological colonization. The objectives of this study is evaluate the level of maintenance of reflectance, emissivity, color and visual aspects of paints after three years of natural aging exposure.

Two groups of “premium” type paints, formulation recommended for applications on facades and roofs, we prepared in laboratory. Each group of paints was produced with two sheen type, two ratios pigment to binder, gloss finish (PVC 30%) and silk finish (PVC 50%), for the colors white, yellow, grey and brown, which are the most used colors in facades and roofs in Brazil.

One group, the standard paint, was produced with natural inorganic and organic pigments and the other group was produced with cool pigments, which has high solar reflectance capacity in the near-infrared spectrum. Additionally, a third group of paints was acquired from the market and used as reference data.

The microclimate is one of the key factors for paint degradation by natural aging, so in this study was considered three major microclimates of São Paulo State: rural (Pirassununga City), urban (São Paulo city) and oceanic climate (Ubatuba). The present study shows the results of the paints after three years exposure, which was observed significant reduction in reflectance, color change (reduction of the luminance L index) and evidences of microbiological colonization.

Keywords: Paints; “Cool” paints; Natural aging; Durability; Reflectance and color.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - O efeito da refletância nas coberturas "frias" e convencionais	35
Figura 2.2 – Características básicas dos materiais “frios” comparadas aos materiais convencionais.....	37
Figura 3.1- Componentes básicos da tinta	54
Figura 3.2 – Micrografias de película de tinta, com aumento de 100 000x (a) pintura com 25% de PVC (b) pintura com 75% de PVC. Fonte: (UEMOTO, 1998).	56
Figura 3.3 - Pigmentos coloridos depositados sobre placa de vidro (a); Medida de refletância em pigmentos (b). Fonte: Próprio autor.	61
Figura 3.4 – Imagem de MEV de pigmentos amarelos “frios”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 200 000x.	61
Figura 3.5 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento amarelo “frio”, em destaque o alto teor de Ti e O.	62
Figura 3.6 - Imagem de MEV de pigmentos amarelos “convencionais”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas em torno de 600nm; (b) imagem com aumento de 50 000x.	62
Figura 3.7 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento amarelo “convencional”, em destaque o alto teor de O e Fe.	62
Figura 3.8 - Imagem de MEV de pigmentos marrons “frios”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 50 000x.	63
Figura 3.9 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento marrom “frio”, em destaque o alto teor de Ti e O.	63
Figura 3.10 - Imagem de MEV de pigmentos marrons “convencionais”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas inferior a 500nm e presença de partículas menores aglomeradas; (b) imagem com aumento de 100 000x sem barra.	64

Figura 3.11 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento marrom “convencional”, em destaque o alto teor de O e Fe.	64
Figura 3.12 - Imagem de MEV de partículas de TiO_2 . (a) Imagem com aumento de 200 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 100 000x.	65
Figura 3.13 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados nas partículas, em destaque o alto teor de Ti e O.	65
Figura 3.14 - Imagem de MEV de partículas de pigmento preto “frio”. (a) Imagem com aumento de 200 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 40 000x.	65
Figura 3.15 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados nas partículas, em destaque o alto teor de O e Cr	66
Figura 3.16 - Imagem de MEV das partículas de pigmento preto. (a) Imagem com aumento de 200 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas com tamanho abaixo de 50nm; (b) imagem com aumento de 100 000x partículas muito pequenas e aglomeradas.....	66
Figura 3.17 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados nas partículas, em destaque o alto teor de C.	66
Figura 3.18 - Processo de produção das tintas (a) Dispersão (b) Ensaio de verificação de pH.....	71
Figura 3.19 - Aplicação de fundo preparador nos substratos. (a) Aplicação em andamento; (b) Após secagem.	72
Figura 3.20 – (a) Corpos de prova com identificação,(b) volume de tinta aplicado nos substratos.	73
Figura 3.21 - Revestimentos “frios” (fileira superior) e convencionais (fileira inferior).	73
Figura 4.1 - Sistema CIElab	78
Figura 4.2 – Pontos de medição de refletância e colorimetria.....	78
Figura 4.3 - Pontos de medição de emissividade.....	79

Figura 5.1 – (a) Mapa do estado de São Paulo (b) Sítio de São Paulo (c) Sítio de Pirassununga (d) Sítio de Ubatuba.	90
Figura 5.2 - Análise de variância fatorial de refletância da pintura apresentou interação do fator sítio. ($p=0.00000$).....	91
Figura 5.3 – Análise de variância fatorial de refletância da pintura cinza apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00000$).....	92
Figura 5.4 – Análise de variância fatorial de refletância da pintura amarela apresentou interação entre 2 fatores: Sítio e Tipo. ($p=0.00000$).	93
Figura 5.5 – Análise de variância fatorial de refletância da pintura marrom apresentou interação entre 2 fatores: Sítio e Tipo. ($p=0.00000$)	94
Figura 5.6 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura branca apresentou interação de dois fatores: Sítio e PVC. ($p=0.00000$).	95
Figura 5.7 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura cinza apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00009$).	96
Figura 5.8 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura amarela apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00000$).	97
Figura 5.9 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura marrom apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00000$).	98
Figura 6.1 - Refletância Solar de pinturas frias e convencionais expostas ao envelhecimento natural por três meses.....	100
Figura 6.2 - Função de desempenho versus tempo descrevendo a durabilidade de um produto em determinadas condições ambientais. Atividades de manutenção podem recuperar o desempenho perdido, postergando o fim da vida útil.	102
Figura 6.3 - corpos de prova fixados na rack para procedimento de lavagem (a); Lavagem de corpos de prova com água pressurizada (b)	103
Figura 6.4 - Corpos de prova após lavagem	104
Figura 6.5 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor branca, acetinadas e foscas, expostas no sítio de São Paulo.....	115
Figura 6.6 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor branca, acetinadas e foscas, expostas no sítio de Pirassununga.	115

Figura 6.7 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor branca, acetinadas e foscas, expostas no sítio de Ubatuba.....	116
Figura 6.8 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor cinza, expostas no sítio de São Paulo. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	118
Figura 6.9 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor cinza, expostas no sítio de Pirassununga. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	118
Figura 6.10 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor cinza, expostas no sítio de Ubatuba. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	119
Figura 6.11 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor amarela, expostas no sítio de São Paulo. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	121
Figura 6.12 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor amarela, expostas no sítio de Pirassununga. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	121
Figura 6.13 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor amarela, expostas no sítio de Ubatuba. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	122
Figura 6.14 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de marrom, expostas no sítio de São Paulo. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	124
Figura 6.15 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de marrom, expostas no sítio de Pirassununga. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	124
Figura 6.16 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de marrom, expostas no sítio de Ubatuba. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	125
Figura 6.17 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor branca, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	126

Figura 6.18 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	127
Figura 6.19 - Gráficos de luminosidade das pinturas convencionais de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	127
Figura 6.20 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	128
Figura 6.21 - Gráficos de luminosidade das pinturas convencionais de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.	128
Figura 6.22 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	129
Figura 6.23 - Gráficos de luminosidade das pinturas convencionais de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.	129
Figura 6.24 – Gráficos de emissividade pinturas “frias” de cor branca, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	130
Figura 6.25 - Gráficos de emissividade das pinturas “frias” de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	130
Figura 6.26 - Gráficos de emissividade das pinturas convencionais de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	131
Figura 6.27 - Gráficos de emissividade das pinturas “frias” de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	131
Figura 6.28 - Gráficos de emissividade das pinturas convencionais de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.	131
Figura 6.29 - Gráficos de emissividade das pinturas “frias” de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.....	132
Figura 6.30 - Gráficos de emissividade das pinturas convencionais de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.	132
Figura A.7.1 - Difratoograma de raios x e fases identificadas- pigmento amarelo “frio”	141
Figura A.7.2 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento amarelo convencional	142

Figura A.7.3 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento marrom "frio"	143
Figura A.7.4 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento marrom convencional	144
Figura A.7.5 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - Pigmento preto "frio"	145
Figura A.7.6 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento preto convencional	146
Figura B.7.7 – Colorímetro	147
Figura B.7.8 – Refletômetro	147
Figura B.7.9 - Emissômetro	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Requisitos mínimos de desempenho de tintas	34
Tabela 2.2 valores de absorvência solar para superfícies de fachadas e coberturas	39
Tabela 2.3 - Valores de refletância, emissividade e SRI mínimos para superfícies "frias"	40
Tabela 2.4 - Defeitos, agentes e mecanismos de degradação de pinturas.....	45
Tabela 2.5 - Regiões do UV e seus efeitos	46
Tabela 3.1 - Influência do teor de resina nas características das pinturas.....	55
Tabela 3.2 – Características das tintas formuladas em laboratório	59
Tabela 3.3 - Análise química dos pigmentos “frios”	67
Tabela 3.4 - Difractometria de raios x	68
Tabela 3.5 - Refletância de pigmentos.....	68
Tabela 3.6 - Colorimetria dos pigmentos “frios” e “convencionais”	69
Tabela 3.7 - Formulação básica de tinta imobiliária <i>premium</i>	70
Tabela 4.1 - Imagens de escâner das pinturas “frias” na cor branca, acabamento acetinado e fosco.	79
Tabela 4.2- Imagens de escâner das pinturas “frias” e convencionais na cor cinza, acabamento acetinado e fosco.....	80
Tabela 4.3 – Imagens obtidas por escâner das pinturas “frias” e convencionais na cor amarela, acabamento acetinado e fosco.....	80
Tabela 4.4 - Imagens de escâner das pinturas “frias” e convencionais na cor marrom, acabamento acetinado e fosco.....	81
Tabela 4.5 - Refletância (%) inicial de pinturas “frias” e convencionais	81
Tabela 4.6 - Comparação de refletância de pigmentos e pinturas	82
Tabela 4.7- Medidas iniciais de cor das pinturas “frias” e convencionais	83
Tabela 4.8 - Emissividade inicial das pinturas.....	83

Tabela 4.9 – Índice de refletância solar inicial das pinturas	84
Tabela 5.1 - Dados climáticos das cidades onde estão localizados os sítios de envelhecimento	89
Tabela 6.1 - Pintura branca acabamento acetinado.....	105
Tabela 6.2 - Pintura branca acabamento fosco.....	105
Tabela 6.3 - Pintura cinza “fria” acabamento acetinado	106
Tabela 6.4 - Pintura cinza “fria” acabamento fosco	107
Tabela 6.5 - Pintura cinza convencional acabamento acetinado.....	107
Tabela 6.6 - Pintura cinza convencional acabamento fosco.....	108
Tabela 6.7 - Pintura amarela “fria” acabamento acetinado	109
Tabela 6.8 - Pintura amarela “fria” acabamento fosco	109
Tabela 6.9 - Pinturas convencionais amarelas acabamento acetinado.....	110
Tabela 6.10 - Pinturas convencionais amarelas acabamento acetinado.....	110
Tabela 6.11 – Pintura marrom "fria" acabamento acetinado	112
Tabela 6.12 – Pintura marrom “fria” acabamento fosco	112
Tabela 6.13 - Pintura marrom convencional acabamento acetinado.....	113
Tabela 6.14 – Pintura marrom convencional acabamento fosco.....	113
Tabela 6.15 - Refletância (%) pinturas de cor branca	114
Tabela 6.16 – Refletância (%) pinturas de cor cinza "frias" e convencionais	117
Tabela 6.17 - Refletância pinturas de cor amarela "frias" e convencionais	120
Tabela 6.18 - Refletância pinturas de cor marrom "frias" e convencionais.....	123
Tabela 6.19 - Índice de refletância solar das pinturas “frias” e convencionais	133
Tabela 6.20 - Comparação do valor de refletância inicial das pinturas “frias” e convencionais com o valor recomendado pelo <i>Energy Star</i>	134
Tabela 6.21 - Comparação da refletância das pinturas “frias” brancas e cinzas após 3 anos de envelhecimento e após lavagem com o valor recomendado pelo <i>Energy Star</i>	134

Tabela C.7.1 - refletância 1 ano - São Paulo.....	148
Tabela C.7.2 - refletância 2 anos - São Paulo.....	150
Tabela C.7.3 - refletância 3 anos - São Paulo.....	151
Tabela C.7.4 - refletância após lavagem - São Paulo	153
Tabela C.7.5 - refletância 1 ano - Pirassununga	155
Tabela C.7.6 - refletância 2 anos - Pirassununga	157
Tabela C. 7.7 – refletância 3 anos - Pirassununga.....	158
Tabela C.7.8 – refletância após lavagem - Pirassununga	160
Tabela C.7.9 - refletância 1 ano - Ubatuba	162
Tabela C.7.10 - refletância 2 anos - Ubatuba.....	163
Tabela C.7.11 – refletância 3 anos - Ubatuba	165
Tabela C.7.12 – refletância após lavagem - Ubatuba	167
Tabela D 7.13 – Formulação das tintas em acabamento acetinadas (PVC 30%) ...	169
Tabela D 7.14 - Formulação das tintas em acabamento fosco (PVC 50%)	170

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRAFATI – Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Análise do Ciclo de Vida

ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

ANOVA – Análise de variância

ASHRAE - *American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers*

ASTM – American Standard Test Method

CIB – Conselho Internacional da Construção Civil

CIELab - *American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers*

CRRC – *Cool Roof Rating Council*

DRX – Difração de raios x

EDS – Energia dispersiva de raios x

EEN – Estação de Envelhecimento Natural

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISO – International Standard Organization

Lav. – Lavagem

LEED – Leadership and Environmental Design

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

PBQP-H - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

Pira – Pirassununga

PVC – Pigment Volume Content

RILEM – União Internacional de Laboratórios e Especialistas em Materiais de Construção

SP – São Paulo

SRI – *Solar reflectance index*

Uba - Ubatuba

UV – Radiação ultravioleta

UV-VIS – Radiação ultravioleta e visível

UV-VIS-NIR – Radiação ultravioleta, visível e infravermelho próximo

VUP – Vida Útil de Projeto

VUR – Vida Útil de Referência

VUE – Vida Útil Estimada

DEFINIÇÕES

Absortância á radiação solar: quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT NBR 15220, 2003);

Acabamento: etapa final do sistema de pintura, à qual se atribuem os efeitos decorativos e/ou protetivos, como a cor desejada, grau de brilho, textura, resistência à intempérie e outros atributos (ABNT NBR 12554, 2013).

Agentes de degradação: Agentes que agem sobre um sistema contribuindo para reduzir seu desempenho (ABNT NBR 15575, 2013);

Calcinação: Depósito esbranquiçado e pulverulento formado na superfície do filme, causado pela degradação da resina (ABNT NBR 12554, 2013).

Cor: aspecto ou aparência sensitiva aos olhos. Fisicamente é a propriedade dos corpos de absorverem e refletirem a luz em determinados comprimentos de onda, normalmente atribuída aos pigmentos, cuja resultante são as cores dentro do espectro visível (ABNT NBR 12554, 2013).

Cores claras: Cores cujo valor da coordenada cromática L^* é superior ou igual a 87 ($L^* \geq 87$) (ABNT NBR 15079, 2011).

Craqueamento: Defeito na película seca, sob a forma de fendas ou fissuras, com ou sem exposição do substrato (ABNT NBR 12554, 2013).

Degradação: redução do desempenho devido á atuação de um ou vários agentes de degradação (ABNT NBR 15575, 2013);

Durabilidade: Capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção;

Eflorescência: Depósito esbranquiçado de sais minerais, proveniente do substrato, que aparece na superfície dos acabamentos (ABNT NBR 12554, 2013).

Emissividade: É quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro á mesma temperatura (ABNT NBR 15220, 2003).

Empolamento: bolhas formadas na película seca de tintas ou vernizes, provenientes de líquidos ou gases (ABNT NBR 12554, 2013).

Manutenção: Conjunto de atividades para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e seus sistemas constituintes fim de atender às necessidades e segurança do usuário (ABNT NBR 15575, 2013);

PVC (Fração volumétrica de pigmentos): É a fração volumétrica que o pigmento ocupa dividida pelo volume da película da pintura seca. (LOH, 2007).

Tintas látex: Tintas acrílicas e PVAc;

Vida útil (VU): período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e constituídos, com o atendimento dos níveis de desempenho previstos em Norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção (ABNT NBR 15575, 2013);

Vida útil de projeto (VUP): período de tempo estimado para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio de conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção (ABNT NBR 15575, 2013);

Refletância à radiação solar: Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. (ABNT NBR 15220, 2003).

Zona bioclimática: Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. (ABNT NBR 15220, 2003).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	28
1.1	JUSTIFICATIVA	28
1.2	ORIGINALIDADE	29
1.3	OBJETIVO	29
1.4	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	29
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	30
1.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
2	ESTADO DA ARTE	33
2.1	TINTAS	33
2.1.1	Tintas imobiliárias	33
2.1.2	Tintas “frias”	35
2.1.3	Superfícies “frias”	36
2.1.4	Refletância	41
2.1.5	Emissividade	41
2.1.6	Índice de refletância solar (SRI)	41
2.2	DURABILIDADE DE MATERIAIS	42
2.3	DURABILIDADE DE PINTURAS	44
2.3.1	Variáveis ambientais	45
2.4	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE	48
2.4.1	Levantamento de campo: vistorias em edificações	48
2.4.2	Envelhecimento Acelerado	49
2.4.3	Envelhecimento natural	49
2.4.4	Métodos periódicos de avaliação	49
2.5	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
3	TINTAS - CARACTERIZAÇÃO DE PIGMENTOS “FRIOS” E CONVENCIONAIS E PREPARO DE CORPOS DE PROVA	54
3.1	INTRODUÇÃO	54
3.1.1	Composição das tintas	54
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	58

3.2.1 Materiais utilizados	59
3.3 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DE PIGMENTOS.....	59
3.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS.....	59
3.3.2 Análise química.....	59
3.3.3 Difratometria de raios x.....	60
3.3.4 Refletância solar	60
3.3.5 Medidas de cor	60
3.3.6 Preparação das amostras:.....	60
3.4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	61
3.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS.....	61
3.4.2 Análise química.....	67
3.4.3 Difratometria de raios x.....	68
3.4.4 Refletância	68
3.4.5 Colorimetria.....	69
3.5 FORMULAÇÃO DE TINTAS	69
3.6 PREPARO DE CORPOS DE PROVA.....	71
3.6.1 Materiais e métodos.....	71
3.6.2 Materiais utilizados	71
3.6.3 Métodos	72
3.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	73
3.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
4 DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS “FRIOS” E CONVENCIONAIS .	76
4.1 INTRODUÇÃO.....	76
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	76
4.2.1 Análise visual	77
4.2.2 Refletância solar	77
4.2.3 Medidas de cor	77
4.2.4 Ensaio de emissividade	78
4.3 RESULTADOS.....	79
4.3.1 Caracterização das superfícies.....	79

4.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	84
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
5 ENVELHECIMENTO NATURAL DOS REVESTIMENTOS “FRIOS” E CONVENCIONAIS	87
5.1 INTRODUÇÃO.....	87
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	88
5.2.1 Materiais	89
5.2.2 Preparação de corpos de prova.....	89
5.3 LOCAIS DE EXPOSIÇÃO.....	89
5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	90
5.4.1 Refletância.....	91
5.4.2 Luminosidade.....	94
5.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	98
5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
6 MANUTENÇÃO DA CAPACIDADE REFLETIVA DAS PINTURAS	100
6.1 INTRODUÇÃO.....	100
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS	102
6.2.1 Lavagem com alta pressão.....	103
6.3 RESULTADOS.....	104
6.3.1 Análise visual.....	104
6.3.2 Refletância.....	114
6.3.3 Luminosidade.....	125
6.3.4 Emissividade.....	130
6.3.5 Índice de refletância solar	132
6.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO COM AS EXIGÊNCIAS DO <i>ENERGY STAR</i>	134
6.4.1 Avaliação comparativa da refletância solar.....	134
6.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
7 CONCLUSÕES.....	138
7.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	140
7.2 ARTIGOS PUBLICADOS.....	140
7.3 CONTINUIDADE DO TRABALHO	140
APÊNDICE A.	141

A.1.DIFRATOGRAMAS	E	FASE	CRISTALINA
141			
APÊNDICE B.			147
B.1.		EQUIPAMENTOS	
147			
APÊNDICE C.			148
C.1.		TABELAS	
148			
APÊNDICE D.			169

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O fenômeno de ilhas de calor é caracterizado pela elevação de temperatura local em relação às áreas do entorno. Vários fatores contribuem para este fenômeno sendo o principal a substituição da vegetação por edifícios, e ruas pavimentadas, e a utilização de materiais de construção que absorvem e armazenam calor (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003); (PEREZ et al., 2001).

Segundo Ikematsu (2007), parte do aumento do calor, no interior das edificações, resulta do uso de coberturas que possuem cores escuras, o que aumenta a absorção da radiação solar e eleva a temperatura no interior das edificações. No Brasil é comum a utilização de telhados de fibrocimento em habitações populares e galpões agrícolas, porém esse componente tem alta capacidade de absorção de calor, aumentando assim a temperatura no interior das edificações onde ele é utilizado. O uso de revestimentos externos que minorem a absorção da radiação solar contribui, em escala urbana, no controle da ocorrência das ilhas de calor ao mesmo tempo em que diminui a quantidade de calor transferido para o ambiente interno. (LOPES, et al, 2011). O uso de tintas “frias” aplicadas em componentes de coberturas e fachadas é uma alternativa para diminuir o calor absorvido pela envoltória.

Em uma casa térrea os telhados são responsáveis por mais de 50% do ganho de calor pela envoltória (LOH et al, 2011). Por isso é importante selecionar revestimentos com maior desempenho térmico.

A substituição de pinturas convencionais por pinturas “frias” é eficiente na diminuição da temperatura das superfícies em que elas foram aplicadas, porém uma fina camada de sujidades pode afetar, sensivelmente, a refletância solar destes revestimentos. Os revestimentos refletivos para serem efetivos devem manter ao longo do tempo, a sua refletância inicial (BRETZ et al, 1997) por isso a necessidade de avaliação desta propriedade ao longo do tempo.

Técnicas modernas baseadas na nanotecnologia vêm sendo desenvolvidas para diminuir a ocorrência dessas patologias e aumentar a durabilidade dos revestimentos, como por exemplo, o tratamento das superfícies tornando-as

autolimpantes por meio da hidrofugação e da fotocatalise utilizando o dióxido de titânio como semicondutor (MARANHÃO, 2009).

Esse estudo pretende avaliar a durabilidade de pinturas “frias” e convencionais e quantificar a perda de refletância ao longo de 3 anos de envelhecimento natural, e avaliar a porcentagem de refletância inicial recuperada após procedimento de limpeza (lavagem). O valor elevado de refletância solar é fundamental para um bom desempenho térmico das pinturas.

1.2 ORIGINALIDADE

Envelhecimento natural de pinturas é um tema que vem sendo estudado em diversos projetos de pesquisa, o diferencial desse projeto foi a produção das tintas que foram estudadas. Foram produzidas dois tipos de tintas em laboratório, com formulação conhecida, alterando somente o tipo de pigmento utilizado: pigmentos “frios” e pigmentos convencionais, com o intuito de avaliar o efeito da substituição dos pigmentos “frios” por convencionais na refletância solar.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste projeto é:

- Avaliar as propriedades refletivas das pinturas “frias” e convencionais, durante o processo de envelhecimento natural, em três diferentes sítios de exposição.
- Verificar a influência da formulação (tipo de pigmentos e teor de resina), nos resultados de avaliação de refletância e luminosidade das pinturas.

1.4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O estudo foi realizado expondo amostras de pinturas “frias” e convencionais ao envelhecimento natural, avaliou-se a as características de refletância inicial dessas pinturas e durante o período de 3 anos de exposição ao envelhecimento.

As tintas do estudo foram produzidas no laboratório da Escola Politécnica da USP, com auxílio de um consultor da indústria, com formulação básica da indústria para tinta tipo *premium*, uso exterior, acabamento acetinado e fosco (PVC: 30% e 50%), as tintas são recomendadas para uso em fachadas e coberturas. Foram produzidos dois tipos de tintas: “fria” e convencional, apenas substituindo o tipo de pigmento utilizado na formulação. Os pigmentos utilizados nas formulações foram

caracterizados quanto à cor, refletância, análise química, microscopia eletrônica de varredura com EDS e difratometria por raios x. As amostras foram produzidas na cor branca, amarela, cinza e marrom, que são cores comumente utilizadas em fachadas e coberturas no Brasil.

A tinta branca tipo *premium* por possuir alto teor de (TiO₂), pigmento branco com elevada capacidade refletiva na região do infravermelho, é considerada “fria”, portanto foi formulada apenas um tipo de tinta, variando apenas o teor PVC (30% e 50%).

As pinturas foram aplicadas em corpos de prova de fibrocimento e expostas ao envelhecimento natural, por ser o método que melhor simula a degradação das pinturas em uso. Os corpos de prova foram expostos em três diferentes ambientes de exposição: ambiente urbano, localizado na cidade de São Paulo; ambiente rural, na cidade de Pirassununga e ambiente costeiro, em Ubatuba. Todos os sítios de exposição utilizados pertencem à Universidade de São Paulo.

A avaliação de refletância, cor e emissividade foram realizadas ao longo de 3 anos de envelhecimento, período conforme recomendado pelo selo *Energy Star* (2011).

Após o terceiro ano de envelhecimento foi realizada a lavagem dos corpos de prova pintados. A lavagem foi realizada para observar se é possível recuperar parte da refletância inicial das pinturas.

Nessa dissertação de Mestrado foram apresentados os dados obtidos antes, após o terceiro ano de envelhecimento natural e após procedimento de limpeza.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esse trabalho foi estruturado em 8 capítulos conforme detalhado abaixo:

- Capítulo 1: contempla a introdução, objetivo, originalidade, projeto experimental o item de estruturação.
- Capítulo 2: apresenta o Estado da arte, onde se apresenta a revisão bibliográfica desse estudo.
- Capítulo 3: apresenta a formulação das tintas, a caracterização dos pigmentos “frios” e convencionais e a metodologia de preparo dos corpos de prova.

- Capítulo 4: se refere á caracterização das pinturas “frias” e convencionais, comparando as características das pinturas com as características dos pigmentos utilizados nas formulações.
- Capítulo 5: contém os resultados de envelhecimento natural das pinturas expostas durante 3 anos em três diferentes microclimas: urbano, rural e costeiro.
- Capítulo 6: apresenta os resultados da recuperação do valor da refletância das pinturas por meio de lavagem dos corpos de prova com água pressurizada.
- Capítulo 7: são apresentadas as conclusões da dissertação.

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, A. M. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1741 – 1748.

BRETZ, S, E; H. Albari, Long-term performance of high-albedo roof coatings. Energy and buildings. 25 (1997) 159-167.

CRRC-1 STANDARD. CRRC-1 STANDARD, 2012. Disponível em <http://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2012/04/Cool-Surface-Conference-Mexico-February-2012-SherryHao.pdf> Acesso em: 2016.

ENERGY STAR. Energy Star Qualified Homes, Version 3 (Rev 03) National Program Requirements, 2011. Disponível em: http://inspectbeforebuying.com/ES_NationalProgramRequirements_v3.pdf. Acesso em: 15 Jan. 2015

EPA. Home : ENERGY STAR. Disponível em: <http://www.energystar.gov/>. Acesso em: 15 jan. 2014.

GHISI, E.; GOSCH, Samuel; LAMBERTS, Roberto. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. Energy Policy, v. 35, p. 4107-4120, 2007

IKEMATSU, P. Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes. Dissertação de Mestrado, departamento de engenharia de construção Civil, Universidade de São Paulo, (2007).

LOH, K.; SATO, N.; SHIRAKAWA, M.; CARDOSO, E.; JOHN, V. M. Outdoor Paint Ageing of Brazilian Paints - Part II, Correlation between results of accelerated and outdoor paint ageing of Brazilian paints - Part one. 12thDBMC International

conference on durability of building materials and components. Porto, Portugal, April (2011).

LOPES, R. I. ; SILVA, I. L. M.; MARANHÃO, F; SATO, N.; LOH, K. . Uso de micro e nano partículas de pigmentos frios e de dióxido de titânio em revestimentos de fachadas e coberturas. In: Congresso Internacional de Tintas ABRAFATI, 2011, São Paulo. Inovação e Sustentabilidade.

MARANHÃO, F. L. Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios. 2009. 107 p. Tese - Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PEREZ, J.C.; SANCHEZ, M.DE LOS.A.V.; BARRADAS , V.L. Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de Mexico. RNIU, Puebla, México, Ciudades 51. 2001.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 TINTAS

As tintas são composições líquidas, constituídas por pigmentos sólidos, dispersos em aglomerante líquido, após o processo de cura forma-se um filme que se adere ao substrato ao qual foi aplicado, esse filme tem a finalidade de revestir a superfície em que foi aplicado conferindo melhor estética e proteção (FAZENDA, DINIZ, 2005; LOH, 2007; ABNT NBR 12554, 2013). As tintas são preparações constituídas por vários insumos em sua produção, a junção de elementos sólidos e voláteis define as propriedades das tintas como: resistência, aspecto, tipo de aplicação e custo. (GUIA TECNICO AMBIENTAL TINTAS E VERNIZES, 2006).

Segundo Uemoto (1988), a função protetora que a pintura desempenha é fundamental, pois prolonga a durabilidade das superfícies, mas uma pequena alteração na cor após um pequeno período de exposição pode alterar a aparência da pintura, prejudicando a sua função decorativa. As principais funções das pinturas são descritas abaixo por (UEMOTO, 1988):

- As pinturas tem a capacidade de reduzir a passagem e umidade para o substrato evitando a ação de agentes destrutivos como (água, névoa salina, anidrido carbônico e outros);
- Diminuir a incidência de umidade no interior das edificações;
- Reduzir o crescimento de microrganismos nas fachadas.

2.1.1 Tintas imobiliárias

A importância do estudo das tintas imobiliárias no Brasil se justifica, dentre outros motivos, por sua grande demanda na indústria da construção civil. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAFATI) O Brasil é um dos seis maiores mercados para tintas, sendo que a tinta imobiliária representa cerca de 80% do volume total e 63% do faturamento (ABRAFATI, 2015). Esse fato destaca a importância de estudos desse material na construção civil.

As tintas imobiliárias podem ser divididas em dois grupos: (GUIA TECNICO AMBIENTAL TINTAS E VERNIZES, 2006).

- Produtos aquosos (látex): látex acrílicos, látex vinílicos, látex vinil-acrílicos, etc.
- Produtos base solvente orgânico: tintas a óleo, esmaltes sintéticos, são classificadas de acordo com o a quantidade de resina que recebem.

O Programa Setorial da Qualidade de Tintas Imobiliárias classifica as tintas imobiliárias em três níveis: econômica, *standard* e *premium*. As tintas econômicas são destinadas à aplicação em superfícies internas, já as tipos *standard* e *premium* para superfícies externas por possuírem menor permeabilidade à água e vapores e maior durabilidade ao intemperismo natural.

O programa disponibiliza, publicamente, os resultados sobre desempenho de tintas o que ajuda promover a evolução da normalização e a melhoria da qualidade dos produtos. Tal iniciativa está integrada ao Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), integrado à Secretaria Nacional da Habitação, do Ministério das Cidades.

Segundo SILVA (2005), apesar dessa classificação de mercado visar diferenciar o desempenho de cada grupo com essa classificação, a classificação fornecida pelo fabricante nem sempre está relacionada aos critérios de avaliação técnica.

A norma ABNT NBR 15079 (2011) estabelece critérios mínimos de desempenho para determinar a classificação das tintas, esses requisitos são baseados nos ensaios de poder de cobertura de tinta seca; poder de cobertura de tinta úmida; resistência à abrasão úmida com e sem pasta abrasiva. Os valores limites para o desempenho mínimo de cada classe estão determinados na Tabela 2.1 abaixo.

Tabela 2.1- Requisitos mínimos de desempenho de tintas

Requisitos	Unidades	Limites mínimos de desempenho		
		Tintas látex Econômica *	Tintas látex Standard	Tintas látex Premium
Poder de cobertura de tinta seca	m ² /litro	4,0	5,0	6,0
Poder de cobertura de tinta úmida	%	55,0	85,0	90,0
Resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva	Ciclos	100	-	-
Resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva	Ciclos	-	40	100

Fonte: ABNT 15079 (2011)

Para o mercado e para o consumidor é muito importante que estejam especificadas as funções de cada classe de tintas, e o desempenho mínimo que cada uma deve ter. A utilização de materiais adequados, para as demandas a que se aplicam, é o primeiro passo para pensar em uma discussão sobre durabilidade.

2.1.2 Tintas “frias”

Materiais “frios” possuem elevada refletância solar e alta emissividade (LEVINSON, 2007). É possível formular tintas com essas características utilizando a mesma matriz de uma tinta convencional acrílica, incorporando pigmentos cerâmicos frios, que concedem à tinta maior capacidade refletiva no infravermelho próximo. (IKEMATSU, 2007).

O uso de tintas “frias” se deu a partir do aumento da temperatura nos centros urbanos e isso tem estimulado o desenvolvimento de novas técnicas e produtos visando melhorar o conforto térmico no interior das habitações. Algumas técnicas têm sido utilizadas para minimizar este problema, como por exemplo, a aplicação de pinturas de alta refletância nas coberturas das edificações, podendo assim, melhorar o desempenho térmico das mesmas, tornando “fria” a cobertura em que foi aplicada, Figura 2.1.

Figura 2.1 - O efeito da refletância nas coberturas "frias" e convencionais
fonte: <http://newscenter.lbl.gov/wp-content/uploads/sites/2/2011/11/coolroofs-main.jpg>
(adaptada).

A Figura 2.1 acima mostra que as coberturas “frias” refletem mais a radiação solar que as coberturas de cores mais escuras, aquecendo menos a superfície externa e consequentemente diminuindo a temperatura no interior da edificação.

2.1.3 Superfícies “frias”

O desempenho térmico de uma edificação é influenciado por diversos fatores como clima em que o edifício está inserido, projeto, orientação solar, cor de fachadas e coberturas, ganhos internos de calor, ocupação e envoltória.

Em países de clima quente ou verões quentes, existe um crescente interesse na utilização de sistemas passivos de refrigeração com baixo consumo de energia. Nos países desenvolvidos essa demanda é motivada pelo interesse de reduzir os picos de energia com o ar condicionado (GIVONI, 1991).

As partes expostas das edificações como paredes e coberturas absorvem a radiação solar e transferem o calor para o interior das edificações, aumentando os ganhos térmicos e elevando a temperatura do ar interior (MICHELS, 2007). O uso de revestimentos “frios”, altamente refletivos, em coberturas e fachadas tem o potencial de diminuir o consumo de energia elétrica, colaborar na mitigação de ilhas de calor e diminuir o aquecimento global (SLEIMAN et al, 2014);(PAOLINI et al, 2014).

Os materiais que apresentam elevada refletância á radiação solar e elevada emissividade, são chamados de materiais “frios” eles tem o potencial de aumentar o albedo urbano, contribuindo assim para a mitigação das ilhas de calor. (Akbari et al., 2009). O valor de emitância de um material refere-se à sua capacidade de liberar calor absorvido, esse valor é expresso em um número entre 0 e 1, ou 0% e 100%. Materiais metálicos possuem baixa emissividade ao contrário dos materiais cimentícios, que possuem valor acima 0,85 (85%).

Os materiais “frios” vêm adquirindo uma aceitação crescente e são amplamente utilizados em edifícios e aplicações urbanas que apresentam um elevado potencial de diminuição de superfície e temperaturas ambientes (Santamouris et al., 2008). A Figura 2.2 apresenta um fluxograma com as características e funções principais dos materiais “frios” quando comparados aos materiais convencionais.

Figura 2.2 – Características básicas dos materiais “frios” comparadas aos materiais convencionais

Fonte: Adaptado de Santamouris et al(2011).

A utilização de materiais “frios” em telhados e coberturas pode ser viável, Segundo Rosenfeld (1995) os telhados são repintados pelo menos a cada dez anos, e é possível a utilização de materiais frios, com um pequeno aumento no custo do acabamento. A grande variedade de tonalidades de cores de tintas disponíveis no mercado influenciam os projetos arquitetônicos, no entanto, as informações sobre a eficiência energética dos tipos de pinturas, ainda não se encontram disponíveis ao mercado. O uso de pinturas convencionais escuras em fachadas e coberturas pode “prejudicar” significativamente o conforto térmico no interior das edificações, esse efeito pode ser amenizado com a incorporação de pigmentos escuros “frios”, obtendo o resultado estético desejado com maior refletância. (diminuir a frase e melhorar)

Superfícies de cor escura têm alta absorção de radiação solar tanto na faixa do visível quanto na faixa no infravermelho, enquanto que superfícies brancas são eficazes na reflexão da radiação nas duas faixas do espectro. Mas branco ou cores em tom pastel nem sempre satisfazem as demandas do consumidor

(FRISCHMANN, 2008). A mesma variedade de cores das tintas convencionais pode ser reproduzida com pigmentos “frios”, obtendo-se assim pinturas com melhor desempenho térmico (CASTRO, 2009). A liberdade estética deve estar aliada ao desempenho satisfatório do material escolhido, por isso, se faz necessário o desenvolvimento de produtos para coberturas e fachadas, que atendam às necessidades térmicas propostas.

Segundo Lamberts (1989), um dos principais geradores do problema térmico urbano é o fato de não se avaliarem as propriedades térmicas em relação às soluções arquitetônicas. Poucos arquitetos e engenheiros sabem quanto à escolha do material para o seu projeto pode influenciar no comportamento térmico da edificação. E quando se tem informações, comumente, são dados de estudos internacionais, e isso é uma prática comum, visto que no Brasil há uma carência de normalizações condizentes às diversas regiões climáticas do país, (LAMBERTS, 1989) muitas vezes esses dados não podem ser utilizados para uma avaliação comparativa direta devido a características particulares, como clima e microclima, características dos materiais e sistemas construtivos utilizados no país, custos (CASTRO 2003). No caso do Brasil, onde há uma grande diversidade de microclimas, é necessário levar em consideração essa variação no momento de escolher os materiais que serão empregados nas fachadas e coberturas das edificações.

Como foi discutido acima no Brasil ainda não existem regulamentações para superfícies “frias”, porém existe uma norma Brasileira de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575 (2013) que, além de outros requisitos, estabelece critérios mínimos de desempenho térmico para edificações em todo o território brasileiro.

Para a realização das simulações computacionais de desempenho térmico, é necessária a utilização dos dados de absorvância solar das superfícies das paredes e coberturas. Segundo a NBR 15575 (2013), o valor da absorvância solar das superfícies expostas deve ser definido pelas características das superfícies e pela sua cor, a Norma apresenta valores de absorvância solar para superfícies de cores claras, médias e escuras, Tabela 2.2.

Tabela 2.2 valores de absorção solar para superfícies de fachadas e coberturas

Superfícies	Valores de absorção solar
Cores claras	0,3
Cores médias	0,5
Cores escuras	0,7

Fonte: NBR 15575 (2013)

Os valores de absorção apresentados na Norma podem ser imprecisos, já que nem sempre a cor garante a capacidade refletiva da superfície. O ideal é utilizar o valor de refletância ou absorção real de cada superfície.

Existe um consórcio Brasileiro de Superfícies Frias (CBSF) essa organização tem como foco a certificação e o desempenho de superfícies “frias”. Essa consórcio agrupa empresas do setor de materiais e componentes de construção civil e Universidades, sendo uma parceria entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli USP), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e empresas líderes de mercado na cadeia da construção civil, além do apoio do Green Building Council Brazil (GBC Brazil) e do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) (CBSF, 2016).

No exterior já existem algumas agências internacionais que certificam materiais “frios” relacionando as suas capacidades de refletância e emissividade iniciais e após envelhecimento, são elas: *Energy Star* (2011); *Cool Roof Rating Council* (CRRC, [s.d]), *European Cool Roofs Council* (ECRC, [s.d]), *Title 24*. ([s.d]).

Werle (2015) listou as exigências básicas, de normas e agências internacionais, para certificação de materiais “frios”, apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Valores de refletância, emissividade e SRI mínimos para superfícies "frias".

Documento	Inclinação da cobertura	Refletância inicial	Refletância após 3 anos de envelhecimento natural	Emissividade	SRI Mínimo
LEED	Baixa	X	X	X	78
LEED	Íngreme	X	X	X	29
Energy Star	Baixa	≥ 0,65	0,50	X	X
Energy Star	Íngreme	≥ 0,25	0,15	X	X
ASHRAE 90.1 (2013)	X	0,70	X	0,75	82
ASHRAE 90.2 (2007)	X	0,65	X	0,75	75
ASHRAE 189.1 (2014)	Baixa	X	X	X	78
ASHRAE 189.1 (2014)	Íngreme	X	X	X	29
Green Globes	X	0,65	X	0,90	X
Title 24	Baixa	0,70	0,63	≥ 0,75	75
Title 24	Íngreme	X	0,20	≥ 0,75	16
Chicago	Baixa	≥ 0,65	X	X	X
Chicago	Íngreme	≥ 0,25	X	X	X

Fonte: Adaptado de Werle (2015)

Nota-se que os materiais “frios” precisam atender às exigências de valores iniciais mínimos de refletância, emissividade e SRI, e após envelhecimento natural.

As pinturas alteram suas propriedades quando expostas ao meio ambiente, por isso, a importância de se realizar estudos de durabilidade e verificar se a refletância da pintura é mantida ao longo do tempo. O acompanhamento da alteração do aspecto dessas pinturas poderá mostrar a alteração no aspecto inicial e verificar se a eficiência térmica desse material será mantida após exposição ao intemperismo natural e inclusive verificar se o uso de pigmentos frios no lugar de pigmentos convencionais, de cores equivalentes, permite obter pinturas, com alguns anos de exposição, com refletância superior aquelas formuladas com pigmentos convencionais.

2.1.4 Refletância

Refletância é uma importante característica dos revestimentos de coberturas e fachadas, pois, superfícies externas com elevada refletância, tem o potencial de melhorar o desempenho térmico das edificações em países com verões rigorosos.

A Norma NBR 15220-1 (ABNT, 2003) define refletância como o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. A energia do espectro solar é dividida em três componentes: (i) visível; (ii) Ultravioleta e (iii) Infravermelho próximo.

(i): Visível (VI): mais intenso, compreende intervalos de comprimento de onda entre 381 a 780nm e representa cerca de 46% de todo o espectro solar, é ele quem determina as cores dos objetos;

(ii): Ultravioleta (UV): menos intenso, compreende intervalos de comprimento de onda entre 290 a 380nm, representa aproximadamente 6% do espectro solar e é a principal causa da deterioração dos materiais orgânicos;

(iii): Infravermelho próximo (IR): corresponde aproximadamente a 43% do espectro solar e o seu intervalo de comprimento de onda está contido entre 781nm até aproximadamente 2500nm. Esta radiação é invisível ao olho humano e é responsável pela sensação térmica.

2.1.5 Emissividade

A emissividade é caracterizada pela capacidade do material de emitir calor, a norma NBR 15220 define a emissividade como o quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro á mesma temperatura (ABNT, 2003).

A refletância e a emissividade são características fundamentais para o desempenho térmico dos materiais, são elas que definem se um material é “frio” ou não. As superfícies “frias” tem alta capacidade de refletir e emitir a radiação solar (LEVINSON, 2007).

2.1.6 Índice de refletância solar (SRI)

A Norma ASTM E1980 (2011), define o SRI como o cálculo da temperatura relativa das superfícies em relação á temperatura de referência em preto e branco. A refletância solar e a emitância térmica são fatores que afetam a temperatura do ar ambiente superficial e próximo à superfície. As superfícies com baixa refletância

solar absorvem uma fração elevada da energia solar recebida. Uma fração dessa energia absorvida é conduzida em solo e edifícios, uma fração é convecionada ao ar (levando a temperaturas mais altas do ar) e uma fração é irradiada para o céu. Para condições equivalentes, quanto menor a emissividade de uma superfície, maior a sua temperatura de estado estacionário. As superfícies com baixa emissividade não podem efetivamente irradiar para o céu e, portanto, ficam quentes.

A determinação da refletância solar e da emissividade térmica e o subsequente cálculo do SRI podem ajudar os designers e consumidores a escolherem os materiais apropriados para fazer os seus edifícios (ASTM E1980, 2011).

Fórmula *Solar Reflectance index* (SRI) ASTM (1980) (eq. 1):

$$\text{SRI} = 100 * \frac{(\text{Temperatura do corpo negro} - \text{temperatura da superfície})}{(\text{Temperatura do corpo negro} - \text{temperatura da superfície branca})} \quad (1)$$

É definido como corpo negro o material com refletância de 0,05 e emissividade 0,90 e superfície branca o material com refletância de 0,80 e emissividade de 0,90.

2.2 DURABILIDADE DE MATERIAIS

O primeiro congresso sobre durabilidade de materiais de construção (DBMC) ocorreu em 1978 em Ottawa e, ainda hoje a durabilidade dos materiais é um assunto de grande importância, e a relevância de seu estudo se tornou amplamente reconhecida. A importância do seu estudo está no fato de que a produção de materiais com maior durabilidade diminui o impacto ambiental, pois se utiliza menos recursos naturais ao longo do tempo. (QUATTRONE; JOHN, 2014).

Os estudos sobre durabilidade surgiram mediante crescimento da construção civil e a necessidade de regulamentações para o desempenho e durabilidade das edificações, assim surgiram os conselhos técnicos CIB (*Conseil International du Bâtiment* - CIB W80) e RILEM (*International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials*), os quais estabeleceram a Norma ISO (ISO/TC59SC14) para regulamentar métodos de previsão da vida útil de sistemas construtivos, que deu origem, na década de 80, à ISO 1586 (MATTOS, 2013).

A Norma ISO 15686 define durabilidade como a capacidade de um edifício ou de uma parte de um edifício de desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo, sob a ação dos agentes presentes em serviço. E ainda

acrescenta que esta não é uma propriedade intrínseca de um produto ou componentes, mas sim uma característica que depende das condições a que está sujeito, em serviço.

Em um estudo sobre durabilidade de materiais é importante ter conhecimento de sua função na edificação, das suas propriedades físicas e químicas e conhecimento também dos possíveis mecanismos de degradação, provenientes de sua interação com os agentes agressivos do meio ambiente. (FLAUZINO, 1987). Degradação é o processo no qual um material sofre transformações irreversíveis que implicam perda de qualidade ou valor. (JOHN, 1987).

Existem muitos estudos sobre durabilidade em andamento no Brasil, tanto nas Universidades quanto em institutos de pesquisa, como o IPT. Os primeiros estudos sobre durabilidade no Brasil são de Francisco Romeu Landi (Poli/USP) e Wanderley Flauzino (IPT), no final da década de 90 a Antac (Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído) estabeleceu um grupo de trabalho sobre o tema (John, 2006). O grupo de trabalho se chama GT de durabilidade e é responsável pela organização de eventos específicos do grupo, promove articulação entre para formação de redes de cooperação em pesquisa e desenvolvimento tecnológico e é responsável ainda pelo desenvolvimento de materiais com conceitos básicos de durabilidade, para auxiliar na formação de profissionais da área. (ANTAC, 2015).

Para avaliar os aspectos de durabilidade dos materiais deve-se basear na determinação das propriedades antes e após o envelhecimento (natural e/ou acelerado) ou sob simulação de condições normais de uso, de modo que possa prever o comportamento, dos materiais avaliados, ao longo do tempo (LOH, 2007).

A norma Brasileira de desempenho de edificações ABNT 15575 - 1 (NBR, 2013) conceitua alguns termos relacionados à durabilidade:

- Durabilidade – capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção.
- Degradação – redução do desempenho devido à atuação de um ou de vários agentes de degradação;

- Agentes de degradação – tudo aquilo que age sobre um sistema, contribuindo para reduzir o seu desempenho;
- Vida Útil – período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetadas e construídas, com atendimento dos níveis de desempenho previstos pela Norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção.

Segundo Loh (2007), a previsão de vida útil não é simples de ser efetuada, por causa dos vários fatores de degradação que interferem na durabilidade dos materiais, pois existe a necessidade de se identificarem as propriedades relevantes, físicas ou químicas, e os agentes agressivos que levam a degradação do material.

2.3 DURABILIDADE DE PINTURAS

As tintas são usadas para proteger substratos e para fornecer uma boa aparência às superfícies onde são aplicadas, sendo assim, a pintura é o elemento mais exposto de uma edificação e está sujeito a todo tipo de interferência seja por ação da natureza ou antrópica. Os revestimentos das superfícies externas das edificações, devido a sua grande exposição ao intemperismo são os elementos mais sujeitos á degradação (CHAI, et al, 2011).

Segundo Consoli (2006) as pinturas são os elementos construtivos que mais são atingidos por patologias, tanto decorrentes da degradação do próprio material como também oriundas de fissuras e trincas que ocorrem no substrato onde a pintura foi aplicada. Além dessas, outras alterações podem ocorrer na superfície da película de tinta como descoloração e biodeterioração estética, que podem ser causadas por deposição de pó, processos de colonização microbiológica e de intemperismo, como a irradiação solar e chuva ácida (SHIRAKAWA 2010, apud KITSUTAKA e KAMIMURA, 1993).

A durabilidade das tintas varia em função de uma série de parâmetros, como por exemplo: a natureza da tinta, as características do substrato, as condições do meio ambiente e o uso (LOH, 2007).

Na degradação da película da tinta, há alteração das propriedades físico-químicas e mecânicas como coloração, brilho, manchas esbranquiçadas ou escuras, pulverulenta, fissuras, aumento de porosidade da película, etc. (LOH, 2007).

A Tabela 2.4 apresenta alguns possíveis defeitos e causas da degradação de pinturas, (FLAUZINO, 1983).

Tabela 2.4 - Defeitos, agentes e mecanismos de degradação de pinturas.

Defeitos	Agentes	Mecanismos de degradação
Perda de aderência, bolhas, descascamento.	Água	Pode ocorrer pela presença de água sob a película de pintura. A baixa permeabilidade do vapor pode permitir o acúmulo de umidade sob a película, que provoca esforços originando os problemas citados.
Perda de aderência, bolhas e descascamento.	Sais alcalinos	Pode estar associado ao ataque de álcalis ou ao surgimento de eflorescência pelo carregamento de sais solúveis em água através da parede, que podem surgir sob a película ou sobre ela.
Trincas e fissuras	Intemperismo	Podem ocorrer pela perda da capacidade de flexibilidade da película após a ação da radiação solar particularmente sua parcela da radiação ultravioleta.
Alterações no aspecto	Partículas em suspensão no ar	A retenção de poeira pela pintura e a consequente lavagem pela chuva provoca o surgimento de regiões manchadas.
	Intemperismo	A alteração na cor e brilho da pintura é o resultado da ação de alguns agentes agressivos tais como: radiação ultravioleta, água, sais, etc., deteriorando o pigmento e veículo da pintura.
Manchas escuras na superfície.	Fungos (microrganismos)	As condições ambientais, umidade e temperatura podem favorecer o crescimento de fungos. Normalmente ocorrem tanto no interior como no exterior da edificação, nas faces com pouca ventilação e incidência de radiação solar direta.

Fonte: FLAUZINO (1983).

A degradação das pinturas é um fator determinante na queda do valor de refletância, prejudicando assim o desempenho térmico das mesmas. Alguns dos defeitos, apresentados na Tabela 2.3 de (FLAUZINO, 1983), são reversíveis, como por exemplo: alterações de aspecto, geradas por depósito de poeira e poluentes, e das manchas escurecidas devido ao crescimento de microorganismos e algas. A lavagem dessas superfícies pode ser suficiente para a recuperação do aspecto inicial da superfície e recuperação do desempenho térmico da pintura.

2.3.1 Variáveis ambientais

O envelhecimento pode ser definido como um processo de deterioração dos materiais, resultados de efeitos combinados de radiação solar, calor, oxigênio, água, agentes biológicos e de outros fatores atmosféricos, como os gases e os poluentes.

Para os materiais poliméricos, os tipos de degradação causados pelos agentes mais comuns são: fotodegradação, degradação química, mecânica, térmica e biodegradação, onde os principais fatores que podem causar degradação são: luz (i), calor (ii); umidade (iii); biodegradação (iv) e poluentes atmosféricos (v) (LOH, 2007).

2.3.1.1 Luz

A luz ultravioleta, juntamente com o oxigênio e água, é um dos três agentes principais que induzem degradação lenta (envelhecimento) de muitos polímeros orgânicos. Estes polímeros orgânicos incluem aqueles que se ligam ao filme de pintura e aqueles que compõem o tecido do corpo humano. Os efeitos de luz ultravioleta aumentam diretamente com a intensidade da radiação e inversamente com o comprimento de onda da radiação. (CLIVE 1992). Segundo Flauzino (1983), a radiação solar na faixa do visível e infravermelho pode ocasionar aumento da temperatura tanto em materiais orgânicos como inorgânicos iniciando processo de deterioração térmica, além de causar fotodegradação.

Segundo Rodrigues (1998), a radiação UV consiste em apenas 1 a 7% da radiação total que atinge a terra e, apesar disso, é a mais energética por isso capaz de provocar cisões nas ligações das moléculas orgânicas, sendo um dos principais fatores de degradação dos materiais poliméricos. Na Tabela 2.5, estão apresentados os comprimentos de onda na região do UV e seus possíveis efeitos nos materiais, descritos por Rodrigues (1998).

Tabela 2.5 - Regiões do UV e seus efeitos

Região UV	Efeito
UV-A 400 – 315nm	Causa alguma degradação nos polímeros, é transmitida pelos vidros das janelas.
UV- B 325 – 280nm	Inclui os menores comprimentos de onda que atingem a superfície da terra, responsável pela severa degradação dos polímeros, absorvida pelos vidros de janelas.
UV- C 280 – 100nm	Encontra-se apenas no espaço, é filtrada pela atmosfera terrestre; germicida; causa reações anormais que não ocorre, durante o envelhecimento natural.

Fonte: (RODRIGUES, 1998)

Batzill (2005) relata que uso do dióxido de titânio afeta a durabilidade da tinta de diversas maneiras, positivas e negativas, sendo que a interação entre ele e os outros componentes da tinta é o que irá determinar sua longevidade. Uma única partícula de TiO_2 , de um quarto de micron de diâmetro, é capaz de absorver 99% da

radiação solar UV que a atinge. A maior parte desta energia é transformada em calor e rapidamente dissipada no filme de tinta. A outra parte (0,001%) encontra a superfície do filme e reage oxigênio e água para formar radicais de hidróxidos e superóxidos, que por sua vez reagem com a resina polimérica da tinta, ressaltando que a resina pode absorver radiação UV diretamente, o que causa ruptura de suas ligações mais fracas (C-H), sendo que um fóton de UV é mais danoso se for absorvido pela resina do que pelo pigmento, o que faz com que a presença do pigmento reduza drasticamente a taxa de degradação direta da resina (limita a degradação na camada mais exterior do filme).

2.3.1.2 *Calor*

A temperatura é um fator importante nos fenômenos de degradação. No meio ambiente, a temperatura varia conforme a localidade, a estação do ano e os fenômenos meteorológicos como a chuva ou a neve (LOH, 2007).

2.3.1.3 *Umidade*

A umidade influencia fortemente o desempenho e a durabilidade dos materiais de construção (ÇENGEL e GHAJAR, 2011). A umidade gerada na fase de execução da obra, quando a água absorvida pela fachada não é eliminada de maneira eficaz e, em fase de uso, a infiltração de água da chuva, a condensação de vapor de água, os vazamentos ascensão de água do solo pelas paredes, são importantes fatores para o crescimento de microorganismos nas superfícies externas dos edifícios (SATO, 1997).

2.3.1.4 *Biodeterioração*

A biodeterioração se relaciona com a degradação química causada por ataque microbiológico. Materiais para superfícies externas são expostos aos elementos como: vento, sol, chuva, granizo, neve, a poluição atmosférica, e as variações de temperatura e, conseqüentemente degradam ao longo do tempo. Até mesmo os materiais mais duráveis são modificados por deposição de pó ambiente e detritos, e pode fornecer uma oportunidade para a colonização por organismos biológicos. (LEVINSON et. al, 2005). As contaminações microbiológicas ocorrem tanto na tinta úmida quanto ao filme seco, causando alterações em suas funções e provocando a biodegradação (KAIRALLA, 1993).

Nas tintas látex, ainda há grande diferenciação entre os produtos em relação ao tipo e á quantidade de biocida utilizado na formulação, e também pelo PVC do material,

já que as tintas de PVC elevado possuem a textura mais rugosa, facilitando o depósito de sujeiras e de materiais orgânicos, os quais aceleram a sua biodeterioração. (LOH, 2007).

Segundo Shirakawa (2011) Pinturas externas de edificações localizadas em climas tropicais são particularmente sujeitas á descoloração superficial, causada por crescimento de microorganismos, se esse crescimento não for controlado, essa superfície pode sofrer patologias como: rachaduras, escamação e penetração de água no substrato.

2.3.1.5 Poluentes atmosféricos

Os poluentes considerados de maior importância na durabilidade dos materiais são as seguintes: CO₂, SO₂, NO_x, HCl, HF e O₃ e como poluentes secundários como o H₂SO₄, HNO₃, etc., formados na atmosfera a partir desses compostos, por estarem presentes na atmosfera, os seus efeitos dependem da forma de deposição sobre as superfícies, se na forma gasosa ou incorporada na chuva. A ação desses agentes depende das condições climáticas e das próprias características do material (LOH, 2007).

2.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE

A durabilidade dos materiais pode ser avaliada com o auxílio de medidas instrumentais. A verificação pode ser feita a partir de ensaios de envelhecimento que podem ser realizados em exposição ao ambiente natural (envelhecimento natural) ou em laboratório (envelhecimento acelerado). Existem três importantes fontes de dados de avaliação de Durabilidade (FLAUZINO, 1983):

- Levantamento de campo: vistorias em edificações;
- Ensaios de envelhecimento acelerado: Exposição de corpos de prova á ação de equipamentos que simulam a degradação dos materiais;
- Envelhecimento natural: Exposição de corpos de prova em estações, com acompanhamento das condições climáticas locais.

2.4.1 Levantamento de campo: vistorias em edificações

O levantamento em campo é o primeiro passo para a avaliação das pinturas, devem-se levar em consideração as modificações no aspecto da superfície pintada, a descrição dos tipos de degradação apresentados como (fissuras, bolhas, manchas,

eflorescência), com registros fotográficos e também avaliar as condições de projeto da edificação, como por exemplo: tipo de sistema construtivo, ausência de pingadeira e orientação solar.

2.4.2 Envelhecimento Acelerado

Ensaio de envelhecimento acelerado promove degradação intencional, de forma acelerada, acima da degradação esperada em serviço, em materiais e componentes de edificação. As condições de envelhecimento podem ser obtidas a partir de exposição de corpos de prova a exposições controladas por ciclos de UV, condensação, névoa salina ou ainda em câmara ambiental para verificar o crescimento microbológico. É fundamental caracterizar as condições de exposição para estudos de durabilidade de materiais, bem como os dados sobre a degradação dos materiais em diferentes condições (PICCHI 1988). O teste de envelhecimento acelerado por si só raramente pode ser usado para dar uma exata base para a previsão de vida útil (CIB W080, 2004), porém possibilita rápida aquisição de dados sobre o envelhecimento dos materiais.

2.4.3 Envelhecimento natural

É um sistema de exposição de materiais, onde as amostras ficam expostas ao ambiente natural, as estações de envelhecimento devem ter os dados climáticos bem caracterizados e é muito importante a avaliação de tipo de degradação correlacionada ao tipo de ambiente de exposição, por isso é indicado que as mesmas amostras sejam expostas em diferentes situações de exposição e diferenças climáticas. Segundo Uemoto (1988), esse sistema é, normalmente, mais confiável que o de envelhecimento acelerado, pois os fatores de degradação são complexos e difíceis de serem quantificados, no caso do envelhecimento natural, os dados não precisam ser estabelecidos, apenas medidos. Porém qualquer alteração atípica no clima pode gerar inconsistência nos resultados.

2.4.4 Métodos periódicos de avaliação

Além dos testes de envelhecimento são utilizados ensaios periódicos que determinam características específicas dos materiais, no caso das pinturas “frias” os mais utilizados são: determinação de refletância solar; determinação de emissividade (SHIRAKAWA et al, 2013); (SYNNEFA et al, 2007); (UEMOTO et al, 2010). Determinação de cor; análise visual (UEMOTO et al, 2010); (SHIRAKAWA et

al, 2010); análise por microscopia óptica (SHIRAKAWA et al, 2010); (SHIRAKAWA et al, 2013); e análise por microscopia de varredura.

Para as pinturas “frias” a queda no valor da refletância é a questão mais crítica que a exposição ao intemperismo natural pode gerar em um curto período de tempo. Para manter o desempenho dessas pinturas é necessário estudos de durabilidade e desenvolvimento de metodologias para a manutenção das propriedades refletivas das mesmas, com manutenção (limpeza e repintura) e implantação de novas tecnologias como tintas autolimpantes.

2.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

A utilização de pinturas, com elevada capacidade refletiva, em fachadas e coberturas pode ir além dos benefícios amplamente discutidos como proteção e estética, elas podem contribuir para melhorar o desempenho térmico das edificações agindo como barreira para a absorção de calor.

As pinturas estão sujeitas á degradação por ação do intemperismo natural, as pinturas “frias” perdem a capacidade refletiva ao longo do tempo por deposição de sujidades, ação antrópica e deterioração microbiológica.

Assim como as pinturas convencionais, as pinturas “frias” necessitam de manutenção periódica (limpeza e repintura), a falta desses procedimentos irá impactar não somente na aparência, mas também na refletância dessas pinturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.079: Tintas para construção civil – Especificação dos requisitos mínimos de desempenho de tintas para edificações não industriais – Tintas látex econômica nas cores claras. São Paulo, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12554: Tintas para edificações não industriais — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ANTAC. Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/#!durabilidade/c1g6h>> Acesso em: 01 maio de 2015.

ASTM E1980. Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International, 2011.

ASTM D7897. Standard Practice for Laboratory Soiling and Weathering of Roofing Materials to Simulate Effects of Natural Exposure on Solar Reflectance and Thermal Emittance. [s.l.] ASTM International, 2015.

BONDIOLI, F.; MANFREDINI, T.; OLIVEIRA, A. P.N. Pigmentos inorgânicos: projeto, produção e aplicação industrial. Cerâmica Industrial, 3 (4 -6) Julho/dezembro, 1998.

BATZILL, M., DIEBOLD, U. The surface and materials science of tin oxide. Science Direct, 2005.

CASTRO, A., LABAKI, L., CARAM, R., BASSO, A., FERNANDES, M. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. Ambiente Construído, 2003.

CBSF. Consórcio Brasileiro de Superfícies Frias. Disponível em: <<http://www.superficiesfrias.org.br/>>. Acesso em: 09 de novembro de 2016.

CRRC. Cool roofing and the codes. Disponível em: <http://coolroofs.org/documents/CRRC_Codes_&_Programs_update.pdf>

CRRC. Cool Roof Rating Council. Disponível em: <<http://www.coolroofs.org/>>. Acesso em: 07 de outubro de 2016.

CRRC. Green Building Programs. Disponível em: <http://coolroofs.org/documents/Cool_Roof_Ratings_Codes_and_Programs021710.pdf>. Acesso em: 07 outubro 2016.

CRRC. Title 24 Update: Summary of 2013 Changes to California's Cool Roof Requirements. Disponível em: <http://coolroofs.org/documents/Title24_2013_Update_Summary.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2016.

ÇENGEL, Yunus A. (2011), Transferência de Calor e Massa. Porto Alegre. Ed. Amgh. 13.

CIB. Disponível em: < www.cibworld.nl/site/about_cib/index.html> Acesso em: 10 jan 2015>

CHAI, C.; BRITO, J.; SILVA, A.; GASPAR, P. Previsão de vida útil de paredes exteriores. Engenharia Civil, UM, n 41, 2011.

CLIVE, H. The Degradation of Coatings by Ultraviolet Light and Electromagnetic Radiation Anatomy of Paint. Journal of Protective Coatings & linings, 1992.

FAZENDA, JORGE M. R.(COORD.). Tintas e Vernizes: ciência e tecnologia. 3ª Edição. Vol 3, ABRAFATI, São Paulo, 2005.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 15686-1 (2000). Buildings and constructed assets - service life planning - Part 1: General Principles, Geneve.

JOHN, V. M; SATO, N. M. N. Durabilidade de componentes da construção. Construção e Meio Ambiente. Coletânea habitare, volume 7, p. 21- 57, 2006.

LEVINSON, R., AKBARI, H., BERDAHL, P. Solar spectral optical properties of pigments - Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. Science Direct. 2005.

LEVINSON. R., BERDAHL, P., BERHE, A., AKBARI, H. Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane. Science Direct. 2005.

LOH, K. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. São Paulo. Ed. Geraldo Cechella Isaia. Cap. 44 Tintas na construção Civil, pg. 1465 a 1504. IBRACON, 2007.

KAIRALLA, R., Antocio C., F., & Carlindo A., F. (1993). Aditivos. In: J. M. FAZENDA, Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia (pp. p.539-583, vol.1). São Paulo, SP: Textonovo Editora e Serviços Editoriais Ltda

PICCHI, F. A. A metodologia da durabilidade e seu papel na garantia da qualidade das construções. II Simpósio nacional de materiais de construção: Durabilidade dos materiais e componentes da construção Civil. Escola Politécnica da USP, 1988. Anais, p. 131- 143.

QUATTRONE, M.; JOHN, V, M. Proceedings DBMC. XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components. São Paulo, 2014.

RILEM. Disponível em: <<http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500178>. Acesso em: 10 jan 2015.>.

RODRIGUES, M. P. M. C. Durabilidade de revestimentos por pintura para proteção do betão armado. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, departamento de Engenharia Química. Lisboa, Portugal, 1998.

SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; KARLESSIET, 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.

SATO, N. M.; JOHN. V. M.; UEMOTO. K. Umidade e crescimento de microorganismos em fachadas. III Seminário internacional de durabilidade de materiais, componentes e estruturas. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, 1997. Anais, p. 63 - 68.

SHIRAKAWA, M., TAVARES, R., GAYLARDE, C. TAQUEDAD, M., LOH, K., JOHN, V. Climate as the most important factor determining anti-fungal biocide performance in paint films. *Science of the Total Environment*. 2010

SHIRAKAWA, M., WERLE, A., GAYLARDE, C., LOH, K., JOHN, V. Fungal and phototroph growth on fiber cement roofs and its influence on solar reflectance in a tropical climate. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013.

SHIRAKAWA, M.; LOH, K.; JOHN, V, M.; GAYLARDE, C,C. Biodeterioration of painted mortar surfaces in tropical urban and coastal situations: Comparison of four paint formulations. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65 (2011) 669 e 674.

SILVA, J. M. Caracterização de tintas látex para construção civil: diagnóstico do mercado do Estado de São Paulo. 2005. 199p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, A.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for urban environments. *Solar Energy*. Vol. 81, (2007) 488-497.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, v. 39, p. 1167-1174, 2007.

THE ENERGY STAR BRAND BOOK. Disponível em: <<https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/ES%20Brand%20Book%20Introduction.pdf>> Acesso em: 10 de outubro de 2016.

TITLE 24. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/CARBCEC_ConsolidatedSlides_9-27-2011.pdf> Acesso em: 07 de outubro de 2016.

UEMOTO, K. L. Influência da formulação das tintas de base acrílica como barreira contra a penetração de agentes agressivos nos concretos. 1998. 178p. Tese Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

UEMOTO, K. L; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. *Energy and Buildings*, v. 42, p. 17 – 22, 2010.

WERLE, A. VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTO FRIO E AUTOLIMPANTE. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, 2015.

3 TINTAS - CARACTERIZAÇÃO DE PIGMENTOS “FRIOS” E CONVENCIONAIS E PREPARO DE CORPOS DE PROVA

3.1 INTRODUÇÃO

3.1.1 Composição das tintas

A composição química e mineralógica, a morfologia, a dimensão de partículas e as propriedades físicas de suas matérias primas e a divisão proporcional de cada componente na mistura é que confere o desempenho da pintura. O conhecimento destas características permite a previsão de algumas de suas propriedades, como porosidade, refletância e durabilidade (LOH, 2007). A composição básica da tinta é formada por resina, pigmentos, aditivos e solventes, a Figura 3.1 apresenta um esquema com os componentes das tintas.

Figura 3.1- Componentes básicos da tinta
Fonte: próprio autor

3.1.1.1 Resina (veículo fixo)

É a responsável pela denominação da tinta como, por exemplo, as tintas acrílicas, alquídicas e epoxídicas. (Todas levam o nome da resina que a compõe). A função principal da resina é aglomerar as partículas sólidas dos pigmentos, ela é uma porção não volátil da tinta (FAZENDA; DINIZ, 2005). A resina é a responsável pela formação da película de tinta e confere a grande parte das características físicas e químicas da película, a resina determina o brilho, a resistência, a secagem (GUIA TECNICO AMBIENTAL TINTAS E VERNIZES, 2006).

O que concede o acabamento das tintas: Fosco, acetinado, alto brilho é a concentração de resina. Um dos parâmetros mais utilizados para associar a formulação ao desempenho das tintas é o **PVC - Pigment Volume Content**, que é definido como a fração volumétrica da porcentagem do pigmento sobre o volume total de sólidos do filme que inclui a resina (eq. 1) (SILVA, J.; Uemoto, K. 2005).

$$PVC = (V_p / V_p + V_v) \quad (1)$$

Sendo, V_p o volume do pigmento e V_v é o volume de veículo fixo (resina).

As tintas que apresentam maior porcentagem de PVC, ex: 50% tem menor concentração de resina em sua composição. O PVC interfere nas seguintes características da pintura, Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Influência do teor de resina nas características das pinturas.

Características	(PVC 30%)	(PVC 50%)
Acabamento	Acetinado	Fosco
Teor de resina/ Pigmentos	Maior teor de resina e menor teor de pigmentos.	Menor teor de resina e maior teor de pigmentos
Permeabilidade	Menor permeabilidade à água e vapores.	Maior permeabilidade.
Porosidade/ Quantidade de vazios	Menor porosidade, menor quantidade de vazios.	Maior porosidade, maior quantidade de vazios.
Refletância Solar	Menor	Maior

Essas características relacionadas ao teor de PVC, relacionadas na tabela 3.1, interferem na durabilidade das pinturas ao vão influenciar na durabilidade ao intemperismo natural das pinturas. A figura 3.2 apresenta imagens de micrografia de películas de pinturas com PVC 25% (a) e PVC 75% (b), ambas com aumento de 100 000x, para ilustrar como o teor de PVC influencia na porosidade da película de pintura.

Figura 3.2 – Micrografias de película de tinta, com aumento de 100 000x (a) pintura com 25% de PVC (b) pintura com 75% de PVC. Fonte: (UEMOTO, 1998).

A micrografia da película de pintura com teor de PVC de 25%, figura 3.2 (a) mostra a resina envolvendo as cargas e os pigmentos de maneira homogênea. Na imagem da pintura com PVC de 75%, figura 3.2 (b), pode-se verificar a presença dos pigmentos e cargas e a descontinuidade entre eles, alertando para a falta de resina.

3.1.1.2 Aditivos

No mercado existe uma vasta variedade de aditivos, como por exemplo, nivelador, antisedimentar, antipele, antiespumante, secante, entre outros. Estes aditivos conferem à tinta melhoria nas suas características. (FAZENDA; DINIZ, 2005).

3.1.1.3 Solvente (veículo móvel)

Também conhecido como veículo volátil, é utilizado na tinta com o objetivo de dissolver a resina conferindo viscosidade adequada para a sua aplicação. É líquido e volátil e pode ser classificado como: verdadeiro, latente ou inativo. (LOH, 2007; FAZENDA, DINIZ, 2005).

3.1.1.4 Pigmentos

Os pigmentos são substâncias sólidas, insolúveis de natureza orgânica ou inorgânica, que dá ao filme as propriedades de cor. Pode também conferir características como cobertura, resistência aos agentes químicos e à corrosão (ABNT NBR 12554, 2013). Eles são utilizados para conferir cor, opacidade e outras características e efeitos à tinta e são produzidos em fina granulometria. (FAZENDA; DINIZ, 2005). Os pigmentos não só proporcionam cores, mas também absorvem e refletem as diferentes partes do espectro da radiação solar conforme a sua

composição química e mineralógica, dimensão de partícula e concentração na película de pintura (LOH, 2007).

A cor é uma percepção humana, não uma característica absoluta de um objeto. Ou seja, a cor é uma sensação. Os estímulos da cor, registrados pela retina, são provocados pela distribuição de energia e as propriedades espectrais da luz visível que passa através, ou é refletida, por um objeto. (MELCHIADES; BOSCHI, 1999).

Os pigmentos são divididos em dois grupos: orgânicos e inorgânicos que são subdivididos em naturais (encontrados na natureza) e sintéticos (produzidos por meio de processos químicos), segundo o guia técnico ambiental de tintas e vernizes da CETESB (2006), há ainda uma terceira categoria de pigmentos chamada de pigmento de efeito.

Segundo Bondioli (1998), tanto os pigmentos orgânicos como inorgânicos tem grande importância na economia, o que vai diferenciar a escolha por um grupo ou outro é a aplicação, já que as propriedades gerais, de cada grupo, são muito diferentes.

3.1.1.5 *Pigmentos orgânicos*

São compostos que apresentam carbono em sua composição, podem ser solúveis ao meio (corantes) ou não. (LOH, 2007). Os pigmentos orgânicos apresentam elevado poder de coloração e se diferenciam dos inorgânicos principalmente pela vasta gama de tons muito brilhantes (BONDIOLI, 1998).

3.1.1.6 *Pigmentos inorgânicos*

Os pigmentos inorgânicos são os mais utilizados por apresentarem uma excelente estabilidade química e térmica e também, em geral, uma menor toxicidade para o homem e para o meio ambiente em comparação aos pigmentos orgânicos. Eles são divididos em dois grupos: naturais e sintéticos.

Os naturais são aqueles encontrados na natureza e por um período muito longo foram os únicos pigmentos conhecidos e utilizados. Entre os pigmentos naturais mais utilizados pode-se mencionar os óxidos simples e em particular os óxidos de ferro, já que dão origem a diversas colorações, do amarelo ao marrom, e os espinélios contendo metais de transição. (BONDIOLI, 1998) Os pigmentos inorgânicos sintéticos se diferenciam por serem produzidos mediante procedimentos químicos.

3.1.1.7 Pigmentos “frios”.

Os pigmentos frios cerâmicos são inorgânicos e constituídos por óxidos metálicos mistos (MMO – Mixed Metal Oxides). Esses pigmentos são formados por minerais que exibem uma estrutura cristalina bastante complexa, conhecida por espinélio (fórmula geral: $(\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$). (LEAL, 1974). As diferentes cores são resultados da incorporação, nessa matriz, de diferentes cátions coloridos formando uma grande variedade de possíveis composições e propriedades. (LOH, K., et al. 2009).

Os pigmentos absorvem e refletem as diferentes partes do espectro da radiação solar conforme a sua composição química e mineralógica, dimensão de partícula e concentração na película de pintura. A produção de materiais frios se baseia no controle da absorção da radiação solar, para a obtenção de tintas “frias”, incorporam-se pigmentos refletivos nas composições (LEVINSON et al, 2005); (RYAN, 2005); (FRISCHMANN, 2008); (UEMOTO et al, 2010).

Um pigmento “frio” deve ter a propriedade de refletir mais luz da região do infravermelho do espectro da radiação solar que os pigmentos convencionais e, para apresentarem a mesma cor, não devem apresentar diferença significativa da refletância na região do visível (IKEMATSU, 2007).

Para a produção de tintas “frias” pode-se utilizar a mesma matriz de uma tinta convencional acrílica e incorporar pigmentos cerâmicos frios, que concedem à tinta maior capacidade refletiva no infravermelho próximo. (IKEMATSU, 2007).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os dados de caracterização dos pigmentos utilizados na formulação das tintas “frias” e convencionais, o procedimento de formulação das tintas e o preparo dos corpos de prova.

Foram utilizadas diversas técnicas de seleção e caracterização de pigmentos como: refletância, cor, microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS, análise química e difratometria por raios x. Os três últimos ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Tecnológica da USP – LCT.

Esses ensaios foram realizados durante a vigência dos seguintes projetos da FAPESP: (2009/18246-0); (2011/00069-5); (2012/06357-5).

Foram formulados dois grupos de tintas descritos a seguir na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características das tintas formuladas em laboratório

Características	Tintas convencionais	Tintas “frias”
Formulação	Formulação básica de tinta “premium”.	Mesma formulação das tintas convencionais com substituição do pigmento convencional pelo “frio”.
Pigmentos	Pigmentos inorgânicos naturais nas cores: amarelo e marrom e pigmento orgânico preto utilizado na produção da tinta de cor cinza.	Pigmentos inorgânicos sintéticos, ditos “frios”.
Teor de resina	PVC 30% e 50%, acabamento acetinado e fosco respectivamente.	PVC 30% e 50%, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

As tintas utilizadas nesse trabalho atendem aos requisitos mínimos de desempenho referentes à classe de tintas látex *premium*, para superfícies externas.

3.2.1 Materiais utilizados

Foram utilizados pigmentos “frios” e convencionais nas cores: amarelo, marrom, preto (negro de fumo) e branco (dióxido de titânio).

3.3 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DE PIGMENTOS

3.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica analítica, em escala milimétrica a nanométrica, empregada na caracterização de materiais em diversos campos do conhecimento. Composição, superfície topográfica, morfologia e associações de fases são parâmetros obtidos nos estudos ao MEV a partir da resposta da interação de um fino feixe de elétrons com a área e o microvolume analisado. Equipamento: Quanta C600FEG (FEI) – Alto vácuo. O EDS (*energy dispersive x-ray detector*) é um acessório de caracterização microscópica de materiais, ele permite a identificação mineral, e o mapeamento da distribuição de elementos químicos por minerais, gerando mapas composicionais de elementos desejados.

3.3.2 Análise química

As composições químicas dos pigmentos “frios” foram determinadas por análise semiquantitativa sem padrões, utilizando análise de elementos químicos de flúor a

urânio, por meio de espectrômetro de fluorescência de raios X modelo *Axio Advanced*, da marca PANalytical.

3.3.3 Difratometria de raios x

Esse ensaio foi realizado pelo método do pó, utilizando difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo *X'Pert PRO* com detector *X'Celerator*. A identificação das fases cristalinas foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - *International Centre for Diffraction Data* (2003) e PAN-ICSD – *PANalytical Inorganic Crystal Structure Database* (2007).

3.3.4 Refletância solar

As medidas foram realizadas conforme a Norma ASTM C 1549-04, utilizando o equipamento Solar Spectrum Reflectometer marca Device modelo SSR-ER.

3.3.5 Medidas de cor

Os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM D 2244-89 utilizando colorímetro da marca Byk Gardner, geometria 45/0.

3.3.5.1 Desenvolvimento de metodologia de determinação de refletância e cor no material na forma de pó.

As medidas de refletância e cor dos pigmentos foram realizadas utilizando uma lamínula com até 1,5 mm de espessura sobre a camada de material que se deseja medir. A lamínula foi utilizada no procedimento de calibração dos equipamentos e durante a realização do ensaio. No processo de calibração foram conferidos os valores de refletância dos padrões sem e com a lamínula depois de calibrado, e eles permaneceram iguais, o que comprova a viabilidade deste método, assim como no ensaio de medida de cor.

3.3.6 Preparação das amostras:

- I. Sobre uma placa de vidro foram depositados os pigmentos cobrindo toda a superfície de um círculo de 4,0 cm de diâmetro, Figura 3.3 (a).
- II. Posicionar as etiquetas de identificação sobre cada amostra de pigmento
- III. Posicionar as lamínulas sobre os pigmentos.

3.3.6.1 Procedimento:

- I. Calibração do o equipamento de acordo com as instruções do fabricante, utilizando uma lamínula sobre a placa de referência.

- II. Realizar medições de refletância nas amostras de pigmentos apresentado na Figura 3.3 (b).

Figura 3.3 - Pigmentos coloridos depositados sobre placa de vidro (a); Medida de refletância em pigmentos (b). Fonte: Próprio autor.

3.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

3.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS

O ensaio de MEV com EDS possibilitou a visualização das partículas dos pigmentos, análise qualitativa de dimensão de partícula e identificação de elementos químicos.

3.4.1.1 Pigmento amarelo “frio”

A Figura 3.4 (a) e (b) apresenta a imagem das partículas dos pigmentos amarelos “frios”, na Figura 3.5 pode-se verificar a identificação dos elementos químicos presentes no pigmento.

Figura 3.4 – Imagem de MEV de pigmentos amarelos “frios”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 200 000x.

Figura 3.5 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento amarelo “frio”, em destaque o alto teor de Ti e O.

3.4.1.2 Pigmento amarelo “convencional”

A morfologia e dimensão de partícula dos pigmentos amarelos convencionais estão apresentadas na Figura 3.6 (a) e (b), assim como a identificação dos elementos químicos na Figura 3.7.

Figura 3.6 - Imagem de MEV de pigmentos amarelos “convencionais”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas em torno de 600nm; (b) imagem com aumento de 50 000x.

Figura 3.7 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento amarelo “convencional”, em destaque o alto teor de O e Fe.

3.4.1.3 Pigmento marrom “frio”

As imagens de MEV dos pigmentos marrons “frios” estão apresentadas na Figura 3.8 (a) e (b), e a identificação dos elementos químicos na Figura 3.9.

Figura 3.8 - Imagem de MEV de pigmentos marrons “frios”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 50 000x.

Figura 3.9 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento marrom “frio”, em destaque o alto teor de Ti e O.

3.4.1.4 Pigmento marrom “convencional”

Na Figura 3.10 (a) e (b), estão apresentadas as imagens de MEV das partículas de pigmento marrom “convencional” e na Figura 3.11 a identificação dos elementos químicos.

Figura 3.10 - Imagem de MEV de pigmentos marrons “convencionais”. (a) Imagem com aumento de 100 000x e barras indicando tamanho de partículas inferior a 500nm e presença de partículas menores aglomeradas; (b) imagem com aumento de 100 000x sem barra.

Figura 3.11 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados no pigmento marrom “convencional”, em destaque o alto teor de O e Fe.

3.4.1.5 Pigmento branco (TiO_2)

As imagens de microscopia eletrônica das partículas de TiO_2 estão apresentadas na Figura 3.12 (a) e (b), já a identificação dos elementos químicos presentes, é verificada na Figura 3.13.

Figura 3.12 - Imagem de MEV de partículas de TiO_2 . (a) Imagem com aumento de 200 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 100 000x.

Figura 3.13 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados nas partículas, em destaque o alto teor de Ti e O.

3.4.1.6 Pigmento preto “frio”

As imagens de MEV do pigmento preto “frio” estão apresentadas na Figura 3.14 (a) e (b), e a identificação dos elementos químicos, na Figura 3.15.

Figura 3.14 - Imagem de MEV de partículas de pigmento preto “frio”. (a) Imagem com aumento de 200 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas as partículas abaixo de 500nm; (b) imagem com aumento de 40 000x.

Figura 3.15 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados nas partículas, em destaque o alto teor de O e Cr

3.4.1.7 Pigmento preto convencional (negro de fumo)

As imagens das partículas do pigmento preto “convencional” estão apresentadas na Figura 3.16 (a) e (b), e a identificação dos elementos químicos na Figura 3.17.

(a)

(b)

Figura 3.16 - Imagem de MEV das partículas de pigmento preto. (a) Imagem com aumento de 200 000x e barras indicando tamanho de partículas, todas com tamanho abaixo de 50nm; (b) imagem com aumento de 100 000x partículas muito pequenas e aglomeradas.

Figura 3.17 - Espectro de EDS apresentando os principais elementos químicos encontrados nas partículas, em destaque o alto teor de C.

Nas composições dos pigmentos “frios”, com exceção ao pigmento preto, foram detectados altos teores de Ti e O. Esses pigmentos apresentaram formato de

partícula mais homogêneo e arredondado e dimensão abaixo dos 500nm. Os pigmentos convencionais, amarelo e marrom, apresentaram altos teores de Fe e O em suas composições além de dimensão de partícula maior do que o os pigmentos “frios” e hábito cristalino prismático.

O pigmento preto “frio” teve predominância dos elementos químicos O e Cr, formato arredondado e estrutura mais alongada, comparado á estrutura dos pigmentos “frios” amarelos e marrons. O pigmento preto “convencional” foi o que apresentou o menor tamanho de partícula de todos os pigmentos avaliados em torno de 50nm, é possível observar na imagem como as partículas estão aglomeradas, a composição química é formada por Carbono (C).

3.4.2 Análise química

Foi realizada a análise química, Tabela 3.3, dos pigmentos “frios” por meio de espectrômetro de fluorescência de raios x, para determinar a composição e o teor dos elementos químicos presentes.

Tabela 3.3 - Análise química dos pigmentos “frios”

Amostras	Amarelo “frio”	Marrom “frio”	Preto “frio”	Branco (TiO₂)
Na ₂ O	Nd	0.14	0.09	0.03
MgO	Nd	Nd	0.03	Nd
Al ₂ O ₃	0.02	15.1	0.27	3.25
SiO ₂	0.02	0.96	0.22	0.12
P ₂ O ₅	0.22	0.16	0.02	0.34
SO ₃	0.01	0.02	0.06	0.03
Cl	Nd	0.01	0.02	0.04
K ₂ O	0.18	0.11	0.02	Nd
CaO	Nd	0.01	0.05	0.02
TiO ₂	82.3	55.8	0.05	95.9
V ₂ O ₅	Nd	Nd	0.03	Nd
Cr ₂ O ₃	5.32	0.07	43.0	Nd
MnO	Nd	0.02	Nd	0.02
Fe ₂ O ₃	0.02	27.0	56.1	Nd
NiO	0.02	0.02	0.07	Nd
CuO	Nd	0.03	0.02	Nd
ZnO	Nd	0.02	Nd	Nd
ZrO ₂	0.02	0.01	Nd	0.26
Nb ₂ O ₅	0.02	0.01	Nd	Nd
MoO ₃	Nd	Nd	Nd	Nd
Sb ₂ O ₃	11.8	Nd	Nd	Nd
HfO ₂	Nd	Nd	Nd	Nd
WO ₃	Nd	Nd	Nd	Nd
PbO	0.01	Nd	nd	Nd

Nd = Traço < 0.01%.

A análise química confirmou os resultados obtidos por EDS, item 3.4.1, indicando que os pigmentos “frios” amarelo e marrom são constituídos por alta porcentagem de TiO_2 . O pigmento preto “frio” é constituído basicamente pelos óxidos de ferro e cromo (Fe_2O_3 e Cr_2O_3), que dão a coloração escura para o pigmento.

3.4.3 Difratometria de raios x

A Tabela 3.4 apresenta a composição mineralógica dos pigmentos “frios” e convencionais identificadas por difratometria de raios x. O apêndice A apresenta os difratogramas e as fases cristalinas.

Tabela 3.4 - Difratometria de raios x

Cor	Tipo	Nome do composto	Fórmula química	Mineral	Obs
Amarelo	“Frio”	Rutilo	TiO_2	-	
	Convencional	Goethita	FeO(OH)	Goethita	
Marrom	“Frio”	Rutilo	TiO_2	Rutilo	pp
		Óxido de antimônio	Sb_2O_5	-	
	Convencional	Hematita Magnetita Goethita	Fe_2O_3 Fe_3O_4 FeO(OH)	Hematita Magnetita Goethita	
Preto	“Frio”	Escolaíta Hematita	Cr_2O_3 Fe_2O_3	Escolaíta Hematita	
	Convencional	Amorfo			

pp= Possível presença

Os pigmentos “frios” tem na sua composição dióxido de titânio (TiO_2), exceto o pigmento “frio” de cor preta que é constituído por óxidos de ferro e cromo. Os pigmentos convencionais são constituídos por óxidos de ferro. O que diferencia a composição do pigmento “frio” preto dos pigmentos convencionais é a presença do óxido de cromo. Já o pigmento preto convencional é composto por carbono amorfo.

3.4.4 Refletância

A Tabela 3.5 apresenta os resultados de refletância dos pigmentos “frios” e “convencionais”.

Tabela 3.5 - Refletância de pigmentos

Cor	Tipo	Refletância (%)
Amarelo	“Frio”	65
	Convencional	46
Marrom	“Frio”	44
	Convencional	35
Preto	“Frio”	25
	Convencional	5,2
Branco	“Frio”	83

Os resultados de refletância mostram que os pigmentos “frios” apresentam valores superiores aos valores de refletância dos pigmentos “convencionais”, com diferenças de 14, 9 e 20%, respectivamente. O pigmento branco (TiO_2) foi o que apresentou valor de refletância mais elevado e o preto convencional o valor mais baixo, 5%.

3.4.5 Colorimetria

Os valores das medidas de cor realizadas nos pigmentos estão apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Colorimetria dos pigmentos “frios” e “convencionais”.

Cor	Tipo	L	a	b
Amarelo	“frio”	75.7	13.0	52.2
	“convencional”	71.5	12.8	50.7
Marrom	“frio”	45.0	24.3	28.4
	“convencional”	40.0	33.6	30.0
Preto	“frio”	29.9	5.39	5.33
	“convencional”	1.20	0.50	-0.90
Branco	“frio”	98.0	-0.28	1.90

Os resultados mostram semelhança entre os dois pigmentos de cores correspondentes. Os pigmentos pretos são os que apresentam maior diferença entre os valores de luminosidade, indicando que o pigmento preto convencional é mais escuro que o pigmento preto “frio”. O pigmento convencional preto é de natureza orgânica e tem maior poder de coloração do que os pigmentos de natureza inorgânica.

3.5 FORMULAÇÃO DE TINTAS

A fabricação de tintas consiste em operações físicas como: mistura, dispersão, completagem, filtração e envase. (GUIA TECNICO AMBIENTAL TINTAS E VERNIZES, 2006). A produção de tintas à base de água é constituída por uma dispersão aquosa com resina em emulsão, pigmentos cargas e aditivos. Essas tintas são muito utilizadas no mercado imobiliário e tem como vantagem o baixo odor, a fácil aplicação, rápida secagem e são menos agressivas ao meio ambiente (LOH, 2007).

3.5.1.1 *Materiais utilizados na formulação das tintas*

Foram formulados dois grupos de tintas alterando-se o volume da resina (PVC 30% e 50%), resultando em acabamento acetinado e fosco, respectivamente, e o tipo de

pigmento (“frio” e convencional), nas cores: branca, cinza, amarela e marrom. Os pigmentos brancos tem elevada capacidade refletiva, portanto foi formulada apenas uma tinta branca.

A fórmula utilizada na fabricação das tintas é a mesma utilizada nas indústrias para o preparo de tintas tipo *Premium* para uso exterior. No caso das tintas refletivas, foram utilizados os pigmentos cerâmicos “frios” ao invés de pigmentos convencionais, mas mantendo a formulação original.

A Tabela 3.7 apresenta a formulação básica utilizada para a produção das tintas, nos acabamento fosco e acetinado, as demais formulações estão apresentadas no anexo D.

Tabela 3.7 - Formulação básica de tinta imobiliária *premium*.

Formulação da tinta látex branca (g)		
Composição	Acabamento fosco	Acabamento acetinado
Água	34.2	35.3
Inibidor de ferrugem	0.03	0.03
Bactericida	0.15	0.15
Antiespumante	0.32	0.70
Tensoativo aniônico	0.05	0.10
Dispersante	0.45	0.45
Tensoativo não iônico	0.15	0.15
Espessante acrílico	0.15	0.50
Alcalinizante	0.11	0.30
Carbonato de cálcio precipitado	10.0	2.00
Agalmatolito	6.00	-
Dióxido de Titânio rutilo	15.0	17.0
Caulim hidratado	8.00	5.00
Carbonato de cálcio natural	2.00	2.00
Fungicida	0.50	0.50
Emulsão estireno-acrílica	21.0	31.0
Coalescente	1.00	2.50
Modificador reológico	0.92	2.30
Total	100.0	100.0

As tintas utilizadas neste trabalho foram produzidas nos laboratórios da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no departamento de Engenharia Civil. Optou-se por produzir as tintas ao invés de utilizar tintas comerciais para ter o conhecimento tanto da matéria prima quanto das proporções utilizadas nas formulações, sob a supervisão de um consultor da indústria de tintas.

Na Figura 3.18 (a) e (b) estão ilustradas parte da produção das tintas (dispersão) e ensaio de verificação de pH, respectivamente.

Figura 3.18 - Processo de produção das tintas (a) Dispersão (b) Ensaio de verificação de pH.
Fonte: Próprio autor

3.6 PREPARO DE CORPOS DE PROVA

3.6.1 Materiais e métodos

Foram produzidos dois tipos de revestimentos: “frios” e convencionais, aplicando-se as pinturas refletivas e as pinturas convencionais em substratos planos de fibrocimento (sem amianto) com dimensões 16cmx8cm. Para cada cor e acabamento foram preparados 3 corpos de prova, totalizando 24 corpos de prova de cada tipo de pintura.

3.6.2 Materiais utilizados

3.6.2.1 *Fundo preparador*

Utilizado para uniformizar e preparar as superfícies que receberão acabamento em pintura além de agregar partículas soltas.

3.6.2.2 *Placas de fibrocimento*

O uso de fibrocimento (sem amianto) como substrato para esse estudo deu-se pela importância que esse tipo de telha apresenta nas construções brasileiras, além de apresentar baixo custo e fácil instalação e manutenção. Esse componente é

largamente utilizado em moradias de baixo custo, armazéns industriais e instalações agrícolas.

3.6.2.3 Tintas “frias” e convencionais

Foram utilizadas as tintas produzidas em laboratório com PVC: 30% e 50%.

3.6.3 Métodos

3.6.3.1 Preparo do substrato

As placas de fibrocimento com 6mm de espessura foram cortadas nas dimensões de 8 x 16cm, lavadas e secas e não carbonatadas. Foi aplicado o fundo preparador segundo as instruções do fabricante, Figura 3.19 (a e b).

(a)

(b)

Figura 3.19 - Aplicação de fundo preparador nos substratos. (a) Aplicação em andamento; (b) Após secagem.

3.6.3.2 Procedimento de Pintura

Foram aplicadas 2 demãos de tinta nos substratos, utilizando trincha com cerdas macias, conforme indicado pela Norma ABNT 13006 (NBR, 1993). O volume de tinta aplicado foi medido por meio de seringa graduada. Volume utilizado em cada demão, Figura 3.20 (a e b): 1º demão: 5mm, 2º demão: 3mm.

(a)

(b)

Figura 3.20 – (a) Corpos de prova com identificação,(b) volume de tinta aplicado nos substratos.

Fonte: Próprio autor

Após a aplicação das pinturas os revestimentos, Figura 3.21, foram submetidos aos ensaios de caracterização de superfície: análise visual, refletância, colorimetria e emissividade.

Figura 3.21 - Revestimentos “frios” (fileira superior) e convencionais (fileira inferior).

Fonte: próprio autor.

3.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Os resultados da caracterização dos pigmentos mostraram a composição, morfologia e dimensão de partícula. Observou-se que os pigmentos “frios”, amarelo e marrom, contém elevada concentração de (TiO_2) na composição. O (TiO_2) é um pigmento altamente refletivo, possivelmente a característica “fria” dos pigmentos utilizados seja resultado da alta concentração de (TiO_2) em sua composição. Os valores de refletância dos pigmentos “frios” são superiores aos valores dos pigmentos convencionais.

Apesar de índices colorimétricos de ambos os pigmentos serem próximos, a comparação entre os pigmentos “frios” e convencionais mostrou propriedades refletivas muito distintas.

A produção das tintas em laboratório, conforme os procedimentos da indústria possibilitou o controle de todo o processo desde caracterização e seleção dos insumos até as proporções utilizadas nas fórmulas.

O procedimento de preparo das amostras foi realizado em laboratório e seguiu as etapas normais de pintura segundo as especificações dos fabricantes de tinta.

3.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12554: Tintas para edificações não industriais — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13006: Pintura de corpos-de-prova para ensaios de tintas. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14942: Tintas para construção civil — Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais — Determinação do poder de cobertura de tinta seca Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13006: Pintura de corpos-de-prova para ensaios de tintas. Rio de Janeiro, 1993.

AKBARI, H., MENON, S., ROSENFELD, A., 2009. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. Climatic Change 95.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D2244: Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color and Coordinates. West Conshohocken, PA, USA, 2002.

FELTRE, Ricardo; Fundamentos da Química, vol. Único, Ed. Moderna, São Paulo/SP – 1990

Frischmann, L. Thermo Control-How to Turn Black into Cool, PCI Paint & Coatings Industry, Feb. 1, 2008.

GIVONI, B. Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems. Energy and Buildings, n. 17, 1991. 177- 199.

GIVONI, B. Confort, climate analisys and building design guidelines. Energy and Buildings, n. 18, 1992. 11- 23.

GUIA TÉCNICO AMBIENTAL TINTAS E VERNIZES - SÉRIE P+L. 2006. Disponível em:< <http://www.crq4.org.br/downloads/tintas.pdf>>.

IKEMATSU, P. Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes. Dissertação de Mestrado, departamento de engenharia de construção Civil, Universidade de São Paulo, (2007).

LEVINSON, R., AKBARI, H., BERDAHL, P. Solar spectral optical properties of pigments— Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. Science Direct. 2005.

MELCHIADES, F, G.; BOSHI, A, O. Cores e tonalidades em revestimentos cerâmicos. Cerâmica Industrial, 4 (1-6) Janeiro/Dezembro, 1999.

PROCESSO FAPESP: 2009/18246-0 “Formulação, caracterização, desempenho e durabilidade de tintas “frias””.

PROCESSO FAPESP: 2012/06357-5 “Estudo do envelhecimento natural de tintas frias comparativamente às tintas convencionais”.

SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; KARLESSIET, 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.

SANTAMOURIS, M., SYNNEFA, A., KOLOKOTSA, D., DIMITRIOU, V., APOSTOLAKIS, K., 2008. Passive Cooling of the built environment – use of innovative reflective materials to fight heat island and decrease cooling needs. *International Journal Low Carbon Technologies* 3 (2), 71–82

SLEIMAN, M.; KIRCHSTETTER, T. W.; BERDAHL, P.; GILBERT, H. E.; QUELEN, S.; MARLOT, L.; PREBLE, C. V.; CHEN, S.; MONTALBANO, A.; ROSSELER, O.; AKBARI, H.; LEVINSON, R.; DESTAILLATS, H. Soiling of building envelope surfaces and its effect on solar reflectance – Part II: Development of an accelerated aging method for roofing materials. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 122 (2014) 271–281

RYAN, M. Introduction to IR- Reflective Pigments. Shepherd Color Company. (2005). Available in <http://www.shepherdcolor.com>. Accessed 16 January 2014.

TECNOLOGIA E QUALIDADE DE SISTEMAS EM ENGENHARIA Ltda. Programa Setorial de Tintas Imobiliárias. Resumo Executivo do Relatório Setorial nº 031A – Janeiro/ 2011.

UEMOTO, K. L; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. *Energy and Buildings*, v. 42, p. 17 – 22, 2010.

UEMOTO. K. Influência da formulação de tintas de base acrílica como barreira contra penetração de agentes agressivos nos concretos. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 1998.

4 DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS “FRIOS” E CONVENCIONAIS

4.1 INTRODUÇÃO

Existem vários trabalhos publicados Com relação ao desempenho térmico e refletância de pinturas de tintas imobiliárias do mercado (DORNELLES; RORIZ, 2007); (IKEMATSU, 2007); (CASTRO et al, 2003); (LOH et al, 2011); (DORNELLES; SICHIERI, 2014). O Estudo de (IKEMATSU, 2007) comprova que a substituição de pigmentos convencionais por pigmentos “frios” coloridos ou adições em formulações comerciais de tintas para coberturas e paredes permite a produção de tintas com cor e aparência semelhantes, com refletâncias similares na região do visível, e elevada refletância na região do infravermelho próximo (IR).

O trabalho de Uemoto, et al (2010) apresentou resultados de desempenho térmico de pinturas “frias” em comparação a pinturas convencionais onde foi observado que as pinturas “frias” apresentaram maior refletância solar do que as pinturas convencionais.

Conforme resultados de diversos estudos realizados (DORNELLES; RORIZ, 2007) (CASTRO et al, 2003) (LOH et al, 2011) (PAOLINI, et al, 2014) o uso de pinturas de elevada refletância contribui na eficiência energética e na melhoria do conforto térmico no interior de edificações.

É importante obter informações sobre desempenho térmico dos componentes de fachadas e coberturas para aperfeiçoar as escolhas dos produtos utilizados nos projetos arquitetônicos.

O objetivo do capítulo foi avaliar a influência da incorporação dos pigmentos “frios” nas propriedades de refletância, cor, emissividade e índice de refletância solar das pinturas.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A influência dos pigmentos “frios” na formulação das tintas foi avaliada por meio de ensaios de caracterização das pinturas, como: refletância, luminosidade,

emissividade e avaliação visual qualitativa, as imagens foram registradas por meio de escâner.

As imagens dos equipamentos de colorimetria, refletância e emissividade foram apresentadas no apêndice B.

4.2.1 Análise visual

A avaliação visual qualitativa das pinturas foi feita a olho nu em laboratório com luz branca. As imagens foram obtidas por escâner, marca HP Scanjet G2710 e resolução de 200dpi, para ilustração.

4.2.2 Refletância solar

As medidas foram realizadas conforme a Norma “*ASTM C 1549-04 Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer*”. Utilizando o equipamento *Solar Spectrum Reflectometer* marca Device modelo SSR-ER, que pode ser utilizado em medições em campo e em laboratório. Os resultados obtidos pelo equipamento permitem a leitura da refletância à radiação solar em função de dez diferentes irradiâncias que podem ser selecionadas de acordo com a necessidade.

4.2.3 Medidas de cor

Os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM D 2244-89 “*Calculation of color differences from instrumentally measured color coordinates*” utilizando colorímetro portátil da marca Byk Gardner, geometria 45/0, ele pode ser utilizado tanto em campo quanto em laboratório. Para avaliação dos resultados é utilizado o sistema (CIE), Figura 4.1, elaborado pela Comissão Internacional de Iluminação para quantificar as cores, baseado nas coordenadas:

L*: Luminosidade – refere-se ao nível entre escuro e claro, indo de preto ($L^*=0$) a branco ($L^*=100$);

a*: escala de vermelho a verde, com valores positivos para cores avermelhadas e negativos para cores esverdeadas;

b*: escala de amarelo a azul, com valores positivos para cores amareladas e negativos para cores azuladas.

Figura 4.1 - Sistema CIElab

Fonte: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10627>

Todas as medidas de refletância e cor foram realizadas em 5 pontos em cada corpo de prova, como indicado na Figura 4.2, abaixo.

Figura 4.2 – Pontos de medição de refletância e colorimetria

4.2.4 Ensaio de emissividade

Ensaio realizado conforme a norma ASTM C1371-04a – “*Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature using Portable Emismeters*”, utilizando equipamento da marca Device, modelo A-E1. O equipamento mede a emissividade hemisférica total à temperatura ambiente. Possui um detector que consiste em um termopar diferencial que é aquecido a fim de que haja uma diferença temperatura entre o detector e a amostra. Após a calibração,

amostra é colocada sobre o dissipador e a emissividade é determinada em comparação com as emissividades dos padrões de referência.

Os ensaios foram realizados em três pontos distintos em cada corpo de prova, conforme indicados na Figura 4.3, abaixo.

Figura 4.3 - Pontos de medição de emissividade

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Caracterização das superfícies

4.3.1.1 Avaliação visual

As imagens abaixo registram as pinturas antes do envelhecimento natural, as pinturas de cor branca, cinza, amarela e marrom estão apresentadas nas Tabelas 4.1; 4.2; 4.3 e 4.4, respectivamente.

Tabela 4.1 - Imagens de escâner das pinturas “frias” na cor branca, acabamento acetinado e fosco.

	Acabamento acetinado	Acabamento fosco
Pinturas “frias”

Tabela 4.2- Imagens de escâner das pinturas “frias” e convencionais na cor cinza, acabamento acetinado e fosco.

	Acabamento acetinado	Acabamento fosco
Pinturas “frias”
Pinturas convencionais

Tabela 4.3 – Imagens obtidas por escâner das pinturas “frias” e convencionais na cor amarela, acabamento acetinado e fosco.

	Acabamento acetinado	Acabamento fosco
Pinturas “frias”
Pinturas convencionais

Tabela 4.4 - Imagens de escâner das pinturas “frias” e convencionais na cor marrom, acabamento acetinado e fosco.

As pinturas apresentam homogeneidade de cor e aparência livre de imperfeições. Os dois grupos de pintura apresentam coloração muito similar ao olho nu.

4.3.1.2 Refletância

Na Tabela 4.5 estão apresentadas as médias dos resultados iniciais de refletância das pinturas “frias” e convencionais e na Tabela 4.6, a comparação dos resultados de refletância dos pigmentos em relação às pinturas.

Tabela 4.5 - Refletância (%) inicial de pinturas “frias” e convencionais

Cor	Pinturas “frias”		Pinturas convencionais	
	PVC 30%	PVC 50%	PVC 30%	PVC 50%
Branca	82,0	83,0	-	-
Cinza	70,0	70,0	52,0	54,0
Amarelo	60,0	62,0	40,0	43,0
Marrom	40,0	41,0	33,0	36,0

A partir das medidas iniciais de refletância é possível observar que todas as pinturas “frias” avaliadas apresentam capacidade refletiva superior, na região do infravermelho próximo, que as que as pinturas convencionais. Observou-se diferença de até 20% no valor da refletância comparando-se as pinturas de cor amarela “fria” e convencional. Não houve diferença entre PVC.

Tabela 4.6 - Comparação de refletância de pigmentos e pinturas

Pigmento	Tipo	Refletância pigmentos (%)	Pintura	Refletância pinturas acetinadas (%) (PVC 30%)	Refletância pinturas foscas (%) (PVC 50%)
Amarelo	“frio”	65,0	Amarela	60,0	62,0
	“convencional”	46,0		40,0	43,0
Marrom	“frio”	44,0	Marrom	40,0	41,0
	“convencional”	35,0		33,0	36,0
Preto	“frio”	25,0	Cinza	70,0	70,0
	“convencional”	5,2		52,0	54,0
Branco	“frio”	83,0	Branca	82,0	83,0

A tabela acima compara os valores de refletância dos pigmentos “frios” e convencionais com os valores de refletância das pinturas. A comparação dos valores de refletância mostrou que os valores de refletância dos pigmentos, de cor branca, amarela e marrom, são muito próximos aos valores de refletância obtidos nas pinturas de cores equivalentes.

A pintura de cor cinza foi formulada a partir das mistura dos pigmentos preto e branco, para chegar à tonalidade desejada, portanto, a comparação da refletância dos pigmentos com a refletância pinturas não se estende para esse grupo. Apesar disso é possível verificar o impacto da incorporação de pigmentos “frios” na refletância da pintura: o pigmento preto “frio” possui valor de refletância superior comparado ao pigmento preto convencional, deste modo a pintura “fria” também apresentou refletância superior comparada à pintura convencional.

A pintura cinza convencional, que mesmo sendo de cor clara apresentou refletância de cerca de 50%, esse valor de refletância caracteriza a pintura convencional cinza como uma cor média segundo a Norma ABNT 15575-1 (NBR, 2013).

4.3.1.3 Medidas de cor

A média dos valores de colorimetria das pinturas “frias” e convencionais está apresentada na Tabela 4.7.

Tabela 4.7- Medidas iniciais de cor das pinturas “frias” e convencionais

Pinturas “frias”				
PVC	Cor	L	a	b
30%	Cinza	82.7	-0.25	-0.67
50%		80.8	0.35	-0.48
30%	Amarela	71.7	16.9	53.5
50%		73.3	16.1	52.8
30%	Marrom	47.7	18.2	15.8
50%		49.9	18.5	17.5
Pinturas convencionais				
30%	Cinza	80.1	-0.95	-0.25
50%		80.4	-0.80	0.50
30%	Amarela	60.7	15.1	45.8
50%		63.2	15.7	48.3
30%	Marrom	37.5	28.9	19.7
50%		38.7	28.9	20.9

Os valores obtidos mostram que há uma pequena diferença entre os valores de luminosidade (L) das pinturas “frias” em comparação as convencionais. Entretanto, mesmo as pinturas que apresentam valores de luminosidade muito próximos, como no caso das pinturas de cor cinza “frias” e convencionais, podem apresentar valores de refletância muito distintos. A pintura “fria” de cor amarela apresenta valor de (L) inferior ao apresentado pela pintura cinza convencional, mas apresenta valor de refletância solar superior em cerca de 10%. O que significa que nem sempre existe uma correlação direta entre cor, que ocorre na faixa do visível, e refletância solar medida, que ocorre na região do infravermelho. Sendo assim, nem sempre a superfície mais clara possui maior refletância.

4.3.1.4 Emissividade

Os valores iniciais de emissividade estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Emissividade inicial das pinturas

PVC	Cor	Pinturas “frias”	Pinturas convencionais
30%	Cinza	0.87	0.89
50%		0.89	0.92
30%	Amarela	0.85	0.89
50%		0.88	0.92
30%	Marrom	0.89	0.90
50%		0.88	0.90

A emissividade é uma característica de superfície, portanto ela não apresentou diferença significativa nos valores entre os tipos de pintura. Os valores obtidos são elevados, caracterizando a pintura como um material de alta emissividade.

4.3.1.5 Índice de refletância solar

Os valores iniciais do índice de refletância solar das pinturas estão apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Índice de refletância solar inicial das pinturas

Tipo	PVC	Cor	SRI
"Fria"	30%	Cinza	85
Convencional			67
"Fria"	50%		86
Convencional			68
"Fria"	30%	Amarelo	71
Convencional			45
"Fria"	50%		74
Convencional			50
"Fria"	30%	Marrom	45
Convencional			40
"Fria"	50%		46
Convencional			40

O índice de refletância solar das pinturas “frias” é superior ao valor obtido nas pinturas convencionais, em todas as cores avaliadas. As pinturas claras possuem SRI mais elevado que as pinturas de cor escura, e a diferença entre os tipos, “fria” e convencional, também é maior nas pinturas de cor clara que nas escuras. O teor de resina das pinturas não influenciou no valor inicial do SRI.

O *Cool Roof Rating Council* (CRRC) adota o valor de SRI estipulado pelo Title 24, que determina valor mínimo de SRI para superfícies “frias” de 75.

Comparando os valores de SRI das pinturas com o valor estipulado pelo Title 24, apenas as pinturas “frias” de cor cinza atendem ao requisito mínimo.

4.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Os resultados mostraram que as pinturas “frias” possuem valor inicial de refletância mais elevado que as pinturas convencionais, em todas as cores avaliadas e que a adição de pigmentos cerâmicos “frios” na formulação das tintas elevou a refletância das pinturas de cores mais escuras. Portanto, permite ao consumidor selecionar cores escuras com melhor desempenho térmico. O índice de refletância solar das pinturas “frias” foi superior ao índice das pinturas convencionais, mas comparando-

se o valor obtido com o valor estipulado pelo Title 24 apenas as pinturas “frias” de cor cinza atenderam ao requisito mínimo.

Foi possível observar também que os valores de refletância dos pigmentos foram muito próximos dos obtidos nas pinturas correspondentes, ou seja, conhecendo o valor de refletância do pigmento é possível estimar a refletância da pintura.

Os resultados mostraram que nem sempre cores mais claras são mais refletivas, como o exemplo das pinturas convencionais de cor cinza que possuem valor de refletância inferior às pinturas “frias” de cor amarela, mesmo apresentando índice de luminosidade mais elevado.

O procedimento de seleção e caracterização pode, eventualmente, baratear o custo de produção, já que as propriedades refletivas das tintas poderão ser previstas mediante os resultados obtidos nos ensaios de refletância e colorimetria, realizados nos pigmentos, evitando testes de produção de determinados lotes para produção de tintas com desempenho desejado.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM E1980. Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. [s.l.] ASTM International, 2011. Disponível em: <<http://www.astm.org/Standards/E1980.htm>>.

ASTM E903. Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. [s.l.] ASTM International, 2012.

CRRC. Green Building Programs. Disponível em: <http://coolroofs.org/documents/Cool_Roof_Ratings_Codes_and_Programs021710.pdf>. Acesso em: 07 outubro 2016.

CRRC. Title 24 Update: Summary of 2013 Changes to California's Cool Roof Requirements. Disponível em: <http://coolroofs.org/documents/Title24_2013_Update_Summary.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2016.

DORNELLES, K.; CARAM, R.; SICHIERI, E. Natural weathering of cool coatings and its effect on solar reflectance of roofs surfaces. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. *Energy Procedia* 78 (2015) 1587 – 1592.

MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z. Economic Evaluation of the Building Envelope and Operation Period of Heating System in Terms of Thermal Comfort. *Energy and Buildings*, v.38, n.1, p. 266-272, 2006.

MICKELS, C.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Avaliação da redução no fluxo de calor proporcionada pelo uso de barreiras radiantes em cobertura. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, 2006.

WONG, N.H.; LI, S. A Study of the Effectiveness of Passive Climate Control in Naturally Ventilated Residential Buildings in Singapore. *Building and Environment*, v.42, n.1, p 1395-1405, 2007.

SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; KARLESSIET, 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.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings* 2007,39:1167–74.

UEMOTO, K. L; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. *Energy and Buildings*, v. 42, p. 17 – 22, 2010.

5 ENVELHECIMENTO NATURAL DOS REVESTIMENTOS “FRIOS” E CONVENCIONAIS

5.1 INTRODUÇÃO

As tintas “frias” apresentam os mesmos problemas observados nas tintas convencionais após um determinado período de exposição, o agravante nas pinturas “frias” é que uma fina camada de sujeira pode interferir na alteração da refletância solar. Os revestimentos refletivos para serem efetivos devem manter a sua refletância inicial um longo período por isso a necessidade de se avaliar esta propriedade ao longo do tempo. Limpezas periódicas podem ser realizadas para amenizar o problema da alteração da refletância com a exposição ao meio ambiente (BRETZ; AKBARI, 1997).

A questão da durabilidade dos materiais abrange o âmbito econômico e ambiental, já que se o material não apresentara durabilidade esperada, será necessária a sua troca, ou no caso das pinturas, repintura das superfícies danificadas. Essa questão vai impactar no bolso do consumidor e no meio ambiente já que a produção de materiais será maior, para atender a demanda, e o descarte será proporcional.

Apesar das alterações que as superfícies podem sofrer com a exposição ao intemperismo, limpezas periódicas podem amenizar a redução da refletância. Um estudo realizado com 10 tipos de telhados na Califórnia mostrou que a refletância destes “materiais frios” pode diminuir ao redor de 15% no primeiro ano de exposição ao meio ambiente natural (LEVINSON et al, 2005). As superfícies de cores escuras apresentam valores mais baixos de refletância em comparação às superfícies com cores claras, porém quando expostas, as pinturas claras tendem a apresentar maior queda na refletância, por deposição de sujeira e microrganismos, que as pinturas de cores escuras (CASTRO, 2003). A exposição ao meio ambiente altera também esta propriedade reduzindo a refletância mesmo havendo limpeza periódica por isso a grande importância de avaliação da sua durabilidade (LEVINSON et al, 2005).

O impacto do envelhecimento sobre o desempenho de materiais de construção para fachadas e coberturas é relevante e deve ser considerado no projeto de edifícios

sustentáveis. Assim, existe uma necessidade de desenvolver uma nova geração de materiais para coberturas “frias” que sejam fáceis de limpar e capazes de manter a sua alta reflexão solar inicial para o maior tempo possível (PAOLINI, 2014).

Alguns trabalhos mostram que a redução da refletância dos materiais “frios” ocorre logo após os primeiros meses de exposição ao envelhecimento natural. Segundo Berdahl (2002) os materiais com elevados índices de refletância iniciais acima de 0,75, estima-se uma redução da refletância inicial na ordem de 20% no primeiro ano de exposição.

O trabalho de Dornelles; Caram e Sichieri (2015) avaliou o envelhecimento natural de pinturas brancas e coloridas expostas na cidade de São Carlos, SP. Os resultados apresentaram queda no valor da refletância das pinturas após 18 meses de envelhecimento natural. As pinturas de cor clara apresentaram maior queda na refletância que as pinturas de cor escuras, as pinturas de os três tipos de pinturas brancas avaliadas apresentaram redução de 27.9%, 26.9% e 20.1%, respectivamente. Já as pinturas de cor escuras, verde escuro e preto, apresentaram aumento de 0,9% e 1% sobre a refletância solar inicial, respectivamente. Demonstrando que os particulados depositados podem ser mais refletivos que as superfícies de cores muito escuras.

Werle (2015) avaliou a durabilidade de revestimentos cimentícios “frios” autolimpantes expostos nos sítios de São Paulo, Pirassununga e Ubatuba ao longo de 12 meses. E observou que o microclima influenciou nos resultados de luminosidade e refletância, as amostras brancas expostas em Ubatuba apresentaram degradação média de 3,60%, Pirassununga 13,20%, São Paulo 17,30%, enquanto que as amostras amarelas degradaram em cerca de 7,83%, 15,50% e 19,46%, respectivamente.

O objetivo desse capítulo é avaliar a manutenção da propriedade refletiva após três anos de envelhecimento natural e verificar a influência do ambiente de exposição.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados os ensaios de avaliação visual qualitativa, refletância, luminosidade e emissividade, nas pinturas “frias” e convencionais ao longo de três anos de envelhecimento natural.

5.2.1 Materiais

O estudo é composto por dois grupos de pinturas aplicadas em substratos de fibrocimento, como descrito o item 3.6.1.

Em cada sítio de envelhecimento foram expostos 42 corpos de prova, o estudo foi composto no total por 126 corpos de prova.

5.2.2 Preparação de corpos de prova

A preparação dos corpos de prova foi descrita no item 4.2 (capítulo 4).

5.3 LOCAIS DE EXPOSIÇÃO

Para o ensaio de envelhecimento natural, foram selecionados três localidades no estado de São Paulo, todas as áreas selecionadas pertencem à Universidade de São Paulo. A intenção foi contemplar três microclimas: urbano, rural e costeiro. A Figura 5.1 apresenta a localização das cidades, onde as pinturas foram expostas, no mapa do Estado de São Paulo e os dados climáticos das cidades estão presentes na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Dados climáticos das cidades onde estão localizados os sítios de envelhecimento

Sítios	Latitude	Longitude	Temperatura média anual (°C)	Umidade relativa média (%)	Irradiação natural média (kWh/m ²)	Velocidade do vento (m/s)
São Paulo	-23° 33' 14,76" S	-46° 43' 54,23" W	22,4	78	4,2 – 4,55	5
Ubatuba	-23° 30' 1,44" S	45° 7' 8,45" W	24	87,6	4,2 – 4,55	5
Pirassununga	-21° 57' 33,34" S	-47° 27' 7,78" W	22	73	5,25 – 5,60	2,66

Fonte: (WERLE, 2015).

Para a exposição dos corpos de prova foram projetadas e confeccionadas racks de alumínio anodizado, que apresentam boa resistência ao intemperismo. As faces pintadas dos corpos de prova foram fixadas voltadas para o Norte verdadeiro nas três diferentes estações de envelhecimento natural descritas a seguir:

Sítio de São Paulo Localizado no Campus Universidade de São Paulo, da Engenharia Civil, junto ao Laboratório de Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil. Endereço: Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa três, nº 380 – São Paulo – SP. Figura 5.2 (b).

Sítio de Pirassununga Localizado no Campus Administrativo de Pirassununga (PCAPS) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de

Alimentos da Universidade de São Paulo - Departamento de Zootecnia – Pirassununga, São Paulo A estação está situada em uma altitude d e 635m. Endereço: Av. Duque de Caxias Norte, 225, Pirassununga – SP. Figura 5.2 (c).

Sítio de Ubatuba

Localizado na Base Oceanográfica Clarimundo de Jesus em Ubatuba, São Paulo do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). A estação esta situada no litoral norte do Estado. Endereço: Praia do Lamberto, km 250, Enseada do Flamengo, Ubatuba (SP). Figura 5.2 (d).

Figura 5.1 – (a) Mapa do estado de São Paulo (b) Sítio de São Paulo (c) Sítio de Pirassununga (d) Sítio de Ubatuba.

Fonte: próprio autor

5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos nas análises de refletância, emissividade e luminosidade foram analisados estatisticamente utilizando-se a análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 95%. A análise de variância verificou a interação de 3 variáveis: Sítio (São Paulo, Pirassununga e Ubatuba), PVC (50% e 30%) e Tipo (“frias” e convencionais). A análise estatística foi realizada por meio do programa *Statística 12.0* da empresa *Statsoft*.

5.4.1 Refletância

5.4.1.1 *Refletância pinturas brancas*

A Figura 5.2 apresenta gráfico da análise de variância fatorial dos resultados de refletância das pinturas de cor branca, com acabamento acetinado, após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.2 - Análise de variância fatorial de refletância da pintura apresentou interação do fator sítio. ($p=0.00000$).

As pinturas de cor branca expostas em São Paulo e Pirassununga apresentaram valor de refletância equivalente. As pinturas expostas em Ubatuba apresentaram resultados de refletância mais baixos.

5.4.1.2 *Refletância pinturas “frias” e “convencionais” cor cinza*

A Figura 5.3 apresenta o gráfico da análise de variância fatorial dos resultados de refletância das pinturas de cor cinza, “frias” e convencionais, com acabamento acetinado, após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.3 – Análise de variância fatorial de refletância da pintura cinza apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00000$).

Na análise de variância fatorial das pinturas de cor cinza, houve interação entre dois fatores: Sítio (São Paulo, Pirassununga e Ubatuba) e Tipo ("fria" e convencional).

As pinturas expostas em São Paulo e Pirassununga apresentaram refletância superior às pinturas convencionais. As pinturas que apresentaram os menores valores de refletância foram expostas no site de Ubatuba.

5.4.1.3 Pinturas "frias" e "convencionais" cor amarela

A Figura 5.4 apresenta gráfico da análise de variância fatorial dos resultados de refletância das pinturas de cor amarela, "frias" e convencionais após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.4 – Análise de variância fatorial de refletância da pintura amarela apresentou interação entre 2 fatores: Sítio e Tipo. ($p=0.00000$).

Na análise de variância fatorial das pinturas de cor amarela, houve interação entre dois fatores: Sítio (São Paulo, Pirassununga e Ubatuba) e Tipo (“fria” e convencional).

A refletância das pinturas “frias” de cor amarela foi superior à refletância das pinturas convencionais. As pinturas “frias” que tiveram os valores de refletância mais baixos foram expostas no site de Ubatuba.

5.4.1.4 Pinturas “frias” e “convencionais” cor marrom

A Figura 5.5 apresenta gráfico da análise de variância fatorial dos resultados de refletância das pinturas de cor marrom, “frias” e convencionais (PVC 30%) após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.5 – Análise de variância fatorial de refletância da pintura marrom apresentou interação entre 2 fatores: Sítio e Tipo. ($p=0.00000$)

As pinturas “frias” de cor marrom apresentaram valor de refletância superior em relação às pinturas convencionais, as pinturas que apresentaram os menores valores de refletância foram às expostas nos sites de São Paulo (pinturas convencionais) e Ubatuba (pinturas “frias”).

5.4.2 Luminosidade

5.4.2.1 *Luminosidade pinturas de cor branca*

A Figura 5.6 apresenta os valores de Luminosidade das pinturas de cor branca acetinadas após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.6 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura branca apresentou interação de dois fatores: Sítio e PVC. ($p=0.00000$).

A refletância solar das pinturas brancas, expostas em São Paulo e Pirassununga, teve influência do teor de PVC utilizado. As pinturas expostas com acabamento fosco (PVC 30%) apresentaram valor de refletância superior do que as pinturas com acabamento acetinado (PVC 50%). Já as pinturas brancas, nos dois tipos de acabamentos expostas em Ubatuba, apresentaram valor de refletância equivalente, após três anos de envelhecimento.

5.4.2.2 Luminosidade pinturas “frias” e “convencionais” cor cinza

A Figura 5.7 apresenta os valores de Luminosidade das pinturas de cor cinza, “frias” e acetinadas após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.7 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura cinza apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00009$).

As pinturas de cor cinza, tanto “frias” como convencionais expostas nos sites de São Paulo e Pirassununga, apresentaram valores de luminosidade equivalente. Comparando-se as pinturas expostas no site de Ubatuba, as convencionais apresentaram valor de luminosidade superior que as “frias”.

5.4.2.3 Luminosidade pinturas “frias” e “convencionais” cor amarela

A Figura 5.8 apresenta os valores de Luminosidade das pinturas de cor amarela, “frias” e acetinadas após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.8 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura amarela apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00000$).

As pinturas amarelas “frias” expostas nos sites de São Paulo e Pirassununga apresentaram luminosidade superior às pinturas convencionais expostas nos mesmos sites, essa lógica se inverte quando avaliamos as pinturas exposta no site de Ubatuba.

5.4.2.4 Luminosidade pinturas “frias” e “convencionais” cor marrom

A Figura 5.9 apresenta os valores de Luminosidade das pinturas de cor cinza, “frias” e acetinadas após 3 anos de envelhecimento natural.

Figura 5.9 - Análise de variância fatorial de luminosidade da pintura marrom apresentou interação de dois fatores: Sítio e tipo. ($p=0.00000$).

As pinturas “frias” de cor marrom apresentaram luminosidade superior às pinturas convencionais.

5.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Após três anos de envelhecimento natural as pinturas “frias” continuam apresentando valores de refletância superiores quando comparados às pinturas convencionais expostas nas mesmas condições.

Houve escurecimento de todas as pinturas ao longo do tempo e esse fenômeno afeta a propriedade de refletância.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. O Desafio da sustentabilidade na construção. Blucher, 2011.

BERDAHL, P.; AKBARI, H.; ROSE, L. S. Aging of reflective roofs: Soot deposition. OpticsInfoBase, p. 2355–2360, 2002.

BRETZ, S, E; H. Albari, Long-term performance of high-albedo roof coatings. Energy and buildings. 25 (1997) 159-167.

CASTRO, A., LABAKI, L., CARAM, R., BASSO, A., FERNANDES, M. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. Ambiente Construído, 2003.

CRRC. Green Building Programs. Disponível em: <http://coolroofs.org/documents/Cool_Roof_Ratings_Codes_and_Programs021710.pdf>. Acesso em: 07 outubro 2016.

CRRC. Title 24 Update: Summary of 2013 Changes to California's Cool Roof Requirements. Disponível em: <http://coolroofs.org/documents/Title24_2013_Update_Summary.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2016.

DORNELLES, K.; CARAM, R.; SICHIERI, E. Natural weathering of cool coatings and its effect on solar reflectance of roofs surfaces. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. *Energy Procedia* 78 (2015) 1587 – 1592.

EPA. Home : ENERGY STAR. Disponível em: <<http://www.energystar.gov/>>. Acesso em: 6 jul. 2015.

LEVINSON, R., AKBARI, H., BERDAHL, P. Solar spectral optical properties of pigments - Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. Science Direct. 2005.

LEVINSON. R., BERDAHL, P., BERHE, A., AKBARI, H. Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane. Science Direct. 2005.

LOH, K; SATO, N.; SILVA, I. Durability of cool and conventional colored coatings after six months exposure at different environments. XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components - DBMC, 2014.São Paulo, Brasil.

PAOLINI, R.; ZINZI, M.; POLI, T.; CARNIELO, E.; MAININI, A. Effect of ageing on solar spectral reflectance of roofing membranes: Natural exposure in Roma and Milano and the impact on the energy needs of commercial buildings. *Energy and Buildings*. Vol 84, December 2014, Pages 333–343.

RODRIGUES, M. P. M. C. Durabilidade de revestimentos por pintura para proteção do betão armado. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, departamento de Engenharia Química. Lisboa, Portugal, 1998.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, A.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for urban environments. *Solar Energy*. Vol. 81, (2007) 488-497.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, v. 39, p. 1167-1174, 2007.

WERLE, A. VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTO FRIO E AUTOLIMPANTE. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, 2015.

6 MANUTENÇÃO DA CAPACIDADE REFLETIVA DAS PINTURAS

6.1 INTRODUÇÃO

A elevada refletância na região do infravermelho é um fator determinante para que uma superfície seja considerada “fria”, portanto a manutenção dessa característica ao longo do tempo é fundamental.

Existem trabalhos importantes sobre durabilidade de pinturas “frias” como o dos autores SYNNEFA; SANTAMOURIS e APOSTOLAKIS (2007), que apresenta valores comparativos entre pinturas coloridas convencionais e frias, utilizando os dados de refletância solar e de emissividade. As amostras foram expostas ao envelhecimento natural e após três meses de exposição foram realizadas novas medidas e o valor de refletância obtido estava menor do que o inicial. Foi realizado o procedimento de lavagem das superfícies e novas medidas de refletância, onde se observou a retomada de grande parte da refletância, Figura 6.1.

Solar reflectance (SR) of cool and colored matched standard coatings and % increase in SR between them. Aged SR after 3 months of natural exposure and SR after rinsing the samples with water

Color	Solar reflectance (%)		% Increase SR _(cool-stand)	Aged SR (3 months)		Restored SR	
	Cool	Standard		Cool	Standard	Cool	Standard
Orange	63	53	19	58	49	61	50
Light blue	42	40	5	38	37	39	38
Blue	33	18	83	30	18	31	18
Green	27	20	35	26	19	26	19
Black (1)	12	6	100	12	6	12	6
Anthracite	26	7	271	25	7	25	7
Brown	34	23	48	33	23	33	23
Chocolate brown	27	9	200	26	9	26	9
Light brown	36	22	64	33	22	34	22
Black (2)	27	5	440	26	5	26	5

Figura 6.1 - Refletância Solar de pinturas frias e convencionais expostas ao envelhecimento natural por três meses.

Fonte: (SYNNEFA et al, 2007)

Foi constatado neste estudo que após a lavagem das superfícies, a refletância foi retomada em 97% em relação ao valor de refletância inicial.

O estudo de (Loh, et al, 2011), utilizou os mesmos sítios de envelhecimento natural utilizados nesse trabalhos: São Paulo, Pirassununga e Ubatuba. O estudo avaliou o aspecto de pinturas brancas após 7 anos de exposição ao envelhecimento natural, a alteração do aspecto visual das pinturas mostrou que procedimento de limpeza da água pode recuperar parte do aspecto visual inicial.

Um trabalho mais atual e que contempla mais de uma cidade como site de envelhecimento natural, foi o realizado pelos autores PAOLINI; ZINZI; POLI; CAENIERO; MAININI (2014) Neste estudo, os refletâncias solares espectrais de 12 membranas foram medidos antes da exposição e após 3, 6, 12, 18 e 24 meses de exposição ao envelhecimento natural, em sites localizados nas cidades Roma e Milão, na Itália. O trabalho avalia o impacto da variação refletância solar sobre as temperaturas da superfície dos telhados com e sem isolamento, esses dados foram utilizados para calcular a energia necessária de aquecimento e arrefecimento de um edifício comercial típico em Milão e Roma.

Os resultados do trabalho desses autores mostraram que o envelhecimento foi causado principalmente pelo intemperismo e sujeidade e não por crescimento microbiológico. Os autores utilizaram as membranas envelhecidas em edifícios para avaliar o quanto a perda da refletância poderia afetar o desempenho térmico dos edifícios e constataram que o envelhecimento das membranas utilizadas nas coberturas aumenta a demanda por resfriamento no interior das edificações, e que essa demanda pode ser corrigida quando se instalam novas membranas brancas no telhado. No final, os autores afirmam que, apesar da queda no valor da refletância solar, os telhados “frios” são eficazes para mitigar ilhas de calor e reduzindo o consumo de energia para resfriamento de edificações, mas salientaram que o intemperismo e sujeidade podem afetar fortemente a reflexão solar desses componentes, especialmente se eles estiverem expostos em locais com grande poluição atmosférica.

No Brasil, existem alguns estudos sobre o uso de pinturas refletivas e a sua durabilidade nas universidades (USP; UFSC e UNICAMP), com os seguintes autores: (CASTRO et al, 2003); (LOH et al, 2008); (LOH et al, 2012); (IKEMATSU, 2007); (GAYLARD et al, 2011); (DORNELLES; SICHIERI, 2014).

Segundo Uemoto (2008), a exposição em longo prazo pode conduzir a deformação visual. O que comumente altera a aparência e a refletividade da superfície das edificações são os seguintes fatores: poluição atmosférica, deposição de sujeidade e colonização biológica por contaminantes, tais como algas e fungos (LOH, et al, 2012).

O período de exposição ao envelhecimento utilizado por (SYNEFFA, et al, 2007) é insuficiente para caracterizar o desempenho de pinturas ao longo do tempo

(PAOLINI, et al, 2014), porém foi justificado pelos autores como sendo o período crítico para a redução da refletância. Para estudos de durabilidade eficientes é necessário longo tempo de exposição às intempéries, detalhada caracterização climática do meio e procedimentos de lavagem e manutenção.

A Figura 6.2 ilustra como a manutenção é capaz de melhorar o desempenho mínimo de materiais aumentando assim a sua vida útil.

Figura 6.2 - Função de desempenho versus tempo descrevendo a durabilidade de um produto em determinadas condições ambientais. Atividades de manutenção podem recuperar o desempenho perdido, postergando o fim da vida útil.

Fonte: (JOHN; SATO, 2006).

Para as pinturas “frias” ocorre o mesmo mecanismo observado na figura 6.2, as limpezas periódicas, podem recuperar parte da refletância inicial aumentando assim a vida útil desses revestimentos.

Esse capítulo avalia a capacidade de manutenção da propriedade refletiva das pinturas “frias” e convencionais após procedimento de limpeza.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Após o período de 3 anos de envelhecimento natural os corpos de provas foram submetidos ao processo de lavagem para avaliar a recuperação da capacidade refletiva das superfícies.

6.2.1 Lavagem com alta pressão

A limpeza dos corpos de prova foi realizada por meio de lavagem com alta pressão que é uma técnica utilizada por muitas empresas de manutenção de fachada de edifícios. Esta técnica consiste em amolecer as sujidades e eliminá-las instantaneamente com a ajuda do jato de água, que pode ser frio ou quente, sob alta pressão (CSTC, 1995). Para a realização do procedimento utilizou-se um pressurizador de água de alta pressão monofásica, posicionada a 10 cm de distância dos corpos de prova, pressão 110 bar, da marca Karcher, modelo K 2.170, Procedimento:

Os corpos de prova foram posicionados nas racks de envelhecimento natural com inclinação de 45°, Figura 6.3 (a), cada corpo de prova recebeu jato de água por 20 segundos, a distância estabelecida entre o bico do jato de água pressurizado e a superfície do corpo de prova foi de 30 cm. A lavagem dos corpos de prova consistiu em jato pressurizado de água com distância de 30 cm e 20 segundos em cada amostra, Figura 6.3 (b).

(a)

(b)

Figura 6.3 - corpos de prova fixados na rack para procedimento de lavagem (a); Lavagem de corpos de prova com água pressurizada (b)

Fonte: Próprio autor

Os corpos de prova ondulados presentes nas figuras fazem parte de outro estudo.

Após a lavagem os corpos de prova permaneceram posicionados na rack por cerca de 3 horas para secarem completamente, Figura 6.4.

Figura 6.4 - Corpos de prova após lavagem
Fonte: Próprio autor

Após o período de secagem os corpos de prova foram levados ao laboratório onde foram realizados os ensaios de caracterização de superfície após a lavagem.

Foram realizados ensaios de análise visual qualitativa, refletância solar, medidas de luminosidade e emissividade como descritos no item 4.1.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 Análise visual

A distribuição das imagens foi feita por cor, tipo e acabamento. Em cada tabela estão apresentadas as imagens de escâner obtidas antes e após o envelhecimento natural (inicial), após o envelhecimento (2 e 3 anos) e após a lavagem, realizada na metade inferior de cada corpo de prova, evidenciada por uma linha pontilhada.

6.3.1.1 Pinturas de cor branca

Nas Tabelas 6.1 e 6.2 estão apresentadas as imagens das pinturas “frias” de cor branca.

Tabela 6.1 - Pintura branca acabamento acetinado

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

Inicial		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

Tabela 6.2 - Pintura branca acabamento fosco

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

Inicial		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

As pinturas brancas apresentaram mudança significativa no aspecto e aparência ao longo do período de exposição ao envelhecimento natural. Houve também diferença no aspecto das pinturas quando comparadas às pinturas expostas nos diferentes sítios de envelhecimento. As pinturas que foram expostas ao ambiente rural (Pirassununga) apresentaram coloração em tom avermelhado devido à predominância de solo argilomineral de cor vermelha na região de Pirassununga. As pinturas expostas no sítio de Ubatuba apresentaram escurecimento significativo causado por crescimento de microorganismos nas superfícies sendo o terceiro ano o mais crítico na alteração da aparência de todas as pinturas. As amostras de São Paulo apresentaram escurecimento em tom cinza, de maneira homogênea nas pinturas.

6.3.1.2 *Pinturas de cor cinza*

Nas Tabelas 6.3 e 6.4 estão apresentadas as imagens das pinturas “frias” de cor cinza em acabamentos acetinado e fosco respectivamente e as Tabelas 6.5 e 6.6 as pinturas convencionais cinzas também nos dois acabamentos.

Tabela 6.3 - Pintura cinza “fria” acabamento acetinado

Tabela 6.4 - Pintura cinza “fria” acabamento fosco **Tabela 6.5 - Pintura cinza convencional acabamento acetinado**

Tabela 6.6 - Pintura cinza convencional acabamento fosco

As pinturas de cor cinza tanto “frias” como convencionais, nos dois tipos de acabamento apresentaram mudança significativa na aparência comparando com a imagem inicial, antes da exposição ao envelhecimento natural.

É possível observar diferença que o microclima em que as amostras foram expostas no tipo de sujeidade presente na superfície. As amostras expostas em São Paulo apresentaram uma aparência uma tonalidade cinza escura, as amostras de Pirassununga uma tonalidade mais avermelhada e as amostras de Ubatuba manchas escuras, decorrentes de possível colonização microbiológica.

Observou-se que a alteração visual foi mais significativa do segundo para o terceiro ano de exposição.

A lavagem com água pressurizada limpou parte das sujidades depositadas nas superfícies das pinturas.

6.3.1.3 Pinturas de cor amarela

Nas Tabelas abaixo 6.7 e 6.8 apresentam as imagens das pinturas “frias” amarelas, com acabamento acetinado e fosco, as Tabelas 6.9 e 6.10 as imagens das pinturas convencionais com os mesmo acabamentos.

Tabela 6.7 - Pintura amarela “fria” acabamento acetinado

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

Tabela 6.8 - Pintura amarela “fria” acabamento fosco

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

Tabela 6.9 - Pinturas convencionais amarelas acabamento acetinado **Tabela 6.10 - Pinturas convencionais amarelas acabamento acetinado**

As pinturas amarelas apresentaram mudança no aspecto após o período de exposição ao envelhecimento natural. Por causa da tonalidade da pintura não é tão visível a presença das partículas avermelhadas do solo predominante na região de Pirassununga. As pinturas expostas no site de Ubatuba apresentam manchas escurecidas, principalmente as pinturas “frias” que tiveram alteração mais significativa no aspecto, esse escurecimento foi observado no resultado de luminosidade, onde as pinturas “frias” com PVC 30%, expostas em Ubatuba, apresentaram valor inferior de luminosidade quando comparado às pinturas “frias” expostas nos sites de São Paulo e Pirassununga, figura 5.7.

As pinturas convencionais sofreram arrancamento mecânico acidental de parte da pintura gerado pela fita adesiva impermeabilizante, essa fita foi utilizada para isolar metade dos corpos de provas que não seriam lavados por jato de pressão de água.

6.3.1.4 *Pintura marrom “fria”*

As imagens das pinturas “frias” de cor marrom, acetinadas e foscas, estão apresentadas nas Tabelas 6.11 e 6.12 respectivamente. As pinturas convencionais estão apresentadas nas Tabelas 6.13 e 6.14.

Tabela 6.11 – Pintura marrom "fria" acabamento acetinado

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

Tabela 6.12 – Pintura marrom “fria” acabamento fosco

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

Tabela 6.13 - Pintura marrom convencional acabamento acetinado

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

Tabela 6.14 – Pintura marrom convencional acabamento fosco

Inicial	São Paulo	Pirassununga 2 anos de exposição	Ubatuba

		3 anos de exposição

		3 anos de exposição + lavagem

Do mesmo modo que as pinturas amarelas convencionais, as pinturas convencionais de cor marrom tiveram parte da pintura arrancada pela tração mecânica da fita impermeabilizante.

As pinturas de cor marrom foram as que menos apresentaram modificações estéticas perceptíveis ao olho nu, exceto nas amostras expostas em Ubatuba que apresentam manchas escuras nas amostras. Nas pinturas “frias” com acabamento acetinado observam-se manchas esbranquiçadas, provavelmente geradas por depósitos de sais nas superfícies.

6.3.2 Refletância

Os resultados de refletância foram divididos por cor, cada subitem apresenta gráficos referentes aos valores de refletância ao longo do tempo de cada cor. Os gráficos estão divididos por tipo de pintura: “fria” ou convencional e acabamento: acetinado ou fosco.

As tabelas apresentam os resultados obtidos ao longo do período de exposição (3 anos), assim como a refletância obtida após a lavagem, as porcentagens de perda após 3 anos e de recuperação da refletância em comparação à refletância inicial. As tabelas com todas as medidas de refletância e o desvio padrão estão localizadas no apêndice C.

6.3.2.1 Pintura branca

A Tabela 6.15 apresenta os valores de refletância da pintura de cor branca ao longo do período de exposição nos três sítios de envelhecimento.

As Figuras 6.5; 6.6 e 6.7 apresentam os gráficos comparando os valores de refletância das pinturas brancas acetinadas com as foscas ao longo do tempo.

Tabela 6.15 - Refletância (%) pinturas de cor branca

Acabamento	São Paulo	0	1	2	3	Após Lavagem	Redução 3° ano	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura branca	82%	69%	68%	69%	75%	13%	92%
Fosco		83%	70%	69%	68%	75%	15%	90%
Acabamento	Pirassununga	0	1	2	3	Após lavagem	Redução 3° ano	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura branca	82%	74%	68%	69%	78%	13%	95%
Fosco		83%	72%	68%	68%	78%	15%	94%

Acabamento	Ubatuba	0	1	2	3	Após lavagem	Redução 3º ano	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura branca	82%	73%	69%	57%	76%	25%	93%
Fosco		83%	75%	72%	59%	78%	24%	94%

As pinturas de cor branca que apresentaram maior taxa de perda de refletância foram às expostas no sítio de Ubatuba, cerca e 25% de perda em relação ao valor inicial de refletância. A recuperação da refletância, após lavagem, foi satisfatória acima dos 90%.

◆ Pintura branca acetinada □ Pintura Branca fosca ◆ Lavagem P.acetinada ■ Lavagem p. fosca

Figura 6.5 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor branca, acetinadas e foscas, expostas no sítio de São Paulo.

◆ Pintura branca acetinada □ Pintura Branca fosca ◆ Lavagem P.acetinada ■ Lavagem p. fosca

Figura 6.6 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor branca, acetinadas e foscas, expostas no sítio de Pirassununga.

◆ Pintura branca acetinada □ Pintura Branca fosca ◆ Lavagem P. acetinada ■ Lavagem p. fosca

Figura 6.7 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor branca, acetinadas e foscas, expostas no sítio de Ubatuba.

6.3.2.2 *Pintura cinza*

A Tabela 6.16 apresenta os valores de refletância da pintura de cor cinza ao longo do período de exposição nos três sítios de envelhecimento.

As Figuras 6.8; 6.9 e 6.10 apresentam os gráficos que comparam os valores de refletância obtidos, ao longo do período de exposição e após a lavagem, das pinturas “frias” com os das pinturas convencionais.

Tabela 6.16 – Refletância (%) pinturas de cor cinza "frias" e convencionais

	Site	Tempo (anos)					Avaliação	
Acabamento	São Paulo	0	1	2	3	Após Lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura cinza "fria"	70%	56%	54%	55%	61%	15%	87%
Fosco	Pintura cinza "fria"	70%	60%	57%	58%	64%	12%	91%
Acetinado	Pintura cinza (Convencional)	57%	50%	48%	48%	53%	9%	93%
Fosco	Pintura cinza (Convencional)	56%	47%	45%	45%	49%	11%	88%
Acabamento	Pirassununga	0	1	2	3	Após Lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura cinza "fria"	70%	55%	54%	58%	62%	12%	89%
Fosco	Pintura cinza "fria"	70%	53%	57%	59%	65%	11%	92%
Acetinado	Pintura cinza (Convencional)	57%	47%	47%	49%	53%	8%	92%
Fosco	Pintura cinza (Convencional)	56%	41%	44%	48%	50%	8%	90%
Acabamento	Ubatuba	0	1	2	3	Após lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura cinza "fria"	70%	60%	59%	49%	63%	21%	90%
Fosco	Pintura cinza "fria"	70%	64%	59%	51%	65%	19%	92%
Acetinado	Pintura cinza (Convencional)	57%	50%	50%	46%	51%	11%	89%
Fosco	Pintura cinza (Convencional)	56%	50%	49%	43%	50%	13%	89%

Para a pintura de cor cinza pode-se observar que as pinturas "frias" apresentaram refletância mais elevada que as pinturas convencionais após três anos de envelhecimento natural. As pinturas que apresentaram maior queda de refletância, após três anos, foram as pinturas expostas em Ubatuba, com até 21% de queda para a pintura "fria" acetinada. Após o procedimento de limpeza recuperou-se cerca de 90% da refletância inicial.

Figura 6.8 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor cinza, expostas no sítio de São Paulo. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

Figura 6.9 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor cinza, expostas no sítio de Pirassununga. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

Figura 6.10 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor cinza, expostas no sítio de Ubatuba. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

Os valores de refletância solar das pinturas “frias” e convencionais, expostas em São Paulo e Pirassununga apresentaram comportamento muito semelhante. A queda mais significativa do valor de refletância ocorreu após o segundo ano de exposição nas amostras expostas em São Paulo e logo após o primeiro anos nas amostras expostas em Pirassununga. Após o procedimento de limpeza houve recuperação da refletância inicial em torno de 90% para todas as pinturas.

O período mais crítico para as pinturas expostas em Ubatuba foi o terceiro ano de exposição, onde houve aumento no crescimento microbológico que se espalhou pela superfície, como pode ser verificado nas imagens das tabelas 6.1 a 6.4.

6.3.2.3 *Pintura amarela*

A Tabela 6.17 apresenta os dados de refletância das pinturas “frias” e convencionais de cor amarela.

As Figuras 6.11; 6.12 e 6.13 apresentam os gráficos que comparam os valores de refletância obtidos, ao longo do período de exposição e após a lavagem, das pinturas “frias” e convencionais.

Tabela 6.17 - Refletância pinturas de cor amarela "frias" e convencionais

Site		Tempo				Avaliação		
Acabamento	São Paulo	0	1	2	3	Após Lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura amarela "fria"	60%	50%	52%	52%	56%	8%	94%
Fosco	Pintura amarela "fria"	62%	53%	53%	52%	59%	10%	95%
Acetinado	Pintura amarela (Convencional)	40%	30%	32%	32%	35%	8%	87%
Fosco	Pintura amarela (Convencional)	43%	38%	40%	39%	43%	4%	100%
Acabamento	Pirassununga	0	1	2	3	Após lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura amarela "fria"	60%	49%	52%	55%	58%	5%	96%
Fosco	Pintura amarela "fria"	62%	49%	55%	54%	60%	8%	97%
Acetinado	Pintura amarela (Convencional)	40%	31%	32%	34%	35%	6%	88%
Fosco	Pintura amarela (Convencional)	43%	36%	41%	42%	42%	1%	98%
Acabamento	Ubatuba	0	1	2	3	Após lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura amarela "fria"	60%	50%	54%	45%	56%	15%	93%
Fosco	Pintura amarela "fria"	62%	53%	56%	48%	58%	14%	93%
Acetinado	Pintura amarela (Convencional)	40%	32%	35%	34%	36%	6%	91%
Fosco	Pintura amarela (Convencional)	43%	40%	43%	39%	43%	4%	100%

As maiores perdas ocorreram nas amostras expostas em Ubatuba. As pinturas "frias" expostas nesse sítio tiveram maior perda de refletância comparada às convencionais. As amostras que apresentaram menor perda de refletância foram àquelas expostas em Pirassununga.

Após três anos de envelhecimento as pinturas "frias" de cor amarela mantiveram a refletância solar superior à refletância das pinturas convencionais da mesma cor. Após a lavagem a recuperação da refletância foi satisfatória, acima dos 85%.

◆ Pintura amarela "fria" ■ Pintura convencional ◆ Lavagem P. "frias" ■ Lavagem p. conv.

(a)

(b)

Figura 6.11 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor amarela, expostas no sítio de São Paulo. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

◆ Pintura amarela "fria" ■ Pintura convencional ◆ Lavagem P. "frias" ■ Lavagem p. conv.

(a)

(b)

Figura 6.12 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor amarela, expostas no sítio de Pirassununga. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

Figura 6.13 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de cor amarela, expostas no sítio de Ubatuba. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

A refletância das pinturas de cor amarela, "frias" e convencionais, apresentou comportamento similar, a refletância das pinturas foi afetada com a exposição ao envelhecimento natural com queda expressiva no primeiro ano de envelhecimento natural para as amostras expostas nos sítios de São Paulo e Pirassununga.

As pinturas expostas em Ubatuba também apresentaram comportamento similar, porém a queda mais significativa da refletância ocorreu após o terceiro ano de exposição.

Essa diferença ocorre pela diferença no tipo de sujeira presente nas superfícies, nas cidades de São Paulo e Pirassununga, são depósitos de particulados provenientes de poluição, queima de combustíveis fósseis e de solo argilomineral (Pirassununga). Já Ubatuba tem uma grande frequência de chuvas, portanto alta lavabilidade das superfícies, mas por outro lado, a exposição ao clima quente e úmido favorece o desenvolvimento de microorganismos.

6.3.2.4 Pintura marrom

Na Tabela 6.18 estão apresentados os valores de refletância, ao longo do tempo e após lavagem, das pinturas "frias" e convencionais de cor marrom, acabamento acetinado e fosco.

As Figuras 6.14; 6.15 e 6.16 apresentam os gráficos comparando os valores de refletância das pinturas "frias" com os valores das pinturas convencionais ao longo do tempo.

Tabela 6.18 - Refletância pinturas de cor marrom "frias" e convencionais

Site		Tempo				Avaliação		
Acabamento	São Paulo	0	1	2	3	Após Lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura marrom "fria"	40%	32%	34%	33%	37%	7%	92%
Fosco	Pintura marrom "fria"	41%	39%	37%	37%	40%	4%	98%
Acetinado	Pintura marrom (Convencional)	36%	29%	29%	28%	30%	8%	84%
Fosco	Pintura marrom (Convencional)	36%	31%	33%	32%	36%	4%	99%
Acabamento	Pirassununga	0	1	2	3	Após lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura marrom "fria"	40%	35%	35%	36%	38%	4%	94%
Fosco	Pintura marrom "fria"	41%	34%	40%	36%	41%	5%	100%
Acetinado	Pintura marrom (Convencional)	36%	28%	30%	30%	28%	6%	78%
Fosco	Pintura marrom (Convencional)	36%	30%	35%	35%	33%	1%	92%
Acabamento	Ubatuba	0	1	2	3	Após lavagem	Perda em 3 anos	Recuperação pós lav.
Acetinado	Pintura marrom "fria"	40%	36%	37%	33%	37%	7%	93%
Fosco	Pintura marrom "fria"	41%	39%	41%	36%	41%	5%	99%
Acetinado	Pintura marrom (Convencional)	36%	30%	31%	30%	31%	6%	85%
Fosco	Pintura marrom (Convencional)	36%	32%	35%	33%	35%	3%	98%

As pinturas de cor marrom foram as que apresentaram a menor queda de refletância ao longo do tempo em comparação com as pinturas de cor clara (cinza e amarelo). O valor inicial de refletância inicial dessas pinturas já era o mais baixo. A recuperação da refletância inicial após lavagem foi muito satisfatória acima dos 90% no geral, apenas as pinturas convencionais com acabamento acetinado tiveram recuperação de cerca de 80% da refletância inicial, todas as amostras desse grupo apresentaram esse comportamento, independente do site em que foram expostas.

Figura 6.14 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de marrom, expostas no sítio de São Paulo. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

Figura 6.15 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de marrom, expostas no sítio de Pirassununga. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

◆ Pintura amarela "fria" ■ Pintura convencional ◆ Lavagem P. "frias" ■ Lavagem p. conv.

(a)

(b)

Figura 6.16 - Refletância ao longo do tempo das pinturas de marrom, expostas no sítio de Ubatuba. Gráficos a e b, acabamento acetinado e fosco respectivamente.

As pinturas de cor marrom expostas em São Paulo apresentaram queda no valor da refletância no primeiro ano de exposição, essa média se mantém após o período de três anos. As pinturas expostas com acabamento acetinado apresentaram queda mais expressiva após o segundo ano de exposição, as pinturas com acabamento fosco após o terceiro ano, expostas em Pirassununga.

As pinturas "frias" expostas em Ubatuba tiveram queda de refletância mais crítica após o terceiro ano de exposição, as pinturas convencionais durante o primeiro ano de exposição.

6.3.3 Luminosidade

Os resultados de luminosidade foram separados por cor, cada subitem apresenta os gráficos com os valores de luminosidade, ao longo do período de exposição ao envelhecimento natural e após lavagem, de cada grupo de pintura e tipo de acabamento.

6.3.3.1 Luminosidade pintura branca

A Figura 6.17 apresenta os valores de luminosidade ao longo do tempo das pinturas de branca, nos acabamentos: acetinado e fosco. Nos gráficos estão contidos os valores de luminosidade obtidos nas amostras expostas nos três sítios de envelhecimento natural.

Figura 6.17 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor branca, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Houve queda no valor de luminosidade das pinturas brancas, nos dois tipos de acabamentos, após três anos de envelhecimento natural. As amostras que apresentaram maior queda nesse índice foram as expostas no sítio de Ubatuba, devido ao escurecimento das superfícies, essa alteração de aparência é observada nas imagens de escâner nas Tabelas 6.1 e 6.2. Até o segundo ano de envelhecimento natural, as amostras expostas em Ubatuba apresentavam valores de luminosidade superiores que as amostras expostas nos demais sítios, a queda intensificada após o terceiro ano se deve pelo crescimento microbiológico nas superfícies das pinturas, principalmente, durante o terceiro ano de exposição.

As amostras expostas em São Paulo e Pirassununga tiveram queda no valor da luminosidade logo após o 1º ano de exposição, sendo as amostras de São Paulo as mais afetadas, devido à deposição de sujidades e poluentes atmosféricos.

Após a lavagem houve recuperação de parte do valor inicial, elevando o valor de luminosidade de todas as pinturas.

6.3.3.2 Luminosidade pintura cinza

As Figuras 6.18 e 6.19 apresentam os valores de luminosidade ao longo do tempo das pinturas de cor, cinza “frias” e convencionais, nos acabamentos: acetinado e fosco. Nos gráficos estão contidos os valores obtidos nas amostras expostas nos três sítios de envelhecimento natural.

Figura 6.18 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.19 - Gráficos de luminosidade das pinturas convencionais de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

As pinturas “frias” apresentaram maior queda no valor de luminosidade após três anos de envelhecimento, as pinturas que apresentaram maior escurecimento da superfície foram as pinturas expostas em Ubatuba. O procedimento de limpeza aumentou a luminosidade das pinturas de “frias” de cor cinza.

As pinturas convencionais de cor cinza expostas em São Paulo e Pirassununga apresentaram valor de luminosidade sem muita alteração do após 1 ano de envelhecimento natural, já as pinturas expostas em Ubatuba apresentaram uma queda mais acentuada após o período de três anos, assim como as pinturas “frias”. O procedimento de limpeza aumentou o valor de luminosidade de todas as pinturas.

6.3.3.3 Luminosidade pintura amarela

As Figuras 6.20 e 6.21 apresentam os gráficos de luminosidade das pinturas de cor amarela, “frias” e convencionais respectivamente.

Figura 6.20 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.21 - Gráficos de luminosidade das pinturas convencionais de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Após 1 ano de exposição as pinturas “frias” e convencionais expostas no sítio de São Paulo apresentaram maior queda no valor de luminosidade, já após 3 anos, as pinturas amarelas com acabamento fosco, expostas em Ubatuba apresentaram maior queda. A lavagem das pinturas aumentou o valor da coordenada L de todas as pinturas.

6.3.3.4 Luminosidade pintura marrom

As Figuras 6.22 e 6.23 apresentam os gráficos de luminosidade, ao longo do tempo, das pinturas de cor marrom do tipo “frias” e convencionais respectivamente.

Figura 6.22 - Gráficos de luminosidade das pinturas “frias” de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.23 - Gráficos de luminosidade das pinturas convencionais de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Os valores de luminosidade das pinturas convencionais de cor marrom não tiveram alteração significativa, assim como as pinturas “frias”.

Durante o envelhecimento natural das pinturas é esperado queda no valor de luminosidade, caracterizando escurecimento da superfície, porém as pinturas de cor marrom possuem valor inicial de luminosidade baixo, em torno de 40, portanto o envelhecimento natural praticamente não alterou a luminosidade dessas pinturas.

6.3.4 Emissividade

Os resultados de emissividade estão dispostos em gráficos representados nas Figuras 6.24 a 6.30. Os gráficos apresentam valores de emissividade, ao longo do período de exposição ao envelhecimento natural e após lavagem, de cada grupo de pintura e tipo de acabamento.

Figura 6.24 – Gráficos de emissividade pinturas “frias” de cor branca, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.25 - Gráficos de emissividade das pinturas “frias” de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.26 - Gráficos de emissividade das pinturas convencionais de cor cinza, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.27 - Gráficos de emissividade das pinturas "frias" de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.28 - Gráficos de emissividade das pinturas convencionais de cor amarela, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.29 - Gráficos de emissividade das pinturas “frias” de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

Figura 6.30 - Gráficos de emissividade das pinturas convencionais de cor marrom, (a) acabamento acetinado (b) acabamento fosco.

As pinturas apresentaram queda de emissividade após o envelhecimento, os valores de emissividade apresentaram diferenças de no máximo 0,08, o que é considerado um valor muito baixo, não é capaz de causar influência no desempenho térmico das pinturas.

6.3.5 Índice de refletância solar

Os valores de índice de refletância solar (SRI) das pinturas “frias” e convencionais estão apresentados na Tabela 6.19.

Tabela 6.19 - Índice de refletância solar das pinturas “frias” e convencionais

Tipo	Acabamento	Cor	SRI - São Paulo			SRI - Pirassununga			SRI - Ubatuba		
			Inicial	3 anos	Lav.	Inicial	3 anos	Lav.	Inicial	3 anos	Lav.
"Fria"	Acetinado	Branca	102	84	92	102	84	96	102	68	94
	Fosco		104	82	92	104	82	96	104	70	96
"Fria"	Acetinado	Cinza	85	64	72	85	68	74	85	57	76
Conv.			67	51	56	67	54	57	67	48	57
"Fria"	Fosco		86	68	77	86	70	77	86	59	79
Conv.			68	55	62	68	56	61	68	52	57
"Fria"	Acetinado	Amarelo	71	60	65	71	64	68	71	51	65
Conv.			45	34	37	45	33	38	45	36	31
"Fria"	Fosco		74	60	70	74	67	71	74	54	68
Conv.			50	42	49	50	46	46	50	43	49
"Fria"	Acetinado	Marrom	45	35	40	45	39	41	45	34	40
Conv.			40	20	31	40	30	27	40	30	32
"Fria"	Fosco		46	40	44	46	47	45	46	38	45
Conv.			40	33	39	40	38	36	40	34	37

Os valores do índice de refletância solar iniciais das pinturas brancas são elevados, com a exposição ao envelhecimento natural houve queda, principalmente nas pinturas expostas em Ubatuba cuja queda chega a 68%, nas pinturas com acabamento acetinado. Os valores de SRI obtidos nas pinturas expostas em São Paulo e Pirassununga foram os mesmos.

A lavagem das superfícies recuperou parte boa parte do índice de refletância solar, mantendo o valor do SRI de todas as pinturas acima dos 90.

Os valores de SRI das pinturas brancas, nos dois acabamentos, atendem ao requisito do *Title 24* (SRI= 75), após o envelhecimento natural, apenas as pinturas expostas em Ubatuba não atingiram o valor de SRI recomendado. As pinturas “frias” de cor cinza, após lavagem, atendem ao requisito mínimo para valor de SRI do *Title 24*.

6.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO COM AS EXIGÊNCIAS DO *ENERGY STAR*

O *Energy Star* é um dos selos internacionais que regulamentam os materiais “frios”, dentre as exigências estão e os valores de refletância inicial (0,65) e após três anos de envelhecimento natural (0,50).

A análise comparativa da refletância das pinturas “frias” e convencionais com a refletância, inicial e após três anos de envelhecimento, proposta pelo *Energy Star* foi realizada apenas nas pinturas em acabamento acetinado (PVC 30%), por ser o tipo de acabamento mais utilizado nas fachadas e coberturas.

6.4.1 Avaliação comparativa da refletância solar

Foi realizada avaliação comparativa da refletância inicial dos dois tipos de pintura, acabamento acetinado (PVC 30%), com o valor de refletância proposto pelo *Energy Star* foi feita na Tabela 6.20.

Tabela 6.20 - Comparação do valor de refletância inicial das pinturas “frias” e convencionais com o valor recomendado pelo *Energy Star*.

Cor/Tipo		Refletância inicial pinturas acetinadas (%)	Energy Star Refletância inicial (%)
Branca	“fria”	82,0	≥65
Cinza	“frio”	70,0	
	“convencional”	52,0	
Amarelo	“frio”	60,0	
	“convencional”	40,0	
Marrom	“frio”	40,0	
	“convencional”	33,0	

Os resultados mostram que apenas as pinturas “frias” brancas e cinzas atendem os parâmetros iniciais de refletância propostos pelo *Energy Star*.

A Tabela 6.21 apresenta os dados de refletância das pinturas “frias” brancas e cinzas após 3 anos de envelhecimento natural.

Tabela 6.21 - Comparação da refletância das pinturas “frias” brancas e cinzas após 3 anos de envelhecimento e após lavagem com o valor recomendado pelo *Energy Star*.

Cor	São Paulo		Pirassununga		Ubatuba		Energy Star
	3 anos	Lav.	3 anos	Lav.	3 anos	Lav.	3 anos
Branca	69%	75%	69%	78%	57%	76%	55%
Cinza	55%	61%	58%	62%	49%	63%	

Apenas a pintura cinza, exposta em Ubatuba, não atendeu ao valor mínimo de 55% de refletância, porém após o procedimento de lavagem a refletância dessa pintura foi recuperada, chegando a 63%.

Algumas regiões brasileiras apresentam problemas de durabilidade de componentes de fachadas e coberturas devido ao clima predominante da região. No estudo de (SHIRAKAWA et al, 2010), foi avaliado o envelhecimento de pinturas aplicadas em blocos de concreto, expostas ao envelhecimento natural por 4 anos em sítios localizados em São Paulo, Belém e Rio Grande do Sul. O ambiente e as condições climáticas foram os fatores que mais influenciaram a colonização microbiológica, ao do tipo de PVC e presença de biocida. Shirakawa et al (2010) conclui que a avaliação de pinturas deve contemplar com precisão o clima, as condições ambientais e o microclima.

Uma pintura deve atender á níveis mínimos de desempenho em todo o território nacional, por isso há necessidade de se estudar a durabilidade dos materiais utilizando sítios com microclimas diferentes. Não é adequado importar soluções, normas e diretrizes generalistas, para questões tão vinculadas á particularidades como durabilidade em função do clima.

6.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

O envelhecimento natural, após três anos, mostrou que a substituição de pinturas convencionais por pinturas “frias” é comprovadamente eficiente na elevação da refletância das superfícies em que são aplicadas. Porém, uma fina camada de sujidades ou início de colonização microbiológica, leva a alteração de cor e pode afetar de maneira expressiva, causando diminuição da refletância das pinturas.

A refletância das pinturas brancas, após três anos de envelhecimento, manteve-se superior á refletância das pinturas “frias”, de cores mais escuras, mesmo após o procedimento de lavagem. O valor de refletância que mais se aproximou, da refletância das tintas brancas, foi o obtido na pintura “fria” cinza, com acabamento fosco após procedimento de lavagem, chegando a 65%, enquanto que a refletância da pintura branca, sem lavagem e exposta em Ubatuba, foi de 68%. Ou seja, o uso de pinturas brancas em fachadas e coberturas é a alternativa mais eficiente em termos de manutenção de capacidade refletiva.

A influência dos sítios de envelhecimento foi evidenciada nos resultados de refletância e luminosidade, as amostras expostas em São Paulo e Pirassununga apresentaram maior queda dessas características após 1 e 2 anos de exposição, respectivamente. As amostras expostas em Ubatuba apresentaram queda mais expressiva desses valores após o terceiro ano de envelhecimento, além disso, essas foram as pinturas que apresentaram os valores mais baixos de refletância.

A comparação entre os dois tipos de PVC (30% e 50%) mostrou que não houve diferença significativa entre os dois grupos, após três anos de envelhecimento natural. Uma avaliação utilizando valores mais extremos do PVC, como por exemplo, 30% e 70%, poderá apresentar resultados mais contundentes a respeito da influência do teor de resina na durabilidade das pinturas “frias” e convencionais.

O procedimento de lavagem das pinturas, por jato de água pressurizado, garantiu a recuperação grande parte da refletância inicial das pinturas, mostrando-se satisfatório na manutenção das características das superfícies das pinturas.

Um mesmo material apresenta funções desempenho x tempo diferentes para diferentes condições de exposição, por isso os estudos sobre durabilidade de pinturas devem contemplar os diferentes microclimas existentes no país, já que as regiões brasileiras apresentam diferenças expressivas, entre si, de temperatura e , radiação e umidade. É necessário que os testes de envelhecimento levem em consideração essas diferenças bioclimáticas para a determinação de critérios de utilização e durabilidade de pinturas para todo o país.

Para entender profundamente os fatores que mais influenciam na perda de refletância das pinturas são necessários estudos, que avaliem a durabilidade por períodos de tempo mais longos, ampliar o número de sítios de exposição, comparar outros métodos de medida de refletância e avaliar o impacto do crescimento microbiológico nas superfícies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, A., LABAKI, L., CARAM, R., BASSO, A., FERNANDES, M. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. Ambiente Construído, 2003.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION – CSTC. Limpeza de fachadas, nota informativa técnica 197. Bruxelas, 1995.

GAYLARDE, C.C., MORTON, L.H.G., LOH, K., and SHIRAKAWA, M.A. 2011. Biodeterioration of external architectural paint films - A review, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65:1189-1198.

IKEMATSU, P. Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes. Dissertação de Mestrado, departamento de engenharia de construção Civil, Universidade de São Paulo, (2007).

LBNL Heat Island Group SRI Calculator Excel Sheet. <<http://coolcolors.lbl.gov/assets/docs/SRI%20Calculator/SRI-calc10.xls>>. LBNL.

LOH, K.; SATO, N.; SHIRAKAWA, M.; CARDOSO, E.; JOHN, V. M. Outdoor Paint Ageing of Brazilian Paints - Part II, Correlation between results of accelerated and outdoor paint ageing of Brazilian paints - Part one. 12thDBMC International conference on durability of building materials and components. Porto, Portugal, April (2011).

LOH, K.; SATO, N.; SILVA, I. Use of Functional Particles in Coatings to Improve Thermal Comfort Inside Buildings. COBEE, The Second International Conference on Building Energy and Environment. Boulder - Colorado. 2012.

PAOLINI, R.; ZINZI, M.; POLI, T.; CARNIELO, E.; MAININI, A. Effect of ageing on solar spectral reflectance of roofing membranes: Natural exposure in Roma and Milano and the impact on the energy needs of commercial buildings. *Energy and Buildings*. Vol 84, December 2014, Pages 333–343.

SATO, N, M, N.; LOH, K.; SILVA, I, L, M, S. Desempenho térmico de tintas frias em componentes de cobertura. VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. Brasília, 2013.

SHIRAKAWA, M, A.; TAVARES, R, G.; GAYLARDE, C, C.; TAQUEDA, M, E, S.; LOH, K.; JOHN, V, M. Climate as the most important factor determining anti-fungal biocide performance in paint films. *Science of the Total Environment* 408 (2010) 5878–5886.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, A.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for urban environments. *Solar Energy*. Vol. 81, (2007) 488-497.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermalcomfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, v. 39, p. 1167-1174, 2007.

UEMOTO, K, L. Influência da formulação de tintas de base acrílica como barreira contra a penetração de agentes agressivos nos concretos. Tese de doutorado, departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 1998.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o acompanhamento do envelhecimento natural de pinturas “frias” e convencionais expostas em três diferentes microclimas, com ênfase na manutenção da refletância solar dessas pinturas.

Foram apresentadas todas as etapas desde a seleção e caracterização de matérias primas, formulação das tintas, preparo dos corpos de prova, caracterização das propriedades das superfícies, avaliação do envelhecimento natural das pinturas e recuperação da refletância após procedimento de manutenção realizada por lavagem com jato de água pressurizada.

Na etapa de caracterização e formulação, os dados de microscopia eletrônica com EDS indicaram que os pigmentos “frios”, amarelo e marrom continham alto teor de dióxido de titânio (TiO_2) em sua formulação, essa informação foi confirmada por análise química, que apresentou a concentração do elemento químico (TiO_2) de 80% no pigmento amarelo e 56% no pigmento marrom. O elevado teor de dióxido de titânio nos pigmentos “frios” é o que proporciona a elevada capacidade refletiva desses pigmentos. Observou-se também que a refletância dos pigmentos “frios” é superior à refletância dos pigmentos convencionais, em todas as cores avaliadas.

A caracterização de superfícies apresentou uma correlação direta entre os valores de refletância dos pigmentos e o valor de refletância das pinturas, confirmando assim a importância da caracterização da matéria prima antes de utilizá-la na formulação. Deste modo, conhecendo o valor de refletância solar dos pigmentos é possível estimar o valor de refletância da pintura. Todas as pinturas “frias” apresentaram refletância inicial superior às pinturas convencionais.

O envelhecimento natural alterou a aparência das pinturas ocasionando diminuição no valor de refletância e luminosidade. Após três anos de envelhecimento natural as pinturas “frias” mantiveram valor de refletância superior, comparada às pinturas convencionais.

As amostras expostas em Ubatuba, após três anos de envelhecimento, foram as que apresentaram maiores alterações em todos os aspectos: aparência, luminosidade e refletância. Esse resultado só se evidenciou após o terceiro ano de envelhecimento, contrariando alguns estudos que apontam os primeiros meses de exposição como

período mais crítico da queda do valor de refletância. Até o segundo ano de envelhecimento natural, as amostras expostas em Ubatuba apresentavam menor alteração de refletância e luminosidade do que as pinturas expostas em São Paulo e Pirassununga. O crescimento microbiológico é o maior problema para a manutenção das características iniciais das superfícies expostas em áreas costeiras. Em Ubatuba o crescimento microbiológico, nas pinturas, se intensificou no terceiro ano de exposição ocasionando queda de refletância e luminosidade.

O acompanhamento do envelhecimento natural ao longo dos três anos, nos três sítios, mostrou que os resultados não devem ser avaliados somente com poucos meses de exposição. Faz-se necessário um período mais longo de tempo para avaliação da degradação das características iniciais das pinturas.

Não houve diferença significativa entre os dois tipos de PVC avaliados (30% e 50%), talvez com um período maior de exposição ou com teores de PVC mais distantes entre si, a influência do teor de resina, na durabilidade das pinturas, seja mais evidente.

O procedimento de limpeza foi satisfatório para a recuperação de parte da refletância inicial, foi possível recuperar mais de 80% do valor para todas as pinturas. O procedimento de lavagem é de baixo custo e permite recuperar parte da refletância e luminosidade iniciais das pinturas, portanto é um procedimento indicado para manutenção dessas propriedades.

O envelhecimento natural, após três anos, indicou que o uso de pinturas “frias” em fachadas e coberturas é viável, pois apresenta maior refletância solar que as pinturas convencionais sendo possível mantê-la com procedimentos periódicos de limpeza, como lavagem por alta pressão. Deve-se estar atento às necessidades de manutenção como limpeza e repintura, principalmente em meio ambientes mais agressivos como o costeiro.

Para se estabelecer uma norma nacional para avaliação e certificação de superfícies “frias” devem ser levadas em consideração as condições atuais de mercado, os valores de refletância e emissividade dos componentes de fachadas e coberturas assim como, a manutenção dessas propriedades ao longo do tempo. A partir desse questionamento devem-se organizar os produtores interessados em certificar seus produtos como “frios” e desenvolver metas possíveis de serem alcançadas, em

valores iniciais de refletância e índice de refletância solar (SRI), mas principalmente, em valores após o envelhecimento natural.

7.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Estudos de avaliação de durabilidade de pinturas ao longo do tempo contemplando de 5 a 7 anos de envelhecimento natural, correlacionando os resultados de envelhecimento natural com o envelhecimento acelerado;
- Fazer avaliações mais detalhadas das superfícies, com análise química das sujidades depositadas e análises microbiológicas.

7.2 ARTIGOS PUBLICADOS

- LOH, K; SATO, N.; SILVA, I. Durability of cool and conventional colored '1coatings after six months exposure at different environments. XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components - DBMC, 2014.São Paulo, Brasil.
- SILVA, I. L. M.; LOH, K. Envelhecimento natural de revestimentos “frios” e convencionais após 2 ano de exposição em ambiente marinho. EURO ELECS 2015 LATINAMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES. Connecting people and ideas proceedings of EURO ELECS 2015, p. 2351/2360, v. III, Guimarães, Portugal, 2015.
R45ee5

7.3 CONTINUIDADE DO TRABALHO

As pinturas continuarão expostas nos sítios de envelhecimento e suas propriedades de refletância, cor e emissividade serão avaliadas a cada ano de exposição. A continuidade da avaliação do envelhecimento será parte do projeto de Doutorado, junto com avaliações mais detalhadas de superfície e interação com procedimentos autolimpantes.

APÊNDICE A.

A.1. DIFRATOGRAMAS E FASE CRISTALINA

As Figuras abaixo apresentam os difratogramas e as fases cristalinas obtidas no ensaio de difratometria de raios x realizado nos pigmentos.

Figura A.7.1 - Difratograma de raios x e fases identificadas- pigmento amarelo “frio”

Figura A.7.2 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento amarelo convencional

Figura A.7.3 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento marrom “frio”

Figura A.7.4 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento marrom convencional

Figura A.7.5 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - Pigmento preto "frio"

Figura A.7.6 - Difratoograma de raios x e fases identificadas - pigmento preto convencional
Não foram identificadas fases cristalinas. Material amorfo é evidenciado pela existência de uma banda larga característica de 15 e 30° de 2 θ .

APÊNDICE B.

B.1. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados nos ensaios de colorimetria, refletância e emissividade estão apresentados nas Figuras B.7.7, B.7.8 e B.7.9, respectivamente.

Figura B.7.7 – Colorímetro
Fonte: <http://www.directindustry.com/>

Figura B.7.8 – Refletômetro
Fonte: <http://www.devicesandservices.com/>

Figura B.7.9 - Emissômetro
Fonte: <http://www.devicesandservices.com>

APÊNDICE C.

C.1. TABELAS

No apêndice C estão apresentadas as Tabelas com todas as medidas de refletância realizadas nas pinturas, assim como as médias e o desvio padrão. Os resultados estão separados por sítio de envelhecimento.

SÃO PAULO

Tabela C.7.1 - refletância 1 ano - São Paulo

Branca acetinada	0,70	0,72	0,72	0,68	0,69	69%	Desvio padrão 0,03
	0,71	0,66	0,70	0,68	0,68		
	0,72	0,72	0,68	0,69	0,68		
Branca fosca	0,70	0,71	0,7	0,69	0,69	70%	0,02
	0,70	0,69	0,68	0,68	0,69		
	0,70	0,72	0,69	0,70	0,70		
Cinza acetinada ("Fria")	0,55	0,55	0,55	0,56	0,55	56%	0,02
	0,54	0,54	0,52	0,55	0,54		
	0,55	0,56	0,55	0,54	0,52		
Cinza fosca ("Fria")	0,58	0,56	0,60	0,62	0,60	60%	0,01
	0,57	0,57	0,60	0,59	0,58		
	0,57	0,58	0,56	0,58	0,63		
Amarela acetinada "Fria"	0,48	0,5	0,5	0,49	0,5	52%	0,02
	0,53	0,52	0,53	0,52	0,51		
	0,53	0,54	0,53	0,54	0,55		
Amarela fosca ("Fria")	0,54	0,55	0,55	0,54	0,55	53%	0,01
	0,52	0,53	0,54	0,54	0,54		
	0,51	0,5	0,52	0,54	0,53		
Marrom acetinada ("Fria")	0,32	0,34	0,36	0,33	0,34	34%	0,01
	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35		
	0,35	0,32	0,32	0,33	0,32		
Marrom fosca ("Fria")	0,37	0,39	0,37	0,40	0,38	39%	0,01
	0,39	0,37	0,40	0,42	0,36		
	0,38	0,37	0,38	0,37	0,37		
Cinza fosca (mercado)	0,69	0,68	0,70	0,69	0,68	70%	0,01
	0,68	0,69	0,70	0,68	0,69		
	0,70	0,71	0,69	0,07	0,70		
Cinza acetinada (mercado)	0,74	0,70	0,68	0,73	0,72	73%	0,05
	0,73	0,67	0,69	0,74	0,75		
	0,75	0,70	0,69	0,69	0,69		

Amarela acetinada (mercado)	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	45%	0,01
	0,46	0,43	0,45	0,45	0,42		
	0,45	0,46	0,45	0,42	0,45		
Amarela fosca (mercado)	0,42	0,43	0,43	0,42	0,41	43%	0,01
	0,45	0,43	0,42	0,43	0,45		
	0,42	0,40	0,43	0,42	0,44		
Marrom acetinada (mercado)	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	17%	0,00
	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17		
	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16		
Marrom fosca (mercado)	0,2	0,19	0,21	0,2	0,21	20%	0,01
	0,2	0,2	0,2	0,21	0,2		
	0,21	0,2	0,2	0,21	0,2		
Branca acetinada (mercado)	0,61	0,62	0,63	0,65	0,62	64%	0,02
	0,65	0,66	0,66	0,66	0,65		
	0,63	0,61	0,64	0,65	0,64		
Branca Fosca (mercado)	0,7	0,7	0,7	0,68	0,69	68%	0,02
	0,69	0,62	0,68	0,66	0,67		
	0,66	0,67	0,68	0,66	0,67		
Cinza fosca (Convencional)	0,50	0,53	0,50	0,50	0,49	50%	0,02
	0,53	0,54	0,49	0,50	0,49		
	0,54	0,50	0,49	0,49	0,49		
Cinza acetinada (Convencional)	0,45	0,46	0,43	0,44	0,48	47%	0,02
	0,47	0,45	0,44	0,48	0,43		
	0,48	0,45	0,45	0,47	0,43		
Amarela acetinada (Convencional)	0,32	0,32	0,33	0,33	0,32	32%	0,00
	0,32	0,33	0,33	0,32	0,32		
	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33		
Amarela fosca (Convencional)	0,4	0,4	0,4	0,39	0,4	40%	0,01
	0,4	0,42	0,41	0,41	0,4		
	0,4	0,38	0,4	0,41	0,4		
Marrom acetinada (Convencional)	0,3	0,3	0,3	0,28	0,28	29%	0,01
	0,29	0,28	0,27	0,28	0,28		
	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29		
Marrom fosca (Convencional)	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	33%	0,01
	0,32	0,34	0,34	0,33	0,33		
	0,34	0,33	0,33	0,34	0,33		

Tabela C.7.2 - refletância 2 anos - São Paulo

Branca acetinada	0,67	0,72	0,72	0,68	0,69	Média	Desvio padrão
	0,64	0,66	0,63	0,68	0,61		
	0,69	0,72	0,68	0,69	0,68	68%	0,03
Branca fosca	0,73	0,71	0,7	0,69	0,69		
	0,68	0,66	0,68	0,68	0,69		
	0,69	0,72	0,69	0,7	0,7	69%	0,02
Cinza acetinada ("Fria")	0,55	0,55	0,55	0,57	0,57		
	0,48	0,54	0,52	0,55	0,54		
	0,55	0,56	0,55	0,54	0,52	54%	0,02
Cinza fosca ("Fria")	0,55	0,55	0,58	0,6	0,59		
	0,56	0,57	0,58	0,59	0,58		
	0,55	0,58	0,56	0,58	0,59	57%	0,01
Amarela acetinada "Fria"	0,48	0,5	0,5	0,49	0,5		
	0,53	0,52	0,53	0,52	0,51		
	0,53	0,54	0,53	0,54	0,55	52%	0,02
Amarela fosca ("Fria")	0,54	0,55	0,55	0,54	0,55		
	0,52	0,53	0,54	0,54	0,54		
	0,51	0,5	0,52	0,54	0,53	53%	0,01
Marrom acetinada ("Fria")	0,32	0,34	0,36	0,33	0,34		
	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35		
	0,35	0,32	0,32	0,33	0,32	34%	0,01
Marrom fosca ("Fria")	0,37	0,36	0,37	0,38	0,38		
	0,32	0,37	0,37	0,36	0,36		
	0,38	0,37	0,38	0,37	0,37	37%	0,01
Cinza fosca (mercado)	0,49	0,5	0,5	0,51	0,5		
	0,48	0,5	0,5	0,51	0,51		
	0,5	0,51	0,49	0,5	0,48	50%	0,01
Cinza acetinada (mercado)	0,48	0,46	0,45	0,47	0,47		
	0,46	0,47	0,45	0,44	0,44		
	0,44	0,46	0,47	0,49	0,49	46%	0,02
Amarela acetinada (mercado)	0,43	0,43	0,43	0,42	0,41		
	0,42	0,43	0,45	0,45	0,42		
	0,44	0,42	0,45	0,42	0,45	43%	0,01
Amarela fosca (mercado)	0,46	0,49	0,48	0,48	0,49		
	0,5	0,49	0,48	0,51	0,48		
	0,47	0,49	0,5	0,51	0,49	49%	0,01
Marrom acetinada (mercado)	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17		
	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17		
	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	17%	0,00

Marrom fosca (mercado)	0,2	0,19	0,21	0,2	0,21	20%	0,01
	0,2	0,2	0,2	0,21	0,2		
	0,21	0,2	0,2	0,21	0,2		
Branca acetinada (mercado)	0,61	0,62	0,63	0,65	0,62	64%	0,02
	0,65	0,66	0,66	0,66	0,65		
	0,63	0,61	0,64	0,65	0,64		
Branca Fosca (mercado)	0,7	0,7	0,7	0,68	0,69	68%	0,02
	0,69	0,62	0,68	0,66	0,67		
	0,66	0,67	0,68	0,66	0,67		
Cinza fosca (Convencional)	0,45	0,48	0,49	0,49	0,46	48%	0,02
	0,47	0,54	0,48	0,42	0,45		
	0,47	0,49	0,48	0,49	0,48		
Cinza acetinada (Convencional)	0,43	0,46	0,43	0,44	0,48	45%	0,02
	0,47	0,43	0,44	0,48	0,43		
	0,42	0,44	0,45	0,47	0,43		
Amarela acetinada (Convencional)	0,32	0,32	0,33	0,33	0,32	32%	0,00
	0,32	0,33	0,33	0,32	0,32		
	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33		
Amarela fosca (Convencional)	0,4	0,4	0,4	0,39	0,4	40%	0,01
	0,4	0,42	0,41	0,41	0,4		
	0,4	0,38	0,4	0,41	0,4		
Marrom acetinada (Convencional)	0,3	0,3	0,3	0,28	0,28	29%	0,01
	0,29	0,28	0,27	0,28	0,28		
	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29		
Marrom fosca (Convencional)	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	33%	0,01
	0,32	0,34	0,34	0,33	0,33		
	0,34	0,33	0,33	0,34	0,33		

Tabela C.7.3 - refletância 3 anos - São Paulo

Branca acetinada	0,662	0,668	0,692	0,675	0,662	Média	Desvio padrão
	0,722	0,684	0,701	0,698	0,686		
	0,694	0,703	0,683	0,685	0,663		
Branca fosca	0,647	0,696	0,673	0,643	0,688	68,52%	0,02
	0,687	0,691	0,699	0,679	0,6701		
	0,702	0,678	0,697	0,693	0,68		
Cinza acetinada ("Fria")	0,569	0,526	0,571	0,587	0,533	55,43%	0,02
	0,553	0,556	0,533	0,545	0,556		
	0,531	0,571	0,57	0,537	0,576		
Cinza fosca ("Fria")	0,568	0,597	0,586	0,563	0,572	57,95%	0,01
	0,577	0,562	0,563	0,575	0,566		
	0,604	0,575	0,594	0,604	0,586		
Amarela acetinada "Fria"	0,514	0,512	0,5	0,493	0,504	51,59%	0,01
	0,546	0,516	0,516	0,534	0,516		
	0,523	0,513	0,515	0,522	0,514		

Amarela fosca ("Fria")	0,522	0,53	0,541	0,533	0,516		
	0,48	0,529	0,52	0,515	0,525		
	0,526	0,508	0,534	0,531	0,528	52,25%	0,01
Marrom acetinada ("Fria")	0,327	0,339	0,32	0,331	0,328		
	0,342	0,326	0,316	0,322	0,333		
	0,329	0,343	0,341	0,327	0,341	33,10%	0,01
Marrom fosca ("Fria")	0,38	0,365	0,381	0,379	0,372		
	0,373	0,369	0,377	0,381	0,374		
	0,376	0,364	0,372	0,374	0,367	37,36%	0,01
Cinza fosca (mercado)	0,495	0,502	0,503	0,503	0,505		
	0,494	0,51	0,511	0,498	0,493		
	0,489	0,512	0,498	0,493	0,507	50,09%	0,01
Cinza acetinada (mercado)	0,471	0,464	0,484	0,496	0,48		
	0,479	0,46	0,47	0,46	0,464		
	0,473	0,471	0,477	0,493	0,479	47,47%	0,01
Amarela acetinada (mercado)	0,479	0,442	0,452	0,469	0,441		
	0,416	0,44	0,45	0,443	0,466		
	0,423	0,431	0,433	0,429	0,45	44,43%	0,02
Amarela fosca (mercado)	0,497	0,483	0,485	0,495	0,468		
	0,472	0,494	0,494	0,479	0,479		
	0,473	0,484	0,489	0,495	0,487	48,49%	0,01
Marrom acetinada (mercado)	0,184	0,177	0,179	0,178	0,169		
	0,172	0,171	0,171	0,189	0,175		
	0,169	0,181	0,176	0,168	0,179	17,59%	0,01
Marrom fosca (mercado)	0,214	0,217	0,223	0,218	0,216		
	0,217	0,215	0,217	0,217	0,214		
	0,219	0,211	0,227	0,222	0,221	21,79%	0,00
Branca acetinada (mercado)	0,647	0,63	0,659	0,625	0,594		
	0,615	0,583	0,605	0,612	0,629		
	0,599	0,604	0,605	0,617	0,575	61,33%	0,02
Branca Fosca (mercado)	0,584	0,617	0,618	0,608	0,597		
	0,61	0,634	0,636	0,616	0,628		
	0,623	0,644	0,647	0,623	0,64	62,17%	0,02
Cinza fosca (Convencional)	0,483	0,499	0,505	0,473	0,502		
	0,458	0,451	0,479	0,48	0,466		
	0,475	0,463	0,483	0,468	0,467	47,68%	0,02
Cinza acetinada (Convencional)	0,452	0,454	0,448	0,45	0,468		
	0,444	0,452	0,424	0,426	0,443		
	0,451	0,458	0,464	0,462	0,453	44,99%	0,01

Amarela acetinada (Convencional)	0,329	0,323	0,328	0,326	0,335		
	0,329	0,32	0,334	0,325	0,316		
	0,311	0,305	0,311	0,31	0,325		
Amarela fosca (Convencional)	0,396	0,398	0,392	0,386	0,39		
	0,399	0,391	0,403	0,401	0,397		
	0,385	0,386	0,387	0,398	0,387		
Marrom acetinada (Convencional)	0,295	0,286	0,282	0,297	0,283		
	0,285	0,279	0,284	0,295	0,285		
	0,274	0,283	0,283	0,277	0,276		
Marrom fosca (Convencional)	0,312	0,331	0,327	0,322	0,323		
	0,332	0,323	0,326	0,326	0,317		
	0,321	0,325	0,334	0,321	0,324		

Tabela C.7.4 - refletância após lavagem - São Paulo

Branca acetinada	0,74	0,74	0,73	0,73	Média	75%	Desvio padrão 0,01
	0,76	0,75	0,76	0,77			
	0,77	0,76	0,77	0,75			
Branca fosca	0,755	0,75	0,75	0,75	Média	75%	0,00
	0,75	0,75	0,76	0,75			
	0,75	0,746	0,74	0,745			
Cinza acetinada ("Fria")	0,62	0,6	0,6	0,6	Média	61%	0,01
	0,62	0,61	0,62	0,6			
	0,61	0,59	0,61	0,61			
Cinza fosca ("Fria")	0,65	0,65	0,65	0,65	Média	64%	0,01
	0,62	0,63	0,62	0,636			
	0,635	0,64	0,63	0,64			
Amarela acetinada "Fria"	0,585	0,58	0,576	0,583	Média	56%	0,01
	0,55	0,546	0,56	0,56			
	0,55	0,57	0,544	0,562			
Amarela fosca ("Fria")	0,57	0,573	0,575	0,58	Média	59%	0,01
	0,59	0,594	0,59	0,594			
	0,59	0,6	0,6	0,6			
Marrom acetinada ("Fria")	0,362	0,36	0,366	0,365	Média	37%	0,00
	0,367	0,37	0,365	0,37			
	0,366	0,37	0,37	0,37			
Marrom fosca ("Fria")	0,41	0,41	0,41	0,41	Média	40%	0,01
	0,396	0,394	0,4	0,4			
	0,406	0,408	0,41	0,39			
Cinza fosca (mercado)	0,56	0,57	0,56	0,566	Média	56%	0,00
	0,57	0,56	0,56	0,57			
	0,56	0,567	0,57	0,56			

Cinza acetinada (mercado)	0,51	0,515	0,52	0,51	Média	52%	0,01
	0,53	0,52	0,53	0,53			
	0,53	0,53	0,54	0,53			
Amarela acetinada (mercado)	0,49	0,49	0,49	0,49	Média	49%	0,01
	0,5	0,49	0,49	0,49			
	0,495	0,51	0,5	0,485			
Amarela fosca (mercado)	0,55	0,55	0,55	0,54	Média	55%	0,01
	0,55	0,54	0,546	0,55			
	0,565	0,55	0,55	0,55			
Marrom acetinada (mercado)	0,2	0,2	0,2	0,19	Média	19%	0,01
	0,2	0,19	0,19	0,19			
	0,195	0,18	0,19	0,2			
Marrom fosca (mercado)	0,23	0,23	0,225	0,23	Média	22%	0,00
	0,22	0,22	0,22	0,22			
	0,23	0,23	0,22	0,22			
Branca acetinada (mercado)	0,72	0,7	0,74	0,71	Média	73%	0,02
	0,72	0,74	0,71	0,75			
	0,75	0,74	0,73	0,73			
Branca Fosca (mercado)	0,774	0,77	0,77	0,78	Média	77%	0,01
	0,775	0,774	0,765	0,78			
	0,76	0,77	0,756	0,742			
Cinza fosca (Convencional)	0,53	0,53	0,53	0,54	Média	53%	0,02
	0,55	0,54	0,55	0,55			
	0,5	0,51	0,51	0,5			
Cinza acetinada (Convencional)	0,5	0,45	0,49	0,49	Média	49%	0,01
	0,5	0,5	0,5	0,5			
	0,5	0,5	0,5	0,5			
Amarela acetinada (Convencional)	0,35	0,35	0,34	0,35	Média	35%	0,01
	0,35	0,34	0,34	0,36			
	0,35	0,35	0,35	0,35			
Amarela fosca (Convencional)	0,44	0,44	0,436	0,44	Média	44%	0,00
	0,44	0,44	0,44	0,44			
	0,44	0,45	0,44	0,44			
Marrom acetinada (Convencional)	0,3	0,3	0,3	0,3	Média	30%	0,00
	0,3	0,3	0,31	0,31			
	0,3	0,3	0,3	0,31			
Marrom fosca (Convencional)	0,35	0,35	0,35	0,35	Média	36%	0,01
	0,36	0,36	0,35	0,37			
	0,36	0,36	0,36	0,35			

Marrom acetinada (mercado)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	18%	0,00
	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18		
	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18		
Marrom fosca (mercado)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	19%	0,00
	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19		
	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19		
Branca acetinada (mercado)	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	73%	0,02
	0,72	0,73	0,73	0,73	0,75		
	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73		
Branca Fosca (mercado)	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	77%	0,01
	0,76	0,76	0,77	0,78	0,78		
	0,76	0,77	0,78	0,78	0,78		
Cinza fosca (Convencional)	0,5	0,5	0,51	0,52	0,53	51%	0,01
	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5		
	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52		
Cinza acetinada (Convencional)	0,47	0,47	0,47	0,48	0,49	48%	0,01
	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49		
	0,48	0,49	0,5	0,5	0,5		
Amarela acetinada (Convencional)	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	34%	0,01
	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35		
	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34		
Amarela fosca (Convencional)	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	45%	0,00
	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45		
	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45		
Marrom acetinada (Convencional)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	31%	0,01
	0,3	0,31	0,31	0,31	0,32		
	0,3	0,3	0,31	0,31	0,31		
Marrom fosca (Convencional)	0,34	0,37	0,37	0,37	0,37	37%	0,01
	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37		
	0,34	0,37	0,37	0,37	0,37		

Tabela C.7.6 - refletância 2 anos - Pirassununga

Refletância 2 anos de exposição - Pirassununga							Desvio padrão
						Média	
Branca acetinada	0,68	0,68	0,67	0,68	0,68	68%	0,02
	0,69	0,7	0,69	0,71	0,69		
	0,65	0,66	0,66	0,66	0,65		
Branca fosca	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	68%	0,01
	0,69	0,68	0,67	0,64	0,69		
	0,68	0,7	0,68	0,69	0,69		
Cinza acetinada ("Fria")	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	54%	0,01
	0,54	0,56	0,56	0,55	0,55		
	0,56	0,55	0,55	0,56	0,55		
Cinza fosca ("Fria")	0,57	0,57	0,59	0,57	0,57	57%	0,01
	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58		
	0,55	0,56	0,56	0,57	0,56		
Amarela acetinada "Fria"	0,51	0,52	0,54	0,52	0,51	52%	0,01
	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51		
	0,53	0,53	0,51	0,53	0,5		
Amarela fosca ("Fria")	0,55	0,54	0,55	0,55	0,54	55%	0,01
	0,54	0,53	0,55	0,53	0,55		
	0,57	0,58	0,54	0,57	0,55		
Marrom acetinada ("Fria")	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	35%	0,01
	0,36	0,36	0,35	0,35	0,36		
	0,35	0,34	0,34	0,35	0,36		
Marrom fosca ("Fria")	0,4	0,4	0,4	0,4	0,41	40%	0,00
	0,39	0,4	0,4	0,4	0,39		
	0,4	0,4	0,4	0,4	0,39		
Cinza fosca (mercado)	0,5	0,51	0,52	0,51	0,51	51%	0,01
	0,5	0,5	0,5	0,49	0,5		
	0,53	0,53	0,53	0,52	0,52		
Cinza acetinada (mercado)	0,49	0,48	0,49	0,48	0,49	48%	0,01
	0,49	0,49	0,48	0,48	0,49		
	0,48	0,48	0,47	0,48	0,48		
Amarela acetinada (mercado)	0,46	0,44	0,44	0,45	0,45	45%	0,01
	0,45	0,45	0,44	0,43	0,46		
	0,45	0,46	0,44	0,46	0,47		
Amarela fosca (mercado)	0,48	0,48	0,48	0,49	0,5	49%	0,01
	0,49	0,49	0,5	0,49	0,51		
	0,49	0,49	0,49	0,49	0,5		
Marrom acetinada (mercado)	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	19%	0,01
	0,2	0,19	0,2	0,19	0,19		
	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18		
Marrom fosca (mercado)	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	23%	0,01
	0,23	0,24	0,23	0,23	0,23		
	0,22	0,22	0,23	0,23	0,22		

Branca acetinada (mercado)	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	65%	0,02
	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63		
	0,66	0,65	0,64	0,66	0,66		
Branca Fosca (mercado)	0,7	0,71	0,71	0,7	0,71	70%	0,01
	0,71	0,7	0,69	0,7	0,71		
	0,68	0,68	0,7	0,69	0,68		
Cinza fosca (Convencional)	0,46	0,47	0,46	0,47	0,46	47%	0,01
	0,5	0,5	0,48	0,47	0,49		
	0,46	0,47	0,49	0,47	0,47		
Cinza acetinada (Convencional)	0,45	0,44	0,46	0,46	0,45	44%	0,01
	0,42	0,44	0,43	0,43	0,42		
	0,44	0,45	0,44	0,44	0,44		
Amarela acetinada (Convencional)	0,31	0,31	0,32	0,31	0,31	32%	0,01
	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32		
	0,33	0,33	0,32	0,33	0,33		
Amarela fosca (Convencional)	0,43	0,42	0,41	0,43	0,4	41%	0,01
	0,41	0,4	0,41	0,42	0,42		
	0,4	0,41	0,41	0,41	0,41		
Marrom acetinada (Convencional)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	30%	0,00
	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29		
	0,29	0,3	0,29	0,3	0,3		
Marrom fosca (Convencional)	0,36	0,36	0,35	0,35	0,36	35%	0,00
	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35		
	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35		

Tabela C. 7.7 – refletância 3 anos - Pirassununga

Refletância 3 anos de exposição EEN Pirassununga							Desvio padrão
						Média	
Branca acetinada	0,718	0,714	0,708	0,705	0,703	69%	0,04
	0,661	0,74	0,716	0,667	0,726		
	0,584	0,663	0,699	0,68	0,703		
Branca fosca	0,653	0,693	0,67	0,667	0,676	68%	0,02
	0,654	0,693	0,685	0,676	0,691		
	0,667	0,703	0,681	0,66	0,692		
Cinza acetinada ("Fria")	0,598	0,602	0,597	0,584	0,592	58%	0,02
	0,585	0,554	0,591	0,578	0,567		
	0,533	0,577	0,56	0,534	0,576		
Cinza fosca ("Fria")	0,589	0,564	0,566	0,585	0,574	59%	0,01
	0,597	0,604	0,594	0,592	0,6		
	0,606	0,576	0,602	0,598	0,583		
Amarela acetinada "Fria"	0,544	0,556	0,566	0,542	0,568	55%	0,01
	0,562	0,551	0,532	0,536	0,552		
	0,546	0,545	0,546	0,555	0,552		

Amarela fosca ("Fria")	0,516	0,541	0,527	0,513	0,522	54%	0,02
	0,544	0,558	0,553	0,53	0,553		
	0,561	0,56	0,566	0,551	0,561		
Marrom acetinada ("Fria")	0,364	0,37	0,375	0,369	0,37	36%	0,01
	0,361	0,364	0,36	0,366	0,364		
	0,361	0,354	0,355	0,357	0,362		
Marrom fosca ("Fria")	0,393	0,387	0,387	0,391	0,388	39%	0,00
	0,378	0,384	0,387	0,389	0,385		
	0,383	0,382	0,389	0,396	0,391		
Cinza fosca (mercado)	0,468	0,522	0,512	0,496	0,514	50%	0,02
	0,497	0,487	0,506	0,509	0,499		
	0,525	0,449	0,522	0,544	0,503		
Cinza acetinada (mercado)	0,505	0,501	0,519	0,514	0,498	51%	0,01
	0,495	0,511	0,505	0,487	0,512		
	0,506	0,52	0,521	0,477	0,522		
Amarela acetinada (mercado)	0,486	0,482	0,469	0,457	0,476	46%	0,02
	0,478	0,461	0,456	0,472	0,457		
	0,436	0,461	0,442	0,422	0,462		
Amarela fosca (mercado)	0,495	0,477	0,492	0,5	0,469	49%	0,01
	0,514	0,493	0,487	0,497	0,484		
	0,513	0,483	0,49	0,508	0,476		
Marrom acetinada (mercado)	0,205	0,22	0,206	0,201	0,218	20%	0,01
	0,193	0,191	0,196	0,189	0,19		
	0,207	0,206	0,208	0,201	0,201		
Marrom fosca (mercado)	0,256	0,241	0,247	0,244	0,241	24%	0,01
	0,242	0,25	0,245	0,241	0,255		
	0,245	0,24	0,239	0,247	0,234		
Branca acetinada (mercado)	0,663	0,653	0,647	0,652	0,645	65%	0,02
	0,638	0,65	0,645	0,681	0,642		
	0,609	0,662	0,632	0,625	0,631		
Branca Fosca (mercado)	0,569	0,646	0,645	0,588	0,644	63%	0,04
	0,579	0,684	0,674	0,602	0,658		
	0,6	0,651	0,642	0,632	0,659		
Cinza fosca (Convencional)	0,502	0,472	0,484	0,47	0,46	49%	0,02
	0,488	0,478	0,501	0,513	0,521		
	0,505	0,501	0,504	0,495	0,503		
Cinza acetinada (Convencional)	0,462	0,474	0,481	0,467	0,463	48%	0,01
	0,487	0,483	0,486	0,483	0,477		
	0,487	0,492	0,486	0,485	0,495		
Amarela acetinada (Convencional)	0,341	0,346	0,345	0,34	0,342	34%	0,00
	0,34	0,332	0,333	0,336	0,335		
	0,345	0,34	0,341	0,342	0,335		
Amarela fosca (Convencional)	0,433	0,419	0,429	0,428	0,421	42%	0,01
	0,412	0,415	0,423	0,412	0,411		
	0,423	0,417	0,419	0,423	0,417		
Marrom acetinada (Convencional)	0,311	0,308	0,312	0,297	0,308	30%	0,01
	0,296	0,306	0,299	0,302	0,305		
	0,294	0,288	0,309	0,309	0,309		
Marrom fosca (Convencional)	0,34	0,348	0,351	0,347	0,339	35%	0,00
	0,347	0,345	0,351	0,348	0,344		
	0,35	0,346	0,351	0,349	0,347		

Tabela C.7.8 – refletância após lavagem - Pirassununga

Branca acetinada	0,787	0,765	0,782	0,777	Média	78%	Desvio padrão 0,01
	0,793	0,789	0,795	0,786			
	0,751	0,754	0,768	0,77			
Branca fosca	0,783	0,764	0,789	0,78	Média	78%	0,01
	0,778	0,781	0,784	0,772			
	0,789	0,79	0,778	0,773			
Cinza acetinada ("Fria")	0,624	0,612	0,623	0,623	Média	62%	0,01
	0,634	0,612	0,634	0,624			
	0,61	0,616	0,628	0,614			
Cinza fosca ("Fria")	0,618	0,643	0,629	0,643	Média	65%	0,01
	0,651	0,652	0,653	0,655			
	0,651	0,646	0,647	0,653			
Amarela acetinada "Fria"	0,581	0,582	0,591	0,58	Média	58%	0,01
	0,582	0,576	0,574	0,574			
	0,575	0,566	0,577	0,552			
Amarela fosca ("Fria")	0,579	0,58	0,59	0,586	Média	60%	0,01
	0,61	0,6	0,601	0,603			
	0,607	0,615	0,609	0,612			
Marrom acetinada ("Fria")	0,376	0,38	0,381	0,382	Média	38%	0,00
	0,376	0,377	0,372	0,376			
	0,373	0,375	0,374	0,375			
Marrom fosca ("Fria")	0,408	0,413	0,406	0,409	Média	41%	0,00
	0,404	0,403	0,402	0,399			
	0,405	0,411	0,408	0,413			
Cinza fosca (mercado)	0,568	0,565	0,565	0,563	Média	57%	0,01
	0,57	0,556	0,564	0,556			
	0,589	0,574	0,584	0,583			
Cinza acetinada (mercado)	0,55	0,532	0,547	0,542	Média	54%	0,01
	0,541	0,515	0,545	0,515			
	0,547	0,547	0,545	0,548			
Amarela acetinada (mercado)	0,502	0,504	0,508	0,509	Média	50%	0,01
	0,512	0,506	0,508	0,498			
	0,479	0,483	0,491	0,487			
Amarela fosca (mercado)	0,547	0,542	0,547	0,54	Média	54%	0,01
	0,544	0,545	0,542	0,544			
	0,544	0,543	0,513	0,539			
Marrom acetinada (mercado)	0,22	0,224	0,225	0,223	Média	21%	0,01
	0,201	0,199	0,201	0,203			
	0,216	0,21	0,217	0,201			
Marrom fosca (mercado)	0,239	0,238	0,233	0,236	Média	23%	0,01
	0,238	0,234	0,24	0,239			
	0,228	0,229	0,221	0,224			

Branca acetinada (mercado)	0,733	0,722	0,723	0,712	Média	74%	0,02
	0,762	0,759	0,766	0,744			
	0,749	0,736	0,711	0,712			
Branca Fosca (mercado)	0,806	0,797	0,805	0,802	Média	80%	0,01
	0,803	0,811	0,81	0,808			
	0,799	0,798	0,79	0,795			
Cinza fosca (Convencional)	0,511	0,507	0,516	0,517	Média	53%	0,02
	0,513	0,51	0,519	0,545			
	0,536	0,544	0,549	0,546			
Cinza acetinada (Convencional)	0,502	0,497	0,49	0,493	Média	50%	0,01
	0,506	0,505	0,511	0,51			
	0,511	0,505	0,51	0,507			
Amarela acetinada (Convencional)	0,355	0,352	0,351	0,35	Média	35%	0,00
	0,352	0,343	0,353	0,356			
	0,357	0,363	0,351	0,356			
Amarela fosca (Convencional)	0,425	0,427	0,425	0,426	Média	42%	0,01
	0,415	0,414	0,421	0,4			
	0,424	0,425	0,422	0,418			
Marrom acetinada (Convencional)	0,292	0,289	0,285	0,284	Média	28%	0,01
	0,279	0,281	0,276	0,27			
	0,28	0,277	0,289	0,285			
Marrom fosca (Convencional)	0,329	0,333	0,336	0,331	Média	33%	0,00
	0,334	0,33	0,33	0,327			
	0,332	0,335	0,335	0,334			

UBATUBA

Tabela C.7.9 - refletância 1 ano - Ubatuba

Branca acetinada	0,76	0,78	0,77	0,77	0,78	Média	Desvio padrão
	0,75	0,78	0,78	0,78	0,77		
	0,74	0,73	0,73	0,72	0,75	76%	0,02
Branca fosca	0,77	0,76	0,75	0,77	0,75		
	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75		
	0,74	0,76	0,76	0,76	0,76	76%	0,01
Cinza acetinada ("Fria")	0,64	0,65	0,63	0,64	0,65		
	0,62	0,62	0,63	0,63	0,64		
	0,62	0,63	0,64	0,64	0,64	63%	0,01
Cinza fosca ("Fria")	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65		
	0,64	0,64	0,64	0,65	0,66		
	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	65%	0,01
Amarela acetinada "Fria"	0,55	0,57	0,56	0,56	0,56		
	0,53	0,51	0,51	0,52	0,52		
	0,54	0,58	0,57	0,57	0,57	55%	0,02
Amarela fosca ("Fria")	0,55	0,58	0,57	0,57	0,57		
	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58		
	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58	58%	0,01
Marrom acetinada ("Fria")	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36		
	0,38	0,36	0,36	0,37	0,37		
	0,32	0,36	0,37	0,37	0,37	36%	0,01
Marrom fosca ("Fria")	0,32	0,38	0,4	0,39	0,39		
	0,38	0,4	0,36	0,41	0,41		
	0,37	0,39	0,39	0,39	0,39	38%	0,02
Cinza fosca (mercado)	0,55	0,53	0,53	0,52	0,52		
	0,54	0,56	0,56	0,55	0,55		
	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	54%	0,01
Cinza acetinada (mercado)	0,47	0,52	0,56	0,55	0,55		
	0,5	0,52	0,52	0,53	0,53		
	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	53%	0,02
Amarela acetinada (mercado)	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47		
	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47		
	,47	0,48	0,48	0,48	0,48	47%	0,01
Amarela fosca (mercado)	0,53	0,55	0,54	0,54	0,54		
	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52		
	0,51	0,52	0,53	0,53	0,53	53%	0,01
Marrom acetinada (mercado)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18		
	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18		

	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	18%	0,00
Marrom fosca (mercado)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
	0,19	0,2	0,2	0,2	0,2		
	0,19	0,19	0,19	0,2	0,2	20%	0,00
Branca acetinada (mercado)	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76		
	0,74	0,73	0,73	0,75	0,75		
	0,74	0,76	0,75	0,76	0,77	75%	0,01
Branca Fosca (mercado)	0,78	0,79	0,8	0,77	0,77		
	0,72	0,74	0,77	0,8	0,8		
	0,78	0,78	0,79	0,79	0,79	78%	0,02
Cinza fosca (Convencional)	0,5	0,49	0,49	0,49	0,49		
	0,5	0,5	0,51	0,52	0,53		
	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	50%	0,01
Cinza acetinada (Convencional)	0,43	0,49	0,49	0,5	0,5		
	0,49	0,49	0,5	0,5	0,5		
	0,45	0,49	0,49	0,5	0,5	49%	0,02
Amarela acetinada (Convencional)	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35		
	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35		
	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	35%	0,00
Amarela fosca (Convencional)	0,4	0,43	0,44	0,45	0,45		
	0,42	0,44	0,44	0,44	0,45		
	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44	44%	0,01
Marrom acetinada (Convencional)	0,29	0,29	0,3	0,3	0,3		
	0,29	0,29	0,3	0,3	0,3		
	0,3	0,3	0,3	0,3	0,31	30%	0,01
Marrom fosca (Convencional)	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35		
	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35		
	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	35%	0,00

Tabela C.7.10 - refletância 2 anos - Ubatuba

Branca acetinada	0,7	0,68	0,7	0,69	0,7	Média	Desvio padrão
	0,66	0,7	0,7	0,66	0,7		
	0,67	0,7	0,68	0,68	0,69	69%	0,01
Branca fosca	0,72	0,72	0,71	0,7	0,73		
	0,72	0,73	0,72	0,7	0,71		
	0,72	0,72	0,71	0,72	0,72	72%	0,01
Cinza acetinada ("Fria")	0,6	0,6	0,6	0,58	0,6		
	0,58	0,59	0,59	0,58	0,56		
	0,59	0,59	0,58	0,59	0,56	59%	0,01

Cinza fosca ("Fria")	0,6	0,6	0,59	0,59	0,6	59%	0,01
	0,57	0,57	0,58	0,57	0,57		
	0,61	0,6	0,58	0,59	0,6		
Amarela acetinada "Fria"	0,56	0,57	0,55	0,57	0,56	54%	0,03
	0,56	0,57	0,55	0,57	0,56		
	0,5	0,51	0,5	0,5	0,5		
Amarela fosca ("Fria")	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	56%	0,01
	0,56	0,56	0,57	0,56	0,55		
	0,56	0,57	0,56	0,56	0,56		
Marrom acetinada ("Fria")	0,38	0,38	0,37	0,38	0,37	37%	0,01
	0,36	0,37	0,36	0,36	0,36		
	0,37	0,38	0,37	0,38	0,37		
Marrom fosca ("Fria")	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	41%	0,00
	0,4	0,4	0,41	0,4	0,41		
	0,4	0,41	0,41	0,41	0,41		
Cinza fosca (mercado)	0,57	0,55	0,54	0,55	0,54	56%	0,01
	0,58	0,57	0,56	0,57	0,58		
	0,57	0,56	0,57	0,57	0,56		
Cinza acetinada (mercado)	0,53	0,55	0,53	0,54	0,55	54%	0,01
	0,55	0,54	0,52	0,56	0,54		
	0,55	0,56	0,54	0,54	0,56		
Amarela acetinada (mercado)	0,47	0,47	0,45	0,44	0,45	47%	0,03
	0,46	0,49	0,49	0,46	0,48		
	0,5	0,49	0,49	0,49	0,49		
Amarela fosca (mercado)	0,55	0,54	0,54	0,54	0,52	53%	0,02
	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52		
	0,52	0,53	0,52	0,53	0,52		
Marrom acetinada (mercado)	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19	19%	0,09
	0,18	0,19	0,19	0,19	0,18		
	0,2	0,2	0,2	0,21	0,2		
Marrom fosca (mercado)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	24%	0,01
	0,24	0,22	0,23	0,24	0,24		
	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24		
Branca acetinada (mercado)	0,65	0,66	0,66	0,67	0,65	67%	0,12
	0,71	0,7	0,67	0,65	0,68		
	0,65	0,66	0,67	0,66	0,67		
Branca Fosca (mercado)	0,76	0,75	0,74	0,74	0,77	75%	0,03
	0,73	0,72	0,73	0,74	0,71		
	0,75	0,78	0,79	0,78	0,79		
Cinza fosca (Convencional)	0,49	0,5	0,5	0,49	0,5		
	0,5	0,49	0,5	0,5	0,5		

	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	50%	0,07
Cinza acetinada (Convencional)	0,49	0,48	0,47	0,49	0,49		
	0,48	0,5	0,5	0,5	0,5		
	0,46	0,49	0,51	0,49	0,5	49%	0,01
Amarela acetinada (Convencional)	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34		
	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34		
	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	35%	0,04
Amarela fosca (Convencional)	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44		
	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44		
	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	43%	0,02
Marrom acetinada (Convencional)	0,31	0,3	0,3	0,3	0,3		
	0,3	0,32	0,31	0,31	0,31		
	0,3	0,31	0,31	0,31	0,31	31%	0,04
Marrom fosca (Convencional)	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36		
	0,33	0,35	0,35	0,36	0,36		
	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	35%	0,02

Tabela C.7.11 – refletância 3 anos - Ubatuba

Branca acetinada	0,484	0,555	0,456	0,494	0,62	Média	Desvio padrão
	0,594	0,569	0,62	0,577	0,591		
	0,588	0,567	0,604	0,612	0,598	57%	0,05
Branca fosca	0,553	0,572	0,657	0,575	0,488		
	0,578	0,641	0,593	0,576	0,636		
	0,559	0,615	0,589	0,579	0,598	59%	0,04
Cinza acetinada ("Fria")	0,467	0,499	0,48	0,46	0,504		
	0,514	0,407	0,479	0,532	0,462		
	0,493	0,539	0,521	0,439	0,545	49%	0,04
Cinza fosca ("Fria")	0,543	0,551	0,54	0,553	0,464		
	0,49	0,541	0,53	0,482	0,528		
	0,535	0,448	0,489	0,53	0,386	51%	0,05
Amarela acetinada "Fria"	0,501	0,411	0,48	0,502	0,398		
	0,37	0,359	0,42	0,365	0,439		
	0,513	0,455	0,495	0,519	0,45	45%	0,05
Amarela fosca ("Fria")	0,479	0,411	0,471	0,511	0,476		
	0,501	0,501	0,532	0,495	0,464		
	0,491	0,454	0,473	0,502	0,429	48%	0,03
Marrom acetinada ("Fria")	0,31	0,344	0,353	0,306	0,339		
	0,338	0,32	0,335	0,33	0,31		
	0,332	0,337	0,341	0,333	0,334	33%	0,01
Marrom fosca ("Fria")	0,341	0,382	0,39	0,327	0,389		
	0,386	0,35	0,394	0,395	0,345		
	0,347	0,331	0,315	0,351	0,356	36%	0,03
Cinza fosca (mercado)	0,432	0,553	0,511	0,382	0,458		

	0,478	0,565	0,564	0,505	0,566		
	0,444	0,547	0,529	0,415	0,551	50%	0,06
Cinza acetinada (mercado)	0,471	0,448	0,484	0,498	0,464		
	0,482	0,493	0,53	0,512	0,508		
	0,461	0,464	0,545	0,502	0,497	49%	0,03
Amarela acetinada (mercado)	0,454	0,396	0,387	0,451	0,406		
	0,468	0,404	0,483	0,478	0,394		
	0,433	0,361	0,42	0,43	0,375	42%	0,04
Amarela fosca (mercado)	0,484	0,442	0,493	0,502	0,445		
	0,392	0,449	0,46	0,445	0,476		
	0,486	0,473	0,467	0,49	0,469	46%	0,02
Marrom acetinada (mercado)	0,191	0,181	0,202	0,197	0,189		
	0,195	0,202	0,209	0,194	0,199		
	0,19	0,217	0,201	0,217	0,224	20%	0,01
Marrom fosca (mercado)	0,191	0,198	0,215	0,161	0,189		
	0,245	0,246	0,246	0,251	0,239		
	0,255	0,253	0,254	0,251	0,258	23%	0,03
Branca acetinada (mercado)	0,585	0,54	0,569	0,577	0,533		
	0,546	0,552	0,586	0,559	0,517		
	0,53	0,578	0,56	0,541	0,567	56%	0,02
Branca Fosca (mercado)	0,651	0,646	0,683	0,655	0,612		
	0,639	0,639	0,632	0,632	0,656		
	0,669	0,678	0,678	0,626	0,677	65%	0,02
Cinza fosca (Convencional)	0,46	0,497	0,439	0,435	0,484		
	0,481	0,395	0,496	0,495	0,425		
	0,497	0,469	0,485	0,482	0,399	46%	0,04
Cinza acetinada (Convencional)	0,443	0,441	0,434	0,416	0,427		
	0,412	0,439	0,466	0,433	0,428		
	0,456	0,398	0,445	0,446	0,413	43%	0,02
Amarela acetinada (Convencional)	0,344	0,341	0,344	0,336	0,341		
	0,352	0,331	0,346	0,346	0,33		
	0,336	0,343	0,347	0,34	0,348	34%	0,01
Amarela fosca (Convencional)	0,411	0,336	0,418	0,412	0,344		
	0,403	0,349	0,419	0,389	0,367	Média	
	0,405	0,361	0,397	0,418	0,347	39%	0,03
Marrom acetinada (Convencional)	0,295	0,297	0,302	0,298	0,294		
	0,3	0,287	0,3	0,291	0,281	Média	
	0,302	0,294	0,299	0,299	0,293	30%	0,01
Marrom fosca (Convencional)	0,344	0,324	0,35	0,336	0,332		
	0,32	0,333	0,34	0,322	0,317	Média	
	0,312	0,336	0,348	0,33	0,34	33%	0,01

Tabela C.7.12 – refletância após lavagem - Ubatuba

Branca acetinada	0,76	0,75	0,76	0,76	Média	76%	0,01
	0,76	0,76	0,77	0,76			
	0,77	0,77	0,74	0,76			
Branca fosca	0,8	0,79	0,79	0,77	Média	78%	0,01
	0,786	0,78	0,77	0,78			
	0,79	0,78	0,75	0,78			
Cinza acetinada ("Fria")	0,636	0,629	0,626	0,636	Média	63%	0,01
	0,619	0,603	0,644	0,638			
	0,636	0,624	0,649	0,632			
Cinza fosca ("Fria")	0,654	0,644	0,655	0,649	Média	65%	0,01
	0,646	0,641	0,647	0,641			
	0,656	0,637	0,649	0,636			
Amarela acetinada "Fria"	0,583	0,568	0,573	0,57	Média	56%	0,02
	0,535	0,53	0,537	0,535			
	0,566	0,567	0,569	0,564			
Amarela fosca ("Fria")	0,575	0,581	0,597	0,585	Média	58%	0,02
	0,592	0,586	0,584	0,58			
	0,577	0,51	0,581	0,573			
Marrom acetinada ("Fria")	0,377	0,375	0,372	0,369	Média	37%	0,01
	0,373	0,37	0,371	0,379			
	0,357	0,369	0,367	0,37			
Marrom fosca ("Fria")	0,408	0,41	0,409	0,41	Média	41%	0,00
	0,41	0,405	0,41	0,404			
	0,403	0,397	0,409	0,404			
Cinza fosca (mercado)	0,577	0,57	0,588	0,579	Média	58%	0,01
	0,584	0,579	0,588	0,575			
	0,584	0,577	0,59	0,573			
Cinza acetinada (mercado)	0,537	0,533	0,544	0,537	Média	55%	0,01
	0,558	0,539	0,554	0,54			
	0,555	0,54	0,552	0,551			
Amarela acetinada (mercado)	0,485	0,49	0,482	0,476	Média	49%	0,01
	0,514	0,497	0,504	0,498			
	0,502	0,486	0,491	0,489			
Amarela fosca (mercado)	0,535	0,493	0,521	0,518	Média	53%	0,02
	0,541	0,536	0,55	0,549			
	0,525	0,519	0,532	0,532			
Marrom acetinada (mercado)	0,197	0,191	0,206	0,203	Média	21%	0,01
	0,207	0,2	0,203	0,2			
	0,22	0,225	0,209	0,2			
Marrom fosca (mercado)	0,25	0,245	0,243	0,244	Média	23%	0,01
	0,238	0,228	0,237	0,227			
	0,215	0,216	0,224	0,219			
Branca acetinada (mercado)	0,761	0,754	0,753	0,749	Média	75%	0,01
	0,753	0,758	0,761	0,765			
	0,76	0,755	0,752	0,734			
Branca Fosca (mercado)	0,792	0,797	0,804	0,798			

	0,793	0,789	0,789	0,815			
	0,795	0,804	0,802	0,81	Média	80%	0,01
Cinza fosca (Convencional)	0,506	0,483	0,522	0,495			
	0,52	0,489	0,508	0,489			
	0,514	0,512	0,523	0,523	Média	51%	0,01
Cinza acetinada (Convencional)	0,506	0,505	0,502	0,505			
	0,502	0,487	0,5	0,495			
	0,495	0,506	0,497	0,505	Média	50%	0,01
Amarela acetinada (Convencional)	0,355	0,358	0,368	0,363			
	0,365	0,367	0,357	0,367			
	0,361	0,367	0,36	0,373	Média	36%	0,01
Amarela fosca (Convencional)	0,44	0,416	0,441	0,43			
	0,449	0,439	0,452	0,444			
	0,433	0,434	0,436	0,423	Média	44%	0,01
Marrom acetinada (Convencional)	0,306	0,309	0,305	0,305			
	0,306	0,307	0,304	0,296			
	0,312	0,311	0,312	0,317	Média	31%	0,01
Marrom fosca (Convencional)	0,352	0,356	0,348	0,353			
	0,351	0,35	0,353	0,354			
	0,349	0,348	0,353	0,351	Média	35%	0,00

APÊNDICE D.

No apêndice D estão apresentadas as Tabelas com as formulações das tintas utilizadas nesse estudo.

Tabela D 7.13 – Formulação das tintas em acabamento acetinadas (PVC 30%)

[illegible]