



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÃO CIVIL

*Avaliação da influência das cores sobre a
biodeterioração da pintura externa.*

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa Catarina como
parte dos requisitos necessários à obtenção do título
de Mestre.

AÉCIO DE MIRANDA BREITBACH
ORIENTADORA: JANAÍDE CAVALCANTE ROCHA
FLORIANÓPOLIS, MAIO DE 2009.

AVALIAÇÃO DA INFLUENCIA DAS CORES SOBRE A BIODETERIORAÇÃO DA PINTURA EXTERNA

Autor: Aécio de Miranda Breitbach

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA APROVADA () REPROVADA () PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL EM SESSÃO
PUBLICA REALIZADA A 08 DE MAIO DE 2009.

Prof^a Dr. Ing. Janaíde Cavalcante Rocha – Orientadora

Prof^a Dr. Christine Claire Gaylarde – Co-orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Derval dos Santos Rosa (UFABC/ UNICAMP)

Prof. Ivo José Padaratz, PhD (UFSC)

FICHA CATALOGRAFICA

Breitbach, Aécio de Miranda, 1956-

Avaliação da influência das cores sobre a biodeterioração da pintura externa / Aécio de Miranda Breitbach. – 2009.

99 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Janaíde Rocha Cavalcante.

Co-orientadora: Christine C. Gaylarde

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2009.

1. Tintas látex. 2. Biodeterioração. 3. Fachadas externas. I. Cavalcante, Janaide Rocha. II. Gaylarde, Christine C. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de Engenharia Civil. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina por ter viabilizado meu retorno ao meio acadêmico: inicialmente ministrando aulas para graduação e depois cursando Pós-Graduação;

À Professora Dra. Janaíde Cavalcante Rocha que aceitou a orientação em tema afastado de suas preferências;

À Professora Dra. Christine Claire Gaylarde que motivou e ajudou a viabilizar a realização deste trabalho e foi determinante na obtenção dos resultados alcançados;

A todos os meus professores, desde os bancos escolares até a Pós-Graduação, com quem tive a oportunidade de estudar e aprender;

Aos colegas de Pós-Graduação com quem tive a oportunidade de conviver e estudar;

Ao amigo Carlos que muito auxiliou na montagem do experimento;

À Castelli Engenharia e Construções Ltda. que sempre soube valorizar esta retomada acadêmica e colaborou muito para a sua realização;

Aos colegas de profissão atuantes no ramo de tintas que vêm nesta pesquisa uma busca pelo entendimento de fenômeno há muito observado, como Engenheiro Ecio Thiessen;

À minha esposa Zaira e familiares que, junto comigo, apostaram nesta empreitada, acreditando no sucesso;

Aos bibliotecários Jonathas Troglio e Graziela Medeiros que pacientemente contribuíram para formatação deste estudo.

SUMÁRIO

GLOSSÁRIO	9
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.3 Delimitação da pesquisa	20
1.4 Hipóteses	20
1.4.1 Hipótese geral	20
1.4.2 Hipótese subjacente	20
1.5 Estrutura do trabalho	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Tintas	22
2.1.1 Fabricação e formulação	22
2.1.2 Preservação	27
2.1.3 Pigmentos.....	28
2.1.3.1 Dióxido de titânio	33
2.1.4 Formação de filme	34
2.1.5 Absorção de água pelo filme seco.....	36
2.1.7 Características dos filmes secos	40
2.1.8 Pintura externa de edificações.....	41
2.2 Degradação de pinturas de fachadas	41
2.3 Biodeterioração	42
2.4 Contaminação e ataque biológico em pinturas	49
2.5 Radiação solar das cores em fachadas	50
2.6 Penetração de umidade em fachadas	50
2.7 Biofilmes e biodeterioração	52
2.8 Detecção de microrganismos	54
2.9 Biocidas em filmes secos	56
3 MATERIAIS E METODOS	59
3.1 Preparação das amostras	61
3.2 Exposição das amostras ao intemperismo	64
3.3 Avaliação das amostras	66
3.4 Exposição das amostras em placas	67
3.5 Testes dos pigmentos e das tintas	68
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 Temperatura	69
4.2 Composição química	74
4.3 Análise das superfícies biodeterioradas	79
4.4 Análise meteorológica	84
4.5 Avaliação da biodeterioração	86
5 CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de fachada sul biodeteriorada, em Capoeiras, Florianópolis.....	16
Figura 2: Ilustração da trajetória da luz incidente sobre película de filme de tinta látex.....	30
Figura 3: Ilustração da coalescência: estágios da formação de filme.....	34
Figura 4: Fluxograma representativo da realização deste estudo.....	59
Figura 5 Face frontal da placa de fibrocimento utilizada como.....	61
Figura 6: Ilustração do sistema de fixação das placas de amostra no cavalete.....	63
Figura 7: Disposição das placas no cavalete.....	64
Figura 8: Caracterização do ambiente de exposição no terraço já contaminado.....	65
Figura 9: Ordenação de disposição das amostras.....	65
Figura 10: Posicionamento das amostras com e sem biocida.....	65
Figura 11: <i>Aspergillus</i> ,.....	66
Figura 12: Fotografia infravermelho com medição de.....	69
Figura 13: Diferença de temperatura das amostras entre fachadas sul e norte.....	70
Figura 14: Temperatura versus grau de deterioração.....	71
Figura 15: Biodeterioração comparativa das cores entre norte e sul.....	73
Figura 16: Teor de pigmentos totais em relação a cada tinta estudada.....	75
Figura 17 Teores de PVC das tintas ensaiadas.....	77
Figura 18: Composição química principal das tintas utilizadas, identificação de óxidos por espectrofometria.....	77
Figura 19: Teores %, em massa, de CuO e ZnO nas amostras de tinta.....	79
Figura 20: Fungo <i>Cladosporium</i>	80
Figura 21: Esporos do fungo <i>Alternaria</i>	80
Figura 22: Cianobactérias <i>Gloeocapsa</i>	81
Figura 23: Cianobactérias <i>scytonema</i>	81
Figura 24: Algas <i>Trentepohlia</i>	81
Figura 25: Bactérias gram positiva <i>Actinomiceto</i>	81
Figura 26: Algas <i>Cocóides</i>	81
Figura 27: Cianobactérias <i>Cocóides</i>	81
Figura 28: Cianobacteria <i>Synechocystis</i>	82
Figura 29: Fungo <i>Fusarium</i>	82
Figura 30: Imagem da rugosidade superficial do filme de tinta camurça obtida por microscopia de força atômica.....	82
Figura 31: Fotografia de microscopia metalúrgica de amostra da cor gelo ampliada 200 vezes, com destaque para colônias de fungos, após 20 meses de exposição.....	83
Figura 32: Fotografia MEV amostra gelo.....	83
Figura 33: Fotografia MEV amostra pêssego, com destaque para cianobactéria esférica, assinalada.....	83

Figura 34: Fotografia MEV da amostra cerâmico.....	84
Figura 35: Fotografia MEV da amostra marfim.	84
Figura 36: Fotografia MEV da amostra vermelho: fungos dematiaceas, esporos fungicos e bactérias.	84
Figura 37: Fotografia MEV da amostra camurça.....	84
Figura 38: Demonstrativo da variação extrema mínima e máxima de temperaturas registradas no período do experimento – de fevereiro de 2006 até dezembro de 2008.....	84
Figura 39: Variação da diferença de temperatura entre máxima e mínima mensal.	85
Figura 40: Demonstrativo de horas mensais de sol.....	85
Figura 41: Demonstrativo do regime de chuvas anuais no período de exposição.....	86
Figura 42: Somatório dos teores % de biodeterioração no período.	87
Figura 43: Evolução dos teores Σ % de biodeterioração no período.....	87
Figura 44: Registro de três aferições percentuais de biodeterioração na direção SUL.	88
Figura 45: Registro de três aferições percentuais de biodeterioração na direção NORTE	89
Figura 46: Demonstrativo do teor relativo de biodeterioração médio das cores.....	89
Figura 47: Percentual de biodeterioração após 34 meses de exposição.	90
Figura 48: Placa de Petri com tinta - início da exposição.	91
Figura 49: Dez meses após: tintas em placa de Petri.	91
Figura 50: Aproximação da tinta azul da figura 45.....	91
Figura 51: Aproximação da tinta azul da figura 46.....	91
Figura 52: Tintas pêssego e camurça em início de exposição.....	91
Figura 53: Tintas pêssego e camurça em final de exposição	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos pigmentos mais usados em tintas	31
Tabela 2: Normas técnicas de tinta	38
Tabela 3: Formulação da tinta látex acrílica fosca base.....	60
Tabela 4: Características dos pigmentos utilizados na composição das cores	62
Tabela 5: Dosagem dos pigmentos para obtenção das cores das amostras de tinta	63
Tabela 6: Caracterização das cores das amostras através do programa <i>CalculaCor</i>	67
Tabela 7: Temperatura das amostras nas direções sul e norte e suas diferenças.....	70
Tabela 8: Percentual de biodeterioração e temperaturas da 1ª medição (12 meses)	71
Tabela 9: Conversão de medição da biodeterioração pela norma britânica BS 3900/1986 G6	72
Tabela 10: Análise química (óxidos totais) das pastas de pigmento <i>Colanyl Clariant</i> , (%).....	74
Tabela 11: Teor de PVC das amostras estudadas.....	75
Tabela 12: Composição química das tintas avaliadas por espectrofotometria	76
Tabela 13: Identificação dos agentes de biodeterioração após 20 meses.....	80
Tabela 14: Teor percentual de biodeterioração	88

GLOSSÁRIO

ABNT: sigla da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRAFATI: sigla da Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas.

Aditivos: substâncias que atuam em pequena quantidade na composição de tintas melhorando as propriedades gerais.

Afloram: migram para a superfície.

Agalmatolito: carga branca micronizada capaz de substituir parcialmente o dióxido de titânio

Biocida: agente inibidor do desenvolvimento de organismos vivos.

Biodeterioração: processo natural de degradação biológica dos materiais

Biofilme: filme formado sobre superfícies pintadas resultante da ação simbiótica de todos agentes vivos.

Bronzeamento: processo de fosqueamento superficial do filme de tinta seco onde os pigmentos aflorados se depositam criando aspecto de bronzeamento.

Calcinação: reação que ocorre na superfície com alcalinidade alta e umidade, denegrindo o filme da tinta a base de água.

Coalescência: processo de aglutinação por justaposição dos componentes de uma tinta que ocorre após a evaporação da água, criando um filme seco e contínuo.

Cowles: dispersor, em forma de disco com bordas configuradas para promover o turbilhonamento, utilizado para misturar os pigmentos e cargas no meio líquido durante a fabricação de tintas.

Craqueamento: efeito resultante do processo de contração e expansão do substrato que provoca enrugamento do filme seco da tinta.

Demão: número de camadas de tinta numa pintura.

Eflorescência: migração de sais da parte interna de um substrato para a superfície.

Empolamento: formação de bolhas em filmes de tinta pela ação da água.

Espectrofotômetro: equipamento que identifica o comprimento de onda característico emanado por elementos químicos permitindo sua identificação.

Estirenado: processo químico de alongamento de cadeias de monômeros

Fotocatalisador: característica de agente capaz de, sob a ação da luz solar, iniciar processo químico.

Fungicidas mercuriais: agentes inibidores de crescimento fúngico a base de mercúrio.

Látex premium: tinta látex de primeira linha e qualidade.

Lavabilidade: capacidade de um filme de tinta resistir a sua limpeza, sem perder suas características.

Leveduras: são fungos unicelulares de parede celular rígida e reprodução assexuada.

Lixiviação: transporte em meio líquido promovido pela ação da água da chuva sobre o filme de tinta seco.

Organismo fototrófico: é aquele capaz de transformar energia a partir da luz solar.

Pigmentos: são partículas sólidas, totalmente insolúveis no veículo, utilizadas para conferir cor, cobertura e poder de enchimento na formulação de tintas.

Pigmentos Inorgânicos: classe de pigmentos que apresentam uma predominância de elementos metálicos na sua composição.

Pigmentos Orgânicos: classe de pigmentos que apresentam uma predominância de carbono na sua composição.

Placa de Petri: recipiente cilíndrico transparente, uma base e uma tampa, de reduzida altura para cultivar microrganismos de forma controlada em ambiente rico em nutrientes (ágar), criada pelo bacteriologista alemão J.R. Petri (1852-1921).

Poder de cobertura: capacidade de ocultar a superfície a ser pintada com a aplicação de uma demão.

Primer: produto aplicado geralmente antes da tinta de acabamento, que tem por finalidade, uniformizar a absorção e dar proteção contra a corrosão.

PVA: sigla de Polivinil Acetato ou Acetato de Polivinila.

Quelação: é o processo onde sequestrantes orgânicos juntamente com os íons de metais pesados formam combinações complexas solúveis em água.

Reologia: estudo das mudanças na forma e no fluxo de um material.

Sangramento: migração de pigmento livre

Sistema Tintomérico: sistema microprocessado capaz de produzir e reproduzir rapidamente tintas em muitas cores sobre uma base branca.

Solventes: são líquidos voláteis, cujas principais funções são facilitar a formulação, conferir viscosidade adequada para aplicação da tinta e contribuir para o nivelamento e secagem.

Surfactante: é um composto capaz de alterar as propriedades superficiais e interfaciais de um líquido.

Termo-fixo: após aplicação torna-se permanentemente irreversivelmente rígido.

Tintas alquídicas: tintas fabricadas a partir de óleos naturais

Tintas látex: são tintas prediais a base de água capazes de formar filme seco elástico.

RESUMO

Esta pesquisa avalia a influência dos pigmentos sobre a biodeterioração de pinturas látex externas. Tais tintas sofrem ataque da intempérie e de microrganismos que provocam biodeterioração, podendo degradar o filme seco. Estes microrganismos se nutrem de componentes da tinta e de carbono, disponível no ambiente em presença de umidade. A ação dos microrganismos pode ser controlada pelos biocidas da tinta e pelos componentes químicos dos pigmentos. Os fabricantes de tinta, normalmente, não incluem biocidas para filme seco na sua formulação. Esta deficiência pode ocasionar a biodeterioração. Os pigmentos, como únicos agentes de variação, são os responsáveis pelo desempenho variável das tintas frente à biodeterioração. Utilizou-se uma montagem experimental de 80 placas pintadas com 10 cores diferentes que foi exposta a intempérie, por quase três anos, no campus da UFSC, em Florianópolis/SC, Brasil. A partir do exame e da avaliação das amostras foi possível classificar as cores quanto à resistência à biodeterioração, bem como identificar qualitativamente os microrganismos existentes. Além dos fungos, foi constatada a presença de algas após o segundo ano de observação. As amostras da orientação norte apresentaram maior biodeterioração quando comparadas com as voltadas ao sul. As cores escuras, como azul, vermelho e cerâmico mostraram mais capacidade de resistir à biodeterioração, do que as cores claras como palha, camurça e gelo. O ordenamento de desempenho à biodeterioração das amostras ao sul e ao norte foi muito semelhante: azul, vermelho, cerâmico, verde, marfim, amarelo, pêssego, palha, camurça e gelo. A partir do procedimento experimental proposto torna-se possível escolher as cores de tinta, visando minimizar os danos decorrentes da biodeterioração, o que pode proporcionar um aumento da vida útil das pinturas, espaçando mais as repinturas. Para as tintas empregadas no presente estudo, foi possível identificar o potencial para a redução dos teores de fungicidas e algicidas, fazendo uso das propriedades biocidas dos próprios pigmentos, o que reduziria o impacto ambiental decorrente de sua lixiviação.

Palavras-chaves: Tintas látex. Biodeterioração. Fachadas externas.

ABSTRACT

The influence of pigments on the biodeterioration of external latex paint films was studied. These paint films are attacked by weathering and microorganisms that cause biodeterioration, which can lead to film breakdown. The microorganisms use paint components as nutrients, together with carbon available in the environment, and grow in the presence of water. Microbial activity can be controlled by biocides in the paint and by the chemical components of the pigments. Paint manufacturers do not normally include dry film biocides in the formulation. This can result in biodeterioration. Pigments, the only variable in a formulation, are responsible for the different responses of the paints to biodeterioration. The experimental design was composed of 80 panels painted with 10 different colours that were exposed to the external environment for almost 3 years at the campus of UFSC, Florianópolis/SC- Brazil. The colours were rated for the degree of biodeterioration and the microorganisms colonising the panels were identified qualitatively. Mainly fungi were detected, with algae being present after the second year. North-facing panels showed greater biodeterioration than south-facing. Dark colours as blue, red and ceramic, were more resistant to biodeterioration than pale colours as straw, suede and ice. The order of the colours with respect to resistance to biodeterioration was similar on both north and south facing panels, blue, red, ceramic, green, ivory, yellow, peach, straw, suede and ice. The results of this study will allow the choice of paint colours to minimise the damage caused by biodeterioration and increase the life of the paint film, thus reducing the need for repainting. It will also be possible to reduce the levels of fungicides and algicides, using instead the biocidal action of pigments, and thus reducing the adverse impact of biocide leaching into the environment.

Keywords: Latex paints. Biodeterioration. Exterior facades.

RÉSUMÉ

Ce recherche porte sur l'influence des pigments sur la biodégradation de peinture externe en latex. Quand la peinture en latex est appliquée sur des façades externes, soumises à l'action des intempéries et des micro-organismes, cela peut engendrer un processus de biodégradation entraînant même la détérioration du film sec. Les micro-organismes se nourrissent non seulement des composants de la peinture, mais aussi du carbone disponible en présence d'humidité. L'action de ces micro-organismes peut être contrôlée par les biocides et les composants chimiques des pigments. Les biocides ne sont normalement pas ajoutés à la peinture lors de sa fabrication, il en résulte à moyen terme une biodégradation des surfaces peintes. De ce fait, les pigments sont les seuls agents capables d'offrir une résistance au processus de biodégradation de la peinture. Le but de ce travail a été de mettre en avant le rôle des pigments, par l'analyse des performances présentées par les peintures en fonction du temps d'exposition et des différentes couleurs (pigments) utilisées. 80 plaquettes rectangulaires peintes de 10 couleurs différentes, ont été exposées aux intempéries pendant 3 ans à Florianopolis, Brésil. Les résultats montrent que les couleurs utilisées peuvent être classées selon leur résistance à la biodégradation. Les plaquettes orientées au Nord ont subi une biodégradation plus forte que celles orientées au Sud. Les couleurs sombres se sont avérées plus résistantes à la biodégradation comparé aux couleurs claires. La classification des couleurs selon leur vulnérabilité face à la biodégradation s'est montrée assez semblable tant au Nord qu'au Sud. L'identification qualitative des micro-organismes présents est un deuxième élément dégagé par cette recherche. En plus des champignons, l'existence d'algues a été repérée au bout des deux premières années d'observation. Cette étude montre comment choisir la couleur afin de réduire le processus de biodégradation pouvant ainsi augmenter la durée de vie des peintures. De plus, il est possible de réduire les teneurs en fongicides et algicides en faisant valoir les propriétés biocides présentes dans les pigments. Cela limiterait les impacts nuisibles sur l'environnement, minimisant la lixiviation des éléments polluants.

Mots-clés : Peintures latex. Biodégradation. Façades extérieures.

1 INTRODUÇÃO

O tema da biodeterioração das tintas não é inédito. Pelo contrário, há pesquisadores trabalhando nele, tanto no Brasil (UEMOTO, SATO, SHIRAKAWA, VANDERLEY, AGOPYAN) como, principalmente, nos Estados Unidos e na Europa (BOULON, GAYLARDE, MORTON) cuja abordagem visa à criação de filmes mais duráveis. Entretanto, no que diz respeito especificamente à relação entre as cores e a biodeterioração, ainda há muito que se estudar. Na literatura especializada, são raras as referências sobre o assunto, sendo que o único trabalho, que foi possível encontrar, relacionando cores e biodeterioração, é de TURNER, que analisa as conseqüências sobre a pintura do couro. Assim, num contexto em que a influência da cor sobre a biodeterioração é ainda um assunto pouco estudado, o presente trabalho poderá contribuir para o conhecimento do tema, apresentando resultados capazes de indicar a utilização de cores menos sujeitas à biodeterioração e, portanto, mais duráveis.

Pintura de fachadas externas com tintas látex acrílicas à base de água, sobre revestimentos de argamassa cimentícia, continua sendo o acabamento final de maior utilização atualmente no Brasil. As tintas látex são empregadas como revestimento de proteção para prevenir a degradação do substrato, promovendo acabamento estético e decorativo. Normalmente, esse tipo de pintura é empregado pelo seu baixo custo, utilizando mão de obra pouco qualificada, pois é um procedimento de simples execução, que proporciona uma relação custo benefício muito acessível em contrapartida a seu desempenho satisfatório.

Entretanto, é importante ressaltar o fato de que, no Brasil, as tintas são produzidas com a mesma formulação para serem comercializadas e aplicadas em qualquer ponto do território nacional. Frente à enorme diversidade biológica e climática do país, é compreensível que estas tintas apresentem desempenho desigual e insatisfatório nas diferentes regiões.

De maneira geral, tem-se observado cada vez mais a ocorrência de biodeterioração em fachadas decorrente do ataque de microrganismos, o que leva a freqüentes serviços de limpeza e aplicação de nova pintura. Estudos recentes demonstram que a população de microrganismos contaminantes das pinturas externas é constituída por fungos, cianobactérias, algas, líquens e leveduras. Estes microrganismos são capazes de produzir deteriorações irreversíveis no filme da tinta (BOULON, 2004), destruindo a película formada,

causando muitas vezes seu desprendimento, o que expõe o substrato e facilita o acesso da umidade, acelerando o processo (PETRUCCI, 2002), que por sua vez incrementa e acelera a fixação da umidade.

A biodeterioração do ambiente construído, sobretudo no que respeita às habitações, é um problema sério, pois pode resultar na insalubridade desses espaços, o que se traduz numa inadequação à vida humana. A preocupação com doenças relacionadas ao ambiente construído não é nova. O relato que segue, extraído do Antigo Testamento, apresenta a - muito provavelmente - mais antiga referência conhecida sobre biodegradação de paredes, bem como a descrição do procedimento indicado para sua eliminação.

No objetivo de aplicar a lei destinada a combater a lepra, doença associada a bolor ou mofo em residências, um sacerdote é responsável por exterminar a lepra nas casas, identificando sua presença em “covinhas verdes ou vermelhas” nas paredes. Ele recomenda a remoção das pedras contaminadas e a raspagem geral das paredes internas, ordenando o lançamento dos dejetos fora da cidade, em “lugar imundo”. Após substituir as pedras removidas, recomenda realização de novo reboco e, “se a praga na casa tem estendido”, a casa é derrubada e todo material é igualmente disposto em “lugar imundo”, fora da cidade. (BIBLIA SAGRADA, 2004, Livro do Levítico, cap.14).

A biodegradação se efetiva por meio de um processo biológico de interdependência entre diversos microrganismos que geram biofilme (MORTON e SURMAN, 1994). Sob a ação da água das chuvas e a incidência de radiação solar, os microrganismos do biofilme degradam carbono, excretando dejetos e enzimas prejudiciais à tinta e ao substrato (UEMOTO, AGOPYAN, BRAZOLIN, 1995). Assim a biodeterioração é um fenômeno localizado cuja ocorrência está diretamente ligada à presença e à combinação de diversos agentes como: orientação solar, umidade relativa do ar, disponibilidade de nutrientes, porosidade do substrato e formas geométricas favoráveis à incidência de chuva (GAYLARDE, RIBAS e WARSCHEID, 2003). Observa-se que a biodeterioração age de forma diferenciada nas diversas fachadas de um mesmo prédio, evidenciando o comprometimento seletivo gerido pela maior ou menor presença dos agentes causadores (SATO, UEMOTO, SHIRAKAWA, SAHADE, 2002). Constata-se, ainda, que esta contaminação não se propaga necessariamente de um prédio a outro, mesmo estando próximos. Por fim, observa-se que, do ponto de vista cronológico, a biodeterioração não guarda relação direta com o tempo decorrido, podendo surgir nos primeiros meses ou ao longo dos anos, em função da ocorrência das diversas variáveis determinantes.

Os diversos materiais de revestimento externo, utilizados em fachadas, apresentam estruturas porosas diferenciadas estando sujeitos a variações da umidade relativa do ar e ação do orvalho. Sob a ação dos microrganismos, tais materiais podem ser danificados de forma reversível ou irreversível em função do grau de comprometimento da tinta e do substrato.

Na sua forma mais simples, as tintas látex compreendem ligante, pigmentos, cargas, aditivos e solvente. O ligante produz o filme ao secar por coalescência e é constituído normalmente a base de acetato vinílico, cloreto de vinila, acrilato, ou emulsão de polímeros estirênicos. O pigmento confere a cor, podendo ser de origem inorgânica ou orgânica. As cargas são de origem mineral e conferem massa ao sistema, ocupando os vazios. Sendo os componentes de menor custo, conferem maior economia ao processo. Os aditivos, por sua vez, sempre em baixas proporções, respondem por efeitos específicos tais como: conferir propriedades antiespumantes, surfactantes, hidrorrepelentes, dispersantes, modificadores de reologia, reguladoras de formação de filme e biocidas. O solvente é água, que auxilia na aplicação e estimula as propriedades secantes. Tintas látex contem normalmente surfactantes, modificadores de reologia como éteres celulósicos, e extensores-argila ou carbonatos de cálcio (ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004). Muitas destas matérias primas são nutrientes para a proliferação de fungos e de cianobactérias que causam desfiguração de pinturas externas, inclusive em regiões de clima temperado e principalmente nas regiões tropicais, onde o problema é mais grave (SATO, VITTORINO, AGOPYAN, UEMOTO, JOHN, 1995), conforme ilustra a figura 1.



Figura 1: Exemplo de fachada sul biodeteriorada, em Capoeiras, Florianópolis.

As normas técnicas nacionais sobre tintas prediais são recentes, ou seja, foram publicadas a partir de 1992. Outras estão ainda em elaboração, tendo em vista que essa iniciativa depende do grau de organização e do interesse dos setores produtivo e acadêmico. No âmbito nacional, há uma mobilização em função das exigências do Programa Brasileiro da Qualidade e da Produtividade do Habitat (PBQPH). O estudo da biodeterioração em tintas apresenta um interesse crescente, como foi verificado nos dois últimos congressos internacionais de tintas da Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAFATI).

As tecnologias biocidas são desenvolvidas por empresas multinacionais especializadas que, mesmo tendo grande interesse na venda de seus produtos¹, não buscam sua adequação ao mercado brasileiro, cujo território possui enorme diferenciação climática, (PAINT & PINTURA, 2007). Entretanto, essa situação começa a se modificar, na medida em que a durabilidade, lastreada pela garantia do produto, está se tornando um argumento de venda e de competitividade entre fabricantes. Além disso, a qualidade das tintas é uma exigência do consumidor final, sinalizando também um avanço da normatização técnica. Com isso, observa-se que alguns fabricantes já estão lançando tintas mais resistentes à biodeterioração.

O momento atual é, portanto, estimulante para as pesquisas sobre biodeterioração de tintas, tanto para os agentes acadêmicos, quanto para os da esfera produtiva. Os estudos sobre a biodeterioração de fachadas estão a cargo não somente de pesquisadores microbiologistas, engenheiros, arquitetos, como também de fabricantes de tintas, de materiais de revestimento de fachadas e, ainda, de produtores de biocidas (GAYLARDE, MORTON, 1997). Tem-se um desafio tecnológico, que consiste em obter a preservação das tintas e do sistema de pintura, para aumentar a vida útil do filme, minimizando o efeito da degradação das fachadas.

1.1 Justificativa

O tema desta pesquisa surgiu a partir das freqüentes observações realizadas pelo autor ao longo dos últimos quinze anos em Florianópolis, quando foi possível perceber que a pintura de prédios apresentava durabilidade variável em função do grau de ataque

¹ Conforme verificado no 9º e no 10º Congresso Internacional de Tintas, realizados em outubro de 2005 e de 2007, respectivamente, em São Paulo.

biológico. Para ilustrar a idéia, a figura 1 mostra claramente que a parte pintada com cor cerâmico não apresenta biodeterioração enquanto que a cor branca é atacada

Convém ressaltar, ainda, que no caso de Florianópolis, como zona litorânea, a proximidade do mar, com suas características microbiológicas específicas, agrega mais um fator causador de biodeterioração e, conseqüentemente, provoca o aumento da sujidade das fachadas externas (COSTA, SILVA FILHO, GREVEN, 2001). Muitos prédios são atingidos de diferentes formas e intensidades, já que a penetração de umidade nas paredes externas ocorre diferentemente em função da situação geográfica e da textura superficial e porosidade. As fachadas na direção sul tendem a ser as mais atingidas, possivelmente pela fraca insolação e pelo vento frio e úmido proveniente do sul.

Detalhes e ornamentos de fachadas, como peitoris de janelas, pingadeiras, rebaixos e saliências - tão presentes na detalhada arquitetura brasileira de fachadas dos séculos XVIII e XIX - podem conduzir a chuva ao solo protegendo o substrato. Em casos extremos, a biodeterioração pode até mesmo alcançar o ambiente interno, provocando também sua contaminação e comprometendo sua salubridade e habitabilidade.

Os processos de repintura são freqüentemente utilizados na tentativa de solucionar o problema da biodeterioração. De fato, eles podem restaurar a estanqueidade e a estética perdidas pelos paramentos, porém apenas mascarando os efeitos da biodeterioração. A par disso, existe a noção amplamente aceita de que as tintas não apresentam grande durabilidade, e que somente as repinturas freqüentes são capazes de manter a boa aparência externa das fachadas. Nesse contexto, fica fácil compreender o fato de que os fabricantes de tintas não tenham demonstrado especial interesse na produção de tintas mais eficientes, capazes de resistir à biodeterioração. Reforçando o conceito dominante, de que as repinturas são necessárias, ficava assim garantido o consumo crescente de tintas.

O emprego de biocidas específicos apresenta um custo inicial mais elevado para produção de tintas, pois requer uma identificação precisa dos agentes microbiológicos atuantes, mesmo para as dosagens com baixos teores de biocidas, que utilizam teores variando de 0,25 a 2%, conforme boletim técnico do *Acticide EPW* da *Thor Brasil Ltda*. As soluções preventivas fazem parte da execução do serviço, ao passo que as soluções corretivas de remoção, como hidrojateamento e elevação de pH com aplicação de hipoclorito de sódio, embora não tendo custo elevado, serão suportadas pelos usuários dos imóveis. Como a qualidade da tinta não é muito valorizada na oportunidade da aquisição do imóvel, o construtor utiliza produto de custo menor, sem fungicida e/ou algicida, que não é capaz de resistir aos ataques microbiológicos ao longo do tempo. Os efeitos degradantes sobre o filme

seco comprometem sua vida útil chegando a prejudicar a estética, conferindo aspecto de sujeira. A identificação preventiva dos microrganismos existentes, a especificação e a dosagem dos biocidas necessários para neutralizá-los dependem de análise especializada e não conferem ao produto final maiores riscos de aplicação aos pintores, do que as tintas desprovidas de agentes biocidas para filme seco.

A partir da presente pesquisa, obtendo a comprovação de uma correlação entre cor e biodeterioração, será possível aumentar a vida útil das pinturas externas, reduzindo a frequência de repinturas e baixando o custo de manutenção dos imóveis. Assim, a utilização dos pigmentos mais resistentes trará importantes conseqüências econômicas para a população, em especial para as camadas de baixa renda. Isso poderá beneficiar grande parte da população litorânea de Santa Catarina, respeitadas as peculiaridades dos microclimas locais, que poderá fazer uso das cores que apresentarem melhor desempenho frente ao intemperismo degradante das fachadas de suas habitações.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a influencia determinante dos pigmentos, normalmente utilizados nas tintas látex, sobre a biodeterioração do filme seco em fachadas expostas ao intemperismo natural em Florianópolis/SC, por 34 meses.

Teve-se por objetivos específicos:

- Avaliar os efeitos dos pigmentos e classificá-los em relação à sua resistência a biodeterioração.
- Identificar o grau de biodeterioração das amostras de cada cor de forma comparativa entre as direções geográficas norte e sul, bem como identificar qualitativamente os microrganismos causadores da biodeterioração.
- Avaliar os diferentes graus de biodeterioração de cada cor, em função dos parâmetros medidos, como temperatura e composição química considerando o comprometimento superficial.

- Avaliar a influência dos componentes químicos dos pigmentos sobre a biodeterioração verificada.

1.3 Delimitação da pesquisa

Esta pesquisa está restrita às condicionantes ambientais de Florianópolis, Estado de Santa Catarina, Brasil. As conclusões aqui obtidas não poderão, portanto, serem aplicadas a situações ambientais com características diferentes.

A avaliação foi limitada a um conjunto de dez cores, num processo de observação com a duração de 34 meses de exposição ao intemperismo no terraço do prédio da Engenharia Civil, no interior do campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

1.4 Hipóteses

1.4.1 Hipótese geral

As tintas látex de uso externo, em função de suas cores, poderiam apresentar diferentes desempenhos face ao processo de biodeterioração.

1.4.2 Hipótese subjacente

Os pigmentos têm diferentes composições químicas e contaminantes que podem afetar seu desempenho à biodeterioração. A natureza química dos pigmentos pode afetar o desempenho das tintas à biodeterioração.

1.5 Estrutura do trabalho

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos: Glossário, Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, e Conclusões. Nas páginas iniciais, um glossário básico é apresentado, com as definições de alguns termos vinculados a tecnologia, produção e propriedades das tintas imobiliárias.

O Glossário apresenta o significado de alguns termos técnicos empregados. O Resumo e a Introdução, além de conterem as considerações iniciais sobre o tema de trabalho, apresentam as justificativas, os objetivos, as hipóteses e as delimitações da pesquisa.

A Revisão Bibliográfica aborda a fabricação e a formulação de tintas, preservação da tinta, pigmentos para tintas base água, formação do filme, absorção de água pelo filme seco, desempenho das tintas e características do filme seco. Aborda também a pintura externa de edificações, degradação de pinturas de fachadas, biodeterioração, contaminação e ataque biológico em pinturas, radiação solar das cores em fachadas, penetração e absorção de umidade em fachadas, biofilmes e biodeterioração, métodos de detecção de microrganismos e biocidas.

O capítulo, denominado Materiais e Métodos, apresenta a formulação da tinta utilizada e identifica o procedimento experimental adotado. Descreve, ainda, as ferramentas e métodos empregados na identificação da biodeterioração das amostras e relata sobre a aferição de sua temperatura superficial.

Posteriormente, são descritos os resultados obtidos após quase três anos de exposição, para então, nas Conclusões, serem correlacionados esses resultados com suas causas prováveis. Embora apresentados de forma condensada, os resultados da pesquisa ensejam, ainda, a formulação de observações conclusivas pertinentes.

A última parte, Referências apresenta a origem das citações apresentadas ao longo do texto, incluindo aquelas buscadas na rede mundial de computadores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tintas

Conforme veiculado pelo “Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes”, ABRAFATI (2006), a tinta pode ser considerada como uma mistura estável entre uma parte sólida, que forma a película aderente à superfície a ser pintada, um componente volátil, água ou solventes orgânicos, e uma terceira parte denominada aditivos. Tais aditivos, apesar de representarem pequena participação percentual na formulação, são responsáveis pela obtenção de propriedades e características fundamentais a sua aplicação e desempenho. Assim a tinta é resultante da formulação de diversos insumos sólidos e voláteis capazes de definirem as propriedades de resistência e de aspecto, bem como o tipo de aplicação e custo do produto final.

2.1.1 Fabricação e formulação

A automação é uma ferramenta de ganho de produtividade e qualidade do produto acabado, melhoria na segurança do trabalho e saúde ocupacional, bem como redução de impacto ambiental. A automação também valoriza o funcionário, que deixa de fazer um trabalho mecânico repetitivo e passa a supervisionar o processo, através das informações disponíveis nas interfaces homem e a máquina. A partir da década de noventa os grandes fabricantes nacionais de tintas ingressaram na automação industrial. O processo de produção automatizado contínuo de tinta utiliza misturador em linha e acerto de viscosidade ao longo do processo, requerendo investimentos em pesquisa de novos sensores e equipamentos industriais. Tais equipamentos são capazes de medir e controlar as variáveis do processo em tempo real, utilizando como técnicas espectrofotometria, ótica, mecânica fina, colorimetria e softwares de supervisão e controle. A partir de tanques, ou silos de armazenagem de matérias primas, são feitas adições de resinas, concentrados de pigmentos, adição de aditivos e solventes. O processo pode ser dividido em duas linhas de alimentação que recebem, alternada e independentemente, a introdução das matérias primas automaticamente dosadas, por bombas e válvulas de liberação em tanques de mistura. Um duto de saída inferior

direciona a mistura para o misturador principal, com a tinta produzida sendo conduzida ao tanque de armazenamento.

Através de um conjunto de fibras óticas, a luz é conduzida e recolhida ao passar no filme úmido do fluido, aferindo transmissão ou reflexão. Os sinais coletados são direcionados a um espectrofotômetro que calcula variação de cor, poder de tingimento, transparência e cobertura. Um microcomputador industrial é responsável por todas as tarefas de controle dos dispositivos, comunicação e transmissão dos dados adquiridos. Tal processo é flexível a ponto de ser capaz de produzir lotes de 1.000 a 14.000 litros de tintas, permitindo atender aos pedidos de diferentes volumes. Um sistema de limpeza interna utiliza gás nitrogênio para empurrar a tinta do interior da tubulação que após é limpa por solvente bombeado, reduzindo o impacto ambiental

No processo tradicional, em bateladas, se faz a pré-dispersão num tanque, adicionando-se resina, solventes e aditivos através de um sistema de agitação, acrescentando pigmentos para dar cor à tinta. Em seguida usa-se um moinho para fazer a dispersão final. Passa-se para um tanque maior para acrescentar resinas e aditivos, utilizando um dispersor de *Cowles*. Numa etapa final é feito o acerto da cor, aos encargos de profissional colorista que ao acrescentar pigmentos procura obter a cor padrão desejada. Este acerto pode ser demorado e trabalhoso conferindo a cada lote de produção um matiz de cor específico. Justamente por isso, os diferentes lotes são identificados na embalagem para permitir a realização de retoques ou continuidade de aplicação mantendo-se o mesmo tom de cor. Na saída do processo é feito o envase.

Em um processo automatizado e contínuo tudo é feito simultaneamente. O processo convencional de produção de tintas em bateladas é baseado em tecnologia voltada às análises de qualidade realizadas em laboratório após a realização da produção, ao passo que no processo contínuo o controle é automatizado. Mesmo com uma dosagem precisa e um processo afinado, se os ingredientes e matérias-primas da formulação sofrerem variações, o produto final pode não atender às especificações, necessitando correções e ajustes durante sua produção. Este processo de amostragem, controle de qualidade em laboratório e correções no produto até sua liberação final, é bastante moroso implicando em custos diretos e indiretos de produção. Não é possível produzir uma cor de batelada, e sim adicionar uma outra que cancela o efeito da anterior, corrigindo-se de tal forma a cor acrescentando-se concentrados, não previstos na fórmula original. A cada correção, acrescenta-se um ou mais concentrados

até a obtenção da cor final desejada, alterando por sua vez o balanço entre pigmentos, aditivos, solventes e resinas, já que o volume do lote é fixo.

Durante o processo convencional de batelada o produto final pode apresentar poder de cobertura superior ao necessário, implicando em custos adicionais, pois os pigmentos, como itens nobres da formulação, são de alto custo. O longo tempo da produção e da preparação na troca de cores, perdas, limpeza de tanques, consumo de solventes e sua evaporação são fontes potenciais de poluição. Além do mais, necessita de grandes áreas para produção e uma grande variabilidade na produção final devido a diferenças nas matérias primas e erros em operações manuais. Em menor escala é também possível produzir tinta em volumes de até 200 litros mediante a utilização de dispersor misturador de alimentação manual.

Os principais insumos utilizados na fabricação de tinta látex são:

1. Coalescentes são aditivos que auxiliam na redução da temperatura de formação de filme das resinas prolongando o tempo de secagem, permitindo a formação de filme a temperaturas ambientais baixas próximas a 10 ° C e evitando o fendilhamento superficial, como aguarás para tintas látex;

2. Dispersantes são produtos que reduzem a atração polar entre cargas minerais incorporadas ao meio aquoso da tinta, eliminando a formação de precipitados e grumos. Dispersantes impedem a separação e até mesmo a desestabilização reológica, melhorando a trabalhabilidade da tinta, reduzindo sua viscosidade através da utilização de menos água em relação à carga mineral, fazendo com que a mistura se torne mais compacta, facilitando a dispersão dos minerais. São compostos tensoativos não iônicos, cuja formulação é definida de forma diferenciada pelos fabricantes;

3. Biocidas são aditivos preservativos para conservar a tinta, dentro de sua embalagem, evitando a proliferação de colônias de bactérias e para evitar o crescimento de fungos e algas no filme seco. Como por exemplo, *Octilizotiazolinona* (OIT), *Diociltisotiazolinona* (DCOIT)-, *Carbendazina*, *Iodopropinil Butil Carbamato* (IPBC) - com função fungicida; *Benzisotiazolinona* (BIT), *Clorometil* (CIT), *Metilsotiazolinona* (MIT)- com função bactericida e *Triazina*, *Diuron*, - com função algicida;

4. Emulgadores e Umectantes são aditivos que facilitam a incorporação de cargas ao meio líquido e ajudam a emulsionar toda formulação. Em suspensão, estabiliza a tinta. Impede a separação entre fases líquida e sólida. Apresenta propriedade tensoativa reduzindo o ângulo de contato entre a água e os componentes sólidos, fluidificando a mistura. Mantém as características da tinta até sua utilização e facilitando também sua penetração no substrato;

5. Antiespumantes são aditivos que evitam a incorporação de ar à tinta durante o seu processo de fabricação e durante sua aplicação: normalmente são produtos à base de óleos minerais ou sintéticos, como óleo de pinho, óleo de silicone ou álcool etílico;

6. Espessantes aumentam a viscosidade da tinta, dando mais corpo e reologia: um exemplo é o *Cellosize*® - Hidroxi Etil Celulose (HEC) de origem celulósica. Espessante confere um comportamento tixotrópico, ou seja, quando em movimento, no rolo de tinta ou pincel, apresenta redução de viscosidade, facilitando seu espalhamento, e quando em repouso recupera viscosidade mais alta. Este efeito permite a aplicação da tinta sem muitos respingos ou perdas, mantendo as cargas minerais em suspensão;

7. Pigmentos são cargas de origem mineral com dimensões reduzidas, variando de 0,25 a 1,50 μm , que não se solubilizam em meios líquidos, conferindo cobertura e coloração à tinta. Em função do seu elevado índice de refração e opacidade, absorvem e refletem os raios solares incidentes, como dióxido de titânio de maior poder de reflexão e opacidade, carbonato e sulfato de chumbo, óxido de zinco, litopônio, branco. Sua utilização está condicionada às seguintes propriedades: sangramento, diluição em meio líquido, poder de tingimento, solidez à luz, poder de cobertura, acidez e basicidade, absorção de óleo para umectação. Pigmentos podem ser inorgânicos que são mais estáveis: aluminatos, azul; cromatos, amarelos; ferrocianetos, marrom, verde, vermelho, amarelo; óxidos, amarelo, vermelho, verde, preto; silicatos azul; sulfetos, amarelo, marrom; ou pigmentos orgânicos que são menos resistentes: azul, vermelho; azo pigmentos, amarelo, marrom, vermelho; antraquinonas, amarelo; ftalocianinas, azul e verde; e índigos, vermelho. Os pigmentos apresentam forma esferoidal, romboédrica ou acicular.

8. Resina é o veículo, suporte ou ligante, responsável pela formação da camada de filme sendo o agente da retenção de cor, brilho, resistência à ação da água e produtos químicos, resistência à abrasão e flexibilidade, influenciando a aplicabilidade, secagem e durabilidade. São macromoléculas de estrutura química complexa e sintetizadas por processos industriais, utilizando calor e catalisadores. Resinas acrílicas: obtidas por esterificação dos ácidos acrílicos com alcoóis, apresentam dureza, flexibilidade e resistência a agentes químicos

e degradantes do intemperismo, retenção de calor e brilho, reduzindo seu custo sensivelmente e viabilizando sua utilização comercial. Resinas acrílicas apresentam desempenho superior à resina a base de PVA - poliacetato de vinila, conferindo redução de permeabilidade.

9. Solventes são agentes capazes de diluir e modificar a viscosidade ou consistência da tinta proporcionando uniformidade na sua aplicação, os mais utilizados são hexilenoglicol e água;

10. Plastificantes são óleos vegetais, como por exemplo óleo de mamona, e resinas poliméricas de baixa massa molar, conferindo às tintas e vernizes boa flexibilidade para suportarem os movimentos de expansão e contração do substrato adequando-se às condições de aplicação e desempenho.

11. Seqüestranes são aditivos permutadores de íons para tintas a base água, agindo sobre a liberação de sais solúveis dos pigmentos e da água catiônica: como exemplo pode-se citar pirofosfato de sódio, cristal, e hexametáfosfato de sódio, flocos ou pó;

12. Estabilizante é a amônia usada para estabilizar o espessante, pois deixa o meio alcalino, evitando reação indesejável do carbonato de cálcio, carga, quando em meio ácido, que pode liberar gás carbônico formando um gel, capaz de aumentar a consistência da tinta;

13. Cargas são agregados de origem mineral que apresentam granulometria reduzida ou micronizada que além de viabilizarem a tinta comercialmente, aumentam seu poder de cobertura, podendo até mesmo interferir na fidelidade de reprodução de cor, aumentam a espessura do filme seco e sua resistência mecânica. Em tintas imobiliárias, as cargas são utilizadas para encorpar a tinta, melhorando a resistência às intempéries e à lavabilidade. A combinação balanceada de cargas minerais de diferentes granulometrias pode reduzir o teor de vazios, através de melhor preenchimento, formando uma barreira mais compacta à reflexão da luz, melhorando o poder de cobertura. Exemplos de cargas: óxido de zinco, carbonato de cálcio malha 325-400 *mesh*, caulim, agalmatolito e cal (FAZANO, 1998).

Atualmente as máquinas tintométricas, utilizadas nas revendas e lojas, permitem a pigmentação da tinta no momento de sua comercialização, a partir de bases prefabricadas industrialmente, resultando em até 6.000 cores, por meio da combinação de 12 até 16 concentrados de pigmentos adicionados por sistema microprocessado. O consumidor escolhe a cor em catálogo, e um operador alimenta o programa de microcomputador com as informações necessárias à produção do produto como base, cor e tamanho da embalagem. Em seguida coloca a tinta base na máquina para receber a dosagem de pigmentos e agitar a massa, promovendo sua homogeneização. O sistema apresenta vantagens como extensa quantidade

de cores, de fácil reprodutibilidade, permitindo ao revendedor trabalhar com estoque reduzido, pois precisa armazenar apenas a tinta base. O sistema funciona como forte ferramenta de marketing permitindo atender qualquer desejo de cor, atraindo os profissionais do ramo e os leigos também, muito embora sua estabilidade de cor em exposição ao U.V. não seja das melhores.

2.1.2 Preservação

A preservação é uma etapa do processo de fabricação da tinta, onde agentes biocidas são adicionados para melhorar a durabilidade da tinta e mitigar ou eliminar a ação dos agentes microbiológicos. De um modo geral os agentes de preservação são: fungicidas, algicidas e bactericidas. Os fungicidas mais utilizados pela indústria de tinta para preservação do filme seco são: *Clorotalonil*, *iodo propinilbutil carbamato* (IPBC), *octil isotiazalona*, piróxido de zinco. Muitas vezes as algas são confundidas com fungos, especialmente se são algas pretas, marrom ou laranja ao invés do verde comum (BAUMANN, HESSE, POLLKASNER, KUMMERER, KUMPEL, 2000). O crescimento de algas requer alta umidade, um ambiente neutro ou até alcalino, e luz, para permitir os processos de fotossíntese. O crescimento das algas é facilitado pela presença de minerais existentes na superfície das alvenarias. Os fungicidas para filme seco não são bons algicidas. Peróxido de zinco, além de ser um fungicida de filme seco, é também capaz de proteger contra algas, sendo de baixa solubilidade, apresenta também baixa lixiviação em ambientes externos. Permanece ativo por mais tempo, é de degradação gradual aos raios ultravioletas (UV), apresentando eficiência em exposição direta a luz solar por anos, e é estável a altas temperaturas: podendo suportar 100°C por até 120 horas (BAUMANN, HESSE, POLLKASNER, KUMMERER, KUMPEL, 2000). Em pinturas látex um agente sequestrante deve ser usado para preferencialmente quelar-se com o ferro, caso a água contenha altas concentrações de íons solúveis. Como peróxido de zinco, que tem ação sequestrante, não altera a coloração final e não provoca aceleração de escamação ou desbotamento, pode ser utilizado tanto para tintas brancas ou coloridas. A dosagem usual de peróxido de zinco é de 0,1 a 0,5 % em massa de tinta molhada na lata. (BAUMANN, HESSE, POLLKASNER, KUMMERER, KUMPEL, 2000).

Para o Instituto de Ciências de Singapura teores ativos de 0,075% de peróxido de zinco protege por até 6 anos os filmes secos contra algas e fungos. Entretanto, as formulações de tintas brancas devem ser avaliadas quanto ao amarelecimento do filme seco,

especialmente aqueles contendo resinas poliméricas a base de estireno, podendo ocorrer logo após sua aplicação (BAUMANN, HESSE, POLLKASNER, KUMMERER, KUMPEL, 2000). Já os biocidas de filme seco agem na sua superfície, impedindo o estabelecimento de colônias, ao migrarem do interior para exterior se tornam sujeitos à remoção por lixiviação, contaminando o ambiente.

As *isotiazolonas e formaldeídos* são bactericidas, de ação dentro da embalagem de tinta, que também contribuem para reduzir o pH. Sua utilização permite reduzir a perda de viscosidade, evita formação de gases, impede coagulação, impede a formação de cheiro de degradação biológica, evita mudança de cor, impede a ruptura da emulsão e formação de colônias na superfície. As matérias primas, insumos minerais e água empregados na fabricação da tinta trazem contaminantes orgânicos capazes também de alimentar as bactérias (FAZANO, 1998). Os bactericidas são adicionados no início do processo de produção da tinta para impedir a proliferação dentro da planta industrial estendendo seu poder preservativo ao armazenamento, distribuição até sua aplicação. Já os fungicidas e algicidas são adicionados no decorrer do processo produtivo.

2.1.3 Pigmentos

De acordo com suas propriedades físico-químicas os pigmentos podem ser inorgânicos, com predominância de elementos metálicos, ou podem ser orgânicos, com predominância de carbono.

O poder de tingimento é a propriedade que os pigmentos apresentam de transmitir a sua cor quando misturado com pigmento branco óxido de titânio (TiO_2). Seu valor depende não só dos seus atributos intrínsecos, como também da formulação da tinta. O poder de tingimento é diretamente influenciado pelas propriedades óticas, interação entre o pigmento e o veículo, sistema de dispersão e moagem, área superficial do pigmento, tamanho de suas partículas e concentração volumétrica de pigmento, ("*pigment volume content*" PVC), dado pela relação expressa pela equação 1:

$$\text{PVC} = \frac{\text{VP}}{\text{VP} + \text{VR}} \times 100 \quad (\text{equação 1})$$

Onde VP = volume de pigmentos e VR= volume de resina

O poder de tingimento é a capacidade de um pigmento cobrir um substrato, quando incorporado a uma tinta e estendido sobre a superfície, formando um filme de espessura uniforme que é proporcional ao tamanho da partícula do pigmento. Para pigmentos

de maior dimensão o poder de cobertura será também maior, pois mais eficiente será o espalhamento da luz. As partículas dos pigmentos têm características geralmente amorfas e arredondadas em função da sua moagem, onde perdem as arestas. Já alguns pigmentos metálicos possuem uma forma plana com uma dimensão preponderantemente menor que as outras duas.

As partículas de pigmento tendem a aglomerar-se como “cacho de uvas”, atraídas por forças de coesão, resultando em tamanho efetivo maior que sua partícula elementar. Quanto menor o tamanho de partícula maior será a sua área superficial dificultando sua dispersão. Suas dimensões podem variar de 0,1 μm a 5 μm .

Espera-se que os pigmentos tenham solidez à luz quando aplicados, que é a capacidade dos pigmentos resistirem à alteração de cor quando expostos à radiação luminosa. A luz do sol contém radiações de vários níveis de energia, sendo a radiação ultravioleta a mais energética e destruidora das moléculas de pigmentos. Os raios UV ao incidirem sobre uma partícula de pigmento orgânico causarão uma quebra das ligações químicas que compõem o grupo cromóforo do pigmento. A partir deste momento ocorre desbotamento, perda de intensidade e/ou alteração da tonalidade. Esse ataque será mais rápido, quanto menos protegidos os grupos cromóforos no pigmento estiverem e quanto maior for a incidência de luz ultravioleta.

Quanto menor for o teor de PVC, mais baixo será o volume de pigmentos e maior o brilho da tinta. Este fator influi diretamente na porosidade do sistema de pintura, resultando em diferenças de permeabilidade, no grau de proteção ao substrato, na resistência à tração, ou alongamento, e na aderência (UEMOTO, 2007).

Conforme o volume de pigmentos da formulação, uma tinta imobiliária é classificada em três tipos: semi-brilho, fosca e acetinada. As diferenças tornam-se uma opção de acabamento. A tinta semi-brilho apresenta acabamento mais perfeito por conter maior teor de resina, implicando em maior custo. A acetinada apresenta brilho mais reduzido e seu custo é menor ou idêntico ao da semi-brilho. A fosca é geralmente de menor custo e não apresenta brilho algum. As tintas semi-brilho são empregadas em superfícies externas e internas, no entanto seu brilho e reflexos são intensos, revelando as imperfeições que o substrato ou o reboco da parede possa apresentar. No acabamento acetinado este efeito indesejado é menos presente e no fosco é bem mascarado.

A teoria ótica sustenta que um filme de tinta é opaco porque as partículas pigmentadas espalham e/ou absorvem a luz incidente, evitando que ela alcance o substrato. Tintas brancas opacificam por espalhamento da luz enquanto que tintas coloridas refletem sua

cor por absorção do espectro correspondente. A reflexão ou desvio da luz se processa por refração e difração dos raios da luz que passam através ou perto das partículas do pigmento. A refração ocorre quando um raio de luz incide sobre a partícula do pigmento no filme é desviado, porque a luz viaja mais lentamente através do alto índice de refração do pigmento do que através do baixo índice de refração do veículo no qual o pigmento branco foi disperso, conforme figura 2. A difração ocorre quando a luz que passa perto da partícula do pigmento é curvada, o que significa que a luz a seguir é dispersa em várias direções. Esse fenômeno é determinado no espalhamento da luz em áreas adjacentes.

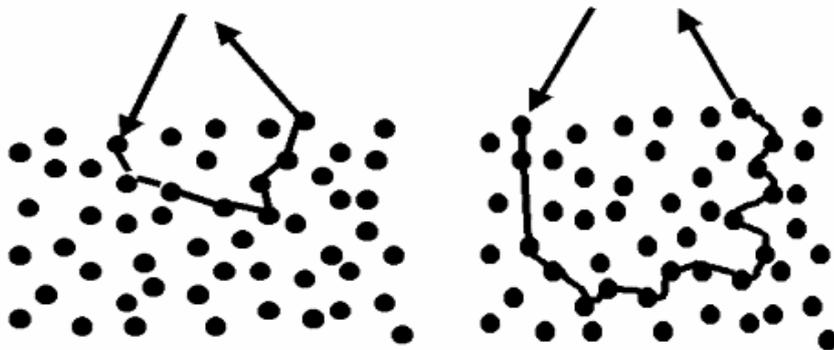


Figura 2: Ilustração da trajetória da luz incidente sobre película de filme de tinta látex.

Ao incidir sobre filme de tinta, com pigmento de alto índice de refração, a luz apresenta uma trajetória mais curta do que no filme com alto índice, sem penetrar profundamente, como na figura 2 da esquerda. Enquanto que a da direita representa tinta de baixo índice de refração e longa trajetória de luz (FAZENDA, 1995). Ambos os filmes são opacos e brancos, desde que não haja absorção pelas partículas, praticamente toda a luz incidente será retornada para a superfície.

A mais importante propriedade de qualquer pigmento branco é sua capacidade de opacificar e branquear o meio no qual é disperso, determinada pelo índice de refração, pela estrutura cristalina e pela dimensão das partículas. O titânio apresenta o maior índice de refração dentre os pigmentos brancos, 2,71. Os cristais de titânio na forma de rutilo apresentam uma estrutura mais compacta que a forma anáfase, justificando sua utilização na

indústria de tintas em função de seu alto índice de refração, maior estabilidade e alta densidade.

Pigmentos orgânicos apresentam coloração brilhante, solidez relativa à luz, elevada absorção ao óleo, e difícil dispersão, em relação aos inorgânicos. Comparado com os inorgânicos possuem menor poder de cobertura e baixo peso específico, obtidos por sintetização a partir de derivados de petróleo, apresentando cores finais mais vivas e alegres, mas de menor estabilidade. Baixa capacidade de absorção de óleo pelos pigmentos é uma das qualidades desejadas, conforme teste da NBR 5811/1981, já que deve permanecer íntegro no interior da tinta para poder refletir a luz fornecendo a sensação de cor desejada sem distorções. Os pigmentos devem permanecer inertes para apresentarem melhor rendimento sem desbalancear a formulação. Alto poder de cobertura implica em menor consumo de pigmento e custo. Solidez à luz representa a capacidade dos pigmentos em resistir à ação dos raios ultravioletas sem perder sua estabilidade de cor (FAZANO, 1998).

O volume e a concentração de pigmentos nas tintas regulam os diferentes níveis de brilho e interferem inclusive na resistência do produto. As variações de brilho são calculadas através do PVC. Os pigmentos de melhor resistência às intempéries são os de melhor retenção de brilho e tingimento aparente. O rutilo apresenta maior resistência fotoquímica. Os pigmentos inorgânicos apresentam coloração opaca, são insolúveis e de elevado peso específico, suas cores são de pouca expressão e brilho e grande estabilidade, conforme tabela 1.

Os pigmentos a base de chumbo tiveram sua utilização muito restrita nas tintas imobiliárias no Brasil pela Lei Nº 11.762 de 1º de agosto de 2008, que limitou sua participação a 0,06% em massa.

Tabela 1: Características dos pigmentos mais usados em tintas

Nome do pigmento	Cor	Origem	Características	Tipo
dióxido de titânio	branco	reação entre ilmenita e ácido sulfúrico	alta opacidade, inércia química,	inorgânico
negro de fumo	preto	combustão incompleta de hidrocarbonetos sob baixos teores de oxigênio	Carbono amorfo e manométrico com área superficial extremamente alta em relação ao volume	Inorgânico

Continuação Tabela 1: Características dos pigmentos mais utilizados em tintas

Nome do pigmento	Cor	Origem	Características	Tipo
azul cobalto	azul	calcinação de óxido de cobalto e hidróxido de alumínio	muito resistente ao calor e luz	inorgânico
amarelo de cromo	amarelo	reação entre nitrato de chumbo e dicromato de potássio	baixa absorção de óleo, peso específico elevado e insolúvel	inorgânico
alaranjado de cromo	laranja	cromato de chumbo	baixa absorção de óleo, peso específico elevado e insolúvel	inorgânico
alaranjado de molibdato	laranja vermelho claro	solução de sulfato, molibdato e cromato de chumbo	insolúvel, alto peso específico e boa retenção de brilho	inorgânico
amarelo de zinco	amarelo esverdeado	reação entre óxido de zinco e ácido sulfúrico	levemente solúvel em água	inorgânico
azul da Prússia	azul	reação entre ferrocianeto de sódio, sulfato ferroso e sulfato de amônio	boa solidez a luz, resistência a luz e higroscópico, baixa resistência a álcalis	inorgânico
verde de cromo	verde	mistura de amarelo cromo com azul da Prússia	baixa resistência a alcalinidade	inorgânico
óxido de ferro	amarelo, vermelho, preto e marrom	origem mineral: limonita, hematita, oligisto, magnetita, ou sintetizados a partir de sulfato de ferro	Alto poder de cobertura, opacidade elevada, baixa absorção de óleo	inorgânico
óxido de cromo verde	verde	dicromato de sódio com enxofre ou carbono	resistente a ácidos, álcalis luz e calor	inorgânico
azul ultramar	azul esverdeado e avermelhado	silicato resultante da calcinação da mistura de argila, silicatos, sulfato de sódio e enxofre	resistente a ação de ácidos, resiste acima de 350°C, atóxico e insolúvel	inorgânico
sulfeto de cádmio	amarelo alaranjado claro	cádmio, enxofre, selênio e zinco	insolúvel, resiste ao calor e álcalis	inorgânico
sulfoseleneto de cádmio	vermelho e marrom	selênio e sulfeto de mercúrio	bastante tóxico	inorgânico
azóicos	vermelho, laranja e amarelo	Sintetizados a partir de um sal diazônio e um fenol	cores vivas, não tóxico, resistem a fungos e alguns chegam a apresentar ação fungicida, solidez a luz	orgânico
amarelo níquel	amarelo	pigmento metalizado	boa solidez a luz e resistência a ácidos e álcalis, solidez ao sangramento	orgânico
ftalocianina de cobre	azul, verde	parcialmente clorado	alta resistência a luz, estabilidade ao calor e resistência química - tendência ao bronzeamento	orgânico
cromato de zinco	amarelo	dicromato de sódio, óxido de zinco, ácido clorídrico	poder anticorrosivo pela liberação de íons, primers	inorgânico
fosfato de zinco	branco	ácido fosfórico, óxido de zinco,	poder anticorrosivo pela liberação de íons, primers	inorgânico

As tintas são identificadas conforme o índice de PVC em alto brilho, PVC de 20-25%; semi-brilho PVC de 30-35 %; acetinada PVC de 40-45% e fosca PVC de 50-55% (ALVES, 2002). Portanto o PVC é de grande importância na qualidade do produto além de ser o principal responsável pelo aspecto de acabamento e brilho da película.

Ressalta-se ainda que os pigmentos nos sistemas de pinturas podem sofrer o processo de eflorescência ou migração que é uma recristalização do pigmento na superfície do filme de tinta. O pigmento mesmo sendo removido pode se formar novamente, sendo percebido o fenômeno através de um ligeiro “bronzamento” que lentamente se intensifica até formar uma camada pulverulenta de pigmento sobre o filme de tinta.

2.1.3.1 Dióxido de titânio

Este pigmento inorgânico foi introduzido nas indústrias de tintas em 1920 e é o pigmento branco mais utilizado produzido atualmente, com produção mundial anual de 3,0 milhões de toneladas. Da produção total, mais de 60% é consumida pela indústria de tintas em função do seu elevado poder de cobertura, resistência à luz e dispersabilidade. Sua fabricação, a partir de ilmelnita, (FeTiO_3) e ácido sulfúrico, é realizada pelo processo cloreto que está em ascensão, pois é ecologicamente correto. Já o processo sulfato gera resíduos contaminantes de oneroso custo de tratamento, podendo ambos sintetizar a forma cristalina rutilo, de melhor poder de cobertura e por isso utilizada na produção de tintas.

Dióxido de titânio ao mesmo tempo em que confere a cor branca e torna a tinta opaca é também um potente fotocatalisador, capaz de romper quase todos os compostos orgânicos. Durante os anos 70 cientistas começaram a dar-se conta da capacidade do titânio em absorver radiação U.V. e da reação com vapor de água para produzir oxigênio, podendo ser usado para criar superfícies auto-limpantes. Quando o titânio é exposto a radiações U.V. de comprimento de onda inferior a 385 nanômetros e na presença de vapor de água, duas substâncias altamente reativas são formadas: radicais hidroxílicos [OH] e íons superóxidos [O_2^{-1}], capazes de atacar até células vivas. A indústria norte americana fabrica tijolos revestidos por micro camada de dióxido de titânio para utilização em hospitais, ambientes de uso público e locais onde a limpeza é vital, assim como em tetos de difícil acesso. Primeiramente ele pode transformar material orgânico em dióxido de carbono e água. Quando a matéria orgânica entra em contato, na superfície do tijolo, com o dióxido de titânio e a água são produzidos radicais hidróxidos, de curta vida, capazes de romper a membrana das células danificando e causando

sua morte. Os íons superóxidos, de vida longa, penetram na membrana celular por sua carga negativa. Os tijolos tratados com dióxido de titânio mataram 99,99% das bactérias *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, que são resistentes à penicilina, em uma hora (FRAZER, 2001).

Outro efeito é a capacidade da superfície do tijolo, com dióxido de titânio, de atrair mais do que repelir a água: super hidroflicidade. Geralmente as gotas de água formam na superfície cerâmica um ângulo de contato de 43°, sendo considerados hidrofóbicos. Ao longo do tempo os contaminantes coletados na superfície do tijolo comum são aprisionados dentro das gotas. Na superfície fotocatalítica exterior o ângulo de contato é de só 7°. Isto significa molhabilidade superficial e enxágüe mais uniforme. A água escorre mais, levando embora os contaminantes da superfície. Tornando a superfície auto-limpante pela ação da água da chuva (FRAZER, 2001). Este é o princípio das modernas tintas auto-limpantes.

Dióxido de titânio é também utilizado em pavimentação de rodovias onde é capaz de transformar as emissões veiculares em substancias atóxicas e ambientalmente absorvíveis. É utilizado também no tratamento do ar para evitar proliferação de microrganismos em frutas, vegetais e flores em depósito. Pode ser usado como descontaminador de água também (FRAZER, 2001).

2.1.4 Formação de filme

Após a aplicação da tinta sobre a superfície, o solvente água evapora e a resina forma um filme polimérico termofixo que manterá as cargas e pigmentos unidos conferindo aderência ao substrato, conforme figura 3.

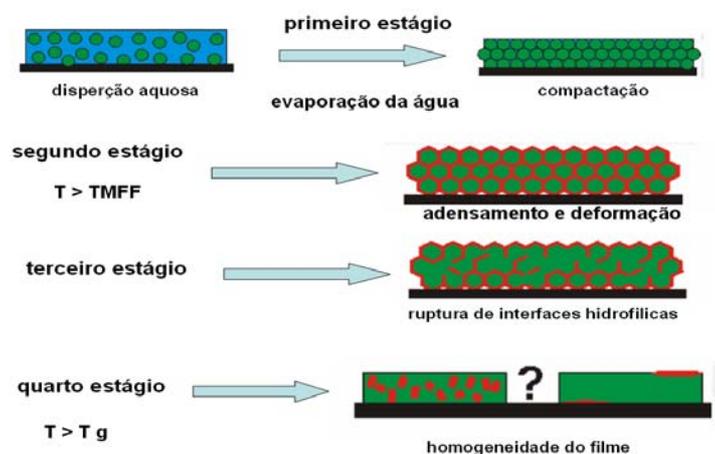


Figura 3: Ilustração da coalescência: estágios da formação de filme

A formação de filme é um fenômeno fundamental em tintas a base de emulsão, pois é determinante de suas propriedades finais. A formação da película ocorre por coalescência, fenômeno físico, sem reações químicas, determinado pelos seguintes estágios.

Os estágios principais na formação da película são:

a) primeiro estágio: perda de água por evaporação, fenômeno de superfície, e absorção pelo substrato, as partículas poliméricas tendem a se fundir entre si, coalescer. É necessária a aplicação prévia de um selante para regular a absorção inicial do substrato e permitir a homogênea formação de filme. Com a saída da água as partículas tendem a se aproximar fundindo-se, formando-se então um gel irreversível, não mais emulsionável pela água, reduzindo-se sensivelmente a velocidade de saída da água.

b) segundo estágio: temperatura mínima de formação de filme –TMFF - é aquela abaixo da qual a película não é adequadamente formada, depende da composição polimérica, da presença de plastificantes e coalescentes. TMFF deve sempre ser inferior à temperatura ambiente durante a aplicação e secagem da tinta.

c) terceiro estágio: coalescência é ação das forças eletrostáticas e de tensão superficial, que através dos glicóis reduzem a velocidade de evaporação, fazendo com que a emulsão adquira estrutura de gel, immobilizando e aproximando as partículas entre si, tornando a partir de então irreversível o processo.

d) quarto estágio: o tamanho das partículas afeta diretamente a formação de filme, pois interfere na capilaridade, ou formação de vazios, sendo inversamente proporcional à velocidade de evaporação da água. Solventes miscíveis em água, com menor velocidade de evaporação, como etilenoglicol, propilenoglicol e hexilenoglicol, ajudam a manter a superfície “aberta” para a saída da água proveniente do interior da película em formação. A formação homogênea do filme, e sua conseqüente estabilidade mecânica, devem ocorrer sob temperaturas inferiores à temperatura de transição vítrea- Tg. Tg significa a temperatura de passagem do estado vítreo ou quebradiço para o estado físico semelhante ao da borracha, sem mudança de fase, e fornece indicações quanto à dureza e flexibilidade das películas (UEMOTO, AGOPYAN, 1997).

Quando ocorre absorção muito rápida de água pelo substrato pode ser gerado um filme descontínuo, fissurado ou até mesmo ocasionar dificuldade de aplicação.

2.1.5 Absorção de água pelo filme seco

A influência da relação PVC/CPVC, conteúdo volumétrico de pigmento por conteúdo volumétrico crítico de pigmento, na sujidade de um filme de pintura deve apresentar duas características específicas em relação à água: hidrorrepelência ao intemperismo e permeabilidade ao vapor de água. O CPVC, “*critical pigment volume content*”, é a concentração máxima em volume de pigmentos que o ligante da tinta consegue envolver preenchendo todos os interstícios e formando filme contínuo (AMARO, 2007).

Aumentando-se o teor de ligante, diminui-se o teor de PVC, cresce a hidrorrepelência o que modifica o aspecto superficial da pintura, devido ao melhor preenchimento das aberturas intergranulares do filme de tinta. Isto melhora a resistência à sujidade, promovendo conseqüentemente a resistência a biodegradação. Ao contrário, a redução da quantidade de ligante, e conseqüente aumento de PVC, melhora a permeabilidade ao vapor de água e reduz os riscos de formação de bolhas. Estas duas propriedades, opostas por natureza, podem coexistir na mesma tinta somente por ajuste na formulação, equivalendo à relação PVC/CPVC próximo a 1, (BOULON, 2004). A alteração desta relação é determinante da sujidade da tinta aplicada. A tinta látex que é formulada sob baixo PVC, é mais sensível a biodegradação do que tintas a base solvente. No entanto, se estas mesmas tintas à base água forem formuladas com 0,65-0,70 de relação PVC/CPVC, a biodeterioração é reduzida. No entanto, a permeabilidade do filme ao vapor de água também diminui, limitando sua utilização, pois dificulta o equilíbrio de umidade necessário entre o meio e o substrato, (BOULON, 2004), como no caso deste estudo onde o PVC variou de 0,53 a 0,72.

Sobre o filme de tinta seco a umidade e o mofo formam uma combinação provocando sujidade. Sujeira sobre a pintura é um agravante da biodeterioração, pois ajuda o mofo a crescer. O conhecimento do processo de sujidade nas pinturas pode ajudar a limitar a biodeterioração, assim como o tempo de retenção de água é determinante da sensibilidade das pinturas à biodeterioração. É identificada uma tolerância seletiva das tintas aplicadas em relação aos fungos existentes no ambiente e os identificados em amostras, ou seja, comprova que as tintas admitem ataque de apenas algumas espécies de fungo, (BOULON, 2004). Nos estudos de BOULON foi identificada a preferência dos fungos amostrados por espessantes celulósicos, recomendando sua substituição por espessantes acrílicos sintéticos mais resistentes. Foi também comprovada experimentalmente a ação biocida do ZnO, como pigmento/carga. A sujidade foi correlacionada com o tempo de retenção de água e o tipo de

ligante nas tintas concluindo que quanto menor for a retenção de água maior será a sua resistência ao sujamento, e, portanto à biodeterioração. Este estudo de BOULON comprovou a maior suscetibilidade a biodeterioração em tintas de ligante polimérico látex do que com ligantes poliméricos a base solvente, justamente em função de sua menor retenção de água.

2.1.6 Desempenho das tintas

Em termos de proteção ao substrato e durabilidade, as principais características requeridas das tintas de uso externo são a seguir elencadas. A adesão ao substrato é a mais importante, pois caso não seja obtida todas as outras propriedades de proteção perdem significado. O tipo de resina utilizada, o nível de sensibilidade à água de ingredientes afinadores e surfactantes, e as condições de preparação prévia do próprio substrato a ser pintado são fatores influentes na adesão. Proteção do substrato à penetração de água ou umidade por trás é também crítico na preservação da adesão do filme de tinta, pois pode resultar em estufamento. A resistência ao craqueamento é em parte função da flexibilidade do filme, que precisa expandir-se e contrair-se com as mudanças de temperatura e umidade, acompanhando as deformações do substrato. Tintas látex devem apresentar boa resistência, pois apresentam alto grau de adesividade e flexibilidade, proporcionados pela resina. A resistência à alcalinidade é importante quando se pinta substratos de alvenaria revestidos a base de argamassas cimentícias que proporcionam substrato muito alcalino, podendo degradar a resina de tintas látex. O resultado pode ser mudança de cor e deterioração do filme. Dessa forma faz-se sempre necessária à aplicação de uma demão de selador, para criar uma interface, bem como aguardar os 28 dias de hidratação do cimento. A resistência das tintas à radiação U.V. está diretamente vinculada à natureza dos pigmentos, do teor e qualidade da resina utilizada. Pigmentos inorgânicos, que produzem cores de aspecto menos agradável, apresentam maior estabilidade, com menor alteração de cor. Pigmentos orgânicos, que produzem cores de aspecto visual mais agradável, apresentam menor estabilidade, com maior alteração de cor. A ação do U.V. pode provocar a quebra das ligações poliméricas da resina estirenada provocando a calcinação da película externa que será facilmente lixiviada pela água das chuvas, degradando o revestimento. Aditivos absorvedores de U.V. são atualmente utilizados para melhorar o desempenho das tintas látex. A resistência à água é proporcionada pelo filme superficial formado através da estanqueidade gerada, sendo a resina acrílica estirenada e a parafina líquida os principais agentes promotores da hidrorrepelência. O filme de tinta seco deve ser semipermeável, permitindo somente a passagem de vapor.

Segundo a, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, ABRAFATI, 300 fábricas de tintas estavam em operação no Brasil durante 2008, empregando 17 mil pessoas, faturando R\$ 2,95 bilhões e produzindo 1,13 bilhões de litros de tinta. O segmento tintas imobiliárias representou 77% da produção e 60% do faturamento anual. Em estudo de SILVA e UEMOTO 2005, é constatado que apesar dos elevados volumes de produção e recursos financeiros envolvidos, até 2005, não existiam critérios de desempenho para a escolha da tinta. Somente o preço e informações obtidas em catálogos de fabricantes eram considerados pelos consumidores. O mesmo estudo classifica as tintas látex em três categorias evidenciando o teor de resina como fator de variação de preço bem como indicando as propriedades de desempenho, dentro de faixas críticas (SILVA, UEMOTO, 2005). Tal classificação foi incorporada a NBR 15079/2008 que estabelece requisitos mínimos de desempenho de tintas látex nas cores claras. Na tabela 2 são relacionadas as principais normas técnicas nacionais da ABNT, para controle das tintas imobiliárias e do sistema de pintura.

Tabela 2: Normas técnicas de tinta

Código ABNT	TITULO DAS NORMAS - Tintas para edificações não industriais	Publicação
NBR 12.554	Terminologia	1992
NBR 11.702	Classificação	1995
NBR 13.245	Procedimentos	1995
NBR 14.941	Determinação de resistência a fungos em placas de Petri	01/04/2003
NBR 14.942	Determinação poder de cobertura de tinta seca	01/04/2003
NBR 14.943	Determinação poder de cobertura de tinta úmida	01/04/2003
NBR 14.944	Determinação da porosidade em película de tinta	01/04/2003
NBR 14.945	Determinação do grau de craqueamento	01/04/2003
NBR 14.946	Determinação de dureza König	01/04/2003
NBR 15.077	Determinação da cor e diferença de cor por medida instrumental	31/05/2004
NBR 15.078	Determinação da resistência a abrasão úmida sem pasta abrasiva	31/05/2004
NBR 15.079	Requisitos mínimos de desempenho tinta látex econômica nas cores claras	31/05/2004
NBR 15.299	Determinação de brilho	30/12/2005
NBR 15.301	Determinação de resistência ao crescimento de fungos em câmara tropical	30/12/2005
NBR 15.302	Determinação do grau de calcinação	30/12/2005
NBR 15.303	Determinação de absorção de água de massa niveladora	30/12/2005
NBR 15.304	Avaliação de manchamento por água	30/12/2005
NBR 15.311	Determinação do tempo de secagem por medida instrumental	30/12/2005
NBR 15.312	Determinação da resistência à abrasão da massa niveladora	30/12/2005
NBR 15.313	Procedimentos básicos para lavagem, preparo e esterilização em análises microbiológicas	30/12/2005
NBR 15.314	Determinação do poder de cobertura em película de tinta seca por extensão	30/12/2005

Continuação de Tabela 2: Normas técnicas de tintas

Código ABNT	TÍTULO DAS NORMAS - Tintas para edificações não industriais	Publicação
NBR 15.315	Determinação do teor de sólidos	30/12/2005
NBR 15.348	Requisitos massa niveladora	30/04/2006
NBR 15.380	Resistência à radiação UV/condensação de água por método acelerado	24/07/2006
NBR 15.381	Determinação do grau de empolamento	17/07/2006
NBR 15.382	Determinação da massa específica	17/07/2006
NBR 15.458	Avaliação microbiológica de tintas	15/01/2007

Compilado por Kai Loh Uemoto no livro Materiais de Construção Civil, capítulo 44, páginas 32 e 33.

Por iniciativa do Ministério das Cidades, O Programa Setorial da Qualidade de Tintas Imobiliárias, vinculado ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat, iniciou a partir de junho 2004 quando da publicação da NBR 15079 – Tintas para construção civil. Iniciou assim a especificação dos requisitos mínimos de desempenho de tintas para edificações não industriais – tinta látex nas cores claras, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, definindo padrões legais de qualidade. A produção e comercialização em consonância com as normas técnicas são reguladas pelo artigo 39 do Código de Defesa do Consumidor, que prevê punições tanto para o fabricante do produto não conforme, como para os responsáveis pela sua comercialização. A classificação da tinta látex como *econômica*, *standard* ou *premium* é regulada pelo desempenho aferido no atendimento mínimo às especificações da NBR 15079/2008, que obriga a utilização desta nomenclatura de identificação nas embalagens fazendo referencia a esta norma.

O arranjo institucional analisa hoje a conformidade submetendo amostras de tinta, inclusive de fabricantes não participantes do programa, aos seguintes ensaios de controle, conforme NBR 15079/2008:

- Determinação do poder de cobertura de tinta seca através de ensaio, regulado pela NBR 14942/2003, medindo a área máxima aplicada por um litro de tinta que deve ser de no mínimo 4,00 m²/litro para tinta látex *econômica*, 5,00 m²/litro para látex *standard* e 6,00m²/litro para látex *premium*.

– Determinação do poder de cobertura de tinta úmida através de ensaio regulado pela NBR 14943/2003, medindo a capacidade de uma película de tinta impedir a visualização do substrato imediatamente após sua aplicação sobre cartela, devendo ser no mínimo 55% para tinta látex *econômica*, 85% para látex *standard* e 90% para látex *premium*.

- Determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva, segundo a NBR 15078/2004, medindo o número de ciclos necessários para a remoção da tinta em no mínimo 80% da área percorrida pela escova, devendo alcançar no mínimo 100 ciclos para tinta látex *econômica*.

- Determinação da resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva, segundo NBR 14940/2004, medindo o número de ciclos necessários para obtenção de um desgaste na forma de uma linha continua sobre um ressalto na película de tinta, devendo alcançar no mínimo 40 ciclos para látex *standard* e 100 ciclos para látex *premium*.

O estabelecimento inicial de alguns parâmetros mínimos de desempenho para as tintas é reconhecido pelo mercado mais como um apelo comercial do que um referencial tecnológico, já que tais parâmetros são insuficientes para promover qualificação condizente com os padrões desejáveis ou internacionais. Para conferir maior credibilidade deveriam ser adotados parâmetros de desempenho mais elevados e adequados ao nosso clima tropical. Até o momento não existem conhecimentos aprofundados e suficientes quanto ao uso das tintas látex empregadas na proteção de substratos cimentícios em fachadas externas e da sua eficiência contra ataques de microrganismos em clima subtropical.

2.1.7 Características dos filmes secos

A resina é o agente formador de filme ou película, juntamente com o pigmento e solvente. As tintas à base de água, além de serem mais permeáveis à água, são mais susceptíveis a ataques biológicos em função de nutrientes disponíveis na sua formulação como aditivos estabilizadores e espessantes de origem celulósica. O acabamento final deste tipo de tinta apresenta rugosidade superficial suficiente para proporcionar maior facilidade de depósito de sujeiras e de materiais orgânicos, promovendo sua biodeterioração. O pigmento também sofre degradação, principalmente os de base orgânica, enquanto que os inorgânicos, formulados a partir de óxidos minerais, são mais resistentes. A exposição ao intemperismo modifica as propriedades das tintas, provocando alteração da cor e brilho, aumento de permeabilidade e redução da flexibilidade da película. A oxidação leva à formação de ligações cruzadas de oxigênio dificultando a deformação elástica da película impedindo o acompanhamento da contração e expansão do substrato, resultando na formação de microfissuras (UEMOTO, AGOPYAN, 1997).

2.1.8 Pintura externa de edificações

A pintura externa de edificações é a solução de acabamento final mais empregada em decorrência de seu baixo custo e desempenho satisfatório, pelo menos durante os primeiros anos. Em função de sua facilidade de aplicação nem sempre as melhores práticas são empregadas provocando patologia que, aliada a algumas deficiências intrínsecas às tintas e à vícios construtivos, contribuem para reduzir sua vida útil. A constante exposição das tintas aos agentes atmosféricos e poluentes, o seu envelhecimento natural e a adoção de sistemas de pintura inadequados originam a degradação do revestimento e o aparecimento de anomalias que comprometem o desempenho estético e de proteção. A retração dos sistemas de revestimentos externos a base de argamassa, que ocasiona o aparecimento de fissuras e trincas, termina atingindo a película do filme seco, gerando pontos suscetíveis a maior ataque biológico. Tais fissuras acumulam umidade e podem ser colonizadas por fungos e algas causando seu escurecimento e comprometendo a estética da fachada. Mesmo as camadas de repinturas estão também sujeitas ao mesmo ataque. Além do mais os substratos porosos de argamassa podem sofrer impregnação de partículas e produtos responsáveis por manchas, cuja tentativa de remoção, mediante processo inadequado, pode provocar sua diluição facilitando sua penetração e ampliando a área manchada, formando halos antiestéticos (BOLORINO, CINCOTTO, RITTI, 1995).

2.2 Degradação de pinturas de fachadas

O envelhecimento prematuro das pinturas está vinculado às condições de exposição, aos agentes climáticos, horas e ângulo de exposição, a localização da edificação onde o revestimento se encontra aplicado como zonas costeiras, rurais ou urbanas, são determinantes para durabilidade dos ligantes. De acordo com HESS (1973), o envelhecimento de uma película traduz-se, pelo embaçamento ou matização, provocada pela perda de matéria, seguido por pulverulência. Desta forma, os pigmentos desprovidos de ligante são gradualmente expostos aos agentes atmosféricos e são removidos por lixiviação.

O controle da durabilidade de um revestimento está diretamente relacionado à elasticidade, a dureza, a aderência, a resistência à luz e a sua capacidade de aumento de volume (SCHEIBER *apud* HESS, 1973). A capacidade de resistência às condições

atmosféricas varia com a forma de aplicação, as condições de exposição e o clima. As superfícies de um mesmo edifício, e por vezes no mesmo pano, não estão sujeitas às mesmas condições de exposição, sendo recomendável aplicação de tintas com diferentes formulações, visando oferecer melhor resistência aos agentes atmosféricos, nas superfícies de exposição mais gravosa. A exposição precoce de um revestimento recente reduz sua durabilidade. Um dos fatores que origina anomalias é a variação das tensões ao longo da superfície, decorrente de variações de temperatura e de concentração da tinta originada durante o processo de secagem dos filmes, induzindo sua movimentação das regiões de tensões mais baixas para as mais altas. A viscosidade da tinta se opõe àquelas tensões sendo capaz de reduzir ou eliminar as movimentações, prevenindo anomalias de aparência. A relação entre as tensões de superfície e a viscosidade, aliada à formulação da tinta, à preparação da superfície, às características e ao estado do substrato, determinam a qualidade e a durabilidade do revestimento superficial (LOPES, 2004).

2.3 Biodeterioração

Em “Introdução a biodeterioração”, os autores DENNIS ALLSOPP, KENNETH SEAL e CHRISTINE GAYLARDE (2004), enfatizam que biodeterioração, um termo que só tem 40 anos, afeta a vida do ser humano degradando materiais. O primeiro autor a definir biodeterioração foi HUECK (1965/68): “*qualquer mudança indesejável nas propriedades de um material causada pela atividade vital de organismos*”.

MORTON e SURMAN (1997) definem biodeterioração como o estudo da deterioração dos materiais de importância econômica pela atividade biológica vital dos organismos, apud HUECK, 1965, sendo assim classificada:

- Processo mecânico: o material resulta degradado pela atividade do organismo como seu deslocamento ou crescimento;
- Biodeterioração por assimilação química: forma mais freqüente, quando um material é degradado em função de suas propriedades nutritivas, como a degradação da celulose, por exemplo;
- Biodeterioração química por descarte: quando ocorre uma avaria pela produção e excreção de metabolitos, que pode corroer ou pigmentar o material;
- Esfarinhamento é a forma de biodeterioração que ocorre quando a simples presença de um microrganismo, ou de seus excrementos, o torna inaceitável. Biodeterioração microbiana pode então ser definida como a deterioração de materiais por microrganismos. A

participação de enzimas hidrolizantes microbiais é considerada como sendo a maior força bioquímica destrutiva neste processo de degradação.

Os estragos provocados pela biodeterioração muitas vezes não são a ela creditados, sendo mascarados ou desconsiderados seus verdadeiros custos, assim classificados: a) custos de prevenção, físicos: desidratação ou resfriamento; químicos: adição de biocida ou preservativo. b) custos de reposição, substituição do material avariado por outro novo de baixo custo. Válido somente quando seu custo for inferior ao custo de prevenção. c) custos de reparação, adoção de medidas restauradoras do material para aproximá-lo das condições originais, cujo custo deverá ser inferior ao de reposição. d) custos de litígio, discussão judicial para apurar responsabilidades e definir indenizações, que ultrapassarão o valor das perdas havidas.

Em “Introdução a biodeterioração”, os autores DENNIS ALLSOPP, KENNETH SEAL e CHRISTINE GAYLARDE (2004), propõem uma nova metodologia de aferição da biodeterioração: 1.- selecionar os tipos de materiais de sabida suscetibilidade a biodeterioração, como madeira, tinta, adesivos, fibras têxteis naturais, papel, material de embalagem e armazenamento de comida; 2.- estimar um percentual de perda provocado pela biodeterioração, 1%; 3.- Achar o valor anual das mercadorias produzidas, em qualquer nível, local, nacional ou mundial; 4.- Calcular 1% deste valor, uma larga soma de dinheiro está envolvida. Estes cálculos fornecem um indicativo da importância da prevenção da biodeterioração que, no caso da produção nacional de tintas em 2008, a perda seria de R\$ 29.500.000,00.

Tintas são usadas como revestimento de proteção para prevenir a degradação ambiental do substrato e promover um acabamento decorativo. Muitas matérias primas integrantes da formulação da tinta fornecem nutrientes para bactérias e fungos, tornando as tintas suscetíveis à biodeterioração. As tintas, a base água mais do que a base solvente, são vulneráveis dentro da embalagem e depois também no filme seco aplicado.

As bactérias costumeiramente encontradas dentro das embalagens de tinta, cujo pH varia entre 8 e 9,50, são majoritariamente as *Pseudomonas*, em 75% das determinações. Os efeitos principais do ataque bactericida são geração de gases e odores estranhos, variação de viscosidade, faseamento ou separação entre fase líquida e sólida, alteração de pH, descoloração e crescimento de colônias de bactérias na superfície da tinta. Qualquer um destes sintomas torna o produto inutilizável. A perda de viscosidade tem recebido mais atenção ao longo dos anos. Sua manutenção em emulsões é determinante das propriedades de

aplicação. Os espessantes mais utilizados são de origem celulósica como hidroxietilcelulose, e estão sujeitos a degradação por hidrólise enzimática na presença das bactérias.

A fermentação celulósica por bactéria resulta em gases capazes de estufar a embalagem, podendo eventualmente até levantar sua tampa. A fonte de contaminação pode ser proveniente das matérias primas, do fornecimento de água, ou dos equipamentos utilizados. Cuidados de higiene e limpeza, bem como sistemas de monitoramento podem controlar a contaminação.

A resina, como emulsão de polímero látex, pode participar em até 40% da formulação de uma tinta *Premium*, e é a maior fonte potencial de nutrição e contaminação. Uma tinta látex contém, além do polímero, surfactantes, colóides, antiespumantes, resíduo de monômeros, agentes de tamponamento, e agentes catalisadores. O pH vai variar de 4,5, no caso de acetato vinílico, até 9, para estireno acrílico, provocando o crescimento de muitos tipos de fungos e bactérias. Os maiores contaminantes neste pH ácido são o fungo *Geotrichum candidum* e a bactéria *Acinetobacter* sp. Sob pH alcalino as bactérias do gênero *Pseudomonas* são predominantes nas tintas. Crescimento de microrganismos em filmes de tinta ocorre tanto em superfícies externas como internas de prédios, podendo ocorrer tanto em tintas emulsionadas como em alquídicas. Externamente o problema é maior nos trópicos, onde fungos e cianobactérias causam desfiguração nos sistemas de pintura.

A identificação de um processo de ataque ao filme de tinta é dificultada em função de três processos que podem estar atuando:

O organismo pode estar utilizando ou consumindo diretamente um componente da tinta;

O organismo pode estar vivendo na superfície suja e produzindo um pigmento que é absorvido pela tinta;

O organismo pode estar colonizando o substrato e provocando erupções no filme, como no caso da madeira.

Talvez os agentes biodeteriorantes mais importantes sejam os fungos que produzem esporos escuros, como os dos gêneros *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Alternaria* e cianobactéria escurecedora. As algas e cianobactérias são particularmente importantes como deteriorante estético dos filmes de tinta. Pesquisas realizadas tanto no sudeste da Ásia e América do Sul demonstram a natureza onipresente das espécies de algas e cianobactérias achadas sobre superfícies pintadas (ALLSOPP, SEAL, GAYLARDE, 2004). O sucesso destes gêneros na colonização de filmes de tinta é devido à combinação de tolerância com alta temperatura, dessecação periódico, e radiação U.V.. Outros microrganismos formam uma

sucessão de colonização, e então parece que um ecossistema existe na superfície do filme acarretando os efeitos e deteriorações observadas (ALLSOPP, SEAL, GAYLARDE, 2004).

As tintas quando especialmente formuladas, como de borracha clorada, inibem crescimentos microbianos. Elas são utilizadas onde há um alto risco de crescimento de mofo. Já as tintas anti-incrustantes utilizadas em cascos de navios geralmente contem altas doses tóxicas de biocidas de conteúdo metálico, que garantem proteção contra a formação de “cracas” marinhas, permanecendo ativo por pelo menos dois anos (ALLSOPP, SEAL, GAYLARDE, 2004). A eficiência ao lixiviamento dos biocidas metálicos diminui com o tempo, uma vez que os íons tendem a migrar através do filme de tinta para a superfície. No entanto, são de utilização prática onde há um rápido fluxo de água sobre a superfície, carregando continuamente o revestimento para expor uma nova superfície de conteúdo biocida. Este mesmo processo ocorre também em tintas látex de uso externo quando a lixiviação da chuva provoca exsudação dos biocidas até esgotar sua vida útil.

Outros revestimentos, como por exemplo, resinas epóxi, são inertes aos microrganismos. Vernizes, que são tintas sem pigmentos, são uma exceção, pois sob condições ambientais favoráveis aceitam a proliferação de microrganismos, resultando em manchamento e descascamento do filme (ALLSOPP, SEAL, GAYLARDE, 2004).

Um estudo de caso considera fatores bióticos sobre pinturas, onde se desenvolvem bactérias e fungos sobre concretos e sobre alvenarias de algas e líquens. Os fungos são os responsáveis pela desfiguração das tintas sendo capazes de se adaptarem às condições estressantes de baixa umidade, variação de temperatura e quantidade mínima de nutrientes (UEMOTO, AGOPYAN, BRAZOLIN, 1995). Em climas tropicais os problemas são maiores, podendo além de atingir a estética causar a degradação do substrato.

Algas e líquens são fotossintetizantes e não dependem dos constituintes do substrato para se nutrirem de carbono crescendo sob ação de luz direta, como os fungos e bactérias. Em climas temperados as algas são de crescimento menos intenso embora seja um fenômeno universalmente presente. O crescimento de algas sobre concreto e pedras, em ambientes externos, é mais problemático: alvenarias são mais suscetíveis ao crescimento de algas em função do elevado pH que inibe os fungos. Os danos causados às superfícies pelas algas são controversos, acredita-se que ácidos orgânicos excretados tenham efeito corrosivo. Algas e líquens desfiguram a superfície que, quando apresenta fissuras contaminadas, não deve ser repintada, sem anterior limpeza, sob o risco de novas colônias romperem o novo filme da tinta. Normalmente líquens sucedem as algas na cadeia biológica. No início do

crescimento as algas e líquens podem ser confundidos com sujeira e o crescimento de líquens pode ser confundido com fungos e algas (UEMOTO, AGOPYAN, BRAZOLIN, 1995).

O teor de umidade da superfície de alvenaria é o mais importante parâmetro na determinação do padrão de crescimento dos organismos, pois depende das condições climáticas locais e estação do ano, depende também da localização da edificação em regiões mais protegidas da ação do vento. Teores elevados de umidade proporcionam maior crescimento de microrganismos.

As tintas, substratos orgânicos, são facilmente colonizáveis pela disponibilidade de carbono. Substratos inorgânicos, que não dispõem de carbono, retêm materiais particulados que servem como nutriente disponibilizado pela poluição, como enxofre e nitrogênio. A textura e rugosidade do substrato podem influenciar na retenção de partículas e a permeabilidade determinando o teor de umidade absorvida e retida pelo substrato. A redução da permeabilidade evitaria a retenção de umidade, mas não permitiria a troca gasosa necessária. O pH do substrato é também determinante na seleção dos organismos que irão colonizá-lo.

Os revestimentos de pintura são biodegradáveis em função da natureza orgânica dos principais componentes da sua formulação. Ou seja, são suscetíveis ao ataque de microrganismos vivos. Os elementos biológicos responsáveis por esta degradação são induzidos pelo ambiente circundante e são de natureza diferente. Por isso, ao longo do tempo foi tentado determinar regras gerais para formulação de tintas de uso externo capazes de resistir a biodegradação. Os exemplares foram classificados de acordo com sua origem, urbana ou rural, e da estação do ano coletado, outono, primavera. Foi observado que os gêneros isolados das amostras de pintura são poucos comparados com a importância do grupo dos fungos. Isto demonstra o problema da habilidade seletiva das pinturas. De forma a avaliar mais precisamente esta seletividade, foram comparados estes resultados coletados na França, com estudos estatísticos de distribuição dos fungos na atmosfera (BOULON, 2004). Pode ser observado que gêneros como *Aspergillus* ou *Penicilium*, que são abundantes na atmosfera, são raramente isolados nas amostras. De outra forma há uma grande seletividade por *Alternaria*, *Chaetomium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Mucor*, *Phoma*, *Serdaria*, *Trichoderma* e menção especial para *Chaetomium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Phoma*, *Mucor*, não tão presentes na atmosfera. Deve ser sublinhado que grande parte dos fungos mais isolados pode ser responsável pelo processo de biodegradação de pinturas. No entanto, conhecendo-se a formulação química de grande parte das tintas, este fenômeno de biodegradação é mais verdadeiro no caso de fungos celulósicos como *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Epicoccum*,

Fusarium, Phoma, Sordaria, Ulocladium capazes de hidrolisar os espessantes celulósicos. Para incrementar a longevidade dos filmes de tinta, estes espessantes celulósicos devem ser substituídos, quando possível, por produtos acrílicos sintéticos, de maior resistência (BOULON, 2004).

As pinturas com maior capacidade de penetração de água apresentam também maior retenção de sujeira e menor resistência a biodeterioração. Quanto maior o teor de resina maior resistência a penetração de água, e maior é também a resistência à retenção de sujeira. Quanto menor o teor de resina maior será a permeabilidade ao vapor de água pelo filme de tinta seco. Na coexistência destas propriedades opostas, contempladas na formulação da tinta, reside o melhor desempenho da pintura quanto aos agentes biológicos, pois permite a eliminação da umidade de dentro para fora e permite somente a penetração da água sob a forma de vapor (UEMOTO, 2007).

O conhecimento do processo de sujidade nas pinturas pode ajudar a limitar a biodeterioração. Medição do tempo de retenção de água de acordo com a natureza dos ligantes visando determinar a existência de uma relação entre retenção de água e deposição de sujeira sobre pintura e conseqüentemente através de um simples experimento apreciar o risco de biodegradação. De modo a tomar medições de sujidade em diferentes pinturas foi usado o teste de sujidade artificial da *Rohm & Haas* (BOULON, 2004). Variações de luminosidade são obtidas com espectrofotômetro de acordo com padrão branco. Em função dos testes realizados com diferentes ligantes pode-se concluir que quanto menor for a retenção de água maior será sua resistência a sujidade. Os resultados são ainda mais interessantes quando comparados com aqueles obtidos no local da exposição. Amostras não mostram visualmente nenhuma sujidade significativa, mas as amostras do segundo grau de sujidade são visualmente muito altas. Colonização de fungos é bem estabelecida nas amostras, no entanto o grau deste estudo não abrange o suficiente para uma conclusão geral (BOULON, 2004). Segundo Turner (1967) o ataque de fungos sobre superfícies pintadas tem crescido nos últimos anos em função da substituição das tintas antigas pelas modernas de resina sintética. Pesquisa realizada nos EUA sobre superfícies externas pintadas e descoloridas de 600 casas mostrou que os fungos foram responsáveis diretos por 60% dos estragos e indiretamente por 40%, de acordo com GOLLI, SNYDER, BIRNBAUM (1952). Outra pesquisa semelhante, feita por ROED na Noruega, registrou 75% dos danos provocados por fungos. TURNER apresenta listagem de 30 fungos isolados em filmes de tintas danificados correlacionados com sua localização e indica os cinco mais abundantes pelo mundo: *Pullularia pullulans*, *hoje Aureobasidium*, *Cladosporium herbarum*, *Alternaria*, *Penicillium spp* e *Aspergillus spp*. O ataque inicia pela

colonização da superfície, alimentado pela sujeira aderida ou pela difusão de nutrientes oriundos do substrato de madeira. Grande parte dos ataques de fungos é devida ao *Pullularia* que é resistente a altas temperaturas, a falta de umidade e luz solar, podendo crescer sob alto pH, variável de 9 a 10, *apud* GOLL (1956). O crescimento do mofo depende das matérias primas da formulação usadas na tinta, do poder de retenção de umidade e da aspereza ou lisura do filme. Mais importante ainda são as propriedades nutritivas do substrato sob o filme de tinta, além dela própria, *apud* GALLAWAY(1954). A diferente susceptibilidade fúngica dos pigmentos usados nas formulações de tinta pode ser um dos principais fatores determinantes de sua durabilidade. Tintas contendo oxido de zinco são muito mais resistentes ao mofo do que as a base de branco-chumbo, litopônio ou oxido de antimônio, *apud* GARDNER (1939), FINDLAY (1940), e os pigmentos brancos mais suscetíveis são dióxido de titânio e chumbo-titânio, *apud* DOOPER, HERMANN (1948).

Pigmentos de ZnO, associados com alguns fungicidas, como Skane M8, induzem um efeito fungistático. Para testar a capacidade do ZnO, segundo as normas AFNOR NFX 41520, foi inoculado mofo isolado de amostras de pintura coletadas na França. Um estudo comprovou o impacto do ZnO no combate a biodeterioração quando amostra contendo 3,4% não sofreu ataque, em contra partida ao pesado ataque sofrido por outra amostra sem ZnO (BOULON, 2004). O poder fungicida demonstrado pelo oxido de zinco na tinta cresce com o aumento da superfície específica *apud* SALVIN (1944). Os íons de zinco inibem a respiração dos fungos, *apud* STOCK (1942).

Já o pigmento mais suscetível ao ataque de fungos foi *Victoria Blue* e *violeta metil*, *apud* FERGUSON (1948), provavelmente por conter dextrina como impureza, que é um polissacarídeo, carboidrato de baixo peso molecular, boa solubilidade em água, funciona como aglutinante e espessante. *Monastral Blue* é um dos poucos pigmentos azul que possui completa resistência ao ataque de fungos. Outras impurezas inerentes ao pigmento, como sais de fosfato e potássio, aumentam sua suscetibilidade ao mofo, como ocorre com preto carbono e *blanc fixe*. Pigmentos a base de cromo geralmente resistem ao ataque, particularmente associados com pigmentos à base de chumbo. Azo pigmentos resistem a fungos e alguns tem ação fungicida(TURNER 1967).

MEIER e SCHMIDT, em 1952, comparam as taxas de crescimento diário de fungos sobre tinta base óleo com 2% de 19 diferentes pigmentos, demonstrando que todos apresentaram taxas de crescimento inferior a 50% da amostra não pigmentada. Pigmentos à base de oxido de zinco combinam-se ao óleo, constituente da tinta, formando sabão com poder fungicida provocando também maior dureza superficial do filme.

A influência do veículo e da resina aglomerante sobre a susceptibilidade ao mofo depende em grande parte das propriedades do veículo em ser capaz de contribuir para formação do filme, sua dureza, resistência à água e lisura. Crescendo o grau de polimerização da resina cresce a sua resistência ao mofo, *apud* MEIER e SCHMIDT, (1952). TURNER (1967) informa não haver diferença de resistência fúngica em filmes de acetato de polivinil, acrílico ou estireno-butadieno láctico, *apud* DRESCHER, (1958). Óleos de tunga, pinho e tabaco possuem resistência natural aos fungos, assim como ácido ascórbico. A suscetibilidade ao mofo em filmes de tinta é determinada por sua capacidade de absorção de umidade e capacidade do substrato.

BROWNE, em 1955, descobriu que óxido de zinco, cromato de zinco, carbonato de cálcio, todos os pigmentos de reconhecida capacidade fungicida para tintas, estão dentre os 50 examinados, como os de maior permeabilidade. As resinas costumam ser inertes aos fungos (TURNER, 1967).

O teor de fungicida está relacionado aos demais componentes da tinta e as suas condições de exposição. Os fungicidas mercuriais restaram comprovadamente ineficientes em testes pela marinha americana quando em teor de 10%, controlando o mofo por apenas alguns meses, pois sua toxicidade permanece na matriz da tinta sem alcançar a superfície. Os fungicidas mercuriais e os clorofenólicos são voláteis e perdem o poder preservativo em até 6 meses. A lixiviação da superfície pintada pela condensação de pingos de água que ocorre todo dia como resultado da variação da temperatura é o principal fator de eliminação do biocida. Os agentes biocidas devem atingir a superfície externa para poder combater os fungos. Elevados teores de biocidas podem estragar a formação do filme. Testes devem ser realizados para avaliar os teores a utilizar (TURNER, 1967).

Quanto às bactérias, essas não atacam filmes de tinta. Entretanto, recomenda-se o uso de bactericida em tintas para uso interno em hospitais, principalmente no teto (TURNER, 1967), recomendação desconsiderada atualmente por desconhecimento.

2.4 Contaminação e ataque biológico em pinturas

GAYLARDE e GAYLARDE (1999) afirmam ser o crescimento de algas e cianobactérias, em superfícies externas pintadas de edificações, capaz de causar descoloração e deterioração físico-química, retendo água, promovendo colonização de microrganismos e corrosão decorrente de ácidos orgânicos produzidos. Tais problemas são particularmente importantes em climas úmidos. Antes de 1999 não havia registro de informações publicadas

sobre crescimento de algas em prédios no Brasil nem na América Latina, sendo achado apenas em Singapura e Índia. Através de amostras recolhidas em 9 cidades do sul brasileiro 816 diferentes organismos foram identificados, 364 eram algas e 452 eram cianobactérias (GAYLARDE E GAYLARDE, 1999). A preponderância de cianobactérias não filamentosas é uma surpresa contrariando o relatado em Singapura e Índia. Segundo os autores as cianobactérias foram muito comuns em locais urbanos representando 62% dos organismos detectados. O gênero de cianobactérias *Synechocystis* foi o mais freqüente detectado em 63,4% das amostras. A presença dos gêneros *Oscillatoria* e *Lyngbya* também foi identificada. As algas eram do gênero *Chlorella*, *Ulotricaceae*, *Chlorococcum*. A pesquisa identificou pouca correlação entre os organismos encontrados nas superfícies dos prédios e os encontrados na água ou na areia, indicando serem ecossistemas completamente diferentes governados por seus específicos fatores.

2.5 Radiação solar das cores em fachadas

CASTRO, LABAKI, CARAM, BASO e FERNANDES (2003) afirmam que quanto mais clara e brilhante for à superfície, menor será a absorção e maior a reflexão. Cores escuras, por absorverem radiação, podem apresentar ganho de calor solar. Cores claras, por refletirem radiação, podem apresentar baixo ganho de calor solar. A cor da pintura externa possui um efeito significativo no ganho de calor. Logo, as cores diferem quanto a sua capacidade de absorção de calor, podendo influenciar no grau de biodeterioração em função do diferente teor de energia absorvido. As faces não expostas diretamente à incidência solar, ou mesmo a sombra, como as fachadas sul, podem receber até 50% menos raios U.V. do que as paredes diretamente expostas, (CHADYSIENE, GIRGZDYS, 2008).

2.6 Penetração de umidade em fachadas

A concepção arquitetônica e os materiais utilizados influenciam diretamente no crescimento de fungos em fachadas externas podendo ocasionar prejuízos estéticos e funcionais além de causar mal a saúde humana. Os fungos não elaboram seus nutrientes podendo extraí-los dos substratos onde se fixam. Algas e cianobactérias são capazes de elaborar sua alimentação por fototrofismo. Estes microrganismos se desenvolvem sobre as paredes das edificações a partir de um valor crítico de umidade, superior a 80%, e temperatura superficial, acima de 4°C, de um pH aceitável e disponibilidade de oxigênio. Ocorre

condensação pela diferença de temperatura entre as superfícies externas, mais baixas e o ar exterior, mais alto (SATO et ali, 2002).

SATO, UEMOTO, SHIRAKAWA e SAHADE (2002) avaliaram as condições ambientais de exposição da tinta em fachada externa. Painéis de concreto com enchimento interno de poliestireno expandido foram utilizados para vedação externa em edifício residencial estudado em São Paulo, onde foi observada a presença de microrganismos sobre o substrato. Visando identificar a origem da umidade nas regiões escurecidas, que propiciam a proliferação de microrganismos, foi verificada a ocorrência de diferentes temperaturas em materiais de diferente condutividade térmica. As temperaturas externas foram aferidas para comparação com as temperaturas de ponto de orvalho. Ponto de orvalho é a temperatura abaixo da qual ocorre condensação, normalmente durante a noite. Foram identificados fungos *Cladosporium sp.* e organismos fototróficos *Gloecapsa* presentes nas regiões escuras das fachadas externas.

Segundo os autores durante o dia a energia solar absorvida é transmitida para o interior da vedação a uma taxa menor que na região do concreto, fazendo com que a temperatura sobre o material isolante seja mais elevada. Durante a noite a superfície de concreto se resfria menos, pois há mais transferência de calor acumulado do que na região com isolamento térmico. Já na madrugada, quando a temperatura de formação de orvalho se iguala à temperatura do substrato, ocorre condensação de umidade. Na superfície de concreto a temperatura é sempre superior à temperatura de formação de orvalho, não havendo, portanto condensação. Durante a noite a água se condensa sobre os substratos isolantes térmicos por tempo variável em função da orientação solar, da velocidade e direção do vento. A permanência sobre a fachada sul é superior a norte, pois está sujeita a menor radiação e evaporação favorecendo o desenvolvimento de microrganismos. As superfícies em reentrâncias do prédio por serem menos expostas sofrem menos resfriamento estando menos sujeitas à condensação e a proliferação de microrganismos. Não foi observada diferença significativa no teor de umidade dos substratos de concreto e poliestireno expandido indicando que a pintura apresentava igual desempenho sobre os dois substratos.

Portanto a água utilizada pelos microrganismos teve origem na condensação superficial da umidade do ar com participação da chuva e vento. Os materiais de construção com diferentes capacidades de absorção, utilizados nas fachadas externas, revestidas pelo mesmo sistema de pintura, apresentaram biodeterioração diferenciada em função das suas diferentes capacidades de condensar água superficialmente. Certamente a tinta utilizada não

possuía biocida apropriado para resistir aos microrganismos detectados, ou mesmo se houvesse tal aditivo já estaria lixiviado pela chuva.

SATO, UEMOTO, SHIRAKAWA e SAHADE (2002) recomendam que caso não se possa utilizar tinta capaz de resistir aos microrganismos seria recomendável pelo menos a utilização de materiais com igual capacidade de absorção nas fachadas visando evitar sua biodeterioração, de forma a não atingir a temperatura superficial de formação de orvalho.

Constatada a deficiência maior da fachada sul seria recomendável a adoção de providências para minimizar os efeitos da biodeterioração. Conformações arquitetônicas de reentrâncias diminuiriam o problema.

Restou comprovada a hipótese proposta sobre a importância da condensação de água como fator determinante da biodeterioração diferenciada, já que a presença de água é reconhecida como fator indispensável para proliferação de microrganismos (SATO, UEMOTO, SHIRAKAWA, SAHADE, 2002).

2.7 Biofilmes e biodeterioração

Os biofilmes microbiais formam complexos ecossistemas de difícil estudo pelas técnicas convencionais em função de sua heterogeneidade originada por bactérias, algas, e protozoários que podem apresentar morfologia distinta do que em meio de cultura. A reprodução em laboratório destes biofilmes é complexa, pois muitas vezes sua formação está ligada a baixos teores de nutrientes, ao contrário dos altos teores dos meios de cultura em laboratório. HAMILTON e CHARACKLI (1989), descrevem as seguintes fases de formação de biofilme:

- transporte de moléculas orgânicas e células para a superfície;
- adsorção das moléculas orgânicas para formar o condicionamento superficial;
- absorção das células a superfície condicionada;
- crescimento das células adsorvidas associada a substâncias exopoliméricas sintetizadas.

Colonização é uma das primeiras etapas que conduzem a formação do biofilme nos materiais, podendo na melhor das hipóteses reduzir seu desempenho e na pior causar sua destruição. Colonização é o processo no qual os microrganismos aderem à superfície através de substâncias polisacarídicas extracelulares, secretadas pelas paredes celulares (COSTERTON et al *apud* MORTON e SURMAN,1997). Em ambiente aquoso surgem

bactérias capazes de gerarem glicocalices - (açúcar que envolve a membrana celular). Diversos fatores contribuem para o seu estabelecimento:

- nutrientes orgânicos e inorgânicos concentrados na interface sólido-liquido (COSTERTON et al 1981);
- os glicocalices agem em uma matriz iônica de aprisionamento de nutrientes a serem transportados para dentro das células pela altamente eficiente permeabilidade.(COSTERTON e GEESEY *apud* MORTON e SURMAN, 1997);
- os glicocalices conservam e concentram as enzimas digestivas liberadas pelas bactérias, melhorando assim a eficiência metabólica das células (COSTERTON *apud* MORTON e SURMAN, 1997);
- os glicocalices constituem uma barreira física de proteção parcialmente ao ataque de agentes antibacterianos (COSTERTON e IRVIN 1981).

Formação de biofilmes é um fenômeno que ocorre tanto em ambiente natural como criado pelo homem. Biofilmes também ocorrem na interface sólido/ar como em superfícies pintadas, podendo causar sua deterioração, sendo as algas e fungos os principais causadores, mais do que bactérias. Algas e fungos colonizam as superfícies externas de prédios conferindo aspecto de sujeira, escurecimento e aspecto desagradável, *apud* PERRICHET (1983). Eles são considerados precursores dos líquens e musgos capazes de grandes estragos. O crescimento de algas epifíticas ocorrerá em superfícies onde condições de umidade, calor e luz forem mais favoráveis. As algas não apresentam papel significativo na biodeterioração de fachadas externas podendo sim influenciar a sanidade do prédio. As espécies mais presentes são: *Chlorophayceae*, *Cyanophyceae*, *Pleurococcus*, *Stichococcus*, *Trentepohlia*, *Oscillatoria* e *Scytonema*. As algas são responsáveis pela retenção de umidade no inverno constituindo-se em fonte de umidade.

São encontradas com mais frequências os gêneros fúngicos *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* e *Penicillium*. Os fungos se nutrem dos componentes da tinta podendo, após, expor as superfícies a outros ataques, *apud* MORTON et al (1997).

A colonização resultante da ação do biofilme, que afeta o desempenho do material, é capaz de metabolizar alguns componentes constituintes das formulações das tintas assim como obter nutrientes a partir da sujeira do ar e substâncias orgânicas, em áreas de alta umidade.

2.8 Detecção de microrganismos

SHIRAKAWA, MONTEIRO, SELMO, CINCOTTO, (1995), afirmam que tintas e vernizes são atacados por fungos e admitem que a argamassa de revestimento possa também ser atacada em função de seu acabamento final e de suas condições de exposição e serviço. Em decorrência causando manchas, desvalorizando o imóvel e causando problemas respiratórios aos seus usuários. O fenômeno comumente chamado de bolor ou mofo é decorrente do crescimento de fungos filamentosos em substratos causando o aparecimento de manchas em tonalidades preta, marrom, verde, esbranquiçada ou amarela. Foram coletadas amostras de bolor em parede externa revestida com argamassa e pintura descascada no térreo de edifício comercial em São Paulo, originada por umidade de ascensão capilar. Identificados: *Acremonium*, *Monilia*, *Cordana* e *Phialophora* e leveduras. *Cordana* e *Phialophora* possuem hifas escuras, alterando a coloração do revestimento da parede, e as outras possuem hifas claras. Foram identificados *Acremonium sp*, *Monila sp*, fungos que possuem hifas claras que não alteram a coloração do revestimento, *Cordana sp*, *Phialophora sp*, fungos que apresentam hifas escuras e formam manchas escuras no revestimento. A interação entre bactérias, fungos e leveduras é determinante do processo de biodeterioração. KARPOVICH-TATE (1990), *apud* SHIRAKAWA et ali (1995), demonstrou que alguns fungos produzem enzimas que hidrolisam a parede celular de bactérias e fungos.

SPRINGLE, HOLMAN e KENNEDY (2003) enfatizam que as tintas poliméricas usualmente revestem substratos para protegê-los da degradação ambiental. A infestação alcança um grau de comprometimento que obriga a sua substituição, quer por razões estéticas ou por perda de proteção. Predizer a habilidade dos revestimentos resistirem ao ataque microbiológico é uma obrigação dos fabricantes e de seus fornecedores de matérias primas, assim como dos aplicadores e usuários finais. Os testes de predição proporcionam a fabricação de produtos ambientalmente amigáveis, como os sistemas a base água são exemplo. Estragos previstos em produtos tradicionais de revestimentos baseados em procedimentos laboratoriais de curto termo são usualmente acrescidos de diversos meses de ensaios de campo, cujos resultados podem não coincidir com exposição natural. Os ensaios de campo são de maior duração e melhor representativos das condições locais reais. O Departamento de Indústria e Comércio do Reino Unido DTI, patrocinou o desenvolvimento de testes de estrago fúngico, em campo, para tintas em três distintos locais climáticos através de 120 painéis de testes e avaliados mensalmente utilizando a escala de classificação 0 a 5 definida na BS 3.900/1989 parte G6. O estudo verificou se a colonização da superfície da

tinta seria fortemente influenciada pelo microclima local. Três típicos substratos de construção foram utilizados: madeira, metal e placa de uso externo. A cada mês as 360 amostras expostas foram avaliadas para obter notas. Análise de variância (ANOVA) mostrou a mesma ordem de significância local mês interação local/mês para substratos de metal e madeira. O sistema de leitura visual não foi capaz de registrar vida, morte e processo de desaparecimento de fungos. Cada local foi significativamente diferente e fachadas sul apresentaram maior crescimento do que norte. A tentativa de correlacionar os padrões de crescimento dos agentes biodeteriorantes com microclimas diferentes restou falha. O projeto identificou problemas em correlacionar resultados de diferentes observadores, e necessitará futuras investigações. (SPRINGLE, HOLMAN, KENNEDY, 2003).

SHIRAKAWA, GAYLARDE, GAYLARDE, JOHN e GAMBALE (2002) descreveram a seqüência de colonização por fungos e a influência da incorporação de biocida no filme da tinta. Dois prédios foram pintados com tinta acrílica com e sem biocida, *Carbendazin* a 0,25%. A maioria dos organismos detectados eram leveduras e *Cladosporium* uma semana após a pintura. A população de leveduras caiu para níveis imensuráveis após 3 semanas e não foi detectado até a 31ª semana, tendo crescido a altos níveis na 42ª semana. *Aureobasidium* mostrou comportamento similar às leveduras. Os principais gêneros de fungos detectados após 42 semanas foram *Alternaria*, *Curvularia*, *Epicoccum*, *Helminthosporium*, *Coelomycetes*, *Monascus*, *Nigrospora*, *Aureobasidium* e *Cladosporium*, o principal fungo sempre detectado em todos os tempos. A população de fungos nas superfícies contendo biocida foi significativamente menor do que nas sem biocida após 13 semanas continuando assim até a 42ª semana após pintura, sem apresentar significativa diferenciação no nível da biodiversidade de fungos.

Normalmente superfícies pintadas aceitam vasta flora microbiológica: bactérias, algas, animais e fungos, causando degradação da tinta e avaria estética à edificação. Na América Latina estudos estatísticos sugerem que algas precedem cianobactérias na seqüência de colonização, segundo GAYLARDE e GAYLARDE (2005). Mais evidências são trazidas por biocida a base de cobre, de maior ação algicida, que foi capaz de retardar a descoloração de uma tinta aplicada por 6 anos e mostrou haver reduzido a biomassa bacteriana e fúngica, assim como a biomassa de algas.

Foi realizado teste comparativo de pintura entre dois prédios no campus da USP, o primeiro com pintura muito antiga rodeado por árvores e fortemente escurecido e o segundo com pintura mais recente mostrando pouco biofilme e cercado por poucas árvores, sem sombreamento. A repintura das paredes externas foi precedida de aplicação de

hipoclorito e hidrojateamento. Antes da limpeza, *Cladosporium* foi de maior presença nos dois prédios, seguido por *Aureobasidium*. A maior biomassa de biofilme no primeiro prédio consistiu de fototróficos, abundância de cianobactérias e a presença de *Pleurocapsales* sugerindo a existência de um biofilme de maior durabilidade, por avaliação visual. A maior biomassa no segundo prédio era fúngica e a diversidade de fototróficos neste prédio relativamente limpo foi menor do que no primeiro prédio, exceto na superfície de fissuras, onde é maior. A maioria dos fototróficos detectados em ambos os prédios eram *cocóides*. Após a limpeza, organismos fototróficos quase não foram detectados e nenhum actinomiceto ou protozoário foi visto, embora eles tenham estado presentes nas superfícies originais. Uma semana após a aplicação da tinta foi detectada a presença de dois fungos filamentosos, *Aspergillus e Cladosporium*, no primeiro prédio e oito (*Alternaria, Aureobasidium, Helminthosporium, Monascus, Nigrospora, Phoma, Tripospermum e Cladosporium*) no segundo. Em duas semanas as leveduras diminuíram não sendo mais detectadas entre a 3ª e 31ª semanas, retomando o crescimento após. A colonização inicial pode ter sido resultante de sua presença na lata, pois leveduras são contaminantes comuns das tintas líquidas. *Cladosporium* foi o fungo filamentoso mais freqüente. *Aureobasidium* estava presente até 4ª semana, retomando crescimento após a 26ª semana (SHIRAKAWA, GAYLARDE, GAYLARDE, JOHN, GAMBALE, 2002).

Um biocida a base de cobre foi aplicado sobre parede pintada há dois anos e muito contaminada por fungos em Porto Alegre. Em quatro meses a população de fungos caiu a zero permanecendo a baixos patamares até 12 meses após. Seis anos após a biodiversidade original se restabeleceu apresentando menor descoloração e sujidade. Os fungos *Aureobasidium, Epicoccum e Helminthosporium* regrediram nos meses de verão novembro, dezembro e janeiro.

2.9 Biocidas em filmes secos

ENGLISH et al (2003) afirmam que o ensaio de exposição natural às intempéries é o único método seguro de verificar a durabilidade de filme de tinta e sua biodeterioração, embora seja trabalhoso e de longa duração. Outra forma aceitável são simulações laboratoriais, como o sistema de berço de vermiculita, conforme proposto por MORTON, (1987); GRANT e BRAVERY, (1981). O maior problema da indústria de tinta é o dano estético causado ao filme pela produção fúngica de pigmentos ou esporos e micélios de cor escura, como *Aureobasidium pullulans, Alternaria alternata, Rhodotorula spp* e algumas

espécies de *Fusarium*. Para avaliação quanto a exposição às intempéries foram montados painéis pintados e expostos, a 45° em direção ao norte, em quatro diferentes locais na Inglaterra, por 30 meses. Foram detectados fungos da mesma espécie em diferentes direções. Uma hifa de *Aspergillus pullulans* atravessada ao longo das fibras de madeira penetrou no filme de tinta permitindo o acesso de água resultando na formação de bolhas (ENGLISH et al., 2003).

DIEZ e BARROS (1992) afirmam que os biocidas, nas tintas, têm duas funções básicas: preservar a tinta dentro da embalagem e preservar o filme seco. A contaminação está relacionada com a disponibilidade de nutrientes fornecidos pelo espessante da tinta e outros aditivos. Os microrganismos podem ser introduzidos na tinta através da água utilizada na sua fabricação, ou de pontos críticos na planta ou mesmo do ar. As bactérias são de proliferação mais importante em função do pH neutro e da temperatura de estocagem. No filme de tinta exposto a ação do ar, água, sol e na presença de nutrientes os fungos, cujos esporos são transportados pela água e ar, favorecem o seu crescimento. Na embalagem, como consequência da contaminação, pode haver perda de viscosidade, odores estranhos ou estufamento, provocando devolução do lote de produção. No filme a principal consequência da contaminação é a deformação visual causada pela presença do fungo e pela sua capacidade de reter a sujeira em sua estrutura, diminuindo a sua vida útil podendo desacreditar o produto. Os biocidas são os agentes controladores deste processo e devem apresentar comprovada eficiência, compatibilidade física e química, não ser corrosivo, apresentar dosagem e custo não comprometedor, efeito de longo período, baixa toxicidade. Os biocidas mercuriais, de eficiência conhecida, são altamente lixiviáveis e danosos a saúde humana por isso estão sendo substituídos. Busca-se então a padronização de avaliação dos novos biocidas.

A concentração mínima inibitória (CMI), informa o menor teor de concentração necessária para controlar o crescimento de um microrganismo em meio de cultura. A dosagem de utilização deve ser determinada considerando sua atuação sobre o filme de tinta. Na embalagem as tintas são avaliadas pela norma ASTM D 2574-86 que consome 3 meses de ensaio, ou metodologias especiais de 9 e 21 dias. Os critérios de avaliação são: perda de viscosidade, odor estranho, estufamento da embalagem e determinar capacidade de eliminação dos microrganismos inoculados. A inoculação em separado somente de solução do espessante, já aditivado de bactericida, por enzima celulase, é outro ensaio de resultado mais rápido.

O ensaio da Câmara Tropical da ASTM D 3273-86 simula a intempérie a que um filme de tinta aplicado pode ser submetido para verificar suas alterações sob ação de

fungos inoculados relacionados à eficiência dos biocidas. A umidade relativa do ar é mantida entre 95 – 98 %, um aquecedor regulado por termostato mantém a temperatura interna em $1 + 32,5 - 1$, o ar é feito circular por uma ventoinha acionada eletricamente. Em bandeja apropriada é colocada terra para ser inoculada por esporos de fungos (*Aspergillus niger*, *Penicillium sp*, *Aureobasidium pullulans*), sobre tanque de água. Os corpos de prova em madeira ou gesso são revestidos e acondicionados por 4 dias a $-5/ 50\% /+ 5$ de umidade, antes da exposição na câmara. Três exemplares iguais são acomodados sobre barras junto a terra. O aparato é mantido em sala sob temperatura controlada: de 21 a 24 C, após 24 horas atinge equilíbrio e permanece em operação por 2 semanas. O ensaio dura 4 semanas e o critério de avaliação é extensão da área atacada por amostra, a norma ASTM D 3274-86, com padrões fotográficos, é auxiliar na avaliação.

O *Federal Test Method* STD 141C/1986, method 6271.2 consiste em aplicar a tinta, contendo biocida, em ambas as faces de uma folha de papel filtro Whatman nº30. Após secar o papel é cortado em quadrados de 32 x 32 mm para serem colocados no centro de uma placa de Petri contendo Agar Czapek com pH entre 5,5 e 6,5. Três replicas por biocida são inoculados em 1 ml por suspensão de esporos de *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* e *Aureobasidium pullulans*, incubados a 28-30°C a 85-90% de umidade relativa por 7 dias. O controle é feito por avaliação visual do comprometimento da amostra. Admite algumas variações: utilização de outros fungos, lixiviação do corpo de prova por água antes da inoculação.

O ensaio de exposição de painéis a intempérie é um teste de campo que consiste em expor painéis recobertos com tinta, a 45° orientação sul e vertical para o norte, a ação das condições climáticas naturais e observar o período de tempo que a amostra resiste à ação dos fungos.

O método da Placa de Petri realizado com amostra previamente lixiviada apresenta boa correlação de resultados com a Câmara Tropical. A placa de Petri apresenta resultados em menor tempo (7dias), sendo pouco útil na escolha da dosagem do biocida. A Câmara Tropical (4 semanas) é menos agressiva à mostra sendo mais próxima da realidade e é importante na escolha da dosagem do biocida (DIEZ, BARROS, 1992).

WINKOWSKI (2004) afirma que mais de 80% das tintas utilizadas na construção civil são à base de água, o que as torna muito suscetíveis ao ataque microbiológico tanto no estado fresco como filme seco. A adição de fungicidas e algicidas prolongam a vida útil do filme seco, mas uma mistura de biocidas pode aperfeiçoar o desempenho desejado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa os trabalhos obedeceram ao seguinte fluxograma, conforme figura 4.

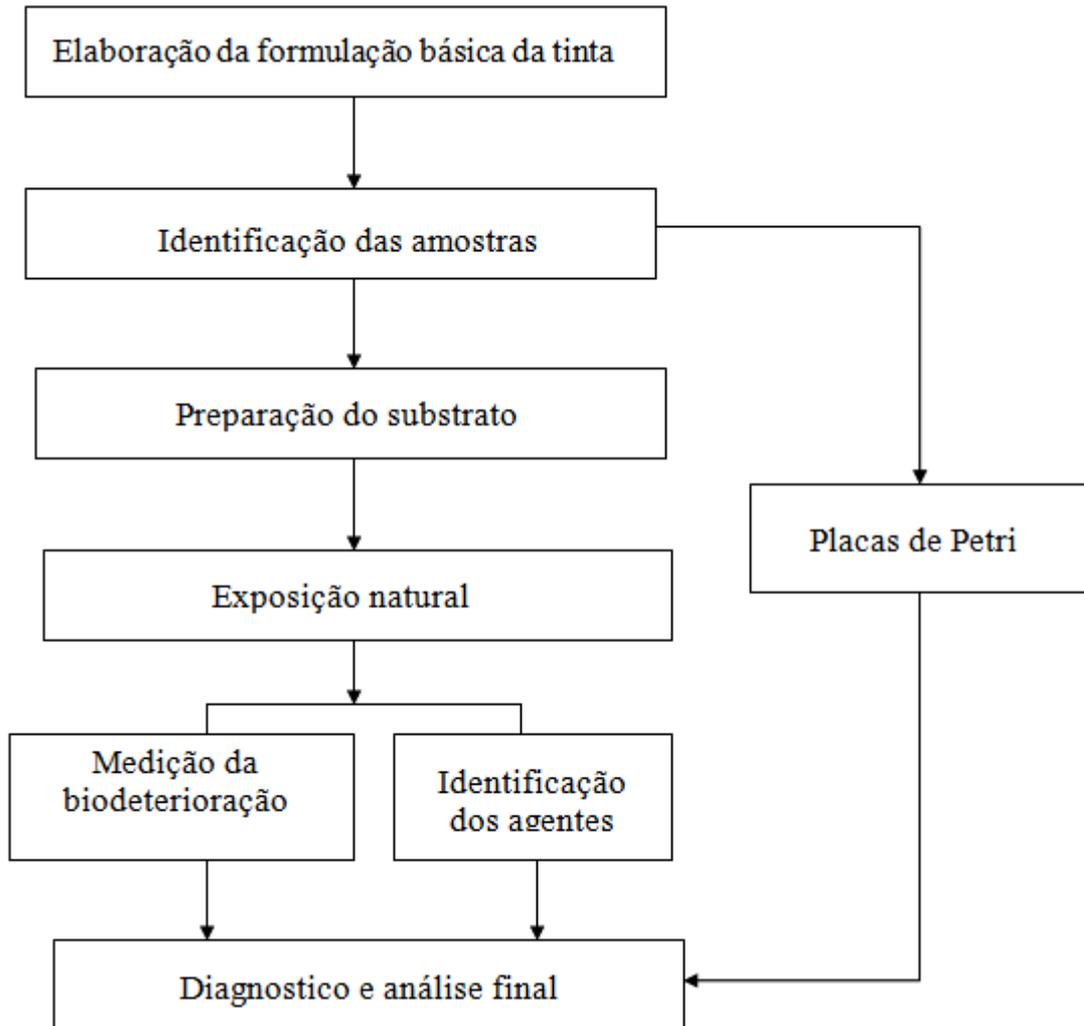


Figura 4: Fluxograma representativo da realização deste estudo

Os métodos empregados para análise da biodeterioração quanto à exposição natural foram complementados com avaliação em placas de Petri das tintas e dos pigmentos utilizados.

Adotou-se uma formulação básica de tinta acrílica branca lisa fosca, conforme a composição apresentada na tabela 3, constituída a base de insumos comerciais de ampla e comum utilização. Na formulação da tinta látex acrílica branca lisa fosca utilizou-se insumos nomeados comercialmente, a saber: *Disaspers-T* é um dispersante acrílico concentrado, *Disafoam 969* é um anti-espumante, *Acticide HF* é um biocida para lata e *Gapcoat MGK* é parafina hidrossolúvel.

Tabela 3: Formulação da tinta látex acrílica fosca base

Tinta acrílica lisa fosca - 1 Litro		
teor %	Insumo	kg
42,50	Água	0,594
0,36	Hidroxietilcelulose	0,006
0,08	Amoníaco	0,001
0,36	Disaspers-T Conc	0,005
0,18	Disafoam 969-T	0,002
0,26	Acticide HF - THOR	0,004
8,08	Dióxido de Titânio	0,113
12,14	Carbonato Cálcio ppt	0,170
13,20	Calcita #400	0,185
3,60	Talco micronizado	0,050
7,24	Caulim micronizado	0,101
10,33	Resina Acrílica	0,144
0,06	Amoníaco	0,001
0,46	Propilenoglicol	0,006
0,83	Aguarráz	0,012
0,32	Gapcoat MGK	0,004
100,00	Total	1,398

Dez diferentes pigmentos *Colanyl* fornecidos pré-dispersos pela *Clariant* foram acrescidos à tinta base para tingí-las nas cores dos principais fabricantes nacionais: camurça, vermelho, palha, amarelo, verde, gelo, cerâmico, marfim, azul e pêssego.

Foi utilizado o biocida para filme seco *Acticide EPW*, fornecido pela *Thor Brasil Ltda.*, capaz de inibir o crescimento de fungos e algas sobre os filmes de tinta seco das amostras padrão de cada uma das cores.

Foi utilizado o biocida *Acticide HF*, fornecido também pela *Thor Brasil Ltda.*, capaz de inibir o crescimento de bactérias enquanto a tinta está dentro da embalagem, em todas as amostras e igualmente no selador.

Os métodos empregados para análise da biodeterioração quanto à exposição natural foram complementados com a avaliação em placas de Petri das tintas e dos pigmentos utilizados.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram produzidas cores diferentes de tintas e realizadas avaliações mensais conforme fluxograma apresentado a seguir, na tabela 4.

3.1 Preparação das amostras

As tintas formuladas foram aplicadas em placas, de 6 mm de espessura com 10 cm de altura e 30 cm de comprimento, cortadas a partir uma chapa pré-fabricada de fibrocimento *BrasiPlac* da *Brasilit*, conforme figura 5. A placa apresenta as seguintes características, densidade ambiente: 1,70 g/cm³; absorção máxima de água: 30%; condutibilidade térmica: 0,35 W/mK e coeficiente de dilatação térmica: $7,5 \times 10^{-6}$ m/m°C, conforme informado pelo fabricante. As argamassas de revestimento apresentam densidade média de 1,85 g/cm³ e condutibilidade térmica 1,15 W/mK (projeto de norma 02:135.07-002 dez 1998- desempenho térmico de edificações). Conforme boletim técnico do fabricante as placas são comercializadas como sendo impermeáveis a água, sem sofrer degradação em presença de umidade, são permeáveis ao vapor, apresentam elevada resistência ao impacto e são incombustíveis.



Figura 5 Face frontal da placa de fibrocimento utilizada como substrato para aplicação das tintas

Tais placas são constituídas por uma mistura de cimento *Portland*, fios sintéticos e fibras celulósicas inertes capazes de proporcionar um substrato homogêneo, produzido industrialmente, assemelhando-se ao reboco de argamassa de cimento - substrato mais comum para aplicação da tinta látex em fachadas externas.

As placas foram perfuradas em dois pontos para a fixação dos parafusos de fixação com cabeças cônicas. Estas cabeças receberam arremate de preenchimento com massa

originada pela mistura do pó, oriundo da furação da própria placa, com massa corrida acrílica, mantendo esta superfície com textura semelhante a da placa, conforme figura 5.

Após 7 dias, tempo necessário para que a massa de arremate possa secar, foi aplicada pintura com selador acrílico pigmentado branco, formulado normalmente com bactericida. Os corpos-de-prova secaram em posição horizontal, em local livre de pó, conforme recomendado pela norma NBR 13006/1993. Sete dias após, as placas receberam uma demão de tinta com rolo de lã de carneiro em toda sua superfície. No total, para cada cor testada, foram pintadas 8 placas, 6 placas sem biocidas e 2 placas com fungicida e algicida. Sete dias após as placas foram fixadas em ripas de madeira, espaçadas por tubos de PVC de 25 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, que isolaram a rosca dos parafusos zincados, preservando-os da intempérie e da corrosão.

Dessa forma, procurou-se impedir quaisquer contaminações indesejáveis nas amostras, e garantindo o mesmo espaçamento em relação à ripa de fixação, conforme figura 5.

O sistema permitiu maior circulação de ar diminuindo consideravelmente sua temperatura (FAZANO, 1998). O posicionamento das placas seguiu a seguinte ordem: no mesmo alinhamento horizontal foram dispostas quatro placas da mesma cor, iniciando da esquerda para a direita, olhando de frente, com as três primeiras sem biocida e a última com biocida, que é o padrão de comparação.

Para tingir a mesma formulação básica de tinta látex foram adicionados pigmentos *Colanyl*, fornecidos predispersos pela *Clariant*, conforme tabela 4.

Tabela 4: Características dos pigmentos utilizados na composição das cores

propriedades	PIGMENTOS COLANYL - CLARIANT								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
referencia	MG BR	R BR	SH	TQ	PRQ	3GLS	FGR	GG	B BR
cor	Amarelo	Amarelo	Azul	Branco	Preto	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho
característica química	azoico-arilamidico	oxido de ferro	ftalocianina de cobre	dióxido de titânio	negro de fumo	ftalocianina de cobre	azóico-naftol AS	azóico - beta naftol	oxido de ferro
classificação	orgânico	Inorgânico	orgânico	N/D	inorgânico	orgânico	orgânico	orgânico	inorgânico
densidade (g/cm ³)	1,24	1,87	1,26	1,80	1,27	1,47	1,23	1,33	N/D
valor PH	N/D	6,00 - 9,00	5,50 - 8,00	8,00 - 10,00	5,50 - 8,00	5,50 -8,00	5,50 -8,00	5,50 - 8,00	N/D
teor de pigmento	40%	70%	50%	N/D	35%	50%	50%	50%	70%

N/D: não determinado

Foram assim obtidas as dez seguintes cores: camurça, vermelho, palha, amarelo, verde, gelo, cerâmico, marfim, azul e pêssego, que são as mais comercializadas e integram as cartelas de cores padrão dos principais fabricantes. A dosagem dos diferentes pigmentos para obter as cores é apresentada na tabela 5.

Tabela 5: Dosagem dos pigmentos para obtenção das cores das amostras de tinta

Colanyl CLARIANT	Pigmentação das tintas									
	azul	marfim	pêssego	cerâmico	gelo	vermelho	verde	amarelo	palha	camurça
Amarelo MG-BR	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0	0
Amarelo Oxido R-BR	0	5,0	5,0	7,0	0,4	0	10,0	10,0	2,0	12,0
Azul -SH-BR	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Branco-TQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Preto PRQ	1,5	0	0	2,0	2	0	7,0	0	1,0	3,0
Verde 3GLS	0	0	0	0	0	0	12,0	0	0	0
Vermelho FGR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vermelho GG	0	0	1	10,0	0	20,0	0	0	0	2,0
Vermelho Oxido B-BR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vermelho R-2140E	0	0	0	0	0	4,0	0	0	0	0
tinta base (mg)	395	500	420	400	420	300	440	500	450	480

pigmentos em mg

A figura 6 apresenta detalhe de fixação das placas de amostra no cavalete de exposição à intempérie.



Figura 6: Ilustração do sistema de fixação das placas de amostra no cavalete

3.2 Exposição das amostras ao intemperismo

Logo, as placas foram dispostas em dez alinhamentos horizontais sobre dois cavaletes articulados de madeira que permitem manter sua verticalidade (COLON, KUUSISTO, HANSEN, 2004), simulando a situação normal de exposição em fachadas externas, já que inclinada a 45° apresentaria menor retenção de sujeira superficial ou mofos e menor retenção de umidade (FAZANO, 1998).

As 10 cores testadas são de cartela e produzidas industrialmente, refletindo a preferência dos consumidores.

Neste experimento é desejável a maior retenção de sujeira superficial e mofo possível para proporcionar condições ideais ao desenvolvimento da biodeterioração. Esta disposição vertical, denominada de “teste da pintura em cerca”, *paint fence test*, foi utilizada por STANLEY J. BUCKMAN, precursor da pesquisa de biodeterioração de filme secos a base de fenilmercuriais durante os anos de 1940 e 1950, (WIENERT, 2001). A “Paint Research Association” – PRA, “Associação de Pesquisa em Tintas”, do Reino Unido, também dispõe suas amostras a 90° sob incidência solar desfavorável, conforme figura 6, segundo Relatório Executivo de validação de testes e métodos para predizer o ataque microbiológico, (SPRINGLE et ali,2000).

Decorridos sete dias de sua montagem os cavaletes foram instalados no terraço do bloco B do prédio da Engenharia Civil da UFSC, em Florianópolis-SC. Os cavaletes foram orientados um para norte, conforme figura 10, e outro para o sul, conforme figura 9, que é a orientação mais favorável para o crescimento de microrganismos no hemisfério sul (SATO, UEMOTO, SHIRAKAWA, SAHADE, 2002). A figura 7 mostra o alinhamento das placas de amostra dispostas no cavalete .



Figura 7: Disposição das placas no cavalete

A exposição de amostras é o único método verdadeiro para testar durabilidade de filmes de tinta (MORTON, 2003; NAPPI, PELUSO, TONERA, 2006). O terraço estava muito contaminado em suas paredes e pisos por agentes biodeteriorantes característicos da região do Campus Universitário, bairro Trindade e Córrego Grande, conforme figura 8.



Ambiente contaminado do terraço onde as amostras foram expostas.



Figura 8: Caracterização do ambiente de exposição no terraço já contaminado

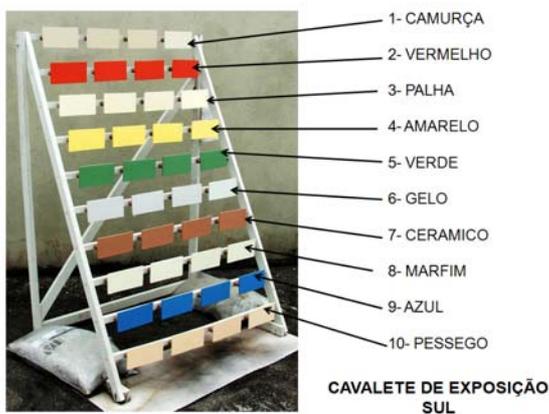


Figura 9: Ordenação de disposição das amostras



Figura 10: Posicionamento das amostras com e sem biocida

Para a identificação dos agentes de biodeterioração presentes no momento de iniciar os ensaios de exposição natural, fez-se o seguinte procedimento:

- raspagem da superfície das paredes com “swabs” (haste flexível com algodão estéril);
- fechamento na embalagem estéril em forma de tubo;
- identificação pela empresa *Thor Brasil Ltda.* como fungos do grupo do *Aspergillus*, como ilustra a figura 11, e as bactérias do tipo gram-positivas.

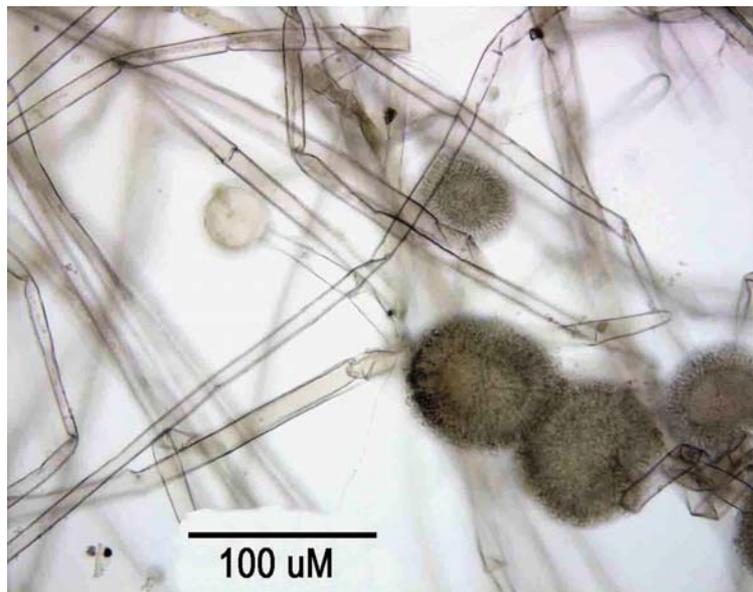


Figura 11: *Aspergillus*,

fonte: <http://www.marietta.edu/~spilatr/biol202/microid/images/>

3.3 Avaliação das amostras

A avaliação da exposição das amostras iniciou em 23 de fevereiro de 2006 e finalizou em 28 de dezembro de 2008.

O programa computacional *CalculaCor*, fornecido pela Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras - CERTI da UFSC, foi utilizado para identificar os teores de três cores básicas, vermelho, azul e verde, contidos nas amostras. Permitindo assim sua caracterização, antes do início de exposição, em conformidade com o sistema RGB que atribui teor mínimo zero até o máximo 255, conforme tabela 6.

Tabela 6: Caracterização das cores das amostras através do programa *CalculaCor*

Cor	Vermelho R -Red	Verde G- Green	Azul B -Blue
CAMURÇA	121	126	125
VERMELHO	157	80	71
PALHA	129	133	130
AMARELO	137	138	92
VERDE	84	120	104
GELO	122	130	139
CERAMICO	123	109	104
MARFIM	136	143	140
AZUL	65	120	140
PESSEGO	147	138	121

Foi realizada uma microscopia eletrônica de varredura (MEV), pela técnica da fita adesiva, desenvolvida por GAYLARDE (1999), em dez placas, de cores diferentes. A análise microscópica foi realizada na Escola de Farmácia e Ciências Biomédicas da Universidade de Portsmouth, Inglaterra. Com o uso da fita adesiva pode-se recolher microrganismos sem atingir o substrato. As amostras, que estavam expostas na direção sul, foram avaliadas por CHRISTINE GAYLARDE, operando o equipamento. O método da fita adesiva de acetato é um método de contato desenvolvido para detectar e identificar a presença de fungos sobre as superfícies. A fita, depois de contato com a superfície estudada é observada através de microscópio. CHRISTINE GAYLARDE também ajudou a aferir a biodeterioração de todas as placas em conformidade com norma inglesa BS 3900/1989, parte G6. Através de análise visual a contaminação superficial é classificada de 0 a 5, pela utilização de cruzes que equivalem a 20% de área contaminada, dentro do seguinte critério: (+) = 5% , +/- = 10% , + = 20% , ++ = 40% , +++ = 60% , ++++ = 80% , +++++ = 100%

3.4 Exposição das amostras em placas

As três amostras sem biocidas da mesma cor foram sempre comparadas com a amostra padrão, também exposta, que contem 2,0% de biocida, *Acticide EPW*² da *Thor*, teor

² biocida combinado de *Carbedazina*, octil isotiazolona e *Diuron* - eficiente contra fungos, leveduras e algas

máximo recomendado. Ou seja, todas as amostras estavam sujeitas à mesma contaminação ambiental sendo então a sua diferença de escurecimento creditada à ação biológica. Através de avaliações e registros fotográficos mensais foi registrada a evolução da contaminação bem como realizadas avaliações periódicas pela norma britânica BS 3900/1989 G6.

Após cerca de vinte meses de exposição foi realizada uma análise microscópica sobre o filme de tinta biodeteriorada nas dez diferentes amostras expostas ao sul. As análises em microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas em equipamento JOEL JSM-6060, sob 25kV, com vácuo e sob aumentos variando de 300 a 16.000 vezes.

3.5 Testes dos pigmentos e das tintas

Para avaliar a influência dos componentes inorgânicos dos pigmentos na ação biocida as pastas de pigmentos pré-dispersos foram analisadas através de um espectrofotômetro fluorescente de raios-X, marca *Shimadzu* modelo EDX-700, do Núcleo de Pesquisa em Construção NPC. As pastas foram suportadas em papel filtro analítico WHATMAN 40 de 8 μm , sem cinzas. A pasta foi aplicada em uma camada única. Após a secagem fez-se a análise quantitativa no EDX. A composição química das tintas também foi analisada através de espectrofotômetro fluorescente de raios-x.

As dez cores de tinta foram ensaiadas em placa de Petri, por três meses, colonizada por microrganismos existentes retirados das paredes do terraço do prédio da Engenharia Civil da UFSC, mesmo ambiente onde as placas foram expostas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto teve como objetivo a identificação das cores das tintas as quais providenciarão o melhor desempenho em função da vida útil do filme seco aplicado em fachada externa, resultante da biodeterioração.

4.1 Temperatura

O conhecimento prévio da temperatura, a que superfície de reboco externo pintado com tinta látex possa apresentar, pode servir de parâmetro para definição de cor a utilizar, dentro da mesma fachada ou entre fachadas de diferentes orientações geográficas. É possível escolher cores que reduzam o consumo de energia para fins de condicionamento térmico em climas quente-úmido em fachadas muito ensolaradas, como oeste e norte. (RAHMAN, GAZALI, HAW, 2006). No dia 11 de outubro de 2006, 245 dias do início da exposição, entre 11h00min e 12h00min foram realizadas leituras de temperatura superficial das amostras registradas por fotografias digitais, sob forte sol e condições meteorológicas informadas pelo *LabHidro* do campus da UFSC: temperatura ambiente de 25,7 °C, umidade média de 66 % e sem chuvas. A figura 12 mostra uma placa de cor camurça exposta na direção sul que apresentou leitura de temperatura de 29,5 °C no seu centro.

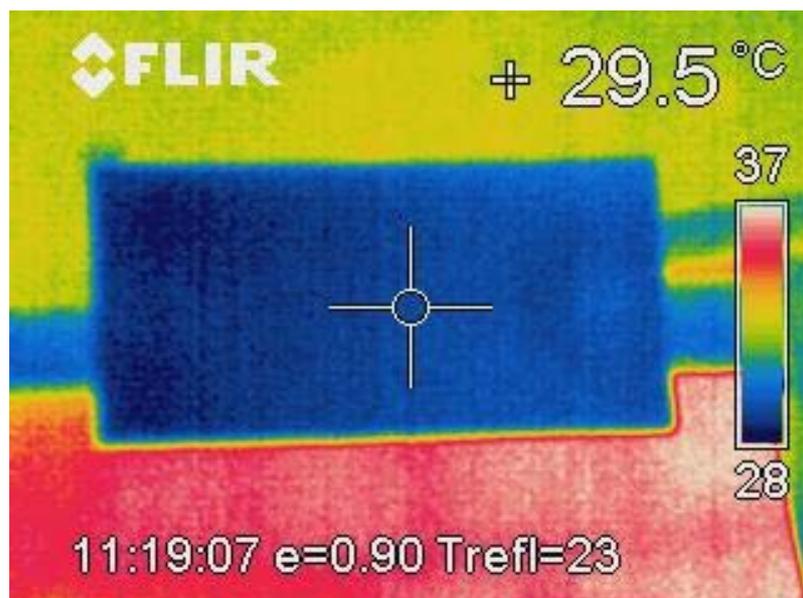


Figura 12: Fotografia infravermelha com medição de temperatura de 29,5 °C na amostra cor camurça

As cores escuras, por sua baixa refletância no visível, podem apresentar um bom desempenho térmico em relação ao ganho de calor solar, devido à alta refletância no infravermelho (CASTRO et al.2003).

Em 11/10/2006, a 245 dias do início da exposição foram realizadas aferições de temperatura das amostras através do registro por fotografias digitais de leitura central, empregando-se uma câmera fototérmica marca *ThermaCAM E2*. Este equipamento foi cedido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, vinculado ao Núcleo de Pesquisas em Construção NPC da UFSC, conforme tabela 7 e gráfico da figura 13.

Tabela 7: Temperatura das amostras nas direções sul e norte e suas diferenças

Cor	Temperatura °C		
	Norte	Sul	diferença
CAMURÇA	30,10	26,95	3,15
VERMELHO	29,15	26,55	2,60
PALHA	31,20	27,65	3,55
AMARELO	30,85	27,85	3,00
VERDE	31,40	28,70	2,70
GELO	29,55	25,95	3,60
CERAMICO	28,80	26,60	2,20
MARFIM	30,55	27,90	2,65
AZUL	31,10	27,35	3,75
PESSEGO	31,90	27,75	4,15

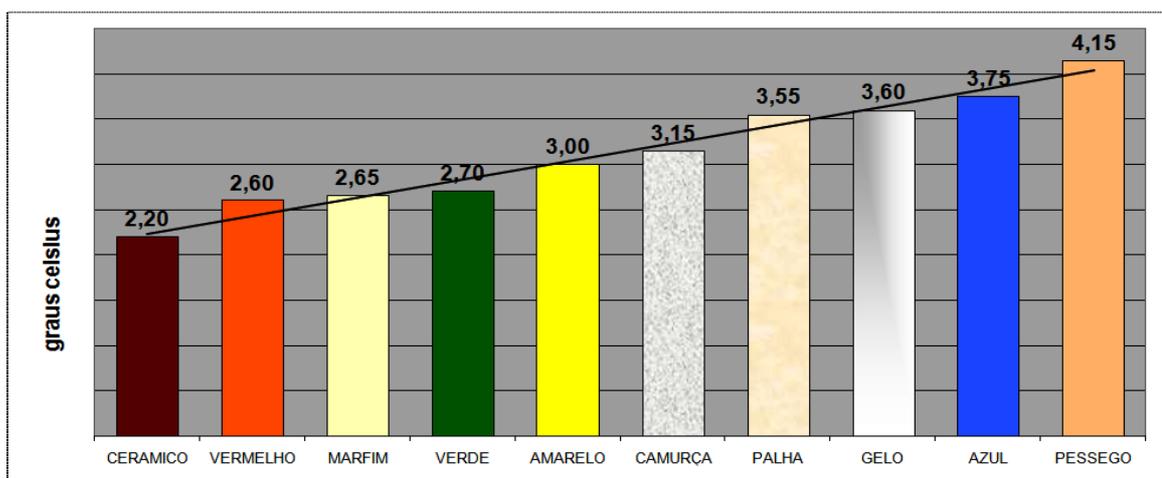


Figura 13: Diferença de temperatura das amostras entre fachadas sul e norte

As cores que apresentaram menor variação de temperatura entre as fachadas sul e norte, conforme figura 13, foram as escuras cerâmico, com 2,20°C, e vermelho, com 2,60°C, e as que apresentaram maior variação foram pêssego, com 4,15°C, e azul com 3,75°C.

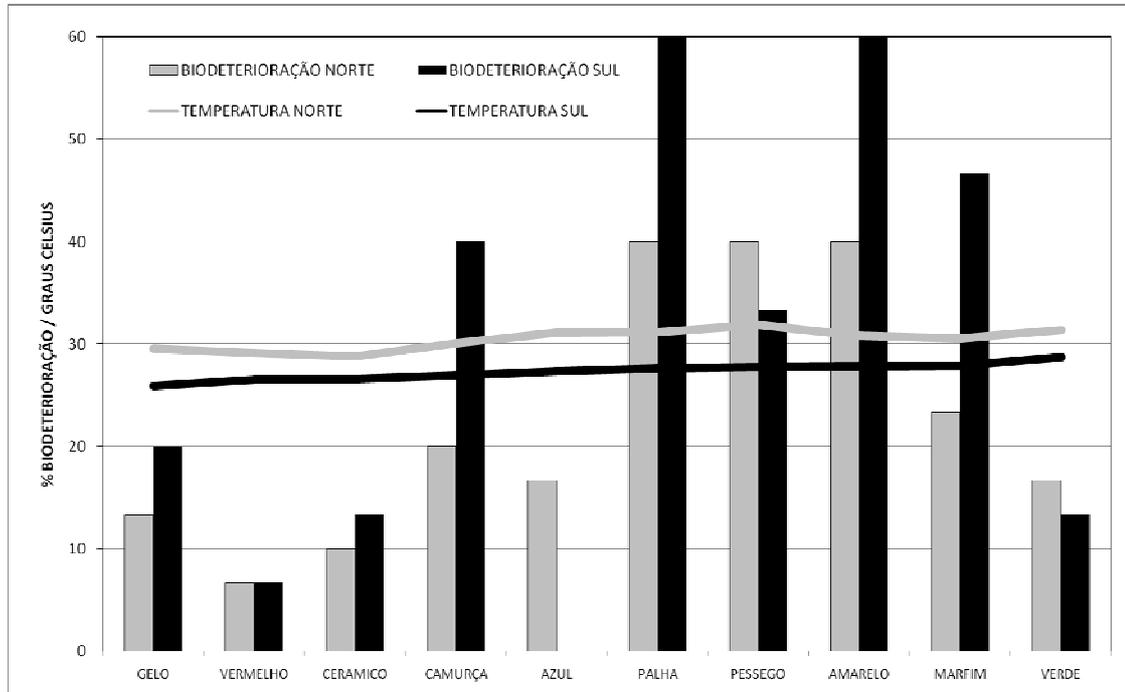


Figura 14: Temperatura versus grau de deterioração

A tabela 8 e a figura 14 apresentam o grau de biodeterioração, convertido numericamente a partir das leituras da tabela 7, associado à temperatura das placas.

Tabela 8: Percentual de biodeterioração e temperaturas da 1ª medição (12 meses)

temperatura °C	direção SUL	grau de biodeterioração	temperatura °C	direção NORTE	grau de biodeterioração
25,95	GELCO	20,00	28,80	CERAMICO	10,00
26,55	VERMELHO	6,67	29,15	VERMELHO	6,67
26,60	CERAMICO	13,33	29,55	GELCO	13,33
26,95	CAMURÇA	40,00	30,10	CAMURÇA	20,00
27,35	AZUL	0,00	30,55	MARFIM	23,33
27,65	PALHA	60,00	30,85	AMARELO	40,00
27,75	PESSEGO	33,33	31,10	AZUL	16,67
27,85	AMARELO	60,00	31,20	PALHA	40,00
27,90	MARFIM	46,67	31,40	VERDE	16,67
28,70	VERDE	13,33	31,90	PESSEGO	40,00

Informações meteorológicas dos anos de 2006, 2007 e 2008 foram coletadas para viabilizar realização de análise do experimento. O mês de início da exposição externa é importante para as taxas de manchamento, mas não afeta o nível final (SPRINGLE, HOLMAN, KENNEDY, 2000).

Chuva diária acumulada, insolação total diária, umidade relativa do ar ao meio-dia, temperatura máxima e mínima do dia e conseqüente variação de temperatura, foram considerados e coletados na estação meteorológica do Ministério de Agricultura do aeroporto de Florianópolis.

Conforme figura 14, percebe-se que ao crescimento de temperatura corresponde também um crescimento da biodeterioração, tanto na direção sul como norte. Esse resultado refere-se aos primeiros 270 dias de exposição

A tabela 9 mostra a medição de biodeterioração das amostras, após dois anos de exposição, segundo a norma inglesa BS 3900/1986 parte G6, que classifica de 0 a 5 o grau de ataque, convertido em cruzes de 20% cada uma. Esta metodologia sendo baseada em avaliação visual subjetiva pode diferir de pessoa para pessoa, mas é de grande aceitação internacional. A avaliação foi feita sempre com as mesmas duas pessoas neste projeto.

Tabela 9: Conversão de medição da biodeterioração pela norma britânica BS 3900/1986 G6

COR	N O R T E								Biodeterioração % Média- 24 meses
	Norma BS 3900 part G6				%				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
CAMURÇA	+++++	+++++	+++++		100	100	100	0	100
VERMELHO	++	++++	++		40	80	40	0	53,33
PALHA	+++++	+++++	+++++		100	80	100	0	93,33
AMARELO	+++++	++++	+++++	(+)	100	80	100	5	93,33
VERDE	++++	+++	++++		80	60	80	0	73,33
GELO	++++	+++	++++		80	60	80	0	73,33
CERAMICO	+++	+++	+++		60	60	60	0	60,00
MARFIM	++	+++++	+++++		40	100	100	0	80,00
AZUL	+	+	(+)		20	20	5	0	15,00
PESSEGO	+++++	+++++	+++++		100	100	100	0	100,00

(+) = 5% , +/- = 10% , + = 20% , ++ = 40% , +++ = 60% , ++++ = 80% , +++++ = 100%

As temperaturas das amostras nas direções norte e sul não guardam relação de proporcionalidade, conforme tabela 8. O grau de biodeterioração apresentou maior amplitude de variação na direção sul com 60% e quase a metade na direção norte com 33%, confirma-se assim a direção sul como a mais susceptível aos ataques, no primeiro ano, chegando a

apresentar uma biodeterioração média 30% superior a norte sob temperatura média 14% inferior.

O histograma da figura 15 mostra haver uma tendência à proporcionalidade da biodeterioração de algumas cores entre sul e norte. As cores azul, pêssego e verde apresentaram menor ataque na direção sul e as demais sete maior ataque do que na norte. A cor azul foi a única que não sofreu ataque de biodeterioração na direção sul, embora tenha sido atacada na direção norte. É possível concluir que as cores gelo, vermelho, cerâmica, camurça, azul e palha apresentaram-se na mesma seqüência crescente de temperatura nas fachadas sul e norte, já as demais cores, amarelo, verde, marfim e pêssego se apresentaram de forma diversa.

O histograma da figura 15 mostra também a tendência de crescimento da temperatura com a biodeterioração observada, no sul e norte. Observou-se que as temperaturas superiores não provocaram menor biodeterioração, embora possam eliminar mais umidade, que é um fator determinante do processo de biodeterioração.

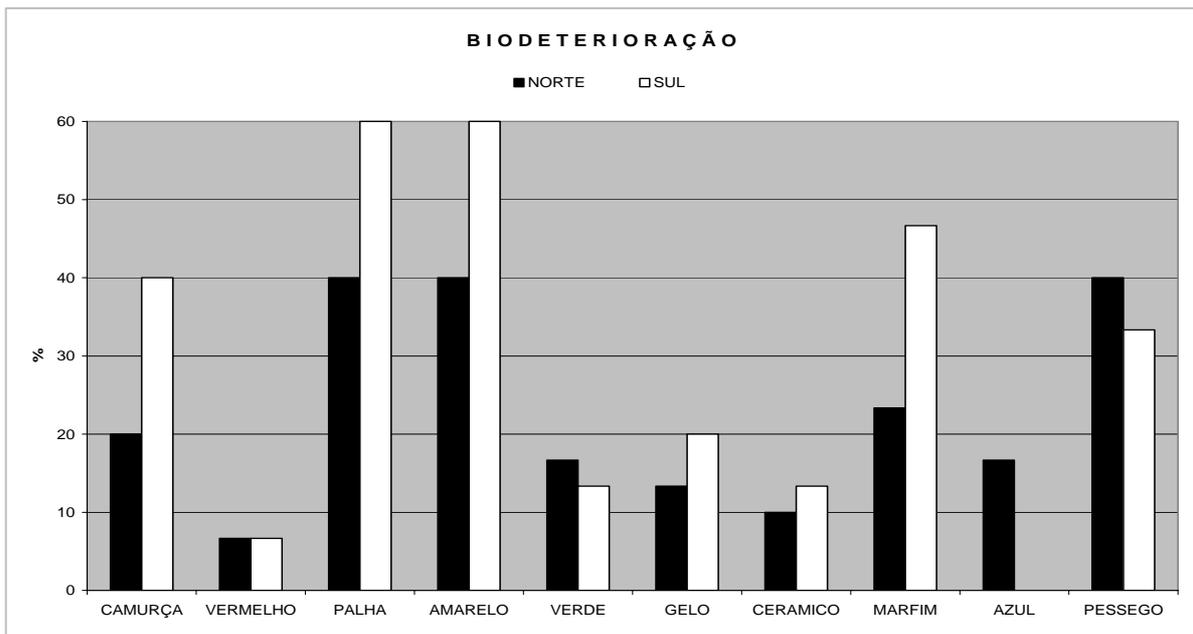


Figura 15: Biodeterioração comparativa das cores entre norte e sul

As dez cores de tinta, expostas por doze meses, são assim classificadas em ordem crescente quanto à resistência média à biodeterioração entre sul e norte: vermelho 7,00%, azul 8,50%, cerâmico 8,50%, verde 15,00%, gelo 16,50%, camurça 30,00%, marfim 35,00%, pêssego 36,50%, palha 50,00% e amarelo 50,00%.

4.2 Composição química

A análise da influência dos componentes inorgânicos dos pigmentos na ação biocida das pastas de pigmentos pré-dispersos, através de um espectrofotômetro fluorescente de raios-X, é apresentada conforme tabela 10.

Tabela 10: Análise química (óxidos totais) das pastas de pigmento *Colanyl Clariant*, (%)

ANALISE QUIMICA DE PIGMENTOS									
Elemento químico	Azul SH BR	Amarelo R BR	Amarelo MG BR	Branco TQ	Preto PQR	Verde 3GLS	Vermelho BBR	Vermelho FGR	Vermelho GG
CuO	68,731	ND	0,116	ND	0,125	4,553	0,029	0,026	0,239
SO ₃	30,101	1,688	1,121	ND	96,556	3,037	ND	2,568	9,782
CaO	0,456	10,326	51,821	ND	0,653	0,024	5,509	0,285	7,120
Fe ₂ O ₃	0,252	82,860	0,722	ND	1,093	0,047	93,954	0,127	1,377
MnO	0,169	ND	0,125	ND	0,129	ND	0,190	ND	ND
Cr ₂ O ₃	0,167	0,056	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CO ₂ O ₃	0,124	ND	ND	ND	0,270	ND	ND	0,032	ND
P ₂ O ₅	ND	4,042	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TiO ₂	ND	1,028	45,766	99,43	0,444	ND	ND	ND	ND
ZnO	ND	ND	0,193	0,357	0,123	ND	0,103	0,040	0,232
K ₂ O	ND	ND	0,136	0,122	0,607	ND	ND	ND	ND
NbO	ND	ND	ND	0,067	ND	ND	ND	ND	ND
NiO	ND	ND	ND	0,024	ND	0,010	ND	ND	ND
Cl-	ND	ND	ND	ND	ND	92,093	0,215	96,922	81,250
Br-	ND	ND	ND	ND	ND	0,236	ND	ND	ND
Total %	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ND não detectado

Dos resultados da análise química semi-quantitativa (tabela 10) pode-se concluir:

- o óxido de ferro foi identificado majoritariamente nas amostras dos pigmentos Amarelo R-BR e Vermelho GG. Esse resultado confirma a característica química principal fornecida pelo fabricante;

- óxido de titânio foi majoritário no pigmento Branco TQ, e compõe também 45,70% da amostra pigmento Amarelo MG-BR que apresenta também 51,00% de óxido de cálcio;

- o sulfato sob forma SO₃ é majoritário para o Preto PRQ e para o Azul SH-BR apresenta 30,00% e compõe com o CuO (68,70%) a fase majoritária do Azul SH-BR;

- Cl foi encontrado em percentagem majoritária no Verde 3GLS, Vermelho GG e Vermelho R-2140E.

O agente biocida CuO representa quase 70% do pigmento azul, comprovando seu baixo ataque. O cloro, presente no pigmento verde em mais de 90%, apresenta poder biocida, termina por conferir boa resistência à biodeterioração na tinta verde.

Os pigmentos apresentaram composição química conforme demonstrado na tabela 10. O pigmento vermelho GG contém mais de 80% de Cloro e contribui para que a cor vermelha apresente bom desempenho à biodeterioração, sendo também a tinta com maior teor de pigmento, conforme figura 16.

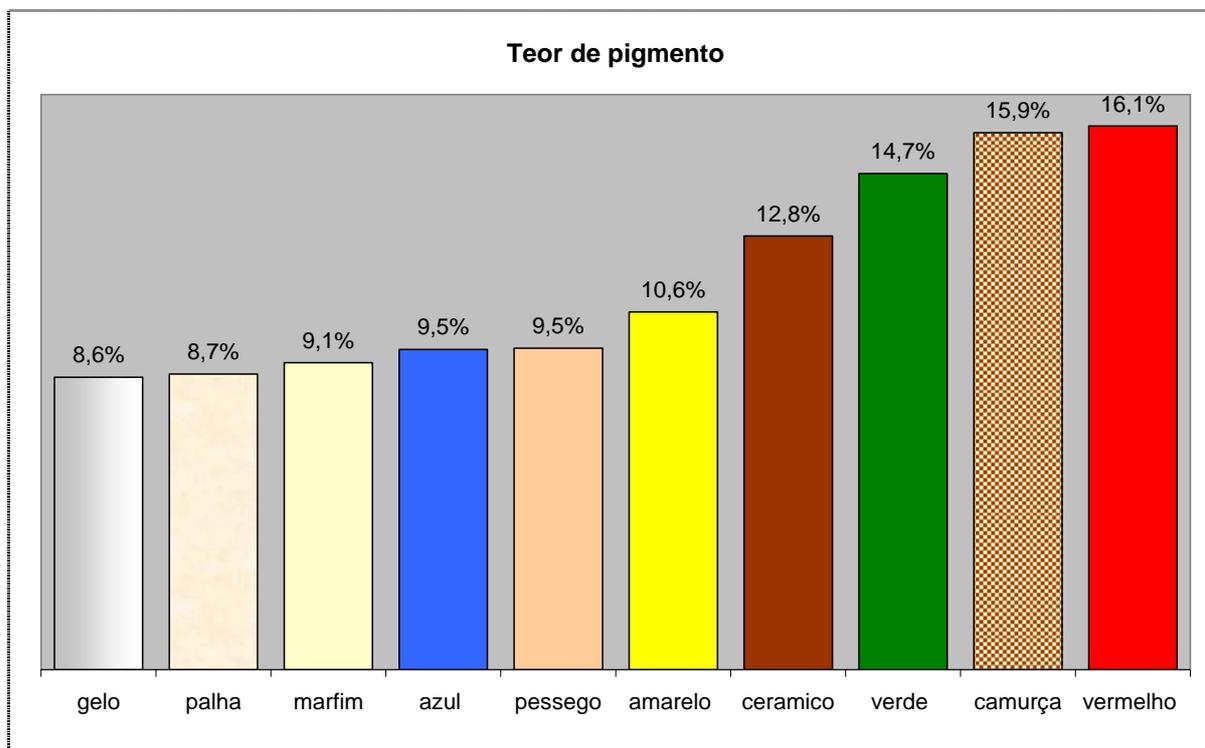


Figura 16: Teor de pigmentos totais em relação a cada tinta estudada

A tabela 11 abaixo apresenta o teor de PVC das amostras estudadas.

Tabela 11: Teor de PVC das amostras estudadas

	azul	marfim	pêssego	cerâmico	gelo	vermelho	verde	amarelo	palha	camurça
vol. resina	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33
vol pig	11,97	17,02	16,91	19,46	11,78	21,25	22,93	17,17	14,53	27,03
PVC (%)	54,00	62,00	62,00	65,00	53,00	67,00	69,00	62,00	58,00	72,00

A composição química das tintas também foi analisada através de espectrofotômetro fluorescente de raios-X, conforme tabela 12 e figura 18. Os componentes majoritários são SiO_2 , CaO , TiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 , conforme delimitado por linha dupla na tabela.

Tabela 12: Composição química das tintas avaliadas por espectrofotometria

	Amarelo	Azul	Gelo	Cerâmico	Marfim	Palha	Verde	Vermelho	Pêssego	Camurça
SiO_2	39,280	38,973	34,840	32,803	22,108	36,263	54,597	33,848	31,754	45,552
CaO	35,232	32,772	35,169	37,082	13,019	35,621	14,623	6,536	37,401	30,456
TiO_2	23,845	27,051	28,845	26,448	6,778	26,339	22,488	8,159	28,526	22,898
Fe_2O_3	1,098	0,492	0,853	2,983	0,257	1,429	8,146	1,015	2,017	1,094
Al_2O_3	N D	N D	N D	N D	57,604	N D	N D	50,442	N D	N D
SO_3	0,311	0,000	N D	0,347	0,141	N D	N D	N D	N D	N D
K_2O	0,139	0,244	0,258	0,227	0,083	0,269	N D	N D	0,275	N D
NiO	0,025	0,024	0,029	0,025	0,005	0,018	0,020	N D	N D	N D
Cr_2O_3	0,023	0,024	0,006	0,025	N D	0,023	0,027	N D	N D	N D
ZnO	0,016	0,012	N D	0,012	N D	0,011	0,021	N D	N D	N D
CuO	0,013	0,377	N D	0,016	0,003	0,010	0,055	N D	N D	N D
MnO	0,012	0,023	N D	0,013	N D	N D	0,023	N D	N D	N D
SrO	0,006	0,008	N D	0,019	0,002	0,017	N D	N D	0,027	N D
Total	100									

ND: não detectado

O teor de pigmentos PVC foi determinante para as 10 tintas formuladas na presente pesquisa. O histograma da figura 17 representa os teores de PVC das tintas estudadas próximo dos limites propostos por BOULON (2004), de 65% a 70%, conforme referenciado no item 2.1.6., visando obter menor biodeterioração. As cores com teores de pigmentos abaixo de 10% não atingiram o limite mínimo de 65% de PVC, como o azul, marfim, pêssego, gelo, amarelo e palha, pois o teor de resina é fixo. A tinta base é sempre a mesma e o teor de pigmentos é variável, resultando então diferentes PVCs.

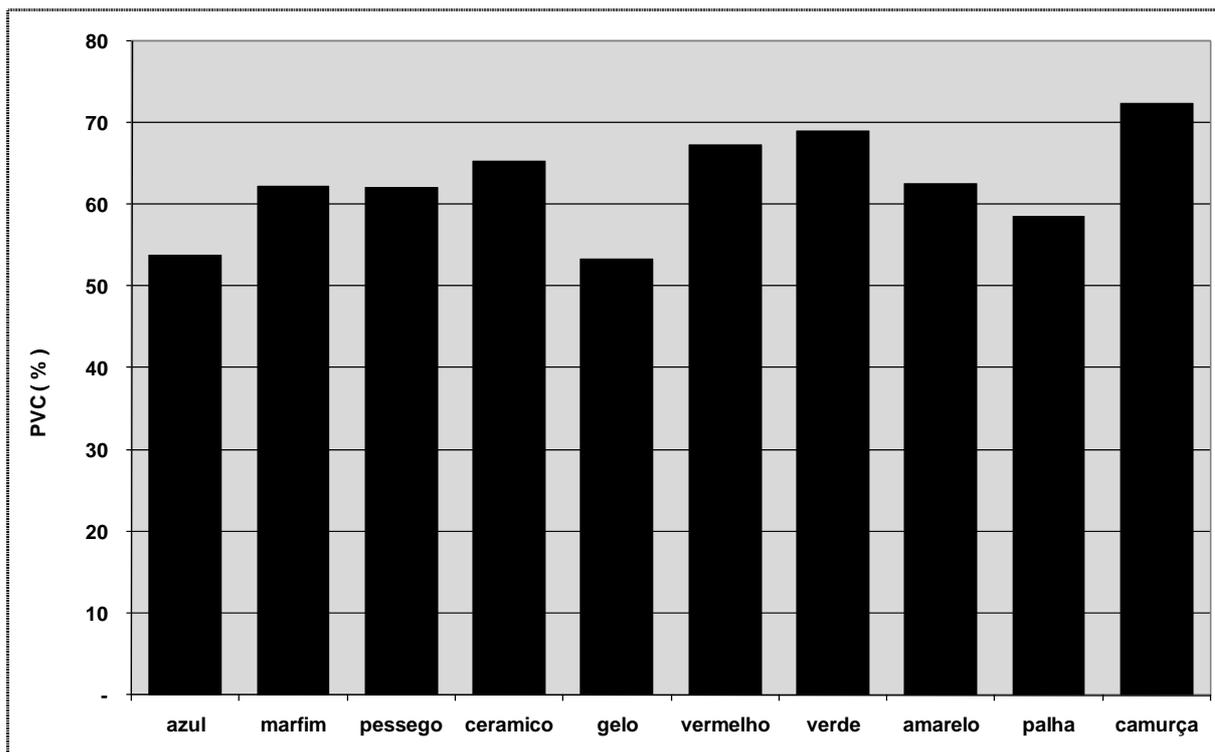


Figura 17 Teores de PVC das tintas ensaiadas

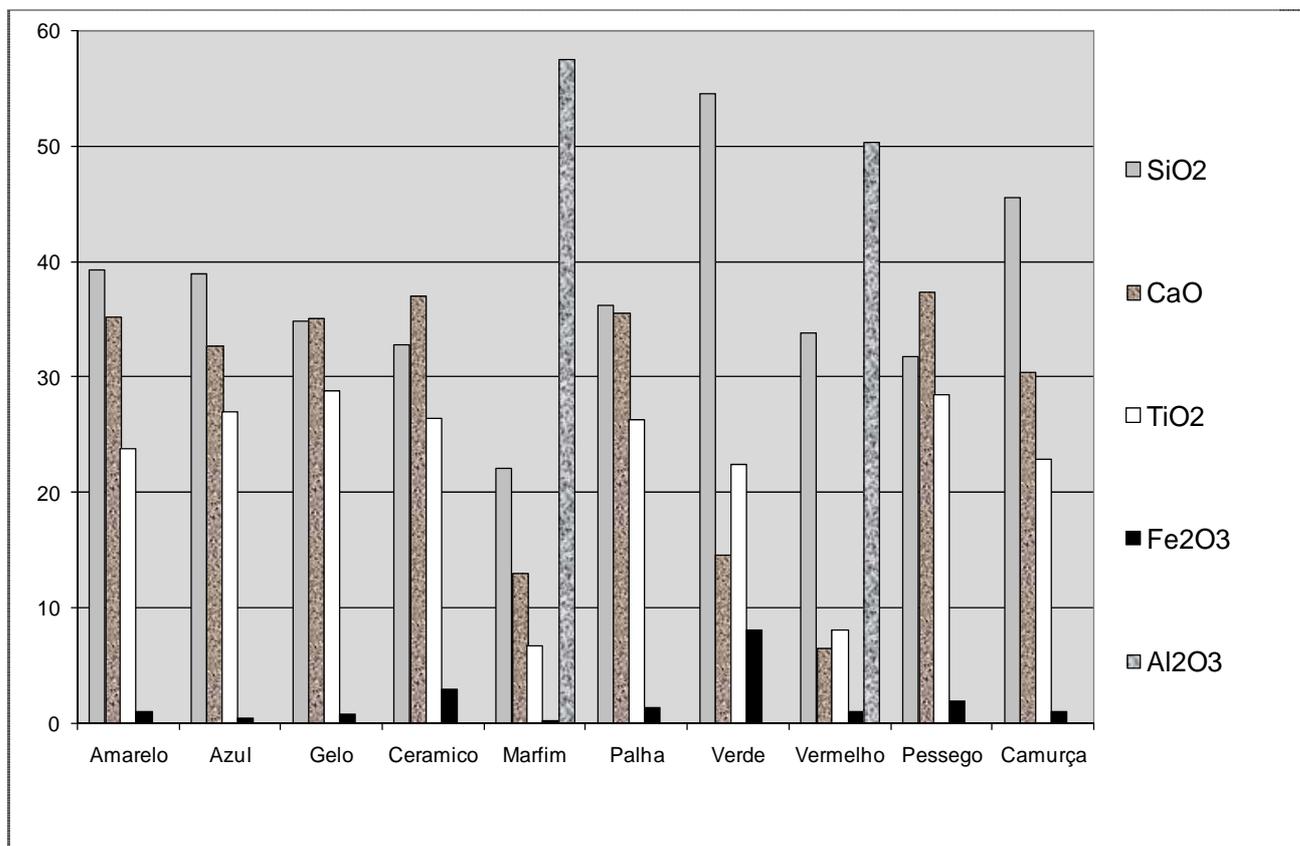


Figura 18: Composição química principal das tintas utilizadas, identificação de óxidos por espectrofometria

A alumina, Al_2O_3 , presente em teores superior a 50% nas cores marfim e vermelho, conforme figura 18, confere forte resistência a ácidos e álcalis, bem como apresenta capacidade antioxidante. Tal capacidade pode ter sido determinante no desempenho do vermelho, como a cor mais resistente a biodeterioração, tendo, no entanto, pouca influencia no fraco desempenho do marfim. A exceção do marfim e do vermelho as demais cores apresentaram pouca variação percentual de seus principais componentes, que representam mais de 90%: SiO_2 , CaO , TiO_2 e Fe_2O_3 . Ou seja, das dez cores de tinta, oito apresentaram composição química principal muito semelhante, havendo diferenciação em relação ao vermelho e ao marfim, únicas cores que apresentaram alumina. Esta similaridade na composição química era esperada, já que apenas os pigmentos são acrescidos à tinta base ocasionando a pequena diferenciação constatada.

O SO_3 , trióxido de enxofre, é capaz de formar ácido sulfúrico em associação com a água de constituição da tinta, embora esteja presente em teores inferior a 0,40 % nas cores amarelo, cerâmico e marfim. Uma vez formado, tal ácido pode dificultar a fixação de microrganismos sobre o filme da tinta, como no caso da cor cerâmico e aparentemente sem influencia sobre o amarelo e marfim, de baixo desempenho. O óxido de potássio, K_2O , de poder nutriente para organismos vivos, não está presente nas cores vermelho, verde e camurça, de bom desempenho a biodeterioração. Nas demais cores, o K_2O pode ter contribuído para maior biodeterioração como fonte de mineral, em teores inferiores a 0,30 %. O óxido de níquel, NiO , identificado em baixíssimos teores nas cores vermelho, pêssego e camurça, inferiores a 0,03%, não apresenta toxicidade.

Como metal pesado o Cr_2O_3 , óxido crômico, está presente nos pigmentos azul e amarelo R BR, em teores inferiores a 0,03% e ausente nas cores marfim, vermelho, pêssego e camurça, sem aparente influencia na biodeterioração. O óxido de manganês, MnO , muito freqüente em argilas, apresenta-se em teores inferiores a 0,03 % e sem identificação nas cores branco gelo, marfim, palha, vermelho, pêssego e camurça. O óxido de estrôncio, SrO , oriundo da argila se apresenta em baixos teores, inferior a 0,02 %, sem ter sido detectado nos pigmentos.

Já o PVC quanto menor for menor será o teor de resina, para o mesmo teor de pigmento. A resina é o principal agente hidrorrepelente que dificulta a permanência da umidade sobre o filme de tinta seco. Os mais baixos teores de PVC são das tintas gelo 53%, azul 54% e palha 58%. Somente no caso da cor azul é possível admitir que o seu PVC tenha influenciado no baixo grau de biodeterioração alcançado, já no caso da palha e gelo não há

influencia direta, pois foram as amostras de maior biodeterioração. Indicando que outros fatores foram mais importantes.

O poder biocida dos óxidos de cobre e zinco, cujos teores estão demonstrados na figura 19 pode ter sido responsável pelo bom desempenho de resistência à biodeterioração da cor azul, (TURNER 1967). Assim como também pode ter ocorrido com o cerâmico e verde. Já o amarelo, de teor próximo ao cerâmico, não é possível associar poder biocida, pois é a cor mais atacada, na análise deste primeiro período, mantendo forte biodeterioração até o fim da exposição.

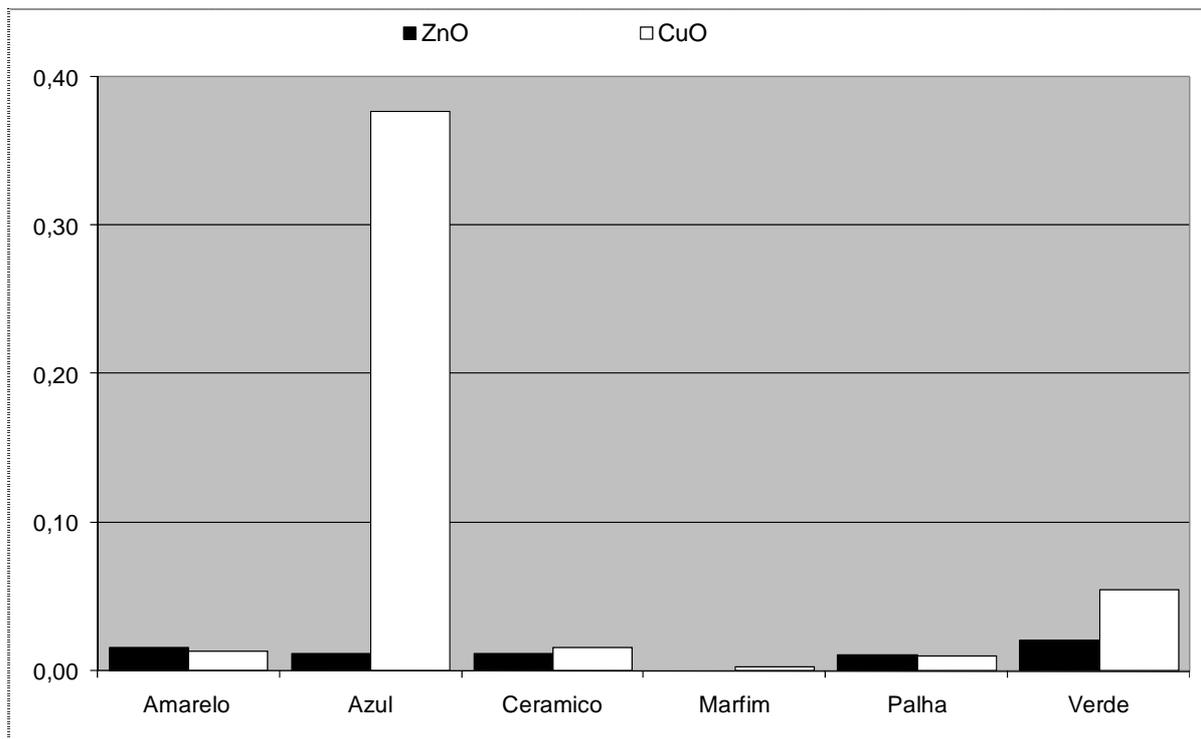


Figura 19: Teores %, em massa, de CuO e ZnO nas amostras de tinta

4.3 Análise das superfícies biodeterioradas

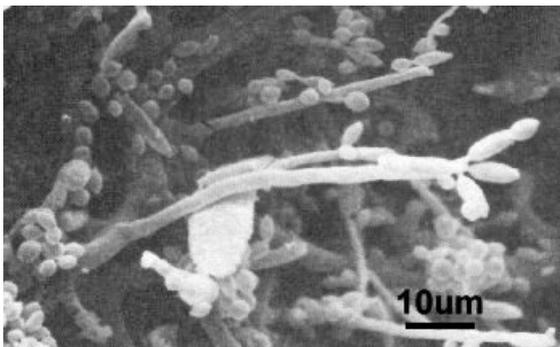
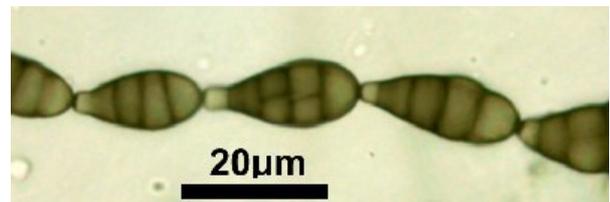
Após cerca de vinte meses de exposição foi realizada uma análise microscópica sobre o filme de tinta biodeteriorada nas dez diferentes amostras expostas ao sul.

As micrografias obtidas permitiram a identificação dos microrganismos relatados na tabela 13. Também foi medida a biodeterioração em conformidade com a norma inglesa BS 3900/1986, parte G6, apresentando resultados conforme tabela 14, e figuras de 20 a 29.

Tabela 13: Identificação dos agentes de biodeterioração após 20 meses

Cor	Identificação no microscópio
Camurça	fungos, esporos fúngicos, bactérias e poucas cianobactérias esféricas
Vermelho	fungos, incluindo dematiaceas ³ , esporos fúngicos e bactérias;
Palha	fungos, incluindo <i>Fusarium</i> , esporos fúngicos, bactérias, poucas cianobactérias esféricas marrons e alguns actinomicetos ⁴ ;
Amarelo	fungos, esporos fúngicos, bactérias, algumas cianobactérias esféricas marrons;
Verde	fungos, esporos fúngicos, bactérias, e uma alga verde esférica;
Gelo	fungos, incluindo dematiaceas, esporos fúngicos, muitas bactérias e poucas cianobactérias esféricas, incluindo <i>Gloeocapsa</i> ;
Cerâmico	poucos fungos e esporos;
Marfim	fungos, incluindo dematiaceas, esporos fúngicos, muitas bactérias, poucas cianobactérias esféricas, um grupo de algas verdes esféricas e talvez actinomicetos;
Azul	poucos fungos
Pêssego	poucos fungos, incluindo dematiaceas, muitos esporos fúngicos, bactérias, muitas cianobactérias esféricas, incluindo <i>Gloeocapsa</i> , verde, vermelho, marrom, <i>Synechocystis</i> verde, marrom e azul escuro, cianobactérias filamentosas marrons do gênero <i>Scytonema</i> .

A seguir são apresentadas imagens, figuras 20 a 29, como ilustração, de alguns dos microrganismos identificados nas amostras estudadas.

Figura 20: Fungo *Cladosporium*Figura 21: Esporos do fungo *Alternaria*

³ dematiaceas são fungos filamentosos escuros, geralmente marrons

⁴ actinomicetos são bactérias filamentosas, mais finas do que fungos

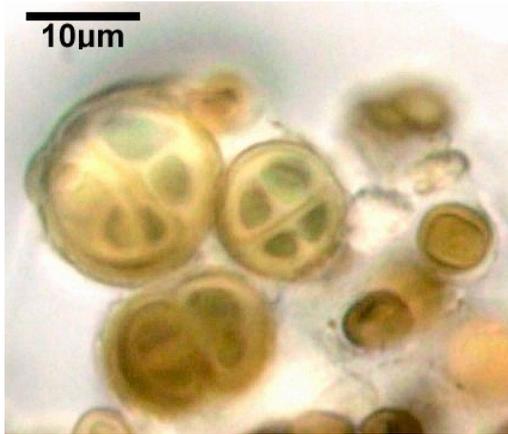


Figura 22: Cianobactérias *Gloeocapsa*



Figura 23: Cianobactérias *scytonema*

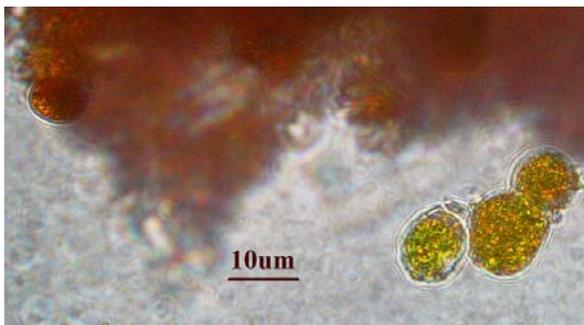


Figura 24: Algas *Trentepohlia*



Figura 25: Bactérias gram positiva *Actinomiceto*

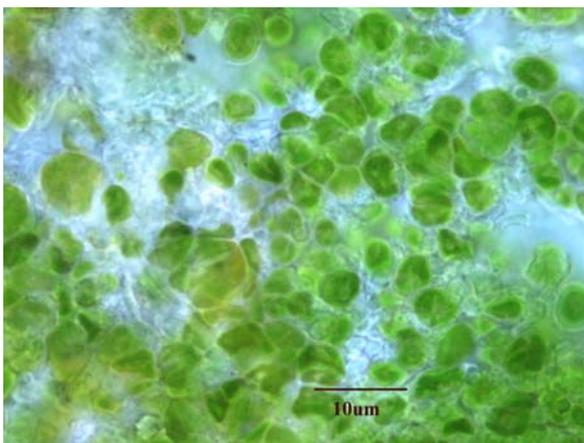


Figura 26: Algas *Cocóides*

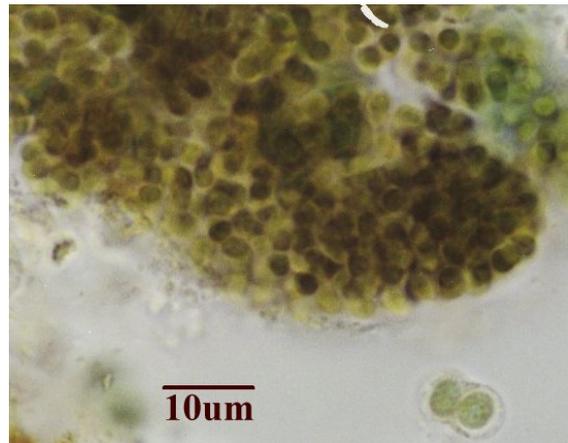


Figura 27: Cianobactérias *Cocóides*

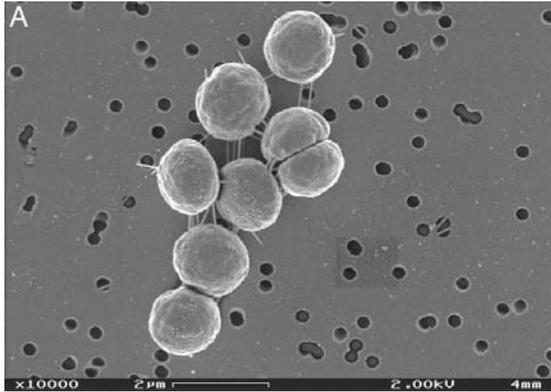


Figura 28: Cianobacteria *Synechocystis*

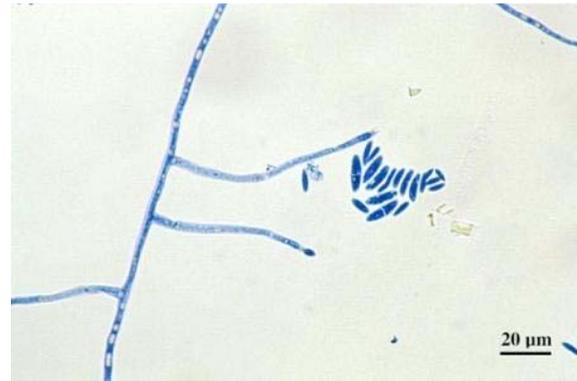


Figura 29: Fungo *Fusarium*

Na figura 30 é apresentada uma imagem obtida por microscopia de força atômica. A técnica empregada revelou-se inapropriada para utilização nesta pesquisa, uma vez que a rugosidade do substrato impede a realização de qualquer outra análise visual. Em função desta deficiência não foram avaliadas outras amostras por esta sistemática.

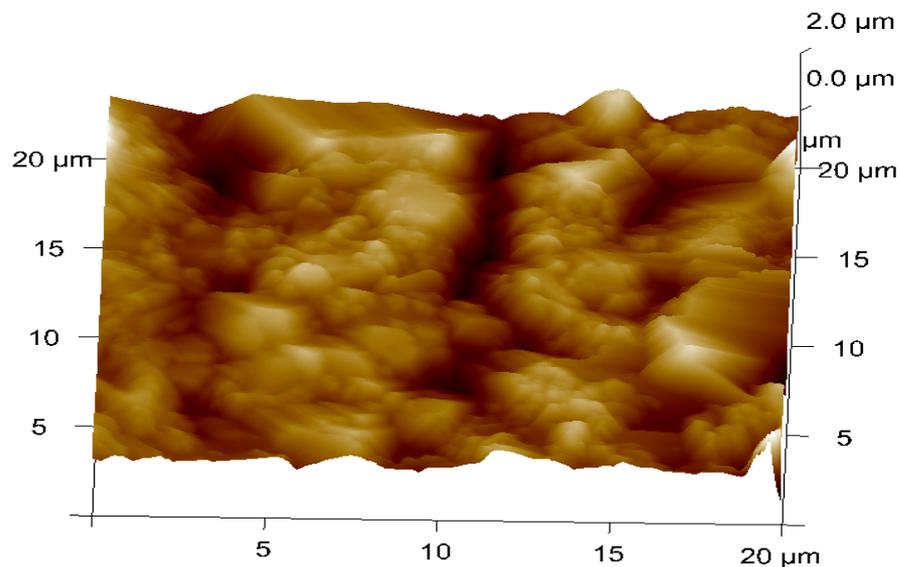


Figura 30: Imagem da rugosidade superficial do filme de tinta camuça obtida por microscopia de força atômica

A figura 31 ilustra o desenvolvimento de fungos sobre amostra da cor gelo.

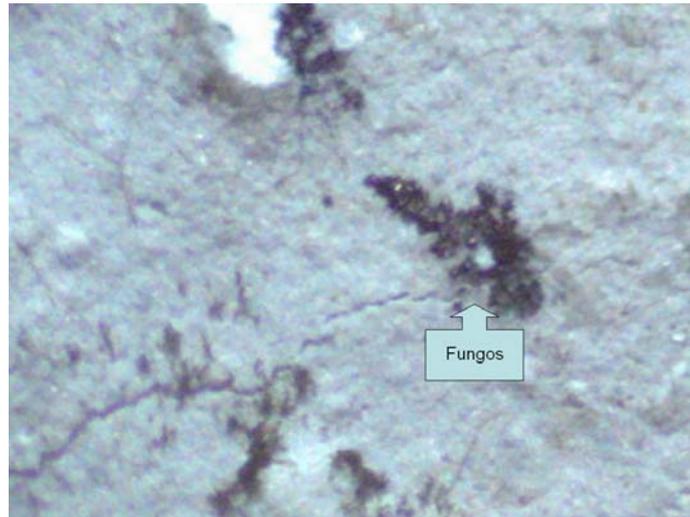


Figura 31: Fotografia de microscopia metalúrgica de amostra da cor gelo ampliada 200 vezes, com destaque para colônias de fungos, após 20 meses de exposição.

As figuras 32 a 37 mostram as superfícies pintadas após 20 meses de exposição. A figura 32 apresenta hifas de fungos que crescem e se desenvolvem sobre a superfície da amostra gelo comprovando biodeterioração intensa. A figura 33 apresenta contaminação fúngica na amostra pêssego. A figura 34 apresenta também muitas hifas de fungos numa área da amostra cerâmico. A figura 35 apresenta início de colonização fúngica, por esporos, em amostra marfim. A figura 36 apresenta amostra vermelho contaminada por fungos e bactérias, conforme sinalização, além de mostrar furo no filme de tinta feito por hifa. Este furo degrada de forma irreversível o filme. A figura 37 apresenta contaminação fúngica da amostra camurça.

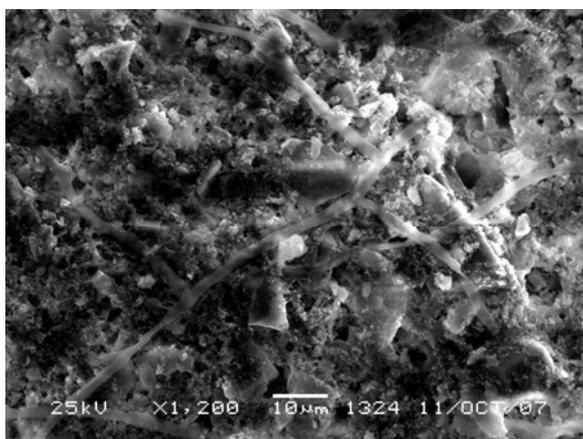


Figura 32: Fotografia MEV amostra gelo.

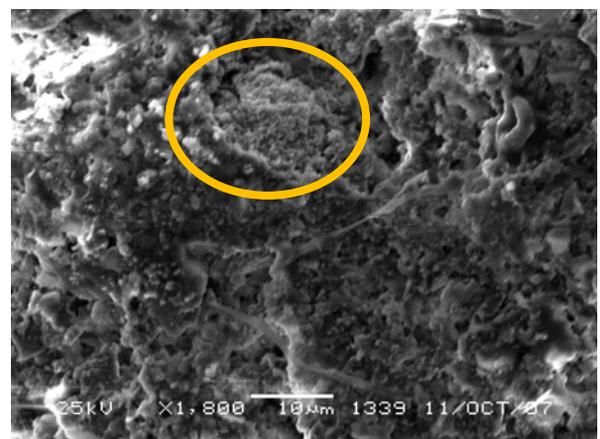


Figura 33: Fotografia MEV amostra pêssego, com destaque para cianobactéria esférica, assinalada.

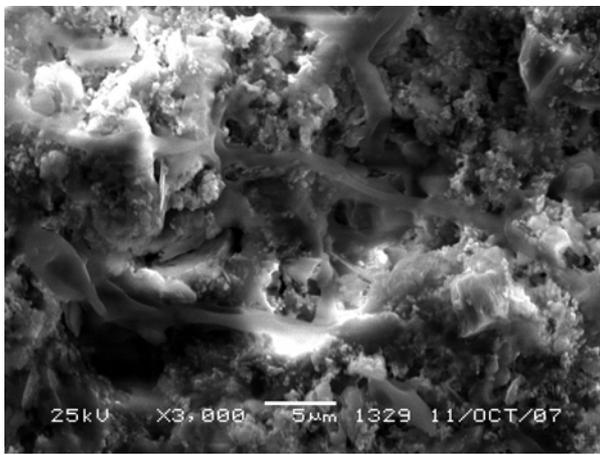


Figura 34: Fotografia MEV da amostra cerâmico.

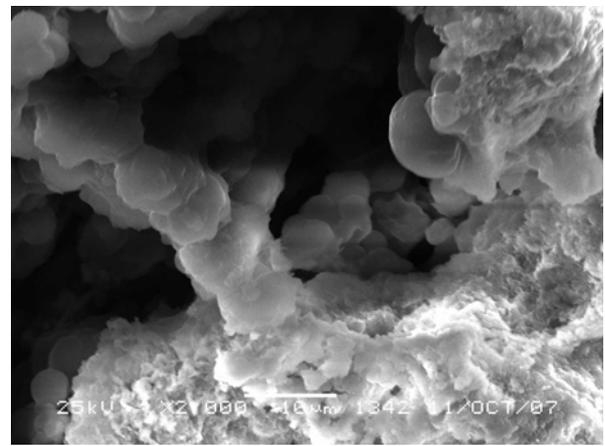


Figura 35: Fotografia MEV da amostra marfim.

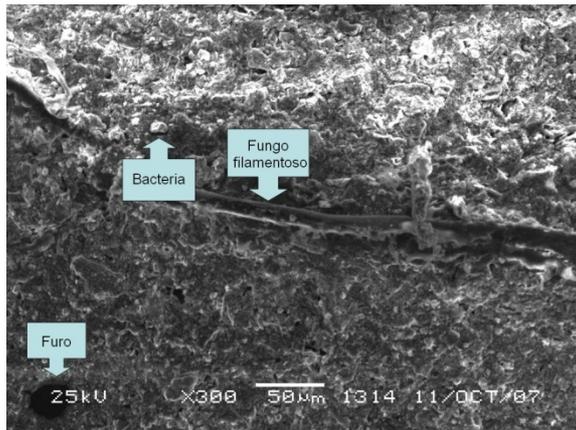


Figura 36: Fotografia MEV da amostra vermelho: fungos dematiaceas, esporos fungicos e bactérias.

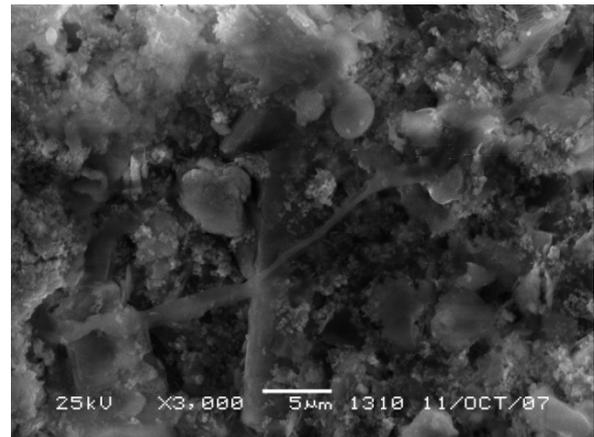


Figura 37: Fotografia MEV da amostra camurça.

4.4 Análise meteorológica

Durante o período de 34 meses de realização do experimento foram coletados, junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os dados meteorológicos: quantidade de chuva, variação de temperatura e insolação, determinados pela estação de Florianópolis. Conforme apresentado no gráfico da figura 38 as temperaturas máximas mantiveram-se entre 25 e 35 °C e as mínimas entre 3 e 23 °C, sem um padrão anual repetido.

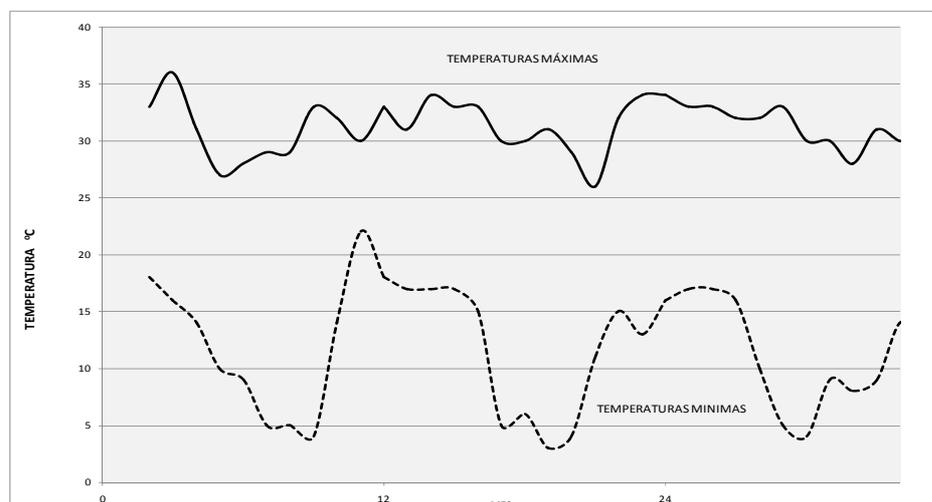


Figura 38: Demonstrativo da variação extrema mínima e máxima de temperaturas registradas no período do experimento – de fevereiro de 2006 até dezembro de 2008.

Durante o período de exposição das amostras a variação de temperaturas, entre mínimas e máximas, foi de 15 °C a 30 °C, conforme figura 39.

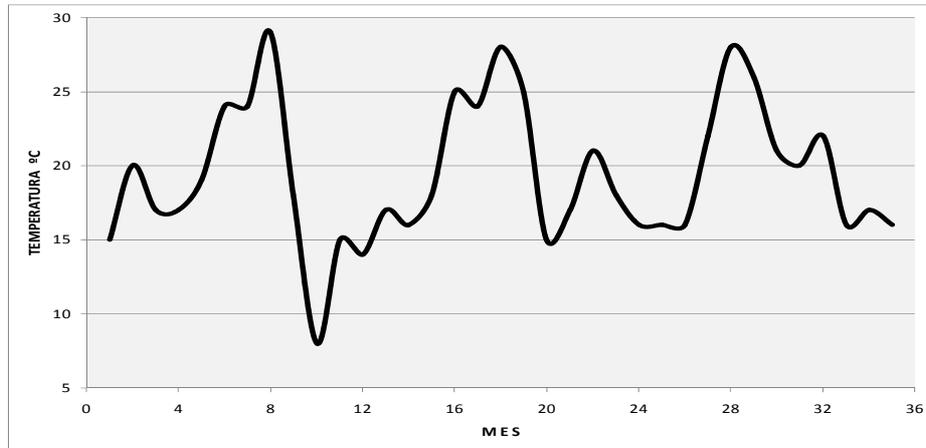


Figura 39: Variação da diferença de temperatura entre máxima e mínima mensal.

Durante o período de exposição as amostras receberam a mesma quantidade média de 2.000 horas/ano de sol em 2006, 2007 e 2008, mas sob grande variação mensal, conforme demonstrado pelo gráfico da figura 40.

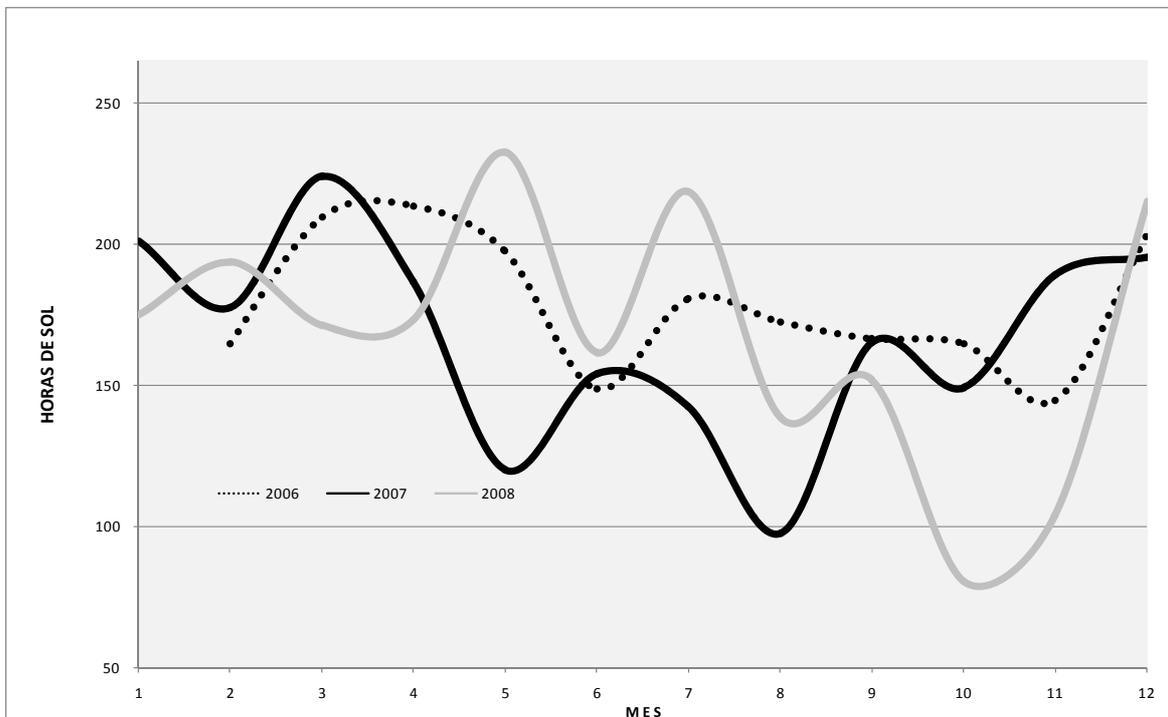


Figura 40: Demonstrativo de horas mensais de sol.

O regime de chuvas ocorrido no período de exposição das amostras está demonstrado na figura 26. No ano de 2006 as chuvas mantiveram-se dentro do limite mensal

de 100 mm com apenas um pico de mais de 200 mm em novembro. Em 2007 a amplitude de chuvas alcançou 200 mm. Em 2008 chegou a 600 mm, ocasionando inundações em novembro. O total de chuvas anual evoluiu de 916 mm em 2006, para 1.425mm em 2007 e para 2.910mm em 2008, crescendo 55% de 2006 a 2007 e crescendo 104% de 2007 a 2008. O crescimento acumulado de chuvas no período foi de 217%. A evolução anual da quantidade de chuva registrada no período provocou um acúmulo crescente ao longo dos anos contribuindo significativamente para aumentar a umidade nas amostras, que é um dos principais fatores determinantes da biodeterioração, conforme gráfico da figura 41.

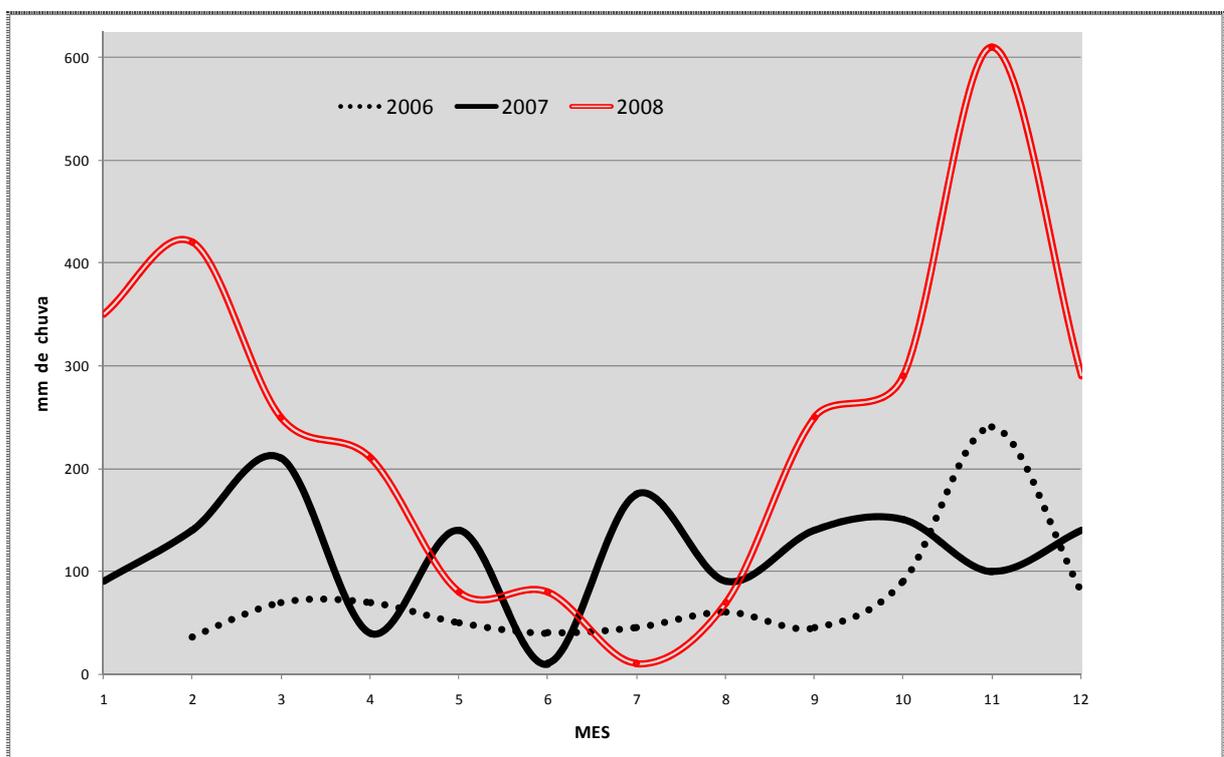


Figura 41: Demonstrativo do regime de chuvas anuais no período de exposição.

4.5 Avaliação da biodeterioração

A figura 42 demonstra o somatório dos teores de biodeterioração de todas as amostras aferidos no final de 12, 20 e 34 meses. O ataque de biodeterioração evoluiu até um somatório de 300% para todas as amostras nos primeiros 12 meses, chegando a 650 aos 20 meses e estabilizado acima de 700 aos 34 meses.

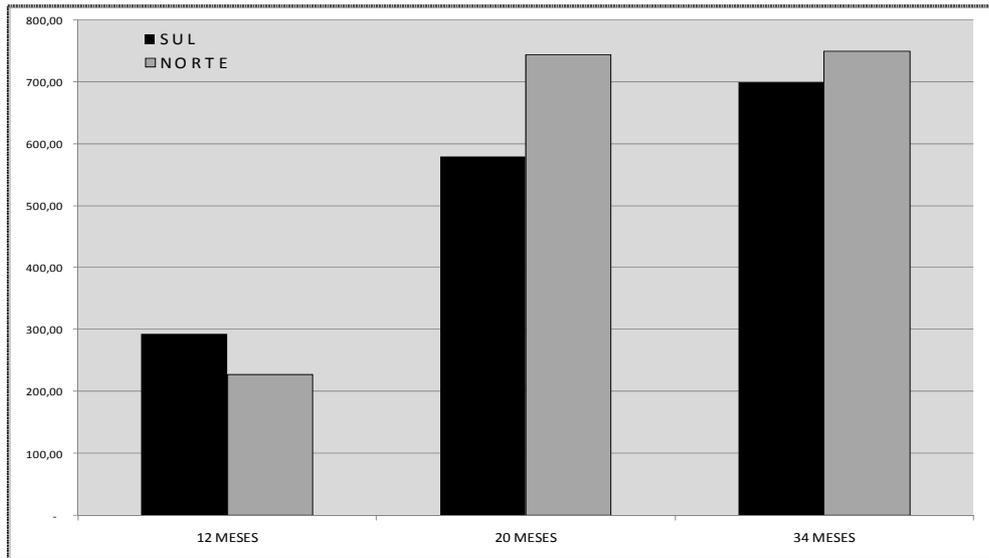


Figura 42: Somatório dos teores % de biodeterioração no período.

A figura 43 indica que sempre ocorreu maior biodeterioração na orientação norte do que na sul ao longo da realização do experimento. Indica que os primeiros indícios de biodeterioração começaram a ser registrados a partir do 9º mês de exposição. Mostra também que o crescimento do ataque tende a uma estabilização maior ao norte do que ao sul, após os 20 meses, alcançando valores mais próximos, diferindo em apenas 7% aos 34 meses. Em longo prazo há uma tendência a convergência da biodeterioração nas direções sul e norte, significando aproximação de valores.

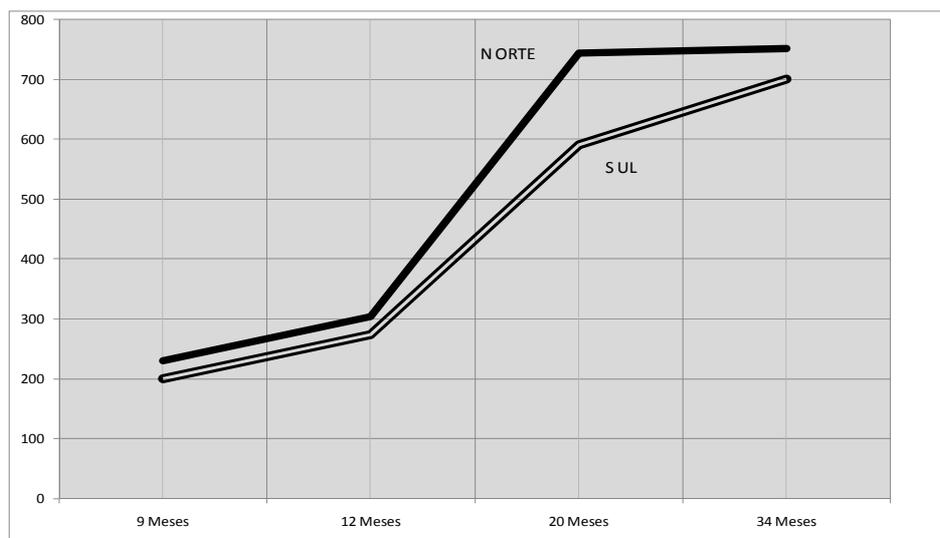


Figura 43: Evolução dos teores Σ % de biodeterioração no período.

A figura 44 representa a medição percentual de biodeterioração na direção sul nas três leituras realizadas.

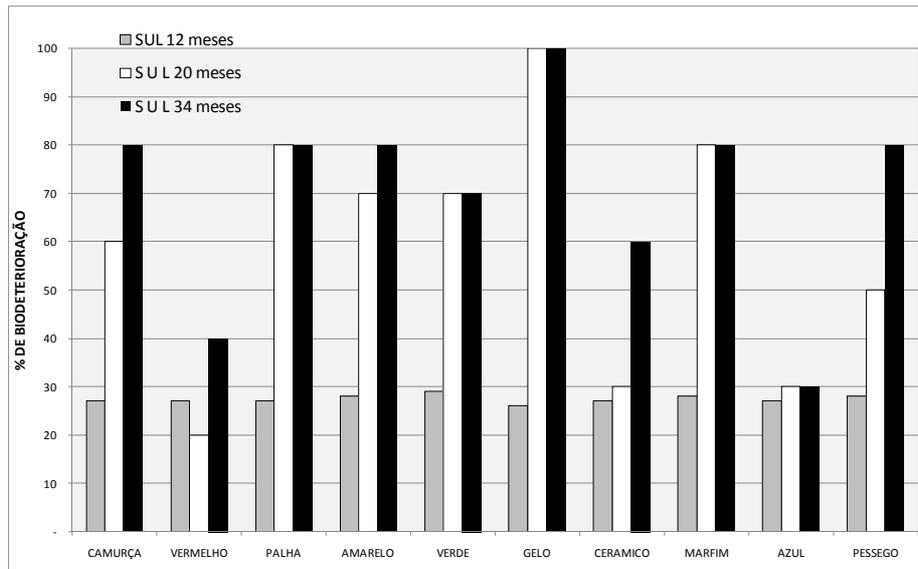


Figura 44: Registro de três aferições percentuais de biodeterioração na direção SUL.

Aos 12 meses a biodeterioração foi homogênea em torno de 27%. Aos 20 meses a biodeterioração diversificou-se e a 34 meses ainda cresceu.

A tabela 14 apresenta o teor percentual de biodeterioração nas duas direções referente às três leituras realizadas.

Tabela 14: Teor percentual de biodeterioração

CORES	S U L			N O R T E		
	12 MESES	20 MESES	34 MESES	12 MESES	20 MESES	34 MESES
CAMURÇA	40,00	60,00	80,00	20,00	100,00	100,00
VERMELHO	7,00	20,00	40,00	7,00	53,00	53,00
PALHA	60,00	80,00	80,00	40,00	93,00	100,00
AMARELO	60,00	70,00	80,00	40,00	93,00	93,00
VERDE	13,00	70,00	70,00	17,00	73,00	73,00
GELO	20,00	100,00	100,00	13,00	73,00	73,00
CERAMICO	13,00	30,00	60,00	10,00	60,00	60,00
MARFIM	47,00	80,00	80,00	23,00	80,00	80,00
AZUL	-	20,00	30,00	17,00	18,00	17,00
PESSEGO	33,00	50,00	80,00	40,00	100,00	100,00

Conforme apresentado na figura 46, após os 34 meses de exposição, o ordenamento das cores, partindo do menor ataque para o maior foi o seguinte: azul, vermelho, cerâmico, verde, marfim, amarelo, palha, gelo, camurça e pêssego.

A figura 45 representa a medição percentual de biodeterioração na direção norte nas três leituras realizadas, evidenciando um ataque homogêneo de 30% aos 12 meses, aos 20 meses houve grande diferenciação, conformada aos 34 meses.

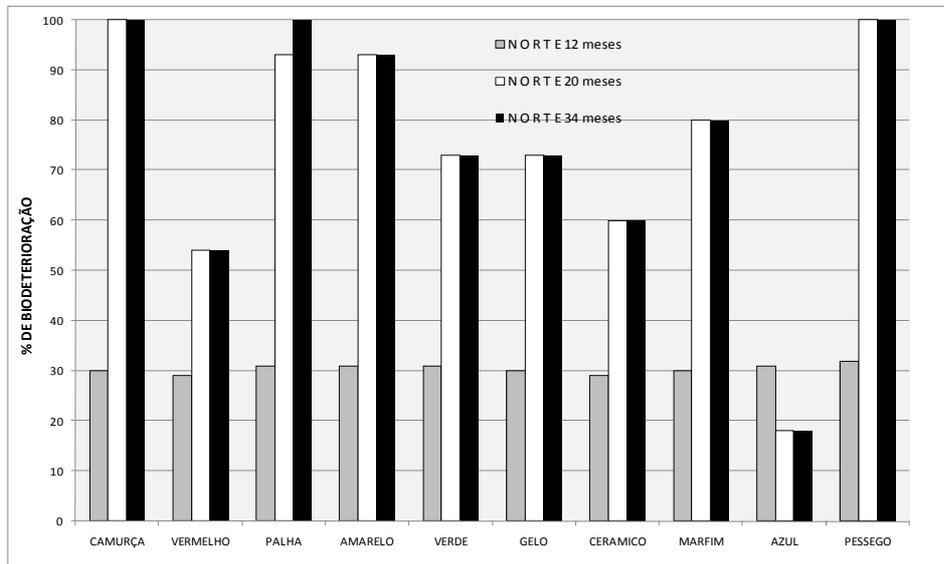


Figura 45: Registro de três aferições percentuais de biodeterioração na direção NORTE

A figura 46 representa a biodeterioração média entre as duas orientações, sul e norte, de forma relativa ao menor ataque havido, que foi sobre a cor azul, que representa o fator unitário. Percebe-se que o amarelo, gelo, camurça, palha e pêssego alcançaram um ataque superior em mais 3,5 vezes do que o azul. O vermelho apresentou o dobro do ataque sofrido pelo azul, o cerâmico 2,5 vezes, o verde e o marfim mais de 3 vezes. Não há trabalho anterior sobre a biodeterioração das tintas látex analisando seu desempenho diferenciado em função das cores.

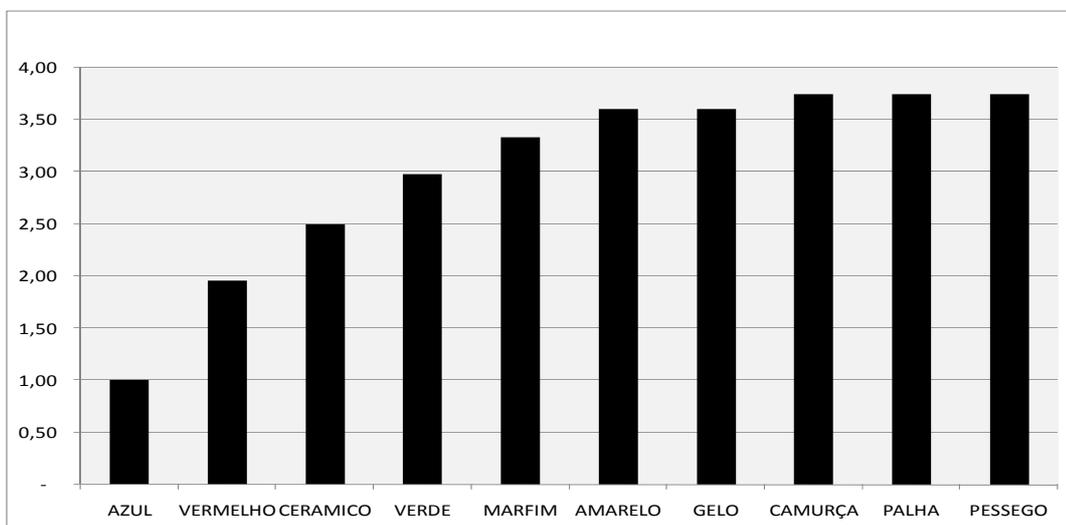


Figura 46: Demonstrativo do teor relativo de biodeterioração médio das cores

A figura 47 representa o percentual de biodeterioração das amostras nas duas direções estudadas.

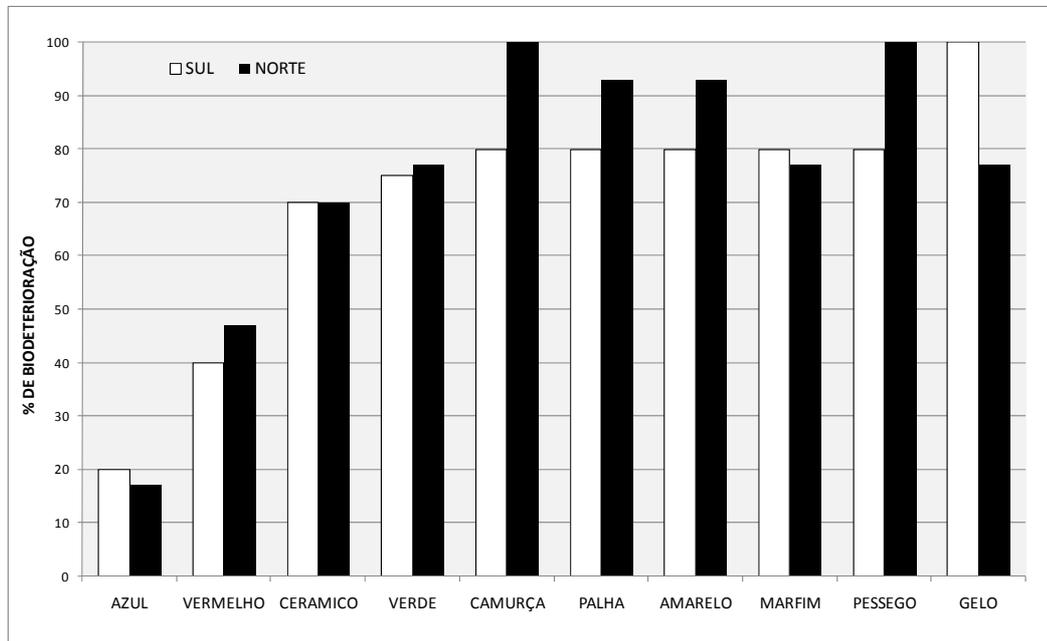


Figura 47: Percentual de biodeterioração após 34 meses de exposição.

As amostras de cor verde e azul foram as únicas que não se contaminaram por algas. A camurça foi contaminada na direção norte e nada apresentou na direção sul.

Quanto à exposição de amostras das dez cores de tinta realizadas em placa de Petri, figuras 48 e 49, por três meses, obteve-se: a) as tintas azul, verde, vermelha, amarela e gelo apresentaram “sangramento” sobre o meio de cultura, perdendo constituintes de forma radial. Na cor azul este sangramento criou um aparente alo de proteção sem proliferação de microrganismos, conforme figura 50 e 51; b) a cor camurça não foi capaz de impedir proliferação de microrganismos, conforme figuras 52 e 53, já a pêssego parece haver conseguido. Ressalte-se que este ensaio complementar tem por objetivo identificar o possível poder inibidor das tintas em relação à biodeterioração. Pode-se concluir que as tintas de cor amarela e camurça foram as únicas incapazes de impedir a proliferação dos microrganismos, as demais cores apresentaram alguma capacidade de impedir o crescimento.



Figura 48: Placa de Petri com tinta - início da exposição.



Figura 49: Dez meses após: tintas em placa de Petri.



Figura 50: Aproximação da tinta azul da figura 45.

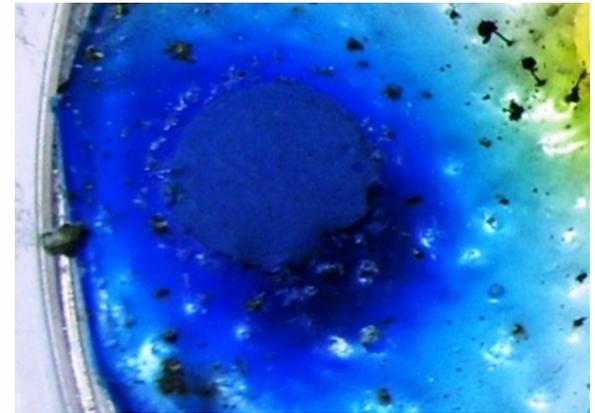


Figura 51: Aproximação da tinta azul da figura 46.

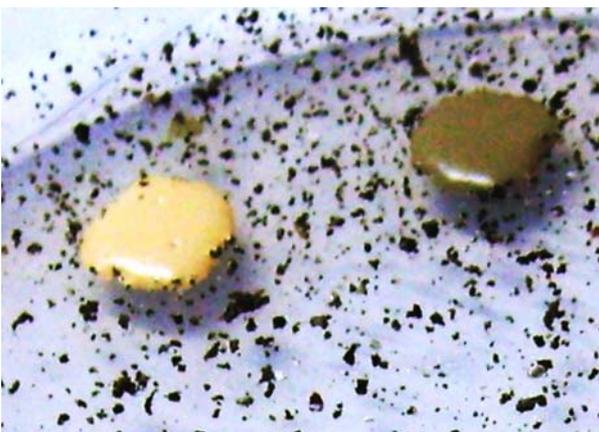


Figura 52: Tintas pêssego e camurça em início de exposição.



Figura 53: Tintas pêssego e camurça em final de exposição

5 CONCLUSÕES

De acordo com o que foi relatado detalhadamente no decorrer da presente pesquisa, foram expostas às intempéries 8 amostras de cada uma das 10 cores de tinta látex, 4 exemplares ao sul e quatro exemplares ao norte, sendo que os resultados foram avaliados de forma comparativa, em três períodos: 12, 20 e 34 meses.

Em apenas um ano de exposição, já foi possível classificar as cores em ordem de biodeterioração crescente: vermelho, azul, cerâmico, verde, gelo, camurça, marfim, pêssego, palha e amarelo. A análise da composição química dos pigmentos revelou a presença de elementos biocidas, nas cores escuras, como CuO no azul e verde, ZnO no branco e Cloro no vermelho que podem ter influenciado na capacidade de resistência à biodeterioração das cores.

As diferenças de temperatura, da mesma cor, medidas na superfície das amostras entre o sul e norte apresentaram crescimento acompanhado pelo crescimento da diferença de biodeterioração.

Em função da segunda medição, foi possível concluir que as cores palha e amarelo apresentaram pior desempenho e o vermelho, azul e cerâmico apresentaram melhor desempenho, sem diferir muito da 1ª medição realizada a 12 meses do início da exposição.

Contrariando uma expectativa inicial, as amostras de orientação norte apresentaram maior ataque do que as orientadas para o sul, acentuando diferença já verificada na medição de 12 meses, embora em 34 meses essa diferença tenha-se reduzido a 7%, com aparente tendência de redução.

Um conjunto, formado por uma placa de amostra de cada uma das dez cores expostas na direção sul, com 20 meses de exposição, foi enviado à Inglaterra para análise por microscopia eletrônica de varredura, resultando na identificação qualitativa dos agentes microbiológicos causadores da biodeterioração.

As amostras de cor verde e azul foram as únicas que não se contaminaram por algas. A cor camurça só não foi contaminada na direção sul. Na direção norte as cores gelo e cerâmico permaneceram sem ataque, sendo que as demais foram afetadas.

Com isso, é possível concluir que o pigmento constitui-se no único determinante da capacidade das tintas resistirem de forma diferenciada à biodeterioração, pois o ataque foi diferente conforme a cor. As amostras com algicidas e fungicidas apresentaram reduzido ataque, a partir do 20º até o 34º mês de exposição. Os diferentes pigmentos são

determinantes da biodeterioração diferenciada, quer por suas características químicas, quer pela ação específica dos contaminantes.

A cor azul, sendo de baixo PVC, apresenta teor elevado de resina em relação aos pigmentos. Assim, os pigmentos são envolvidos por uma maior quantidade relativa de resina, ocasionando maior hidrorrepelência superficial. Por conseqüência, a superfície da amostra azul reteve menos água, o que pode ter contribuído para ocasionar menor biodeterioração.

Já a cor gelo, de PVC equivalente à cor azul, não foi beneficiada pela maior hidrorrepelência, pois não apresentou boa resistência à biodeterioração. Portanto, a redução do PVC não implica necessariamente maior resistência a biodeterioração

Não houve diferença significativa no ordenamento crescente de biodeterioração entre as orientações sul e norte, ou seja, o ataque às cores apresentou-se praticamente na mesma seqüência, a exceção do gelo.

Na direção norte, as amostras apresentaram o seguinte ordenamento crescente de resistência a biodeterioração, após 34 meses de exposição: azul, vermelho, cerâmico, gelo, verde, marfim, amarelo, pêssego, palha e camurça.

Na direção sul, as amostras apresentaram o seguinte ordenamento crescente de resistência a biodeterioração, após 34 meses de exposição: azul, vermelho, cerâmico, verde, marfim, amarelo, pêssego, palha, camurça e gelo.

As crescentes quantidades anuais de chuva, que duplicaram no período, foram determinantes no fornecimento de umidade para acelerar o processo de biodeterioração. A variação de temperatura no período de exposição foi de 15° C a 30° C, entre máxima e mínima, o que também favoreceu o processo de biodeterioração.

A influência dos pigmentos das tintas látex como determinante da biodeterioração diferenciada restou comprovada. A partir deste estudo torna-se possível escolher as cores de tinta visando minimizar o impacto da biodeterioração, o que proporciona um aumento da vida útil das pinturas, espaçando mais as repinturas de manutenção.

Ao que tudo indica, essa dissertação se constitui na primeira pesquisa sobre a influência de pigmentos em tintas látex de uso externo em fachadas do hemisfério sul, abrindo amplas perspectivas para o desenvolvimento do conhecimento sobre o assunto.

Assim, pesquisas futuras poderão estudar a redução do teor de biocidas nas tintas em função do desempenho diferenciado das cores, contribuindo para aliviar a contaminação ambiental provocada pela lixiviação desses agentes tóxicos.

Outras cores ainda poderiam ser pesquisadas, visando identificar tintas que possam apresentar até melhor desempenho à biodeterioração.

Tintas látex semi-brilho poderiam ser testadas, na mesma metodologia, para verificar se um teor mais elevado de resina seria capaz de provocar algum ganho de desempenho na resistência à biodeterioração.

Pode-se indicar, ainda, um ensaio com tintas formuladas a base de espessante acrílico em substituição ao espessante celulósico, para verificar se melhor desempenho seria alcançado. Tal substituição tem sido cogitada pelos fabricantes de tinta atualmente.

REFERÊNCIAS

ABRAFATI. Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes, 2006. Disponível em <<http://www.abrafati.com.br/bnews3/images/multimidia/Documentos/sbd.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2008.

ALLSOPP, Dennis; SEAL, Kenneth; GAYLARDE, Christine. **Introduction to biodeterioration**. 2.ed.United Kingdom: Cambridge University Press, 2004.

ALVES, Harley. Fosca, semibrilho ou acetinada são opções para sua pintura. **Mundo Cor**, [S.l.], 27 nov. 2002. Disponível em: <http://www.mundocor.com.br/tintas/tinta_brilho.htm>. Acesso em: 25 nov. 2007.

AMARO, Mariana Fonseca. **Estudo Comparativo de Tintas para Fachadas**. 2007. 31 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/146546/1/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PN 02:136.01,004**: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos . Parte 4: Fachadas e paredes internas. Rio de Janeiro, 2004.

BAUMANN, W.; HESSE, K.; POLLKLAESNER, D.; KUEMMER, K.; KUEMPEL, T. Gathering and Review of Environmental Emission Scenarios for Biocides. Berlin: University of Dortmund, 2000.

BÍBLIA Sagrada. São Paulo: Ave Maria, 2004.

BOLORINO, Heloisa; CINCOTTO, Maria Alba; RITTI, Ronaldo. Limpeza de fachadas de argamassas. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1995, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, ago. 1995.

BOULON, G. **Paint coatings biodeterioration**. 2004. Disponível em: <<http://www.specialchem4coatings.com/resources/articles/printarticle.aspx?id=250>>. Acesso em: 24 fev. 2008.

CASTRO, A; LABIKI C., CARAM L.; BASSO A.; FERNANDES M., Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Revista da ANTAC**, Porto Alegre, v.3, n.2, p.69-76, 2003.

COLON, I; KUUSISTO, E. L.; HANSEN, K.. Estudo da refletância de diferentes cores de tinta considerando seus efeitos para iluminação natural. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO AMBIENTECONSTRUIDO, 6, 2001, Campinas. **Anais...** São Paulo:UNICAMP, 2001.

COLON, I.; KUUSISTO, E. L.; HANSEN, K. 2004. Location affects performance of biocide. **Paints Containing Industry**, [S.l.], 2004. Disponível em: <http://www.pcimag.com/Articles/Feature_Article/2ff9ca796d6a7010VgnVCM100000f932a8c0> Acesso em: 02 mar. 2008.

CHADYSIENE, R.; GIRGZDYS, A. Ultraviolet radiation albedo on natural surfaces. **Journal of environmental engineering and landscape management**. Lituania, v.16, n.2, p.83-88, 2008

COSTA, E; SILVA, L. C.; GREVEN, H. Avaliação do efeito do aerossol marinho no desempenho de argamassas de cimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 1997, Brasília. **Anais...** [S.l.] : [s.n.], 1997. p. 519-529.

CRISPIM, C. A.; et al. Biofilms on church walls in Porto Alegre, RS, Brazil, with special attention to cyanobacteria. **International Biodeterioration & Biodegradation**, n. 54, p.121-124, 2004.

DIEZ, Maria Aparecida L.M.; BARROS, Norberto da Silva. Avaliação de microbiocidas para preservação de tintas. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIODETERIORAÇÃO, 1992, Campos do Jordão. **Anais...**Campos do Jordão (SP), 1994, p.106-121.

ENGLISH, S. E.; FJELDE S., GREENHALGH M.; McCABE R.; McKENNA T.; MORTON L.; SCMIDT B.; SHERRINGTON I. Laboratory and field studies on thin paint films. **International Biodeterioration & Biodegradation**, n. 52, 2003.

FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral Pereira. **Perícias de fachadas em edificações**: pintura. São Paulo: Universitária de Direito, 2008.

FAZANO, C. A T. V. Tintas métodos de controle de pinturas e superfícies.5.ed. São Paulo: Hemus, 1998.

FAZENDA, Jorge M. R. (coord.). **Tintas & vernizes ciência e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: ABRAFATI, 1995. 2v.

FRAZER, Lance. Titanium dioxide: environmental white knight?. **Environmental Health Perspectives**, [S.l.], ano 109, n. 4 apr. 2001.

GAYLARDE, C. C.; MORTON, L. H. G. The importance of biofilms in microbial deterioration of constructional materials. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, v. 28, p. 221-229, 1997.

GAYLARDE, C.; SILVA, M. Ribas; WARSSCHEID, T. Microbial impact on building materials. **Materials and structures**, [S.l.], v. 36, p. 342-352, jun. 2003.

GAYLARDE, Peter M.; GAYLARDE, Christine C. Algae and cyanobacteria on painted surfaces in southern Brazil. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, p.209-213, 1999.

GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. **Canadian building digest CBD-40**, Canada, 1963. Disponível em http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd040_e.html. Acesso em: 22 março 2006.

LOPES, Claudia. Anomalias dos revestimentos por pintura – paredes exteriores. **Construlink Press**, Lisboa, n. 22, mar./abr. 2004. Disponível em: <http://www.construlink.com/Homepage/2003_ConstrulinkPress/Ficheiros/MonografiasPrimeirasPaginas/mn_Revest_tinta_14_04_2004_11p.pdf>. Acesso em: 12 out. 2007.

MAIS durabilidade à tinta. **Paint & Pintura**, ano 12, n. 118, p. 16-22, 2007.

MORTON, L. H. G.; SURMAN, B. S. The role of biofilms in biodeterioration – A review. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1., São Leopoldo, 1997. **Anais...** Coord. Kazmierczak, C. S.; LIMA, M. G. São Leopoldo: UNISINOS/ ANTAC, 1997. p. 43-54.

OLIVEIRA, Ana Maria de Sousa Santana de. Manifestações patológicas em edifícios residenciais – o caso das fachadas revestidas com pinturas. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC 04, Jul. 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004. ISBN 85-89478-08-4.

PETRUCCI, Helena Maria Cabeda. Manchamento das fachadas dos edifícios por partículas de contaminação atmosférica: interação entre as condições ambientais e a forma construída.

In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** [S.l.]: [s.n.], 2002.

PRA, Paint Research Association, **Executive Summary**, HOLMAN, R; KINSEY, G; JULIAN, K; SMITH, A; KELLY J; SPRINGLE, R; KENNEDY, R. disponível em <www.pra-world.com/research/reports/all/mawcsummary.pdf>. Acesso em: 12 out 2007.

RAHMAN, A. M. A. ; GAZALI M.F.M.; HAW G.C.; ZAKIULFUAD; N.A.; AZALI N. The color white as one of the passive solar design elements on buildings surfaces pertaining to reduced energy consumption. **Green Pages**, Switzerland, 2006. Disponível em: <<http://www.eco-web.com/editorial/061101.html>>. Acesso em: 27 nov. 2006.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Guia técnico ambiental – tintas e vernizes**. São Paulo, 2006. 70 p. Disponível em: <<http://www.abrafati.com.br/bnews3/images/multimidia/Documentos/sbd.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2008.

SATO, N. M. N.; VITTORINO, F.; AGOPYAN, V.; UEMOTO, K. L.; VANDERLEY, J.M. Penetração de umidade e crescimento de fungos em fachadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1994. v. 2. p. 717-722.

SATO, N. M. N.; NAKATA, N.M.; UEMOTO, K. L.; SHIRAKAWA, M. A.; SAHADE, R. F. Condensação de vapor de água e desenvolvimento de microrganismos em fachada de edifícios: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 2002.

SHIRAKAWA, Márcia A.; et al.. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995, p.402-410.

SHIRAKAWA, Márcia A.; et al. Fungal colonization and succession on newly painted buildings and the effect of biocide. **FEMS Microbiology Ecology**, [S.l.], n.39, 2002.

SPRINGLE, W. R.; HOLMAN, R. J.; KENNEDY, R. J. **Test methods to predict microbial attack of water-based coatings**. 2000 Disponível em: <<http://www.pra-world.com/research/reports/all/mawcsummary.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2008.

TURNER, J. N. **The microbiology of fabricated materials**. London: J. & A. Churchill, 1967.

UEMOTO, Kai Loh. **Projeto, execução e inspeção de pinturas**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

UEMOTO, Kai L.; AGOPYAN, Vahan; BRAZOLIN, Sergio. Degradação de pinturas e elementos de fachada por organismos biológicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. v. 2. p. 723-728.

UEMOTO, Kai L.; AGOPYAN, V. Durabilidade de revestimentos a base de polímeros. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1997, São Leopoldo. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1997.

UEMOTO, Kai L.; AGOPYAN, Vahan. Influência da composição da tinta látex nos mecanismos de transporte de água em concretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, **Anais...** Foz do Iguaçu: Infohab, 2002. 1 CD-ROM.

UEMOTO, Kai L.; SILVA, Josias Marcelino da. Caracterização de tintas látex para construção. **Boletim técnico da escola politécnica da USP**, São Paulo, 2005.

UEMOTO, Kai L. Tintas na construção. In: Geraldo C. Isaia (Org.). **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. P. 1.465- 1.505.

WINKOWSKI, Karen. Biocide Optimization: Blends of Actives. **Especialchem**, 29 sep., 2004. Disponível em: <<http://www.specialchem4coatings.com/resources/articles/article.aspx?id=1863>>. Acesso em: 02 mar. 2008.