DESEMPENHO DE TINTAS DE ACABAMENTO FRENTE ÀS RADIAÇÕES ULTRAVIOLETA, UVA E UVB, E CONDENSAÇÃO DE UMIDADE

Artigo submetido em Março de 2010
e aceite em Maio de 2010

FERNANDO FRAGATA[1](*), CRISTINA C. AMORIM[2] e ALBERTO P. ORDINE[3]

Resumo

É amplamente conhecido que a radiação ultravioleta, presente no espectro solar, afeta diretamente as propriedades fisico-químicas dos revestimentos orgânicos, especialmente os obtidos por pintura, em maior ou menor grau, dependendo da natureza química do polímero utilizado em sua composição. Neste trabalho, serão abordados alguns conceitos teóricos referentes à influência da radiação ultravioleta no processo de deterioração de revestimentos orgânicos, bem como serão apresentados os resultados de um estudo específico, cujo objetivo foi avaliar, de forma comparativa, o desempenho de tintas de acabamento frente às radiações UVA e UVB e condensação de umidade. Para tal, foram utilizadas cinco tintas de acabamento (poliuretano alifático [poliéster ortoftálico + poliisocianato alifático], poliuretano acrílico alifático, polisiloxano acrílico, epóxi poliamida e alquídica). A avaliação foi feita com base na variação de brilho, de cor e do grau de pulverulência ou "gizamento" ("chalking") das películas ao longo da execução dos ensaios. Os resultados obtidos, em termos qualitativos, para os dois tipos de radiação, foram bastante parecidos e, como já era esperado, a radiação UVB, por possuir menor comprimento de onda, portanto maior energia, foi a que causou maior degradação das películas das tintas estudadas, em menor tempo de exposição.

Palavras-Chave: Radiação Ultravioleta, UVA, UVB, Tinta de Acabamento, Degradação Fotoquímica, Revestimentos Orgânicos

PERFORMANCE OF TOPCOAT PAINTS SUBMITTED TO ULTRAVIOLET RADIATION, UVA AND UVB, UNDER HUMIDITY CONDENSATION CONDITIONS

Abstract

It is well known that the ultraviolet radiation directly affects physical and chemical properties of a large number of materials, specially organic paint coatings, by means of the reduction of its lifetime. In this work, the authors have studied the performance of some topcoat paints (aliphatic polyurethane, acrylic aliphatic polyurethane, acrylic polisiloxane, epoxy, and alkyd) in relation to the effects of the ultraviolet radiation. Some theoretical concepts concerning the influence of ultraviolet radiation on the organic coatings degradation processes are presented, the experimental work is described and the results obtained are shown. The study involved the exposition of the paints to the UVA and UVB radiation, and the evaluation was carried out by the variations of gloss, color and chalking formation. The results obtained from the two sources of radiation were qualitatively similar. As it was expected, the analysis of the overall results shows that the UVB radiation caused greater loss of gloss in a smaller time of exposition, because of its higher level of energy in comparison to the UVA radiation.

Keywords: Ultraviolet Radiation, UVA, UVB, Paints, Photochemical Degradation, Organic Coatings

1. INTRODUÇÃO

É amplamente conhecido que a radiação ultravioleta, presente no espectro solar, afeta diretamente as propriedades fisico-químicas dos revestimentos orgânicos, especialmente os obtidos por pintura, em maior ou menor grau, dependendo da natureza química do polímero (resina) utilizado em sua composição.

[1] Engenheiro Químico, Pesquisador do CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
[2] Mestre, Química Industrial, Pontifícia Universidade Católica – PUCRio, e-mail: camorim@cepel.br
[3] D.Sc., Engenheiro Químico, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, e-mail: ordine@cepel.br
[*] A quem a correspondência deve ser dirigida, e-mail: fragata@cepel.br

A durabilidade de um revestimento exposto à radiação solar é função de diversos fatores, tais como: a) distribuição da irradiação espectral da luz solar, associada a condições ambientais (ex.: a temperatura); b) sensibilidade do material a este tipo de radiação e c) eficiência dos foto-estabilizadores presentes na composição dos materiais, frente à radiação incidente [1,2]. Além destes fatores, as mudanças climáticas, devido às alterações na camada de ozônio da estratosfera, causam um aumento da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar. Estes têm, comprovadamente, a capacidade de acelerar a velocidade de fotodegradação dos revestimentos, limitando, assim, sua durabilidade. Dessa forma, a extensão da degradação dos materiais, como consequência desta alteração na camada de ozônio, requer que o grau de sensibilidade às faixas de comprimento de onda seja estudado e a eficiência dos foto-estabilizadores disponíveis no mercado seja avaliada.

Os ensaios de "envelhecimento acelerado" são amplamente utilizados com o objetivo de se avaliar o desempenho dos revestimentos orgânicos, em especial os anticorrosivos por pintura, bem como estudar as etapas de degradação dos mesmos. Basicamente, os referidos ensaios consistem em se expor os materiais dentro de câmaras especiais, à ação da radiação ultravioleta (UV) e ciclos de condensação de umidade. Busca-se, com este procedimento, reduzir o tempo de falha dos revestimentos e obter respostas mais rápidas na avaliação dos mesmos. As fontes de radiação UV mais empregadas atualmente são as lâmpadas de xenônio, por possuírem um espectro de radiação muito próximo ao da luz solar, e as lâmpadas fluorescentes, que permitem trabalhar com as radiações UVA e UVB.

Apesar do Sol emitir radiação em uma ampla faixa de comprimentos de onda, aquela responsável pelos processos degradativos dos revestimentos orgânicos está compreendida entre (280 e 400) nm. Por esse motivo, muitos ensaios são conduzidos em câmaras que utilizam lâmpadas fluorescentes que emitem radiação no espectro característico da região do UVA (315 a 400) nm e do UVB (280 a 315) nm. A escolha da lâmpada é feita de acordo com o tipo de radiação a ser utilizada para promover a degradação do material.

Dados de resistência de materiais poliméricos frente à radiação ultravioleta são encontrados na literatura e mostram que, apesar do alto percentual de radiação UVA presente no espectro solar, é a radiação UVB a responsável por uma maior velocidade do processo de degradação dos revestimentos orgânicos, em especial os obtidos com tintas anticorrosivas [2].

No presente trabalho serão abordados conceitos teóricos referentes à influência da radiação ultravioleta no processo de degradação de diferentes tintas de acabamento. Serão também apresentados os resultados de um estudo realizado, cujo objetivo foi avaliar, de forma comparativa, a influência das radiações UVA e UVB na degradação dos revestimentos integrando diferentes tintas de acabamento. Para tal, os parâmetros de avaliação utilizados foram: variação de brilho, de cor e grau de pulverulência ou "gizamento" ("*chalking*").

2. DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS POR MEIO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A principal fonte de radiação ultravioleta à qual os materiais orgânicos são expostos é o Sol. A composição da radiação solar que atinge a superfície da Terra é constituída, principalmente, de radiação na faixa de comprimento de onda do visível, do infravermelho e de uma pequena quantidade na faixa do ultravioleta. Esta distribuição espectral, em função do comprimento de onda, é mostrada na Figura 1.

A Tabela 1 mostra a distribuição da radiação solar que atinge a superfície terrestre, em termos do valor da irradiância de cada comprimento de onda que a compõe [4,5], bem como a distribuição percentual de cada uma das faixas de comprimento de onda presentes no espectro solar. A irradiância é definida como sendo a grandeza que quantifica o fluxo de radiação que atinge a superfície terrestre, dividido pela área exposta a esta radiação. Esta grandeza é expressa em W/m^2.

Como é conhecido [5], o comprimento de onda de uma dada radiação é inversamente proporcional à sua energia associada. Logo, na faixa do ultravioleta, a energia da radiação UVC é maior que a da UVB, que por sua vez, é maior que a da UVA. Sendo a irradiância definida como um fluxo de energia por unidade de área, para uma mesma região, a radiação UVA tem um fluxo de energia maior que a radiação UVB, e esta maior que a UVC. Ou seja, entre as três, para uma mesma área, a radiação UVA é aquela cuja energia atinge mais rapidamente a superfície terrestre.

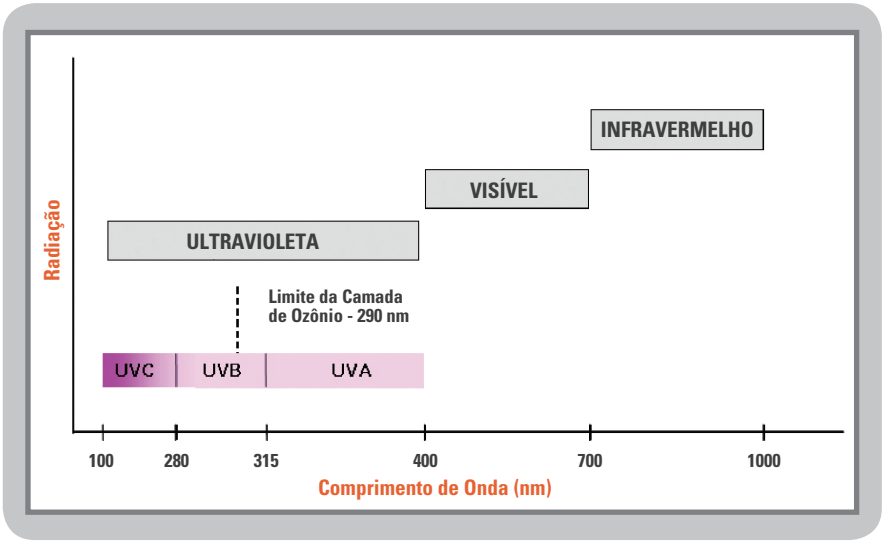

Fig. 1 - Distribuição espectral da radiação solar [3,4].

Tabela 1 - Distribuição da irradiância solar que atinge a superfície terrestre [4,5].

Faixa de comprimento de onda (nm)	Energia equivalente (kcal/mol)	Irradiância (W/m^2)	Percentual (%) do total da radiação solar
UVC (100 - 280)	288 - 103	6,4	0,5
UVB (280 - 315)	103 - 91	21,1	1,5
UVA (315 - 400)	91 - 72	85,7	6,3
Visível (400 - 700)	72 - 41	532,0	38,9
Infravermelho (> 700)	< 41	722,0	52,8

O intemperismo é definido como um conjunto de processos condicionados pela ação de agentes atmosféricos e biológicos que ocasionam a destruição física e a decomposição química de materiais, e tem como principais agentes agressivos a radiação ultravioleta, a temperatura e a umidade. A foto-oxidação induzida pela radiação UV pode produzir, entre outros efeitos, a oxidação de ligações duplas e a cisão de segmentos de polímeros. Ou seja, a degradação fotoquímica é causada por fótons de luz que quebram as ligações químicas. Para cada tipo de ligação há um valor limite de comprimento de onda de luz com energia suficiente para causar a reação. Portanto, qualquer luz com comprimento de onda menor que este limite provoca o rompimento da ligação.

As principais propriedades dos polímeros dependem da natureza das moléculas. Portanto, as propriedades físicas dos polímeros são governadas pela estrutura e tamanho das macromoléculas que determinam as forças intermoleculares. Assim, o termo degradação significa, quimicamente, a quebra da estrutura molecular.

A degradação das películas de tintas pela radiação ultravioleta pode conduzir ao aparecimento de diversos tipos de falha, como por exemplo, perda de brilho, alteração de cor e pulverulência ou "gizamento". Dependendo da natureza das resinas, bem como das ligações químicas presentes nas mesmas, estas poderão apresentar, em maior ou menor grau, as falhas mencionadas. Na Tabela 2, mostram-se alguns valores de comprimento de onda correlacionados com energias de ligações químicas comumente encontradas nas resinas utilizadas na fabricação de tintas. Como se pode observar, a radiação incidente na superfície terrestre pode afetar as ligações químicas, induzindo, deste modo, a processos fotodegradativos, que causam o envelhecimento de tais materiais. Obviamente que cada tipo de resina, em função das ligações químicas presentes no polímero, terá um comportamento específico. Por exemplo, na Tabela 2 pode-se observar o elevado valor da energia de ligação silício-oxigênio (-Si-O-), o qual, certamente, é um dos fatores responsáveis pela excelente resistência das tintas de polisiloxano à radiação solar.

Tabela 2 - Valores de energia de diferentes tipos de ligação química e seus comprimentos de onda correspondentes [6-10].

Ligação química	Energia de ligação (kJ/mol)	Comprimento de onda (λ) de quanta com a mesma energia (nm)
O–Si	448	267
H–C(*)	414	289
H–N	389	308
C–O	360	332
C–C	347	345
C–Cl	339	353
C–N	305	392
C–Si	301	397

* Valor típico para ligação C-H, considerando-se grupos CH_3 e CH_2. Este valor depende fortemente das ligações químicas dos grupos circundantes.

3. METODOLOGIA

3.1. Antecedentes e justificativas

Quando se deseja avaliar a durabilidade de um dado material, exposto às condições de serviço, a melhor forma de se obter resultados consistentes é submetê-lo às condições reais de trabalho. O grande inconveniente deste procedimento reside no fato de que o período necessário para se obter uma resposta consistente e confiável é, relativamente, longo. A alternativa então é a utilização dos ensaios de envelhecimento acelerado, normalmente realizados em laboratório, dentro de câmaras especiais para esta finalidade. Na realidade, o que se faz dentro das mesmas é aumentar a incidência e a concentração dos agentes causadores do processo de degradação, a fim de reduzir o tempo de falha dos revestimentos.

Vários são os métodos utilizados para provocar o "envelhecimento acelerado" de materiais poliméricos, em particular, das tintas. Este, também chamado de "envelhecimento artificial", corresponde à exposição de corpos-de-prova a uma fonte de radiação ultravioleta, dentro de uma câmara especial onde parâmetros tais como temperatura, umidade e quantidade de água condensada ou aspergida sobre a superfície são controlados. Este ensaio possui condições normalmente encontradas no processo de envelhecimento natural, ou seja, ciclos que

representam o dia e a noite, alterando períodos de secagem e molhagem da superfície. A vantagem do seu emprego é a facilidade de acelerar o ensaio com todos os parâmetros controlados, obtendo-se resultados comparativos em tempos significativamente menores de exposição.

Um dos parâmetros a ser controlado nos ensaios acelerados é a fonte de radiação UV, que deve simular da maneira mais fiel possível a radiação solar. As principais fontes de radiação UV, utilizadas nos ensaios acelerados, são lâmpadas fluorescentes especiais e lâmpadas de xenon. Estas últimas, em conjunto com filtros específicos, fornecem resultados muito melhores em termos de simulação da radiação solar, em relação a outras fontes, porém os equipamentos possuem custos de aquisição e de manutenção maiores do que aqueles que utilizam lâmpadas fluorescentes.

A radiação UVB, obtida por meio de lâmpadas fluorescentes, tem sido utilizada nos ensaios de envelhecimento acelerado. Nos últimos anos, o uso da radiação UVA nos ensaios cíclicos tem sido cada vez mais frequente, uma vez que esta possui um espectro mais próximo ao da radiação solar e, portanto, mais próximo das condições reais de exposição ao intemperismo a que os revestimentos por pintura estão expostos.

O objetivo do presente trabalho é mostrar, com base nos resultados obtidos em diferentes ensaios, a influência das radiações UVA e UVB nas propriedades das tintas de acabamento, especificamente no que diz respeito à retenção de cor (ΔE) e brilho e à pulverulência ("chalking"). Para tal, corpos-de-prova pintados foram expostos em uma câmara, combinando-se ciclos de exposição à radiação ultravioleta, emitida por lâmpadas fluorescentes, e ciclos de condensação de umidade.

3.2. Ensaios de resistência à radiação ultravioleta e condensação de umidade

No presente trabalho, estudou-se o comportamento de tintas de acabamento, quando submetidas a exposição à radiação UVB e à radiação UVA. Este ensaio foi realizado com base na norma ASTM G 154 [26], utilizando-se o seguinte ciclo:

- 8 horas de exposição à radiação UV e temperatura de (60 ± 3) °C;
- 4 horas de condensação de umidade e temperatura de (50 ± 3) °C.

Os corpos-de-prova foram expostos à radiação ultravioleta, em uma câmara *QUV/basic®*, da *QPanel Lab Products*, utilizando-se as lâmpadas UVB 313 e UVA 340 [12], respectivamente, nas duas etapas do estudo. Os tempos máximos de exposição foram: 1500 horas no caso da radiação UVB e 4000 horas no caso da exposição à radiação UVA. Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de chapas de alumínio e de aço-carbono e a preparação de superfície constou de desengorduramento por meio de solventes orgânicos e de lixamento manual enérgico para a retirada de contaminantes. Não se utilizou o jateamento abrasivo, no processo de limpeza, a fim de evitar a deformação das chapas o que, posteriormente, poderia interferir nas medições de brilho das películas. Em seguida, foram aplicadas três demãos de cada uma das tintas de acabamento, descritas a seguir, com a espessura por demão dentro da faixa inerente a cada produto. A aplicação das três demãos teve como objetivo reduzir as interferências relativas ao substrato, bem como obter um revestimento o mais uniforme possível em termos de acabamento final.

3.3. Tintas utilizadas no estudo

A seguir, apresenta-se a relação das tintas utilizadas, em que constam: o código e o nome das tintas, uma breve descrição das suas propriedades técnicas e a justificativa para a inserção das mesmas no estudo.

- **PU.DD (Tinta de Acabamento Poliuretano Alifático)**: tinta tradicional de dois componentes, formulada com resina de poliéster ortoftálico poli-hidroxilado, isento de ácidos gordos (componente A) e agente de cura poliisocianato alifático (componente B). Na composição da mesma não foram adicionados absorvedores ou estabilizadores de radiação ultravioleta. Esta tinta, por ser bastante conhecida devido à sua boa resistência ao intemperismo natural, foi introduzida no estudo como sendo "referência superior" para a avaliação das demais tintas ensaiadas;
- **PU.AC (Tinta de Acabamento Poliuretano Acrílico Alifático)**: tinta de acabamento de poliuretano acrílico alifático, na qual a resina do componente A é uma acrílica poliidroxilada e a do componente B (agente de cura) um poliisocianato alifático. Em relação à tinta de poliuretano tradicional (PU.DD), a tinta PU.AC possui um teor de solventes mais baixo, fator importante do ponto de vista de impacto ambiental. Como informação adicional, o espectro de infravermelho da resina acrílica não evidenciou a presença de estireno em sua composição. Esta tinta já vem sendo utilizada, com sucesso, há algum tempo no Brasil, no que diz respeito à resistência à radiação solar;
- **PSA (Tinta de Acabamento Polisiloxano Acrílico)**: trata-se de uma tinta de acabamento, relativamente nova no mercado, formulada com resina de polisiloxano acrílico e possui, como principal característica, uma elevada resistência à radiação solar, em especial à radiação ultravioleta, em termos da sua grande capacidade de retenção de cor e brilho;
- **EP.1198 (Tinta de Acabamento Epóxi Poliamida)**: trata-se de uma tinta de acabamento epóxi curada com poliamida, bastante conhecida no campo de tintas anticorrosivas. Esta tinta foi escolhida para servir de "referência inferior" em função de possuir, conhecidamente, uma baixa resistência à radiação ultravioleta. Como consequência, possui uma fraca retenção de cor e brilho quando exposta à radiação solar;

- **ALK (Tinta de Acabamento Alquídica)**: trata-se de uma tinta de acabamento bastante conhecida no campo da proteção anticorrosiva. Possui desempenho satisfatório em atmosferas rural, urbana e industrial leve. Além disso, tem um custo relativamente baixo. Suas propriedades físico-químicas são inferiores às de poliuretano alifático (PU.DD e PU.AC). Já com relação às tintas epoxídicas, ela possui melhor retenção de cor e de brilho, quando exposta à radiação solar. Portanto, esta foi introduzida no estudo para fazer parte de um grupo de tintas de referência, com o objetivo de se obter dados técnicos adicionais para a avaliação da influência das radiações UVA e UVB no desempenho das tintas de acabamento em questão.

3.4. Parâmetros de avaliação do grau de degradação dos revestimentos nos ensaios de exposição às radiações UVA e UVB e condensação de umidade

3.4.1. Brilho

A medição do brilho inicial da película dos revestimentos, bem como ao longo do tempo de ensaio, foi realizada com base na norma ASTM D 523 [13], utilizando-se o ângulo de incidência de 60°. Os resultados obtidos são expressos em unidades de brilho (UB).

3.4.2. Pulverulência ou "Gizamento" ("Chalking")

A avaliação da pulverulência ou "gizamento" nos revestimentos foi realizada segundo a norma ISO 4628/6 [14,15] (ver nota), a qual consiste na fixação de uma fita adesiva transparente à superfície do revestimento. Após a sua remoção, determina-se o grau de pulverulência ou "gizamento" por meio de comparação com padrões visuais. Estes, por sua vez, podem variar desde 0 (zero), que indica a sua ausência, até 5 (cinco), que corresponde a uma intensa quantidade de pulverulência ou "gizamento" na superfície.

Nota: na época em que os ensaios foram realizados, a norma utilizada foi a ISO 4628-6:2003. Posteriormente esta norma foi revisada e os critérios de avaliação tiveram ligeiras alterações.

3.4.3. Cor

A variação total de cor (ΔE) foi determinada de acordo com a norma ASTM D 2244 [16]. Entretanto, por se tratar de uma propriedade que depende muito do tipo e da qualidade dos pigmentos utilizados nas formulações das tintas, ao se avaliar o desempenho das resinas, frente à radiação ultravioleta, estes fatores podem interferir na análise global dos resultados.

Já o brilho e a pulverulência ou "gizamento", embora possam ser influenciados pelo tipo e qualidade dos pigmentos, são propriedades mais dependentes do tipo e das características técnicas das resinas, e os resultados obtidos permitem conclusões mais consistentes sobre a resistência das mesmas, frente à radiação UVB e à radiação UVA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando uma dada tinta possui como propriedade principal uma alta resistência à radiação ultravioleta, certamente, ela apresentará uma boa retenção de brilho e de cor e, além disso, resistência à pulverulência ou "gizamento" ("chalking"). Por esta razão, várias tintas de acabamento foram ensaiadas, não só para fins comparativos, mas também para se conhecer o comportamento de cada uma delas nas condições em que o ensaio foi realizado. É importante destacar que os resultados obtidos não devem ser utilizados para estimar a durabilidade das tintas nas condições naturais de exposição atmosférica, mas sim, apenas avaliar, de forma comparativa, o desempenho das diferentes tintas frente à radiação ultravioleta. Assim, pode-se prever qual tinta terá melhor resistência à radiação solar, em termos, de, por exemplo, variação de brilho, de cor e resistência à pulverulência ou "gizamento". Como é conhecido, não é uma tarefa fácil reproduzir as condições naturais dentro das câmaras de ensaios acelerados, pois existem inúmeros fatores que dificultam alcançar tal objetivo. Por sua vez, os próprios fenômenos naturais não são constantes ao longo do tempo.

4.1. Brilho

Os resultados das medições de brilho, após exposição às radiações UVB e UVA são apresentados nos gráficos das Figuras 2 e 3, respectivamente. A Figura 4 mostra o comportamento de cada uma das tintas, em separado, com relação aos resultados obtidos após a exposição, tanto à radiação UVA quanto à radiação UVB, combinada com os ciclos de condensação de umidade.

Pelos resultados apresentados nos gráficos das Figuras 2 e 3, os quais se referem à variação de brilho, pode-se observar que a tinta de polisiloxano acrílico (PSA) foi a que apresentou a melhor resistência à radiação ultravioleta, tanto UVA como UVB, e conden-

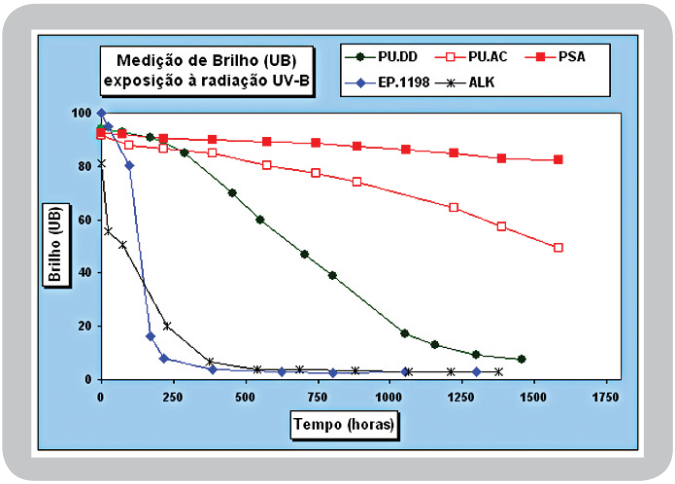

Fig. 2 - Gráfico referente às medições de brilho das películas de tintas, ao longo do ensaio de exposição à radiação UVB e condensação de umidade.

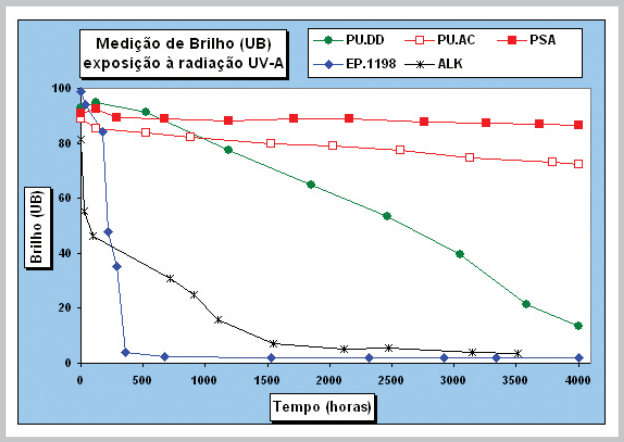

Fig. 3 - Gráfico referente às medições de brilho das películas de tintas, ao longo do ensaio de exposição à radiação UVA e condensação de umidade.

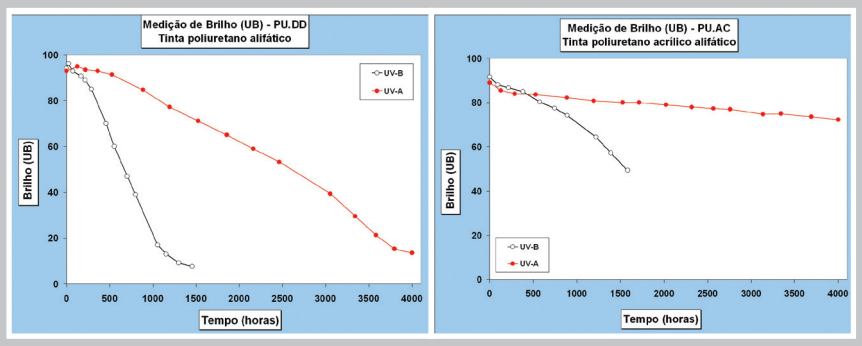

Fig. 4 - Gráficos referentes às medições de brilho das películas de tintas, ao longo do ensaio de exposição às radiações UVA e UVB e condensação de umidade.

sação de umidade.

Tomando-se como referência o desempenho da tinta de poliuretano PU.DD, há que se ressaltar o bom desempenho da tinta PU.AC ao longo do ensaio. Os resultados também revelam alguns pontos importantes a serem destacados, como por exemplo:

- A tinta de poliuretano acrílico PU.AC apresenta melhor resistência à radiação ultravioleta que a tinta de poliuretano alifático tradicional PU.DD. Como consequência, tende a proporcionar melhores propriedades de retenção de cor e de brilho, bem como melhor resistência à pulverulência ou "gizamento";
- A tinta epóxi (EP.1198), como já era esperado, foi a que apresentou menor resistência à radiação ultravioleta, em ambos os ensaios, com acentuada perda de brilho em curto espaço de tempo. A tinta alquídica (ALK) apresentou desempenho intermediário entre as tintas EP.1198 e PU.DD. Estes resultados estão, do ponto de vista qualitativo, coerentes com o que se conhece do desempenho destas tintas nas condições naturais de exposição à radiação solar.

Portanto, considerando-se a variação de brilho, os resultados obtidos, além de estarem coerentes com o desempenho que se esperava, serviram também para aumentar o nível de conhecimento a respeito das características técnicas das tintas, em termos de resistência à radiação ultravioleta.

Com relação aos resultados apresentados nos gráficos da Figura 4, observa–se que, como esperado, todas as tintas sofreram uma perda de brilho mais intensa e de forma mais rápida quando submetidas à radiação UVB do que no caso da exposição das mesmas à radiação UVA. Estes resultados confirmam o fato de que a radiação com menor comprimento de onda (UVB) possui uma maior energia associada sendo, portanto, mais agressiva e causando uma degradação mais rápida do revestimento devido ao ataque à resina que o constitui.

A tinta PSA, a qual se mostrou mais resistente aos efeitos da radiação UV, para o tempo de exposição considerado, foi a que apresentou menos diferença na variação de brilho, nos dois ensaios, o que confirma a sua alta resistência às condições de exposição à radiação UV e condensação de umidade. Certamente esta melhor resistência à radiação ultravioleta se deve à maior energia de ligação silício-oxigênio (-Si-O-Si-), como pode ser observado na Tabela 2, presente na estrutura básica da resina de polisiloxano.

Portanto, com base nos dados apresentados nos gráficos das Figuras 2 e 3, pode-se observar que, qualitativamente, os resultados da variação de brilho, tanto no caso da radiação UVA quanto

no da UVB, foram bastante parecidos. A diferença, obviamente foi a velocidade de degradação, a qual foi muito maior no caso da radiação UVB, pelas razões já descritas anteriormente.

4.2. Cor

Nas Figuras 5 e 6 são mostrados os resultados de variação total de cor (ΔE) obtidos ao longo do ensaio de exposição dos corpos-de-prova às radiações UVB e UVA, respectivamente.

Analisando-se os resultados de variação de cor apresentados nas Figuras 5 e 6, observa-se, em ambos os casos, que todas as tintas, à exceção do EP.1198, mostraram uma pequena variação ao longo do tempo de ensaio, em relação à sua cor original. As diferenças nos valores de ΔE foram bastante pequenas de modo que não se pode correlacionar qualitativamente, com segurança, o desempenho de cada uma das tintas em ambos os ensaios. Como era de se esperar, devido à sua reduzida resistência à radiação UV, a tinta EP.1198 mostrou uma acentuada alteração de cor. Neste sentido, em ambos os ensaios, foi a tinta que apresentou o pior desempenho. Tomando-se como base os resultados desta tinta, observa-se que a radiação UVB, como era esperado, mostrou-se bem mais agressiva que a radiação UVA. Basta notar que para se atingir uma variação de cor (ΔE) igual a 6, foram necessárias 222 horas de exposição à radiação UVA e apenas 25 horas de exposição à radiação UVB.

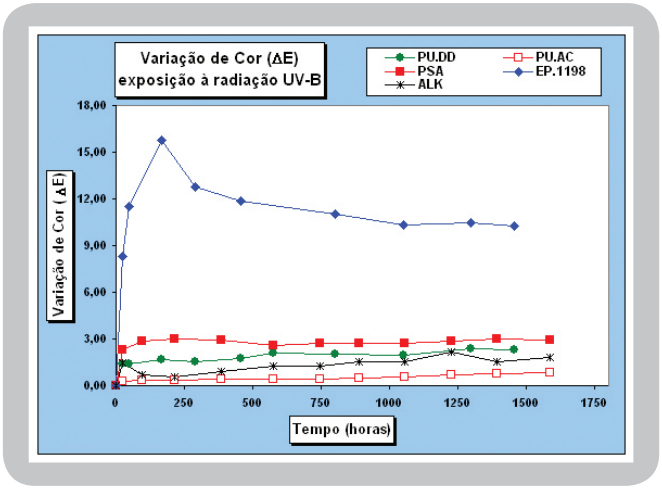

Fig. 5 - Gráfico referente à variação total de cor (ΔE) das películas de tintas, ao longo do ensaio de exposição à radiação UVB e condensação de umidade.

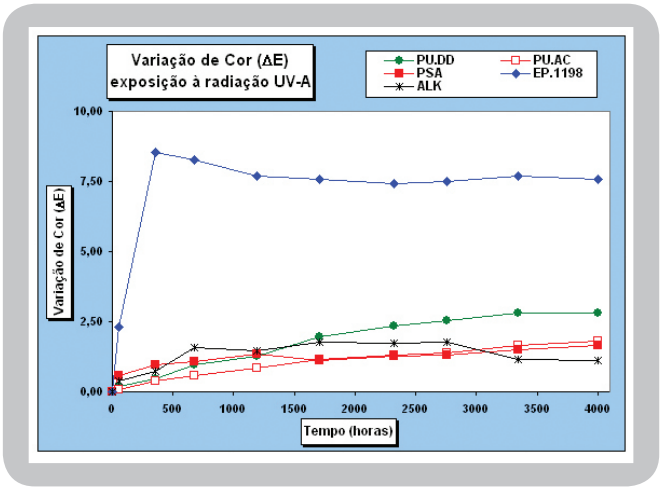

Fig. 6 - Gráfico referente à variação total de cor (ΔE) das películas de tintas, ao longo do ensaio de exposição à radiação UVA e condensação de umidade.

4.3. Pulverulência ou "Gizamento" ("chalking")

Os resultados obtidos ao longo do ensaio estão apresentados na Figura 7. Por ser uma característica que também depende da resistência da resina à radiação ultravioleta, do ponto de vista qualitativo o comportamento das tintas foi bastante parecido com o da variação de brilho. Ou seja, as tintas de melhor desempenho na radiação UVB também foram as melhores na radiação UVA. O mesmo raciocínio também pode ser atribuído às tintas de pior desempenho.

Pelos resultados apresentados na Figura 7 pode-se observar que, para um mesmo tempo aproximado de exposição (1390 horas de UVB e 1385 horas de UVA), a radiação UVB provocou uma maior degradação nas tintas PU.DD e ALK. Este comportamento já era esperado, em função da maior

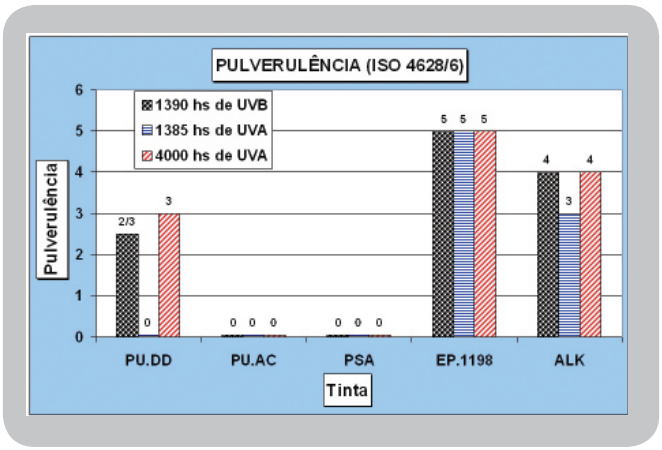

Fig. 7 - Gráfico referente ao grau de pulverulência ou "gizamento", obtido pelo método ISO 4628/6, ao longo dos ensaios de exposição às radiações UVA e UVB e condensação de umidade.

energia (menor comprimento de onda) da radiação UVB. No caso da tinta epóxi (EP.1198), em função da sua fraca resistência à radiação ultravioleta, para os dois tempos de exposição mencionados, o resultado final foi o mesmo. Já as tintas PU.AC e PSA, devido à sua elevada resistência à radiação solar, não apresentaram evidências de pulverulência, para os dois tempos de exposição considerados, e após 4000 horas de exposição à radiação UVA.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS FINAIS

Com base nos resultados obtidos, a partir da exposição de diferentes tintas de acabamento às radiações UVA e UVB, é possível concluir que:

- A radiação UVB mostrou-se muito mais agressiva em relação à radiação UVA para um mesmo período de exposição. Isto é explicado pela mais alta energia que a radiação UVB (menor comprimento de onda) possui em relação à radiação UVA (maior comprimento de onda);

- Qualitativamente, observou-se que as tintas apresentaram comportamentos parecidos em ambos os ensaios. Este fato mostra, mais uma vez, que a diferença está na intensidade da energia associada a cada faixa de comprimento de onda, onde aquela que possui energia maior e, portanto mais agressiva, causou a degradação dos revestimentos em um tempo muito menor de ensaio. Este fenômeno foi confirmado, principalmente, pelos resultados de medição de brilho e pulverulência ou "gizamento";

Apesar da radiação UVA ser aquela que proporciona resultados de desempenho mais realísticos, quando comparado aqueles obtidos pela exposição dos materiais à radiação solar (condição natural), o fato é que, nos ensaios de laboratório, são necessários períodos maiores de exposição, para obtenção de respostas mais rápidas.
De forma alguma, pretende-se com este trabalho estimular a utilização da radiação UVB na avaliação dos revestimentos orgânicos, principalmente dos obtidos com tintas. O objetivo é mostrar que, como os resultados foram, do ponto de vista qualitativo, bastante parecidos, a exposição à radiação UVB pode, em certos casos, ser bastante útil na avaliação de resinas, pigmentos e aditivos, especialmente em casos de urgência, em que não se tem, muito tempo para a obtenção de uma resposta. Para os fabricantes de tintas, pigmentos e aditivos, isto é uma vantagem muito grande, no momento em que há necessidade de se tomar uma decisão, mesmo sabendo que o mecanismo de degradação pode não ser exatamente o mesmo daquele que ocorre quando o material é exposto à radiação solar natural.

Referências

[1] Andrady, A. L., Hamid, S. H., Hu, X., Torikai, A. (Effects of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Materials), *J. Photoch. Photobio. B*, 46, 96 (1998).
[2] Andrady, A. L., Hamid, S. H., Hu, X., Torikai, A. (Effects of Climate Change and UVB on Materials), *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2, 68 (2003).
[3] Zeus Technical Paper (Weathering of Plastics), Disponível em htpp://www.zeusinc.com., Acesso em Março de 2007.
[4] Gibson, J. H. (UVB Radiation: Definition and Characteristics), Disponível em http://uvb.nrel.colostate.edu/UVB/publications/UVB-primer.pdf., Acesso em Janeiro de 2009.
[5] Okuno, E., Vilela, M. A. C. (Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos), Ed. Livraria da Física, 1ª Ed., São Paulo, Brasil (2005).
[6] Motta, L. A. C., Silkman, N., Jr., A. N. (Durabilidade dos Polímeros) - Universidade de São Paulo, Brasil (2002).
[7] Guillet, J. E. (Fundamental Processes in the UV Degradation and Stabilization of Polymers), Disponível em http://old.iupac.org/publications/pac/1972/pdf/3001x0135.pdf., Acesso em Dezembro de 2008.
[8] Vichi, F. M. (Partículas Revestidas com Siliconas: Obtenção, Caracterização e Consolidação), Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil, p. 10 (1997).
[9] Snyder, M. K. (Chemistry-Structure and Reactions), Holt, Rinehart & Winston Inc., New York, USA, p. 237 (1966)
[10] Tracy, H., Disponível em http://usm.maine.edu/~newton/CHY252/252/text/UV-vis/FluorescenceLab254S05.doc., Acesso em Janeiro de 2009.
[11] ASTM G 154:2008. (Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials), ASTM, Philadelphia, USA (2008).
[12] Technical Bulletin LU-8160 (*A Choice of Lamps for the CUV*), Q-Panel Products (1994).
[13] ASTM D 523:1999. (Standard Test Method for Specular Gloss), ASTM, Philadelphia, USA (1999).
[14] ISO 4628:2003. (Paints and Varnishes - Evaluation of Degradation of Coatings - Designation of Quantity and Size of Defects, and of Intensity of Uniform Changes in Appearance), ISO, Geneve, Switzerland (2003).
[15] ISO 4628:2007. (Paints and Varnishes - Evaluation of Degradation of Coatings - Designation of Quantity and Size of Defects, and of Intensity of Uniform Changes in Appearance - Part 6: Assessment of degree of chalking by tape method), ISO, Geneve, Switzerland (2007).
[16] ASTM D 2244:2008. (Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates), ASTM, Philadelphia, USA (2008).