

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO ACELERADA DE VERNIZ À BASE EPÓXI EM CÂMARA ÚMIDA E QUV *

Robson Oliveira Goes¹
João Vinícius de Souza Vares²
Alvaro Meneguzzi³

Resumo

Revestimentos orgânicos – vernizes e tintas – são bastante usados na proteção frente a corrosão de materiais metálicos, como aço, e são compostos principalmente por resina, solvente, aditivos e pigmento (ausente nos vernizes). Este trabalho teve como finalidade avaliar a degradação – nas câmaras úmida e QUV – do verniz a base de resina epóxi e o quanto este protege o aço da corrosão. Primeiramente, as amostras de aço foram lavadas, desengraxadas, secadas e, por fim, pintadas com verniz. Após a cura do verniz, algumas amostras foram analisadas e outras postas nas câmaras por até 5000 horas. A análise das amostras foi feita através de testes de espessura, rugosidade, molhabilidade, aderência, grau de enferrujamento, cor e brilho. A espessura do verniz e grau de enferrujamento do aço não sofreram alterações. A rugosidade, cor e brilho foram mais afetadas no teste na câmara QUV e a molhabilidade sofreu maior alteração na câmara úmida. No geral, a degradação do verniz na câmara QUV foi mais intensa, o que deve ter sido auxiliado pelos raios UV..

Palavras-chave: Revestimento orgânico; Verniz; Resina epóxi; Degradação acelerada.

EVALUATION OF ACCELERATED DEGRADATION OF THE EPOXY RESIN BASED VARNISH IN HUMIDITY CHAMBER AND QUV WEATHERING TESTER

Abstract

Organic coatings - varnishes and paints - are widely used in corrosion protection of metallic materials, such as steel, and are mainly composed of resin, solvent, additives and pigment (absent in varnishes). The purpose of this work was to evaluate the degradation - in humid chamber and QUV weathering tester - of epoxy resin based varnish and how much protects steel from corrosion. The steel samples were washed, degreased, dried and finally painted with varnish. After curing of varnish, some samples were analyzed and others put in the chambers for 5000 hours. The following tests were performed: thickness, roughness, wettability, adherence, degree of rusting, color spectrophotometry and gloss. The varnish thickness and degree of rusting of the steel did not varied. Roughness, color spectrophotometry and gloss were more affected in QUV tester and wettability was more affected in humidity chamber. Overall, degradation of varnish in QUV weathering tester was more intense, this must have been aided by UV rays..

Keywords: Organic coatings; Varnish; Epoxy resin; Accelerated degradation.

¹ Engenheiro Químico, Mestrando em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia, Doutorando em Engenharia, PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pesquisador, Bruning Tecnometal, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia, Professor Associado, Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais, PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil..

1 – INTRODUÇÃO

Em 2017, o mercado global de revestimentos orgânicos foi cerca de 42 bilhões de litros, avaliado em aproximadamente 130 bilhões de euros. A expectativa este mercado passe para 48 bilhões de litros em 2020^[1].

A aplicação mais importante para revestimentos orgânicos, em termos econômicos, é a proteção de superfícies, principalmente as metálicas, pois estas só ganham proteção anticorrosiva duradoura quando são pintadas^[2].

Os materiais interagem com o meio e isto acaba deteriorando suas propriedades mecânicas, físicas e visuais. Nos polímeros a deterioração é denominada degradação e nos metais é designada corrosão ou oxidação^[3].

Há, basicamente, três mecanismos pelos quais os revestimentos protegem os materiais: (1) estabilização do óxido passivante na superfície, (2) proteção catódica e (3) pigmentos passivantes. As propriedades de barreira e adesão do revestimento não são mecanismos de proteção em si, mas são vitais para a longevidade do revestimento^[4].

Para que os revestimentos orgânicos – vernizes e tintas – funcionem como pretendido precisam ser aplicados de forma correta, mas ainda assim sofrerão degradação com o passar do tempo^[5]. Os mecanismos comuns de degradação do revestimento são abrasão, impacto, rachaduras/fissuras a baixa ou alta temperatura, quebra de ligação dentro da matriz polimérica devido às reações de hidrólise, oxidação ou luz ultravioleta e ciclos de congelamento e descongelamento^[6].

Os revestimentos orgânicos são misturas complexas de substâncias químicas que podem ser agrupadas em quatro grandes categorias: (1) componentes voláteis (solventes), (2) pigmentos, (3) aditivos e (4) ligante orgânico (resina). Tintas e vernizes são exemplos de revestimentos orgânicos comerciais^[7].

Os solventes, conforme definido na norma DIN EN 971-1, são líquidos compreendendo um ou mais componentes que são voláteis sob as condições de secagem especificadas e podem dissolver o filme orgânico^[2].

Os pigmentos são pós muito finamente divididos que são praticamente insolúveis no meio de aplicação e ajudam a prevenir a corrosão^[7]. Os vernizes são revestimentos orgânicos que não possuem pigmentos.

Os aditivos fornecem características específicas para os revestimentos, criam condições adequadas para que a secagem ocorra corretamente e estabilizam o revestimento durante o período de armazenamento^[8].

Os ligantes e seus precursores são também chamados de resinas e regem, em grande medida, as propriedades do filme de revestimento^[7]. A densidade e composição das resinas são as principais responsáveis pela determinação da permeabilidade, resistência química e resistência ultravioleta (UV) do revestimento. Algumas das resinas mais usadas são: epoxídicas, fenólicas, vinílicas e alquídicas^[9].

O termo "resina epóxi" descreve uma ampla classe de polímeros termofixos nos quais a reticulação primária ocorre através da reação de um grupo epóxido. Em geral, uma resina epóxi pode ser considerada como uma molécula contendo um anel de três membros – um átomo de oxigênio e dois de carbono – como mostrado na Figura 1^[10].

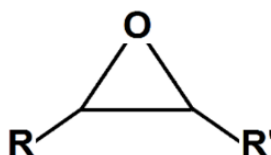


Figura 1: Estrutura química básica de um grupo epóxi^[10].

O primeiro interesse comercial em resinas epóxi surgiu na década de 1940, como resultado das patentes da Greenlee (patente alemã 676117) e Castan (patente US 2324483). A superioridade dos epóxis sobre os termofixos disponíveis na época - principalmente fenólicos e amino resinas, que produzem água como um produto de condensação indesejável, foi logo aparente^[11].

A primeira resina epóxi comercial desta classe, o diglicidil éter de bisfenol-A (DGEBA), mostrada na Figura 2, continua a ser a mais usada atualmente^[10].

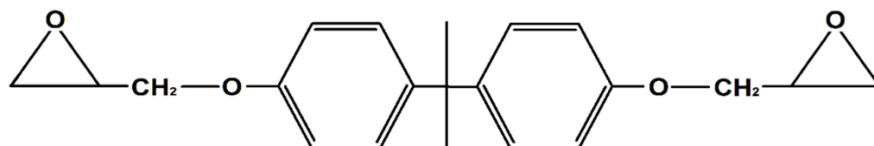


Figura 2: Estrutura química do diglicidil éter de bisfenol-A^[10].

A versatilidade do uso da resina epóxi tem sido um fator importante na constante taxa de crescimento de seu consumo ao longo dos anos. Além disso, esta resina possui outros atributos, como: (1) excelente resistência química, (2) excelente aderência a uma variedade de substratos, (3) alta resistência à tração, compressão e flexão, (4) resistência a fadiga e (5) notável resistência a corrosão^[12].

Para converter as resinas epóxi em um polímero termofixo duro e infusível, é necessário o uso de agentes de reticulação/cura. A reticulação pode ocorrer por homopolimerização por uma reação de poliadição/copolimerização^[13]. As agentes de cura mais amplamente utilizados são aminas alifáticas, adutos epoxídicos, poliamidas de baixo peso molecular e resinas de fenol-formaldeído^[14].

Estudar a degradação dos revestimentos orgânicos é importante para saber qual o melhor revestimento a ser utilizado em determinado ambiente. Os estudos costumam ser feitos com auxílio de câmaras de degradação acelerada. A degradação acelerada é empregada quando não há disponibilidade em fazer a avaliação sob condições reais e é definida como um procedimento que visa obter resultados em um intervalo de tempo menor^[15].

Câmaras de degradação acelerada são bastante utilizadas. Devido a degradação destes revestimentos, em ambientes pouco agressivos, demorar um tempo relativamente longo, costuma-se utilizar testes de degradação acelerada com auxílio de câmaras úmida, QUV, etc.

Na câmara úmida o ambiente interno simula uma atmosfera rural com ausência de poluentes, temperatura de 37 °C a 43 °C e umidade relativa do ar de 100 %. Os principais defeitos que ocorrem nos revestimentos orgânicos quando expostos nesta câmara são bolhas e variações no brilho e cor^[16].

A câmara QUV incide radiação ultravioleta (UV) e há ciclos de condensação de umidade^[16]. Os raios UV possuem comprimentos de onda que são majoritariamente responsáveis pelos danos causados aos polímeros, em face disto, as lâmpadas utilizadas nas câmaras de QUV produzem apenas os raios UV^[17].

Para avaliar a degradação dos revestimentos e o quanto estes protegem o aço, existe uma gama de testes que podem ser feitos, dentre os quais estão: espessura, rugosidade, molhabilidade, aderência, grau de enferrujamento, colorimetria e brilho.

Quanto maior a espessura do revestimento orgânico, maior será a dificuldade de a água e o oxigênio difundirem e chegarem até o substrato^[4].

A degradação dos revestimentos pode acarretar rompimentos de cadeias poliméricas, fazendo com que a rugosidade sofrer aumento. Um aumento na rugosidade ocasiona mudanças na intensidade do brilho do revestimento^[16].

Caso o revestimento sofra degradação, isso poderá fazer sua superfície ficar mais hidrofílica, ou seja, passará a ter menor ângulo de contato, fazendo o tempo de molhamento e as propriedades de corrosão do sistema serem alteradas^[18]. Com tempo maior de molhamento, isto permitirá que a água penetre no material para causar oxidação interna do material revestido^[19].

A adesão é definida como atração molecular e ligação mecânica entre um revestimento e um substrato^[20]. A adesão é uma propriedade bastante importante para os revestimentos, especialmente para os que tem função de proteger o substrato contra a corrosão. O agente corrosivo mais prejudicial à adesão de revestimentos e adesivos orgânicos é a água^[21].

Más propriedades de barreira ou adesão são de grande importância para a proteção do substrato^[4]. O aço mal protegido apresentará algum grau de enferrujamento, isto mudará seu aspecto visual e diminuirá seu tempo de vida útil.

A mudança na cor nos materiais poliméricos demonstra a evolução da degradação destes. Após os polímeros serem degradados, passam a surgir nestes, alguns compostos que tem como característica a absorção de luz na faixa espectral do amarelo^[23].

O objetivo deste trabalho foi avaliar a degradação de um verniz, a base de resina epóxi, e seu poder de proteção frente a corrosão do aço em diferentes ambientes de degradação acelerada (câmara úmida e QUV).

2 – EXPERIMENTAL

A metodologia foi dividida em três etapas: (1) preparo das amostras, (2) degradação acelerada e (3) análise, conforme o fluxograma na Figura 3.

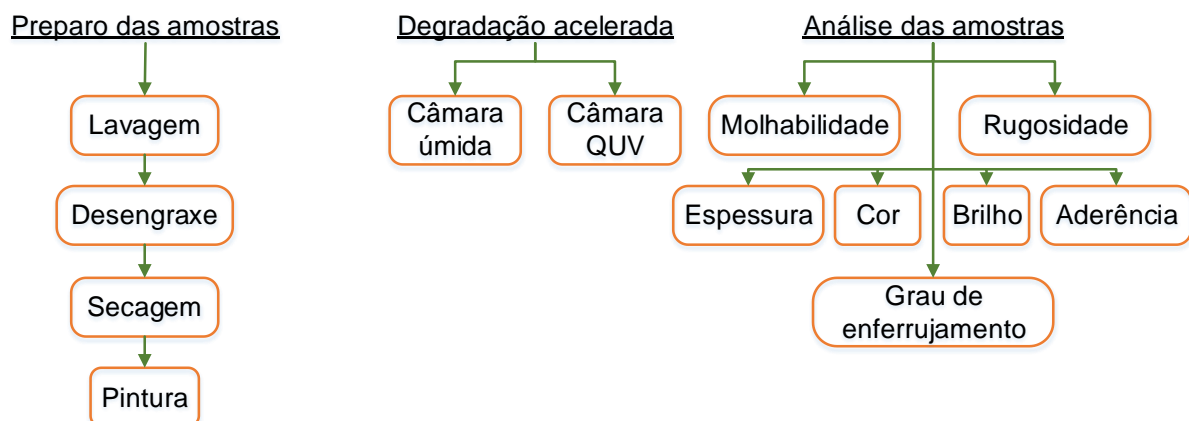


Figura 3: Etapas da metodologia.

2.1 – Preparo das amostras

Primeiramente as amostras de aço (classificado pela ABNT NBR 87:2000 como aço carbono 1006) medindo 100x50x1mm, foram lavadas utilizando água deionizada e detergente para que fossem retiradas sujeiras como pós, óleos e gorduras.

Após a lavagem, as amostras de aço foram mergulhadas, durante 5 minutos, em uma solução desengraxante de saloclean 679 RZ, da Klintex Insumos Industriais Ltda., com concentração de 7% m/m e temperatura de 70°C, para que fossem removidos óleos e gorduras residuais.

Em seguida foi feita a secagem das amostras de aço e, então, feito o processo de pintura, pelo método de imersão, com auxílio de um elevador de amostras (modelo MA 765, marca Marconi). Os parâmetros utilizados no elevador de discos foram: velocidades de descida e subida de 300mm/min e tempo de imersão de 15 segundos.

2.2 – Degradação acelerada

Após 192 horas de cura do verniz, as amostras foram acondicionadas nas câmaras úmida (modelo UK-M-01/2005-S) e QUV (modelo BASS-UUV-SPRAY/2013), ambas da BASS Equipamentos Ltda., para que os vernizes sofressem degradação de forma acelerada durante o tempo de 5000 horas.

A câmara úmida possuía ambiente com 100% de umidade relativa, temperatura de 35 ± 2 °C e a norma utilizada foi a ASTM B117.

A câmara de UV possuía ciclos de 8 horas de UV a 60°C e 4 horas de condensação a 50°C. A norma empregada neste teste foi a norma ASTM G154. As lâmpadas utilizadas foram as UVA-340.

2.3 – Análise das amostras

A espessura foi medida com auxílio de um medidor de espessura modelo DUALSCOPE FMP20 da Fischer. O equipamento mediu a espessura com o método de correntes parasitas, seguindo a norma ASTM D7091-13.

No teste de rugosidade foi utilizado um rugosímetro de superfície digital - modelo rp-200, marca Instrutherm - para avaliar o valor médio dos desvios da superfície (R_a). A rugosidade foi medida conforme a norma NBR ISO 4287.

As medidas de ângulo de contato foram realizadas conforme o método de gato sésil. O equipamento utilizado no teste foi um Phoenix Mini, da Surface Electro Optics Co., Ltda. e o software foi o SurfTens 4.5.

O equipamento utilizado na avaliação da aderência foi um PosiTest AT-A da DeFelsko. As medições foram realizadas conforme a norma ASTM D4541-17. O adesivo para colar o pino foi um epóxi estrutural E-40FL.

O grau de enferrujamento é uma análise visual e varia de Ri_0 a Ri_5 , que indicam uma amostra sem e totalmente enferrujada, respectivamente. A análise foi realizada conforme a norma ABNT NBR ISO 4628-3:2015.

O sistema adotado para medição da cor foi o CIELab, realizado com auxílio de um espectrofotômetro portátil BYK, com iluminante D65 e observador a 10° . A norma utilizada foi a ASTM E313-15. O parâmetro L^* vai da cor branca a preta, o a^* vai do vermelho ao verde e o b^* vai de amarelo ao azul, como mostrado na Figura 4^[23].

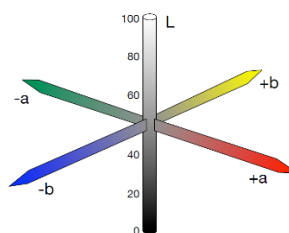


Figura 4: Geometria do sistema de cor CIELab^[23].

O brilho foi medido com o equipamento Micro Tri Gloss, da BYK Gardner, e o ângulo do observador foi de 20°, o qual é indicado para superfícies mais brilhosas. A norma utilizada para este teste foi a ASTM 523.

3 – RESULTADOS

3.1 – Espessura

A degradação, tanto em câmara úmida quanto em câmara QUV, não trouxe mudança significativa na espessura do verniz, como pode ser observado na Figura 5.

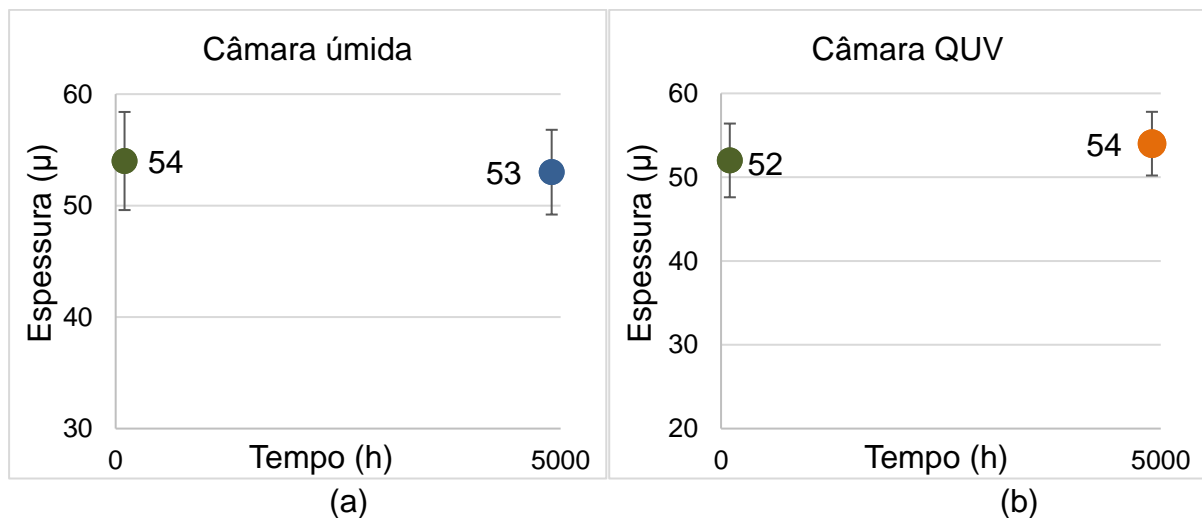


Figura 5: Espessura do verniz a base epóxi antes e após degradação em câmara (a) úmida e (b) QUV.

Esta característica do verniz de manter a espessura constante, mesmo após os testes de degradação, é importante, pois, como dito por Knudsen e Forsgren (2017), a queda nos valores de espessura resultaria em maior facilidade de difusão de substâncias como oxigênio e água, o que acarretaria em diminuição a proteção do substrato.

3.2 – Rugosidade

O verniz epóxi sofreu alteração em sua rugosidade tanto após a degradação em câmara úmida quanto na câmara QUV, como pode ser visto na Figura 6.

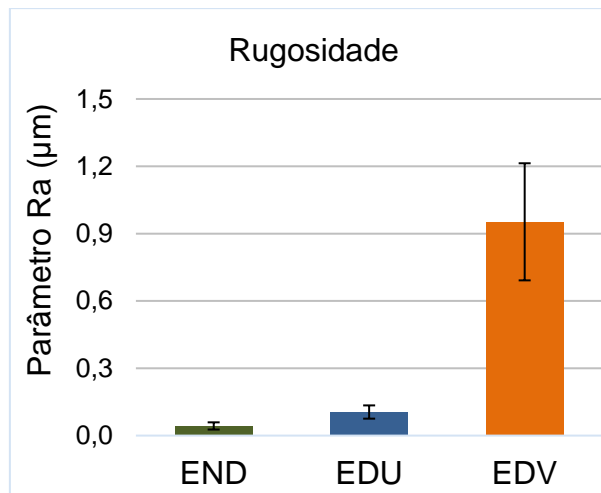


Figura 6: Rugosidade do verniz epóxi não degradado (END), degradado em câmara úmida (EDU) e degradado em câmara QUV (EDV).

O média do parâmetro Ra da superfície do verniz sofreu alteração após o teste de degradação em câmara úmida, passando de 0,043µm iniciais para 0,161µm, ou seja, a rugosidade quase quadruplicou.

Após o teste na câmara QUV a rugosidade também foi ampliada, mas agora de forma mais acentuada, uma vez que a média do parâmetro Ra passa de 0,043µm para 0,953µm, significando um aumento de 22 vezes.

A grande diferença entre o teste em câmara úmida e QUV, é que este último possui radiação UVA incidindo nas amostras. Segundo [6.28], o aumento na rugosidade é um indicativo da quebra de cadeias poliméricas, logo, como o teste na câmara QUV foi mais efetivo no aumento da rugosidade do verniz, então isto pode indicar que a presença da radiação UVA foi, de fato, um fator determinante na quebra das ligações poliméricas.

A Figura 6 também mostra, através do desvio padrão, que o verniz degradado em câmara úmida apresentou rugosidade superficial mais homogênea que o degradado na câmara QUV.

3.3 – Molhabilidade

A Figura 7 deixa claro que a degradação fez a hidrofobicidade do verniz diminuir, fazendo o ângulo de contato decrescer de 81° para 49° e 71°, respectivamente, após os testes nas câmaras úmida e QUV. Estes resultados comprovam que o teste em câmara úmida foi mais agressivo com a molhabilidade, demonstrando comportamento oposto ao que ocorreu com a rugosidade, visto que esta propriedade foi mais afetada no teste na câmara QUV.

O comportamento menos hidrofóbico do verniz é ruim, pois, de acordo com Simpson et al. (1991) e Antunes (2002), isso fará as propriedades de corrosão do sistema serem alteradas, aumento o tempo de molhamento, desta forma, facilitando a difusão da água através do revestimento e causando, por consequência, corrosão do substrato.

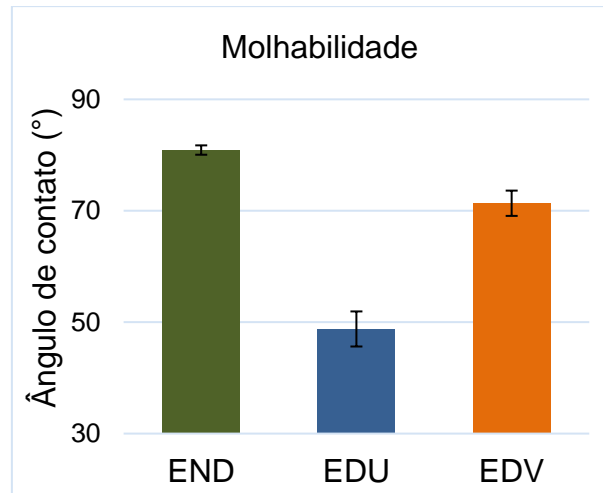


Figura 7: Molhabilidade do verniz epóxi não degradado (END), degradado em câmara úmida (EDU) e degradado em câmara QUV (EDV).

A polaridade dos materiais é uma propriedade que afeta bastante o ângulo de contato. Uma vez que o verniz sofreu degradação, como mostram os testes de rugosidade supracitados, então sua polaridade superficial sofreu modificação e isto deve ter sido um dos fatores a auxiliar na redução do ângulo de contato.

3.4 – Aderência

A degradação acelerada nas câmaras úmida e QUV levou a aderência do verniz a superfície do aço a ter uma queda bastante acentuada, conforme visto na Figura 8.

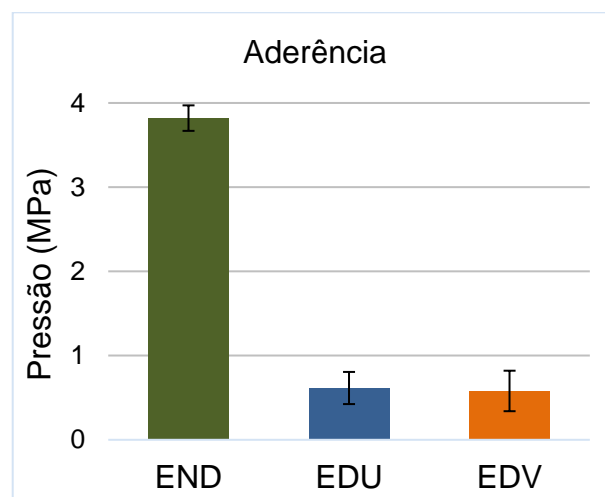


Figura 8: Aderência do verniz epóxi não degradado (END), degradado em câmara úmida (EDU) e degradado em câmara QUV (EDV).

A diminuição da hidrofobicidade do verniz – que faz com que a água fique sobre o revestimento por mais tempo – pode ter agravado este decréscimo tão acentuado na aderência, dado que, segundo Simpson et al. (1991), a água é o agente que mais prejudica a aderência de revestimentos orgânicos.

Devido a aderência do verniz ter diminuído, logo, de acordo com Knudsen e Forsgren (2017), a proteção do substrato, neste caso o aço, ficará comprometida.

3.5 – Grau de enferrujamento

A resultados da Tabela 1 indicam que a proteção do verniz frente a corrosão do aço foi eficaz, pois o grau de enferrujamento, após os testes nas câmaras úmida e QUV, foi Ri0.

Tabela 1: Grau de enferrujamento das amostras de aço revestidas com verniz a base epóxi degradadas em câmara úmida e QUV.

Tempo de degradação (horas)	Grau de enferrujamento	
	Câmara úmida	Câmara QUV
0	Ri0	Ri0
3000	Ri0	Ri0
5000	Ri0	Ri0

Os resultados do parâmetro a^* , mencionados a seguir no subtópico 3.6, corroboram os resultados do grau de enferrujamento, pois caso tivesse aparecido produtos de corrosão no aço, ou seja, ferrugem, então os valores de a^* sofreriam aumento significativo.

3.6 – Cor

Os parâmetros L^* (branco-preto), a^* (verde-vermelho) e b^* (azul amarelo) das amostras de epóxi não-degradadas (END) não indicam necessariamente a cor do verniz, mas sim a cor do aço, visto que o aço que possui cor cinza e o verniz é inicialmente transparente.

Após a degradação, nas câmaras úmida e QUV, o aço permaneceu com grau 0 (zero) de corrosão, como observado na Tabela 1, desta forma, as mudanças na cor das amostras ocorreram, majoritariamente, em virtude da variação de cor do verniz e não do aço.

O parâmetro a^* (verde-vermelho) do verniz foi pouco afetado após os testes nas câmaras úmida e QUV depois das 3000h e 5000h, como fica evidenciado nos gráficos das Figuras 9a e 9b.

A variação do parâmetro b^* (azul-amarelo) das amostras acondicionadas em câmara úmida, mostrada na Figura 9a, foi pouco expressiva, passando de 2 para 4,54 após 3000 horas e, em seguida, de 4,54 para 6,52 após 5000 horas de degradação. Esta mudança no parâmetro b^* causou um leve amarelamento das amostras, sendo este amarelamento tão irrisório que ficou quase imperceptível a olho nu, como pode ser observado nas Figuras 11b e 11c.

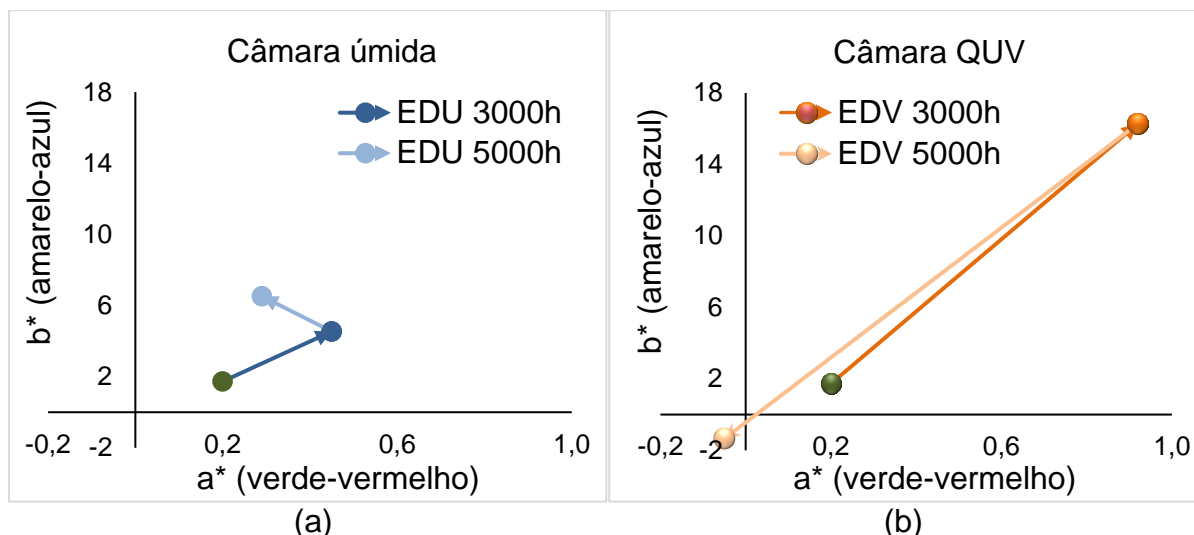


Figura 9: Variação de cor do verniz epóxi envelhecido durante 3000 e 5000 horas em (a) câmara úmida (EDU) e (b) câmara QUV (EDV).

O teste na câmara QUV alterou de modo mais significativo o parâmetro b^* das amostras, fazendo-o passar de 2 para 16,3 após 3000 horas de degradação, deixando-as com uma cor amarelada, como observado na Figura 11e. Após as 5000 horas de degradação, o parâmetro b^* muda de 16,3 para -1,35, ou seja, deixa de tender ao amarelo e passa a tender ao azul, como mostra a Figura 11f.

O parâmetro L^* (também chamado de luminosidade e que varia entre branco e preto) das amostras não degradadas é igual 65,8, como mostrado nas Figuras 10a e 10b, ou seja, cor acinzentada.

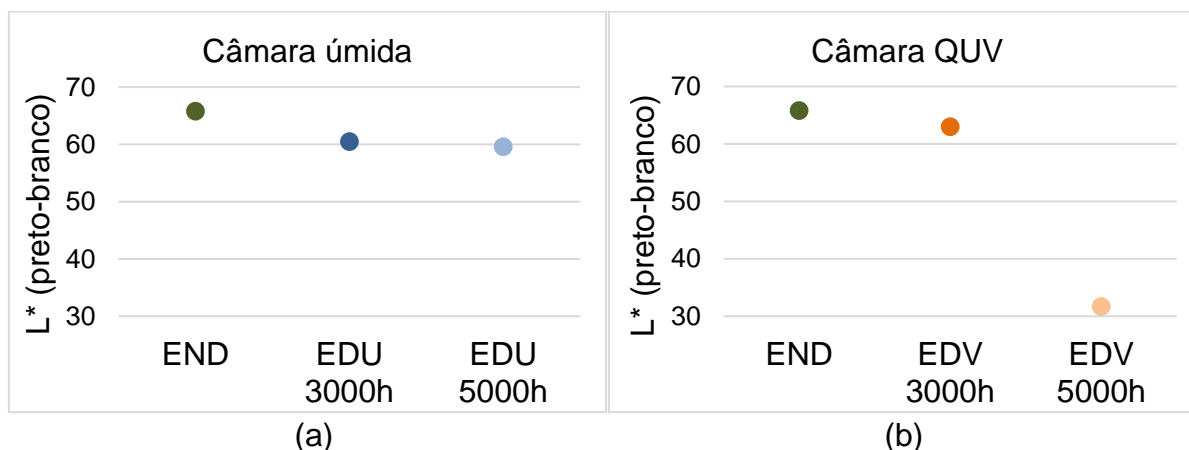


Figura 10: Variação do parâmetro L^* (branco-preto) do verniz epóxi degradado nas câmaras (a) úmida e (b) QUV.

O valor de L^* das amostras degradadas em câmara úmida após as 3000 e 5000 horas de degradação caem, respectivamente, para 60,5 e 59,6, como indicado na Figura 10a. Estes resultados indicam que a luminosidade das amostras regrediu, mas não de forma tão significativa. Isto pode ser confirmado com as imagens das Figuras 11a, 11b (3000h) e 11c (5000h).

A Figura 10b mostra que após 3000 horas degradando na câmara QUV a luminosidade das amostras diminui sutilmente, passando 65,8 para 63, demonstrando, assim, que o teste na câmara QUV estava sendo menos agressivo com a luminosidade. No entanto, após 5000 horas o valor de L^* das amostras cai, de forma bastante abrupta, para 31,7, deixando-as bastante escuras. Estas

variações de luminosidade podem ser comprovadas observando as Figuras 11d, 11e e 11f.

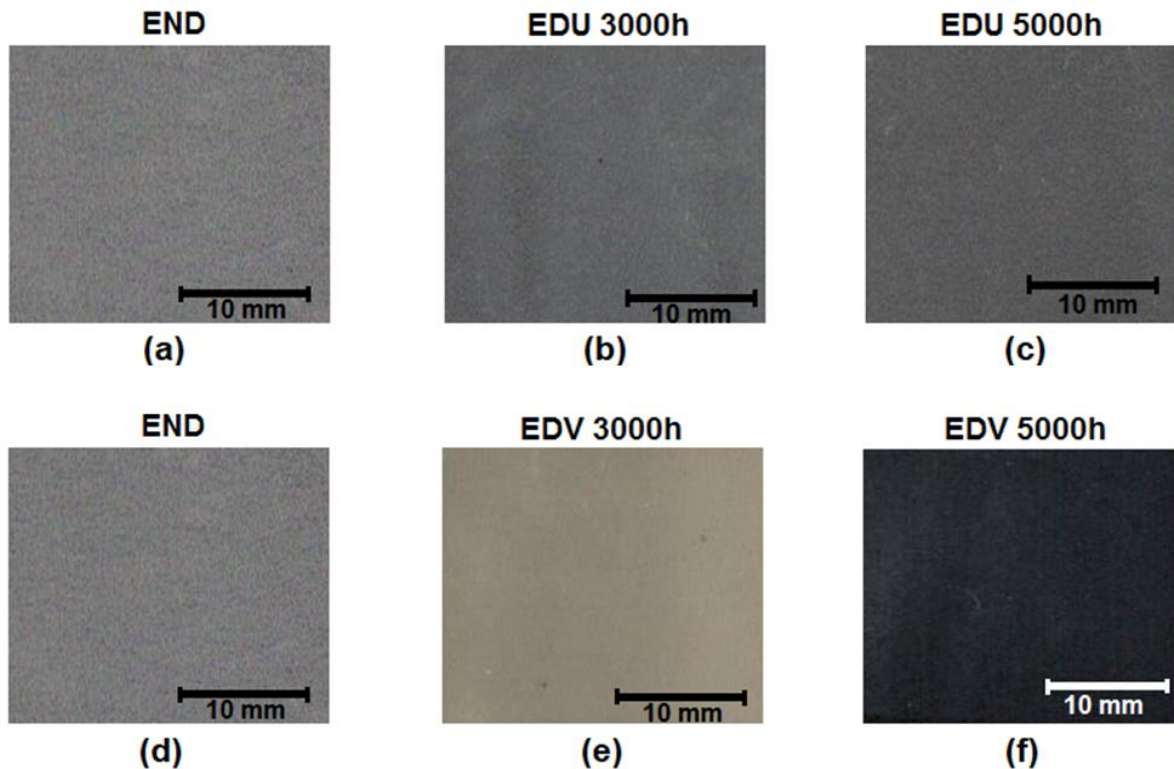


Figura 11: Cor do sistema aço-verniz epóxi ((a) e (d)) não-degradado, degradado em câmara úmida após (b) 3000h, (c) 5000h e degradado em câmara QUV após (e) 3000h e (f) 5000h.

3.7 – Brilho

Os resultados na medição de brilho, apresentados na Figura 12, mostram que a degradação na câmara QUV afetou o brilho de forma mais acentuada, passando de 87 para 49 unidades de brilho.

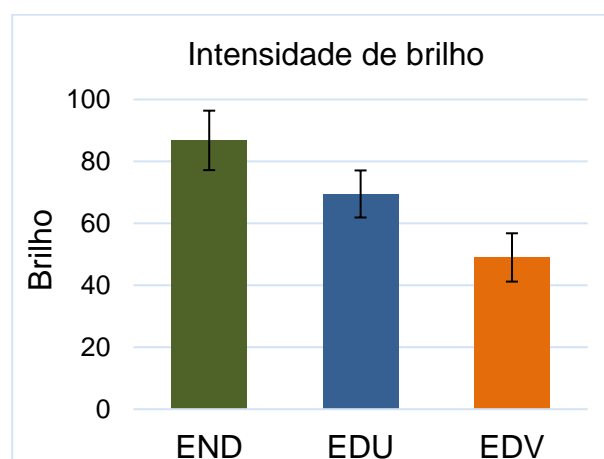


Figura 12: Intensidade do brilho do verniz epóxi não-degradado (END), degradado em câmara úmida (EDU) e QUV (EDV).

A mudança causada pela câmara QUV na rugosidade das amostras foi mais brusca, isto fez a luz refletida pela superfície do verniz sofrer maior espalhamento, causando esta maior variação na intensidade de brilho.

4 – CONCLUSÃO

Das propriedades avaliadas, apenas a espessura e o grau de corrosão não sofreram variações após a degradação após os testes das câmaras úmida e QUV.

A adesão foi a única propriedade avaliada que variou de forma semelhante após as 5000 horas de teste nas câmaras.

O teste na câmara úmida afetou a molhabilidade do verniz de forma mais intensa, deixando sua superfície altamente hidrofílica. Isto favoreceu a difusão de água e outras substâncias através do verniz, diminuindo, assim, a proteção ao aço.

Em contrapartida, as propriedades de rugosidade, cor e brilho do verniz foram alteradas de forma mais acentuada na câmara QUV. Isto mostra que os raios UV devem, de alguma forma, influenciar na degradação de revestimentos orgânicos a base de resina epóxi.

Em face do teste em câmara QUV ter afetado a cor do verniz de forma tão acentuada, então, talvez, o ideal seja manter os materiais pintados com revestimentos à base de resina epóxi em locais com pouca ou nenhuma incidência de raios UV, uma vez que estes trarão enorme prejuízo estético a material revestido.

Agradecimentos

Agradecemos a bolsa de pesquisa fomentada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- 1 – Pilcher GR, Rezai PM. The Global paint and coatings industry. European Coatings. 2018 [Acesso em 22/07/2019];8-14. Disponível em: https://chemquest.com/wp-content/uploads/2018/10/ECJ_10_2018_Market_Report_ChemQuest_Pilcher.pdf
- 2 – Goldschmidt A, Streitberger HJ. Basics of coating technology. 2 ed. Hannover: Vincentz Network; 2007.
- 3 – Callister WD, Rethwisch DG. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução. 9 ed. New York: LTC Editora; 2016.
- 4 – Knudsen OØ, Forsgren A. Corrosion control through organic coatings. 2 ed. Boca Raton. CRC Press; 2017.
- 5 – Tator KB. Organic Coatings and Linings. In: Cramer SD, Covino BS. (eds.). Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection. Geauga County, ASM International. 2003: p. 814-816.
- 6 – Leidheiser H. Corrosion of Painted Metals - A Review. Corrosion. 1982 [Acesso em 20/05/2019];38(7):374-383. Disponível em: <https://corrosionjournal.org/doi/pdf/10.5006/1.3581899>.
- 7 – Wicks ZW, Jones FN, Nichols ME, Pappas SP. Organic coatings: Science e Technology. 3ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc; 2007.
- 8 – Fazenda JMR. Tintas e Vernizes - Ciência e Tecnologia. 4 ed. São Paulo: Blücher; 2005.
- 9 – Schweitzer PA. Paint and Coatings Applications and Corrosion Resistance. York: CRC Press; 2006.

- 10 – Boyle MA, Martin CJ, Neuner JD. Epoxy Resins. In. Miracle DB, Donaldson SL. (eds.). Composites. 10 ed. Ohio: ASM International; 2001:78-89.
- 11 – Gibson G. Epoxy Resins. In. Gilbert M. (ed.). Brydson's Plastics Materials. 8 ed. Butterworth-Heinemann; 2017:773-797.
- 12 – Massingill JL, Bauer RS, Epoxy resin. In. Craver CD, Carraher CE (eds.). Applied Polymer Science: 21st Century. 1 ed. Oxford: Elsevier; 2017. 393-424.
- 13 – Ashcroft WR. Curing agents for epoxy resins. In: Ellis B. Chemistry and Technology of Epoxy Resins. 1 ed. Dordrecht: Springer; 1993. 37-71. [Acesso em 24/07/2019]. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-011-2932-9.pdf>
- 14 – Carlos A. Giudice y Andrea M. Pereyra. Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes, formulación, manufactura y calidad. 1 ed. Buenos Aires: Edutecne; 2009
- 15 – Fragata F, Amorim CC, Ordine AP. Desempenho de tintas de acabamento frente às radiações ultravioleta, UVA e UVB, e condensação de umidade. Corros. Prot. Mater., 2010;29(3):91-98.
- 16 – Bruno GU. Avaliação da degradação natural e acelerada de revestimentos orgânicos [Dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; 2018.
- 17 – Rabello M. Aditivção de polímeros. São Paulo: ArtLiber Editora; 2000.
- 18 – Simpson CH, Ray CJ, Skerry BS. Accelerated corrosion testing of industrial maintenance paints using a cyclic corrosion weathering method. Journal of Protective Coatings e linings. 1991:1-9.
- 19 – Antunes RA. Correlação entre ensaios acelerados e ensaios de campo em corpos-de-provas de aço carbono e aço patinável, sem e com revestimento [Dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo - USP; 2002.
- 20 – American Society for Testing and Materials. D3359–17. Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test. New York. ASTM; 2017
- 21 – Alan DW, Nicholson JW, Prosser HJ. Surface coatings. 1 ed. New York: Elsevier; 1988.
- 22 – Klein FR. Estudo da degradação térmomecânica e fotooxidativa de poli(acrilonitrila-butadienoestireno) para fins de reciclagem primária. [Dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC; 2009.
- 23 – Vik M. Colorimetry in Textile Industry. 1 ed. Liberec: VÚTS, a.s.;2017.