

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Aproveitamento de resíduos da indústria do papel como carga em um verniz epóxi bicomponente aplicado sobre aço carbono
Glaiton Tuzzin^a, Lisete Cristine Scienza^b

Abstract

The reuse of industrial wastes has encouraged studies of reuse and recycling concerning economic and environmental aspect. In this study, waste of the paper industry was used as filler in a commercial paint. The residues were dried, crushed, sieved and used as a filler in a base epoxy lacquer at concentrations of 0%, 5% and 10% (wt/wt). The coatings were applied on carbon steel panels and evaluated by adhesion, flexibility, impact resistance and gloss measurement, scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The corrosion performance was evaluated by exposure to the moisture chamber and immersed in sodium chloride 3.5% (wt/v). It was found that the waste has significant amount of cellulose. The addition of the filler increased the adhesion of the coating to the substrate and did not affect the flexibility of the film, but the impact strength decreased with increase in the percentage of charge, as well as the brightness. The exposure to saturated humidity showed several corrosion points in the coating/substrate interface in all samples due micro defects present in the coatings. In the immersion tests the formation of corrosion products on the surface was not observed. This waste was considered a good alternative to be used as as filler in liquid paints when a good adhesion is desired.

Keywords: Epoxy paint, waste, cellulose, carbon steel, corrosion.

Resumo

A reutilização de resíduos industriais tem incentivado estudos de reuso e reciclagem sobre os aspectos econômico e ambiental. Neste estudo, um resíduo da indústria de papel foi utilizado como carga em uma tinta comercial. O resíduo foi seco, moído, peneirado e usado como carga em uma tinta base epóxi nas concentrações de 0%, 5% e 10% (m/m). Os revestimentos foram aplicados em painéis de aço de carbono e avaliados por ensaios de adesão, flexibilidade, resistência ao impacto, brilho, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). O desempenho à corrosão foi verificado em câmara úmida e imersão em cloreto de sódio a 3,5 % (p/v). Verificou-se que os resíduos têm quantidade significativa de celulose. A adição da carga aumentou a aderência do revestimento ao substrato e não afetou a flexibilidade da película, mas a resistência ao impacto diminuiu com o aumento da percentagem de carga, bem como o brilho. A exposição à umidade saturada mostrou vários pontos de corrosão na interface revestimento/substrato em

^a Engenheiro Químico – Estudante de pós-graduação - Universidade de Caxias do Sul

^b PhD - Professor adjunto - Universidade de Caxias do Sul

todas as amostras de micro defeitos devidos presentes nos revestimentos. No ensaio de imersão a formação de produtos de corrosão na superfície não foi observada. Este resíduo foi considerado uma boa alternativa para ser usado como carga em tintas líquidas quando uma boa adesão é desejada.

Palavras-chave: Tinta epóxi, resíduos, celulose, aço carbono, corrosão.

Introdução

A indústria de tintas é um setor altamente dinâmico em termos de melhorias nas propriedades e formulações de seus produtos, consumindo uma grande variedade de matérias-primas. Na formulação de uma tinta a quantidade de cargas minerais adicionadas pode variar de 20% até 50%, dependendo da aplicação requerida e qualidade desejada do produto final.

Nas tintas à base de água as formulações apresentam nível máximo de adição de cargas, que quase sempre requerem um pré-tratamento antes de serem adicionadas ao restante da composição. Dentre os aditivos minerais mais utilizados estão o dióxido de titânio, carbonato de cálcio, feldspato, quartzo, barita e minerais argilosos (utilizados como espessantes). O dióxido de titânio, apesar de muitas vezes indispensável na formulação, é caro e de difícil obtenção. O carbonato de cálcio pode melhorar a distribuição das partículas de dióxido de titânio no meio devido à carga positiva adquirida em relação à negativa do dióxido de titânio e ao maior tamanho que o anterior, ocorrendo o fenômeno chamado heterocoagulação (1).

De acordo com Astruc et al. (2), além de baratear o custo de produção, as cargas, por serem inertes no meio, são também adicionadas com a finalidade de proporcionar volume ao filme formado. Outras funções incluem o ajuste das propriedades reológicas, mecânicas e de brilho dos revestimentos. O caulim, um silicato hidratado de alumínio, submetido a um pré-tratamento com poliacrilato de sódio e cloreto dimetildioctadecilamônio pode ser incorporado a uma matriz epóxi EDGBA (éter diglicidílico do bisfenol A) em quantidades de até 33% (v/v), observando-se uma boa dispersão e cura completa.

Foix et al. (3) combinou o uso do mineral sepiolita (silicato hidratado de magnésio) com poliéster alifático hiper-ramificado como cargas em sistemas epóxi/anidrido. A sepiolita apresenta morfologia monocristalina e alta área superficial, além de alta densidade de grupos silanol, o que permitiu sua modificação com glicidilsilano para introduzir em suas cavidades radicais orgânicos e melhorar sua interação com resinas epoxídicas. A adição de até 3% de sepiolita melhorou a resistência ao impacto e a plasticidade do revestimento, apesar de reduzir a taxa de polimerização e piorar microdureza.

Algumas tintas requerem adição de cargas especiais devido ao seu propósito. As tintas usadas em fachadas de prédios de países com clima úmido, em zonas portuárias, bem como cascos de navios, são suscetíveis ao crescimento de microorganismos fototróficos, cianobactérias e algas, causando desfiguração, retenção de água e crescimento de colônias destes seres. Os agentes biocidas mais comuns utilizados em tintas são sais de cobre, óxido de zinco, piritionato de zinco, diclofluamida, dentre outros vendidos com marcas próprias.

As cargas minerais adicionadas conferem boas propriedades e diminuem a quantidade utilizada destes insumos, porém, como o petróleo, estas também fazem parte dos recursos não-renováveis do planeta. A crescente escassez destes recursos é um dos fatores que

incentivou a comunidade científica a encontrar soluções mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis para esses problemas (4).

A utilização de materiais reciclados também encontra aplicações em tintas. Bayley Associates (5) utilizaram vidro moído reciclado como carga em tintas elastoméricas para revestimentos de telhados, em substituição à sílica natural presente em sua composição. O pó de sílica contém uma estrutura cristalina que contribui para o aparecimento de doenças pulmonares e é suspeito de ser cancerígeno. Em contraste, o vidro tem uma estrutura amorfa e, mesmo finamente moído, não causa câncer. A adição de vidro moído finamente dividido (11% (m/m)) na tinta proporcionou uma grande flexibilidade, alta refletância e impermeabilidade do revestimento quando comparado às tintas convencionais existentes, provando ser um substituto para a sílica.

A utilização de fibras naturais como cargas em matrizes de materiais compósitos vem sendo estudada há décadas. Estas fibras, quando comparadas às inorgânicas, como a fibra de vidro e a fibra de carbono, apresentam vantagens como abundância e baixo custo, biodegradabilidade, baixos danos à saúde e baixa densidade, além de não serem emissoras de gases formadores do efeito estufa quando processadas. Quando incorporadas em compósitos conferem elevada resistência e rigidez (6). Um exemplo disto é a adição de fibras de sisal em matrizes epóxi numa tentativa de substituir a fibra de vidro que, além de cara, tem uma destinação final problemática. Estes compósitos contendo fibras naturais vêm tendo um crescimento acima de 20% ao ano na indústria automobilística e a maior razão é a vantagem técnica da alta resistência ao impacto (7).

As fibras naturais em compósitos são suscetíveis à contaminação e deterioração por fungos devido as suas características hidrofílicas. Esta absorção de umidade pode causar variações na geometria do compósito e enfraquecer a aderência interfacial. Para melhorar a resistência à água das fibras, tratamentos químicos e físicos são empregados. Uma modificação química pode alterar permanentemente a natureza das paredes celulares das fibras, tornando-as hidrofóbicas. Esta modificação pode ser feita através de um agente de acoplamento, que cria uma ponte química entre a matriz e o reforço melhorando a adesão interfacial entre estes. Os agentes de acoplamento mais utilizados para esta finalidade são os silanos, que são compostos derivados do silício e possuem grupos bifuncionais com capacidade de se acoplar às duas fases, formando uma ponte entre elas (6).

A destinação final de resíduos oriundos da fabricação de papel a partir de fibras virgens ou recicladas ainda não encontrou uma aplicação realmente satisfatória, tanto no aspecto ambiental como econômico. O objetivo do presente estudo consistiu em avaliar o efeito da incorporação destes resíduos nas propriedades físicas, morfológicas e de desempenho à corrosão de uma tinta comercial base epóxi.

Metodologia

Materiais

Foram empregados os seguintes materiais e reagentes: resíduos de indústria de papel, painéis de aço carbono AISI 1010 com 70 mm x 120 mm x 0,75 mm, tinta líquida bicomponente base epóxi Zynamyx® ZM444.01 Clear Epoxi PPG, endurecedor Delfleet® F366.11 PPG, cloreto de sódio Nuclear p.a., água destilada e etanol Simoquímica.

Métodos

Para a preparação dos resíduos provenientes da indústria papeleira, foram coletadas amostras recém expelidas pela prensa desaguadora de lodo da empresa. Após esta etapa, o material foi seco no laboratório da empresa em estufa marca Quimis por 3 horas a 103°C, conforme procedimento adotado na empresa para determinação do teor de umidade do produto final (papel). Este procedimento foi realizado por 5 vezes, em diferentes dias, sendo posteriormente realizada a mistura de todas as amostras de resíduo coletadas.

Realizou-se a moagem do resíduo seco em um moinho analítico IKA® A11 Basic. Para o peneiramento, o material recém-moído foi submetido a uma nova secagem em estufa marca De Leo a 60 °C por 4 h, pois visualmente o resíduo mostrou-se ser altamente higroscópico. Utilizou-se somente o material que passou pela peneira de 200# (partículas menores que 0,075 mm).

Foram consideradas as adições de 0%, 5% e 10% (m/m) de resíduo na tinta, sendo a dispersão realizada com o auxílio de um agitador mecânico da marca Fisatom, com impelidor tipo hélice naval de 3 pás, por 5 min a 800 rpm, seguidos de 20 min a 2000 rpm.

Após 48 horas da preparação das tintas adicionou-se catalisador Delfleet®F366.11, na proporção recomendada pelo fabricante de 3:1 (três partes de tinta para uma de catalisador e promoveu-se agitação manual com bastão de vidro por alguns minutos, seguido de uma agitação com ultrassom em um aparelho da marca Unique modelo USC 700, para remoção de bolhas de ar presentes. As tintas foram aplicadas nos painéis de aço carbono previamente preparados (operações de desengraxe, lixamento, novo desengraxe com solvente orgânico e secagem com ar frio), utilizando-se para isso um suporte de vidro para fixação do painel e uma lâmina de vidro para o espalhamento da tinta. Este método foi escolhido para assegurar uma melhor uniformidade da espessura do revestimento. A cura foi realizada por 72 h à temperatura ambiente.

A medida da espessura média dos revestimentos com auxílio do aparelho Elcometer 345 para metais ferrosos obtendo-se uma espessura média de 202,5 μm $\pm$ 56,8 μm .

A análise de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de uma amostra de cada grupo dos painéis foi realizada com o equipamento Thermo Scientific Nicolet iS10, utilizando a técnica de ATR com cristal de diamante, na faixa de comprimento de onda de 400 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} . O resíduo foi caracterizado separadamente pelo método com pastilhas de KBr.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) foi realizada com emprego do microscópio eletrônico da marca Shimadzu modelo SSX- 550. Todas as amostras receberam uma película de ouro metálico em sua superfície mediante a técnica *surface coating by sputtering*.

O ensaio de aderência pelo método da fita adesiva foi realizado segundo a norma ASTM D 3359 – Método B.

O ensaio de flexibilidade foi realizado segundo a norma ASTM D522-93a), o qual consistiu em provocar uma deformação da amostra por flexão, utilizando-se o mandril de rolo cônico da marca BYK Gardner.

O ensaio de resistência ao impacto foi realizado seguindo procedimentos da norma ASTM D 2794. Utilizou-se o equipamento Heavy-Duty Impact Tester da BYK Gardner, empregando a queda livre de uma massa de 1 kg. Os testes foram realizados nas alturas de 50 cm e 75 cm, avaliando-se as deformações geradas no impacto direto e reverso da superfície pintada.

A análise de brilho foi realizada com um medidor de brilho GM-268 PLUS da marca Konica Minolta, em ângulos de 20°, 60° e 85°. Foram efetuadas quatro leituras para cada ângulo em cada amostra, sendo as medidas foram expressas em Unidades de Brilho (UB).

O ensaio de umidade saturada para avaliar as chapas quanto ao desempenho à corrosão foi realizado em conformidade com a norma ASTM D2247, em uma câmara fechada marca Bass modelo UK-01, observando as seguintes condições consideradas críticas: temperatura da câmara de 38 °C $\pm$ 2 °C, condutividade da água inferior a 5 μ S/cm e amostra posicionada em ângulo de aproximadamente 15° em relação à vertical. As amostras tiveram as bordas e furo protegidos com cera de abelha e foi realizada uma incisão em forma de “X” com um instrumento apropriado para verificação da posterior migração subcutânea. O tempo de duração do ensaio foi de 240 h, sendo as amostras foram periodicamente avaliadas quanto à corrosão e ao grau de empolamento (quando aplicável), segundo requisitos da norma ASTM D714. Ao final do ensaio procedeu-se ao deslocamento do revestimento com auxílio de um instrumento plano no sentido perpendicular à incisão para verificação da migração subcutânea. Posteriormente as amostras foram limpas, secas e armazenadas. O ensaio foi conduzido com as amostras em triplicatas.

Os ensaios de imersão em solução de NaCl 3,5% (m/v) para caracterização quanto à corrosão foram realizados com painéis nas dimensões aproximadas de 30 mm x 70 mm x 0,75 mm tiveram a área de teste delimitada em 6 cm², com o emprego de cera de abelha nas demais áreas. O ensaio foi conduzido em duplicatas considerando amostras com e sem defeito (incisão longitudinal de 2 cm foi efetuada com um instrumento cortante). Nas amostras sem incisão procedeu-se o monitoramento do potencial de circuito aberto com um multímetro marca Minipa modelo ET-1600 e um eletrodo de referência de calomelano (ECS) saturado com KCl.

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta os espectros obtidos na análise de FTIR. A caracterização do resíduo é mostrada na Figura 1(a). A banda observada entre 3600 cm^{-1} e 3100 cm^{-1} pode estar associada à elongação do grupo O-H da água remanescente no resíduo, mesmo após a secagem. Porém, este resíduo possui grande quantidade de celulose e, segundo Ciolacu et al. (8), o pico de transmitância nesta mesma região é relativo à elongação da hidroxila presente nas moléculas de celulose, dando informações sobre as ligações de hidrogênio presentes. A presença de celulose ainda é confirmada pela vibração das ligações C-H presentes no espectro em 2900 cm^{-1} . O pico próximo a 1500 cm^{-1} é devido à vibração de flexão da ligação C-H em 1450 cm^{-1} , fortemente acentuado pela presença de ligações H-C-H. Próximo a 900 cm^{-1} , ocorre a elongação das ligações C-O-C atribuídas aos grupamentos glicosídicos da celulose. Confirma-se, como era esperado, grande presença celulose nas amostras de resíduos.

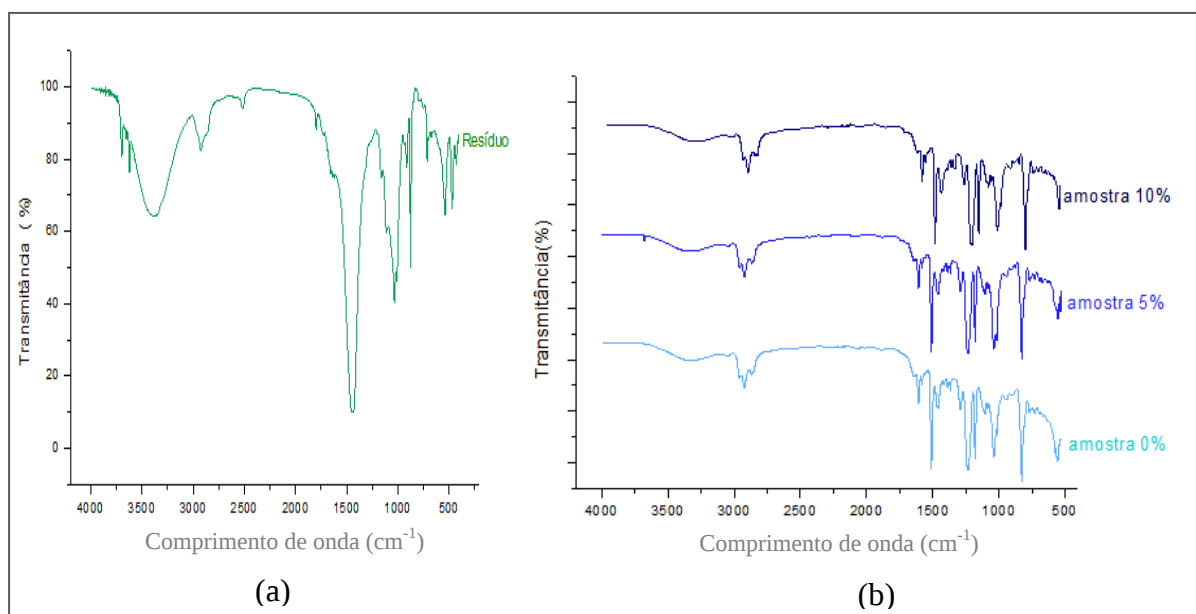


Figura 1. Análise de FTIR para (a) caracterização do resíduo e (b) caracterização dos revestimentos

Nos espectros obtidos dos revestimentos observa-se que os picos de transmitância coincidem para todas as amostras, evidenciando que o resíduo, independente da concentração, não alterou as bandas características da resina empregada. Portanto, o revestimento pode ser caracterizado de forma análoga à tinta pura. Os comprimentos de onda típicos onde ocorrem picos de transmitância, bem como suas respectivas atribuições para a resina EDGBA empregada, segundo Gonzáles et al. (9), podem ser atribuídos da seguinte forma: 3500 cm^{-1} à elongação da ligação O-H, 3057 cm^{-1} à elongação da ligação do C-H do anel aromático, 2965 cm^{-1} a 2873 cm^{-1} à elongação do C-H do CH_2 e CH aromáticos e alifáticos, 1608 cm^{-1} ao C=C dos anéis aromáticos, 1509 cm^{-1} à elongação da ligação C-C dos aromáticos, 1036 cm^{-1} à ligação C-O-C dos ésteres, 915 cm^{-1} e 831 cm^{-1} à elongação da ligações C-O e C-O-C, respectivamente, do grupo oxirano, e 772 cm^{-1} correspondente às oscilações dos grupos CH_2 .

A Figura 2 mostra as imagens de MEV obtidas para os revestimentos aplicados em aço carbono.

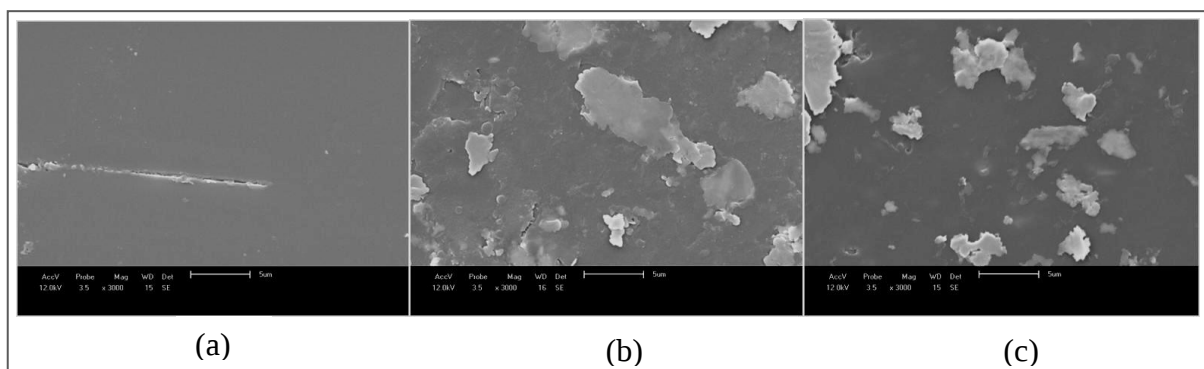


Figura 2 – MEV da superfície do aço carbono pintado com tinta epóxi contendo (a) 0%, (b) 5% e (c) 10% de carga (Magnitude: 3000X).

Para a tinta sem carga observa-se uma película lisa com uma pequena descontinuidade, podendo ser em decorrência do processo de pintura. Alguns pequenos pontos também são vistos, provavelmente sujidades presentes no equipamento empregado durante a pintura. Na Figura 3(b), para a amostra com 5% de carga, vê-se claramente a presença de partículas do resíduo, de aspecto irregular e dispersas aleatoriamente, com aparência semelhante a pedaços de papel. Parte delas está submersa na película, e o restante aflora à superfície. A maior quantidade de carga adicionada faz com que mais partículas fiquem sobre a superfície da película, deixando-a com mais imperfeições aparentes.

Os ensaios de aderência dos revestimentos mostraram boa adesão de todas as amostras no substrato metálico para todas as amostras. Isto mostra que a característica adesiva da resina não foi prejudicada pela incorporação do resíduo, recebendo a classificação “5B” (0 % de área deslocada) de acordo com a norma empregada.

Após o ensaio de flexibilidade, a verificação visual a olho nu e também com o auxílio de uma lupa não detectou qualquer sinal de ruptura ou trinca em nenhum dos painéis, evidenciando uma boa fixação dos revestimentos no metal da base, além de boa coesão entre as moléculas das películas das tintas aplicadas.

Os resultados do ensaio de resistência ao impacto são apresentados na Tabela 1, onde observa-se que a resistência ao impacto diminui quando a quantidade de resíduo adicionado na matriz aumenta. Este efeito é ainda mais evidente na análise do impacto reverso. A diminuição da resistência ao impacto pode ser resultado da natureza química distinta dos componentes do compósito, onde a matriz epóxi é hidrofóbica e o aditivo de carga é hidrofílico, não havendo boa coesão entre ambos. Segundo Bonse e Larroza (10), esta afinidade é necessária para a transferência de esforços da matriz para a carga que, quando deficiente, faz com que a interface matriz/carga funcione como concentradora de tensões. Assim, um aumento no teor de resíduo adicionado resultaria em uma quantidade maior de pontos concentradores de tensão reduzindo a resistência ao impacto.

Tabela 1 - Resultados do ensaio de impacto quanto à alteração do filme aplicado

Amostra	Altura (m)	Impacto direto	Impacto inverso
0%	0,50	Sem alteração	Sem alteração
	0,75	Sem alteração	Ruptura
5%	0,50	Sem alteração	Ruptura
	0,75	Ruptura	Ruptura
10%	0,50	Ruptura	Ruptura
	0,75	Ruptura	Ruptura

O resultado do ensaio de impacto mostrou-se antagônico em relação ao ensaio de flexibilidade, que evidenciou boa coesão entre os componentes do revestimento. Contudo, deve ser levado em consideração que o ensaio de flexibilidade submeteu o revestimento a um esforço contínuo e constante, de modo que seus constituintes tiveram tempo suficiente para um rearranjo estrutural e manutenção das propriedades de coesão/adesão da película. No ensaio de impacto, regiões pontuais foram submetidas a grandes variações de energia em tempos muito curtos que, aliado aos possíveis pontos de tensão existentes nas interfaces matriz/carga, provocou a ruptura do revestimento. Associado a este fator pode-se considerar o fato de que o resíduo adicionado contém cargas minerais provenientes do processo produtivo do papel, o que torna a película mais frágil.

Os resultados da análise de brilho para todos os ângulos e amostras são mostrados na Figura 3.

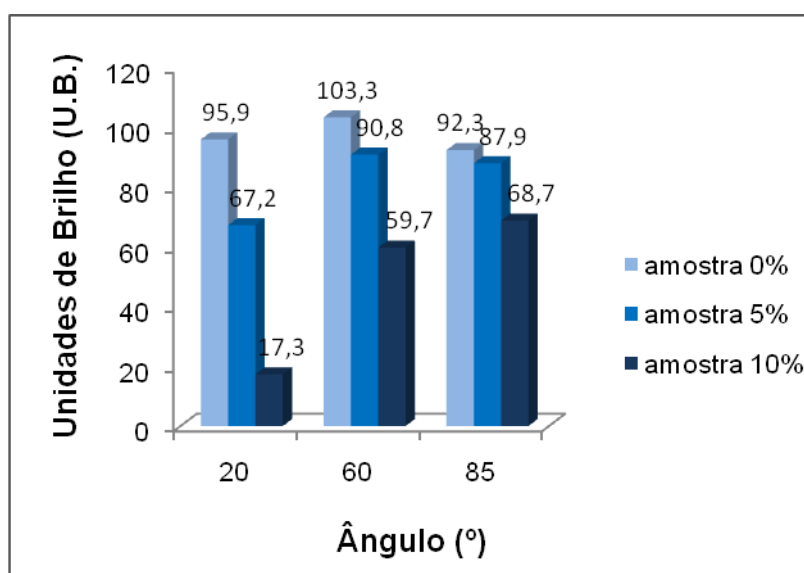
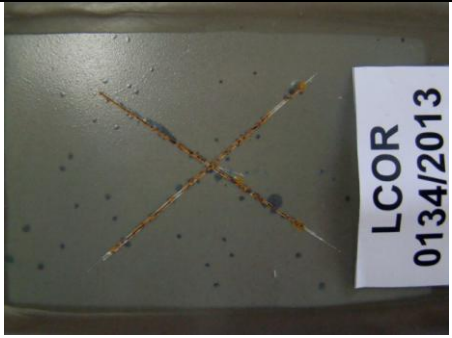


Figura 3 - Medidas de brilho obtidas nos painéis pintados com tinta epóxi contendo 0%, 5% e 10% (m/m) de carga.

Observa-se na Figura 3 que, para todos os ângulos, o brilho decresceu conforme o aumento da quantidade de carga adicionada. Aditivos de carga muitas vezes são adicionados com o intuito de diminuir o brilho em certos tipos de tintas. As tintas com grande percentual de pigmentos também podem ter seu brilho reduzido. Quando a tinta que tem pouco pigmento ou carga fica seca, sua superfície é lisa porque estes permanecem submersos na resina. Já quando estas partículas existem em grande concentração, essas partículas afloram na superfície que fica microscopicamente rugosa, uma vez que não conseguem ser cobertas pela resina. Em nosso estudo, tal efeito foi evidenciado nas imagens de MEV, onde foram observadas partículas do resíduo (carga) interceptando a superfície, responsáveis pela difração dos raios luminosos incidentes na superfície, ocasionando a redução do brilho.

O Quadro 1 apresenta o resultado após 240 h de exposição dos painéis pintados à atmosfera de umidade saturada.

Quadro 1 - Aspecto das amostras após 240 h de exposição à umidade saturada

Amostra	Observações	Aspecto após 240 h de exposição
0%	Corrosão vermelha em grande parte da incisão nas duas amostras com acúmulo do produto desta corrosão. Empolamento grau oito médio denso (8 MD) e aumento no tamanho dos pontos pretos em torno da incisão	
5%	Corrosão vermelha em grande parte da incisão nas duas amostras com acúmulo do produto desta corrosão. Presença acentuada de pontos pretos na superfície das mesmas e empolamento grau quatro médio denso (4 MD)	
10%	Corrosão vermelha em grande parte da incisão nas duas amostras com acúmulo do produto desta corrosão. Presença acentuada de pontos pretos na superfície das mesmas e empolamento grau seis médio (6M)	

Os pontos escuros observados indicam oxidação do aço carbono na região interfacial. Devido à porosidade da tinta, a umidade penetrou pela película e formou produtos de corrosão na presença de oxigênio. A análise de EDS comprovou a presença de ferro e oxigênio nestes pontos.

No ensaio para verificação da migração subcutânea realizado após a exposição à atmosfera saturada não evidenciou sinais de deslocamento do revestimento em nenhuma das amostras, mostrando, evidenciando novamente uma boa aderência da tinta no metal base, a qual não foi prejudicada pela carga adicionada.

A Figura 4 apresenta os valores do potencial de circuito aberto durante 7 dias de imersão em solução salina. Inicialmente todas as amostras apresentaram um potencial de eletrodo mais nobre que o do substrato não revestido (aço carbono), decaindo após uma hora. Este decréscimo no potencial uma hora após a imersão significa que o eletrólito começou a permear através da película de tinta atingindo a interface metal/revestimento. Após 24 h, o potencial para todas as amostras sofreu o decréscimo mais acentuado aproximando-se do potencial de corrosão do aço carbono nesta solução (650 mV(ECS)). Isto pode ser justificado pela porosidade presente na película de tinta, que permitiu um contato entre o eletrólito e o substrato. Nestas condições, ocorre formação de produtos de corrosão, que acaba por obstruir parcialmente os poros ou defeitos no revestimento, bloqueando a continuidade da dissolução do metal, e então o potencial torna-se mais nobre. As oscilações são decorrência da redissolução dos produtos de corrosão formados, com consequente diminuição do potencial quando o eletrólito novamente acessa o substrato metálico, repetindo-se o ciclo.

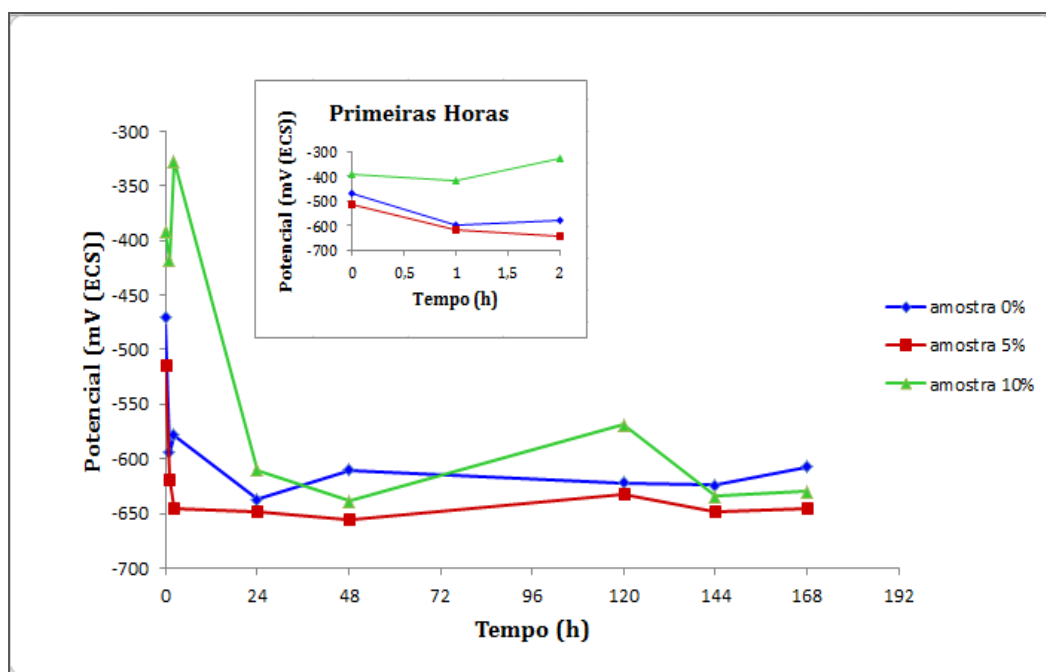


Figura 4 – Curvas potencial de circuito aberto versus tempo para os painéis de aço carbono pintados com tinta epóxi contendo 0%, 5% e 10% (m/m) de carga durante 7 dias de imersão em solução de NaCl 3,5% (m/v).

Para as amostras com incisão procedeu-se com o deslocamento para verificação da migração subcutânea. A única amostra que apresentou deslocamento ($3,3 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$) foi a que não continha carga (amostra 0%), pois foi a que apresentou maior região com produtos de corrosão vermelha. Isto confirma a boa aderência que as amostras com adição de carga mostraram anteriormente.

É importante salientar que, neste ensaio, as amostras ficaram completamente submersas no eletrólito contendo cloreto de sódio, criando um meio de exposição diferenciado do que ocorre no ensaio de câmara úmida. Isto pode justificar a falha na proteção à corrosão e consequente deslocamento observado na amostra com 0% de carga neste ensaio e a não ocorrência deste fenômeno no ensaio de umidade saturada.

Conclusões

A partir dos materiais, procedimentos e ensaios realizados durante este estudo de incorporação de resíduos oriundos da fabricação de papel reciclado em tinta base epóxi, pode-se concluir que:

As análises de FTIR para caracterização do resíduo evidenciaram a presença de celulose e não mostraram alteração nas bandas características da resina para o revestimento com a adição da carga.

A morfologia revelada na análise de MEV mostrou uma superfície aparentemente lisa para a tinta com 0% de carga, e a presença de partículas do resíduo de tamanho e forma irregulares dispersas aleatoriamente interceptando a superfície do revestimento com adição de carga, sendo consideradas responsáveis pela redução do brilho do revestimento.

Nos ensaios físicos verificou-se que a aderência foi melhorada com adição de resíduos. A flexibilidade não foi alterada em relação à amostra sem adição de carga, porém a resistência ao impacto diminuiu com o aumento no percentual de carga adicionada, devido à existência de pontos de concentração de tensão e menor coesão entre a matriz/carga.

Quanto ao desempenho à corrosão verificou-se empoamento em todas as amostras no ensaio de câmara úmida, como maior incidência de pontos de corrosão localizadas nas amostras com adição de carga, devido a maior porosidade conferida ao revestimento. No ensaio de imersão não foram constatados pontos de corrosão nos corpos de prova sem incisão e as oscilações de potenciais convergiram para todas as amostras após 7 dias, aproximando-se do potencial de corrosão do substrato, demonstrando perda das propriedades protetoras do revestimento.

Pode-se concluir que para aplicações onde dureza, resistência à corrosão e elevada aderência são requeridas, a adição de resíduos da indústria do papel é uma boa alternativa para baratear o custo das tintas base epóxi, providenciando um destino mais nobre a estes resíduos, porém seu uso não é interessante quando se deseja elevada resistência ao impacto ou brilho elevado nos revestimentos.

Referências bibliográficas

- (1) KARAKAS, F.; ÇELİK, M. S. Effect of quantity and size distribution of calcite filler on the quality of water borne paints. **Progress in Organic Coatings**, [S.I.], v. 74, n.3, p. 555-563, july. 2012.
- (2) ASTRUC, A.; JOLIFF, E.; CHAILAN, J.-F.; ARAGO, E.; PETTER, C.O.; SAMPAIO, C. H. Incorporation of kaolin fillers into an epoxy/polyamidoamine matrix for coatings. **Progress in Organic Coatings**, [S.I.], v. 65, n.1, p. 158-168, apr. 2009.
- (3) FOIX, M. T.; RODRÍGUEZ, M. T.; FERRANDO, F.; RAMIS, X.; SERRA, A. Combined use of sepiolite and a hyperbranched polyester in the modification of epoxy/anhydride coatings: A study of the curing process and the final properties. **Progress in Organic Coatings**, [S.I.], v.75, n.4, p. 364-372, dec. 2012.
- (4) BASTÜRK, E.; INAM, T.; GÜNGÖR, A. Flame retardant UV-curable acrylatedepoxidized soybean oil based organic-inorganic hybrid coating. **Progress in Organic Coatings**, [S.I.], v. 76, n.6, p. 985-992, jun. 2013.
- (5) BAILEY and ASSOCIATES. Recycling of crushed glass into coating products. Mercer Island, 1998. 18 f. **Report**. Disponível em: <http://www.cwc.org/glass/gl961rpt.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2013.
- (6) XIE, Y; HILL, C. A. S.; XIAO, Z.; MILITZ, H.; MAI, C. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [S.I.], v.41, n. 7, p 806-819, july 2010.
- (7) MONTEIRO, S. N.; MARGEM, F. M.; INÁCIO, W. P.; PEREIRA, A. C.; OLIVEIRA, M. P. Tensile properties of epoxy composites reinforced with continuous sisal fibers. **Materials Science Forum**, [S.I.], v. 775-776, p. 284-289, jan. 2014.
- (8) CIOLACU, D.; CIOLACU, F.; POPA, V. I. Amorphous cellulose – structure and characterization. **Cellulose Chemistry and Technology**, [S.I.], v. 45, n. 1-2, p. 13-21, jan.-feb. 2011.
- (9) GONZÁLES, M. G; CABANELAS, J. C.; BASELGA, J. **Infrared Spectroscopy – Materials Science, Engineering and Technology**.1. ed. Rijeka: InTech, 2012. 524 p.
- (10) BONSE, B. C.; LARROZA, T. C. Incorporação de fibras de celulose em polímero biodegradávelecobras™. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 20, 2012, Joinville. **Anais...** Joinville: 2012. 1 CD-ROM.

* * *