



Influência da incorporação de PET pós-consumo na formulação de tintas a pó e líquida

**Oscar de Almeida Neuwald¹, Júlia Cesa Pagnusati², Diego Piazza³,
Ademir José Zattera⁴, Lisete Cristine Scienza⁵**

Universidade de Caxias do Sul

¹(oaneuwald@ucs.br), ²(julia_cesa@hotmail.com), ³(dpiazza@ucs.br)

⁴(ajzatter@ucs.br), ⁵(lscienzi@ucs.br)

Resumo

O crescente uso de materiais poliméricos, tais como o poli(etileno tereftalato) – PET, principalmente na área de embalagens, tem agravado o problema da quantidade de resíduos sólidos dispostos em aterros. O reuso e a reciclagem destes materiais é a solução recomendada para se reduzir os danos causados na natureza, além de proporcionar uma atividade econômica, melhor utilização dos recursos naturais não renováveis e redução da utilização de água e energia. Neste estudo, PET pós-consumo foi incorporado em tintas (a pó, líquida e verniz), nas quantidades de 5 e 10% em massa, a fim de avaliar seu efeito nas propriedades físicas (aderência, flexibilidade, resistência ao impacto, dureza e brilho) dos revestimentos. Constatou-se que o PET tem pouca influência quando incorporado a uma formulação de tinta a pó, substituindo parte da resina virgem (poliéster). Contudo, quando incorporado em tintas líquidas prejudicou as propriedades mecânicas, o aspecto estético e o brilho, comprometendo a comercialização e desempenho das tintas obtidas. Concluiu-se que a substituição parcial da resina poliéster por PET pós-consumo em tinta a pó é uma alternativa viável para seu reuso.

Palavras-chave: PET pós-consumo, Reuso, Poliéster, Tintas.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

Influence of the incorporation of post-consumer PET in the formulation of powder and liquid coatings

Abstract

The increasing use of polymer materials such as poly(ethylene terephthalate) - PET, especially in the area of packaging, has compounded the problem of the amount of solid waste disposed of in landfills. The reuse and recycling of these materials are the recommended techniques to reduce the damage caused in the nature and provide an economic activity, better use of non-renewable resources and reducing the use of water and energy. In this study post-consumer PET was incorporated into paints (powder, liquid and varnish) in amounts of 5 to 10% by weight, in order to evaluate its effect on the physical properties (adhesion, flexibility, impact resistance, hardness and gloss) of the coatings. It was found that PET has little effect when incorporated in a powder paint formulation, replacing part of the virgin resin (polyester). However, when incorporated into liquid coatings influenced negatively the mechanical properties, the aesthetic appearance and brightness, compromising the performance and marketing of the produced paints. It was concluded that partial substitution of polyester resin for post-consumer PET in paint powder is feasible to its reuse.

Keywords: PET post-consumer, Reuse, Polyester, Paints.

Theme Area: Solid Waste



1 Introdução

O PET, poli(tereftalato de etileno), vem conquistando um grande espaço na sociedade devido as suas características como leveza, razoável resistência mecânica e moldabilidade à baixa temperatura, aliadas ao preço baixo e à transparência. Utilizado para obtenção de embalagens, entrou no mercado brasileiro nos anos 90, sendo utilizada para bebidas carbonatadas e, subsequentemente, para embalagens de aguardente, detergente, sabonete líquido e xampu, entre outros (MANCINI et al., 2008; VANINI et al., 2013).

Porém, os rejeitos plásticos, devido à baixa degradabilidade e densidade, ocupam um grande volume quando dispostos no meio ambiente por um longo tempo. Com o crescente uso deste tipo de material, principalmente na área de embalagens, cujo descarte é muito mais rápido quando comparado a outros produtos, tem-se um agravamento da situação dos locais de destino de lixo.

Sendo assim, a reciclagem e/ou o reuso é a forma mais viável para minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos polímeros. O PET é facilmente reciclado por ser um polímero termoplástico leve, ou seja, ele pode ser reprocessado várias vezes sem perder suas propriedades (ROMAO et al., 2009). Além de favorecer o meio ambiente, a reciclagem de garrafas PET está estreitamente relacionada com fatores culturais, políticos e sócio-econômicos da população, gerando empregos nas cooperativas de reciclagem e também nas empresas que trabalham diretamente com a produção de matéria-prima a partir de embalagens PET.

Existe, portanto, uma tendência mundial quanto ao aproveitamento desses resíduos considerando-se o imenso valor potencial dos materiais reprocessados e as consequências decorrentes dos desperdícios e da poluição gerada pela não-utilização desses resíduos. Com base nisto, o presente estudo propõe a avaliar a viabilidade técnica da reutilização do PET pós-consumo num produto com maior valor agregado, tintas para superfícies metálicas, contribuindo para a redução da quantidade deste polímero em aterros e lixões.

2 Referencial teórico

Os resíduos são um dos maiores problemas encontrados no mundo moderno devido à grande quantidade existente e à tendência de crescimento. Devido a estes fatores a reciclagem é vista como a melhor solução para os resíduos de plásticos, vidros, metais e papéis. Através dela se pode reduzir o volume do lixo, o consumo de matéria-prima e a poluição. Sendo assim há a necessidade de reciclar os materiais para que eles possam retornar ao ciclo de produção obtendo um produto semelhante ao material virgem ou para se obter novas aplicações (SPINACE & DE PAOLI, 2005).

Os polímeros são considerados os maiores vilões do meio ambiente, pois demoram muito tempo para se degradar e ocupam uma grande parte do volume dos aterros sanitários, interferindo negativamente na natureza (SILVA & MIRANDA, 2003). Estes resíduos quando descartados em lugares inadequados, como nos lixões, rios, encostas, etc., causam um impacto ainda maior ao ambiente. Por isso a reciclagem é a solução mais recomendada para se reduzir os danos causados na natureza pelos polímeros. Muitos fatores motivam a reciclagem dos materiais poliméricos presentes nos resíduos sólidos urbanos, a economia de energia, a preservação de fontes esgotáveis de matéria-prima, a redução de custos com a disposição final do resíduo, a economia com a recuperação de áreas impactadas pelo mau acondicionamento, aumento da vida útil dos aterros sanitários, a redução de gastos com a saúde publica e a geração de emprego e renda (SILVA & MIRANDA, 2003).



Nas últimas décadas a quantidade de polímeros encontrados nos resíduos sólidos urbanos tem aumentado gradativamente. Enquanto nos anos 60 sua participação era muito pequena nos resíduos brasileiros, em 2005 compreendiam cerca de 20% entre os materiais encontrados nos resíduos sólidos urbanos. Os polímeros mais encontrados nos aterros brasileiros são o polietileno de alta densidade (PEAD), o polietileno de baixa densidade (PEBD), o polipropileno (PP), o poli(cloreto de vinila) (PVC), o poli(tereftalato de etileno) (PET) e o poliestireno (PS) (RAMAO et al., 2009).

Para se garantir que a reciclagem de polímeros obtenha sucesso são necessários quatro condições: um constante fornecimento de material para adequada organização de coleta, separação e pré-tratamento adequados, uma tecnologia que melhore o processo, mercado para o produto reciclado e viabilidade econômica. Entre os polímeros reciclados, o PET se destaca pelo elevado índice de reciclagem. A partir dos anos 80 os EUA e o Canadá reciclavam PET para fazer enchimento de almofadas, após uma melhora na qualidade do material reciclado surgiram outras aplicações como tecido e embalagens para produtos não alimentícios (SPINACE & DE PAOLI, 2005).

O aproveitamento dos materiais plásticos após a sua utilização deve ser proposta como uma atividade economicamente viável, em vista da grande quantidade envolvida, da economia e na melhor utilização dos recursos naturais não renováveis (FORLIN & FARIA, 2003). É interessante que estes sejam utilizados com aplicações de longa vida útil, como pavimentação, na construção civil, indústria automobilística e eletroeletrônica, etc.

Tanto no Brasil como nos Estados Unidos, Europa e Japão, o PET reciclado é usado como matéria-prima principalmente para fibras, recipientes para produtos não-alimentícios, lâminas ou filmes, mas raramente como resinas para tintas líquidas ou a pó. No desenvolvimento de revestimento à base de tintas, algumas empresas têm se preocupado com aspectos relacionados à reciclagem de materiais como o PET. A Empresa Kansai Paint, por exemplo, tem desenvolvido uma tecnologia para usar PET recuperado como uma resina aglutinante para tintas. A BASF possui um projeto que consiste na utilização do PET reciclado na composição da resina, considerada a matéria-prima mais importante na produção de esmaltes e vernizes. As vantagens constatadas na utilização de garrafas de PET previamente processados pela recicladora são várias, incluindo melhorias no desempenho do produto, redução de custo e consumo de matérias-primas não renováveis, diminuição de 40 % da quantidade de água de reação gerada na produção de resinas, além da geração de empregos.

O presente estudo visa desenvolver tintas utilizando PET pós-consumo através da sua simples incorporação na tinta, sem a necessidade de realizar processos de despolimerização, os quais encareceriam o produto final. O objetivo é fomentar o uso de resíduos de PET em aplicações mais nobres para agregar valor ao material e, ao mesmo tempo, reduzir a disposição deste material em aterros ou lixões. Isto, em termos econômicos, representa a valorização do trabalho dos “catadores”, das associações de recicladores e de empresas de reciclagem, possibilitando a motivação de ações de coleta seletiva, preço e disponibilidade de material, além de investimentos no setor. Associado a isso, ainda teremos um novo produto com preço reduzido, comparado aos similares no mercado, o que é particularmente interessante tanto para as empresas fabricantes de tintas como para o mercado consumidor.

3. Experimental

3.1 Preparação do PET e das tintas



PET pós-consumo foi fornecido granulado e limpo pela Sulpet Plásticos Ltda. Realizou-se uma separação manual para remover as impurezas (partículas de PET de colorações distintas e outras) contidas na amostra de PET e procedeu-se à moagem criogênica com nitrogênio líquido em um moinho de laboratório da marca IKA[®] modelo A11. As amostras de PET como recebido, as impurezas removidas e o material após a moagem e peneiramento (200#) são mostrados na Figura 1.

Figura 1: (a) PET pós-consumo como recebido, (b) impurezas removidas do PET cristal e (c) PET moído.



A formulação comercial de tinta a pó base poliéster utilizada nos ensaios foi adquirida junto à empresa Pulverit do Brasil (denominada P0%) e as demais foram adaptadas substituindo parte da resina por quantidade equivalente de PET pós-consumo nas quantidades de 5 e 10% (m/m), designadas como P5% e P10%. Após a pesagem e homogeneização manual de todos os componentes das tintas, foi realizada a extrusão da mistura utilizando uma extrusora dupla rosca ($L/D = 35$) co-rotante MH-COR-20-32-LAB, com rotação de 200 rpm, primeira zona de temperatura definida em 90°C, a segunda em 105°C e as demais em 120°C.

Para formulação base utilizou-se um verniz bicomponente base poliéster Lazzudur da marca Sherwin Williams, nas formulações com 0, 5 e 10% (m/m) de PET, sendo designadas como V0%, V5% e V10%. Para formulação da tinta líquida pigmentada empregou-se uma tinta comercial bicomponente com coloração prata escuna base poliéster Lazzudur da marca Sherwin Williams, que foram designadas como T0%, T5% e T10%. Os componentes foram misturados em um agitador mecânico Fisatom 713D, com uma velocidade de rotação de 400 rpm durante 15 minutos. As tintas foram posteriormente agitadas em banho ultrassônico por 15 minutos para eliminação de bolhas.

3.3 Preparação do substrato e pintura

Foram empregados como substrato painéis de aço carbono 1006, que foram lixados manualmente (lixa 320#, 400#, 600#), lavados com água corrente e secos com fluxo de ar frio. Após seguiu-se à operação de fosfatização com fosfato de zinco por imersão com os produtos comerciais fornecidos pela empresa Klintex Insumos Industriais Ltda.

A aplicação da tinta em pó sobre o substrato de aço carbono foi realizada através do sistema eletrostático, em uma cabine de tinta utilizando uma pistola para tinta em pó da marca Tecnoavance. As amostras foram curadas em uma estufa convencional a uma temperatura de 220°C durante 20 minutos.

Para a tinta líquida e para o verniz inicialmente misturou-se o endurecedor à tinta bicomponente na proporção de 1 para 5. A tinta foi aplicada de maneira homogênea sobre o substrato com pistola para tinta líquida. A cura foi realizada em uma estufa De Leo a uma temperatura de 60°C por 30 minutos.

As amostras utilizadas nos ensaios apresentaram espessura média de 60µm.



3.4 Ensaios de caracterização

Os testes de aderência seguiram a norma ASTM D 3359:2000-Método B (teste de aderência com fita adesiva). As amostras foram analisadas e classificadas quanto ao percentual de descolamento segundo a mesma norma.

Os ensaios de flexibilidade foram realizados segundo a norma ASTM D522-1993. O teste consistiu na deformação da amostra por flexão, utilizando-se um mandril de rolo cônico da marca BYK Gardner.

O teste de resistência ao impacto foi realizado seguindo procedimentos da norma ASTM D 2794:2004. Utilizou-se o equipamento Heavy-Duty Impact Tester da BYK Gardner. Posicionou-se o corpo de prova na base do equipamento e empregou-se uma massa de 1 kg, cujo movimento em queda livre deforma o corpo de prova. Os testes foram realizados na altura de 50 e após avaliou-se as deformações geradas no impacto direto e reverso.

O ensaio de dureza foi realizado segundo a norma ASTM D3363:2011. Os lápis foram apontados em um apontador mecânico da marca CIS modelo PR 03E. Procedeu-se à impressão de um pequeno traço ($\pm 6,5\text{mm}$) na superfície da peça com o lápis sob pressão posicionado a 45° , considerando um conjunto de grafites agrupados em uma sequência crescente de dureza como a que segue: 6B, 5B, 4B, 3B, 2B, B, HB, F, H, 2H, 3H, 4H, 5H e 6H. O processo é iniciado com o lápis mais duro decrescendo a escala de dureza até achar um lápis que não corte (dureza ao risco) ou amasse (dureza ao lápis) o filme.

A análise de brilho foi realizada empregando um medidor de brilho GM – 268 PLUS, da marca Konica Minolta, no ângulo de 60° . As medidas (valores médios) foram expressas em Unidades de Brilho (UB).

4. Resultados e discussão

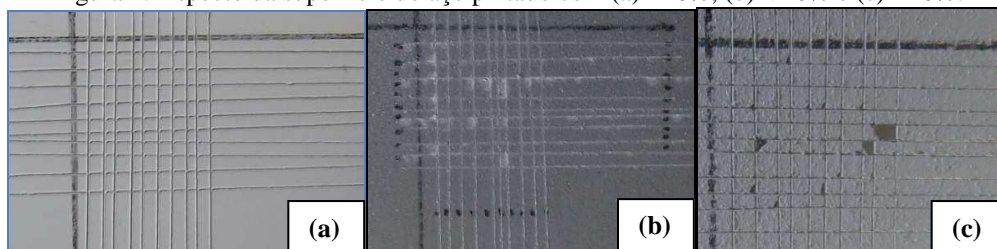
O aspecto visual das amostras com PET mostrou uma superfície mais rugosa. Particularmente para os revestimentos líquidos foi possível visualizar grânulos de PET distribuídos na película.

No ensaio de aderência ao substrato, os revestimentos com tinta a pó e verniz (0% e 5% PET) não apresentaram alterações, evidenciando que não houve influência da adição do PET, classificando-se, segundo a norma da ASTM, como 5B (0% de deslocamento). Nas amostras com tinta pigmentada e no verniz com 10% PET observa-se uma perda de aderência do metal com o substrato com a adição do PET, onde a amostra da tinta pigmentada com 5% PET e verniz 10% PET classificaram-se como 4B, ou seja, área deslocada foi inferior a 5%. A tinta pigmentada com 10% PET apresentou o maior deslocamento, classificando-se como 3B, ou seja, entre 5 e 35% de área deslocada.

Uma boa aderência da película de tinta no substrato é conseguida quando existe uma boa afinidade entre ambos, ou seja, quando a energia superficial do substrato excede a tensão superficial da tinta sendo aplicada. A energia da superfície de uma tinta é a sua resistência em espalhar-se, sendo a tensão superficial a propriedade dos líquidos que faz com que a área de superfície exposta queira se contrair à menor área possível, como na forma esferoidal de uma gota, devido à atração coesiva entre as moléculas (AKZONOBEL, 2013). A adição de PET na tinta a pó não alterou a adesão ao substrato, contudo seu efeito foi prejudicial quando incorporado ao verniz e à tinta líquida como mostrado na Figura 2.



Figura 2: Aspecto da superfície do aço pintado com (a) P10%, (b) V10% e (c) T10%.



O ensaio de flexibilidade avalia a resistência de um revestimento ao dobramento do substrato onde foi aplicado, de modo que se pode observar o estiramento deste revestimento. As amostras pintadas com a tinta em pó através do meio eletrostático não apresentaram rachaduras ou perda de revestimento, evidenciando que adição do PET não altera as características da tinta. As amostras pintadas com verniz apresentaram fissuras e deslocamento da camada de tinta em todas as formulações, inclusive a formulação sem adição do PET. A tinta pigmentada nas formulações com 0% e 5% de PET não apresentaram rachaduras ou perda de revestimento, porém a formulação com 10 % de PET apresentou fissuras e deslocamento da camada de tinta. A Figura 3 mostra o aspecto das tintas com 10% de PET pós-consumo após o ensaio de flexibilidade.

Figura 3: Amostras após ensaio de flexibilidade (a) P10%, (b) V10% e (c) T10% de carga.



No teste de impacto, a resistência mecânica do revestimento à deformação provocada pela ação de uma força instantânea (queda livre de um pêndulo) possibilita verificar a coesão entre a matriz epóxi e as partículas do resíduo adicionado. Os resultados do teste de impacto mostraram fissuras e evidentes sinais de ruptura para todas as amostras (inclusive nas isentas de PET), tanto com aplicação da força direta quanto da reversa, indicando uma fraca resistência à ação de uma força incidente. Constatou-se ainda que a resistência ao impacto diminuiu com o acréscimo de resíduo adicionado na tinta, especialmente quando avaliado o seu efeito no impacto reverso. Segundo Bonse e Larroza (2012), 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 uma região concentradora de tensões. Assim, um aumento no teor de resíduo adicionado resultaria em uma quantidade maior de pontos concentradores de tensão e, consequentemente, na redução da resistência ao impacto.

O resultado do ensaio de dureza é apresentado na Tabela 1. Exceto para a tinta a pó, constatou-se que a adição do PET aumenta a dureza do revestimento.

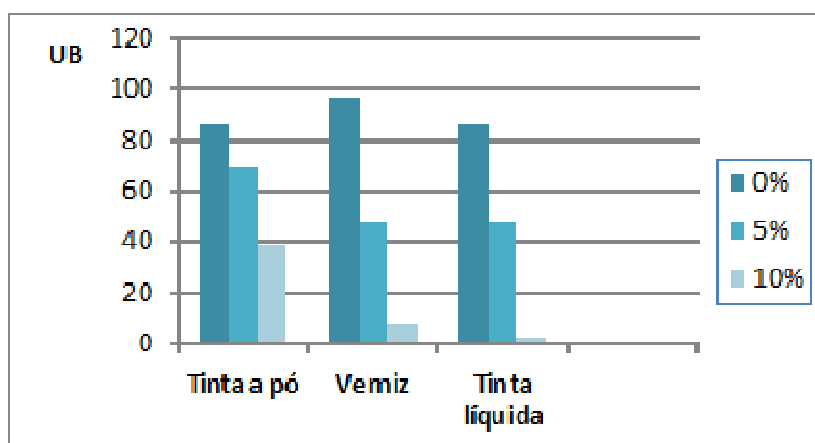


Tabela 1. Resultado do ensaio de dureza.

Revestimento	Dureza ao lápis	Dureza aolscienz risco
P0%	2H	6H
P5%	H	6H
P10%	H	6H
V0%	H	6H
V5%	6H	6H
V10%	6H	6H
T0%	H	6H
T5%	5H	6H
T10%	6H	6H

A Figura 4 apresenta o gráfico da medida de brilho para as tintas estudadas. Observa-se que o brilho reduz com a adição do PET. Quando uma carga sólida é incorporada numa tinta líquida estas partículas podem não ficar completamente cobertas pela resina de modo que a superfície fica microscopicamente rugosa. Estas imperfeições superficiais acabam não refletindo a luz de maneira especular, difratando-a e impedindo que seja captada pelo medidor no ângulo selecionado, resultando em menores unidades de brilho correspondentes.

Figura 4: Medidas de brilho a 60° para as tintas com e sem PET pós-consumo.



4 Conclusão

A partir dos resultados deste estudo pode-se concluir que a adição de PET pós-consumo ocasionou um aumento da rugosidade superficial das tintas, particularmente para os revestimentos líquidos. Este efeito foi evidenciado através da redução do brilho dos revestimentos devido à difração decorrente das partículas da carga próximas à superfície. Na tinta líquida e no verniz a aderência ao substrato foi prejudicada com adição de resíduos de PET, que também comprometeu flexibilidade da película. A dureza das tintas líquidas aumentou com a adição do PET. Já na tinta a pó estas propriedades não foram afetadas pela adição do PET.

Pode-se concluir que a adição de PET pós-consumo em tintas pode alterar suas propriedades mecânicas e comprometer o desempenho do revestimento. Contudo, o reuso do deste polímero substituindo parte da resina virgem em tinta a pó base poliéster constitui uma alternativa tecnicamente viável para seu aproveitamento.



Agradecimentos

Os autores são gratos a FAPERGS pela concessão do auxílio financeiro através do processo N° 12/0008-0 e às empresas Sulpet Plásticos Ltda., Klintex Insumos Industriais Ltda. e Pulverit do Brasil pela doação dos materiais utilizados neste estudo.

Referências

AKZONOBEL. **Por que pintar superfícies plásticas?** Disponível em: <http://www.akzonobel.com/wood/br/news/index/artigos/superficies_plasticas.aspx> Acesso em: 10 jun. 2013.

BONSE, B. C.; LARROZA, T. C. Incorporação de fibras de celulose em polímero biodegradável ecobras™. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS: 2012, Joinville. Anais... Joinville, 2012. 1 CD-ROM.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. A. F. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros**, São Carlos, v. 12, n.1, 2002, p. 1-10.

MANCINI, S. D.; BEZERRA, M. N.; ZANIN, M. Reciclagem de PET advindo de garrafas de refrigerante pós-consumo. **Polímeros**, vol. 8, n. 2, 1998, p. 68-75.

ROMAO, W.; SPINACE, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros**, vol. 19, n. 2, 2009, p. 121-132.

SPINACE, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, 2005, p. 65-72.

SILVA, T. C.; MIRANDA, L. F. **Estudo Comparativo das Propriedades do Poli(Tereftalato de etileno) Virgem e Reciclado**, São Paulo; Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2003; 24 p. Departamento de Engenharia, Escola de Engenharia Mackenzie, São Paulo, 2003.

VANINI, G.; CASTRO, E. V. R.; SILVA FILHO, E. A.; ROMAO, W. Despolimerização química de PET grau Garrafa pós-consumo na presença de um catalisador catiônico, o brometo de hexadeciltrimetilamônio (CTAB). **Polímeros**, vol. 23, n. 3, 2013, p. 425-431.