

Uso de resíduos de tinta em pó de pintura eletrostática para fabricação de revestimentos para piso

Carlos Eduardo Bruxel¹
Sandra Raquel Kunst¹
Luã Tainachi Mueller¹
Fernando Dal Pont Morisso¹
Carlos Leonardo Pandolfo Carone¹
Cláudia Trindade Oliveira^{1*} 

Resumo

A pintura eletrostática é um processo eficiente e bastante difundido de revestimento de peças metálicas. No entanto, durante o processo, parte da tinta em pó é perdida gerando resíduo. Portanto, este artigo propôs o uso deste resíduo como matéria-prima para a fabricação de revestimentos para pisos. Para isso, amostras foram elaboradas a partir de tinta híbrida recuperada (THR) diretamente do chão reaproveitamento do setor de pintura de uma empresa do ramo de pintura industrial e foram comparadas com amostras de tinta poliéster virgem (TPV) e tinta híbrida virgem (THV). As amostras foram avaliadas por meio de caracterizações térmicas, físico-químicas, morfológicas e mecânicas. Por meio do ensaio de flexão, obteve-se um módulo de resistência à flexão médio de 28,14 MPa, o que tornou possível comparar o revestimento polimérico de THR com os revestimentos cerâmicos da classe Semi-Grés, mostrando que esta alternativa de reciclagem apresenta resistência mecânica suficiente para a aplicação. As microscopias apresentaram os resíduos oriundos do chão da fábrica interagindo em meio à matriz polimérica da resina da tinta.

Palavras-chave: Tinta em pó híbrida; Pintura eletrostática; Reaproveitamento.

Use of electrostatic paint powder paints for the manufacture of floor coatings

Abstract

Electrostatic painting is an efficient and widespread process for coating metal parts. However, during the process, part of the powder paint is lost generating waste. Therefore, this article proposed the use of this residue as a raw material for the manufacture of floor coverings. For this, samples were made from recovered hybrid paint (THR) directly from the reuse of the painting sector of a company in the industrial painting sector and were compared with samples of virgin polyester paint (TPV) and virgin hybrid paint (THV). The samples were evaluated by means of thermal, physico-chemical, morphological and mechanical characterizations. Through the flexion test, an average flexural strength module of 28.14 MPa was obtained, which made it possible to compare the polymeric THR coating with the ceramic tiles of the Semi-Stoneware class, showing that this recycling alternative presents sufficient mechanical strength for the application. Microscopies showed residues from the factory floor interacting with the polymeric matrix of the paint resin.

Keywords: Hybrid powder paint; Electrostatic painting; Reuse.

1 Introdução

A pintura eletrostática a pó é um método muito eficiente de fornecer proteção e beleza a um elemento. Ela é utilizada em peças metálicas [1] como peças automotivas [2], carrocerias automotivas [3], esquadrias domésticas e prediais como portas, janelas e quadros [4], mobiliário de jardim [5], peças eletrônicas,

plásticas e madeiras [6]. O alto nível de desenvolvimento desta tecnologia permite o uso em revestimentos de alimentos [7], revestimento de medicamentos [8] e farmacêuticos [6]. As tintas mais utilizadas industrialmente são as tintas em pó base poliéster que são obtidas, principalmente, utilizando resina

¹Instituto de Ciências Criativas e Tecnológicas - ICCT, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

*Autor correspondente: ctofeevale@gmail.com



poliéster carboxifuncional, a qual reage com um agente de cura, normalmente triglicidilissocianurato (TGIC). Nas tintas em pó com TGIC não é necessário o uso de catalisadores devido a sua alta reatividade, que é maior do que aquela das resinas epóxi. Quando comparado com os sistemas híbridos, o sistema poliéster/TGIC apresenta desempenho superior frente ao intemperismo e ao amarelamento em condições normais, sendo porém inferior em termos de resistência química. Estas tintas apresentam excelente nivelamento de superfície e excelentes propriedades mecânicas [8].

A pintura eletrostática a pó traz como principal benefício não utilizar solventes oriundos de petróleo, o que inibe a poluição por evaporação de componentes orgânicos voláteis [6], reduz os danos à saúde dos operadores pela inalação dos gases dos solventes [9] e representa uma solução à escassez de petróleo [10]. Seu processo consiste em borrifar um jato de tinta em pó carregado eletricamente em uma peça carregada com carga contrária a da tinta. Essa diferença de polaridade entre as partes faz com que o pó seja atraído para a peça, garantindo que boa parte da tinta seja aderida a peça. Após a aplicação da tinta, a peça revestida pelo pó é colocada em um forno para cura da resina e formação da película protetora.

A eficiência de transferência da quantidade de tinta emitida pelo sistema de pintura para a quantidade de tinta aderida à peça chega a 90% [11] e a possibilidade de pintura em sistemas fechados garante a reutilização do pó não aderido à peça [6]. Embora quase 100% da utilização do material possa ser alcançada pela reutilização do excesso não aderido à peça, as propriedades de fluxo do pó recuperado sempre tendem a se deteriorar, o que dificulta o manuseio e a aplicação do pó recuperado, desta forma, a tinta reaproveitada não pode ser utilizada isoladamente. No estudo de Fu et al. [12], foram verificados dois tipos de pó de tinta: poliuretano e poliéster-epóxi. Os pós foram divididos em três categorias: virgem, aderido e contaminado. O pó virgem consiste no pó de tinta extraído da própria embalagem da tinta, sem ter sofrido spray, ou seja, sem ter sido utilizado em nenhum processo de pintura por pistola de pintura a pó. O pó aderido é o pó que foi borrifado na peça e ficou aderido. O pó contaminado é o pó que caiu no chão ou nas paredes da cabine de pintura e não aderiu à peça. Foi observado que o pó destinado a ser reutilizado, isto é o pó contaminado, sofreu uma queda no tamanho das partículas. O tamanho médio da partícula virgem do pó de poliéster-epóxi foi de 24,7 μm . Já o tamanho médio da partícula de pó reaproveitado de poliéster-epóxi foi de 22,3 μm . Nos ensaios de fluidez, caracterizados pelos ensaios de taxa de expansão em cama rotacional, ensaio de ângulo de repouso e ensaio de ângulo de avalanche, o pó reutilizado apresentou baixo desempenho em relação ao pó virgem. Foram analisadas também a exposição à umidade e a quantidade residual de aditivos no pó contaminado. Entretanto, esses fatores se mostraram pouco influentes em relação à redução no tamanho das partículas, sendo este o fator principal que resulta na baixa qualidade das pinturas realizadas com tintas

reaproveitadas [12]. Na prática, os sistemas mais comuns de reaproveitamento são úteis para fluxos de pintura de até duas cores. Acima disso, torna-se consideravelmente alto o custo do equipamento de reaproveitamento.

Empresas de pintura a pó de pequeno porte dificilmente utilizam sistemas de reaproveitamento. Assim, o pó que não atinge ou não fica aderido à peça torna-se inutilizado quando em contato com o solo contaminado por impurezas que não compõem a tinta. Mesmo sendo um processo de alta eficiência, a pintura eletrostática a pó gera resíduos. Outra possibilidade ainda é a entrega para empresas que realizam a reciclagem do produto [13], porém são ínfimas as empresas que realizam esta prática. Portanto, este artigo tem por objetivo propor a reutilização do resíduo contaminado de tinta em pó na fabricação de revestimentos poliméricos para piso e compará-los aos pisos cerâmicos, avaliando-se através da resistência mecânica à flexão e caracterizando o material obtido através de análises físico-químicas.

2 Materiais e métodos

2.1 Preparação das amostras

As amostras de tinta em pó virgem e de tinta em pó recuperada foram fornecidas pela empresa Claudionor Atílio Vingert ME. Para efeito de comparação, foram fabricadas amostras com 3 tipos diferentes de tinta. A Tabela 1 mostra a nomenclatura utilizada para identificação das amostras.

As amostras em TPV foram elaboradas com tinta em pó marca Brascioat modelo Preto 15001, código BT 97.15.168-36 do lote 013795. As amostras em THV foram elaboradas com tinta em pó marca Brascioat modelo Preto Fosco código FO 98.15.001-36 do lote 014469. As amostras em THR foram elaboradas com tinta recuperada do resíduo industrial oriundo do chão do setor de pintura, após as pinturas realizadas com tinta THV de diversas pigmentações. Foi retirada uma amostra de cada tipo de tinta para então serem elaboradas as amostras para análise. Por ser uma tinta obtida por varrição, apresenta diversas inclusões.

Depois de selecionado o material, as tintas foram vazadas em moldes de silicone de 210 mm de comprimento por 86 mm de largura. Os moldes de silicone foram adquiridos comercialmente e foram escolhidos por serem de um material que, experimentalmente, a tinta em pó não adere após a cura, permitindo facilmente a desmoldagem. Após, os moldes com pó de tinta foram encaminhados para cura.

Tabela 1. Nomenclatura das amostras de acordo com sua composição

Amostra	Procedimentos realizados
TPV	Tinta Poliéster virgem
THV	Tinta Híbrida (Poliéster 70% - Epóxi 30%) virgem
THR	Tinta Híbrida (Poliéster 70% - Epóxi 30%) recuperada

As amostras foram medidas quanto à altura de deposição de pó no molde, utilizando uma escala metálica de resolução de 1 mm e posteriormente colocadas em um forno elétrico marca Fischer modelo 9741-12875, de potência 1750 W para que fosse realizada a polimerização e cura das resinas. A estabilidade térmica foi monitorada através de medições de temperatura consecutivas a cada 5 minutos em uma mesma face interna do forno, utilizando um termômetro infravermelho de resolução 0,1°C. As amostras foram colocadas no forno já aquecido e estável na temperatura de cura de 200 °C e curaram durante 20 minutos, conforme informações do fabricante das tintas [14,15].

2.2 Caracterização das amostras

A análise de termogravimetria (TGA) teve o propósito de monitorar a variação de massa das amostras em função da temperatura. As medições foram realizadas em um equipamento marca Perkin Elmer, modelo STA 6000, utilizando taxa de aquecimento de 10 °C/min e vazão de 50 mL/min de nitrogênio em toda a faixa de análise, de 20 a 800°C. A massa das amostras analisadas foi de 15 mg.

Para realizar a identificação dos grupos funcionais presentes nas amostras, foi utilizada a técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), através do método ATR-FTIR com fibra ótica acoplada (FTIR-FEW, Fourier transform infrared fiberoptical evanescent wave). Este método permite que os espectros sejam obtidos diretamente das amostras. As medições foram realizadas utilizando um equipamento FTIR Spectrometer – Perkin Elmer (UART TWO), entre as faixas de 4000 a 400 cm⁻¹. Cada espectro foi obtido pela acumulação de 4 varreduras.

Para verificar o módulo de resistência à flexão (MRF) das amostras, foi realizado ensaio de flexão mecânica, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 10545-4. Os resultados foram obtidos em uma máquina universal de ensaios mecânicos EMIC DL20000, com capacidade de medição de carga de 200 kN e resolução de 10 N, utilizando dispositivo para flexão bi-apoiada com punção centralizado. A taxa de avanço programada foi de 5 mm/min e pré-carga de 10 N, sendo o ensaio interrompido logo após a ruptura do material. O

dispositivo de flexão bi-apoiada foi regulado com distância entre centros dos apoios em 190 mm.

Para os ensaios de flexão, foram utilizadas 4 amostras de TPV, 4 amostras de THV e 4 amostras de THR.

Para determinar o módulo de resistência à flexão MRF, utiliza-se a Equação 1:

$$MRF = \frac{3F \cdot L}{2b \cdot e_{min}^2} \quad (1)$$

Onde *MRF* é o módulo de resistência à flexão, em MPa, *F* é a força de ruptura obtida através do ensaio, em Newton, *L* é a distância entre os apoios da base, em milímetros, *b* é a largura do corpo-de-prova, em milímetros e *e_{min}* é a menor espessura do corpo-de-prova, medido na seção de ruptura, em milímetros.

De acordo com a Figura 1a, os corpos de prova apresentaram seção irregular após a ruptura, não sendo possível realizar a medição direta da espessura mínima da amostra. Portanto, a seção de ruptura de cada amostra foi desenhada em software Solidworks, permitindo a obtenção da área da seção de ruptura, como pode ser visto na Figura 1b. As medidas das amostras físicas foram obtidas ponto a ponto com um paquímetro Digimess de resolução 0,05 mm. Através da área obtida no software, foi possível estabelecer a espessura mínima de cada seção de ruptura, apenas relacionando com a largura de cada amostra, obtida através de medição direta com o mesmo paquímetro.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada para visualizar a morfologia do material estudado. As imagens foram obtidas em um microscópio modelo JSM-6510LV, JEOL, com tensão de aceleração de 10 kV.

3 Resultados e discussão

3.1 Análise térmica por termogravimetria (TGA)

O gráfico com a sobreposição dos termogramas de TGA das amostras de TPV, THV e THR está apresentado na Figura 2.

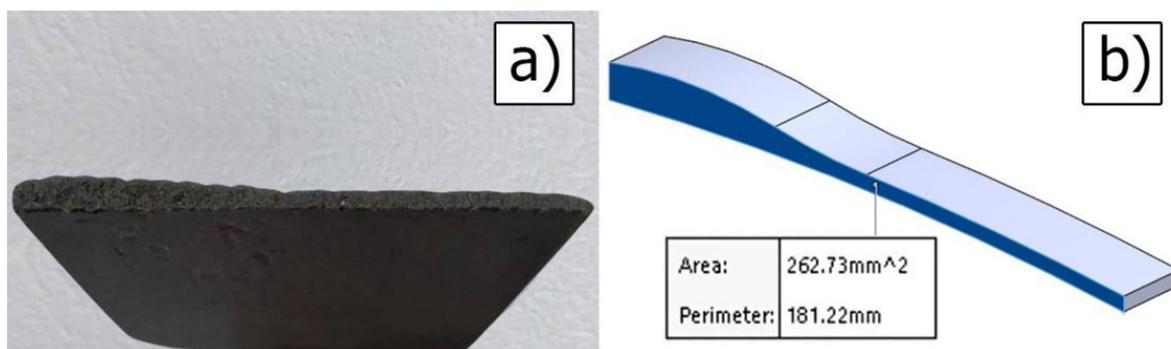


Figura 1. Área da seção de ruptura real (a) e digitalizada (b).

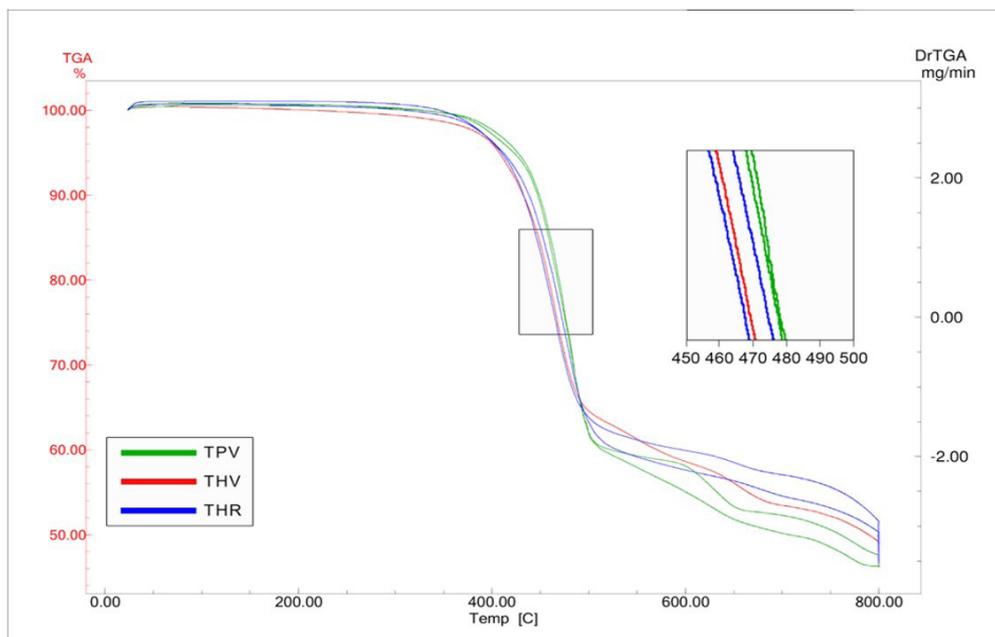


Figura 2. Termogramas de TGA das amostras TPV, THV e THR.

Observa-se que todas as amostras apresentam variação de perda de massa entre aproximadamente 360 e 520 °C em atmosfera de N₂, sendo de 380-515 °C para TPV, de 395-510 °C para THV e de 360-520 °C para THR. A perda de massa nessa faixa de temperatura está associada à degradação da matriz polimérica [16]. Devido às 3 curvas de redução de massa se apresentarem extremamente semelhantes, nota-se que a inclusão de elementos reaproveitados diversos não afeta as propriedades da resina de THR, quando comparado com a mesma análise da resina de poliéster (TPV) e com a híbrida (THV) [17].

Camargo [10] verificou a estabilidade física das resinas poliésteres quanto a exposição à temperatura e observou que todas as resinas poliésteres modificadas apresentaram valores de perda de massa inferior a 0,9%, em uma temperatura inferior à 180 °C, que é a temperatura próxima daquela de reação de cura da tinta em pó. Portanto, esta estabilidade é exclusivamente devida à estrutura da resina, definida pela sua composição em função das condições de síntese, denotando a solidez da resina poliéster.

No estudo de Lakshmi et al. [16] foi observada uma perda de massa mais significativa entre 300 °C a 400 °C para o híbrido poliéster/epóxi, cujo comportamento é característico da matriz polimérica. Geralmente, com a incorporação de compostos inorgânicos referentes ao resíduo introduzido ao polímero há um aumento da estabilidade térmica da matriz restringindo a saída de voláteis formados pela decomposição polimérica, o que concorda com os resultados obtidos nas amostras em que se observa que a adição do resíduo diminuiu a saída de voláteis.

Em temperaturas acima de 500 °C, a THR apresentou menor perda de massa em relação a TPV e THV. Isto se deve à remoção da água resultante da desidroxilação dos grupos

OH estruturais. Segundo He et al. [18] em aproximadamente 600 °C a incorporação de resíduos começa a perder as hidroxilas estruturais e a camada começa a sofrer alteração estrutural em aproximadamente 900 °C. A perda total de massa para TPV foi de 53,3%, para THV foi de 39,1% e para THR foi de 43,6%.

O primeiro decaimento das curvas de THR mostra que a matriz polimérica se degradou de maneira semelhante à THV, porém uma massa residual final mais alta foi observada em THR, devido às características das inclusões que acompanham essa resina, que são em grande parte partículas metálicas, pó de cimento e restos de abrasivos utilizados em outras operações, visto que a resina THR foi obtida diretamente do chão do setor de pintura industrial. Isso pode ser comparado ao estudo de Parra et al. [19], em que a massa residual estava relacionada às características inorgânicas dos resíduos, após a perda de massa da resina epóxi-poliéster. Resultado semelhante foi observado por Relosi [20], ao incluir argila de montmorilonita e mica muscovita na mistura de uma tinta com base híbrida epóxi-poliéster. Após os ensaios, as misturas com maiores teores de argila apresentaram massa residual maior que as tintas virgens.

Segundo Yew et al. [21], nas curvas de TGA em tintas em pó, a degradação dos filmes ocorreu em duas etapas próximas de 300 °C e 800 °C, ao passo que a degradação térmica dos filmes deixou carvão termicamente estável em 900 °C. Os resultados mostraram que, quando o tamanho das partículas (resíduos) contidas no filme ficaram reduzidas, ocorreram, simultaneamente, a perda do peso total, e a diminuição da faixa de temperatura do processo de degradação. Com o aumento do número de partículas do material de enchimento, a área superficial se torna maior, resultando em um aumento da estabilidade térmica do filme polimérico. A maior área

das partículas (resíduo) permitiu uma forte interação na termoestabilidade devido às forças atrativas de Van Der Waals no trabalho mecânico e líquido entre o material de enchimento e a matriz durante a degradação.

3.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 3 apresenta os espectros de FTIR de THR, THV e TPV. Observa-se na Figura 3 em todas as amostras analisadas a banda de absorção em 2920 cm^{-1} , referente ao estiramento de ligações C-H_2 , o que é comprovado pelo estudo de Bertuoli [15], em que entre 3000 e 2800 cm^{-1} foi observado o estiramento de ligações C-H . A análise de Relosi [20] indica que entre 2969 cm^{-1} e 2891 cm^{-1} ocorre o alongamento assimétrico e simétrico de ligações C-H_2 . Na banda de absorção observada em 2853 cm^{-1} ocorre a deformação axial de ligações C-H_2 e C-H_3 , conforme observado por Catarina [14] entre as faixas de 2886 e 2850 cm^{-1} . A maior banda de absorção é observada igualmente nas três amostras, ocorrendo em 1717 cm^{-1} . Catarina [14] verificou que em 1733 cm^{-1} ocorre a deformação axial da ligação dupla C=O , identificada como pertencente ao grupo de cetonas e ésteres. As bandas analisadas até aqui são tidas por Relosi [20] como características da estrutura poliéster/TGIC (agente de cura tiglicidilisocianurato). Em 1461 cm^{-1} é atribuída à deformação angular de CH_3 e CH_2 ; em 1261 cm^{-1} correspondem à deformação axial do C-O ; em 975 cm^{-1} é referente à deformação axial de C=C [14]. Entre 500 e 450 cm^{-1} , é possível observar no quadro ampliado da Figura 3 que TPV e THV apresentam comportamentos semelhantes, enquanto que THR apresenta uma intensidade de banda diferente a partir de 470 cm^{-1} que modifica totalmente a curva em relação às outras amostras. A variação na faixa de comprimento de onda entre 470 e 460 cm^{-1} pode ser relacionada à presença de inclusões minerais contidas na

tinta reaproveitada. O mesmo comportamento é observado por Relosi [20] que atribui essa variação à ligação Si-O-Si quando argila Montmorilonita 30 B é adicionada à mistura de tinta híbrida epóxi/poliéster.

3.3 Módulo de resistência à flexão (MRF)

Os resultados de força na ruptura dos ensaios de flexão, incluindo o valor da área obtida por software, espessura mínima e módulo de resistência à flexão (MRF) para cada amostra foram calculados. Para a amostra THR obteve-se uma média de $28,1\text{ MPa}$ e um desvio padrão de $9,4$ e um coeficiente de variação percentual de $33,66\%$. A amostra THV apresentou uma média de $22,4\text{ MPa}$, com um desvio padrão de $7,2$ e um coeficiente de variação percentual de $32,12\%$ [21-23]. Já a amostra TPV apresentou uma média de $40,9\text{ MPa}$, com um desvio padrão de $13,1$ e um coeficiente de variação percentual de $32,08\%$. Nota-se que o revestimento constituído em THR apresentou resistência mecânica à flexão superior ao revestimento de THV. Esta elevação provavelmente é resultante das inclusões contidas no pó de THR [24,25]. Para Katsoulis et al. [26], as propriedades mecânicas do material são dependentes da homogeneidade do material e a fraca interação química e/ou compatibilidade entre a matriz polimérica e as inclusões resultam em uma fraca adesão superficial e na diminuição das propriedades mecânicas do nanocompósito. Com isso, é possível verificar comportamento oposto, de acordo com os resultados de THR. As cargas de inclusões contribuíram positivamente para as características mecânicas do material, o que indica uma boa compatibilidade e interação química entre as inclusões e o meio polimérico. Já o TPV apresentou o melhor desempenho no ensaio mecânico de flexão, o que já era esperado. O estudo de Tabatabaeian [27] comparou agregados de concreto utilizando 100% poliéster e agregados de concreto utilizando 100% epóxi. Os resultados de ruptura

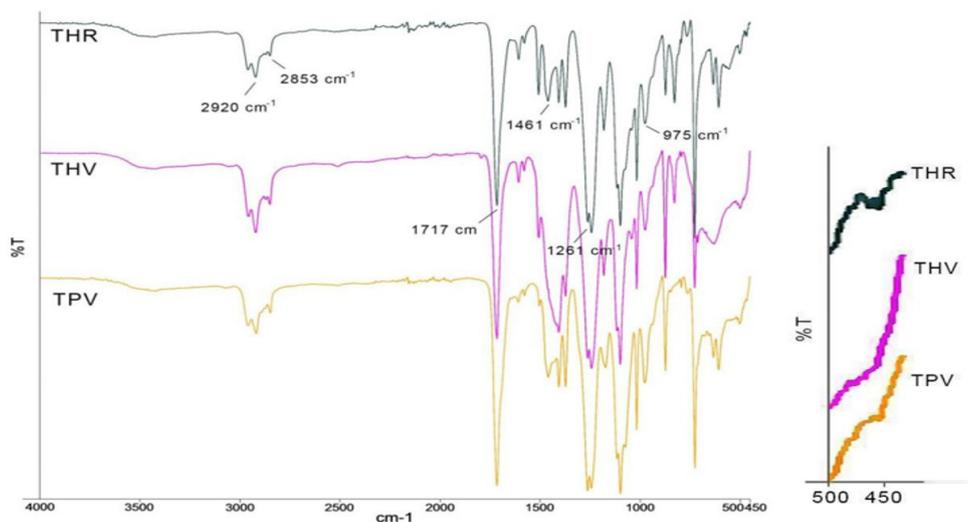


Figura 3. Espectros de FTIR para as amostras TPV, THV e THR.

à flexão mostraram um material mais flexível e resistente nas misturas de poliéster. Logo, nas amostras THV e THR que contém 30% de epóxi, o resultado não deveria ser diferente. Para Camargo [10] e Fazenda [22], quando comparado com os sistemas híbridos, o sistema poliéster/TGIC apresenta desempenho superior em propriedades mecânicas. As forças de interação entre a molécula epóxi e a superfície adjacente a ela são diretamente vinculadas à polaridade dos grupos éteres e hidroxilas alifáticas, que constituem a cadeia da resina inicial e a rede do sistema curado, otimizando o seu uso como adesivo e revestimento devido à alta adesão e dureza e, conseqüentemente, baixa flexibilidade e maior fragilidade [28]. Para comparar o revestimento obtido com classes de pisos cerâmicos normatizados, foram utilizadas as indicações da ABNT NBR ISO 13006, conforme Tabela 2.

Os revestimentos obtidos em THR, mesmo sendo de base polimérica, quando avaliados quanto a sua capacidade de resistência à flexão MRF, levando em conta o desvio padrão, oscilaram com valores máximos atingindo patamares de 37,5 MPa comparáveis à classe BII_a, classe comercial dos porcelanatos. Em valores mínimos de desvio padrão, os revestimentos obtidos de THR apresentaram MRF de 18,7 MPa, podendo ser comparados à classe AII_{a-1}, classe comercial dos revestimentos cerâmicos semi-porosos. Observando-se diretamente a média obtida de 28,14 MPa, os revestimentos poliméricos de THR podem ser comparados, quanto à sua resistência mecânica, à classe AI_b, classe comercial dos revestimentos cerâmicos semi-grés. A cerâmica tipo semi-grés é um produto fabricado no mesmo processo do piso cerâmico. A matéria prima é conformada em prensas de grande capacidade de compactação e produzidas em temperaturas de mais de 1.100 °C [29]. Desta forma, avaliando somente a resistência mecânica à flexão do piso, que é uma importante característica para seu uso, pois influencia diretamente na capacidade total de carga que o piso suportará, pode-se afirmar que o revestimento obtido neste trabalho representa uma excelente alternativa como substituição ao revestimento cerâmico, pois mesmo apresentando variação no experimento realizado, o revestimento obtido sempre pode ser comparado

a alguma classe de um revestimento cerâmico. Além disso, o revestimento polimérico obtido também representa uma excelente alternativa sustentável para a sua finalidade, pois provém de resíduos de descarte e a sua temperatura de cura de 200 °C exige uma demanda energética muito menor que o revestimento cerâmico.

3.4 Microscopia eletrônica por varredura (MEV)

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam as imagens obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) e em microscopia ótica (MO) para THR, TPV e THV, respectivamente. As faces analisadas ao microscópio são as seções de ruptura obtidas após os testes de flexão.

Analisando a morfologia das amostras THR (Figura 4a) e THV (Figura 6a) observa-se que THR manteve o modo de cura da tinta híbrida inalterado, independente das inclusões contidas na sua mistura. A morfologia resultante após a cura, se assemelha bastante à geometria dos poros obtidos na cura de THV, o que também é um excelente indicador de que a cura dos materiais foi bem-sucedida. No entanto, a formação de poros nas amostras THR (Figura 4b) e THV (Figura 6b) pode auxiliar na formação de trincas e conseqüentemente diminuir a resistência mecânica. Outro fator que pode ter contribuído na presença de muitos vazios é a falta de interação entre os constituintes. Isto ocorre possivelmente devido à alta tensão interfacial existente entre os componentes, o que torna a interface com baixa resistência. Quando há envolvimento eficiente da carga pelo polímero (matriz) este remove o ar incluso e cobre todas as protuberâncias da carga durante o processo de cura [30]. Observando THR no aumento de 160x (Figura 4b), é possível notar a presença de diversas inclusões no entorno dos poros e nas seções de ruptura, se comparado ao mesmo aumento de THV (Figura 6b). Neste contexto, é possível afirmar que as inclusões contidas na tinta reaproveitada estão interagindo no interior da matriz polimérica, aderindo ao polímero formado e contribuindo mecanicamente para o comportamento do material. A análise de THR em 1000x (Figura 4c) converge para a mesma conclusão, expondo micro seções de ruptura de polímero puro (sem inclusões) de 10 µm de comprimento ao lado de micro seções de ruptura de mesma dimensão contendo diversas inclusões. Por ser uma tinta reaproveitada obtida por varrição diretamente dos rejeitos, as inclusões que podem estar contidas no material são pó de natureza geral do ambiente fabril, que podem ser restos de abrasivos de lixa e pó fino metálico, visto que a empresa possui um setor de solda e acabamento no mesmo prédio, restos de jateamento por gralha de aço, processo utilizado para limpeza e regularização de superfícies antes da aplicação da tinta, também pode estar incluso pó de cimento que se desprende do chão por atrito, entre outros.

A amostra de TPV (Figura 5) apresenta uma estrutura interna extremamente densa em comparação com as amostras de tinta híbrida. Isso ocorre devido à cura do poliéster puro por TGIC ocorrer de maneira mais controlada em relação à

Tabela 2. Classificação dos tipos de revestimentos para pisos

Nomenclatura usual	MRF mín. (MPa)	MRF mín. individual (MPa)
AI _a	28	21
AI _b	23	18
AII _{a-1}	20	18
AII _{a-2}	13	11
AII _{b-1}	17,5	15
AII _{b-2}	9	8
AIII	8	7
BI _b	30	27
BII _a	35	32
BII _b	18	16
BIII	15	12

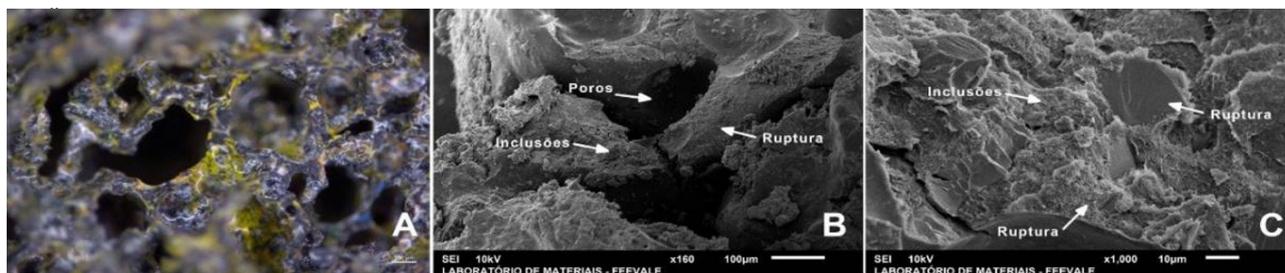


Figura 4. Morfologia de THR sendo a) MO 50x, b) MEV 160x e c) MEV 1000x.

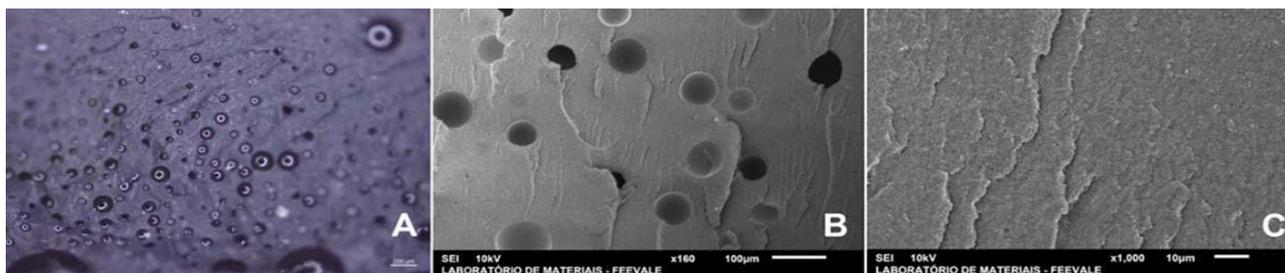


Figura 5. Morfologia de TPV sendo a) MO 50x, b) MEV 160x e c) MEV 1000x.

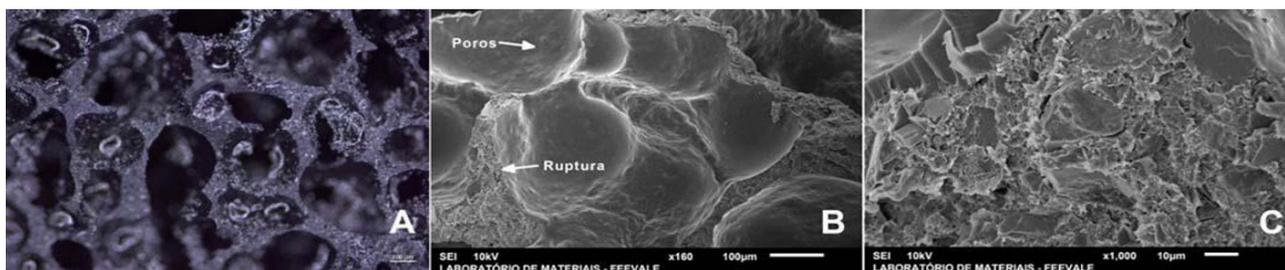


Figura 6. Morfologia de THV sendo a) MO 50x, b) MEV 160x e c) MEV 1000x.

cura pela interação com epóxi, caso da tinta híbrida. Além das propriedades intrínsecas à resina, a estrutura extremamente densa e coesa, conferiu às amostras de TPV espessuras finais bem menores, resultando em extrema flexibilidade, o que concorda com os resultados dos testes mecânicos de flexão. Já as amostras de THR e THV, por apresentarem uma estrutura interna extremamente porosa, resultaram em uma espessura final maior após a cura e tiveram menor deformação na flexão até a ruptura.

4 Conclusões

Pelos resultados obtidos, foi possível comparar os revestimentos poliméricos obtidos em THR, quanto a resistência mecânica, com as classes de revestimentos cerâmicos na ABNT NBR ISO 13006. Obteve-se um módulo de resistência à flexão médio de 28,14 MPa, o que tornou

possível comparar o revestimento polimérico de THR com os revestimentos cerâmicos da classe Semi-Grês, mostrando que esta alternativa de reciclagem apresenta resistência mecânica suficiente para a aplicação. As microscopias de THR apresentaram uma forma geométrica resultante após a cura que se assemelha bastante à geometria dos poros obtidos na cura de THV, o que também é um excelente indicador de que a cura dos materiais foi bem-sucedida. Isso mostra que a utilização de resíduos de tinta híbrida de pintura eletrostática a pó para fabricação de revestimentos para piso, do ponto de vista mecânico, é possível.

Agradecimentos

Os autores também agradecem ao apoio financeiro de agências brasileiras: CNPq, FAPERGS e Instituto Nacional de Engenharia de Superfície - INCT.

Referências

- 1 Jozsef B, Blaga, P. Factors that generate nonconformities in the electrostatic powder painting. *Procedia Technology*. 2015;19:1089-1093.

- 2 Thomas A, Saleh K, Guigon P, Czechowski C. Characterisation of electrostatic properties of powder coatings in relation with their industrial. *Powder Technology*, Compiègne. 2008;190(1-2):230-235.
- 3 Meschievitz T, Rahangdale Y, Pearson R. US council for automotive research (USCAR) low-emission paint consortium: a unique approach to powder painting technology development. *Metal Finishing*. 1995;93:(10):26-31.
- 4 Fedrizzi L, Stenico M, Deflorian F, Maschio S, Bonora PL. Effect of powder painting procedures on the filiform corrosion of aluminium profiles. *Progress In Organic Coatings*. 2007;59(3):230-238.
- 5 Fedrizzi L, Rodriguez FJ, Rossi S, Deflorian F. Corrosion study of industrial painting cycles for garden furniture. *Progress in Organic Coatings*. 2003;46(1):62-73.
- 6 Prasad LK, McGinity JW, Williams RO. Electrostatic powder coating: principles and pharmaceutical applications. *International Journal of Pharmaceutics*. 2016;505(1-2):289-302.
- 7 Barringer SA, Sumonsiri N. Electrostatic coating technologies for food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2015;6(1):157-169.
- 8 Sauer D, Cerea M, DiNunzio J, McGinity J. Dry powder coating of pharmaceuticals: a review. *International Journal of Pharmaceutics*. 2013;457(2):488-502.
- 9 Cruz GT. Otimização do processo de moagem de tintas industriais base solvente [monografia]. Novo Hamburgo: Universidade Feevale; 2015.
- 10 Camargo M. Resinas poliésteres carboxifuncionais para tinta em pó: caracterização e estudo cinético da reação de cura [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2002.
- 11 Sampuran-Singh O, O'Neill BC, Bright AW. A parametric study of electrostatic powder coating. *Journal of Electrostatics*. 1978;4(4):325-334.
- 12 Fu J, Krantz M, Zhang H, Zhu J, Kuo H, Wang YM, et al. Investigation of the recyclability of powder coatings. *Powder Technology*. 2011;211(1):38-45.
- 13 Weg. Preparação de tintas e vernizes, limpeza e descarte de embalagens visando à preservação ambiental. Mauá: Weg; 2017. 12 p.
- 14 Catarina GAS, Borsoi C, Romanzini D, Piazza D, Kunst SR, Scienza LC, et al. Development of acrylic-based powder coatings with incorporation of montmorillonite clays. *Journal of Applied Polymer Science*. 2017;134(27):45031.
- 15 Bertuoli PT. Desenvolvimento e caracterização de uma tinta em pó base poliéster contendo montmorilonita funcionalizada com silano [dissertação]. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul; 2014.
- 16 Lakshmi MS, Namadha B, Redd BS. Enhanced thermal stability and structural characteristics of different MMT-clay/epoxy-nanocomposite materials. *Polymer Degradation & Stability*. 2008;93:201-213.
- 17 Wang SF, Hu Y, Wang ZZ, Chen ZY, Fan WC. Synthesis and characterization of PC/ABS/montmorillonite nanocomposite. *Polymer Degradation & Stability*. 2003;80:157-161.
- 18 He H, Duchet J, Galy J, Gérard JF. Influence of cationic surfactant removal on the thermal stability of organoclays. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2006;295:202-208.
- 19 Parra DF, Mercuri LP, Matos JR, Brito HF, Romano RR. Thermal behavior of the epoxy and polyester powder coatings using thermogravimetry/differential thermal analysis coupled gas chromatography/mass spectrometry (TG/DTA-GC/MS) technique: identification of the degradation products. *Thermochimica Acta*. 2002;386(2):143-151.
- 20 Relosi N, Neuwald OA, Zattera AJ, Piazza D, Kunst SR, Birriel EJ. Effect of addition of clay minerals on the properties of epoxy/polyester powder coatings. *Polímeros*. 2018;28(4):355-367.
- 21 Yew MC, Sulong NHR, Yew MK, Amalina MA, Johan MR. The formulation and study of the thermal stability and mechanical properties of an acrylic coating using chicken eggshell as a novel bio-filler. *Progress in Organic Coatings*. 2013;76:1549-1555.
- 22 Fazenda JMR. Tintas: ciência e tecnologia ABRAFATI. 4. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher; 2009. 1124 p.
- 23 Piazza D, Baldissera AF, Kunst SR, Rieder ES, Scienza LC, Ferreira CA, et al. Influence of the addition of montmorillonite in an epoxy powder coating applied on carbon steel. *Materials Research*. 2015;18:897-903.
- 24 Esteves ACC, Timmons AB, Trindade T. Nanocompósitos de matriz polimérica: estratégias de síntese de materiais híbridos. *Química Nova*. 2004;27(5):798-806.
- 25 Birriel, E. J., Piazza, D., Zattera, A. J., Rodrigues, K. S. and Amaral, C. B. Processo de obtenção de pó de PET a partir de PET pós-consumido, uso do pó de PET em tinta à base de poliéster. BR 10201502422. 2017 Nov 24.

- 26 Katsoulis C, Kandare E, Kandola BK. The effect of nanoparticles on structural morphology, thermal and flammability properties of two epoxy resins with different functionalities. *Polymer Degradation & Stability*. 2011;96:529-540.
- 27 Tabatabaeian M, Khaloo A, Khaloo H. An innovative high performance pervious concrete with polyester and epoxy resins. *Construction & Building Materials*. 2019;228:116820.
- 28 Pires G, Pereira DS, Dias Filho NL, Vecchia GD. Caracterização físico-química e mecânica do sistema éster de silsexquioxano/resina epóxi dgeba/dietilenotriamina. *Revista Matéria*. 2005;10(2):317-330.
- 29 Terracotagres [página da internet]. [acesso em 17 maio 2020]. O que é telha cerâmica semi-grês? Disponível em: <http://inmovementtecnologia.com.br/terracotagres/o-que-e-a-telha-ceramica-semi-gres/>.
- 30 Gupta K, Purwar SN. Studies on binary and ternary blends of polypropylene with SEBS, PS, and HDPE. II. Tensile and impact properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 1985;30(5):1799-1814.

Recebido em: 11 Dez. 2020

Aceito em: 12 Mar. 2021