

Avaliação de diferentes tintas em pó, do tipo híbrido e poliéster, para aplicação em produtos de linha branca

Aline Missiaggia¹, Diego Piazza², Douglas Alexandre Simon¹,
Edson Luiz Francisquetti^{1*}
*Orientador

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)
Campus Farroupilha. Farroupilha, RS, Brasil.

²Universidade de Caxias do Sul (UCS) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia -
CCET. Caxias do Sul, RS, Brasil.

Resumo. Tintas em pó são utilizadas para proteger e proporcionar um acabamento final a superfície de um substrato. Por apresentarem facilidade de aplicação, baixo custo e serem livres de solventes, tornaram-se a principal alternativa nas indústrias, tal qual na linha branca. A sua utilização costuma representar cerca de 5 % do custo total de um produto, representação que estimula a busca por tintas com maior economia de aplicação aliadas a boas propriedades, com a premissa de tornar o produto final mais competitivo. O objetivo deste trabalho é analisar formulações de tintas em pó de diferentes fornecedores buscando compará-los quanto à economia de aplicação, desempenho mecânico e anticorrosivo para identificar a melhor opção para aplicação em produtos de linha branca. Das tintas analisadas, duas são do tipo híbrido (epóxi-poliéster) e duas poliéster, denominadas como H, H1, P e P1. Como metodologia de análise, as tintas foram caracterizadas por espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), distribuição do tamanho de partícula, avaliação da *First Pass Transfer Efficiency* (FPTE) e cálculo de rendimento. Após o revestimento foi aplicado e analisado quanto a espessura de camada de tinta, resistência ao impacto, flexibilidade, aderência e ensaio de névoa salina. Como resultado, os espectros FTIR apresentaram bandas semelhantes para todas as tintas, sendo que apenas as tintas P e P1 não apresentaram as bandas características da resina epóxi. Na distribuição granulométrica, as tintas apresentaram partículas com formato irregular devido ao processo mecânico de moagem. Dentre as amostras analisadas, a amostra P1 apresentou menor tamanho médio de partícula de pó e menor FPTE, resultado que pressupõe maior economia na aplicação, pois proporciona maior uniformidade de camada de tinta aplicada. Este comportamento também foi observado no cálculo de rendimento, com melhor resultado econômico na tinta P1, seguido pela tinta H1, P e H. A espessura da tinta nos corpos de prova produzidos permaneceu entre 38 a 45 µm. Obtiveram-se resultados satisfatórios nos ensaios mecânicos de aderência e

flexibilidade. Para o ensaio de impacto, somente a tinta híbrida H1 apresentou trincas, indicando menor resistência mecânica. Na análise de resistência à corrosão, as tintas apresentaram resultados equivalentes com migração subcutânea inferior a 3 mm após 504 horas de exposição. Como conclusão, a tinta P1 promete maior economia na aplicação combinada a boas propriedades mecânicas e anticorrosivas. A tinta H1 apresentou menor resistência mecânica e a tinta H apresentou menor resultado de economia na aplicação.

Palavras-chave: Tinta em pó. Poliéster. Híbrida. Linha branca.

Abstract. Powder coatings are used to protect and provide a final surface finish to a substrate. They are easy to apply, inexpensive and solvent free, characteristics that have made powder coating the main alternative in industries, just like the white goods. Its use usually represents about 5% of the total cost of a product, a representation that stimulates the search for coatings with greater economy of application together with good properties, in order to make the final product more competitive in the market. In this work were analyzed formulations of powder coatings from different suppliers looking for measure the application economics, mechanical and anticorrosive performance for use in white goods. Two coatings are of the hybrid type (epoxy-polyester) and two of the polyester type, denominated respectively as H, H1, P and P1. The powder coatings were characterized by Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), particle size distribution, First Pass Transfer Efficiency (FPTE) evaluation and yield calculation. The applied coating was analyzed for layer thickness, impact strength, flexibility, adhesion and salt spray testing. The FTIR spectra presented similar results for all coatings, only the P and P1 lacking the characteristic bands of the epoxy resin. The coatings presented irregular shaped particles due to the mechanical grinding process. Among the samples analyzed, the sample P1 presented a lower average particle size of powder and lower FPTE, a result that presupposes greater application savings, since it provides greater uniformity of applied layer. This behavior was also observed in the yield calculation, with best economical result in coating P1, followed by paint H1, P and H. The thickness of the coating remained between 38 and 45 μm in all samples. Satisfactory results were obtained in the mechanical tests of adhesion and flexibility. For the impact test, the H1 hybrid coating showed cracks, indicating less mechanical resistance. In the analysis of corrosion resistance, the coatings presented equivalent results with subcutaneous migration of less than 3 mm after 504 hours of exposure. In conclusion, the P1 coating promises greater economy in the application combined with good mechanical and anticorrosive properties. The H1 coating

presented lower mechanical resistance and the H coating presented lower saving result in application.

Keywords. Powder coatings. Polyester. Hybrid. White goods.

1. Introdução

As tintas em pó tornaram-se a principal alternativa nas indústrias, tal qual na linha branca, por apresentarem facilidade de aplicação, baixo custo e vantagens ambientais, devido a utilização de praticamente 100 % da tinta aplicada através de sistemas de recuperação de pó e a ausência de emissão de compostos orgânicos voláteis, eliminando a geração de resíduos de solvente e a necessidade de tratamento deste. A utilização de tintas em pó na indústria representa cerca de 5 % do custo total de um produto estimulando a busca por tintas com maior economia de aplicação aliadas a boas propriedades com a premissa de tornar o produto final mais competitivo no mercado. Absorvendo esta demanda, os produtores de tintas em pó têm desenvolvido tintas que atendam requisitos rigorosos em aparência, uniformidade, eficiência de aplicação e propriedades, possibilitando apresentar aos segmentos industriais de aplicação, diversas propostas visando maior desempenho [1; 2]. Neste trabalho analisou-se formulações de tintas em pó de diferentes fornecedores buscando compará-los quanto à economia de aplicação, desempenho mecânico e anticorrosivo para identificar a melhor opção para aplicação em produtos de linha branca.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Os corpos de prova utilizados para aplicação dos revestimentos em pó foram confeccionados em aço carbono *Society of Automotive Engineers* (SAE) 1010 com dimensões de 100 x 200 x 0,4 mm. Para limpeza do substrato metálico foi utilizado o desengraxante Gardoclean V 338 MC e para tratamento superficial foi utilizado o composto a base de silanos denominado como Oxsilan 9817, os dois produtos foram fornecidos pela empresa Chemetall do Brasil LTDA. As diferentes propostas de tintas em pó foram aplicadas nos corpos de prova e foram identificadas como H, H1, P e P1, apresentando as características descritas na Tabela 1 extraídas do boletim técnico dos fabricantes.

Caraterísticas	H	H1	P	P1
Tipo de revestimento	Híbrido	Híbrido	Poliéster	Poliéster
Peso específico médio (g.cm ⁻³)	1,75	1,55	1,56	1,65
Camada de tinta aplicada (µm)	35 a 45	35 a 45	40 a 60	35 a 45
Mínimo de resistência ao impacto (kgf.cm)	80	80	50	80
Mínimo de resistência à corrosão (horas)	500	500	500	500

Tabela 1: Características das tintas utilizadas

2.2 Métodos

As tintas em pó foram caracterizadas pela análise de espectrometria na região do infravermelho (FTIR) utilizando sistema de reflexão total atenuada (ATR) com auxílio de cristal diamante na faixa de comprimento de onda entre 400 a 4000 cm⁻¹ para identificar compostos presentes.

Para investigar o desempenho da tinta na aplicação, analisou-se o formato das partículas do pó, a distribuição granulométrica das partículas, calculou-se a *First Pass Transfer Efficiency* (FPTE) e o rendimento teórico. O formato das partículas de pó foi determinado pela análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando tensões de aceleração de 15 kV e aumento de até 500 vezes. A distribuição do tamanho de partícula foi realizada utilizando como método de análise a técnica de espalhamento de luz laser. A (FPTE), foi analisada conforme Equação 1.

$$FPTE = \frac{M_p}{m \times t_c} \quad (1)$$

Sendo:

M_p a massa de pó aplicada sobre a peça;

m a taxa do fluxo de pó;

t_c o tempo de pulverização do pó sobre a peça.

Para medir a taxa do fluxo de pó (m), a pistola de aplicação foi ativada por um período de 1 minuto pulverizando a tinta no interior de um receptáculo polimérico flexível e de massa conhecida. Após a quantidade de tinta pulverizada foi pesada. Para medir a massa de pó aplicada sobre a peça (M_p), utilizou-se painéis de aço carbono SAE 1010 tratados, com dimensões de 0,4 x 700 x 740 mm. Os painéis foram pesados antes da etapa de pintura, e após a pistola de aplicação de pó foi centralizada e posicionada a uma distância de 30 cm em relação ao painel. Com a pistola de aplicação regulada e o reservatório de pó abastecido e fluidizado, aplicou-se a tinta por um período de 10 segundos. O revestimento em pó sobre o painel foi curado e pesado novamente.

O rendimento teórico foi determinado utilizando a Equação 2.

$$R = \left(\frac{1000}{C \times \rho} \right) \times FPTE \quad (2)$$

Sendo:

ρ o peso específico do pó (g.cm⁻³);

C a espessura de camada média de tinta que se deseja aplicar (μm);

$FPTE$ a eficiência de transferência de primeira passagem (%)

O revestimento em pó foi aplicado sobre os corpos de prova de aço carbono previamente tratados, através do processo de spray. Os corpos de prova foram submetidos aos estágios de desengraxe, enxague com água potável, aplicação da proteção superficial a base de silanos e enxague com água deionizada. A aplicação da tinta em pó foi realizada de forma manual utilizando o sistema de pintura a pó eletrostática, com o auxílio de uma pistola do tipo corona, marca Nordson, modelo Encore em uma cabine de pintura de escala industrial. Para a cura da tinta, as amostras foram colocadas em uma estufa pelo tempo de 13 minutos a uma temperatura de 193 °C.

As tintas em pó aplicadas sobre o aço carbono foram avaliadas mecanicamente pelos testes de aderência, impacto e flexibilidade. A aderência ao substrato metálico foi analisada seguindo metodologia da norma ASTM D3359-09 método B. A resistência ao impacto seguiu metodologia da norma ASTM D2794-93 e utilizando o equipamento da TKB Erichsen com força de impacto de 80 kg.cm⁻¹. O ensaio de flexibilidade foi realizado pelo método do mandril cônico, seguindo a norma ASTM D522-93^a, empregando o equipamento de marca não identificada [3; 4; 5].

O desempenho à corrosão em névoa salina foi baseado na norma ASTM B117-11, utilizando solução de NaCl 5% (p/v), com pH de 6,5 a 7,2 e temperatura de 35 ± 2°C. As amostras tiveram as bordas e o furo protegidos com cera de abelha e uma incisão em X foi realizada para verificação da migração subcutânea. As amostras foram posicionadas na câmara em um ângulo de 15° em relação à vertical, conforme as recomendações da norma. A análise da migração subcutânea seguiu a norma ASTM D1654-08, sendo realizada logo após o ensaio de névoa salina [7; 8].

3. Resultados

A Figura 1 apresenta os espectros de FTIR das tintas H, H1, P e P1 e a Tabela 2 contém as principais bandas observadas com as respectivas atribuições. O poliéster está presente em todos os espectros analisados, sendo identificado pela banda em 1720 cm⁻¹, correspondente ao alongamento –C=O do grupo éster, e pelas bandas em 1180 e 1100 que foram atribuídas por Gheno et al. características do grupo éster alifático. O epóxi está presente nas tintas híbridas H e H1 e é identificado pelas bandas em 1610, 1510 e 830 cm⁻¹, [9; 10; 11].

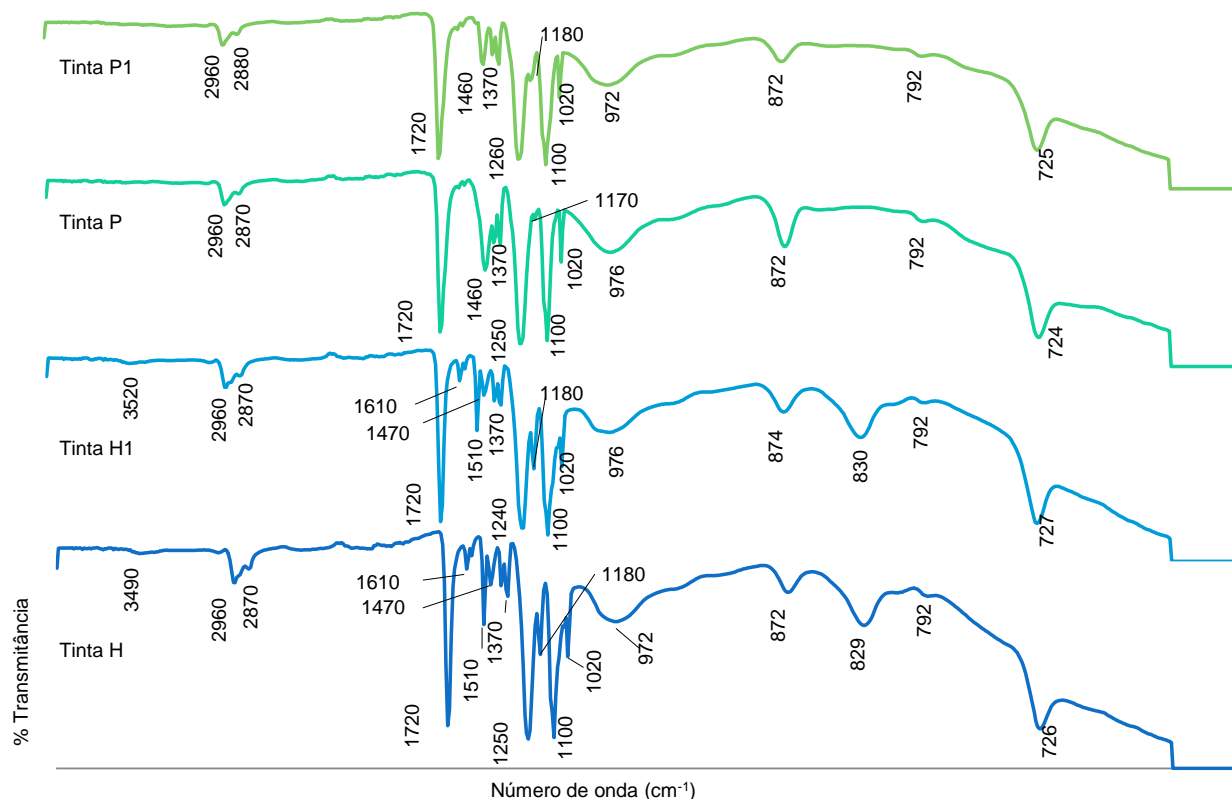


Figura 1: Espectros de FTIR das tintas em pó H, H1, P e P1

Número de onda (cm ⁻¹)	Atribuição	H	H 1	P	P1
3520 a 3490	Deformação axial O-H	✓	✓	✗	✗
2960 a 2870	Deformação axial do grupo CH ₂ e CH ₃	✓	✓	✓	✓
1720	Deformação axial de C=O;	✓	✓	✓	✓
1610 - 1510	Vibrações de C=C de núcleo aromático;	✓	✓	✗	✗
1470 a 1460 e 1370	Deformação de C-H	✓	✓	✓	✓
1260 a 1240	Alongamento de vibração assimétrica –C-O	✓	✓	✓	✓
1180 - 1170 e 1100	Alongamento C-O-C de éster alifático	✓	✓	✓	✓
976 a 972	Alongamento vibracional C-O	✓	✓	✓	✓
830 a 829	Presença de C-O característico do anel epoxídico;	✓	✓	✗	✗
730 a 724	Deformação do grupo CH ₂	✓	✓	✓	✓

Tabela 2: Bandas de absorção observadas nos espectros de FTIR H, H1, P e P1

Na análise de MEV (Figura 2) identifica-se que todas as amostras apresentaram partículas de pó com formato irregular. Geometrias irregulares

dificultam o empacotamento do pó sobre o substrato a ser revestido e promovem uma distribuição não uniforme de carga elétrica na aplicação eletrostática, prejudicando a uniformidade da película de tinta aplicada. Apesar das dificuldades, é comum obter este resultado devido ao processo mecânico de moagem [12].

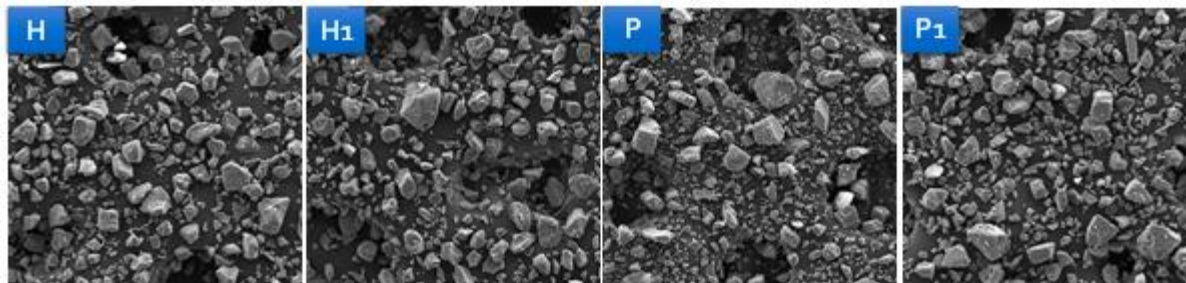


Figura 2: Morfologia das partículas de pó visualizadas da análise de MEV com aumento de 500 x

Na Tabela 3 apresenta-se o tamanho de partícula abaixo do qual se situam 10% das amostras $D(v,0,1)$, o tamanho de partícula abaixo do qual se situam 50% da amostra $D(v,0,5)$, considerado como tamanho médio das partículas e o tamanho de partícula abaixo do qual se situam 90% da amostra $D(v,0,9)$. Para todas as amostras analisadas, o tamanho médio das partículas ficou abaixo da espessura de camada de tinta desejada (35 a 50 μm), o que favorece a qualidade do acabamento de pintura, pois tintas com diâmetro médio de partícula superior à espessura da camada final desejada provocam uma irregularidade na película, não sendo recomendada para a aplicação [13]. O revestimento P1 apresentou os menores tamanhos de partícula em $D(v,0,1)$, $D(v,0,5)$ e $D(v,0,9)$, onde segundo estudos realizados por Shah et al. (2006), quanto menor o tamanho médio das partículas das tintas em pó, maior a uniformidade da película de pó aplicada, facilitando a regulagem de vazão e resultando em uma tinta com maior economia na aplicação [14].

Dados	H (μm)	H1 (μm)	P (μm)	P1 (μm)
$D(v,0,1)$	8,78	18,80	10,35	7,64
$D(v,0,5)$	32,11	34,55	36,34	29,98
$D(v,0,9)$	58,44	61,22	67,56	57,63

Tabela 3: Tamanho de partícula das tintas em pó (μm)

As informações relevantes para o cálculo da FPTE, bem como o resultado, estão descritos na Tabela 4, onde se identifica que a amostra P1 distingue-se das demais por apresentar menor FPTE seguida pela amostra H. Na Figura 3 constata-se que a amostra P1, que apresenta menor FPTE, se sobressai entre as demais por apresentar maior uniformidade de camada de tinta aplicada sobre o substrato, já a amostra H1 que apresenta maior FPTE é nitidamente a tinta que apresenta menor uniformidade de tinta aplicada sobre o substrato.

Parâmetro	H	H1	P	P1
Peso peça bruta (kg)	1,64	1,66	1,64	1,65
Peso peça pintada (kg)	1,68	1,70	1,68	1,69
M_p - Massa de pó aplicada (kg)	0,04	0,04	0,04	0,04
m - Taxa do fluxo de pó ($\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$)	0,340	0,310	0,310	0,360
t_c - Tempo de pulverização do pó (min)	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667
FPTE (%)	71	77	77	67

Tabela 4: Resultados da eficiência de transferência de primeira passagem

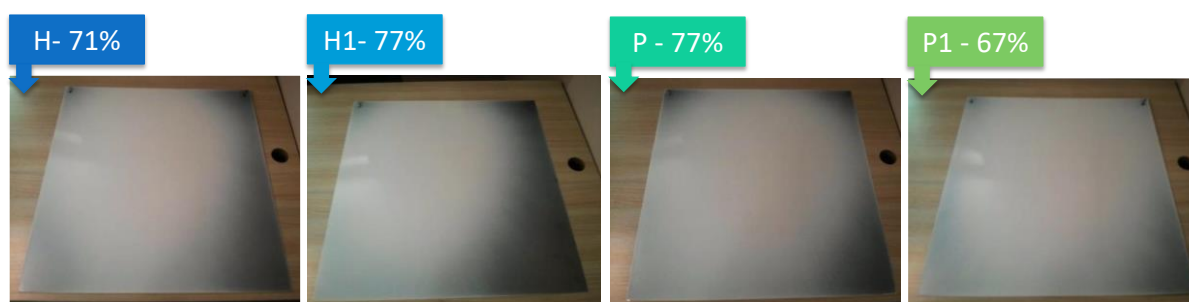


Figura 3: Uniformidade da camada de tinta para cada resultado de FPTE

A FPTE pode ser um ótimo método para identificar se o revestimento apresenta vantagens econômicas ou não. Resultados de eficiência de transferência superiores indicam que a maior parte da tinta pulverizada foi depositada na peça, podendo ser vantajoso eliminar a reciclagem do excesso de pó pulverizado em resultados superiores a 90 %, principalmente em aplicações com alta necessidade de mudanças de cor no sistema. No entanto, resultados superiores de eficiência de transferência também costumam apresentar menor uniformidade da película de pó aplicada, podendo influenciar negativamente na economia da aplicação. Isto acontece, pois a trajetória das partículas é dependente das dimensões das mesmas, onde partículas de grande porte sofrem um maior impulso com o transporte do ar, aplicando mais tinta sobre o substrato onde a pistola de aplicação estava centralizada. As partículas maiores também sofrem maior força da gravidade e muitas partículas caem antes que eles atinjam a parte de revestimento. Além do mais, partículas maiores apresentam maior dificuldade no empacotamento das partículas, necessitando de maior quantidade de tinta para cobrir os vazios entre as partículas [14].

A distribuição do tamanho de partícula e o formato das partículas influenciam diretamente na eficiência de transferência e na espessura de camada de tinta aplicada [15; 16]. Ao analisar o tamanho médio das partículas da amostra P1, que apresentou melhor uniformidade na aplicação e menor FPTE, identifica-se que esta apresenta também, menor tamanho médio de partícula. A amostra H1, que apresentou o maior diâmetro em $D(v,0,1)$ juntamente com a amostra P que apresentou os maiores

diâmetros em $D(v,0,5)$ e $D(V,0,9)$, obtiveram maiores resultados de FPTE. Com isso, conclui-se que a distribuição granulométrica influencia no resultado de eficiência de transferência e esta impacta diretamente na uniformidade da camada aplicada, na qual, quanto menores as partículas de pó, menor a eficiência de transferência e maior a uniformidade de camada de tinta, proporcionando possivelmente, maior economia na aplicação.

A economia na aplicação de uma tinta em pó também pode ser dada pelo cálculo do rendimento, ou seja, quantos m^2 podem ser pintados com 1 kg de tinta [17]. O peso específico é uma propriedade importante para se avaliar quando se busca maiores rendimentos, pois influencia na massa da tinta e na fluidez do pó através da pistola de aplicação [18]. Pós com maior peso específico apresentam maior compactação das partículas e conseqüentemente maior irregularidade na taxa de fluxo de pó na pistola de aplicação. Flutuações no fluxo de pó, aglomeração e fusão do pó por impacto, devem ser evitados, pois pequenas alterações nas características de dispersão e fluxo alteram a uniformidade de camada do filme final [15; 19]. Além do mais, tintas com maior peso específico apresentam em sua composição, maior teor de cargas inorgânicas que tornam a tinta mais porosa podendo resultar em um menor poder de cobertura [20].

A camada média de tinta aplicada também influencia no rendimento, quanto maior a camada de aplicação para cobrir uma determinada área, maior a quantidade de tinta utilizada. A camada de tinta necessária para cobrir o substrato varia com o tamanho das partículas do pó. Pós com maior diâmetro médio de partículas apresentam menor uniformidade da película aplicada, sendo necessário aumentar a vazão de pó para cobrir as áreas com menor quantidade de tinta e resultando em um revestimento com menor economia na aplicação [14; 15]. Diante desta constatação, vinculou-se o resultado da análise de FPTE ao cálculo de rendimento, considerando que a tinta com menor FPTE apresenta também, menor camada de tinta aplicada. Aumentou-se proporcionalmente a camada conforme aumentado o resultado do FPTE.

Na Tabela 5 observa-se que a tinta P1 apesar de não apresentar o menor peso específico, devido ao menor diâmetro médio de partícula e menor FPTE, possivelmente apresentará o melhor rendimento na aplicação.

Parâmetro	H	H1	P	P1
Peso específico ($g.cm^{-3}$)	1,75	1,55	1,56	1,65
FPTE (%)	71	77	77	67
Camada média de aplicação (μm)	42,39	45,97	45,97	40,00
Rendimento (m^2/kg)	13,48	14,03	13,94	15,15

Tabela 5: Dados para obtenção e rendimento teórico

Para o ensaio de aderência, corpos de prova com camada média entre 38 a 41 μm foram analisados, cujos resultados estão representados na Figura 4. Independentemente do tipo de tinta aplicada, os corpos de prova apresentaram resultados equivalentes no ensaio de aderência, na qual obtiveram predominantemente grau 5B de deslocamento, com 0% da área do revestimento orgânico removido. Este resultado indica que as forças de adesão dos diferentes revestimentos orgânicos ao tratamento superficial e ao substrato são equivalentes. Ferreira et al. cita em seu estudo que garantida uma boa limpeza superficial e um alto grau de ancoramento mecânico, a aderência do revestimento estará assegurada [21].

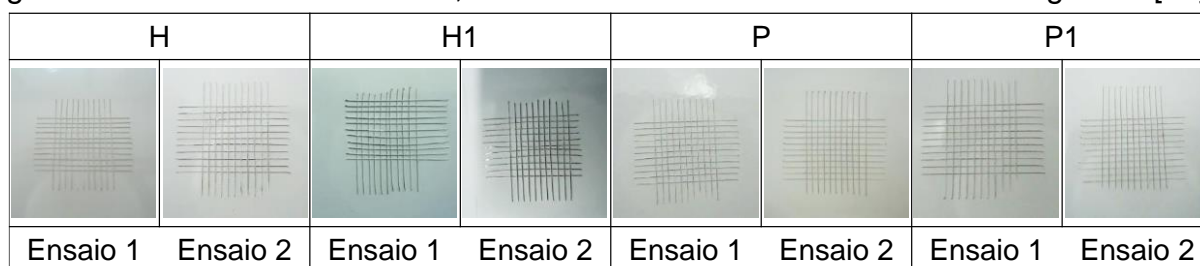


Figura 4: Resultado análise de aderência das tintas H, H1, P e P1

Para o ensaio de resistência ao impacto, corpos de prova com camada média entre 38 a 41 μm foram analisados. Na Figura 5 visualiza-se o aspecto dos revestimentos submetidos a uma força de impacto de 1 kg. 80 cm^{-1} , foi observado que o revestimento H1 apresentou trincas no impacto direto e reverso nos corpos de prova do ensaio 1 e 2. Segundo Ferreira (2002), este tipo de comportamento pode estar relacionado a um conjunto de fatores como alta espessura do recobrimento, problemas no tratamento superficial, defeitos na superfície, falta de cura e/ou alta energia do impacto.

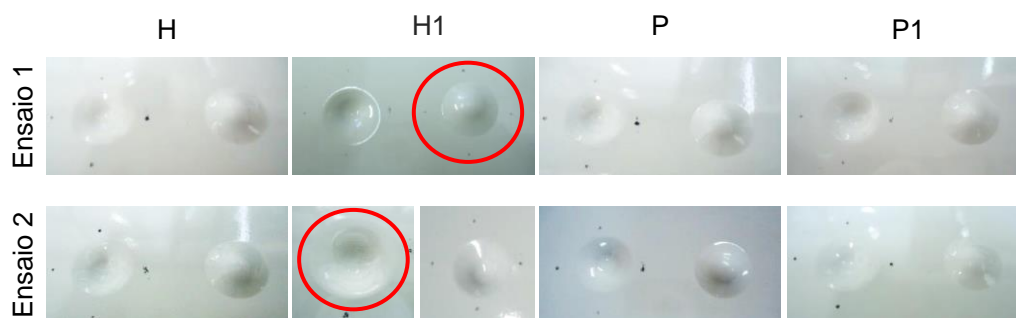


Figura 5: Resultado impacto submetidos a uma força de 1 kg.80 cm^{-1}

Para o ensaio de flexibilidade, corpos de prova com camada média entre 40 a 42 μm foram analisados. A Figura 6 apresenta o aspecto dos corpos de prova após ensaio de flexibilidade, apresentando excelente desempenho em todos os casos, indicando a inexistência de trincas, fissuras ou deslocamentos. O resultado satisfatório indica boa aderência entre o revestimento e o substrato metálico.



Figura 6: Resultado do ensaio de flexibilidade

O aspecto visual dos corpos de prova submetidos a exposição de névoa salina por 504 horas está representado na Figura 7 e as medidas da migração subcutânea na região do corte em X está descrita na Tabela 6. Todos os revestimentos em análise apresentaram média de migração subcutânea inferior a 3 mm, bem como não apresentaram pontos de deslocamento da tinta ao longo da amostra, apresentando resultados satisfatórios. A ausência de pontos de corrosão ao longo da amostra pressupõe a inexistência de imperfeições entre o substrato e o revestimento, pois estas imperfeições favorecem a penetração de partículas de água e íons de cloro ocasionando a aceleração do processo corrosivo e, conseqüentemente, o deslocamento do revestimento em regiões próximas ao defeito mecânico produzido intencionalmente (incisão) [13].

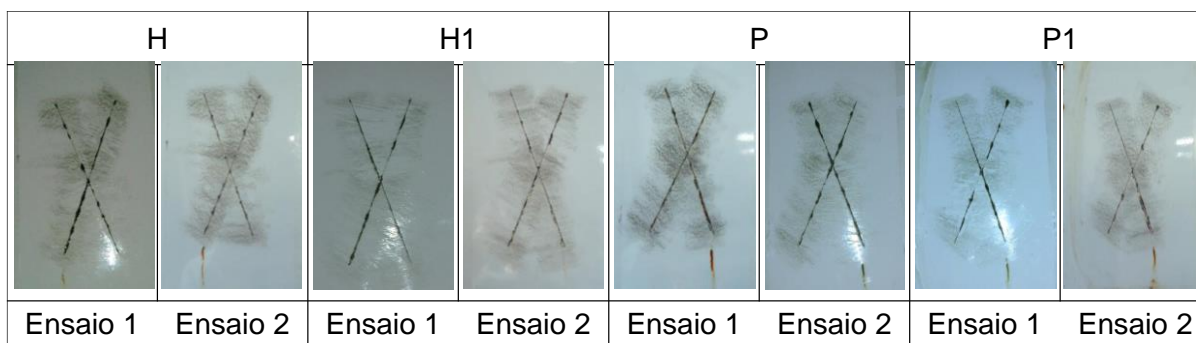


Figura 7: Resultado migração subcutânea das amostras

Amostra	Média (mm)	Desvio padrão (mm)
H	1,0	0,1
H1	0,8	0,2
P	1,2	0,1
P1	0,9	0,2

Tabela 6: Medidas da migração subcutânea dos revestimentos em análise

A média de migração subcutânea obtida indica a perfeita ancoragem da tinta ao tratamento superficial e ao substrato, na qual o tratamento superficial implica de forma direta na resistência à corrosão.

Considerações finais

Neste trabalho foram constatadas diferenças significativas na economia de aplicação das tintas. Os resultados foram influenciados principalmente pela distribuição granulométrica do pó e pelo peso específico da tinta. Identificou-se que a tinta P1 se sobressaiu na economia de aplicação seguida da tinta H1, P e H. Através dos ensaios mecânicos de aderência e flexibilidade verificou-se que independentemente do tipo de revestimento aplicado, os resultados foram equivalentes e satisfatórios, indicando que as forças de adesão dos diferentes revestimentos orgânicos ao tratamento superficial e ao substrato são equivalentes. A tinta H1 apresentou menor resistência ao impacto, cujo comportamento pode estar relacionado a um conjunto de fatores como alta espessura do recobrimento, problemas no tratamento superficial, defeitos na superfície e/ou falta de cura. Na análise de resistência à corrosão, todas as amostras apresentaram perfeita ancoragem da tinta ao tratamento superficial e ao substrato, com inexistência de imperfeições entre o substrato e o revestimento e média de migração subcutânea menor do que 3 mm, indicando resultados satisfatórios de resistência à corrosão, para todos os casos, quando expostos pelo período de 504 horas a solução de névoa salina.

Referências

- [1] BARLETTA, M. Dry sliding wear response of some industrial powder coatings. **Tribology International**, v. 44, n. 10, p. 1236-1250, 2011. ISSN 0301-679X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X1100168X>>. Acesso em: 15/11/2016.
- [2] WANG, F.; MARTINUZZI, R.; ZHU, J. Experimental study of particle trajectory in electrostatics powder coating process. **Powder Technology**, v. 150, n. 1, p. 20-29, 2005. ISSN 0032-5910. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591004005236>>. Acesso em: 15/03/2015.
- [3] AMERICAN. **Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test. D3359-09**. West Conshohocken: 2009. 8 p.
- [4] _____. **Standard Practice for Measurement of Thickness of Applied Coating Powders to Predict Cured Thickness. D7378-10**. West Conshohocken: 2010. 4 p.
- [5] _____. **Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings. D522 – 93a**. West Conshohocken: 2008. 4 p.

- [6] _____. **Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion.** D870 – 15. West Conshohocken: 2015. 3 p.
- [7] _____. **Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.** B117 – 11. West Conshohocken: 2011. 12 p.
- [8] _____. **Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments.** D1654 – 08. West Conshohocken: 2008. 4p.
- [9] ALLAUDDIN, S. et al. Synthesis and characterization of APTMS/melamine cured hyperbranched polyester-epoxy hybrid coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 76, n. 10, p. 1402-1412, 2013. ISSN 0300-9440. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944013001161> >. Acesso em: 12/06/2017.
- [10] GHENO, G. et al. Accelerated weathering degradation behaviour of polyester thermosetting powder coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 101, p. 90-99, 2016/12/01/ 2016. ISSN 0300-9440. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944016300881> >. Acesso em: 10/07/2017.
- [11] PARVINZADEH, M.; EBRAHIMI, I. Atmospheric air-plasma treatment of polyester fiber to improve the performance of nanoemulsion silicone. **Applied Surface Science**, v. 257, n. 9, p. 4062-4068, 2011. ISSN 0169-4332. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433210016983> >. Acesso em: 12/06/2017.
- [12] MARTINS, V. F. D. **Estudo e otimização de tintas em pó para aplicação em superfícies difíceis.** 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial, Universidade do Porto, Porto: 2009.
- [13] BERTUOLI, P. T. **Desenvolvimento e caracterização de uma tinta em pó base poliéster contendo montmorilonita funcionalizada com silano.** 2014. 123 Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em engenharia de processos e tecnologias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul: 2014.
- [14] SHAH, U.; ZHANG, C.; ZHU, J. Comparison of electrostatic fine powder coating and coarse powder coating by numerical simulations. **Journal of Electrostatics**, v. 64, n. 6, p. 345-354, 2006. ISSN 0304-3886. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388605001968> >. Acesso em: 15/03/2017.
- [15] MAZUMDER, M. K. et al. Influence of powder properties on the performance of electrostatic coating process. **Journal of Electrostatics**, v. 40–41, n. 0, p. 369-374, 1997. ISSN 0304-3886. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388697000739> >. Acesso em: 15/11/2016.

- [16] SIMS, R. A. et al. Effect of particle size distribution on transfer efficiency and appearance in powder coatings. **Particulate Science & Technology**, v. 16, n. 3, p. 239, 1998. ISSN 02726351. Disponível em: <
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=6295037&lang=pt-br&site=ehost-live>>. Acesso em: 15/03/2015.
- [17] CREGG, B. Powder Coating 101: Top 10 Field Issues – and How to Rectify Them. **Metal Finishing**, v. 111, n. 5, p. 34-53, 2013/09/01/ 2013. ISSN 0026-0576. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026057613702678>>.
- [18] BILLER, K. **If you can't measure it.** Powder Coated Tough: Powder Coating Institute: 43-46 p. 2018.
- [19] RODRIGUEZ, P. et al. Fluidization and coating of very dense powders by Fluidized Bed Chemical Vapour Deposition. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 91, n. 12, p. 2477-2483, 2013/12/01/ 2013. ISSN 0263-8762. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876212004546>>.
- [20] CASTRO, C. D. **Estudo da influência das propriedades de diferentes cargas minerais no poder de cobertura de um filme de tinta.** 2009. 157 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola de Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [21] FERREIRA, M. et al. Propriedades Mecânicas de Epóxis Utilizadas no Recobrimento Interno de Oleodutos e Gasodutos. **Polímeros**, v. 12, p. 180-187, 2002. ISSN 0104-1428. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282002000300010&nrm=iso>. Acesso em: 12/06/2015.