



133 - AVALIAÇÃO DE DIFERENTES PROCESSOS DE REPINTURA DE CARROCEIRAS AUTOMOTIVAS VISANDO MINIMIZAÇÃO DE TOXICIDADE E IMPACTO AMBIENTAL

Mélanie Pscheidt⁽¹⁾

Engenheira Química, Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE.

Noeli Sellin⁽²⁾

Engenheira Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM; Mestre e Doutora em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Professora dos Departamentos de Engenharia Química e Engenharia Ambiental e Sanitária e Mestrado em Engenharia de Processos, UNIVILLE.

Ana Paula Kurek⁽³⁾

Química Industrial e Mestre em Engenharia de Processos – UNIVILLE; Doutora em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e pós-doutoranda no Mestrado em Engenharia de Processos, UNIVILLE.

Endereço⁽³⁾: R. Paulo Malschitzki, 10, Zona Industrial Norte, CEP 89219-710, Joinville/SC, Brasil; Tel: (47) 3461 9209; E-mail: anapkurek@gmail

RESUMO

Revestimentos automotivos além de proporcionarem acabamento estético à carroceria de automóveis, fornecem proteção contra à corrosão, devido à exposição às intempéries ambientais, aumentando o tempo de vida útil dos mesmos. Porém, a falta de controle operacional ou contaminações no processo de pintura, ocasionam defeitos na superfície da peça pintada, que precisam ser corrigidos, evitando que a mesma seja descartada, gerando grandes quantidades de resíduos ou que seja submetida a todas as etapas do processo novamente, consumindo mais matérias-primas e gerando mais resíduos. Visando minimizar estes impactos, quando a peça pintada apresenta defeitos, pode ser realizado um processo de repintura apenas na região em que estes aparecem. Para isso, a camada de tinta é previamente removida por meio de solvente orgânico ou lixamento e depois a peça é pintada (tintas base e cor) e envernizada. No entanto, o tipo de método aplicado para remoção da tinta influencia na qualidade da peça pintada. Desta forma, neste estudo, foram aplicados dois métodos diferentes de preparação da superfície, utilizando lixas de granulometrias P1000 e P800 e os mesmos foram comparados com o uso do solvente isopropanol, que usualmente é empregado na indústria. Para avaliação da adesão da tinta após a repintura, foram realizadas medições de espessura de camada e ensaio de adesão por corte cruzado. Todos os corpos de prova foram aprovados nos ensaios realizados, porém, os preparados com a lixa P800 apresentaram melhores resultados em relação à espessura de camada de tinta. O lixamento ocasionou excelente adesão e cobertura pela camada de tinta, além de minimizar a toxicidade causada pelo uso de solvente orgânico.

PALAVRAS-CHAVE: *Repintura automotiva; Minimização de resíduos; lixamento.*

INTRODUÇÃO

A indústria automotiva, vem reduzindo e/ou compensando seus efeitos danosos sobre o ambiente, desde a implantação de tecnologias mais limpas na fabricação dos automóveis, utilização de matérias-primas menos poluentes, até a reciclagem de autopeças e de veículos em fim de vida (MEDINA e GOMES, 2003; SALIHOGLU E SALIHOGLU, 2016).

O processo de fabricação automotiva resulta no consumo de diversas fontes naturais e na geração de diversos tipos de resíduos, sendo que uma das principais etapas geradoras de resíduos perigosos é o processo de pintura das carrocerias (SALIHOGLU E SALIHOGLU, 2016). O processo de pintura, além de conferir excelente acabamento visual ao carro, como cor e brilho, também é responsável por garantir resistência física e química, promovendo uma camada protetora na superfície da carroceria contra o desgaste e o intemperismo,

proporcionando maior durabilidade e conseqüentemente menor quantidade de peças pós-uso destinadas a aterros (RAZIN *et al.*, 2016; PRADEEP *et al.*, 2017).

Com o intuito de garantir as características técnicas e visuais do produto, os processos de pintura na indústria automotiva são compostos por diversas etapas (ZHANG, 2016). A proteção anticorrosiva se dá pelas seguintes etapas: pré-tratamento, que tem como objetivo garantir a limpeza da superfície da carroceria, melhorar a adesão da tinta ao substrato e aumentar a resistência à corrosão; *E-coat*, processo de pintura por eletrodeposição que cobre toda a superfície da carroceria com base na adsorção das cargas positivas neutralizadas pelas cargas negativas da peça, garantindo uma camada uniforme e aderente; e *primer*, sendo este uma camada opcional da pintura principal, proporcionando nivelamento na superfície, e podendo substituir o *E-coat* nas etapas de retrabalho (RANJBAR e MORADIAN, 2005; REIS, 2000). A aparência do carro (cor, brilho e aspecto) está baseada nas tintas que compõe a pintura final e o acabamento, a base empregará a cor, além de proteção, e o verniz dará brilho, dureza e resistência química à superfície do automóvel. Os processos para pintura são bastante variáveis, podendo ser manuais, automáticos com robôs e convencionais ou eletrostáticos (ZHANG, 2016).

Devido às diferentes situações em que um automóvel pode estar exposto, como diferentes ambientes, produtos utilizados para a limpeza, impactos durante o uso, a pintura aplicada deve ser resistente a todos esses ambientes (SCHULZ, 2013; VILLAS e MAINIER, 2005; MARIC *et al.*, 2014). As indústrias automobilísticas evoluíram consideravelmente o processo de pintura, melhorando o acabamento, brilho, cor e resistência à corrosão, garantindo até dez anos de durabilidade da pintura (PIEROZAN, 2001; ANDREWS *et al.*, 2006).

Apesar das indústrias investirem em processos mais eficientes, ainda assim mais de 80% dos carros que são entregues aos clientes possuem pelo menos um retrabalho feito em uma das camadas de tinta que compõe a pintura final, devido à presença de defeitos (PSCHEIDT, 2018).

Os defeitos superficiais são retrabalhados com polimentos, e os mais profundos com reparo pontual, o qual é realizado em pequenas áreas, nas quais os defeitos são removidos, e então aplica-se manualmente as multicamadas da pintura. Quando a quantidade de defeitos é muito alta, demandando tempo maior do que o especificado para a realização dos retrabalhos, estes são realizados por meio da repintura da peça inteira, ou em casos mais críticos, da carroceria como um todo (STREIBERG e DÖSSEL, 2008).

Nesta situação, deve ser realizada uma preparação na peça ou carroceria, antes de ser encaminhada para o processo de repintura, utilizando produtos que removam a sujeira da superfície ou que promovam uma pequena remoção da camada de verniz. Esta preparação da superfície é fundamental para garantir a adesão e durabilidade da pintura (ARPREX, 2018).

Atualmente, em uma indústria automotiva, a remoção das camadas de tinta e verniz é realizada pela limpeza com solvente isopropanol. Entretanto, não existe uma especificação de processo que garanta que este método seja suficiente para proporcionar os melhores resultados de repintura e ainda, este solvente libera vapores inflamáveis e causa efeitos tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente (QUIMIDROL, 2019). Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adesão da tinta automotiva após o processo de repintura, comparando o método usual de preparação por solvente com outros dois diferentes métodos de lixamento, com lixas a base de água e com granulometrias baixas (P1000 e P800).

METODOLOGIA

Os ensaios desenvolvidos neste estudo foram baseados em procedimentos estabelecidos pela empresa automotiva, objeto deste estudo. Para realização dos testes, foram utilizados 18 corpos de prova produzidos em aço galvanizado (*Hot-Dip Galvanizing* - HDG), com dimensões de 100 x 200 x 1 mm e espessura de camada de zinco entre 6,5 e 7,5 μm . Posicionados na carroceria, os corpos de prova foram encaminhados para o processo de pré-tratamento, que abrange os banhos pré-desengraxe, desengraxe, ativador, fosfatização e passivação, e enxágues de com água deionizada entre os banhos. O processo de *E-coat* é composto por um tanque de pintura por eletrodeposição e dois tanques de ultrafiltrados, além de um último enxágue com água deionizada. Após o último enxágue, os corpos de prova foram curados em estufa industrial, por 12 min, a 170 °C.

Após a cura em estufa, os corpos de prova receberam as camadas de tinta (base e cor) e verniz. A pintura foi realizada por robôs nas cabines de pintura, de forma automatizada. A sequência deste processo abrange cinco passos, sendo: base 01, base 02, estufa intermediária para pré-cura da tinta, verniz e estufa para cura total do filme pintado. Na estufa intermediária os corpos de prova permaneceram por 10 min a 80 °C e na estufa para cura total atingiram a temperatura de 145 °C por 40 min.

Preparação dos corpos de prova para repintura

A repintura foi realizada por três métodos:

- Limpeza com Isopropanol: foi realizada uma limpeza manual da superfície dos corpos de prova pintados utilizando pano macio umedecido em Isopropanol 70%, marca Quimidrol. Após a limpeza, os corpos de prova foram secos a temperatura ambiente e encaminhados para o processo de repintura.

- Preparação com lixa P1000: Neste método, foi utilizada lixa a base d'água com granulometria P1000, modelo Trizact da marca 3M. A lixa foi previamente mergulhada em um recipiente com água e depois a superfície dos corpos de prova foi lixada manualmente. Após secos a temperatura ambiente, os corpos de prova foram encaminhados para o processo de repintura.

- Preparação com lixa P800: Para este método, foi utilizada lixa a base d'água de granulometria P800, modelo Gold Proflex da marca Mirka, e foram aplicados os mesmos procedimentos descritos para a lixa P1000.

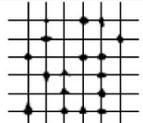
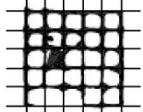
Após o preparo, os corpos de prova foram submetidos ao processo de repintura, sendo novamente fixados no dispositivo acoplado no teto solar da carroceria, que seguiu para as cabines de pintura. A repintura foi realizada por robôs, de forma automatizada.

Caracterização dos corpos de prova após repintura

A medição da espessura de camada total dos corpos de prova foi realizada com o equipamento FMP10/40 da marca Fischer, que utiliza a técnica de medição por indução magnética, de forma não destrutiva, baseada na norma ISO 2178:2016. Os resultados são apresentados em unidade de micrometros (μm). Para garantir proteção à superfície da carroceria, a espessura de camada total deve apresentar o mínimo de 90 μm nas áreas de borda e 100 μm nas áreas centrais.

No ensaio de corte cruzado, baseado na norma DIN EN ISO 2409:2013, os corpos de prova foram cortados na horizontal e vertical com ângulo de 90° utilizando equipamento de seis gumes próprio para o ensaio. Em seguida, uma fita adesiva TESA 4657 foi colada fortemente sobre os cortes e removida manualmente com ângulo de 60° em relação ao corpo de prova. O grau de adesão é avaliado de acordo com a quantidade de tinta removida com a fita e deverá ser menor ou igual a 1, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos resultados do teste de corte cruzado.

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	APARÊNCIA DA SUPERFÍCIE DA ÁREA ONDE O CORTE CRUZADO FOI REALIZADO
0	As arestas e intersecções dos cortes estão completamente uniformes; nenhum dos quadrados da malha foi deslocado.	-
1	Deslocamentos de pequenas lascas nas intersecções dos cortes. Uma área de corte cruzado menor do que 5% é afetada.	
2	A tinta deslocou ao longo das arestas e/ou nas intersecções dos cortes. Uma área de corte cruzado maior do que 5% e menor do que 15% é afetada.	

Fonte: Adaptado DIN EN ISO 2409:2013.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foi realizada a medição da espessura de camada de tinta, pois deposições baixas podem acarretar em redução na resistência à corrosão, enquanto espessuras altas podem diminuir a adesão do filme ao substrato (STREIBERG e DÖSSEL, 2008). Os resultados de medida de espessura de camada total de tinta dos corpos de prova estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Medidas de espessura da camada total de tinta dos corpos de prova preparados com isopropanol, lixa P1000 e lixa P800.

PREPARAÇÃO	ESPESSURA DE CAMADA (μm)
Isopropanol	198,33 \pm 0,12
Lixa P1000	195,50 \pm 0,09
Lixa P800	110,50 \pm 0,15

Como demonstrado na Tabela 2, os resultados de espessura de camada estão todos de acordo com a especificação da empresa, que determina espessura mínima de 100 μm . Apesar de não ser especificada uma espessura máxima de camada, é importante que a mesma não ultrapasse 250 μm , pois é o limite máximo permitido pela norma DIN EN ISO 2409:2009 para realização dos ensaios de adesão. A análise estatística demonstrou que a diferença entre as médias foi significativa para o nível de significância de 95%. Como mencionado por Streiberg e Dössel (2008), altas espessuras de camada podem prejudicar a adesão da tinta ao substrato. Portanto, apesar de todos os corpos de prova apresentarem resultados de espessura de camada de acordo com a especificação, os corpos de prova que foram preparados com a lixa P800 apresentaram os melhores resultados neste caso.

De acordo com Pierozan (2001), a falta de adesão é uma das características mais severas na análise da qualidade da camada de tinta e um dos ensaios mais utilizados neste tipo de análise é o ensaio de corte cruzado. Para analisar a adesão da tinta nos corpos de prova, foram realizados ensaios de corte cruzado e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de corte cruzado nas preparações com isopropanol, lixa P1000 e lixa P800.

CORPO DE PROVA (CP)	RESULTADO	CORTE CRUZADO ^a
Isopropanol - CP1	Aprovado	0
Isopropanol - CP2	Aprovado	0
Isopropanol - CP3	Aprovado	0
Lixa P1000 - CP1	Aprovado	0
Lixa P1000 - CP2	Aprovado	0
Lixa P1000 - CP3	Aprovado	0
Lixa P800 - CP1	Aprovado	0
Lixa P800 - CP2	Aprovado	0
Lixa P800 - CP3	Aprovado	0

^a: conforme Tabela 1.

Na Figura 1 estão apresentadas fotos dos corpos de prova preparados com isopropanol, lixa P1000 e lixa P800 após os testes de corte cruzado.

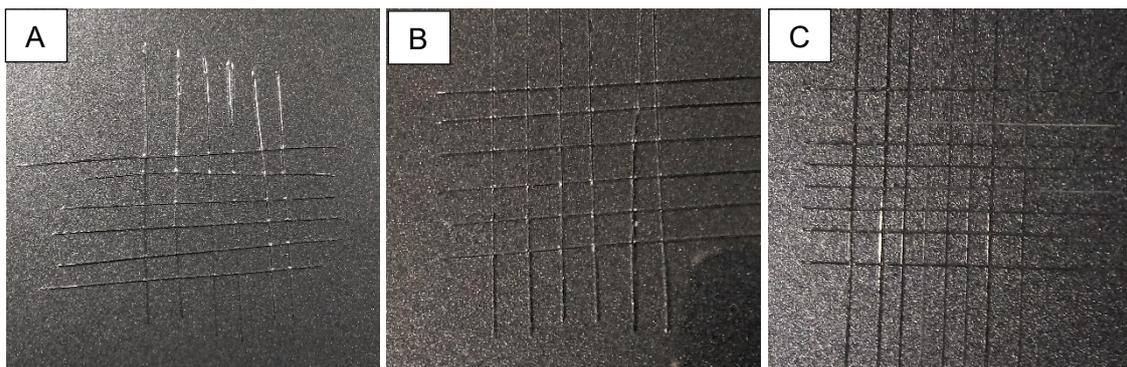


Figura 1 – Fotos, após ensaio de corte cruzado, dos corpos de prova preparados com A) isopropanol, B) lixa P1000 e C) lixa P800.

Conforme observado na Figura 1, as arestas e intersecções dos cortes estão completamente uniformes e nenhum material presente nos quadrados da malha foi destacado. Portanto, todos os corpos de prova tiveram classificação “0” (de acordo com a Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Travassos (2011), que avaliou a influência das pequenas distâncias entre chapas durante o processo de pintura, todas as amostras avaliadas pelo autor também apresentaram classificação “0”, com nenhum material destacado.

CONCLUSÃO

A aplicação de dois métodos de preparação por lixamento de peças com defeitos na camada de tinta para o processo de repintura foi avaliada neste estudo, visando substituição do solvente usualmente empregado por uma empresa automotiva. Todos os corpos de prova foram aprovados no ensaio de adesão por corte cruzado. Ambos os métodos de preparação utilizando lixa P1000 e lixa P800 foram eficientes em proporcionar adesão à tinta automotiva após o processo de repintura. Apesar dos ensaios não apontarem especificamente o melhor método, a preparação com lixa P800 foi escolhida pela indústria automotiva para ser o novo método de preparação da superfície, devido à melhor remoção da camada de verniz causada por essa lixa, evitando assim a falta de adesão que pode ser causada por espessuras de camadas mais elevadas. A partir deste estudo, verifica-se que o uso de solvente orgânico na remoção das camadas de tintas e verniz em processos de repintura pode ser substituído por lixamento, reduzindo o impacto ambiental e a toxicidade associados ao mesmo, mantendo a qualidade da camada pintada e, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de peças com defeitos, ou seja, de resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREWS, D.; NIEUWENHUIS, P.; EWING, P. D. *Black and beyond—colour and the mass-produced motor car. Optics & Laser Technology*, v. 38(4-6), p. 377–391, 2006.
2. ARPRES – Alta Tecnologia, disponível em: <<https://www.arprex.com.br/como-preparar-a-carroceria-para-a-pintura/>>, acesso: maio, 2019.
3. QUIMIDROL. Ficha de informações de segurança de produto químico, FISPQ-011- Isopropanol. disponível em: <<http://www.hcrp.fmrp.usp.br/sitehc/fispq/Isopropanol.pdf>>, acesso: maio, 2019.
4. MARIC, M., VAN BRONSWIJK, W., LEWIS, S. W., & PITTS, K. *Synchrotron FTIR characterisation of automotive primer surfacer paint coatings for forensic purposes. Talanta*, v.118, p. 156–161, 2014.
5. MEDINA, H. V.; GOMES, D. B. *Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas*/. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003.
6. Norma DIN EN ISO 2409. *Deutsches Institut für Normung*, 2013.
7. Norma ISO 2178. *Deutsches Institut für Normung*, 2016.
8. PIEROZAN, L. Estabilização de processos: um estudo de caso no setor de pintura automotiva. Porto Alegre, 1995. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia-Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
9. PRADEEP, S. A.; IYER, R. K.; KAZAN, H.; PILLA, S. *Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future. Applied Plastics Engineering Handbook*, p. 651–673, 2017.



10. PSCHIEDT, M. Análise da adesão de tinta automotiva após processo de repintura. Joinville, 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química), Universidade da Região de Joinville, Univille, 2018.
11. RANJBAR, Z.; MORADIAN, S. *Influence of substrate on the cathodic electrodeposition behavior of waterborne epoxy resins. Progress in Organic Coatings*, 2005.
12. RAZIN, A. A.; RAMEZANZADEH, B.; YARI, H. *Detecting and estimating the extent of automotive coating delamination and damage indexes after stone chipping using electrochemical impedance spectroscopy. Progress in Organic Coatings*, v. 92, p. 95–109, 2016.
13. REIS, F. M., Fosfatização. São Paulo: Chemetall, 2000.
14. SALIHOGLU, G., & SALIHOGLU, N. K. *A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management. Journal of Environmental Management*, v. 169, p. 223–235, 2016.
15. SCHULZ, D. *Painting Trends in the Automotive Industry. Metal Finishing*, v. 111(5), p. 38 – 40, 2013.
16. STREIBERG, H. J.; DÖSSEL, K. F. *Automotive Paints and Coatings*. 2ª ed. Alemanha, WILEY-VCH, 2008.
17. TRAVASSOS, R.L. Avaliação de penetração de banhos de pintura em áreas fechadas com pequenas distâncias entre chapas. Salvador, 1995. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec, Salvador, 2011.
18. VILLAS, M. R. A.; MAINIER, F. B. Processo de deposição de tintas catódicas por eletroforese e suas correlações com a qualidade e o meio ambiente. II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT. P. 646 – 655, 2005.
19. ZHANG, N; WANG, C; SUN, Z; MEI, H; HUANG, W; XU, L; XIE, L; GUO, J; YAN, Y; XU, X; XUE, P; LIU, N. *Characterization of automotive paint by optical coherence tomography. Forensic Science International*. v. 266,p. 239 – 244, 2016.