

Estratégias de Otimização e Reaproveitamento de Resíduos em Pintura Eletrostática a Pó

Enzo Volpon¹, Fabrício Junitiro Yamanaka², Guilherme Henrique de Oliveira², Sneyder Augusto Miranda Tovar², Djeine Cristina Schiavon Maia³, Alexandre Diorio³

¹Discente da Universidade Estadual De Maringá, Maringá, Brasil (ra134337@uem.br)

²Discente da Universidade Estadual De Maringá, Maringá, Brasil

³Docente da Universidade Estadual De Maringá, Maringá, Brasil

Este trabalho analisa o reaproveitamento de resíduos na pintura eletrostática a pó, destacando sua eficiência frente aos sistemas líquidos. O estudo aborda a recuperação do overspray via ciclones e filtros, permitindo o reuso de até 98% do material. Discutem-se os benefícios econômicos, a redução de impactos ambientais e os desafios técnicos, como a granulometria e a contaminação cromática. Conclui-se que a técnica é vital para a sustentabilidade e competitividade industrial.

Palavras-chave: Pintura eletrostática a pó; Overspray; Recuperação; Sustentabilidade; Deposição.

INTRODUÇÃO

O cenário ambiental atual está marcado por uma transição energética onde não se aceita o desperdício ou a negligência com resíduos, efluentes e emissões atmosféricas, assim, o conceito de indústria verde deixa de ser apenas um marketing e torna-se o principal aliado no combate à escassez de recursos naturais e a geração exorbitante de resíduos. Diante deste contexto, a geração de resíduos pela pintura líquida convencional, que gera iodo descartável, compostos orgânicos voláteis, entre outros, mostra-se cada vez mais preocupante e vem dando mais espaço à pintura em pó, que apresenta maior eficiência e um processo de reaproveitamento ecologicamente superior. O processo que visa diminuir o contingente de resíduos, por sua vez, utiliza a pintura em pó sem utilizar solventes, eliminando o risco de incêndios associados à emissão de compostos voláteis na atmosfera. Além disso, é econômico, necessitando de apenas uma demão durante o processo. Porém, apesar de oferecer vantagens ecológicas, sua principal desvantagem é a perda de material por overspray, que nada mais é que o excesso de tinta que não se adere à peça. Diante disso, este trabalho tem o objetivo de estudar mais a fundo sobre a pintura eletrostática e apresentar as técnicas de otimização que visam minimizar as perdas por overspray nas indústrias que empregam a pintura eletrostática.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de materiais de estudo envolveu a pesquisa de artigos e manuais técnicos que explicassem o funcionamento das ferramentas

utilizadas na pintura eletrostática, bem como os conceitos científicos por trás dessas técnicas. Além disso, foram pesquisados artigos científicos que mencionaram técnicas e estratégias de mitigação dos resíduos decorrentes dessa prática. Todo esse material foi utilizado para compor a revisão bibliográfica proposta neste trabalho.

A busca abrangeu artigos publicados entre 1984 e 2025. Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos científicos e manuais técnicos industriais, publicados nos idiomas português e inglês, que abordassem especificamente o balanço de perdas (overspray), o funcionamento dos equipamentos, métodos de recuperação e eficiência das tecnologias de recuperação na pintura eletrostática. Por outro lado, foram excluídos artigos que não disponibilizavam o texto completo, resumos simples de congressos e pesquisas focadas exclusivamente em pintura líquida ou na síntese química das tintas, por fugirem da ideia industrial proposta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pintura eletrostática funciona a partir do princípio de que cargas elétricas opostas se atraem. Ela se dá pela aderência de partículas de pó de tinta carregadas ao serem disparadas em uma peça de carga oposta ou neutra, formando uma fina camada.

Existe uma enorme variedade de materiais utilizados para fabricação das tintas em pó. Tendo em vista que o processo de pintura eletrostática visa trazer aspectos e propriedades para a peça pintada que vão além da estética como, por exemplo, a

resistência a diversas formas de corrosão. Assim, fica evidente que as tintas têm propriedades diferentes e, portanto, necessitam de equipamentos e tecnologias diferentes para serem usadas.

As formas mais presentes no mercado de atribuir carga elétrica às partículas são pelo efeito corona, dado pela indução elétrica, ou efeito tribo, dado pelo atrito. No efeito corona, as partículas são expostas a um campo elétrico que é gerado por eletrodos presentes na ponta do revólver de tinta, equipamento usado para disparar as partículas. A tensão requerida para esse processo é alta, na casa dos quiloVolts (kV). Essa tensão é alcançada por uma fonte que opera em uma corrente baixa, com poucos microampères (mA). Já no efeito tribo, as partículas são friccionadas contra um material, obtendo carga pelo atrito. Diferente do efeito corona, este não necessita de uma fonte de alta tensão, mas também não é possível ser aplicado para qualquer tinta, sendo necessário um material que seja um bom doador de elétrons (KONDLATSCH, 2022).

Após a aplicação da tinta em pó, vem o processo de cura da peça. Nessa etapa a peça é exposta à elevadas temperaturas, que possibilitam a película de pó formada se derreter e fundir as partículas, formando um revestimento uniforme por todo o material.

Configuração e perdas na cabine de aplicação

Apesar da pintura eletrostática a pó ofertar uma vasta gama de contribuições ecológicas e econômicas por permitir o reaproveitamento de pó não utilizado (overspray), isolando a ideia de descarte e alcançando rendimentos em até 98%, este processo acaba sofrendo influência de diversas perdas durante o andamento (KONDLATSCH, 2018). Tais perdas podem estar relacionadas a eficiência de exaustão, correntes de ar, sistemas de recuperação, tensão do dispositivo de “disparo” e equipamentos, transporte e suporte das peças e influência do operador.

O sistema composto pelo conjunto de equipamentos para o desenvolvimento da pintura eletrostática a pó, incluem o mecanismo de exaustão, funcionando como peça fundamental, com o objetivo de minimizar o desperdício de matéria-prima no interior da cabine, coletando os resíduos que não aderem à superfície metálica. No entanto, a força de arrasto gerada pelo ar afeta fortemente a trajetória das partículas de pó, que possuem uma massa muito pequena, diante disso, se a velocidade do ar de exaustão for muito alta, ou caso haja a presença de correntes de ar externas, a energia cinética e a força aerodinâmica superam a força de atração eletrostática, consequentemente, as partículas são

prematuramente arrastadas diretamente ao filtro, caracterizando uma perda de primeira passagem.

O tipo de método de recuperação também pode variar o rendimento obtido. A recuperação do tipo ciclone e por cartucho são as mais comuns na indústria de pintura, porém, divergem na eficiência de funcionamento. Os ciclones são determinantes quando o padrão de operação envolve alta variabilidade de tintas, devido à sua agilidade de limpeza. Entretanto, essa qualidade implica em perda residual de até 10% do pó, que corresponde às partículas finas que escapam do sistema. Por outro lado, para mitigar completamente essas perdas, utilizam-se os sistemas com filtros de cartucho, que garantem reaproveitamento de aproximadamente 100% do particulado. A limitação desta tecnologia não está em sua grandeza de separação, mas sim na sua dificuldade de higienização, o que restringe sua viabilidade econômica às cabines dedicadas a uma única cor. Esta diferença de processos sinaliza outra situação em que podem haver perdas dependendo da escolha de processo.

Outro fator determinante e principal do processo é a própria “pistola” eletrostática de pulverização. Segundo Martins (2018), a pistola tipo corona é a mais utilizada em pinturas com tintas em pó, porém, pode gerar ionização de retorno. Este fenômeno acontece quando se tem uma tensão muito alta, fazendo com que a peça fique saturada de elétrons rapidamente, consequentemente, o campo elétrico no interior da camada se torna muito forte ao ponto de ionizar o ar retido entre o pó, gerando um fluxo intenso de íons positivos que através de repulsão magnética tentam retornar de volta a pistola. Esta tentativa de retorno resulta em choques com o transporte contrário de partículas que estão tentando se aderir à peça, logo, piorando a qualidade da pintura, atrapalhando o rendimento e gerando resíduos overspray. Por outro lado, diante de uma tensão baixa, a carga superficial do pó pode não sentir a atração necessária para se aderir a superfície da peça, provocando desperdícios. Perante a isso, pressões baixas ou inadequadas na alimentação da “pistola” ocasionam altas quantidades de pó ejetadas de uma única vez, o que altera a uniformidade da película durante a pintura e, ao mesmo tempo, apresenta um gasto excessivo de pó.

As perdas por contaminação na troca de cor são provenientes do material escolhido para a construção da cabine de pintura. Visando a reutilização de todo overspray gerado, as cabines compostas por aço inoxidável entregam um melhor desempenho, visto que são fáceis para a limpeza, facilitando a modificação das cores de tintas na linha de produção. Caso a cabine for de um material poroso ou difícil de limpar, resíduos gerados pela cor anterior podem ficar retidos no interior da cabine e,

assim que o processo de pintura para nova cor iniciar, haverá contaminação, evitando a recuperação e o melhor rendimento, originando perda direta no material. Além disso, principalmente em métodos manuais, a má iluminação pode gerar prejuízos. Se a cabine for mal iluminada, o pintor pode acabar aplicando material em excesso por falta de visibilidade.

A temperatura de entrada da peça no processo é bastante relevante, uma vez que as condições ideais de temperatura geralmente variam de ambiente a 60°C. Peças em temperaturas elevadas causam perda de controle da espessura da tinta, acarretando irregularidades no acabamento superficial do componente.

Durante o reaproveitamento de pó utilizado, as proporções de pó recuperado devem obedecer um certo limite. Este limite se distingue entre tipos de tinta: para tintas de filme liso, a proporção é aproximadamente de 30 a 40% de pó recuperado, para tintas texturizadas 10 a 30% e tintas metalizadas de 10 a 20%. Vale lembrar que no processo de recuperação, o pó recuperado é misturado com pó virgem e caso as proporções de pó recuperado excederem os intervalos limites, pode-se apresentar furos, contaminação, perda de textura e brilho, variação na cor e aparência da peça.

Fundamentos eletrostáticos: Lei de Gauss e efeito da Gaiola de Faraday

A geometria da peça está diretamente ligada ao efeito da Gaiola de Faraday (Figura 1). Segundo Hughes (1984), frente a uma peça metálica aterrada, em suas regiões com concavidades ou recortes internos, acontece a redução em escala significativa ou até mesmo anulação do campo elétrico.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} \quad (1)$$

Na Equação 1, $\vec{E}$ representa o vetor campo elétrico, $d\vec{A}$ é o vetor de área da superfície, Q_{int} é a carga interna total e ϵ_0 corresponde à permissividade elétrica do vácuo ou constante dielétrica do vácuo.

A lei de Gauss (Eq. 1), que explica a origem desta problemática, não se restringe a geometria da peça, entretanto, para geometrias complexas, a redistribuição de cargas na superfície deixa o campo elétrico concentrado na parte externa da peça. Logo, o pó de alimentação lançado na peça, não irá se aderir às partes mais internas do objeto, consequentemente, causando desuniformidade na peça, deposição preferencial na parte externa e menor

eficiência de revestimento interno, ou seja, o resultado será um acúmulo excessivo nas bordas vinculado a ausência de tinta nas áreas internas.

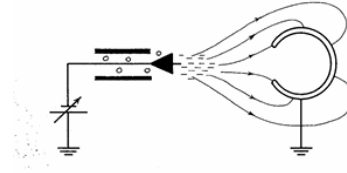


Figura 1. Efeito da Gaiola de Faraday. Fonte: Kondlatsch (2022).

Analogamente a isso, a escolha do tipo de carregamento de “pistola” reflete diretamente o grau de eficiência do processo (Figura 2). Baseado nos conceitos mencionados anteriormente, a utilização da “pistola” tipo corona, exibe um campo elétrico mais intenso, fazendo com que as linhas do campo elétrico se desviem com mais facilidade das cavidades, causando o excesso de tinta em regiões externas, expondo uma pintura não otimizada. Em contrapartida, a “pistola” do tipo tribo demonstra menor grau de influência sob o campo elétrico, sendo mais dependente do fluxo de ar na alimentação e manifestando melhor cobertura interna.

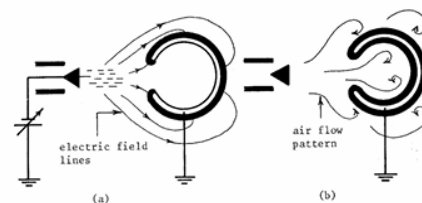


Figura 2. Influência do campo elétrico e fluxo de ar em revestimento (a) “pistola” corona; (b). “pistola” tribo. Fonte: Kondlatsch (2022).

Transporte e suporte das peças

Embora as perdas na cabine sejam mais visíveis no processo, devido às grandes quantidades de overspray que pode ser gerado, os sistemas de suporte e transporte introduzem perdas latentes.

O suporte, isto é, a gancheira que suspende as peças durante a pintura não é apenas um gancho, mas um componente do circuito elétrico. A falta de contato limpo entre a gancheira e a peça interfere o aterramento elétrico, em decorrência disso, a atração eletrostática é invalidada, ocasionando a “não aderência”, ou seja, o pó de alimentação chega a peça e é repelido devido a igualdade de cargas, desencadeando um aumento direto no volume de tinta que precisará ser recuperada (overspray). Este fenômeno surge devido ao fato de que, a cada pintura, todos os equipamentos que compõem o

circuito elétrico devem estar adequados para a próxima remessa. Em casos onde a gancheira aderiu determinadas proporções de tinta, que irá tender a secar, formando uma camada de tinta seca que age como um isolante elétrico e térmico, o contato direto com a peça deixa de existir, já que a gancheira estará “encapada” pela crosta de plástico deixado pela tinta seca, portanto, o plástico não deixa a eletricidade ter um fluxo contínuo entre a peça e a terra. Logo, a peça acumula o pó e suas cargas, sem ter uma certa válvula de escape, isso faz com que a peça armazene carga semelhante à da alimentação, sendo exatamente onde ocorre a repulsão de cargas, expulsando o pó da peça e produzindo altas quantidades de overspray.



Figura 3. Gancheiras encrustadas com camadas de tinta seca (a) e gancheiras desencapadas e adequadas para uso (b). Fonte: AB5 (2023).

A monovia, isto é, o sentido único da peça no processo, dita o ritmo de produção, sendo os trilhos que conduzem as peças por toda linha. Qualquer instabilidade ou interferência, gera um efeito dominó de perdas. Estes trilhos devem ser lubrificados, porém, em lubrificantes com a presença de silicone, a alta temperatura pela passagem da estufa, faz com que o mesmo evapore, formando um gás imperceptível que irá flutuar em meio ao forno. Em decorrência disso, enquanto a tinta em pó se deposita e derrete na peça, com o objetivo de virar uma película lisa e uniforme, este vapor de silicone se atribui em meio a camada de tinta. Como o silicone apresenta tensões superficiais baixas e fácil aderência em superfícies, até mesmo contaminações mínimas impedem que a tinta se espalhe uniformemente. Logo, a tinta “escapa”, causando efeitos visuais graves no revestimento, como texturas irregulares, crateras e os chamados “olhos de peixe” (Figura 4) (SQI, 2024).



Figura 4. Efeitos visuais de crateras (olhos de peixe) em uma superfície pintada. Fonte: PPG (2026).

Somado a isso, o controle de velocidade da linha afeta e apresenta desperdícios de duas maneiras. Caso a velocidade for muito alta dentro da cabine e o tempo for insuficiente para a pintura, haverá deposição fraca, resultando em ausência de tinta nas peças, demandando retoques. Por outro lado, no interior da estufa, caso a velocidade e o tempo necessário não estiverem ajustados ou não forem seguidos, não acontecerá a cura completa do pó, dessa forma, o que culmina em filme quebradiço e sem resistência.

Existem situações em que a peça já apresenta contaminação prévia ao recebimento na cabine, antes de se efetuar a pintura. Este detalhe pertence à configuração da suspensão no pré-tratamento. Ao posicionar superfícies grandes com a face para cima, a peça pode atuar como um coletor de impurezas. Portanto, partículas de poeira suspensas na fábrica, vapores condensados ou resíduos de banhos químicos anteriores podem se depositar sobre a mesma, criando uma barreira física. Consequentemente, ocorrem perdas devido a lentidão para identificar o defeito, levando a empresa a realizar possíveis etapas de lixamento, decapagem e uma nova pintura completa. Além disso, peças mal fixadas que caem dentro dos tanques químicos geram interrupções imediatas, forçando a parada total das máquinas e admissão aos riscos de danos nos equipamentos do tanque, estas características representam uma perda financeira significativa, além de que, a peça imersa em meio ao tanque pode modificar a composição química do meio, sofrendo oxidação excessiva ao reagir com o banho, caracterizando a invalidação de litros de solução química, sinalizando prejuízos altos em insumo. Segundo Baldin (2013), o sucesso da pintura eletrostática não depende exclusivamente da qualidade da tinta empregada. O processo de pré-tratamento atua como um dos fatores de maior importância, pois falhas na preparação e na obtenção de rugosidade impedem a correta ancoragem da tinta, levando à perda de adesão do revestimento.

Apenas em 2025, a indústria de revestimento em pó apresentou um tamanho de mercado de 12,86 bilhões de dólares, e segundo o site Mordor (2025) essa tendência só deve aumentar, com uma taxa de crescimento de mercado de 5,66% TCAC (Taxa de crescimento Anual Composta) até 2030, resultando numa alta de 39,11% total. O impacto causado pelo uso de tintas a pó eletrostático nos últimos anos causou um avanço significativo das tecnologias relacionadas ao aumento de rendimento, e principalmente ao reuso de material, assim, algumas técnicas podem ser aplicadas para aumentar a eficiência desse processo em uma indústria.

A aplicação do pó é um fator essencial para o processo, por isso, uma melhor deposição de

matéria no objeto pode gerar uma economia grande à indústria, já que por consequência o gasto com a compra de mais tinta seria evitado. Para isso, Mehmood (2024) comenta que conforme há um aumento do tamanho das partículas e uma diminuição na umidade da tinta é possível notar uma maior transferência de material para a peça, mas apenas até um determinado limite, o que pode ser explicado pela ineficiência da pistola em produzir carga suficiente para haver a sobreposição do pó. Outro fator que influencia no processo é a fluidização do pó, como já mencionado, que antes da fixação auxilia no jato que será aplicado.

Tecnologias de recuperação de tintas em pó

Embora a pintura eletrostática com pó seja uma ótima alternativa, ela apresenta um problema presente em todas as operações, o overspray. Para contorná-lo, metodologias de recuperação do pó não aderido são empregadas de diferentes formas. Assim, fabricantes de cabines de pintura oferecem uma alta gama de opções para seus clientes, separadas principalmente em sistemas manuais e automáticos.

As cabines de pintura manuais são comumente fabricadas em aço inox ou aço carbono, garantindo durabilidade e fácil limpeza, evitando contaminação de cores diferentes. Possuem também um sistema de anteparos metálicos para prevenir a chegada direta do pó nos filtros de ar do tipo cartucho, que quando cheios têm que ser manualmente limpos por uma corrente de ar pressurizada. Sua característica diferencial em relação a uma cabine comum é a presença de um sistema de recuperação de pó por meio de um exaustor que afeta o pó do overspray transportando as partículas para compartimentos de armazenamento, ou gavetas. Geralmente quando os filtros se encontram perto da capacidade máxima, há uma redução na vazão de ar da máquina (CETEC EQUIPAMENTOS PARA PINTURA, s.d.). Devido ao ruído gerado por alguns sistemas de exaustão, essas cabines podem possuir um abafador sonoro (KONDLATSCH, 2022).

Embora sejam fabricadas com o mesmo material dos manuais, as cabines automáticas apresentaram uma vantagem significativa à elas quando comparadas no quesito eficiência de produção, pois embora sejam mais caras, automatizam o projeto, diminuindo erros de operador e tempo de efetivo de produção.

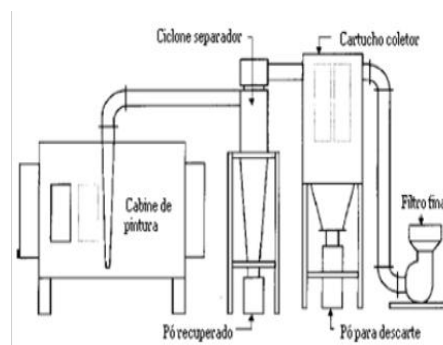


Figura 5. Sistema de recuperação de pó com uso de ciclone. Fonte: Kondlatsch (2022)

Essas cabines podem possuir um ciclone integrado ao sistema responsável pela exaustão do pó de overspray. O ciclone usa força centrífuga e parte do princípio de coleta por diferença de densidade, logo, partículas mais finas escapam do vórtice e são perdidas, isso gera uma porcentagem de rendimento inferior quando se comparado com o sistema de recuperação do tipo cartucho, que atua como uma barreira física, semelhante a uma peneira com aberturas na escala microscópica. Além disso, apresentam duas gavetas, armazenando as maiores partículas em um coletor abaixo do ciclone e transportando o resto para pós-filtros para descarte posterior. Esse sistema permite uma troca rápida de cores, já que os únicos equipamentos que devem ser trocados são a mangueira de sucção e a própria caixa coletora (KONDLATSCH, 2022). Há cabines que combinam um ciclone intermediário com filtros cartucho. Existem diversos tipos de cartuchos, contudo os materiais mais comuns são de poliéster ou celulose. Desta forma, todo pó gerado na pulverização é recolhido no filtro primário, enquanto todo ar que atravessa esta barreira é conduzido a um filtro secundário, com a intenção de reter partículas restantes, garantindo que nenhuma seja lançada ao ambiente. Quando estas unidades se encontram saturadas, jatos de ar comprimidos são automaticamente ativados para realizar a purga do material.

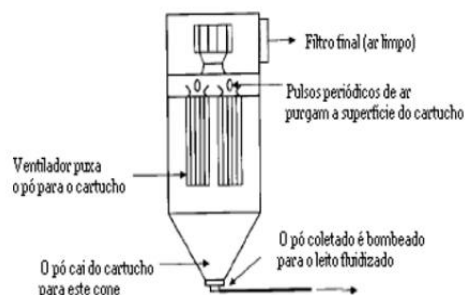


Figura 6. Sistema de recuperação de pó tipo cartucho. Fonte: Kondlatsch (2022)



Sistemas industriais e reuso

As inovações da automatização não se limitam apenas às cabines, pois podemos ter ainda diversos outros setores da produção que podem ser mecanizados.

As linhas de produção manuais dependem de mão de obra humana para separar, organizar, classificar e mover os produtos. Indústrias que adotam essa metodologia utilizam de esteiras instaladas no teto para fácil transporte das peças, que ficam penduradas nos suportes (ganchos) o tempo inteiro. Existem diversas formas de construir uma linha manual, como por exemplo, junto às esteiras, adaptar suportes móveis para trocar de linha, assim melhorando a movimentação e separação dos produtos. Além disso, os operários usam ferramentas semelhantes aos ganchos para moldar e distribuir toda a linha.

Já os sistemas automáticos não necessitam de ferramentas móveis ou operadores para cada linha, dependendo unicamente de uma equipe especializada em gerir as linhas automáticas. Assim, numa fábrica desse porte a linha de produção é contínua, possuindo uma esteira automática que passa por todos os processos (ou apenas alguns casos for semi-automatizada), com pré definições de velocidade e produção. Também permite a instalação de pistolas automáticas dentro das cabines, padronizando a pintura, além de portas ou túneis com sensores que detectam a chegada de um novo item, abrindo e fechando quando necessário, diminuindo o desperdício de material (falta de isolamento) ou de tempo (manuseio do operador). Todo esse sistema eletrônico ainda pode ser interligado a um painel, destinado à equipe ou gestores que conseguem manipular os dados de maneira mais rápida e tomar decisões em tempo real conforme o funcionamento da indústria.

Após a recuperação do pó não aderido na superfície do produto (causado pelo overspray), existem maneiras corretas de reutilizar a tinta. A mais comum nas fábricas acaba sendo a mistura desse pó de overspray na tinta virgem (que não passou por nenhum processo). Contudo, há diversos fatores a serem considerados, como a alteração de pigmentação, qualidade das partículas, perda de textura, etc. KONDLATSCH (2022) apresenta um quadro de sugestões focadas em cada tipo de tinta, apresentadas a seguir:

- Tintas de filme liso: misturar na proporção de 60 a 70% de pó virgem e 30 a 40 % de pó a ser recuperado.

- Tintas texturizadas: misturar na proporção de 70 a 90% de pó virgem com 10 a 30% de pó a ser recuperado.
- Tintas metalizadas: misturar na proporção de 80 a 90% de pó virgem com 10 a 20% de pó a ser recuperado.

Mesmo que seja a alternativa mais utilizada, o avanço da pintura eletrostática a pó tem criado outros caminhos para o reuso desse substrato.

CONCLUSÃO

Com a revisão, foi possível compreender melhor sobre o processo de pintura eletrostática e modos de otimizar o processo e evitar perdas por *overspray*. Como citado, esse tipo de pintura é de enorme importância para a indústria no geral, tendo em vista sua eficiência em comparação a outras técnicas. Dessa forma, a otimização desse processo é um tópico recorrente nas últimas décadas.

Pelas informações reunidas neste artigo, notou-se que as otimizações do processo se concentram na escolha do equipamento e técnica correta para determinado fim. Máquinas automáticas podem ser melhores para maior produção, enquanto máquinas manuais, com cabines e equipamentos de fácil limpeza, podem ser ideais para processos onde há diversificação de peças e tintas. Além disso, foi visto a importância do pré e pós processamento, desde a limpeza da peça a ser pintada, até o seu transporte.

Diversas tecnologias apresentadas não apenas evitam o desperdício, como também possibilitam a recuperação de material utilizado. Sobre o reuso do material recuperado, é necessário se atentar a proporção da mistura com o material virgem ao ser reutilizado no processo de pintura.

AGRADECIMENTOS

Este artigo é fruto das atividades desenvolvidas em projeto de extensão voltado à otimização de processos em uma indústria de pintura eletrostática, realizado junto a Universidade Estadual de Maringá (UEM). Os autores agradecem aos coordenadores e demais colaboradores pelo suporte técnico e pela disponibilidade a discussões fundamentais que permitiram a elaboração desta revisão técnica.

REFERÊNCIAS

AB5. Limpeza de gancheira: o que você precisa saber sobre o processo. Mogi Guaçu, 30 mar. 2025. Disponível em: <https://ab5.com.br/guia-completo->



[como-fazer-a-limpeza-de-gancheira-de-forma-eficiente/](#). Acesso em: 25 abr. 2026.

BALDIN, Estela Knopp Kerstner. Pré-tratamento do aço carbono AISI 1010 com revestimento nanocerâmico para pintura eletrostática à base de resina poliéster. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre - RS, 2013.

BRUXEL, Carlos Eduardo; KUNST, Sandra Raquel; MUELLER, Luã Tainachi; MORISSO, Fernando Dal Pont; CARONE, Carlos Leonardo Pandolfo; OLIVEIRA, Cláudia Trindade. Uso de resíduos de tinta em pó de pintura eletrostática para a fabricação de revestimentos para piso. *Tecnol Metal Mater Min.*, 19, e2522, 2022.

CETEC EQUIPAMENTOS PARA PINTURA. Manual de Operação: Cabines para pintura eletrostática a pó. Cetec Industrial, Barueri - SP, [s.d.].

FARIA, Hugo Oliveira. Processo de Pintura Utilizando Tintas em Pó. Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco - MG, 2021.

HUGHES, J. F. Electrostatic Powder Coating. (J. F. Hughes). Research Studies Press Ltd., Letchworth, 1984.

KONDLATSCH, Luiz Henrique. DT-13: Treinamento Pintura Industrial com Tintas em Pó. (Gabriela Nascimento). WEG Tintas Ltda., Guaramirim, 2022.

MARTINS, Vanessa Filomena Duarte. Estudo e Otimização de Tintas em Pó para aplicação em Superfícies Difíceis. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, 2009.

MEHMOOD, Abid; MUHAMMAD, Ayyaz; SATTAR, Hamed; JAMAL, Yousuf. Understanding Parameters Affecting System Transfer Efficiency (STE) of Powder Coatings in the Paint Industry. Iran. J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE), 2024.

MORDOR INTELLIGENCE. Powder Coatings Market, 2025. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/powder-coatings-market#:~:text=O%20Mercado%20de%20Tintas%20em%20P%C3%B3%20deve,s%C3%A3o%20as%20principais%20empresas%20operando%20neste%20mercado>. Acesso em: 27 abr. 2026.

NORDSON CORPORATION. Powder Coating System Grounding. Nordson Corporation, 2006.

PILONS, Pierce. Conformal Coating Defects: When Things Go Horribly Wrong. Chemtronics Technical Brief, 2020.

PPG INDUSTRIES. Fisheyes. PPG Refinish-ANZ, 2026. Disponível em: <https://www.ppg.com/en-AU/refinish-anz/fisheyes>. Acesso em: 26 abr. 2026.

SOUSA, George Isaac Lopes de; RODRIGUES, Maria Clara de Oliveira; GUIMARAES, Nicolas Anisteiny Ramos; SANTOS, Maria do Socorro Ferreira dos. Reaproveitamento de Resíduos da Pintura Eletrostática e Seus Impactos Ambientais: Uma Revisão Bibliográfica. Anais do XIII SIMEP - Lean Healthcare e Tecnologia: Inovação para Excelência Operacional, 2025.

SQI. Silicone in the coating shop: A hidden enemy of perfection. SQI / IDEAL - Tarde Service, 6 dez. 2024. Disponível em: <https://www.sqi.cz/en/silicone-in-the-coating-shop-hidden-enemy-of-a-perfection>. Acesso em: 26 abr. 2026.