

# Aplicação de Tinta em Pó sobre Substratos Sensíveis ao Calor

Marcos Pini França  
Cristina Lastrucci Alziati

The Dow Chemical Company

## Introdução

As tintas em pó tem sido utilizadas para recobrimento de substratos metálicos em aplicações industriais durante os últimos 30 anos. A forte expansão do uso das tintas em pó foi motivada pelo seu excelente desempenho, baixo custo, baixo consumo de energia e especialmente por sua relação amigável ao meio ambiente. Estas propriedades tornaram a tinta em pó o substituto ideal para tintas industriais base solvente uma vez que estas tiveram que ser gradativamente substituídas devido ao aparecimento de regulamentações que restringiram a emissão de solventes na atmosfera.

Após meados da década de 90, o crescimento desacelerou conforme as aplicações de tinta em pó haviam substituído as tintas líquidas em todas as aplicações onde eram economicamente viáveis. Atualmente, a taxa de crescimento é meramente alguns pontos acima do resto do mercado de tintas. O crescimento reduzido e o aumento da competitividade devido a globalização motivaram os fabricantes a procurar novos usos para as tintas em pó. Entre todas as novas aplicações, o uso de tintas em pó em substratos sensíveis ao calor, como aglomerados de madeira, plásticos e materiais compostos, ofereceram um potencial promissor, mas também revelaram desafios difíceis de serem superados.

Este artigo mostra os resultados de uma recente pesquisa de propriedade intelectual que confirma a consolidação da aplicação das tintas em pó em substratos sensíveis ao calor, especialmente em substituição aos laminados de alta pressão aplicados sobre aglomerados de madeira tipo MDF (medium density fiberboard). Aparentemente, a tinta em pó é a opção preferida já que oferece um desempenho similar ao dos laminados de alta pressão, porém a um custo reduzido.

A aplicação de tinta em pó também permite uma maior liberdade de design aos arquitetos e designers de mobília, possibilitando a incorporação de formas irregulares ou arredondadas aos móveis, o que é praticamente impossível de se obter com os laminados.

As duas principais tecnologias de tinta em pó que atendem os requisitos atuais para aplicação em MDF são: tinta em pó *curada por UV* e tinta em pó *curada a baixa temperatura*. Esse artigo compara as duas tecnologias usando resinas epóxi de última geração

## Tendências das Tintas em Pó

Uma extensa pesquisa em patentes foi realizada para confirmar as tendências atuais da tecnologia de tinta em pó. Aproximadamente 2500 sumários referentes ao período de 1995 – 2002, foram analisados através de técnicas tradicionais de mapeamento de patentes. Também foram utilizadas ferramentas de análise automatizadas que confirmaram as tendências reveladas pela análise tradicional. Nesta pesquisa ficou evidente que o uso de tinta em pó em substratos sensíveis ao calor foi um dos principais focos do desenvolvimento nos últimos anos pois o número de registro de patentes teve seu crescimento acelerado.

A aplicação de tinta em pó em substratos sensíveis ao calor pode ser claramente separada em duas tecnologias distintas: cura a baixa temperatura e cura por UV. Ambas apresentaram um forte crescimento, mas a tecnologia de cura por UV começou lentamente por volta de 1996 e tem crescido rapidamente desde então, como pode ser verificado na Figura 1. Também foi possível identificar que a química de epóxi mostrou ser a preferida para esta aplicação, seguida pelo poliéster, poliuretano e acrílicos.

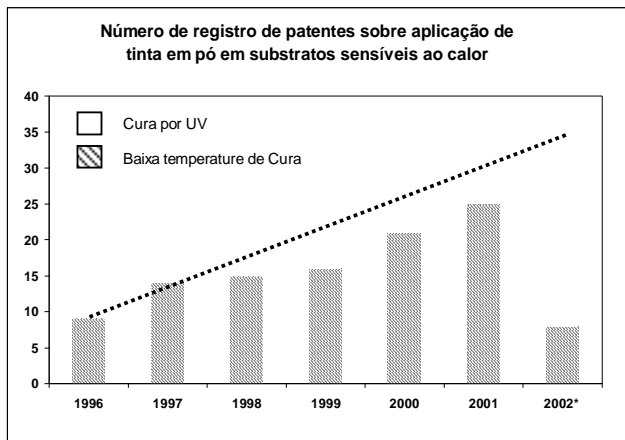


Figura 1. Número de registro patentes anual sobre aplicação de tinta em pó em substratos sensível ao calor.

## Tinta em Pó em Substratos Sensíveis ao Calor

Como já mencionado anteriormente, as aplicações das tintas em pó atingiram lentamente a maturidade por volta de meados da década de 90 e o seu crescimento desacelerou. As principais barreiras para o crescimento podem ser relacionadas com as propriedades básicas das tintas em pó termofixas:

- A temperatura de cura dos produtos comercialmente disponíveis geralmente excede a temperatura à qual plásticos, madeira ou outros substratos sensíveis ao calor podem resistir.
- A possibilidade de obter um acabamento liso é limitada pela capacidade da pintura de fundir, nivelar e curar num curto espaço de tempo.
- A temperatura de cura é cerca de 20°C abaixo da temperatura de processamento (extrusão) típica (~100°C), tornando o processo de produção muito delicado.
- A alta reatividade requerida para cura a baixa temperatura resulta em um produto instável que requer condições de armazenamento especiais.

Num esforço para oferecer crescimento contínuo ao mercado de tinta em pó, tecnologias alternativas foram desenvolvidas para superar as limitações descritas acima:

- Novas químicas para pós termofixos e novos processos de produção estão sendo desenvolvidos para superar os problemas de estabilidade no armazenamento e diminuir a temperatura de cura.
- O uso de cura por UV como um meio para desassociar as etapas de fusão e de nivelamento do processo de cura em sí.

Uma vez que a tinta em pó pode ser curada a baixa temperatura sem comprometer a qualidade de acabamento ou a estabilidade durante o armazenamento, seu uso pode ser estendido além dos substratos metálicos tradicionais para substratos não metálicos sensíveis ao calor como madeira natural, aglomerados de madeira, plásticos, composites, etc. Dentre estes substratos, o aglomerado de madeira tipo MDF (medium density fiberboard) representa o mercado mais promissor pois a uniformidade do material e seu bom acabamento superficial facilitam a aplicação da tinta em pó.

## Aplicação de tinta em Pó sobre MDF

Embora qualquer tentativa para determinar o volume futuro da aplicação de tintas em pó em substratos sensíveis ao calor possa ser considerada mera especulação, uma rápida avaliação baseada na estimativa de custo das tintas em pó versus as tecnologias alternativas, e considerando que esses sistemas apenas se aplicam a produções industriais de larga escala, revela que, com base nos volumes de produção mundial de MDF, o potencial para a tinta em pó em substratos termo sensíveis pode ser superior a 100.000 ton/ano na maturidade, o que representa um aumento de aproximadamente 10% no volume atual do mercado global de tintas em pó (Figura 2).

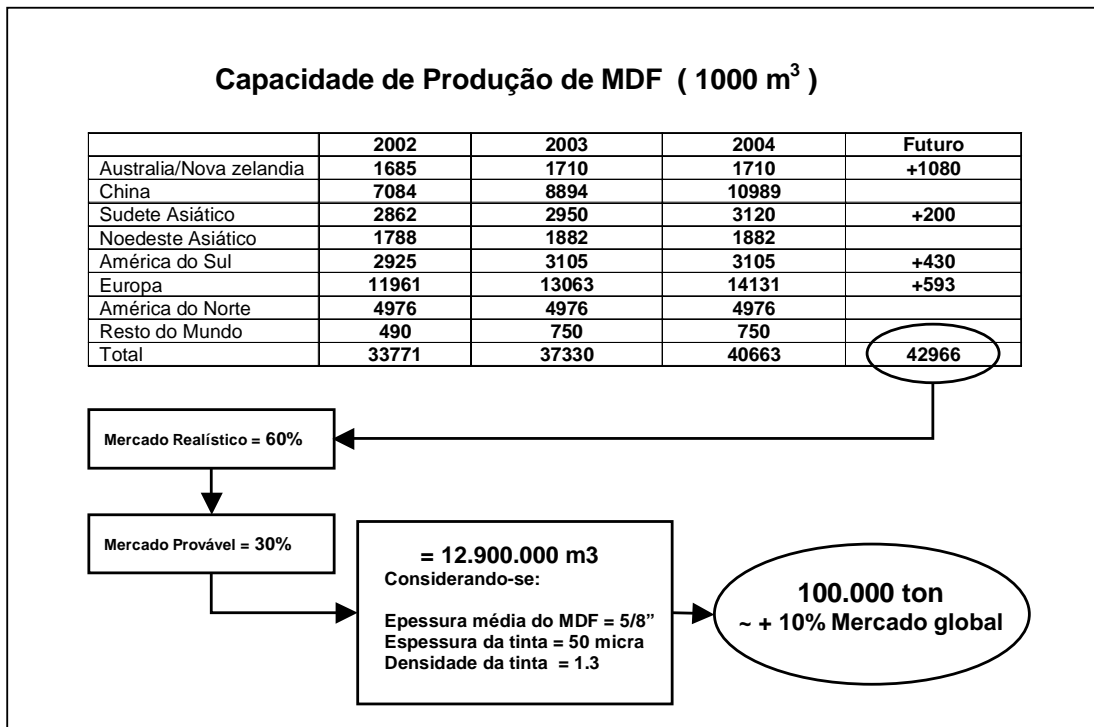


Figura 2. Estimativa do volume potencial do uso de tinta em pó sobre MDF.

Diversos métodos atualmente são empregados para revestir MDF:

- Laminados de alta-pressão tipo “Formica ®”
- Filmes de vinil
- “Finish foil” - papéis saturados de resina melamínica ou poliéster para

Alternativamente, tem-se utilizado alguns tipos de pintura líquida, como por exemplo:

- Múltiplas camadas de pinturas líquidas – que vão desde os revestimentos mais antigos, baseados em resina nitrocelulósica, poliésteres insaturados, poliuretanas base água e poliuretanas bicomponente.
- Tintas líquidas de cura UV

Alumas vantagens e desvantagens de cada método são apresentadas na Tabela 1. Assim como acontece no mercado de tintas para substratos metálicos, a tinta em pó quando aplicada em MDF também apresenta as mesmas vantagens ambientais, alta qualidade de acabamento e custos reduzidos, o que a torna a alternativa preferida.

### Aplicação e Cura de Tinta em Pó sobre MDF

As tintas em pó para substratos de madeira apresentam diversos desafios técnicos:

- **Condutividade** - os substratos devem ser condutivos para aceitarem carga eletrostática e, consequentemente, serem pintados com tinta em pó. A madeira não é intrinsecamente um substrato condutivo, mas pode se tornar suficientemente condutiva quando estiver ligeiramente úmida. No caso do MDF, o teor de umidade deve ser controlado entre 6 - 8% para que tenha uma condutividade adequada para a aplicação e ao mesmo tempo não produza defeitos na pintura devido à degasificação que ocorre quando a umidade é muito elevada. Para que o MDF se torne condutivo, é necessário fazer um pré-aquecimento, o que faz com que a umidade interna migre para a superfície. O pré aquecimento deve ser preciso e de acordo com a geometria da peça a ser pintada. Em geral, são usados fornos de convecção e/ou infra-vermelho e as peças são expostas à temperaturas entre 130 – 150 °C por cerca de 2 a 3 minutos, resultando em uma temperatura superficial em torno de 100°C. O tempo e temperatura de exposição ótimos devem ser determinados empiricamente.

- **Densidade uniforme da placa** - a densidade e a composição do substrato devem ser uniformes para que a condutividade seja uniforme quando aquecido. Alguns fabricantes de MDF desenvolveram produtos específicos para a aplicação de tinta em pó.
- **Acabamento superficial** - fibras longas e salientes na superfície do substrato resultam em defeitos na pintura. O substrato deve ser acabado (lixado) apropriadamente.
- **Cobertura das arestas** - As peças devem ser projetadas de maneira a evitar arestas salientes ou ângulos agudos que tendem a perder umidade mais rapidamente resultando em baixa condutividade e falha na deposição da tinta em pó.

Assim sendo, para se obter uma aplicação perfeita de tinta em pó sobre substratos de madeira, é necessário que o substrato tenha boa consistência, teor de umidade controlado e que o pré-aquecimento seja feito rigorosamente dentro das condições que provêm o máximo de condutividade.

Tabela 1. Vantagens e desvantagens do uso de tinta em pó sobre MDF em relação à outros tipos de acabamento.

	Tinta em Pó UV	Tinta em Pó Baixa Temp.	Líquida Convencional	Laminados
Segurança ambiental	++	++	-	-
Número de mãos de tinta	++	++	-	NA
Tipos de acabamentos	Limitados	Limitados +	Limitados	Diversos
Custo	Alto	Médio	Baixo	Altíssimo
Resíduo gerado	Pouco	Pouco	Muito	Muito
Produtividade	Altíssima	Alta	Baixa	Baixa
Custo de energia	Baixo	Médio	Baixo	NA
Custo de mão de obra	Baixo	Baixo	Médio	Alto

### Tinta em pó para baixa temperatura de cura

Tintas em pó para baixa temperatura de cura são produtos especialmente formulados para curar a temperaturas entre 120 e 150 °C em cerca de 5 a 15 minutos dependendo da temperatura.

As peças a serem recobertas são pré-aquecidas e a tinta em pó é aplicada. Em seguida as peças passam por um forno de infra vermelho e/ou convecção onde a tinta em pó funde e nivela mas também começa a curar. Assim sendo, o processo de nivelamento e cura “competem” entre si, a medida que a pintura é aquecida. Este efeito pode ser notado na Figura 3 que compara o comportamento da viscosidade versus temperatura entre uma tinta epóxi-poliéster híbrida convencional, uma tinta em pó de baixa temperatura

de cura e uma tinta pó curada por UV. Devido à sua alta reatividade, a tinta em pó curada a baixa temperatura passa por uma viscosidade mínima mais alta que das duas outras formulações e permanece no ponto mínimo por um tempo mais curto, exigindo o uso de resinas e endurecedores de baixa viscosidade para que se obtenha um acabamento liso.

### Tinta em Pó de Cura UV

Como já mencionado, o processo inicia-se com o pré-aquecimento das peças a serem pintadas para tornar o substrato mais condutivo. As placas então são pintadas e passam por um forno para fundir e nivelar a pintura. Uma vez que o processo de cura e fusão não ocorrem simultaneamente, o tempo e temperatura de fusão são ajustadas única e exclusivamente em função do processo de nivelamento. Em seguida a peça é transportada à câmara de UV onde a cura ocorre praticamente instantaneamente. A separação do processo de fusão e nivelamento do processo de cura também é exemplificado na Figura 3 onde pode-se notar que o ponto de viscosidade mínima corresponde ao momento em que a peça é exposta à radiação UV. Caso não fosse irradiada, a viscosidade continuaria decrescendo pois não haveria reação de cura.

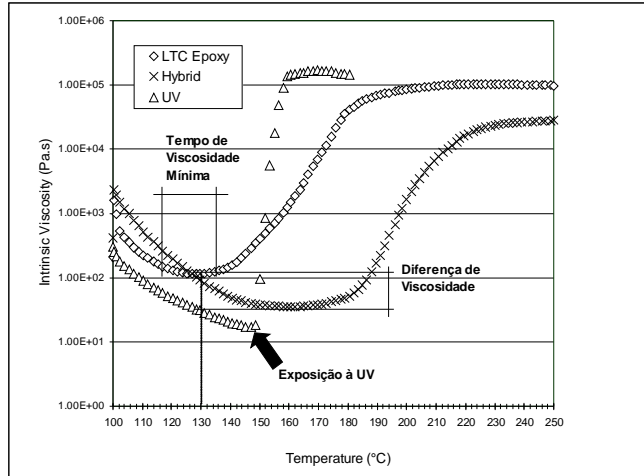


Figura 3. Curva de viscosidade intrínseca versus temperatura para uma tinta em pó híbrida convencional em comparação com uma tinta em pó de baixa temperatura de cura e de cura por UV.

Os tempos de cura por UV (que podem ser menores que três minutos) são mais curtos do que os tempos de cura requeridos pelos sistemas de pó LTC (mais de 10 minutos). Os tempos exposição do substrato ao calor permitem evitar certos problemas como rachaduras que ocorrem quando o substrato é excessivamente aquecido. Por outro lado, a cura de

tintas pigmentadas por UV é difícil porque alguns pigmentos absorvem fortemente a radiação UV, limitando a cura da pintura.

A cura de objetos tridimensionais por UV também é um desafio porque a tinta só é curada quando é atingida por uma intensidade suficiente da radiação. Em determinados pontos como orifícios e reentrâncias onde a radiação UV não incide diretamente ( pontos de sombra ), não existe uma cura completa da pintura o que pode resultar em baixo desempenho do produto acabado.

Na cura por UV também existem algumas limitações em termos de cores que podem ser utilizadas pois alguns pigmentos absorvem fortemente os comprimentos de onda normalmente utilizados para cura de pinturas, interferindo ou até impedindo o processo de cura.

A Tabela 2 abaixo resume algumas das maiores vantagens e desvantagens de ambas as tecnologias

Tabela 2. Quadro comparativo das vantagens e desvantagens das tintas em pó de baixa temperatura de cura e cura por UV.

VANTAGENS		DESvantagens	
Tintas em Pó Curáveis por UV	Tintas em Pó de Cura por Baixa Temp.	Tintas em Pó Curáveis por UV	Tintas em Pó de Cura por Baixa Temp.
Fluxo excelente	Cura completa	Faixa de brilho limitada	Resistência química limitada
Tempo de cura rápido	Relativamente barato	Faixa de cor limitada	Fluxo limitado
Acabamento excelente	Acabamentos de abixo brilho	Alto custo	Tempo de cura maior
Alta resistência química	Espessura elevada	Pontos de sombras	Prazo de validade limitado
Alta dureza	Sem limitação de cor	Baixa adesão	Baixa dureza
	Alta adesão	Baixa dureza	

## Novos Desenvolvimentos

Para resumir os desafios da aplicação de tintas em pó em substratos sensíveis ao calor, podemos dizer que o sistema LTC requer uma cura mais latente que permita um controle melhor do nivelamento e da cura, e também meios mais consistentes para obter baixo brilho. A tecnologia de tinta em pó de cura UV também requer soluções para os pontos de sombra, meios para alcançar baixo brilho e fotoiniciadores ou sistemas de cura que permitam fabricar tintas de qualquer cor e opacidade nas espessuras desejadas pela indústria.

Além destes desafios, ambas tecnologias precisarão de resinas que combinem baixa viscosidade nas temperaturas de processo com estabilidade no armazenamento. É muito difícil obter-se estes dois atributos em um único polímero, pois o aumento da estabilidade no armazenamento geralmente está associado a uma temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>) mais alta, que por sua vez é obtida pelo aumento do peso molecular, resultando em uma viscosidade mais elevada. Conseqüentemente, outras tecnologias como mudanças na cristalinidade, adição de grupos funcionais, ramificações etc, precisam ser empregadas para obter-se o equilíbrio desejado destas propriedades.

Para atender a estes desafios, a The Dow Chemical Company recentemente lançou no mercado duas novas resinas com base na química de epóxi, para uso em formulações de tintas em pó para baixa temperatura de cura e de cura UV, respectivamente: D.E.R.\* 6615 e XZ 92580.00.

D.E.R.\* 6615 é uma resina epóxi modificada, para baixa temperatura de cura, baseada num processo de conversão controlada patenteado pela Dow . O polímero resultante tem dupla funcionalidade : epóxi e fenólica e tem uma relação viscosidade/estabilidade ao armazenamento (T<sub>g</sub>) muito mais favorável que uma resina epóxi convencional (Tabela 3), resultando assim em um acabamento mais liso a baixas temperaturas e uma tinta em pó estável ao armazenamento.

Tabela 3. Quadro comparativo das propriedades da resina D.E.R.\* 6615 em relação as propriedades de resinas epóxi convencionais tipo 1, 2 e 3. Nota-se que a resina D.E.R.\* 6615 tem um T<sub>g</sub> superior a resina tipo 1 porém com uma viscosidade inferior.

	EEW (g/eq)	T <sub>g</sub> (°C)	Viscosidade (cps )			
			100 °C	120 °C	130 °C	150 °C
D.E.R.* 6615	540	44	23270	4186	2126	593
D.E.R.* 661	540	40	37000	6470	3180	962
D.E.R.* 662E	620	50	79400	12700	5990	1650
D.E.R.* 63U	760	56	360000	39100	16600	3950

Esta resina pode ser formulada com diferentes agentes de cura, mas os endurecedores fenólicos são preferidos pois também tem um bom balanço viscosidade/ponto de amolecimento aliado a um baixo custo e podem ser acelerados para curarem em temperaturas tão baixas quanto 120 – 130 °C. Devido a sua dupla funcionalidade a D.E.R.\* 6615 pode ser usada também em sistemas auto-reticuláveis, apenas utilizando-se um acelerador como agente de cura.

A XZ 92580.00 é uma resina epoxi éster-vinílica sólida usada em tinta em pó curável por UV. Pode ser usada em formulações transparentes e pigmentadas. Também permite a obtenção de diversos tipos de acabamentos como texturizados.

A XZ 92580.00 é uma nova geração de resinas que combina a mesma viscosidade e reatividade da versão anterior (XZ 92478.00) com um Tg significativamente mais alto, resultando numa tinta em pó mais estável ao armazenamento, com o mesmo desempenho e qualidade de acabamento.

### **O Futuro das Tintas em Pó em Substratos Sensíveis ao Calor**

A tinta em pó apenas começou sua jornada pelos mercados de substratos sensíveis ao calor. Diversos desafios ainda precisam ser vencidos antes que a tecnologia seja amplamente adotada. De certa forma, este desenvolvimento pode ser comparado com o desenvolvimento das tintas líquidas curáveis por UV. Foram necessários vários anos para que não somente os usuários finais, mas também os fabricantes de equipamentos, fornecedores de matéria prima e diversos outros setores industriais aceitassem a nova tecnologia e fizessem sua parte para levar a mesma a uma larga escala comercial. Algumas destas inovações tecnológicas já estão aparecendo no mercado. Um bom exemplo são os avanços na fabricação dos aglomerados de madeira para uso com tinta em pó. Embora o alvo principal da aplicação da tinta em pó seja o MDF, novos substratos como o WOODSTALK™, também produzido pela Dow Chemical Co., apresentam características diferenciadas que auxiliam a aplicação da tinta em pó. O MDF típico possui um intervalo de pré-aquecimento bem estreito. Assim que a peça de MDF começa a ser aquecida, a umidade migra à superfície e a torna suficientemente condutiva para a aplicação da tinta em pó. Porém se a peça continuar sendo aquecida, o teor de umidade diminui rapidamente e a eficiência da transferência se reduz sensivelmente. Assim sendo o aquecimento das peças de MDF necessita ser preciso e determinado empiricamente para cada caso. O WOODSTALK™, possui uma condutividade maior que o MDF e apenas necessita de um pré-aquecimento mínimo para a transferência adequada da tinta em pó, resultando em uma eficiência de transferência duas vezes maior que a do MDF. Ele também mantém sua condutividade em um intervalo de temperatura bem mais amplo, o que torna o processo de aplicação mais robusto e aumenta a consistência do produto acabado. Outro aspecto importante do WOODSTALK é que ele possui um teor de umidade em equilíbrio mais baixo do que o MDF,

resultando em menor perda de voláteis e, portanto, menos defeitos na tinta aplicada.

Pelo lado do desenvolvimento das resinas, grandes esforços têm sido feitos para resolver o problema dos pontos de sombra nas tintas curáveis por UV. Para resolver esse problema, sistemas de dupla-cura foram desenvolvidos e começaram a ser empregados comercialmente. Os sistemas de dupla-cura tentam combinar o melhor dos sistemas de cura UV e de baixa temperatura de cura. Estes sistemas utilizam a cura por UV como o principal sistema de cura, porém também utilizam a energia térmica do processo de fusão, bem como o rápido aumento de temperatura durante a exposição ao UV para promover uma reticulação parcial que seja suficiente para atender o critério mínimo de desempenho para aquela aplicação. Este sistema também pode ser “invertido”, efetuando-se uma cura parcial através de UV, e terminando-se o processo de cura por via térmica em um forno de pós cura.

Outros desenvolvimentos farão com que o uso de tintas em pó para substratos sensíveis ao calor seja adotado em aplicações de larga escala. O uso em MDF e outros aglomerados de madeira são apenas o começo da aplicação desta tecnologia. Em um futuro próximo veremos aplicações em papel, “composites” e finalmente em plásticos, o que representará um aumento significativo no volume global de tintas em pó.