

Proposta de Redução de Consumo de Tintas em uma Empresa Produtora de Aço Pré-Pintado

Prof^a Dr^a Izabel Cristina Zattar (Universidade Federal do Paraná) izabel.zattar@gmail.com

Fabio Lutgens de Souza (Universidade Federal do Paraná) fabio.lutgens@gmail.com

Isabella Roze Villar Corrêa (Universidade Federal do Paraná) isa.villar7@gmail.com

Resumo:

O aço pré-pintado é uma solução eficiente para a indústria de construção civil e linha branca, uma vez que substitui o aço comum que é pintado por meio de métodos pouco eficientes sendo ele uma chapa coberta com uma camada de tinta que permite conformação mecânica sem que esta camada se quebre ou perca as características exigidas para uso industrial. Em uma empresa produtora de aço pré-pintado, é importante o controle do consumo de tinta que é aplicada sobre o produto para que suas características técnicas sejam atendidas e custos com matéria prima controlados. O presente artigo utilizou o método de análise e solução de problemas para realizar experimentos, analisar resultados e criar ferramentas que permitissem que uma empresa produtora de aço pré-pintado fosse capaz de reduzir o consumo de tintas. Os principais objetos de estudo foram o processo de aplicação de tinta em uma linha de aço pré-pintado e, as variáveis que influenciam no consumo de tintas e o processo de medição de espessura de camada. Para tal, diferentes métodos de medição foram avaliados no intuito de determinar o método mais adequado. Métricas de controle de camada e consumo de tintas foram criadas e comparadas em gráficos que possibilitaram identificar quais tintas tinham anomalias técnicas e de medição. O projeto gerou uma redução no consumo de tintas de mais de R\$ 1 milhão em oito meses de implementação das ações na empresa estudada.

Palavras chave: Consumo de tintas, medição de camada de tinta, aço pré-pintado.

Plan to Reduce Consumption of Coating in a Prepainted Steel Company

Abstract

The prepainted steel is a solution for the civil construction industry and home appliance, replacing the standard steel that after mechanical conforming is painted by less efficient methods. The prepainted steel is a coil covered by a film of coating that allows mechanical conforming with no losses of technical characteristics or fracture to the coating, ready for industrial use. In a prepainted steel company, it is very important for quality specifications and coating consumption that the volume of coating applied is controlled. This paper utilized the Method of Analysis and Troubleshooting to design experiments, analyze results, and create tools for a prepainted steel producer to reduce coating consumption. The coating process in a coil coating line, variables that influence the coatings usage, and measurement system of dry film thickness were the main points studied. Different methodologies for DFT (dry film thickness) measurement were evaluated in order to determine the most appropriate method and reduce coating usage through coating process control. Metrics for controlling film thickness and coatings consumption were created and compared in charts that identify which coatings have measuring uncontrolled and technical irregularities. The project was able to reduce coating consumption, saving over USD 350,000 in eight months since the implementation of the actions proposed to the company studied.

Key words: Coating consumption, dry film thickness measurement, prepainted steel

1. Introdução

Segundo Heindrichs *et al* (2000), o aço-pré pintado é responsável por suprir demandas da indústria da construção civil, linha branca e uma pequena parcela de soluções diferenciadas utilizando aço com cobertura de tintas especiais. O aço pré-pintado substitui o aço que é perfilado ou conformado e posteriormente pintado pois estes usam métodos menos eficientes de pintura. O consumo de tintas durante o processo de pintura necessita de controle uma vez que o produto pré-pintado exige que a altura da camada de tinta esteja em um intervalo ideal para a garantia de sua qualidade. Ao mesmo tempo, é desejável que o processo esteja controlado e se encontre dentro do limite de especificação do produto, para que haja economia de tinta (ASTM, 2016). Como a área a ser pintada e a altura final da camada de tinta definem o volume que será gasto no processo de pintura, é essencial utilizar métodos de medição de camada para observar constantemente a espessura de tinta aplicada sobre o aço. Os métodos e equipamentos existentes para medição de camada em aço pré-pintado exigem grande precisão e são influenciadores do consumo de tintas (LOMAX, 2016).

Este artigo tem como objetivo apresentar um estudo voltado para o controle e redução do consumo de tintas em uma empresa produtora de aço plano pré-pintado, por meio do controle estatístico da espessura de camada e monitoramento do consumo das principais tintas utilizadas no processo de pré-pintura contínua.

2. Revisão da Literatura

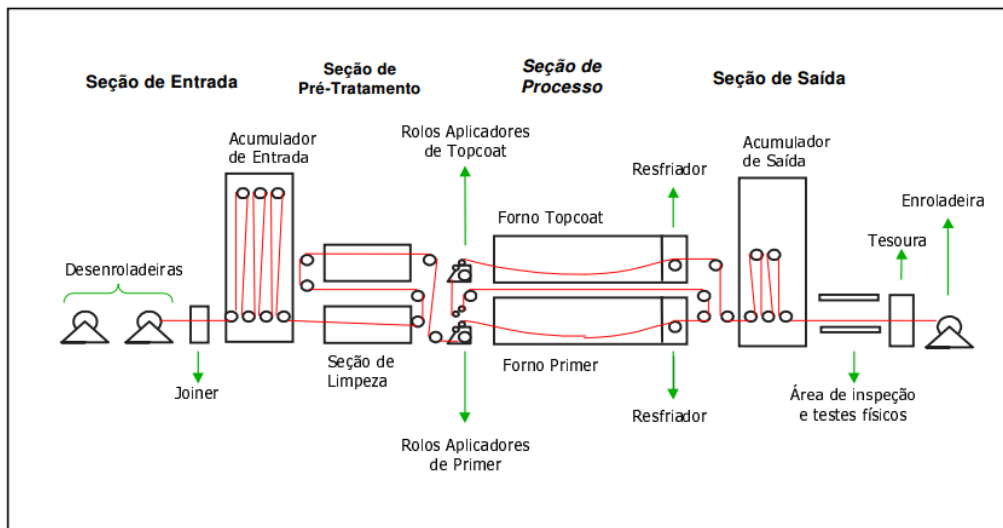
O aço pré-pintado substitui o aço pintado pós conformação mecânica. O mesmo proporciona grande facilidade pois não é necessário que haja o processo de pintura peça por peça assim que o material já está conformado. O produto é disponibilizado ao mercado em forma de chapas ou em forma de bobinas, sendo estas cortadas e aquelas conformadas e montadas de acordo com a demanda do cliente. O aço pré-pintado é convertido em produtos para o mercado de linha branca (como fogões e geladeiras) e para o uso na construção civil.

Usualmente, o aço pré-pintado é composto de várias camadas que permitem o desempenho adequado do produto final. As camadas são (aplicadas nesta ordem): aço, o qual garante a propriedade mecânica do produto; liga galvanizada, que serve para aumentar robustez anticorrosiva; camada de pré-tratamento, que promove aderência e propriedade anticorrosiva; primer, a qual promove aderência da tinta e tem propriedade anticorrosiva; e camada de acabamento, que é a camada de tinta de cor e aparência desejada pelo cliente e que também age como barreira física (CSN, 2016).

Jaconis (2009) analisou o mercado em 2008 e identificou que o mercado brasileiro divide o consumo de aço pré-pintado em 3 grupos com as seguintes proporções: 60% destinado à construção civil, 32% destinado à linha branca (*home appliance*) e 8% destinado a outros tipos de aplicações.

2.1 Processo de Fabricação do Aço Pré-Pintado

A fabricação de aço pré-pintado é composta por 4 etapas: seção de entrada, seção de pré-tratamento, processo e seção de saída, mostradas na Figura 1.



Fonte: Misurelli (2002)

Figura 1 – Linha de produção de aço pré-pintado

A entrada é a seção onde bobinas de aço são desenroladas em uma das desenroladeiras da linha. O processo deve ser contínuo, portanto, para que uma bobina seja pintada após a outra, o final de uma bobina é grampeada no começo da seguinte. Enquanto o grampeamento é realizado, o acumulador de entrada funciona como *buffer* do processo, alimentando as seções seguintes com velocidade igual à da linha, uma vez que a seção de entrada se encontra parada para a realização do grampeamento.

A tira metálica que passa pela seção de limpeza sofre ação de soluções alcalinas para realização do desengraxe de sua superfície. Após o desengraxe, a tira recebe um banho de fosfato de zinco que melhora a superfície, promovendo, principalmente, aderência da tinta à superfície da bobina. Uma camada de selante químico, composto de uma mistura de cromo ou titânio é aplicada sobre a tira, aumentando sua capacidade de resistência à corrosão. Após esses processos de preparação da superfície metálica citados, a tira metálica está pronta para receber a primeira tinta do processo, o *primer*. Por meio de rolos imersos em uma bandeja de tinta, esta é transferida para a tira com acabamento e controle de camada e aparência uniforme. A tira, já com camada de primer em ambas as faces ou somente na superior, segue para a estufa de *primer*, onde seu PMT (temperatura e tempo de cura ideal de uma tinta) é alcançado. Após isso, a tira é resfriada e então é secada por meio de rolos de borracha que “espremem” a tira e sopradores de ar quente. Em seguida, a tira retorna para a área de pintura, chamada de *coater*, onde pode-se aplicar diversos tipos e cores de tintas de acabamento, por meio do mesmo sistema de aplicação de *primer*. Assim que a tira recebe a camada de tinta de acabamento na face superior e, se necessário, na face inferior, o processo é encaminhado para a estufa de acabamento, onde o material alcança seu PMT e segue para posterior resfriamento.

É muito importante que a velocidade do processo se mantenha constante e a temperatura das estufas, velocidade dos rolos, tensão mecânica da linha e outros parâmetros do processo estejam controlados para que o processo desempenhe bem.

Por fim, a tira passa pelo acumulador de saída, área de inspeção visual, tesoura e enroladeira. Para que uma bobina seja separada da outra, a seção de saída pára, fazendo com que o processo alimente o acumulador de saída, que funciona como o segundo *buffer* do processo. Só assim uma bobina é separada de outra por meio de cortes da tesoura, possibilitando que uma bobina seja retirada da enroladeira e a seguinte passe a ser enrolada. Assim que o processo de divisão de bobinas termina, a velocidade de enrolamento da seção de saída aumenta, tornando-se

superior à velocidade do processo, fazendo com que o acumulador de saída retorne à sua posição inicial (FRIEDERSDORF et al., 2002; ROBERTS, 1978).

2.2 O Funcionamento da Pintura Contínua por Meio de Rolos

O processo de pintura contínua aplicado às linhas de aço pré-pintado garante um controle de camada e aspecto de pintura muito preciso. A aplicação de tinta é realizada por meio do contato do rolo alimentador com a tinta depositada sob uma bandeja. Em seguida o rolo alimentador transfere a tinta captada para o rolo aplicador, um rolo de material emborrachado. O rolo aplicador transfere a fina camada de tinta em sua face para a tira metálica que corre apoiada em outro rolo chamado de rolo de encosto (ACUMETER LABORATORIES INC., 1984).

Segundo Hohn et al. (2010), o processo é de certa forma limitado, pois dependendo da sequência de produção é possível que paradas sejam necessárias devido a diversos motivos: para troca dos rolos aplicadores de tinta, devido a largura das tiras em sequência; tempo de produção de uma determinada ordem de venda; PMTs diferentes de tintas; incompatibilidade de área de seção transversal de bobinas em sequência e diferentes especificações de cor na face inferior de ordens de produção subsequentes.

2.3 Métodos de Medição da Espessura da Camada Seca de Tintas

As metodologias apresentadas a seguir são as utilizadas na empresa em estudo. Além das duas técnicas (Furador DJH e Gravimetria) citadas abaixo, existem os métodos Pré-Riscador (conhecido como *Took Gauge*), Cratera Produzida por Broca e Micrômetro, os quais também são usados amplamente. Todos os métodos de medição são oriundos de metodologias padrão de testes e práticas padrão criadas pela *ASTM International (American Society of the International Association for Testing and Materials)*, responsável por organizar e gerir normas relacionadas a testes em produtos, materiais, sistemas e serviços. Essas normas são aceitas e utilizadas por diversas empresas de aço pré-pintado no Brasil e no mundo.

O método validado e atualmente implantado para verificação de camada de acabamento na empresa em estudo é o DJH, sendo que em caso de mau funcionamento do DJH o *Took Gauge* é utilizado em seu lugar. Para medição de camada de primer, é utilizado o método de Gravimetria.

O método DJH foi desenvolvido pela empresa DJH Designs e consiste em realizar um furo muito preciso com uma broca pequena e especial, gerando uma pequena cratera na superfície da amostra. Essa broca tem um ângulo de corte conhecido que fura a amostra de aço pré-pintado com um perfil de um cone invertido. A amostra é analisada em um microscópio que possibilita que o operador veja o desenho do furo em uma vista superior assim como medir suas dimensões. Assim que as medições são feitas, o software retorna o valor da altura da camada de tinta presente na amostra. Para garantir a confiabilidade do equipamento, é extremamente importante garantir que ele esteja calibrado e que a broca de furação tenha o ângulo de corte correto e em boas condições.

O ensaio de gravimetria consiste em tomar amostras de aço pré pintado com área conhecida e remover toda a tinta da face que se deseja obter o valor de espessura de camada, pesando a amostra antes e depois da remoção da tinta. A remoção da tinta, comumente chamada de decapagem, acontece por meio do contato da área com tinta da amostra e um reagente especial. Sabendo a diferença de massa da amostra antes e depois da remoção da tinta, é possível determinar a massa de tinta que estava sobre a superfície. Conhecendo o valor de densidade seca e massa de tinta, pode-se definir a espessura da camada. Para se ter confiabilidade nesse método, a balança deve estar devidamente calibrada, o método de decapagem não deve alterar a massa do corpo de prova, nenhuma partícula externa pode ser adicionada a massa do corpo

de prova no momento da pesagem e a densidade seca, valor usado para encontrar a altura da camada, deve ser corretamente determinado.

3. Materiais e Métodos

Para a realização deste trabalho, utilizou-se a metodologia MASP (Método de Análise e Solução de Problemas). O MASP é um modelo prescritivo de solução de problemas, ou seja, ele prescreve as etapas de solução de problemas. O MASP faz parte de um conjunto de ferramentas do Total Quality Control, um conceito de qualidade empregado originalmente pela Toyota no Japão (CAMPOS, 2004).

Segundo Kume (1992), o MASP é um caminho ordenado, dividido em passos e sub-passos para a escolha do problema, análise das causas fundamentais, determinação e planejamento das ações que consistem na solução, verificação e padronização da melhoria.

O MASP foi aplicado ao projeto de redução de custos com tintas na empresa estudada. Na Figura 2, pode-se visualizar cada etapa do método de forma aplicada ao problema do presente trabalho.

Fluxograma	Fase	Objetivo
1	Identificação	Identificar quando o problema de rendimento de tintas iniciou e quais as tintas que têm apresentado mau desempenho de rendimento
2	Observação	Investigar quais as variáveis que impactam no controle de processo de aplicação de tinta e medição de camada de tinta
3	Análise	A partir das investigações e questionamentos iniciais feitos na fase de observação, fazer um Diagrama de Ishikawa para elencar possíveis causas do problema. Em seguida analisar cada possível causa de forma estruturada avaliando os resultados para tomar decisões quanto a investigar outra possível causa ou não
4	Plano de Ação	A partir dos resultados das análises, criar ferramentas para controle de desempenho de rendimento das tintas de maior volume de pintura da empresa e eliminar as causas de problemas de des controle de camadas, método de medição e matéria prima
5	Ação	Utilizar as ferramentas de controle propostas na Fase 4
6	Verificação	Verificar a eficácia das ferramentas de controle criadas
7	Padronização	Realizar acompanhamento semanal e mensal do indicador. Escrever relatórios mensais para a coordenação e gerência da empresa
8	Conclusão	Escrever relatório descrevendo o método de solução de problemas para a empresa e compartilhar as experiências em um fórum digital

Fonte: Os Autores (2016)

Figura 2 – Metodologia MASP aplicada ao problema

O método foi escolhido pois ele se adequa bem às necessidades que o problema impõe. Verificou-se que muitas possíveis causas poderiam estar ocasionando o problema de consumo de tintas e, portanto, o MASP como um método flexível, facilitaria a priorização e divisão do problema em partes analisáveis. A ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) indica a utilização do MASP para problemas dessa natureza (MENEZES, 2013).

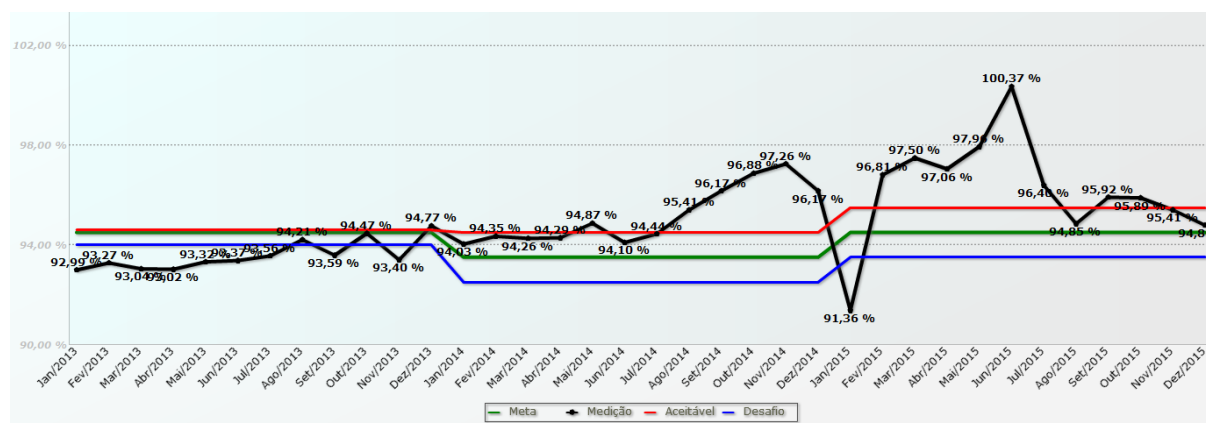
4. Resultados e Discussões

Uma linha de pré-pintura contínua deve trabalhar dentro das especificações de forma econômica e eficiente. O consumo de tintas, além de ser o indicador da empresa que controla o gasto com tintas, é uma métrica capaz de mostrar de forma geral como foi o desempenho de economia com tintas em um determinado período de tempo. O consumo é calculado pela relação entre

volume real e volume teórico, sendo este baseado em variáveis que definem a quantidade de tinta a ser aplicada sobre a tira de aço e aquele é a quantidade gasta de fato na mesma tira.

O produto pré-pintado possui especificações técnicas de espessura de camada que devem ser respeitadas para garantir a produção com qualidade. Em geral, a camada de primer possui média de 5 μm de espessura com tolerância de 1 μm para mais ou para menos. Já a camada de acabamento tem camada média de 20 μm de espessura com tolerância de 2 μm para mais ou para menos. Um produto com essas características é considerado aceito pela qualidade. Considerando a variabilidade intrínseca da espessura da camada de tinta, foi determinada internamente na empresa em estudo a meta de 94,5% de eficiência. Esta significa que se o volume teórico de tinta a ser utilizada em todas as ordens de produção fosse de 100 litros e o volume de tinta real utilizado para executar todas as ordens de produção fosse de 94,5 litros, a meta será atingida, pois na média, todas as ordens de produção ficaram com a camada de tinta dentro da especificação e ainda houve economia de tinta.

Verificou-se que em agosto de 2014, esse indicador passou a registrar valores fora da meta estipulada. O desempenho do indicador piorou ainda mais ao longo do ano de 2015, com exceção do mês de janeiro. A Figura 3, apresenta historicamente o desempenho do indicador de consumo de tintas. A linha verde representa a meta determinada, e quanto menor o valor dessa métrica, melhor.



Fonte: Os Autores (2016)

Figura 3 – Consumo de tintas a partir do ano de 2013

Por meio de um Gráfico de Pareto analisando os volumes de tintas utilizadas no ano de 2015, identificou-se as tintas que tiveram maior impacto sobre o indicador de consumo, sendo que cinco tintas compõem 63,4% do volume de produção da linha de pintura. São elas: *primer* 1, acabamento 1, acabamento 2, acabamento 3 e *primer* 2 (os nomes reais dos produtos foram ocultados em respeito à exigência de sigilo da empresa).

4.1 Variáveis importantes do processo de pintura

As variáveis que compõem o cálculo da quantidade de tinta a ser utilizada para cobrir uma área determinada são a espessura da camada e o teor de sólidos por volume. Portanto, é importante que esses dois valores sejam controlados e obtidos com precisão. Para tintas de acabamento, outra variável que influencia na espessura da camada é o padrão de cor do produto. Por vezes, é necessário que a espessura da camada seja aumentada, permanecendo fora da especificação de espessura, para que o produto entre em especificação de cor. Para a qualidade do produto, não existe nenhum problema na situação de espessura de camada ultrapassando o limite superior de especificação, portanto abre-se mão da especificação de camada para estar de

acordo com o padrão de cor, que por sua vez é crítico, pois implica em uso acima do esperado de volume de tinta.

O processo de pintura contínua por meio de rolos possui uma variação de camada aplicada intrínseca ao processo, assim como qualquer outro processo produtivo. Contudo, o processo, se controlado de forma correta, tem grande capacidade de se manter constante e atingir níveis aceitáveis de variabilidade. Alguns fatores influenciam a espessura da camada de tinta, como a pressão entre os rolos alimentador e aplicador e entre o rolo aplicador e a tira metálica, e a viscosidade da tinta, pois quanto mais viscosa esta é, maior é a quantidade de tinta transferida dos rolos para a tira.

4.2 Discussão sobre possíveis causas do problema

Sabendo da influência das variáveis listadas anteriormente, discutiu-se sobre várias ocorrências, observações e experiências do passado que poderiam estar relacionadas com o problema de excesso de consumo de tinta e grande variabilidade no mesmo. Inicialmente foram levantadas algumas possibilidades, como a baixa confiabilidade no método de análise de espessura, tanto para o método DJH quanto para o ensaio de gravimetria; região de retirada de amostra não representa o processo em estado estável; operadores estão trabalhando com a camada muito alta para não correr risco de sair do limite inferior de especificação ou para atingirem o padrão de cor exigido; informação errada sobre a densidade do *primer* 1. A partir desses relatos, a equipe foi capaz de definir uma série de possíveis causas do problema do consumo.

Com o auxílio de um Diagrama de Ishikawa, foi possível organizar possíveis causas para o problema em diferentes categorias, como método, matéria prima, máquina, mão de obra, medição e, com uma adaptação ao método, motivos externos, relacionados a fornecedores. Dentre todas as causas levantadas, decidiu-se investigar seis delas, descritas na sequência.

- (a) Experimento de comparação entre valores de espessura de amostras de começo e fim de bobina

Por meio desse experimento, duas possíveis causas do problema foram postas à prova, a estabilidade do processo na região de retirada de amostras e a variabilidade entre diferentes métodos de medição. Para verificar se a região de retirada de amostras tem potencial para representar o processo, a equipe desenvolveu um experimento onde a região atual de retirada de amostra é comparada a uma região onde se tem certeza que as variáveis do processo estão estabilizadas. A instabilidade se logo após o contato entre o rolo com a próxima bobina da sequência passando por um período de recuperação das variáveis do processo pré-determinados. Pratica-se uma distância de estabilização de aproximadamente 15 metros, e ao fim disto uma amostra pode ser retirada para ser ensaiada.

Nesse ensaio foram comparados os pares de amostras com todos os métodos de ensaio de altura de camada de tinta já mencionados. Contudo, foram considerados apenas os resultados obtidos pelo DJH e gravimetria por conta da precisão dos dois métodos. Foram realizadas comparações de 15 pares de amostras para o ensaio de gravimetria e 21 pares de amostras para o ensaio DJH.

Realizou-se um teste ANOVA (Análise de Variância) para verificar se existe diferença significativa entre valores de espessura de camada encontrados em amostras de começo e fim de bobina medidas por um mesmo método. A hipótese de que não existe diferença entre valores de amostras de começo e fim de bobina pode ser aceita com 95% de confiança caso o valor de $F < F_{CRIT}$ e $P\text{-valor} > 0,05$. Em contrapartida, a hipótese de que existe diferença significativa entre os valores de amostras de começo e fim de bobina pode ser aceita com 95% de confiança caso o valor de $F > F_{CRIT}$ e $P\text{-valor} < 0,05$. Os resultados do teste ANOVA neste caso indicaram que não existe diferença significativa entre amostras de começo e fim de bobina.

(b) Variação entre diferentes métodos de medição de espessura

O experimento consiste em tomar amostras do processo e medir a camada total de tinta em uma determinada região utilizando os quatro métodos citados, porém, pela maior precisão do ensaio de gravimetria, os outros métodos foram comparados a este. Tendo sido tomadas 33 amostras de tipos de tintas de acabamento e *primers* diferentes, o método que obteve mais aderência aos valores esperados pelo ensaio de gravimetria foi o DJH. Os demais não obtiveram desempenho esperado. Com isso, pode-se concluir que o DJH é capaz de medir com precisão aceitável camadas de acabamento.

(c) Análise do desvio padrão dos métodos de medição de camada por gravimetria e DJH

O experimento consistiu em coletar uma amostra da linha de produção e retirar 3 amostras de primer e 7 amostras de camada total, primer e acabamento, do mesmo sentido de laminação, tanto para lado motor (esquerdo) e lado operador (direito) de um pedaço de fim de bobina. As amostras de camada total foram verificadas através do DJH e método de gravimetria. Entretanto, as amostras de primer, somente pelo método de gravimetria.

Com os resultados, notou-se que o desvio padrão do ensaio de gravimetria é muito menor do que o desvio padrão encontrado no ensaio pelo DJH. Contudo, existe grande diferença entre as médias de camada encontradas por cada método. Era esperado que seus valores fossem muito próximos, porém essa elevada diferença é provavelmente causada pelo valor de densidade seca utilizado para a tinta de acabamento. Esse resultado demonstra que pode existir um erro causado pelo valor de densidade seca utilizado para os ensaios de gravimetria no momento da conversão da camada de tinta de acabamento.

(d) Análise do consumo esperado e do consumo real das tintas mais utilizadas

Considerou-se razoável comparar a média dos valores de camada registrados pela inspeção e o consumo de tintas de cada período de 2015, no intuito de identificar se existe alguma tinta que foge do comportamento esperado. Assim, foi usado o indicador de consumo esperado que é a relação entre camada média registrada de tinta e camada padrão.

Identificou-se que algumas tintas tiveram desempenhos peculiares. Comparando os dois *primers*, o *primer 2* tem um consumo melhor do que o esperado pela camada aplicada. Em contrapartida, o *primer 1* teve desempenho ruim durante todos os meses, melhorando após a correção de seu valor de densidade seca pelo departamento da qualidade. As tintas de acabamento obtiveram desempenho esperado e dentro de condições aceitáveis que não chamam tanto a atenção quanto os valores de consumo dos *primers*.

(e) Impacto do teor de sólidos por volume no consumo

Foram verificados os valores do teor de sólidos por volume providenciados pelo fornecedor, assim como os valores encontrados por meio de ensaios realizados no laboratório da empresa de cada lote, comparando-os com o consumo do período correspondente. Foi possível verificar que ajustando o consumo real ao valor de sólidos por volume de cada lote, os valores de consumo esperado e consumo real se ajustam, ficando muito próximos, com exceção ao *primer 1* que, após correção, aumenta ainda mais a diferença de consumo real e esperado. Essa análise abriu outras frentes de investigação que tinham como objetivo encontrar a causa raiz do consumo ruim do *primer 1*, almejando ações para obter um melhor consumo tal qual ao desempenho do *primer 2*. Deste modo, foi iniciado um trabalho de investigação sobre o comportamento dos *primers 1* e *2* perante o ensaio de gravimetria e possível alteração no valor de densidade seca do *primer 1*.

(f) Investigação sobre o ensaio de gravimetria

Para que o efeito do reagente seja efetivo, é necessário que somente a face a ser analisada seja exposta ao reagente. Usa-se um copo cônico de borracha chamado de *Guko*, capaz de vedar região anterior do corpo de prova, permitindo que a reação aconteça somente na face superior. Em amostras que possuem camada de *primer* em ambas as faces é necessário que a decapagem ocorra em uma face por vez, para assim determinar individualmente a sua espessura. No entanto, a ferramenta *Guko* sofre desgaste, o que implica em usar método alternativo para a decapagem. Neste, toma-se duas amostras da mesma tira, lixando-se a face inferior em uma amostra e a outra a face superior, eliminando completamente o *primer* presente na face lixada. Feito isso, a amostra é mergulhada em um béquer que contém o reagente, removendo a camada de *primer* da face com *primer* remanescente.

Por ser possível que partículas de sujeira, selante ou revestimento de zinco ou galvalume sejam removidos no processo e não considerados no cálculo da espessura da camada, foi relevante realizar um experimento sujeitando diferentes tipos de substrato, sem *primer* algum, à ação do reagente, verificando seus valores de massa ao longo do tempo. Como resultado, verificou-se que existe diferença de perda de massa entre as variações do método de decapagem propostas, e que portanto, é possível concluir que a espessura da camada de ordens de produção pode estar sofrendo influência da variação do método de decapagem no momento da execução do ensaio pela equipe do laboratório da empresa.

4.4 Verificação da Eficácia das Ações

O projeto de controle e economia do consumo de tintas teve início em novembro de 2015. Muitas das ações que proporcionaram melhora no indicador de consumo foram implementadas em dezembro do mesmo ano. Portanto, para efeito de comparação, o período pós-ações foi considerado de dezembro de 2015 a julho de 2016, totalizando oito meses, e o período que antecedeu as ações foi considerado de igual tamanho e mais recente possível, portanto de abril a novembro de 2015. A Figura 4 exibe o indicador de desempenho dos anos de 2015 e 2016. É possível visualizar que o desempenho do consumo melhorou a partir do final do ano de 2015.



Fonte: Os Autores (2016)

Figura 4 – Desempenho do indicador de consumo antes e depois das ações

Por meio da ferramenta gráfica criada na planilha anual de consumo de tintas é possível perceber a economia gerada pelas ações do projeto no ano de 2016, o que também refletiu positivamente nos desempenhos individuais das tintas. A Figura 5 mostra o ganho em consumo obtido após a implementação das ações, além de comparar os indicadores de 2015 e 2016.

Fornecedor	Cor	Vol. Teórico(L)		Vol Teórico - Real (L)		Consumo	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Fornecedor 1	ACABAMENTO 2	325,157	210,791	17,777	20,541	94.53%	90.26%
Fornecedor 1	ACABAMENTO 3	297,414	209,140	7,654	18,180	97.43%	91.31%
Fornecedor 1	PRIMER 1	338,486	161,129	-3,227	6,779	100.95%	95.79%
Fornecedor 1	PRIMER 2	189,691	132,488	24,546	18,248	87.06%	86.23%
Fornecedor 1	ACABAMENTO 1	341,295	117,999	3,045	8,469	99.11%	92.82%
Fornecedor 1	ACABAMENTO 4	116,218	47,385	-6,582	2,245	105.66%	95.26%

Fonte: Os Autores (2016)

Figura 5 – Comparação individual do consumo das principais tintas em 2015 e 2016

5. Conclusões

Por meio da metodologia MASP foi possível identificar as seis tintas de maior volume de consumo na pintura do aço pré-pintado e observar seus consumos reais ao longo do ano de 2015. A partir disso, variáveis importantes do processo de aplicação de tintas em aço pré-pintado e medição de camada foram estudadas pelo projeto.

Na análise do problema, as possíveis causas abordadas foram analisadas uma a uma. Verificou-se a representatividade das amostras retiradas da linha de produção. Diferentes métodos de medição de camada foram utilizados para medir as mesmas amostras, mostrando que os métodos DJH e gravimetria eram os mais precisos. Gráficos de comparação entre o consumo real e esperado segundo camada registrada foram criados, proporcionando o entendimento de quais tintas representavam comportamento anormal. O impacto do teor de sólidos por volume foi levado em consideração, mostrando que a correção pelo seu valor real influenciaria pouco na correção do consumo real e com comportamento ainda mais errôneo para o *primer 1*. Em seguida, o ensaio de gravimetria foi exposto a um experimento para identificar possíveis erros no método. Por meio do experimento, foi possível notar que o *primer 2* sofre grande variação de resposta dependendo da técnica de decapagem de primer utilizada no momento do ensaio. A densidade seca dos *primers 1* e *2* foram analisadas experimentalmente através do método da película, porém os resultados não foram suficientes e um método alternativo foi proposto para a determinação da densidade seca, porém não executado.

Por fim, a tendência de medição de camada de primer, segundo ensaio de gravimetria, foi analisada a partir da análise de variância dos registros de camada de produção. Por meio da ANOVA foi possível identificar que os resultados de camada estavam sendo influenciados pela equipe de trabalho que realizava o ensaio e tipo de primer, evidenciando a necessidade de padronizar a técnica de decapagem do ensaio de gravimetria.

O projeto de redução de consumo de tintas foi capaz de colocar o indicador de consumo, que teve um desempenho ruim por muito tempo, em patamares nunca alcançados antes. Atualmente o consumo de tintas está estabilizado em um desempenho superior ao estipulado pela gerência. A redução do consumo de tintas possibilitou uma economia de mais de R\$ 1 milhão de reais em um período 8 meses de ações.

Referências

ACUMETER LABORATORIES INC. *Roll coating applicator for adhesive coatings and the like and process of coating*. European Patent Office 84304459.5. 29 June 1984.

ASTM D3794-16, *Standard Guide for Testing Coil Coatings*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

CAMPOS, V. F. *TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. 8. ed. Belo Horizonte: Bloch Editora, 2004.

CSN. *Pré-pintado CSN*. São Paulo, 2016.

FRIEDERSDORF F. J., DANILICH, M. J., SIMPSON T. C. *Process for Applying a Coating to a Continuous Steel Sheet and a Coated Steel Sheet Product Therefrom*. United States Patent. Pub. N0.: US 2002/0114884 A1. 22 Aug., 2002.

HEINDRICHS W. J. , LANGE, D. *Process for generating structured surfaces in coil coating*. United States Patent. 6,025,024. 15 Feb., 2000.

HOHN W.; KONIG F. G.; LUBBECKE M. E.; MOHRING R. H. *Integrated Sequencing and Scheduling in Coil Coating*. Technische Universitat Berlin, Institut fur Mathematik. Berlin, Germany, 2010.

JACONIS F. *Coil Coatings*. São Paulo: Akzo Nobel, 2009. Relatório técnico

KUME, H. *The QC Story In: Statistical methods for quality improvement*. Tokyo: 3A Corporation, 1992.

LOMAX, P. *Quality 101: Understand Coating Thickness Measurement Test Methods*. Quality Magazine, Digital Edition. Troy, USA, 2011.

MENEZES, F. M. *MASP: Metodologia de Análise e Solução de Problemas*. ABDI (Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial). Porto Alegre, 2013.

MISURELLI J. C. E. *39º Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos*, Araucária – PR. Linha de Pintura Contínua da CISA CSN; 2002.

ROBERTS W. L. *Cold Rolling of Steel*. New York and Basel. Marcel Dekker Inc, 1978.