

Proposta de redução de consumo de tintas em uma empresa produtora de aço pré-pintado

Plan to reduce consumption of coating in a company that produces pre-painted steel

Isabella Roze Villar Showalter¹, Universidade Federal do Paraná, Depto. Engenharia de Produção
Fábio Lutgens de Souza², Universidade Federal do Paraná, Depto. Engenharia de Produção
Izabel Cristina Zattar³, Universidade Federal do Paraná, Depto. Engenharia de Produção

RESUMO

O aço pré-pintado é uma solução eficiente para indústrias de construção civil e linha branca, substituindo o aço comum pintado por métodos pouco eficientes. Em uma empresa produtora de aço pré-pintado, é importante controlar o consumo de tinta 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 (MASP) para realizar experimentos, analisar resultados e criar ferramentas que capacitem uma empresa produtora de aço pré-pintado a reduzir o consumo de tintas. Os objetos de estudo foram o processo de aplicação de tinta em uma linha de aço pré-pintado e as variáveis que influenciam o consumo de tintas e o processo de medição de espessura de camada. Para tal, diferentes métodos de medição foram avaliados para determinar o método mais adequado. Métricas de controle de camada e consumo de tintas foram criadas e comparadas em gráficos que possibilitaram identificar anomalias técnicas e de medição de camada. O estudo 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.

Editor Responsável: Prof.
Dr. Hermes Moretti Ribeiro da
Silva

ABSTRACT

Pre-painted steel is a solution for the civil construction and the home appliance industries, replacing the standard steel that, after mechanical conforming, is painted by less efficient methods. In a pre-painted steel company, it is very important for quality specifications and coating consumption and that the volume of coating applied is controlled. This paper utilized the QC Story method to design experiments, analyze results, and create tools for a pre-painted steel producer to reduce coating consumption. The main points studied were the coating process in a coil coating line, variables that influence the coatings usage, and measurement system of dry film thickness. Different methodologies for DFT (dry film thickness) measurement were evaluated 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 technical irregularities. The study promoted a reduction in coating consumption, saving over US\$ 350,000 in eight months of actions that were implemented in the studied company.

Keywords: Coating consumption. Dry film thickness measurement. Pre-painted steel.

1 Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR, 81530-000, isabellavillar@ufpr.br; 2. fabio.lutgens@gmail.com; 3. izabel.zattar@gmail.com
SHOWALTER, I. R.V.; SOUZA, F.L.; ZATTAR, I.C. Proposta de redução de consumo de tintas em uma empresa produtora de aço pré-pintado. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 4, p. 259 - 278, 2019.
DOI: 10.15675/gepros.v14i4.2359

1. INTRODUÇÃO

Segundo Heindrichs (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 por meio de métodos menos eficientes como pintura industrial por meio de pistola pneumática e pistola *airless*. A pintura pós-conformação mecânica não permite a aparência homogênea nem o acabamento de aspecto limpo (EUROPEAN COIL COATING ASSOCIATION, 2017). Sendo assim, a facilidade que o aço pré-pintado traz é imensa, pois não é necessário que haja o processo de pintura para cada peça assim que o material é conformado.

O consumo de tintas durante o processo de pintura necessita de controle uma vez que o produto pré-pintado exige, dentre várias especificações, 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 tenha desempenho econômico, isto é, encontre-se próximo do limite de especificação do produto para que haja economia de tinta (ASTM, 2016).

A indústria de aço pré-pintado tem como segundo insumo mais caro as tintas de fundo (*primers*) e de acabamento, sendo o mais elevado o custo do próprio aço. Se uma redução de 1% for alcançada no consumo de tintas, pode-se obter R\$ 300.000,00 de economia em um ano para a produção de 120 mil toneladas de aço pré-pintado. Isto evidencia que ganhos com economia de tinta são extremamente significativos para a eficiência de custos do produto em uma empresa produtora de aço pré-pintado.

O controle adequado da camada de tinta aplicada sobre o aço é essencial para aprovação da qualidade do produto. O excesso e a falta de tinta podem ocasionar mudança de tonalidade da cor do produto ou mesmo a prematura oxidação do aço, caso a camada de *primer* não esteja de acordo com as especificações necessárias. A camada de tinta do aço pré-pintado tem dimensões muito pequenas, em média 25 microns, o que torna sua medição muito difícil. Atualmente existem vários métodos de medição de camada de tinta para alcances diversos.

Ao mencionar sobre controle de medição, Montgomery (2009) traz que reduzir o desvio padrão de um processo permite que a sua média seja posicionada em patamares mais

econômicos. A garantia da qualidade da aplicação e erradicação de erros na metodologia de ensaio de espessura de camada com excelência é capaz de gerar redução de consumo de tinta e, conseqüentemente, vantagem sobre os competidores.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo propor forma de controlar e reduzir o 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. REFERENCIAL TEÓRICO

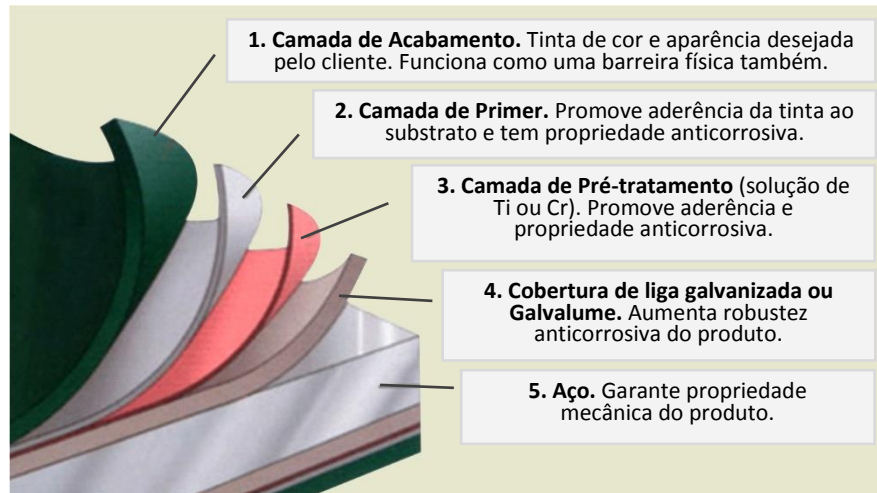
2.1 Aço pré-pintado e suas aplicações

Soluções em aço galvanizado pré-pintado são produtos existentes para atender majoritariamente dois tipos de mercado: construção civil e linha branca (EDAVAN; KOPINSKI, 2009; MOON *et al.*, 2012; YU *et al.*, 2014; LEE; KIM, 2016). Existem outras aplicações para o aço pré-pintado, porém em volume muito pequeno ou que ainda estão em desenvolvimento. É importante salientar que o aço pré-pintado substitui o aço pintado pós conformação mecânica.

Heindrichs (2000) e Höhn *et al.* (2011) ressaltam a grande aceitação do aço pré-pintado no mercado de construção civil na forma de blanks e bobinas, os quais são convertidos em produtos para o mercado de linha branca e de telhas de aço. Ademais, o produto tem grande vantagem em relação ao custo-benefício do seu processo de produção contínua (HEINDRICHS, 2000).

Usualmente, o aço pré-pintado é composto de várias camadas que permitem o desempenho adequado do produto final. Como colocado por Zhai *et al.* (2018), a corrosão é extremamente prejudicial ao ambiente e à saúde das pessoas. Portanto, para minimizar o nível de corrosão do metal, diferentes camadas de tinta, primer e outras soluções químicas são aplicadas para proteção do aço contra corrosão, aumentando sua durabilidade (IOST *et al.*, 2003; SAARIMAA *et al.*, 2012; GAO *et al.*, 2017). A Figura 1 ilustra a finalidade de cada camada e suas composições.

Figura 1 – Composição do aço pré-pintado

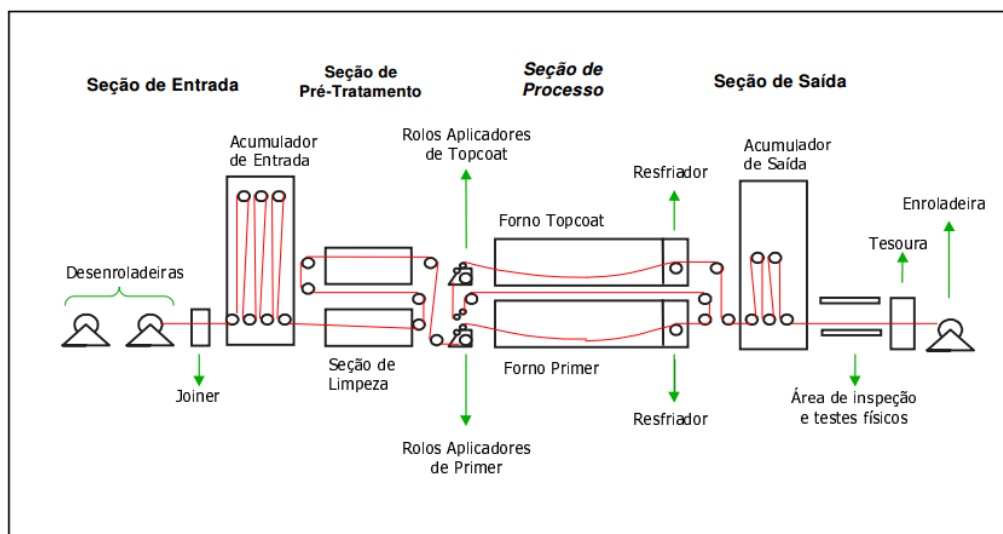


Fonte: Adaptado de StructuralL-Steelbuilding (2016).

2.2 O processo de produção de aço pré-pintado

O aço pré-pintado é produzido por uma sequência de cobertura de soluções químicas e secagem rolo-a-rolo, em processo contínuo de produção (SIMMONS; LOWE, 2004; LEE et al., 2013). A fabricação é composta por quatro etapas: seção de entrada, seção de pré-tratamento, processo e seção de saída, mostradas na Figura 2.

Figura 2 – Linha de produção de aço pré-pintado



Fonte: Misurelli (2002).

Como descrito por Tang e Wang (2009), Friedersdorf *et al.* (2002) e Roberts (1978), 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 grampeado 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 desaída retorne à sua posição inicial (ROBERTS, 1978; FRIEDERSDORF *et al.*, 2002; TANG; WANG, 2009).

2.3 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, além de garantir propriedades de proteção e durabilidade ao material (BAI *et al.*, 2015). 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). Uma das características mais relevantes desse processo é que o processo em si é o que determina a espessura da camada de tinta, fazendo com que esta característica dependa estritamente da qualidade do processo (GRASHOF; DELGADO, 2015).

Segundo Höhn *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.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Objeto de estudo

Para a realização deste artigo, utilizou-se a metodologia Método de Análise e Solução de Problema (MASP) aplicada ao projeto de redução de custos com tintas na empresa estudada. O MASP é um modelo prescritivo de solução de problemas, ou seja, ele prescreve as etapas de solução de problemas. O método 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 escolha do problema, análise das causas fundamentais, determinação e planejamento das ações que consistem na solução, verificação e padronização da melhoria. A Figura 3 apresenta as etapas do método de forma aplicada ao problema.

A metodologia tem aplicações diversas na literatura. Rocha *et al.* (2011) implementaram a MASP numa indústria de bebidas para aumentar o nível de produtividade das linhas de produção. Almeida *et al.* (2014) utilizaram a MASP a uma indústria de linha amarela para solucionar causas de atrasos na entrega de produtos em determinada etapa produtiva. Paulista e Galdino (2014) empregaram a MASP para minimizar desperdício de recursos em uma indústria de montagem de componentes eletrônicos. Jesus *et al.* (2018) aplicaram a metodologia em uma indústria de alimentos para solucionar as causas que geravam desperdícios de recursos. Rubio *et al.* (2018) empregaram a MASP para reduzir refugos do processo de corte em uma indústria moveleira. Santana *et al.* (2018) utilizaram a metodologia para reduzir desperdícios de matéria-prima em empresa alimentícia.

No contexto internacional, a metodologia MASP é denominada *QC Story* (ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, 2015), e também apresenta diferentes aplicações. Pathak e Aher (2013) utilizaram a metodologia para determinar as causas da falha na montagem de peças em uma indústria automotiva. Yunus *et al.* (2016) utilizaram o *QC Story* para eliminar as causas do excesso de depósito de material no processo de soldagem de motores. Hailu *et al.* (2017) utilizaram a metodologia para investigar causas do excesso de descarte de couro no beneficiamento do material e propor soluções para o problema. Sicoe *et al.* (2017) utilizaram o *QC Story* para analiticamente propor melhorias aos problemas identificados no sistema produtivo de uma indústria automotiva.

Com a análise conjunta da utilização da metodologia na literatura e do escopo do método, o mesmo 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 Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) indica a utilização do MASP para problemas dessa natureza (MENEZES, 2013).

Figura 3 – Metodologia MASP aplicada ao problema

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 descontrole de camadas, método de medição e matéria prima
5	Ação	Utilizar as ferramentas de controle propostas na Fase 4
6 N OK? S	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 (2019).

3.2 Procedimentos de coleta de dados

Para obtenção da espessura da camada de material, a empresa em estudo utiliza duas técnicas: furador DJH para a verificação da camada de acabamento, e gravimetria para a medição da camada de *primer*. Na condição de mau funcionamento do DJH, a técnica *Took Gauge* é utilizada como alternativa. 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 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.

Para obtenção dos dados de consumo de tintas, usa-se o indicador consumo e tintas para controlar o gasto com tintas, e ele é calculado pela relação entre volume teórico e volume real. O volume real é o valor gasto de tinta no processo e depende diretamente da espessura da camada e teor de sólidos por volume real da tinta. Já o volume teórico é calculado conforme a Equação (1).

$$V_t = \frac{A \cdot h}{SV \cdot 10} \quad (1)$$

Sendo:

A = Área a ser pintada (m²);

h = Espessura média da camada de tinta (µm);

SV = Sólidos por volume da tinta.

3.3 Procedimentos de análise de dados

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

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, n° 4, p. 259 - 278, 2019.

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.

Sabendo da influência das variáveis, 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

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 4, p. 259 - 278, 2019.

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 Análise de Variância (ANOVA) 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, tomam-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. RESULTADOS

O projeto de redução de custos com tintas gerou possibilidades de investigação das causas. Por meio das análises foi possível entender aspectos relacionados à economia com tintas e agir na direção do objetivo. Perante os resultados a equipe percebeu a necessidade de criar, manter e alterar ferramentas de monitoramento para auxílio no gerenciamento de ações capazes de reduzir o consumo de tintas.

As ferramentas criadas foram:

- Gráfico de consumo real x consumo esperado;
- Ferramentas de gestão a vista para operadores;
- Aplicativo de gerenciamento do consumo para o staff da linha de pintura.

As ferramentas já existentes e mantidas que tem o poder de auxiliar na redução de custos com tintas são:

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 4, p. 259 - 278, 2019.

- Relatórios de não-conformidade;
- Planilha de consumo de tintas;
- Discussão sobre consumo de tintas diário durante reunião matinal;
- Calibração periódica do DJH.

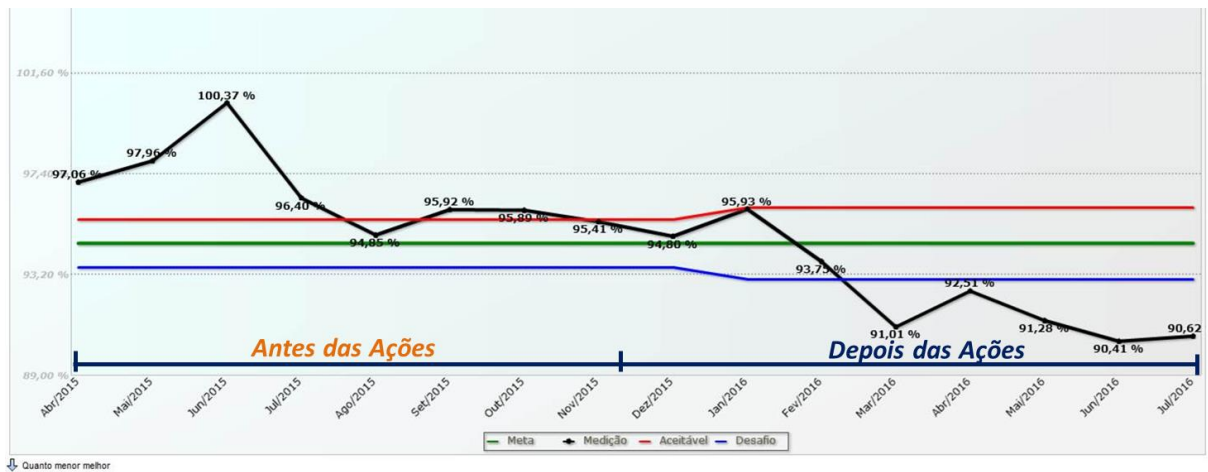
Por fim, as ações de alteração em ferramentas e também mudança de atitude da equipe foram:

- Mudança da técnica de ensaio de gravimetria, padronizando o uso do Guko em todas as situações;
- Comprometimento total com relatórios de não-conformidade relacionadas a tintas por parte da empresa e fornecedor de tintas;
- Mudança dos limites superior e inferior de controle das cartas CEP de acabamento e primer;
- Treinamento intensivo com os operadores sobre preenchimento da carta CEP;
- Comprometimento em manter o DJH calibrado e em utilização, evitando a substituição do método de medição de camada de acabamento pelo Took Gauge;
- Utilização da planilha de consumo de tintas como ferramenta de monitoramento;
- Orientação com operadores do coater e inspeção sobre necessidade de economia com tintas.

5. DISCUSSÕES

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.

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



Fonte: Os autores (2019).

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.

Figura 5 – Desempenho do indicador de consumo antes e depois das ações

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 (2019).

A análise do problema, a qual seguiu a metodologia MASP, ressaltou as possíveis causas que foram analisadas uma a uma. Verificou-se a representatividade das amostras retiradas da linha de produção. Como discutido previamente, a espessura da camada de tintas tem grande importância – portanto medi-la e controlá-la é etapa essencial no processo de pintura. Diferentes métodos de medição de camada foram utilizados para medir as mesmas amostras, mostrando que os métodos DJH e gravimetria eram os mais precisos. Em seguida, o ensaio de gravimetria foi exposto a um experimento para identificar possíveis erros no

método. 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.

Através da análise dos resultados obtidos com ações de melhoria extensamente planejadas e aplicadas, nota-se que a pesquisa complementa a teoria da metodologia MASP, em que ao se investigar profundamente as causas de um problema, a proposição de soluções traz melhorias esperadas e que podem potencializar resultados também no futuro.

6. 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 artigo.

Com o objetivo de controlar e monitorar o consumo de tintas, e dado o fato de que a acuracidade de aplicação de tinta é grande para estabelecer um processo controlado, como colocado por Grashof e Delgado (2015), o artigo obteve resultados satisfatórios ao 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 de 8 meses de ações.

O artigo apresentou contribuições acadêmicas relevantes, como a aplicabilidade e a efetividade da metodologia MASP em processos industriais diversos, como mostrados na revisão de literatura e no estudo de caso apresentado. A importância do artigo estende-se ao setor analisado, por ser de grande demanda e grande valor econômico, como mencionado anteriormente por Edavan e Kopinski (2009), Moon *et al.* (2012), Yu *et al.* (2014), Lee e Kim, (2016). Além disso, a relevância atual para que empresas melhorem seus processos com foco na redução do consumo de materiais e na sustentabilidade, tornam a aplicação da

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 4, p. 259 - 278, 2019.

metodologia MASP, como apresentada neste artigo, essencial para a academia e a indústria. Não apenas isto, mas o foco em redução no consumo de tintas proposto neste artigo está alinhado com o esforço coletivo da União Europeia para tornar os processos tecnológicos relacionados à pintura e ao uso de tintas mais econômico e sustentável (SIYAB *et al.*, 2016).

Processos de produção e as práticas de monitoramento e controle têm alto impacto na produtividade e nos custos produtivos. Como mostrado no presente estudo de caso, e mencionado por Bai *et al.* (2015) previamente neste artigo, o controle da camada de tintas é essencial para a qualidade do aço pré-pintado, para garantir durabilidade e evitar desperdícios de material. O presente estudo seguiu uma metodologia flexível e adequada às características do problema analisado, em acordo com o exposto por Menezes (2013). Ao aplicar as etapas da metodologia foi possível identificar causas para o problema estudado e propor diversas soluções, sendo estas focada primariamente para o controle da camada de tintas.

Em paralelo a isso, uma necessidade que o artigo identificou foi a falta de acesso e confiabilidade dos estudos de repetitividade e reprodutibilidade dos ensaios de gravimetria e DJH. Segundo o departamento de qualidade da empresa, tal estudo foi feito há anos atrás para o atendimento de uma norma de qualidade. Com as alterações na metodologia de ensaio de gravimetria, é interessante realizar o estudo para entender qual o impacto que as mudanças geraram em variabilidade no ensaio e comparar com resultados antigos.

A equipe da empresa acredita que a compra de viscosímetros para análise em tempo real da viscosidade das tintas em processo pode aumentar a capacidade do processo, mantendo seus valores praticamente fixos em níveis de viscosidade ideais. Isso diminuiria ainda mais a variabilidade gerada por causa comum no processo. Para tanto, é necessário realizar um estudo de retorno de investimento, haja vista o preço elevado e a vasta gama de viscosímetros existentes no mercado.

Referências

ACUMETER LABORATORIES INC. **Roll coating applicator for adhesive coatings and the like and process of coating**. European Patent Office 84304459.5. 29 Jun. 1984. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/DE3479968D1/en>. Acesso em 10 ago 2018.

ALMEIDA, J. F.; MATIAS, L. R.; BRAGA, W. L. M.; LIMA JUNIOR, F. R. Aplicação da metodologia MASP ao processo de alteração técnica de produtos em uma indústria de médio porte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 34, 2014. **Anais...** ENEGEP, Curitiba, Brasil, 2014.

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

BAI, H.; TU, Y.; DU, R.; LEI, Z. Durability behavior of prepainted steel sheet for construction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 4th, 2015. **Anais...** ICSEEE, Shenzhen, China, 2015.

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

EDAVAN, R. P.; KOPINSKI, R. Corrosion resistance of painted zinc alloy coated steels. **Corrosion Science**, v. 51, p. 2429-2442, 2009.

ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. **Análise e Melhoria de Processos: Metodologia MASP**. ENAP, Brasília, Brasil, 2015.

EUROPEAN COIL COATING ASSOCIATION. **Recommendations for long-lasting prepainted metals in buildings**. ECCA, Brussels, Belgium, 2017.

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**. US Patent. Pub. NO.: US 2002/0114884 A1. 22 Ago. 2002. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/WO2002018065A2/en>. Acesso em 10 ago 2018.

GAO, X.; LI, W.; MA, H. Effect of anti-corrosive performance, roughness and chemical composition of pre-treatment layer on the overall performance of the paint system on cold-rolled steel. **Surface and Coatings Technology**, v. 329, p. 19-28, 2017.

GRASHOF, B.; DELGADO, A. Analysis of influencing parameters in deformable roll coating of counter-rotating rolls. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 12, n. 1, p. 63-73, 2015.

HAILU, H.; TABUCHI, H.; EZAWA, H.; JILCHA, K. Reduction of Excessive Trimming and Reject Leather by Integration of 7 QC Tools and QC Story Formula: The Case Report of Sheba Leather PLC. **Industrial Engineering and Management**, v. 6, n. 3, p. 1-15, 2017.

HEINDRICHS, W. J., LANGE, D. **Process for generating structured surfaces in coil coating**. United States Patent. 6,025,024. 15 Fev. 2000. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/CN101081959A/en>. Acesso em 10 ago 2018.

HÖHN, W.; KÖNIG, F. G.; LÜBBECKE, M. E.; MÖHRING, R. H. **Integrated Sequencing and Scheduling in Coil Coating**. Technische Universität Berlin, Institut für Mathematik. Berlin, Germany, 2010.

HÖHN, W.; KÖNIG, F. G.; MÖHRING, R. H.; LÜBBECKE, M. E. Integrated Sequencing and Scheduling in Coil Coating. **Management Science**, v. 57, n. 4, p. 647-666, 2011.

IOST, A.; NAJJAR, D.; HELLOUIN, R. Modelling of the Vickers hardness of paint coatings deposited on metallic substrates. **Surface and Coatings Technology**, v. 165, p. 126-132, 2003.

JESUS, W. S.; MUNIZ, E. C. L., SOUZA, W. S.; PEREIRA, G. A.; DANDOLINI, G. A. Aplicação da metodologia MASP para redução de perdas em um processo produtivo: Um estudo de caso em uma indústria de alimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38, 2018. **Anais...** ENEGEP, Maceió, Brasil, 2018.

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

LEE, I. J.; PARK, S.; NOH, S. M.; JUNG, H. W.; PARK, J. M. Rheology and roll coating dynamics of metallic basecoats for automotive pre-coated metal sheet. **Progress in Organic Coatings**, v. 76, p. 917-923, 2013.

LEE, Y.; KIM, H. Effect of cycloaliphatic structure of polyester on the formability and stone-chip resistance for automotive pre-coated metals. **Progress in Organic Coatings**, v. 99, p. 117-124, 2016.

LOMAX, P. Quality 101: Understand Coating Thickness Measurement Test Methods. **Quality Magazine**, Digital Edition. Troy, USA, n. 7, 2011. Disponível em: <https://www.qualitymag.com/articles/87956-quality-101--understand-coating-thickness-measurement-test-methods>. Acesso em 10 ago 2018.

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.

MOON, J.; LEE, Y.; KIM, H. Prediction of formability in drawing of PCM using tensile test and DMA creep test. **Polymer Testing**, v. 31, p. 572-578, 2012.

PATHAK, Y.; AHER, V. S. Analysis of Bearing Cup Assembly Failure in Drive Shaft Assembly. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v. 13, n. 2, p. 188-193, 2013.

PAULISTA, P. H.; GALDINO, B. J. Método de análise e solução de problemas: Estudo de caso em uma empresa do ramo eletrônico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 34, 2014. **Anais...** ENEGEP, Curitiba, Brasil, 2014.

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

ROCHA, A. A.; FONTES, C. H. O.; BANDEIRA, A. A. Aplicação da MASP para melhoria dos índices de produtividade e eficiência em linhas de produção: Um estudo de caso em uma indústria de bebidas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31, 2011. **Anais...** ENEGEP, Belo Horizonte, Brasil, 2011.

RUBIO, N. P.; DIAS, T.; COUTO, M. N.; PIRANI, J. A.; ARNOSTI, J. C. M. Utilização da ferramenta MASP em uma indústria moveleira no noroeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 8, 2018. **Anais... CONBREPPO**, Ponta Grossa, Brasil, 2018.

SAARIMA, V.; KAUPPINEN, E.; MARKKULA, A.; JUHANOJA, J.; SKRIFVARS, B.-J.; STEEN, P. Microscale distribution of Ti-based conversion layer on hot dip galvanized steel. **Surface and Coatings Technology**, v. 206, p. 4173-4179, 2012.

SANTANA, R.; PRADO, M.; EVAIR, J.; TURET, J.; JEFFERSON, J. Aplicação do método MASP para o controle de perdas de polpa de tomate: Estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 8, 2018. **Anais... CONBREPPO**, Ponta Grossa, Brasil, 2018.

SICOE, G. M.; BELU, N.; RACHIERU, N.; NICOLAE, E. V. Improvement of the customer satisfaction through Quality Assurance Matrix and QC-Story methods: A case study from automotive industry. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 252, p. 1-8, 2017.

SIMMONS, G. C.; LOWE, C. A study on the adhesion and flexibility in radiation-cured coil coatings. **Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions**, v. 87, p. 33-39, 2004.

SIYAB, N.; TENBUSCH, S.; WILLIS, S.; LOWE, C.; MAXTED, J. Going Green: making reality match ambition for sustainable coil coatings. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 13, n. 4, p. 629-643, 2016.

TANG, L.; WANG, X. Simultaneously scheduling multiple turns for steel color-coating production. **European Journal of Operational Research**, v. 198, p. 715-725, 2009.

YU, J.; PAN, H.; ZHOU, X. Preparation of waterborne phosphated acrylate-epoxy hybrid dispersions and their application as coil coating primer. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 11, n. 3, p. 361-369, 2014.

YUNUS, M.; ALSOUFI, M. S.; IRFAN, M. Application of QC tools for continuous improvement in an expensive seat hardfacing process using TIG welding. **International Journal for Quality Research**, v. 10, n. 3, p. 641-660, 2016.

ZHAI, T.; YAN, R.; HE, W.; MA, H. Corrosion protection performance of Mo-incorporated 2-hydroxyphosphonoacetic acid-Zn²⁺ complex conversion layers on the cold-rolled steel substrate. **Surface and Coatings Technology**, v. 351, p. 50-59, 2018.