



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2020) v. 7, n. 2, pp. 1– 9

<https://doi.org/10.21712/lajer.2020.v7.n2.p1-9>

Análise de substituição do tensoativo no processo de pré-tratamento das carcaças de aço 1006 da linha de pintura eletrostática de uma indústria de motores

Tensoactive replacement analysis in the pretreatment process of steel castings 1006 of the electrostatic paint line of an engine industry

Tamires Coutinho Campos¹, Thiago Padovani Xavier², Taisa Shimosakai de Lira^{2*}

¹Bach. em Engenharia Química - Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, campus São Mateus, ES

²Depto. de Engenharia e Tecnologia - Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, campus São Mateus, ES

*Autor para correspondência, E-mail: taisa.lira@ufes.br

Received: 21 April 2020 | Accepted: 19 October 2020 | Published online: 04 February 2021

Resumo: Com intuito de reduzir custos e aumentar a produtividade há uma busca incessante por melhorias nos processos industriais. A fim de minimizar os custos de operação da linha de pintura eletrostática de uma empresa de motores localizada no norte do estado do Espírito Santo, propõe-se a substituição do tensoativo utilizado na preparação do banho desengraxante para pré-tratamento das carcaças de aço carbono. O tratamento de superfície é o estágio essencial no processo de fabricação de peças que receberão um acabamento de pintura, pois o mesmo remove as sujidades promovendo então melhor aderência da tinta e consequentemente reduzindo a possibilidade de oxidação da superfície dos materiais tratados. Foram realizadas análises de custos com a finalidade de expor os possíveis ganhos com a substituição do tensoativo. Posteriormente, realizou-se teste laboratorial (teste de aderência) com o propósito de verificar a qualidade das peças após o tratamento no que tange a aderência da tinta a superfície do material. A partir da análise de custos verificou-se que a estimativa de economia é de aproximadamente 15% em relação ao processo atual. Sendo assim, a substituição do tensoativo torna-se vantajoso, pois minimiza o consumo de energia elétrica, gás natural e reduz o tempo de espera para começar a operar devido ao aquecimento do banho, além de garantir a qualidade das peças no que se referem ao atendimento à norma vigente.

Palavras chave: desengraxante, tensoativo, tratamento de superfície, eficiência energética.

Abstract: Intent on reducing costs and increasing productivity, there is a constant search for improvements in industrial processes. In order to minimize the operating costs of the electrostatic painting line of an engine company located in the north of the state of *Espírito Santo*, it is proposed to replace the surfactant used in the preparation of the degreasing bath for pretreatment of carbon steel housings. Surface treatment is the essential stage in the manufacturing process of parts that will receive a paint finish, as it removes dirt thus promoting better paint adhesion and consequently reducing the possibility of surface oxidation of the treated materials. Cost analyzes were performed to expose the possible gains with surfactant replacement. Subsequently, a laboratory test (adhesion test) was performed with the purpose of verifying the quality of the pieces after the treatment regarding the adhesion of the paint to the material surface. From the cost analysis it was found that the estimated savings are approximately 15% compared to the current process. Thus, the replacement of surfactant is advantageous, as it minimizes the consumption of electricity, natural gas, and reduction of the waiting time to start operating due to the heating of the bath, as well as guaranteeing the quality of the parts with regard to compliance with current regulations.

Keywords: *degreaser, surfactant, surface treatment, energy efficiency.*

1. Introdução

As empresas de manufatura estão continuamente buscando soluções de melhoria de seus processos produtivos bem como aliar ações de preservação ambiental a estratégias de eficiência energética. O foco está em reduzir o desperdício e as perdas em seus processos industriais, que impactam diretamente no aumento dos custos de fabricação e refletem na manutenibilidade da competitividade no mercado (Verney et al, 2013) e essa realidade não é diferente na indústria de máquinas elétricas. Para tanto, se faz necessário propor melhorias sustentáveis nos processos a fim de reduzir o consumo de energia e recursos naturais, mantendo a qualidade do produto final e aumentando seu ciclo de vida.

Numa indústria de motores a composição de custos de produção é influenciada pelos gastos com fabricação, tratamento e acabamento do produto final. O principal material utilizado na fabricação das peças que compõem um motor é o aço carbono. Este apresenta como característica a facilidade de oxidação quando exposto ao ambiente, uma vez que apresenta baixa resistência química, sendo assim, é necessário tratar sua superfície com substâncias anticorrosivas (Kerstner, 2014).

Uma das principais formas de conter a oxidação sobre a superfície de aço se dá através de aplicação de tintas líquidas ou em pó. No entanto, o processo de pintura exige uma preparação superficial das peças com o objetivo de remover as sujidades provenientes de processos anteriores permitindo-se então a aderência adequada da tinta (Sankara Narayanan, 2005), sendo que estima-se que 85% nas falhas em revestimentos de superfícies são em decorrência de problemas no pré-tratamento (Sankara Narayanan, 1996).

O tratamento da superfície é o fator fundamental para se garantir uma boa aderência da tinta e conseqüentemente a qualidade final das peças processadas. Promover um tratamento superficial do aço implica em operações que permitem obter limpeza e rugosidade controlada. Para isto, é primordial o conhecimento do tipo de contaminante a ser removido da peça, uma vez que a maioria das graxas e óleos são insolúveis em água, tornando então difícil a sua remoção com uma simples lavagem (Tamura, 2008). Diante disso, limpeza utilizando desengraxantes torna-se uma alternativa para a remoção da sujidade.

Os desengraxantes mais usuais utilizam solventes orgânicos e soluções alcalinas a quente, contendo hidróxido de sódio, carbonato de sódio, fosfato de sódio e tensoativo. Entre os solventes orgânicos os hidrocarbonetos clorados são os mais efetivos na remoção de óleo e graxas, entretanto, a legislação ambiental limita severamente o seu uso, pois trata-se de substância altamente agressiva ao meio ambiente. O tratamento com desengraxe alcalino, além de ser efetivo na remoção da sujidade, serve também para aumentar a molhabilidade da superfície do metal e remover camadas de óxido (Banczek et al., 2010).

De acordo com Gentil (1996), o processo de desengraxe tem como finalidade a eliminação dos filmes e agregados de substâncias oleosas que são encontradas nas superfícies metálicas provenientes de processos prévios de usinagem, como laminação, conformação, soldagem, entre outros. Para que o processo de desengraxe seja eficaz, quatro condições fundamentais devem ser atendidas: Concentração da solução; Tempo de exposição; Temperatura; e Ação mecânica.

Visando a economia de insumos e mão de obra, surge a opção de se fazer a substituição do tensoativo que é utilizado para na manufatura, na etapa do banho desengraxante (tanques 1 e 2), que antecede o processo de pintura eletrostática de peças (Figura 1) numa empresa de máquinas.

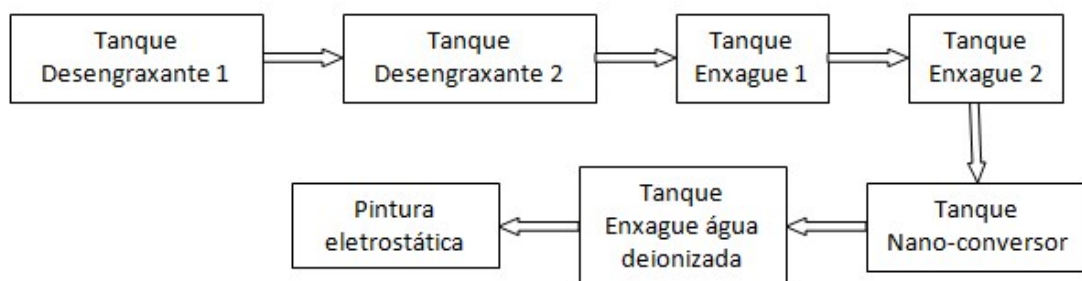


Figura 1. Etapas do processo de preparação até a pintura eletrostática de peças.

A primeira etapa para o processo de pré-tratamento é a limpeza da superfície através de banhos com desengraxe, esta etapa é considerada o estágio mais importante na preparação para a pintura uma vez que a limpeza da superfície afeta todos os processos subsequentes (Utech, 2002).

De acordo com Streitberger e Dössel (2008), os desengraxantes possuem partículas tensoativas que uma vez absorvidas pelo óleo na superfície das peças, agem de maneira a reduzir as tensões de ligação do óleo com a peça, separando e removendo gotas contendo este óleo. A Figura 2 ilustra este mecanismo.

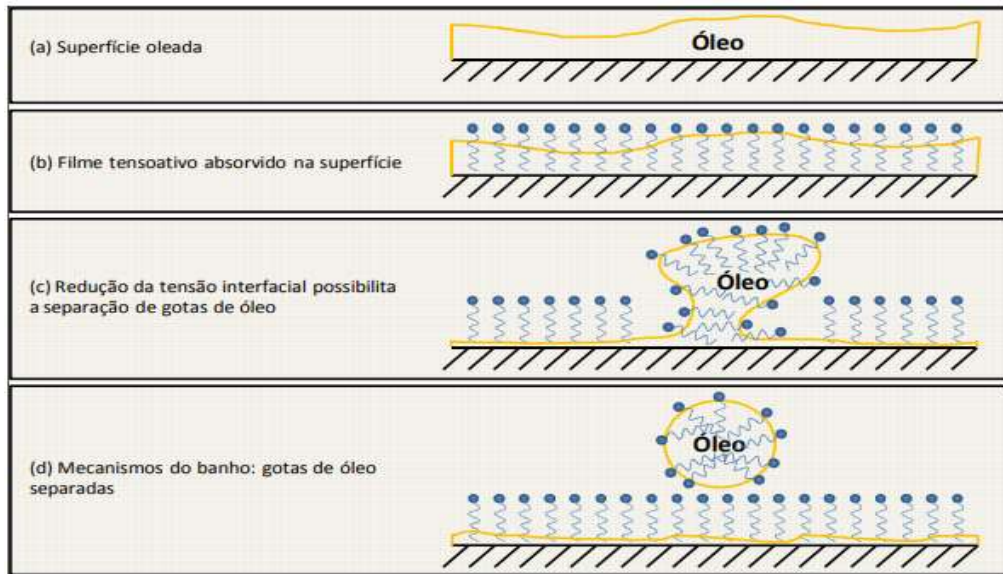


Figura 2. Mecanismo de remoção de sujeira da superfície (Fonte: Streitberger e Dössel, 2008).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da substituição do atual tensoativo utilizado para montagem do banho desengraxante em uma empresa de máquinas elétricas, localizada no norte do estado do Espírito Santo, visando atender aos princípios de eficiência energética da empresa no que se refere a redução de custos e melhor aproveitamento de recursos tais como energia elétrica e gás natural, que são utilizados para o aquecimento do banho desengraxante.

2. Metodologia

2.1 Análise de custos

Para identificar as informações relevantes ao estudo, foi criada uma árvore de custos baseado numa adaptação do método do custo anual uniforme equivalente (CAUE) (Cruz et al., 2015), aplicado para avaliar a viabilidade econômica da troca do insumo na manufatura. Sendo que o ano em que o CAUE é mínimo, corresponde à vida econômica do bem, levando em consideração o conceito de vida útil econômica (VUE) (Abensur, 2015). Nas ramificações encontram-se os custos de insumos e operação, e podem ser melhor visualizados na Figura 3.

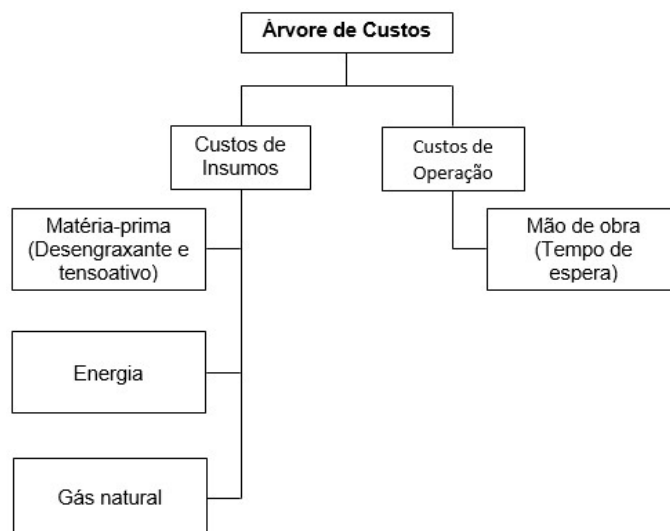


Figura 3. Árvore de custos (Fonte: adaptado de Barringer, 1998).

Após análise de custos, realizou-se um planejamento a fim de estabelecer os parâmetros dos testes laboratoriais, uma vez que a especificação da temperatura de trabalho e da concentração para o novo produto é de 25 e 35 °C e 3 e 10%, respectivamente, conforme especificação oferecidas pelo fornecedor. Escolheu-se aleatoriamente 12 amostras de carcaças de aço 1006, sendo que, 6 peças foram tratadas com o banho desengraxante a temperatura de 25 °C e concentração de 3 e 10%, outras 6 peças foram tratadas a uma temperatura de 35°C e concentração de 3 e 10%. Variou-se a temperatura para analisar o seu desempenho nessa nova proposta de trabalho a “frio” (temperatura entre 25 a 35 °C), conforme a árvore de amostragem exemplificada na Figura 4.

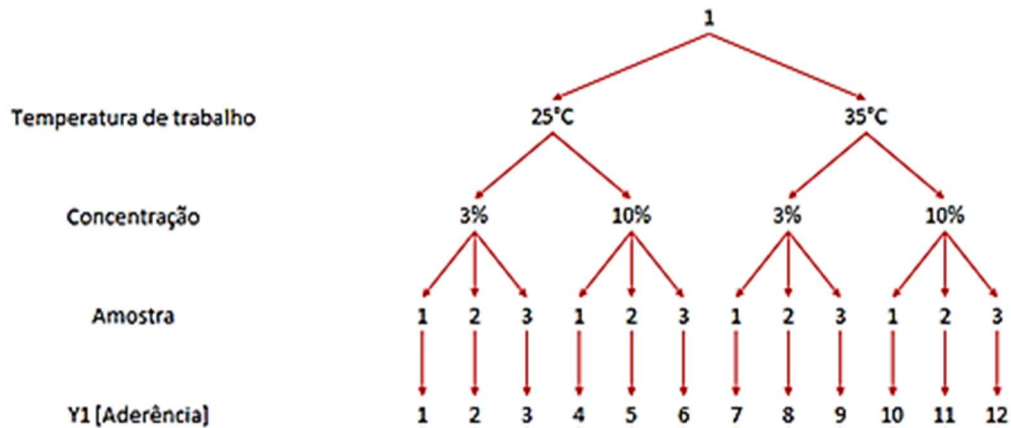


Figura 4. Árvore de amostragem para realização dos testes.

2.2 Testes de aderência

Para realização do teste de aderência, utilizou-se a norma ABNT NBR 11003:2009 que trata da aderência de tinta em peças metálicas. A norma especifica dois métodos para determinação da aderência, Método A (corte em X) e pelo Método B (corte em grade). Esta Norma é aplicável à avaliação de aderência sobre substratos metálicos de uma ou mais camadas de tintas. Em caso de sistemas de pintura, o ensaio deve ser executado acompanhando a aderência de cada demão sobre a anterior (ABNT NBR 11003, 2009).

O método a ser aplicado vai depender da média da espessura da camada de tinta em pó, de acordo com o método prescrito na ABNT NBR 10443:2008 para determinação da espessura da película seca de tintas e vernizes. Sendo assim, deve-se realizar a medição da espessura da camada de tinta, neste caso, utilizou-se o equipamento Tecnomedição modelo Smec-II plus, para isso, foram medidos 12 pontos distintos na carcaça, logo após exclui-se o menor e o maior valor obtido e então faz a média entre os 10 valores restantes. Caso a média seja menor que 100 µm utiliza-se o Método B, caso a média da espessura da camada fique maior ou igual a 100 µm utiliza-se o Método A. A Figura 5, ilustra o corte a ser realizado nas peças, para isso, utilizam-se gabaritos padrões.

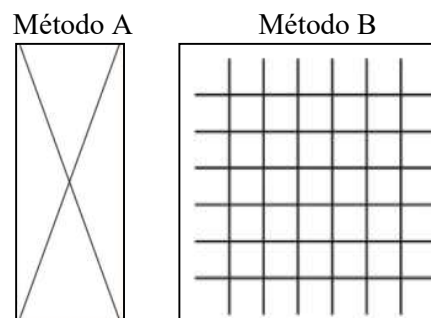
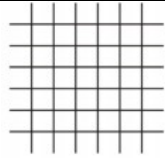
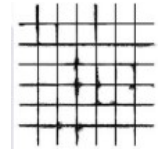

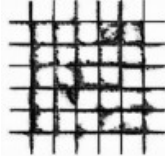
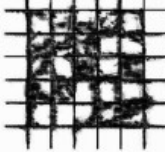


Figura 5. Tipos de cortes (Fonte: ABNT NBR 11003, 2009).

Os resultados apresentados pelo ensaio serão confrontados com o que apresenta a norma ABNT NBR 11003:2009, para a qual segue a classificação no Quadro 1, uma vez que os resultados apresentados ficaram dentro da faixa do método B. Em função da área destacada, avaliou-se, através de padrões fotográficos, o grau de aderência do revestimento.

<p>GR 0 As bordas dos cortes permanecem completamente íntegras, nenhum dos quadrinhos foi destacado.</p>	
<p>GR 1 Pequenos fragmentos da película foram destacados ao longo as interseções. A área afetada é menor que 5%.</p>	
<p>GR 2 Pequenos fragmentos da película foram destacados nas interseções dos cortes. A área afetada é de 5 a 15%.</p>	
<p>GR 3 A película se destaca ao longo das bordas e em parte do quadriculado. A área afetada é de 15 a 35%.</p>	
<p>GR 4 A película se destaca das bordas dos cortes em grandes tiras e quadrinhos inteiro se destacam. A área afetada é de 75% ou mais.</p>	

Quadro 1. Classificação do grau de aderência do método B (Fonte: ABNT NBR 11003, 2009).

3. Resultados e discussões

3.1 Análise de custos

O levantamento de consumo do produto químico foi realizado para o período de junho de 2018 a junho 2019, o consumo de energia foi medido durante 7 dias obtendo a média de consumo por dia. O consumo de gás natural foi realizado conforme estimativa de consumo do equipamento responsável pelo aquecimento, também foram levantados o tempo de espera para começar a produção devido ao aquecimento dos banhos desengraxantes. Os dados encontram-se nas Tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1. Levantamento de consumo e custos de produtos químicos para o processo atual.

Produtos	R\$/kg	kg/ano	R\$/ano
Desengraxante	9,48	8.340	79.063,20
Tensoativo A	45,55	267	12.161,85
Total			91.225,05

Tabela 2. Levantamento de consumo e custos de produtos químicos para o processo proposto.

Produtos	R\$/kg	kg/ano	R\$/ano
Desengraxante	9,48	9.460	89.680,80
Tensoativo B	96,10	267	25.658,70
Total			115.339,50

O processo existente consome aproximadamente 8.340 kg/ano de desengraxante e 267 kg/ano de tensoativo operando a uma temperatura de 55°C, conforme Tabela 1. Por outro lado, no processo proposto, a estimativa de consumo será de 9.460 kg/ano de desengraxante e 267 kg/ano de tensoativo trabalhando a uma temperatura de 25 a 35°C, conforme Tabela 2. Tais diferenças ocorrem, pois como a proposta é

trabalhar com temperatura reduzida a quantidade de desengraxante alcalino deve ser superior a fim de compensar essa redução de temperatura e manter a mesma qualidade no tratamento das peças.

Comparando-se os custos iniciais dos produtos para ambos os processos, observa-se que o valor do processo proposto é mais elevado, pois haverá maior consumo de desengraxante e o custo por quilograma do tensoativo B é superior ao do tensoativo A, como evidenciado na Tabela 1 e 2.

Como mostrado na Tabela 3 e 4, o custo relacionado ao consumo de energia elétrica e gás natural para aquecimento dos tanques de desengraxante 1 e 2 é de aproximadamente R\$29.940,86 e R\$ 2.597,77, respectivamente. Por outro lado, para o processo proposto não haverá custos com energia elétrica e gás natural, uma vez que a temperatura de trabalho será igual a temperatura ambiente, ou seja, aproximadamente 25°C.

Tabela 3. Levantamento de consumo e custos de energia elétrica para o processo atual.

Consumo	kW/h	h/ano*	kW/ano	R\$/ (kW/h)	R\$/ano
Aquecimento	30,88	3.878	119.763	0,25	29.940,86
Total					29.940,86

*245 dias trabalhados em 1 ano e ~15,83 h trabalhadas por dia (1º e 2º turno)

Tabela 4. Levantamento de consumo e custos de gás natural para o processo atual.

Consumo	(Nm³h)/mês*	(Nm³h)/ano	R\$/ (Nm³h)	R\$/ano
Aquecimento	85	1.003	2,59	2.597,77
Total				2.597,77

*11,8 meses trabalhados no ano

Outro possível ganho está relacionado à redução do tempo de espera devido ao aquecimento do banho para atingir a temperatura de trabalho, pois atualmente o operador espera por aproximadamente 2h por semana para colocar a linha em operação, segundo levantamentos internos caso este tempo de espera seja reduzido, estima-se que haja uma economia em torno de R\$ 10.350,10 por ano. A economia com a implantação do tensoativo proposto pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Custos x economia

Processo	Custos (R\$/ano)	Economia (R\$/ano)
Atual	123.763,68	
Proposto	104.989,40	18.774,28

O custo com o processo atual envolve os custos com consumo de produto químico, energia elétrica e gás natural, já os custos com o processo proposto envolvem o custo com produto químico mais a economia da mão de obra parada.

3.2 Resultado teste de aderência

Após o tratamento de superfície realizada nas 12 peças, as mesmas foram submetidas ao processo de pintura eletrostática. Após essa etapa foram medidos a espessura da camada de tinta em pó com equipamento, conforme ABNT NBR 10443:2008, medidor de espessura – Tecnomedicação modelo Smec-II plus, os resultados encontram-se na Tabela 6.

O teste de aderência foi realizado em ambas as peças. Uma vez que a média dos valores medidos da camada de tinta para essas peças foram abaixo de 100 µm respectivamente, o teste de aderência foi executado utilizando-se o Método B.

Tabela 6. Espessura da camada de tinta em pó (μm).

Amostra	Espessura camada de tinta em pó (μm)												Menor	Maior	Média
	61	59	62	54	74	86	71	61	54	52	45	44			
1	61	59	62	54	74	86	71	61	54	52	45	44	44	86	59
2	88	87	88	96	97	96	111	105	98	57	55	49	49	111	87
3	66	68	72	64	67	67	53	51	54	46	49	60	46	72	60
4	95	83	79	73	69	71	80	70	65	79	77	75	65	95	76
5	54	54	57	43	44	51	42	46	54	56	58	66	42	66	52
6	75	81	76	66	71	77	82	50	53	46	45	47	45	81	61
7	80	77	78	88	91	94	89	87	80	83	79	75	75	94	83
8	60	63	66	92	96	109	90	95	93	74	67	64	60	109	80
9	90	82	73	63	56	55	68	80	81	80	87	97	55	97	76
10	61	60	63	75	80	79	95	98	98	103	108	103	60	108	86
11	56	48	46	52	44	43	67	61	67	73	74	73	43	74	59
12	57	62	65	82	81	84	93	87	75	83	83	80	57	93	78

O teste de aderência teve objetivo de verificar a adesão da tinta nas carcaças com os diferentes tratamentos. As amostras apresentaram grau 0 de acordo com a norma de referência (ABNT NBR 11003, 2009) (Quadro 1) em que as bordas dos cortes permanecem completamente integras, nenhum dos quadrinhos foi destacado, o que demonstra que caso seja implementado a substituição do tensoativo no processo de desengraxe, a qualidade das peças no que tange a aderência da tinta no metal, não será afetada, pois caracteriza uma perfeita aderência. O resultado do teste pode ser evidenciado nas Figuras 6 e 7.

Muitas vezes reporta-se um valor como sendo o da aderência do revestimento quando na realidade o rompimento pode ter ocorrido devido à coesão de uma das camadas de tinta do esquema de pintura (Fragata et al., 2008). Entretanto, não foi observado o destacamento do revestimento e o substrato metálico (carcaça), na região de interseção dos cortes, o que corrobora com a inferência de ter havido uma perfeita aderência.

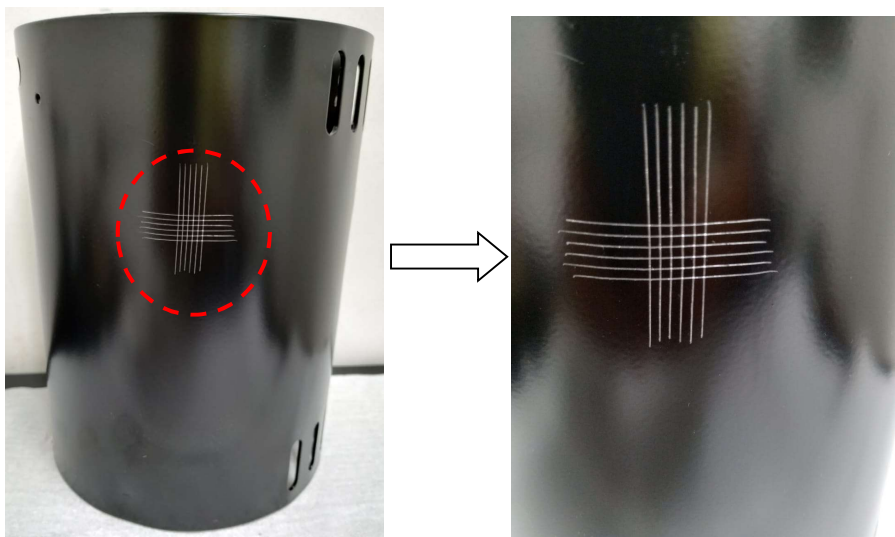


Figura 6. Aspecto da amostra 2 após teste de aderência.

A partir do que foi exposto, é possível observar que apesar do processo proposto apresentar maior custo com aquisição de matéria-prima quando comparado ao processo atual, o mesmo se torna promissor, pois reduz o consumo de energia elétrica e gás natural, além de reduzir o tempo de espera para iniciar a operação da linha. Quanto ao teste de aderência o processo proposto obteve grau zero no que se refere ao deslocamento de tinta, deste modo, a substituição do tensoativo pode não afetar a qualidade do produto final, pois apresentou característica de aderência perfeita, podendo manter a mesma eficiência do atual processo, atendendo assim os requisitos de qualidade e produtividade da empresa.



Figura 7. Ilustração do teste de aderência em todas as amostras.

4. Considerações finais

A partir dos dados de levantamento de custos e da análise do resultado do ensaio de aderência é possível concluir que a substituição do tensoativo é uma proposta promissora, uma vez que a mesma fornece uma economia de R\$ 18.774,28, aproximadamente 15% ao ano. Tal resultado é oriundo da redução do consumo de energia elétrica, gás natural e da mão de obra decorrente da espera do operador durante o aquecimento do tanque. A qualidade superficial das carcaças de aço 1006 atende aos requisitos dos clientes e aos padrões da empresa.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPES, à CAPES, ao CNPq e ao Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGEN/UFES).

Referências bibliográficas

Abensur, EO (2015) ‘A substituição de bens de capital: um modelo de otimização sob a óptica da Engenharia de Produção’ *Gestão & Produção*, v. 22, n. 3, pp. 525-538. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1690-14>>.

ABNT NBR 10443: Tintas e vernizes - Determinação da espessura da película seca sobre superfícies rugosas - Método de ensaio. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT NBR 11003: Tintas: Determinação da aderência. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2009.

Banczek, EP, Terada, M, Rodrigues, PRP e Costa, I (2010) 'Study of an alternative phosphate sealer for replacement of hexavalent chromium' *Surface and Coatings Technology*, v. 205, n. 7, pp. 2503-2510. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.09.053>>.

Barringer, HP (1998) 'Life Cycle Cost And Good Practice' In: *NPRA MAINTENANCE CONFERENCE*. San Antonio, Texas. Available at: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.475.2365>>.

Cruz, VN, Fernandes, MJ e Reis, LP (2015) 'Análise do processo de substituição de equipamentos por meio do método CAUE em uma mineradora de grande porte' In: *XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, Fortaleza, Ceará. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_208_233_27382.pdf>.

Fragata, F, Ordine, AP, Amorim, CC e Ferraz, O (2008) 'Ensaio de aderência de esquemas de pintura pelo método de tração (*pull-off*) – avaliação de fatores que influenciam os resultados' *Corrosão e Proteção de Materiais*, v. 27, n. 4, pp. 122-129.

Gentil, V (ed) (1996) *Corrosão*, 3 ed. Rio de Janeiro: LTC.

Kerstner, EK, Kunst, SR, Beltrami, LVR, Vega, MRO, Scienza, LC e Malfatti, CF (2014) 'Anticorrosive performance of commercial nanoceramic coatings on AISI 1010 steel' *Materials Research*, v. 17, n. 6, pp. 1497-1506. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1516-1439.263514>>.

Sankara Narayanan, TSN (1996) 'Influence of various factors on phosphatability-an overview' *Metal Finishing*, v. 97, n. 6, pp. 86-90. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0026-0576\(96\)83646-4](https://doi.org/10.1016/0026-0576(96)83646-4)>.

Sankara Narayanan, TSN (2005) 'Surface pretreatment by phosphate conversion coatings - A review' *Reviews in Advanced Materials Science*, v. 9, pp. 130-177.

Streitberger, HJ e Dössel, KF (eds) (2008) *Automotive paints and coatings*, 2 ed. Weinheim: Wiley-Vch.

Tamura, H (2008) 'The role of rusts in corrosion and corrosion protection of iron and steel' *Corrosion Science*, v. 50, n.7, pp. 1872-1883. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2008.03.008>>.

Utech, B (ed) (2002) *A guide to High performance Powder Coating*. 1 ed. United States of America: SME – Society of Manufacturing Engineers.

Verney, JCK, Hermes, DJ e Silveira, MA (2013) 'Avaliação econômica da substituição do processo de microfusão pela tecnologia do pó aplicada ao mecanismo impressor' *Ciência & Engenharia*. pp. 121-129. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/19834071.2013.14053>>.