

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROJETO E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES APLICADOS EM
PEÇAS ESTAMPADAS PERANTE O TRATAMENTO DE
EFLUENTES E QUALIDADE DE PINTURA

Aline Oliveira de Ávila

Passo Fundo

2019



Aline Oliveira de Ávila

**AVALIAÇÃO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES APLICADOS EM PEÇAS
ESTAMPADAS PERANTE O TRATAMENTO DE EFLUENTES E
QUALIDADE DE PINTURA**

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2019

CIP – Catalogação na Publicação

A958a Ávila, Aline Oliveira de
Avaliação de óleos lubrificantes aplicados em peças
estampadas perante o tratamento de efluentes e qualidade de
pintura [recurso eletrônico] / Aline Oliveira de Ávila. – 2019.
4.2 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier.
Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de
Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

1. Lubrificação e lubrificantes. 2. Estampagem (Metais).
3. Águas residuais – Purificação. 4. Resíduos industriais.
5. Pintura – Qualidade. I. Hemkemeier, Marcelo, orientador.
II. Título.

CDU: 628.54

Aline Oliveira de Ávila

**AVALIAÇÃO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES APLICADOS EM PEÇAS
ESTAMPADAS PERANTE O TRATAMENTO DE EFLUENTES E
QUALIDADE DE PINTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 10/10/2019

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Marcelo Hemkemeier
Orientador

Professor Doutor William Haupt
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor Odivan Zanella
IFRS Erechim

Professor Doutor Charles Leonardo Israel
Universidade de Passo Fundo

Dedico este trabalho a todos que apoiaram meu desenvolvimento, em especial aos meus pais, irmãs e sobrinhos.

AGRADECIMENTOS

É imprescindível realizar este agradecimento, a gratidão pela realização deste trabalho só foi possível graças às forças do pai celestial, da mesma forma aos meus pais, minhas irmãs e sobrinhos que motivaram todas as etapas necessárias para que esta meta fosse atingida. Agradeço imensamente esta universidade, aos meus mestres, bem como a empresa Stara S/A Implementos Agrícolas, que me oportunizaram dar este passo em minha vida profissional. Todas as pessoas que de alguma forma ou outra intensificaram mais e mais a dedicação por este objetivo, muito obrigada.

“Nós almejamos por novas sensações, mas logo nos tornamos indiferentes a ela. As maravilhas de ontem são coisas comuns hoje em dia.

Nikola Tesla.

RESUMO

As substâncias químicas empregadas para realizar o tratamento de efluentes resultam em altos custos para as empresas, buscando encontrar alternativas para esta problemática, a presente pesquisa avalia lubrificantes para estampagem impregnados em peças nas etapas de fabricação anteriores à preparação de superfície, na finalidade de selecionar o lubrificante para estampagem que possibilite facilitar o tratamento de efluente. É imprescindível que ao selecionar o lubrificante que atenda a este requisito, o processo de preparação de superfície e pintura não seja afetado, por este motivo, a presente pesquisa também avalia a qualidade de pintura perante o tipo de lubrificante definido. No estudo em questão são avaliados lubrificantes de caráter mineral, vegetal, éster de óleo vegetal e óleo mineral com aditivos. Na análise laboratorial para avaliar a melhor condição para tratamento de efluentes, empregou-se a simulação de tratamento físico-químico, realizada através do equipamento Jar-test Milan®, modelo 1026. A simulação de tratamento físico-químico utilizou de amostras de banho de desengraxe e fosfatização para efeito de comparação nas etapas da pesquisa, deste modo, foram avaliados dois tipos de banho: banho preparado e banho envelhecido. O banho preparado foi elaborado especificamente para os experimentos (2000 ml de água, 20 ml de fosfato ferrítico e 60 ml de desengraxante), enquanto que para o banho envelhecido foi utilizado um tanque do processo de manufatura com 5 meses de uso, sendo este da empresa parceira do projeto. Para realizar a simulação do tratamento físico-químico, foram imersos em cada tipo de lubrificante em avaliação, 14 corpos de prova e em seguida aspergidos com cada tipo de banho em estudo. Deste modo, obtendo-se a geração de resíduos líquidos que após o processo de lavagem dos corpos de prova de cada condição experimental foram recolhidos, gerando efluentes que proporcionaram aos experimentos subsequentes a possibilidade de caracterização. A análise físico-química avaliou a influência do tipo de lubrificante na eficiência do tratamento de efluentes através da remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), avaliação de pH, condutividade elétrica e cargas de óleos presentes nos banhos. Para analisar a melhor alternativa de lubrificante em nível de pintura, foi realizado teste de aderência, após corpos de prova serem mergulhados nos lubrificantes para estampagem e, em seguida banhados com a amostra de banho de fosfatização preparado e submetidos ao processo de fabricação de pintura da empresa parceira. Levando em consideração a eficiência do tratamento de efluente e qualidade de pintura, o lubrificante que atende esta premissa é de caráter vegetal.

Palavras-chave: lubrificantes para estampagem, tratamento de efluente, desengraxe e fosfatização, qualidade de pintura

ABSTRACT

The chemicals used to perform effluent treatment result in high costs for companies. Seeking to find alternatives to this problem, the present research evaluates impregnated stamping lubricants in the manufacturing stages prior to surface preparation, in order to select the stamping lubricant that facilitates effluent treatment. It is essential that, when selecting the lubricant that meets this requirement, the surface preparation and painting process is not affected. For this reason, this research also evaluates the painting quality against its lubricant type. In the present study, mineral, vegetable, vegetable oil ester and mineral oil with additives are evaluated. In the laboratory analysis to evaluate the best condition for effluent treatment, the simulation of physicochemical treatment was carried out using the Jar-test Milan® 1026 model equipment. The physicochemical simulation used degreasing and phosphating bath samples for comparison purposes in the research stages. Thus, two types of bath were evaluated: prepared bath and aged bath. The prepared bath was designed specifically for the experiments (2000 ml of water, 20 ml of ferritic phosphate and 60 ml of degreaser), while for the aged bath a project partner company's 5-month-old manufacturing process tank was used. To perform the simulation of the physical and chemical treatment, 14 specimens were immersed in each type of lubricant under evaluation and then sprayed with each type of bath under study. Therefore, it was possible to obtain the generation of liquid waste which was collected after the washing process of the specimens of each experimental condition, generating effluents that provided the subsequent experiments the possibility of characterization. The physicochemical analysis evaluated the influence of the lubricant type on the effluent treatment efficiency through the removal of Chemical Oxygen Demand (COD), pH evaluation, electrical conductivity and oil charges present in the baths. To analyze the best lubricant alternative when it comes to painting level, adhesion testing was performed after specimens were dipped into the stamping lubricants and then bathed with the prepared phosphating bath sample and subjected to the paint manufacturing process of the partner company. Taking into account effluent treatment efficiency and painting quality, the lubricant that meets this premise is of a vegetable character.

Keywords: lubricants for stamping, effluent treatment, degreasing and phosphating, painting quality

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Etapas do processo de preparação de superfície e pintura.....	30
Figura 2- ETE para banhos de desengraxe e fosfatização.....	32
Figura 3- Fluxograma da execução da pesquisa.....	34
Figura 4- Fluxograma de coleta de resíduos líquido.....	36
Figura 5- Fluxograma do procedimento para teste de aderência.....	39
Figura 6- Gráficos de pH e condutividade elétrica.....	41
Figura 7- Variação de DQO.....	43
Figura 8- Massas de óleo em cada amostra.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização dos lubrificantes avaliados na pesquisa.....	35
Tabela 2- Condições experimentais para o <i>jar test</i> com banho envelhecido.....	37
Tabela 3- Condições experimentais para o <i>jar test</i> com banho preparado.....	37
Tabela 4- Resultados obtidos no teste de aderência.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Caracterizações físico-químicas da água.....	23
Quadro 2- Condições de lançamento de efluentes.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Considerações iniciais.....	17
1.2	Justificativa.....	19
1.3	Objetivos.....	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Lubrificantes e o meio ambiente.....	20
2.1.1	Diferença entre lubrificantes emulsionáveis em água e à base de óleo puro.....	20
2.1.2	Lubrificantes sintéticos e semissintéticos.....	21
2.1.3	Lubrificante vegetal.....	22
2.1.4	Estudos comparativos entre o lubrificante mineral e vegetal.....	22
2.2	Tratamento de efluentes.....	22
2.2.1	Parâmetros importantes para o tratamento de efluentes.....	22
2.2.2	Práticas de tratamento de efluentes.....	23
2.2.2.1	Neutralização.....	24
2.2.2.2	Filtração.....	24
2.2.2.3	Precipitação química.....	25
2.2.2.4	Coagulação, floculação e flotação.....	25
2.3	Relatos de legislação ambiental.....	25
2.4	Preparação de superfície e pintura.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	Apresentação da empresa e dos processos de fabricação.....	29
3.2	Caracterização do efluente.....	31
3.3	Organização preliminar.....	33
3.4	Influência do tipo de lubrificante no processo de tratamento de efluentes.....	36
3.4.1	pH e condutividade elétrica.....	38
3.4.2	DQO.....	38
3.4.3	Determinação da massa de óleos e graxas no banho.....	38
3.5	Análise de preparação de superfície e pintura.....	38

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1	Análises de pH e condutividade elétrica.....	41
4.2	Análises de DQO.....	43
4.3	Massa de óleos e graxas no banho.....	44
4.4	Qualidade de pintura.....	45
5	CONCLUSÕES.....	47
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

1. Considerações iniciais

A limpeza da superfície de peças manufaturadas, para posterior aplicação de revestimento por meio de tinta, é realizada através do banho de desengraxante e fosfatização. Este banho possui prazo de validade sendo renovado de acordo com o intervalo de tempo e qualidade aceitável definido por cada empresa através de critérios avaliados através de testes laboratoriais. A renovação é efetivada pelo descarte que é encaminhado para a ETE.

Tratando-se de peças manufaturadas em metalúrgicas temos grandes cargas de sujidades definidas como por exemplo, os lubrificantes empregados na fabricação de peças estampadas. Os lubrificantes para estampagem possuem um importante papel no processo. Nas indústrias os lubrificantes são definidos para uso através de testes de produtividade, que possibilite menor atrito, menor tempo de fabricação, bem como rentabilidade financeira. Os lubrificantes que podem ser empregados apresentam, por exemplo, caráter mineral, vegetal, sintético e semissintético. Estas sujidades acabam ficando retidas nos banhos de desengraxante e fosfatização.

Osama *et al.* (2017), propõem que as aplicações de corte desempenham um papel importante nas operações de manufatura. Óleos minerais foram mais usados como lubrificantes, no entanto, a capacidade de resfriamento dos óleos minerais é limitada e, portanto, as emulsões foram vistas como uma boa alternativa. Os lubrificantes sintéticos são superiores em muitos aspectos, mas o custo é maior. Por outro lado, os óleos vegetais, embora mais caros, têm boas propriedades lubrificantes e representam menos ameaça ao meio ambiente.

O uso generalizado de lubrificantes à base de petróleo causa poluição ambiental significativa ao longo do seu ciclo de vida. As estatísticas mostram que os custos de compra, preparação, manutenção e descarte relacionado aos lubrificantes são aproximadamente 16% do total dos custos de fabricação (DEBNATH; REDDY; YI, 2014).

Segundo Brinksmeier *et al.* (2015) o aumento da disponibilidade de óleos minerais no século XIX levou à substituição de óleos vegetais e gorduras animais pelo subproduto do refino de querosene, devido ao seu baixo custo. Já Lawal (2013) define que isso se deve à pressão que as regulamentações e sociedades governamentais colocam nas indústrias para aumentar o uso de lubrificantes renováveis e biodegradáveis, como lubrificantes à base de vegetais.

Os lubrificantes são produtos complexos e precisam ser adequadamente tratados e depois descartados para evitar a contaminação do solo e das massas de água. Os impactos causados pelos diferentes tipos de óleos no processo tratamento de efluentes e seus custos ainda são pouco conhecidos (SHARMA; TIWARI; DIXIT, 2016). Outrora, a qualidade de pintura pode ser afetada.

Para que o processo de fabricação de pintura atenda o seu objetivo principal que é a ancoragem da tinta no substrato, é necessário que a preparação de superfície seja eficiente. Este efeito é alcançado quando as sujidades existentes no aço são eliminadas. Segundo Freire (2014), a preparação da superfície é a primeira etapa para o sucesso do processo da pintura como um todo, pois as chapas metálicas apresentam em geral dois tipos de impurezas que necessitam ser removidas no pré-tratamento: as impurezas oleosas e as impurezas de sujidades superficiais. Isto irá refletir na resistência à corrosão e irá auxiliar na aderência da tinta no substrato.

Na finalidade de verificar o melhor tipo de lubrificante menos agressivo para facilitar o tratamento de efluente, bem como avaliar o efeito na qualidade de pintura perante o tipo de lubrificante utilizado, a presente pesquisa avaliou quatro tipos de lubrificantes de estampagem utilizados em peças manufaturadas durante processos de fabricação anteriores aos banhos de desengraxe e fosfatização. Para tanto, a pesquisa divide-se em seções. Abaixo citam-se cada uma delas e, relata-se um breve resumo sobre o assunto:

- a) Capítulo 1: define o problema a ser solucionado na pesquisa e seus devidos objetivos;
- b) Capítulo 2: observa-se a revisão bibliográfica geral sobre os tipos de lubrificantes (óleos), especificações de tratamento de efluentes e a necessidade de desenvolver o processo de preparação de superfície e pintura;
- c) Capítulo 3: apresenta a informação dos materiais e métodos da pesquisa, neste é verificado os procedimentos laboratoriais através de *jar test*, análises de pH, condutividade, DQO, verificação da massa de óleos e graxas e, por fim é realizada avaliação da qualidade de pintura obtida empregando-se cada tipo de lubrificante em processos anteriores ao desengraxe e fosfatização;
- d) Capítulo 4: encontram-se os resultados e discussões sobre os procedimentos realizados no capítulo 3;
- e) Capítulo 5: Pode-se averiguar a conclusão da pesquisa.

2. Justificativa

As indústrias dependem de ações voltadas à produtividade e sustentabilidade financeira e ambiental. As Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) atendem o quesito da sustentabilidade ambiental, mas nem sempre representam baixos custos. No ramo metalúrgico, a presença de contaminantes como óleos e graxas e metais tóxicos elevam os custos de tratamento em função da complexidade dos processos e altos consumos de produtos químicos.

A pesquisa direciona-se pela hipótese de que, ao reduzir a quantidade de contaminantes antes do banho de desengraxe e fosfatização, pode ser obtido maior facilidade no tratamento de efluente. Outrora, é inevitável deixar de avaliar o impacto que cada tipo de lubrificante em avaliação traz à qualidade da peça no que diz respeito à pintura.

Logo, o lubrificante para estampagem deve garantir as questões ambientais bem como a qualidade de pintura.

3. Objetivos

1. Objetivo Geral

Avaliar e definir a melhor alternativa de lubrificante em termos de tratamento de efluente e qualidade de pintura de uma empresa metalmeccânica.

2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos este trabalho visa:

- a) Avaliar diferentes lubrificantes em relação ao potencial poluidor e residual em corpos de prova;
- b) Simular o tratamento de efluente do banho de desengraxe e fosfatização;
- c) Avaliar qual tipo de lubrificante determina a melhor aderência da tinta após ser realizada a limpeza da superfície após o banho de desengraxe e fosfatização.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Lubrificantes e o meio ambiente

O uso de lubrificantes é uma preocupação séria, devido ao seu custo e aos efeitos ambientais e de saúde. Nas últimas décadas, esforços foram desenvolvidos para encontrar alternativas para superar suas principais desvantagens (BENEDICTO; CAROU; RUBIO, 2017).

Existe uma grande variedade de substâncias químicas no mercado, algumas delas com risco para a saúde humana ou para o meio ambiente. Substâncias de lubrificantes com grande preocupação são: aminas secundárias, nitrito de sódio, fenóis, parafina clorada, compostos bóricos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e produtos biocidas (BENEDICTO; CAROU; RUBIO, 2017). O uso de aditivos de cloro, como a parafina clorada, usada como aditivos de extrema pressão, representa uma ameaça à ecologia e à saúde dos trabalhadores (SHOKRANI; DHOKIA; NEWMAN, 2012).

Uma alternativa mais ecológica, é o uso de lubrificantes sustentáveis, pois estes óleos são orgânicos, renováveis, menos tóxicos e mais facilmente biodegradáveis que os fluidos convencionais. Além da biodegradabilidade, em um lubrificante sustentável, devem-se levar em conta os aditivos (LAWAL; CHOUDHURY; NUKMANN, 2012).

O uso de óleo vegetal é mais saudável do que o óleo mineral. Estudos de pesquisa mais dedicados são necessários para explorar as características operacionais, incluindo a otimização da relação entre umidade do ar e óleo, temperatura da zona de corte, pressão do fluido refrigerante e modelagem numérica dos sistemas de mínima quantidade de lubrificante. A usinagem criogênica também é uma solução sustentável emergente para o setor de corte de metal, mas estudos mostram resultados inconsistentes de usinabilidade. Os resultados são altamente sensíveis às propriedades da peça e aos materiais da ferramenta de corte (SHARIF; PERVAIZ; DEIAB, 2017).

1. Diferença entre lubrificantes emulsionáveis em água e à base de óleo puro

Os lubrificantes emulsionáveis em água são categorizados em emulsão, fluidos sintéticos e semissintéticos. As emulsões consistem em um óleo mineral acompanhado de emulsionantes que permitem que o óleo seja dispersado na água. Geralmente, são os óleos

minerais que frequentemente contém alguns aditivos, como outros tipos de lubrificantes e compostos de pressão extrema, a fim de melhorar suas aplicações (GRZESIK, 2008 *apud* SHOKRANI; DHOKIA; NEWMAN, 2012).

A emulsão é formada misturando-se óleo (geralmente óleo mineral) em água com um agente emulsificante em uma proporção típica de água para óleo 30: 1. A função dos emulsificadores é dispersar o óleo em água para formar uma emulsão óleo em água estável (DEBNATH; REDDY; YI, 2014).

Os lubrificantes à base de óleo são classificados em duas categorias básicas, a saber, óleos minerais naftênicos e óleos minerais parafínicos. As características destes óleos minerais são geralmente melhoradas através da adição de lubrificantes graxos, aditivos de pressão extrema tais como cloro, sulfatos e fosfatos, modificadores de fricção, modificadores do índice de viscosidade, odorantes, modificadores de espessura e aditivos polares (ASTAKHOV, 2006 *apud* SHOKRANI; DHOKIA; NEWMAN, 2012).

Para Rahim *et al.* (2015), um lubrificante à base de óleo (também chamado de óleo puro) é derivado de óleos minerais, animais, vegetais e sintéticos. Os óleos minerais (à base de petróleo) são o principal tipo devido às suas desejáveis características lubrificantes. Esses lubrificantes geralmente contêm alguns aditivos para aprimorar suas aplicações. Por exemplo, as características dos óleos minerais naftênicos e dos óleos minerais parafínicos são geralmente melhoradas através da adição de lubrificantes graxos, aditivos de pressão extrema, odores, modificadores de espessura e aditivos polares. O uso de lubrificante com base mineral no processo de usinagem induz efeitos negativos, especialmente ao meio ambiente.

2.1.2 Lubrificantes sintéticos e semissintéticos

O lubrificante sintético é feito de produto químico com aditivos e diluído em água, é isento de óleo mineral. Os fluidos semissintéticos são emulsões químicas, que contêm óleo mineral diluído em água com alguns aditivos para reduzir o tamanho das partículas de óleo, tornando-o mais eficaz. A única diferença entre fluidos sintéticos e semissintéticos é que não há óleo presente no lubrificante sintético (KALPAKJIAN e SCHMID, 2010 *apud* DEBNATH; REDDY; YI, 2014).

3. Lubrificante vegetal

O foco em lubrificantes passou da biodegradabilidade para a renovabilidade ao longo dos anos. Embora os lubrificantes à base de vegetais não sejam perfeitos em todos os aspectos, tem menos efeitos negativos para o meio ambiente em comparação com outros lubrificantes, sendo que os lubrificantes de vegetais levaram com sucesso a benefícios econômicos por meio da redução do tempo de ciclo de limpeza e do custo de descarte (DEBNATH; REDDY; YI, 2014).

4. Estudos comparativos entre o lubrificante mineral e vegetal

Lubrificantes convencionais à base de óleo mineral são essencialmente derivados de petróleo bruto que têm baixa biodegradabilidade. A biodegradabilidade dos lubrificantes é determinada principalmente pela estrutura química da matéria orgânica (GAJRANI; RAM; SANKAR, 2017).

Morais (2014) relata que os óleos vegetais se degradam pelo mesmo mecanismo dos óleos minerais, porém com uma velocidade maior, ou seja, reagem muito mais rápido com o oxigênio. Isso acontece pelo fato de que os óleos vegetais são compostos por cadeias de triglicerídeos (éster) que possuem insaturações, sendo, este o fator de maior velocidade de oxidação dos óleos vegetais em relação aos óleos minerais, que são basicamente uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos.

2. Tratamento de efluentes

1. Parâmetros importantes para o tratamento de efluentes

O conhecimento das propriedades físicas e químicas de átomos e moléculas, e de suas interações, permitem responder a questões como, quais e em que níveis eles podem ser adversos aos ecossistemas e à saúde humana. Os teores determinados nas amostras analisadas são comparados aos padrões conhecidos, os quais são especificados em Portarias e Resoluções legais, que dão subsídios aos laboratórios na expedição de seus laudos. As caracterizações físico-químicas da água e de soluções aquosas têm como objetivo identificar e quantificar os elementos e espécies iônicas presentes nesses compostos e associar os efeitos

de suas propriedades às questões ambientais, permitindo a compreensão dos processos naturais ou alterações no meio ambiente (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

Para que essas determinações sejam realizadas, há uma série de técnicas analíticas que são capazes de identificar os componentes presentes em determinada amostra e quantificar suas concentrações com grande sensibilidade (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

Algumas caracterizações físico-químicas da água são descritos no Quadro 1.

Quadro 1- Caracterizações físico-químicas da água

Parâmetro	Caracterizações físico-químicas da água
pH	Grandeza que varia de 0 a 14 e indica a intensidade de acidez. Condições de pH contribuem para precipitação de elementos tóxicos
Condutividade elétrica	Verifica a capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica, o que depende da presença de ácidos, bases e sais inorgânicos em amostra.
Turbidez	É uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada e absorvida e não transmitida em linha reta através da amostra.
DBO e DQO	São parâmetros utilizados para identificar a presença de matéria orgânica na água. A DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação bioquímica enquanto a DQO corresponde à oxidação química.

Fonte: Adaptado de Parron; Muniz; Pereira, 2011

2.2.2 Práticas de tratamento de efluentes

De acordo com Neumann (2016), a industrialização traz frequentemente consequências, como a poluição sob as mais variadas formas, podendo estar presente no ar, água ou solo. As indústrias não geram efluentes semelhantes entre si, sendo que as suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com o tipo de operação. As

estações de tratamento de efluentes têm por objetivo reduzir a sua carga poluidora e atender aos padrões de exigências de lançamento no corpo receptor sem degradar o meio ambiente.

Neumann (2016) realizou estudo de efluentes industriais geradas e destinadas a estações elevatórias e posteriormente encaminhados por gravidade via tubulação até a ETE. Na sua avaliação, efluentes industriais e sanitários são tratados inicialmente separados, juntando-se as vazões no decorrer do processo. São utilizados processos aeróbios, de floculação e decantação para eliminar os poluentes presentes. O lodo formado é descartado por uma empresa especializada.

2.2.2.1 Neutralização

A neutralização é utilizada para ajustar o pH dos efluentes num valor aceitável, geralmente entre 5 a 9, conforme padrões estabelecidos em norma. Este processo é adotado para eliminar ou reduzir a reatividade e o aspecto corrosivo do efluente utilizando ácido ou álcali de acordo com a necessidade. O processo pode ser contínuo ou intermitente, dependendo da quantidade e forma de geração dos efluentes. As substâncias utilizadas são (CETESB, 1992 *apud* RIBEIRO, 2015):

a) Substâncias ácidas (ácido sulfúrico ou ácido clorídrico) para a diminuição do pH;
b) Substâncias alcalinas (hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio ou carbonato de sódio) para aumentar o pH. O processo de neutralização demanda equipamentos bastante simples como bombas, tanques, misturadores e medidores de pH para o controle do processo. O custo de implantação e operação não é alto, porém esta técnica não é adequada para a remoção de uma série de contaminantes, pois pode criar reações e gera subprodutos extremamente tóxicos. O processo de neutralização pode ser utilizado em operações intermediárias dentro de outro processo de tratamento (IDAHO, 1992 *apud* RIBEIRO, 2015).

2.2.2.2 Filtração

A filtração é um processo onde as substâncias insolúveis são separadas e retidas quando a corrente líquida passa por um meio ou barreira permeável chamado de meio filtrante. O processo de separação se dá através da retenção das partículas na malha do filtro. É importante frisar que a técnica de filtração é uma operação complementar das técnicas de floculação e/ou sedimentação (METCALF e EDDY, 2003 *apud* RIBEIRO, 2015).

3. Precipitação química

Segundo Srikant e Ramana (2016), para simular a precipitação, pode-se utilizar testes de jarros para determinar um valor ótimo de pH capaz de precipitar as substâncias existentes em efluente de contaminantes como zinco e o ferro simultaneamente. O valor do pH indica a condição do fluido. Valores de pH muito altos ou baixos podem ser perigosos para um operador humano e representam um problema na eliminação de resíduos. Além disso, o valor do pH determina a resistência a uma contaminação microbiana de um fluido e, portanto, é crítico.

4. Coagulação, floculação e flotação

O processo de coagulação tem o principal objetivo, neutralizar as cargas elétricas das partículas em suspensão, por meio da adição de compostos químicos com cargas elétricas positivas. Os coagulantes mais utilizados são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto de polialumínio e polímeros catiônicos (LIBÂNIO, 2005 *apud* RIBEIRO, 2015).

A floculação ocorre após o processo de coagulação e tem a finalidade de aglomerar os sólidos suspensos e as partículas coloidais formadas na coagulação, formando partículas com dimensões maiores através da ação de floculantes. Este processo é bastante complexo sendo necessário fazer ensaios em laboratório para determinar a dosagem adequada, duração e intensidade da mistura de floculação (RIBEIRO, 2015).

O processo de flotação, conforme Ribeiro (2015) consiste em pressurizar uma fração clarificada do efluente e dissolver parte do oxigênio no líquido. Assim o efluente pressurizado é liberado no interior de um dispositivo (flotador) adequado para esta finalidade, formando bolhas de ar em razão da expansão do oxigênio que aderem as partículas e as fazem flutuar. Na superfície do dispositivo há um sistema que remove o material sólido flotado, e o líquido é escoado pela parte inferior do dispositivo.

2.3 Relatos de legislação ambiental

Segundo Almagro *et al.* (2015), as leis ambientais têm aumentado com o passar dos anos, incentivando linhas de pesquisa na área de tratamento e reutilização de águas residuais. Se tratando de efluentes oleosos, percebe-se uma dificuldade de tratamento utilizando os

métodos convencionais, que apresentam baixa eficácia para a separação água/óleo. Assim, a operação de adsorção é uma alternativa para o tratamento desses efluentes. Entre os produtos que podem ser utilizados como adsorventes, o carvão ativado é o mais comercializado para esse fim.

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis (CONAMA, 2011). O Quadro 2 apresenta as condições de lançamentos de efluentes.

Quadro 2- Condições de lançamento de efluentes

Condições	Caracterização de lançamento de efluentes
pH	Entre 5 a 9
Temperatura	Inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura.
Materiais sedimentáveis	Até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes.
Regime de lançamento	Vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente.
Óleos e graxas	1. óleos minerais: até 20 mg/L 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L
Ausência de materiais flutuantes	-
DBO (5 dias a 20°C)	Remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Fonte: Adaptado de CONAMA, 2011

2.4 Preparação de superfície e pintura

Para analisar a eficiência da preparação de superfície e pintura pode-se empregar testes em condição salina, submetendo-se corpos de prova a ciclos de umidade variável de 8 horas com imersão em solução a base de NaCl, CaCl₂ e H₂SO₄. A variação cíclica de umidade é obtida por duas torres; uma delas de umidificação e a outra de secagem. Na torre de umidificação, o ar borbulha numa coluna de água cuja temperatura é controlada termostaticamente. A torre de secagem contém sulfato de cálcio anidro para retirada da umidade. A maior desvantagem deste ensaio está nos casos em que é testado um componente composto de mais de um tipo de metal. Após diversos ciclos existe a contaminação da solução provocando a corrosão galvânica que a peça não é submetida durante o ensaio (MACIEL, 2007).

Outro teste que pode ser realizado, de acordo com Gasparetto (2014) é o ensaio de aderência do revestimento que faz a verificação se todas as etapas do processo de pintura e preparação de superfície foram executadas corretamente. Este ensaio demonstra se o revestimento de fundo está fortemente aderido à superfície e se a demão acabamento está aderida ao fundo. Dependendo do tipo de revestimento e espessura final da película, podem ser aplicadas diversas técnicas de análise de aderência.

A preparação de superfície é uma das etapas mais importantes, senão a mais importante, para que um revestimento proporcione uma boa proteção anticorrosiva ao substrato. Trata-se de uma etapa que tem dois objetivos básicos, a saber: remover contaminantes da superfície e proporcionar condições adequadas para a aderência dos revestimentos. Entende-se por contaminantes quaisquer materiais capazes de afetar a durabilidade dos revestimentos como, por exemplo, sais solúveis em água, óleos e graxas, produtos de corrosão e pinturas velhas deterioradas. É importante ter-se em mente que, apesar do grande avanço tecnológico na indústria de tintas, não existe milagre na área de pintura anticorrosiva, ou seja, o desempenho é proporcional ao grau de limpeza da superfície (SBARAI, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Apresentação da empresa e dos processos de fabricação

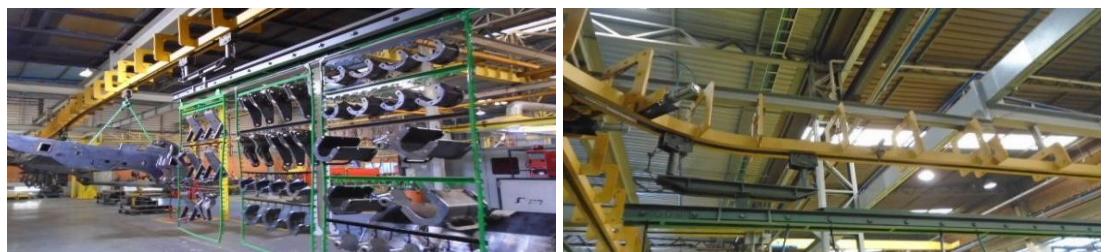
O estudo visa otimizar processos em uma empresa metalúrgica que fabrica implementos agrícolas e que conta com o quadro de cerca de 2300 colaboradores. Em seus ideais destacam-se a satisfação dos clientes e soluções inteligentes para o agronegócio, prevenindo a poluição do meio ambiente. Assim sendo, a problemática do trabalho busca selecionar a melhor alternativa de lubrificante impregnado a peças estampadas perante o tratamento de efluente e a qualidade de pintura.

A empresa emprega em seus processos de fabricação linhas de pintura. Estas linhas de pintura baseiam-se em fluxos de processamento que podem ser trabalhados para pigmentar superfície de peças através de tintura em pó ou líquida. As operações iniciais de preparação de superfície são baseadas por suspensão de peças em um trilho que executa o transporte destas por todo o processo de fabricação.

A próxima etapa refere-se ao banho de desengraxe e fosfatização ferrítica. Esta operação determina a limpeza da superfície e na sequência ocorre um processamento que diferencia os tipos de linha de pintura pó e líquida: o jateamento. A operação de jateamento ocorre apenas na linha de fabricação por tintura em pó. O processo de jatear determina a eliminação de rebarbas de processos anteriores, bem como define a rugosidade necessária para que a tinta seja aderida na superfície da peça.

As demais operações são iguais nos dois tipos de linhas produtivas, sendo esta definida como a aplicação de primer, o qual serve como um pigmento inicial à pintura, sua função é gerar maior resistência ao revestimento final. Para que o primer seja fixado é necessário desenvolver a atividade de cura, em seguida é executada a aplicação do pigmento desejado. Por fim, ocorre a cura deste revestimento através da secagem. A Figura 1 representa cada etapa do processo.

Figura 1- Etapas do processo de preparação de superfície e pintura: (a) refere-se a suspensão de peças em monovia; (b) refere-se aos equipamentos de transporte; (c) refere-se ao banho de desengraxe e fosfatização; (d) refere-se ao processo de jateamento; (e) refere-se a aplicação de primer; (f) refere-se a cura do primer; (g) refere-se a aplicação do acabamento; (h) refere-se a cura do acabamento



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)



(g)

(h)

Fonte: Autora

Conforme observado na Figura 1, a segunda etapa do processo de preparação de superfície corresponde ao banho de desengraxe e fosfatização ferrítica, e devido ao reuso de água para realizar este banho, ocorre um grande acúmulo de graxas e óleos que acabam determinando uma concentração alta, o que dificulta o tratamento desta água durante as operações na ETE. Portanto, a pesquisa visa selecionar a melhor alternativa referente a óleos utilizados em estampagem de peças em etapas anteriores ao banho, a fim de garantir a redução da carga do contaminante nas atividades de desengraxe e fosfatização, por consequência otimizando o tratamento do efluente.

Ao mesmo tempo, é imprescindível assegurar a qualidade das peças produzidas, deste modo, a pesquisa também visa atuar no intuito de verificar a qualidade de preparação de superfície e pintura por meio de testes normatizados quando ocorre o emprego de cada um dos tipos de óleos selecionados.

3.2 Caracterização do efluente

O banho de desengraxe e fosfatização da Empresa é composto de 60000 litros de água. Deste valor, 1% corresponde à fosfato ferrítico e 3% de desengraxantes. Com esta solução tem-se a realização de lavagem das peças que sofrem processo de pintura. O banho é utilizado sem trocas, durante seis meses, ou seja, depois deste período é necessário realizar seu descarte. Devido ao tempo de utilização do banho, a solução vai sendo sobrecarregada por sujidades, dentre estas, destacam-se óleos e graxas.

Para realizar o descarte da água do banho, é necessário realizar tratamentos. Sendo assim, o banho descartado é direcionado para a estação de tratamento onde recebe os cuidados suficientes para ser descartado no corpo receptor.

Ao chegar na ETE, o lodo é direcionado para o tanque separador de óleo e gordura. A água, após ser separada dos óleos, é bombeada para o tanque de tratamento. No tanque de tratamento, mistura-se o lodo do banho com águas residuais provenientes do processo de decapagem de peças inox, no caso, 25 % do valor total de 6300 litros. Assim que ocorre o enchimento do tanque até a máxima capacidade (6300 litros), inicia-se a adição de reagentes específicos para realização do tratamento.

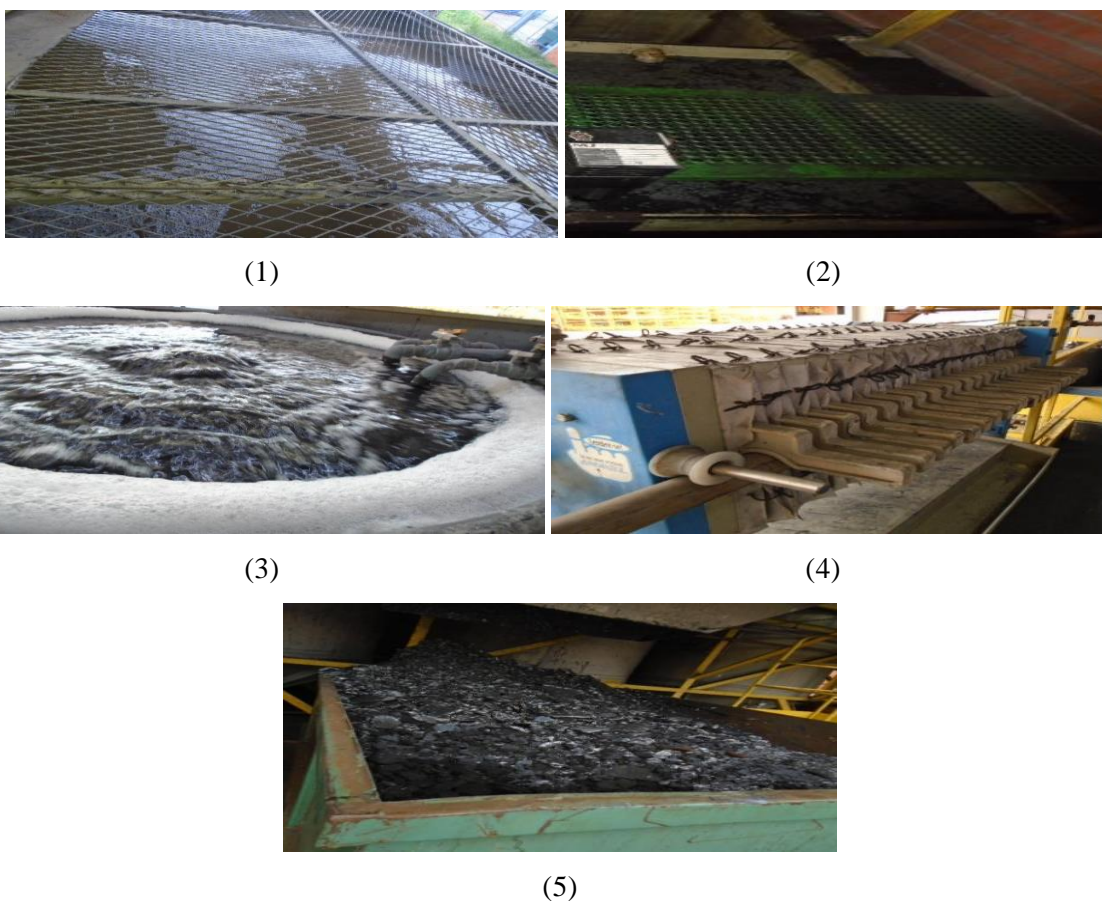
A adição de reagentes é feita do seguinte modo: adiciona-se carvão ativado em pó e agita-se a mistura por uma hora, na sequência é acrescido sulfato de alumínio até a solução alcançar pH menor de 4. Em seguida, acrescenta-se removedor de cor e mistura-se por trinta minutos. O mesmo ocorre com a cal, que após ser adicionada é agitada por trinta minutos. Ao

final, adiciona-se ácido sulfúrico até a solução alcançar pH acima de 10, após esta operação é adicionado o polímero aniônico.

Como resultado da adição de substâncias para o tratamento, ocorre a decantação do lodo após 5 horas e, na sequência, a água é filtrada por meio de carvão ativado granulado. Após tratada, é feita aferição por meio de análises de pH, condutividade, DQO, e os resultados encontrando-se de acordo com a legislação, a água é liberada ao corpo receptor. Por fim, o lodo decantado de contaminantes pelo tanque, é direcionado ao filtro-prensa e depois encaminhado para aterro industrial.

Na Figura 2 é possível verificar o tratamento de efluente em questão.

Figura 2- ETE para banhos de desengraxante e fosfatização: (1) Recebimento do banho; (2) tanque separado de óleos e gorduras; (3) etapa de adição de reagentes; (4) filtro-prensa para desague do lodo; (5) resíduos para aterro industrial



Fonte: Autora

Na Figura 2 observam-se as etapas do tratamento do efluente de desengraxe e fosfatização. Quanto maior for a carga de sujidades do banho, maior será a necessidade de utilização de reagentes para corrigir a água. Os reagentes empregados para esta correção são respectivamente:

- a) carvão ativado em pó;
- b) carvão ativado granulado;
- c) cal ativada;
- d) removedor de cor;
- e) polímero aniônico
- f) sulfato de alumínio;
- g) ácido sulfúrico.

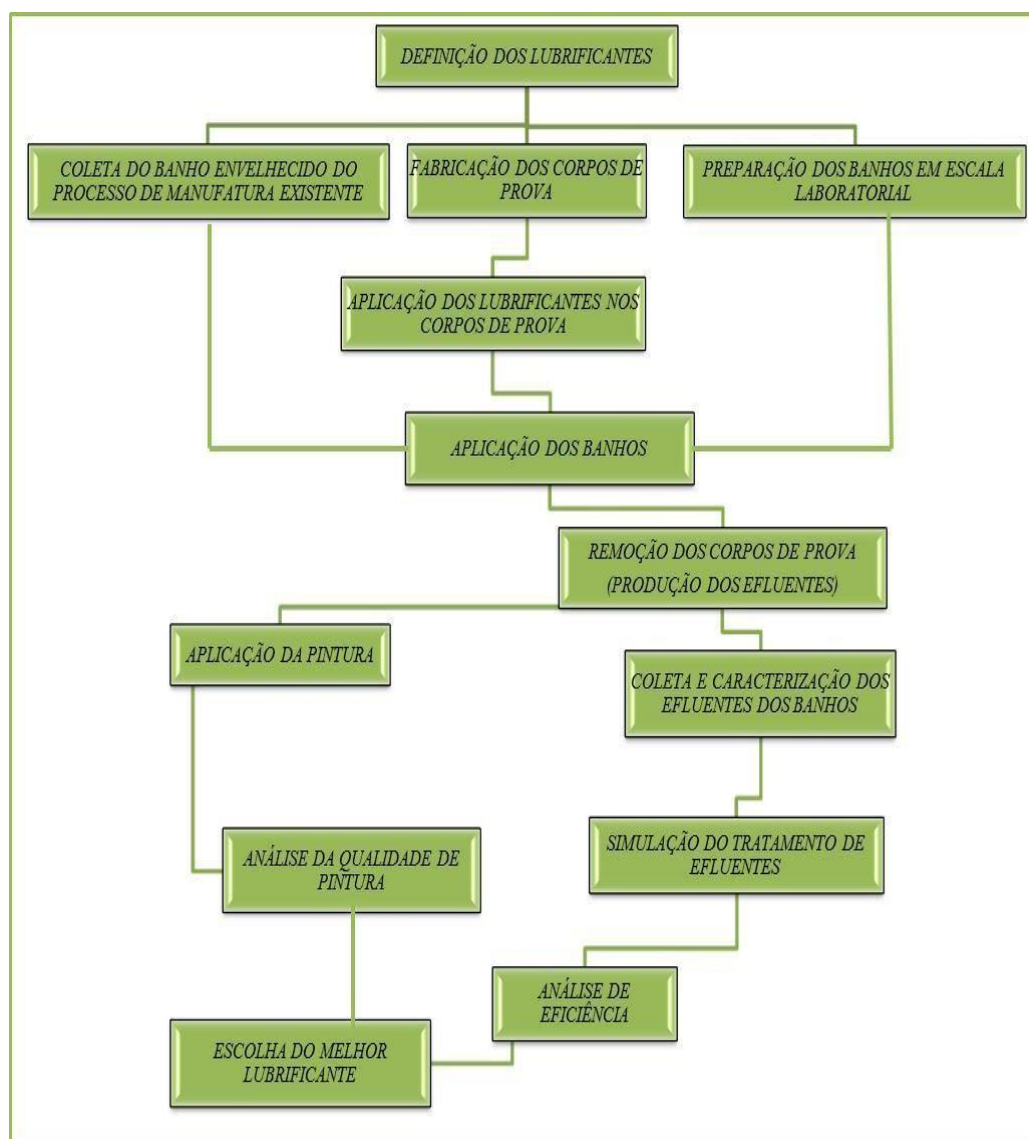
Cada substância representa um papel importante no tratamento do efluente. O carvão ativado em pó atua como adsorvente, o sulfato de alumínio é empregado para ajuste de pH e flocculação. O removedor de cor atua no intuito de clarificar o efluente. A cal ativada tem o papel de coagular, juntamente com o sulfato de alumínio e realizar ajuste de pH. O ácido sulfúrico é responsável pelo ajuste de pH. O polímero aniônico tem função de floculante da matéria orgânica, por fim, o carvão ativado granulado (adsorvente) tem o papel de filtrar e remover os contaminantes restantes na solução, neste caso, removendo substâncias de carga negativa.

Estes reagentes utilizados no tratamento despontam valores monetários relevantes à empresa. Quanto maiores cargas poluidoras existirem no efluente, maior será a quantidade de reagentes utilizados para obter ao final do tratamento de efluente a qualidade de água apta para o corpo receptor. Deste modo, a necessidade de encontrar alternativas para diminuir a concentração dos óleos impregnados às peças manufaturadas nas etapas de fabricação anteriores ao banho de desengraxe e fosfatização se faz importante.

3.3 Organização preliminar

Nesta etapa do estudo apresenta-se o planejamento experimental visando atender a premissa da pesquisa. Na Figura 3 são descritas as etapas dos procedimentos experimentais.

Figura 3- Fluxograma da execução da pesquisa



Fonte: Autora

Com finalidade de avaliar a concentração de óleos nos banhos, cinquenta e seis corpos de prova de aço carbono SAE 1010 foram fabricados para serem empregados nos testes. Tais corpos de prova foram manufaturados por laser, e o dimensional destes estabelecido em 110 mm de largura, 150 mm de comprimento e 3 mm de espessura.

Para analisar a melhor alternativa de lubrificante para estampagem no que diz respeito ao tratamento de efluentes dos banhos de desengraxe e fosfatização, foram selecionados quatro tipos diferentes de óleos.

Na Tabela 1 consta cada tipo de lubrificante para estampagem, bem como a quantidade de fluido e a quantidade de água empregada para formar a emulsão. Nesta tabela

são descritas nomenclaturas para cada tipo de lubrificante através da relação de denominações, sendo que quatro lubrificantes podem ser emulsionados em água.

Tabela 1- Caracterização dos lubrificantes avaliados na pesquisa

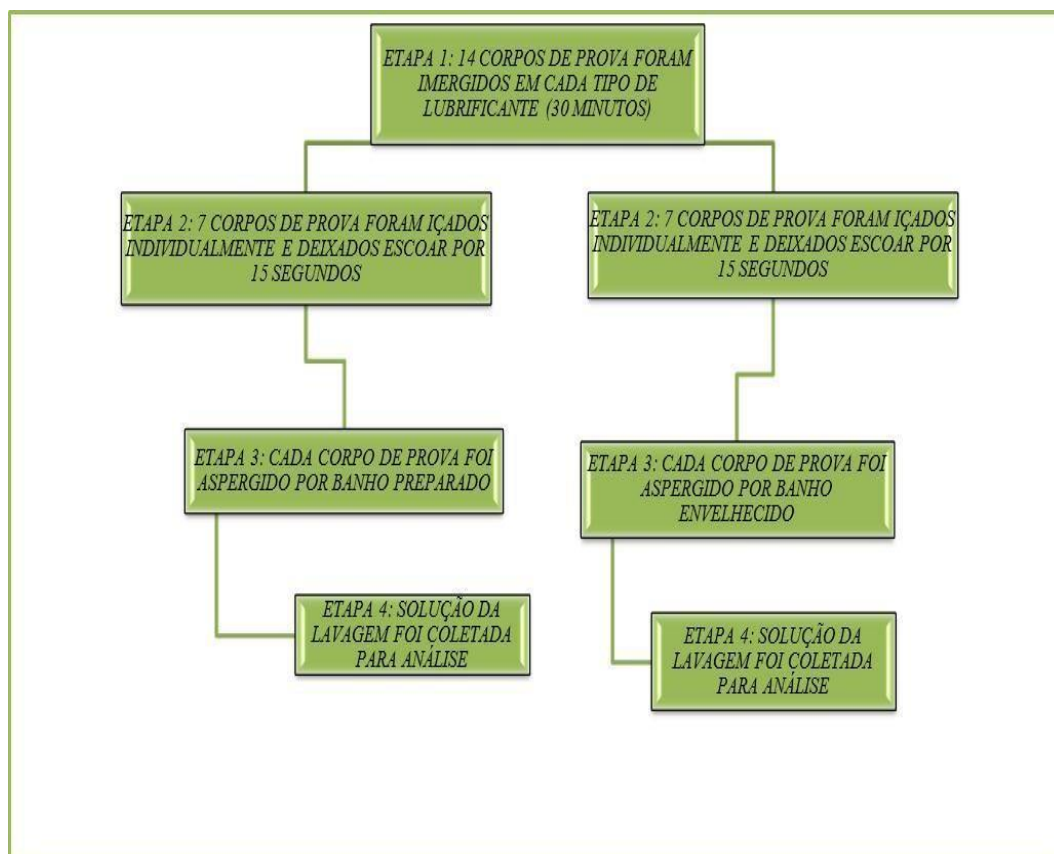
Denominação	Tipo de lubrificante	Tonalidade	Qt de água solução (ml)	Qt de fluido na solução (ml)
V	Vegetal	Amarelo Escuro	1500	1500
E	Éster de óleo vegetal	Amarelo Médio	1500	1500
MA	Mineral+Aditivos	Transparente	1500	1500
M	Mineral	Amarelo Claro	0	1500

Fonte: Autora

Simultânea à confecção dos corpos de prova, foi necessário definir amostras de banho para efeito de comparação para as demais etapas da pesquisa, para tanto, contamos com o uso de banho preparado e envelhecido. O banho preparado foi elaborado especificamente para os experimentos (2000 ml de água, 20 ml de fosfato ferrítico e 60 ml de desengraxante), enquanto que para o banho envelhecido foi utilizado um tanque do processo de manufatura com 5 meses de uso, sendo este da empresa parceira do projeto.

Com esta organização preliminar foi possível iniciar os procedimentos experimentais de coleta de resíduos líquidos, os quais ocorreram de acordo com a informação relatada pela Figura 4.

Figura 4- Fluxograma de coleta de resíduos líquidos



Fonte: Autora

No total foram obtidas 4 amostras de lavagem para banho contaminado e 4 amostras de lavagem para o banho sem contaminantes. Ao fim do procedimento relatado na Figura 4, os resíduos líquidos do processo de lavagem dos corpos de prova de cada condição experimental foram recolhidos, gerando efluentes que proporcionaram aos experimentos subsequentes a possibilidade de caracterização. Com os efluentes gerados, realizou-se a simulação do tratamento de efluentes para avaliar a eficiência obtida em cada tipo de banho, no intuito de definir a melhor alternativa de lubrificante.

3.4 Influência do tipo de lubrificante no processo de tratamento de efluentes

A influência do tipo de lubrificante na eficiência do tratamento de efluentes foi avaliada através da remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) via processo físico-químico de coagulação e floculação. O processo físico-químico é o mais utilizado para tratar este tipo de efluente. A empresa parceira também utiliza este processo. O *jar test* foi utilizado para simular o tratamento de efluentes por coagulação e floculação.

A simulação do tratamento físico-químico foi realizada através do equipamento *Jar-test Milan*®, modelo 1026. Testes preliminares foram realizados para se identificar a melhor clarificação do efluente utilizando dosagens de produtos utilizados na ETE da empresa parceira do projeto para o banho envelhecido. O mesmo procedimento foi utilizado para o banho preparado. Após a adição dos produtos e a sedimentação dos flocos, o efluente tratado foi filtrado em carvão ativo.

Determinação de pH, condutividade elétrica, DQO e óleos e graxas foram realizadas nos banhos bruto e tratado.

As Tabelas 2 (Banho envelhecido) e 3 (Banho preparado) apresentam os tipos e as quantidades de produtos empregados para cada tipo de amostra e de banho.

Tabela 2- Condições experimentais para o *jar test* com banho envelhecido

Denominação	Carvão ativado em pó (g)	Sulfato de alumínio (ml)	Removedor de cor (ml)	Cal ativada (g)	Ácido sulfúrico (ml)	Polímero aniônico (ml)
V	4	3,4	0,5	2,3	0,6	3
E	4	5,7	0,5	2,9	0,9	3
MA	4	8,5	0,5	4	1,2	3
M	4	3	0,5	1,5	0,3	3

Fonte: Autora

Tabela 3- Condições experimentais para o *jar test* com banho preparado

Denominação	Carvão ativado em pó (g)	Sulfato de alumínio (ml)	Removedor de cor (ml)	Cal ativada (g)	Ácido sulfúrico (ml)	Polímero aniônico (ml)
V	4	1	0,5	0,91	0,4	3
E	4	1,3	0,5	1,02	0,35	3
MA	4	1,4	0,5	1,02	0,4	3
M	4	1	0,5	1,1	0,4	3

Fonte: Autora

Ao final das operações do procedimento envolvendo o tratamento das amostras por meio de *jar test*, ocorreu a filtragem dos banhos tratados através de funil contendo carvão ativado granulado. Ao longo dos procedimentos realizados em *jar test* foram realizadas leituras de pH e condutividade elétrica dos banhos brutos, bem como após o tratamento. Estas leituras foram desenvolvidas para os dois banhos em análise.

1. pH e condutividade elétrica

O pH e a condutividade foram medidos através de testador de impermeável, modelo Combo pH e EC da marca Hanna Instruments.

2. DQO

A análise de DQO foi realizada pelo refluxo fechado utilizando Fotômetro de bancada, marca HANNA®, modelo HI83099 para amostra de 0,2mL de efluente digerida a 150°C por 2h.

3. Determinação da massa de óleos e graxas no banho

Esta análise foi realizada por gravimetria utilizando éter etílico e funil de separação para extração do óleo da água. No experimento, apenas as amostras de banho preparado foram empregadas, pois estando livre de contaminantes, consegue-se avaliar exclusivamente os lubrificantes em análise, deste modo, foram realizadas as seguintes etapas:

Etapa 1: preparação da solução de cada tipo de lubrificante, adicionando-se 100 mL de banho, para 100 mL de éter etílico;

Etapa 2: cada uma das amostras ficou 24 horas no funil de separação para ocorrer portanto, a separação do óleo e da água;

Etapa 3: realizou-se a medição de massa dos quatro tipos de Becker e, classificado de acordo com a nomenclatura de cada lubrificante para estampagem em estudo;

Etapa 4: realizou-se o despejo de cada tipo de lubrificante em seu respectivo Becker;

Etapa 5: realizou-se a medição de massa de cada Becker já contendo seu devido lubrificante.

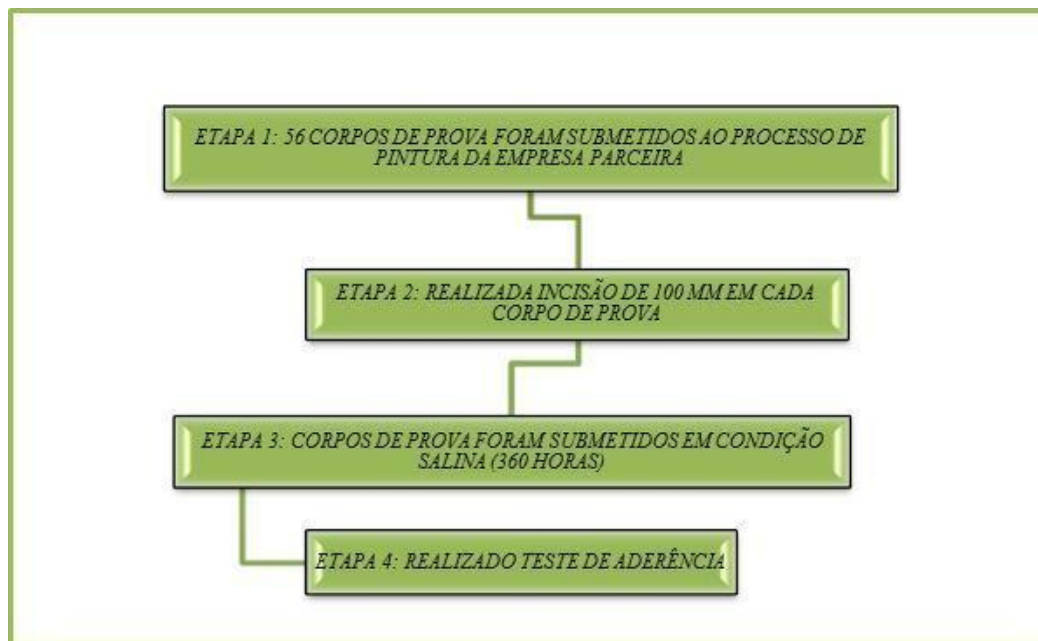
3.5 Análise de preparação de superfície e pintura

No intuito de analisar a melhor alternativa de lubrificante em nível de pintura, foi realizado teste de aderência, o qual tem por finalidade distinguir a melhor ancoragem dos revestimentos quando aplicados ao metal. Para este procedimento, foram empregados os mesmos corpos de prova que inicialmente haviam sido mergulhados nos lubrificantes para estampagem e em seguida banhados com a amostra de banho de fosfatização preparado. Esta ação visa analisar qual lubrificante para estampagem apresenta melhor condição voltada para

qualidade de preparação de superfície e pintura, portanto, cada corpo de prova foi disposto ao processo de fabricação da empresa, sendo este definido como jateamento e aplicação de revestimentos.

A Figura 5 relata o procedimento executado para o teste de aderência.

Figura 5- Fluxograma do procedimento para teste de aderência



Fonte: Autora

Conforme verificado na Figura 5, após ser aplicado o processo de fabricação de pintura em cada corpo de prova foi realizada incisão central de 100 mm de comprimento no revestimento de cada um dos corpos em avaliação, empregando-se o uso de estilete. Em seguida os corpos de prova foram submetidos à condição salina buscando-se acelerar o processo de corrosão no local de incisão realizada. Deste modo, com ambiente composto por câmara e substâncias químicas, no caso, água e cloreto de sódio puro, os corpos de prova foram submetidos à pulverização salina durante o período de 360 horas, ao fim deste período foram aplicados testes de aderência do filme, na finalidade de avaliar qual amostra respondeu a melhor condição perante a qualidade de pintura.

As etapas realizadas no teste de aderência ocorreram da seguinte forma:

Etapa 1: aplicou-se 140 mm de fita filamentosa na incisão realizada em cada uma das amostras em teste, após isto pressionou-se a fita com borracha escolar visando eliminar a presença do ar;

Etapa 2: a fita permaneceu colada no substrato pelo tempo de um minuto, e na sequência executou-se o descolamento dela seguindo-se a angulação de 180°;

Etapa 3: quando descolada a fita é possível verificar se o filme de tinta é arrancado juntamente. Após isto, realizou-se a medição da largura de tinta que foi arrancada ao ser puxado a fita filamentosa. Quanto maior esta largura, menos eficiente é a qualidade de preparação da superfície e pintura no substrato;

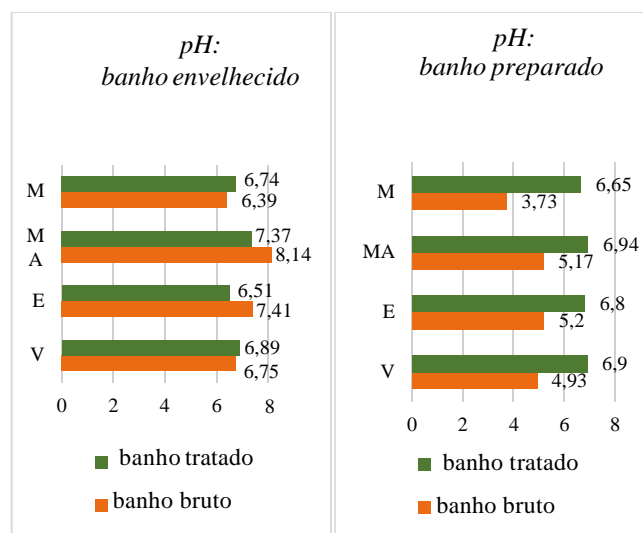
Etapa 4: após o arrancamento realizou-se o registro das informações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

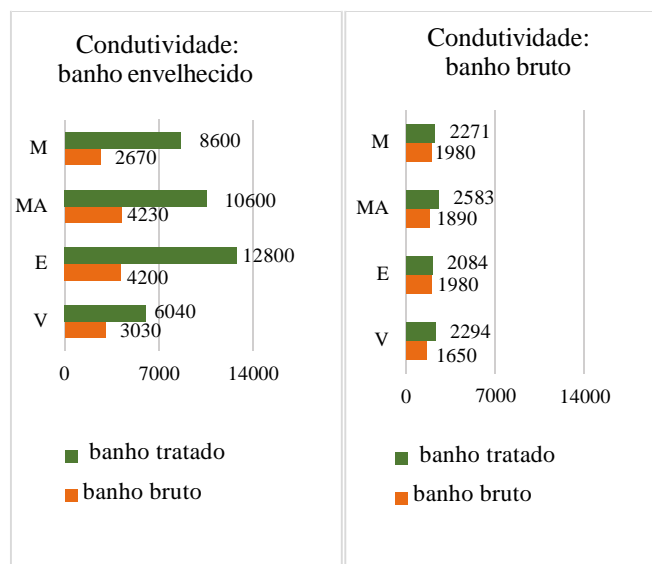
4.1 Análises de pH e condutividade elétrica

A Figura 6 apresenta a variação do pH e condutividade elétrica obtidas para os banhos envelhecido e preparado.

Figura 6- Gráficos de pH e condutividade elétrica: (a) pH; (b) condutividade elétrica



(a) pH



(b) condutividade elétrica

Fonte: Autora

O pH do efluente bruto variou conforme o tipo de lubrificante estudado, independente do tipo de banho, sendo sempre menor no banho preparado do que no banho envelhecido devido a maior presença de sais ácidos. No banho envelhecido independente do tipo de fluido de corte o pH é mais alto, isto ocorre devido a menor concentração de sais ácidos presentes, e é por este motivo que a condutividade do banho envelhecido apresenta valor muito acima ao que se percebe no banho preparado. O pH do efluente tratado, apesar de variar entre os tipos de banho e lubrificantes, ficou dentro da faixa permitida para lançamento, que é entre 5 e 9 (CONAMA, 2011).

Esta variação pode ser atribuída as diferentes condições de tratamento utilizadas, em especial a quantidade de coagulante (sulfato de alumínio). No processo de coagulação, o pH é ajustado para a faixa alcalina e o sulfato de alumínio, que é um sal ácido, baixa o pH até a faixa ótima de coagulação que é ao redor de 7,0. Como o parâmetro de eficiência nesta etapa do processo físico-químico é a clarificação, nem sempre se atinge a neutralidade.

A variação do pH entre o bruto e o tratado foi maior para o banho preparado do que para o envelhecido. Este comportamento pode ser explicado pela correção de pH necessária para o tratamento por coagulação e floculação. No banho envelhecido a presença de substâncias, como a matéria orgânica ou mesmo sais de bases ou ácidos fracos, podem tamponar o pH do meio, dificultando sua variação. A presença de matéria orgânica pode ser comprovada pelo comportamento da DQO. Como todos os pHs ficaram dentro da legislação, qualquer tipo de lubrificante poderia ser escolhido.

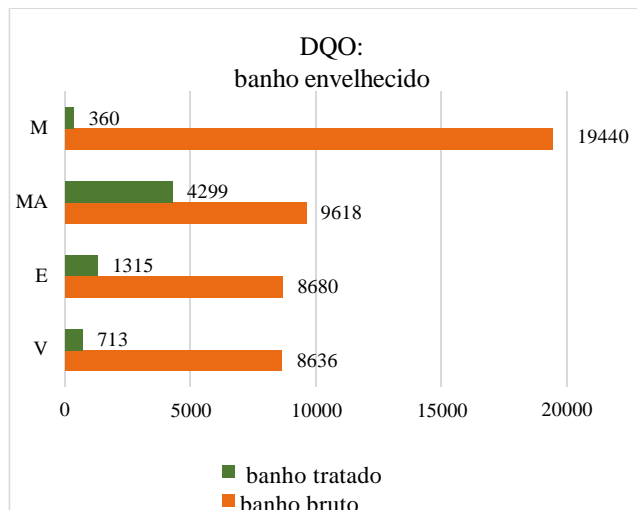
A condutividade do efluente bruto variou conforme o tipo de lubrificante estudado, independente do tipo de banho, sendo sempre maior no banho preparado do que no banho envelhecido. Este comportamento foi o inverso do pH. A maior presença de matéria orgânica, naturalmente com menor condutividade, pode explicar este comportamento. Por outro lado, a condutividade do efluente tratado foi maior que a do bruto, independente do tipo de banho e lubrificante.

A adição de íons para o tratamento físico-químico (correção do pH e coagulante) e portanto de condutividade foi a principal causa deste aumento. Se compararmos a condutividade do efluente tratado, entre os tipos de banho somente, o banho envelhecido, independente do tipo de lubrificante, apresentou a maior condutividade. Isto pode ser explicado pela maior quantidade de produtos químicos (Tabelas 2 e 3) utilizados no tratamento. Considerando que menores condutividades impactam menos ao meio ambiente, pode-se definir que o lubrificante V atenderia esta necessidade tanto na condição de banho envelhecido, como também na condição de banho preparado.

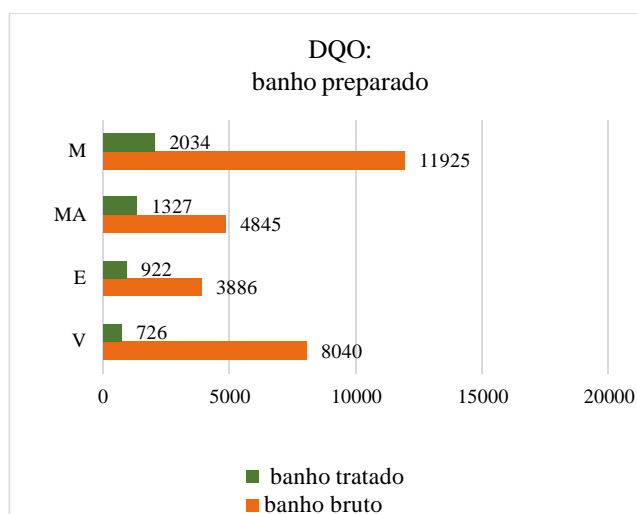
4.2 Análises de DQO

A Figura 7 relaciona os dados obtidos referentes às avaliações realizadas para DQO.

Figura 7- Variação de DQO: (a) DQO banho envelhecido; (b) DQO banho preparado



(a) DQO banho envelhecido



(b) DQO banho preparado

Fonte: Autora

Os resultados obtidos para DQO demonstraram que o tratamento de efluente dos banhos de desengraxe e fosfatização reduziu a demanda de contaminantes, independente do tipo de banho e do fluido de corte.

Se considerarmos como 400 mg/L o limite de lançamento estabelecido na legislação, apenas o fluido mineral, em condição de banho envelhecido apresentaria condições para lançamento em corpo hídrico. As reações complexas e não controladas durante o uso deste

banho podem ter contribuído para a desestabilização provocada pelo processo físico-químico de tratamento. Além disso, as características apolares dos óleos minerais facilitam esta desestabilização. O mesmo comportamento não foi observado para o banho preparado, corroborando com a hipótese levantada.

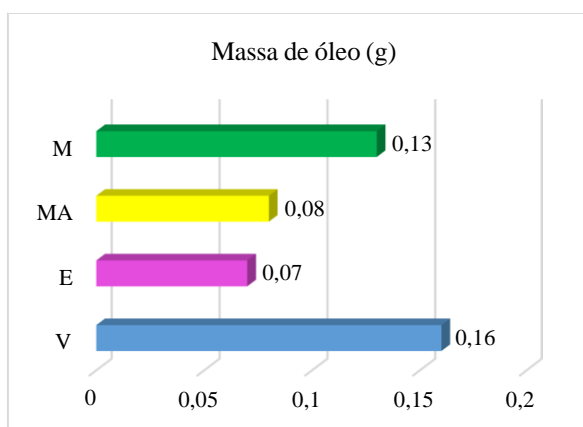
O óleo mineral apresentou a maior carga orgânica, em condição de banho preparado. No preparo desta emulsão não é utilizado água, não diluindo o meio e, portanto concentrando a DQO.

Se considerarmos que os óleos vegetais possuem maior biodegradabilidade e que tratamentos biológicos podem ser empregados para reduzir a carga orgânica, o fluido do tipo V, bem como o lubrificante E poderiam ser escolhidos, inclusive o resultado de DQO destas amostras em banho preparado refletem que estes lubrificantes apresentaram menor DQO.

4.3 Massa de óleos e graxas no banho

A Figura 8 apresenta os resultados de remoção de óleos e graxas em função dos diferentes tipos de lubrificantes.

Figura 8- Massas de óleo em cada amostra



Fonte: Autora

Como destacam muitas pesquisas, analisar a carga de óleo presente no efluente é de extrema importância. A quantidade de óleo presente na água refletirá na facilidade ou dificuldade do tratamento do efluente. A dificuldade de separar óleo da água depende da natureza do mesmo. O óleo derramado em águas residuais pode ser separado por gravidade, enquanto que o óleo dissolvido pode ser removido por tratamento biológico. No entanto, o óleo disperso e emulsionado ocorrendo em suspensões coloidais são difíceis de separar, por causa do tamanho pequeno das gotas e da estabilização química. A quantidade de óleo

presente na água refletirá na facilidade ou dificuldade do tratamento da efluente. A dificuldade de separar óleo da água depende da natureza do mesmo (KELLAND, 2014 *apud* SANTANA, 2017).

Ao comparar os valores de massas de óleo presentes nas amostras com as demais análises da pesquisa, percebe-se que pH, condutividade, soma de aditivos para tratamento não demonstraram valores proporcionais às massas de seus devidos óleos, por exemplo, a menor quantidade de massa obtida foi do lubrificante E sendo esta 0,07 g, e definiu uma DQO de 922. Já a amostra V, obteve a maior massa de óleo presente, e acabou definindo uma DQO de 726.

Percebe-se ainda, que os lubrificantes de caráter vegetal em comparação com o mineral M, apresentaram valores mais baixos de DQO, deste modo, podemos destacar que os lubrificantes vegetais, determinariam maior facilidade de processamento de limpeza no tratamento do efluente.

4.4 Qualidade de pintura

Para que o processo de fabricação de pintura atenda o seu objetivo principal que é a ancoragem da tinta no substrato, é necessário que a preparação de superfície seja eficiente, este feito é alcançado quando as sujidades existentes no aço são eliminadas.

Em todas as incisões realizadas para acelerar o processo de corrosão através do teste em condição salina obteve-se corrosão do tipo vermelha, não havendo diferença entre as amostras. Conforme Braga (2016), este aspecto ocorre em função do revestimento ter sido consumido, ou seja, o substrato já estar sofrendo degradação. Para Freire (2014) não há como estabelecer um tempo para que o produto não apresente corrosão, pois o processo de desgaste a que o produto é exposto não é um fator isolado, entretanto testes laboratoriais podem simular condições de ambientes agressivos.

Com a avaliação de aderência buscou-se verificar a ancoragem do revestimento no substrato, assim definindo se a preparação da superfície foi efetiva, isto é, se durante a limpeza o lubrificante para estampagem foi ao máximo eliminado. Para tanto, após obtidas as medidas de descolamentos de tinta através de teste de aderência, os resultados foram analisados estatisticamente através de teste *tukey* a 5% de significância.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos durante o teste de aderência.

Tabela 4- Resultados obtidos no teste de aderência

Tipo de lubrificante	Descolamento de tinta (mm)
V	2,975000 ^a
E	2,246429 ^b
MA	2,794643 ^a
M	3,758929 ^c

Fonte: Autora

A análise de variância verifica que as únicas amostras que apresentam igualdade são MA e V.

Os dados obtidos definem que a amostra M, de caráter mineral apresentou a menor ancoragem da tinta ao substrato no corpo de prova. O mesmo ocorre com o óleo vegetal V, isto reflete que a limpeza de superfície nestes corpos de prova não conseguiu eliminar a sujidade em comparação com o fluido E, que é um éster de óleo vegetal.

Conforme Santos (2018), o teste de aderência possibilita realizar uma avaliação quantitativa e que quanto melhor a adesão da tinta no metal, menos dano surgirá na película e menos corrosão prematura aparecerá. Contudo, a preparação de superfície influencia na tolerância do sistema de pintura. Seguindo a premissa da pesquisa que sugere determinar a seleção do lubrificante que atenda a necessidade tanto de tratamento de efluente quanto para a qualidade de pintura, em nível de pintura temos como resultado o lubrificante E, este que por sua vez, é um éster de vegetal.

5 CONCLUSÕES

A variação do pH e condutividade entre o banhos bruto e o tratado foi maior para o banho preparado do que para o envelhecido. Como todos os pHs ficaram dentro da legislação, qualquer tipo de lubrificante poderia ser escolhido.

O óleo mineral M apresentou a maior carga orgânica. Se considerarmos que os óleos vegetais possuem maior biodegradabilidade e que tratamentos biológicos podem ser empregados para reduzir esta carga orgânica, o lubrificante do tipo V, bem como o lubrificante E poderiam ser escolhidos. Estes que por sua vez apresentaram os menores valores de DQO no efluente tratado.

Sobre a massa de óleos e graxas existentes nas amostras, o lubrificante que menos carregaria o banho e, portanto determinaria maior facilidade de tratamento no efluente seria o fluido E.

A quantidade de substâncias utilizadas para o tratamento de efluentes dos diferentes banhos foram similares, no entanto a remoção de DQO não acompanhou esta tendência. Isto mostrou que os diferentes lubrificantes reagem de forma diferente ao tratamento de efluentes.

A qualidade de pintura apresentou menor ancoragem quando utilizou-se o lubrificante de caráter mineral M. O mesmo ocorreu com o óleo vegetal V. Isto mostra que a limpeza de superfície nestes corpos de prova não conseguiu eliminar a sujidade em comparação com o fluido E, que é um éster de óleo vegetal.

Desta forma, o lubrificante escolhido foi o tipo vegetal (E) levando em consideração a eficiência do tratamento de efluente e qualidade de pintura.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Realizar triplicatas das análises simuladas em *jar test* ;
- b) Realizar implementação do óleo vegetal na manufatura de peças anteriores aos processos de desengraxe e fosfatização.

REFERÊNCIAS

ALMAGRO, Alberto Santos *et al.* Estudo do uso de casca de coco como bioadsorvente para a remoção de óleos e graxas de efluentes. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 37., 2015, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: UFSCar, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-list/enemp-2015-257/list#articles>. Acesso em: set. 2018.

BENEDICTO, E.; CAROU, D.; RUBIO, E.M. Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems used in Machining Processes. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 184, p. 99-116, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817315801>. Acesso em: set. 2018.

BRAGA, Giovani Eduardo. **Avaliação da integridade estrutural e gestão dos ativos fundações metálicas de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica devido a corrosão**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais)- Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6553>. Acesso em: set. 2018.

BRINKSMEIER, Ekkard *et al.* Metalworking fluids—Mechanisms and performance. **CIRP Annals**, [s.l.], v. 64, ed. 2, p. 605-628, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850615001420#!>. Acesso em: set. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, **Resolução CONAMA N° 430/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, [2011]. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: set. 2018.

DEBNATH, S.; REDDY, M.M.; YI, Q.S. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 83, p. 33-47, 15 nov. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614007999>. Acesso em: set. 2018.

FREIRE, K.R.R. Corrosão por falta de tratamento adequado. **Revista Corrosão e Proteção**, Rio de Janeiro, ano 11, n. 53, p. 9-17, ago./set. 2014. Disponível em: <http://www.abraco.org.br/src/uploads/2015/10/Revista-corrosao-e-protecao-53.pdf>. Acesso em: jul. 2019.

GAJRANI, K.K.; RAM, D.; SANKAR, M.R. Biodegradation and hard machining performance comparison of eco-friendly cutting fluid and mineral oil using flood cooling and minimum quantity cutting fluid techniques. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 165, p. 1420-1435, 1 nov. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617316724>. Acesso em: set. 2018.

GASPARETTO, Douglas. **Projeto e validação de válvula industrial do tipo esfera com revestimento anticorrosivo orgânico interno**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/108529?show=full>. Acesso em: set. 2018.

LAWAL, S.A. A Review of Application of Vegetable Oil-Based Cutting Fluids in Machining NonFerrous Metals. **Indian Journal of Science and Technology**, [s.l.], v. 6, ed. 1, p. 113-118, jan. 2013. Disponível em: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/30573/26492>. Acesso em: set. 2018.

LAWAL, S.A.; CHOUDHURY, I.A.; NUKMANN, Y. Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals—A review. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, [s.l.], v. 52, ed. 1, p. 1-12, jan. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695511001726>. Acesso em: set. 2018.

MACIEL, C.A. Ensaio Acelerados de Corrosão Atmosférica - Parte 2. **Revista Corrosão e Proteção**, Rio de Janeiro, ano 4, n. 14, p. 30-32, mar./abr. 2007. Disponível em: <http://www.abraco.org.br/src/uploads/2016/01/Revista-corrosao-e-protecao-14.pdf>. Acesso em: set.2018.

MORAIS, Helane Lúcia Oliveira de. **Análise da viabilidade e das propriedades físico-químicas de formulações de fluido de corte integral utilizando óleos vegetais e minerais no processo de retificação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)- Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível

em: http://www.posmat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/120/2017/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Helane_Moraes.pdf. Acesso em: set. 2018.

NEUMANN, Marcio André. **Estudo de caso de tratamento de efluentes de uma indústria Metal-Mecânica no Noroeste do RS**. 2016. Trabalho de conclusão de Curso (Engenharia Civil)- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2016. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/4078>. Acesso em: set. 2018.

OSAMA, Mohamed *et al.* Recent developments and performance review of metal working fluids. **Tribology International**, [s.l.], v. 114, p. 389-401, out. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X17302232>. Acesso em: set. 2018.

PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H.F; PEREIRA, C.M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57612/1/Doc232ultima-versao.pdf>. Acesso em: set. 2018.

RAHIM, Erween Abd *et al.* Experimental Investigation of Minimum Quantity Lubrication (MQL) as a Sustainable Cooling Technique. **Procedia CIRP**, [s.l.], v. 26, p. 351-354, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114008427>. Acesso em: set. 2018.

RIBEIRO, João Carlos. **Tratamento e reuso do efluente gerado em um processo de pintura industrial por eletrodeposição**. 2015. Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação)- Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/1631/2/2015JoaoCarlosRibeiro.pdf>. Acesso em: set. 2018.

SANTANA, Renata Kelly de Lima. **Tratamento de águas oleosas com alto grau de emulsificação e presença de sólidos de baixa densidade utilizando FAD**. 2017. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife 2017. Disponível em: http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/1051/5/renata_kelly_lima_santana.pdf. Acesso em: set. 2018.

SANTOS, Idalba Souza dos. **Influência da preparação de superfície no desempenho de tintas de fundo aplicadas a estruturas marítimas sob proteção catódica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos)- Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://186.202.79.107/download/preparacao-de-superficie-no-desempenho-de-tintas-de-fundo-aplicadas-a-estruturas-maritimas.pdf>. Acesso em: set. 2018.

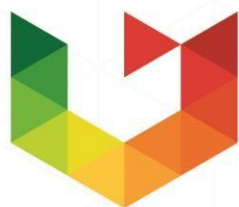
SBARAI, C. Corrosão por falta de tratamento adequado. Revista Corrosão e Proteção, Rio de Janeiro, ano 11, n. 53, p. 9-17, ago./set. 2014. Disponível em: <http://www.abraco.org.br/src/uploads/2015/10/Revista-corrosao-e-protecao-53.pdf>. Acesso em: set. 2018.

SHARIF, M.N.; PERVAIZ, S.; DEIAB, I. Potential of alternative lubrication strategies for metal cutting processes: a review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technolog**, [s.l.], v. 89, ed. 5-8, p. 2447-2479, mar. 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-016-9298-5>. Acesso em: set. 2018.

SHARMA, A.K.; TIWARI, A.K.; DIXIT, A.R. Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 127, p. 1-18, 20 jul. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616302293>. Acesso em: set. 2018.

SHOKRANI, A.; DHOKIA, V.; NEWMAN, S.T. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, [s.l.], v. 57, p. 83-101, jun. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695512000260>. Acesso em: set. 2018.

SRIKANT, R.R.; RAMANA, V.S.N.V. Measurement of Properties of Cutting Fluids With CAPB (Vegetable Based Emulsifier). **Journal of Testing and Evaluation**, [s.l.], v.44, ed. 4, p. 1624-1628, jul. 2016. Disponível em: https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/TESTEVAL/PAGES/JTE20140445.htm. Acesso em: set. 2018.



UPF
UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br