

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL  
CÂMPUS APUCARANA/LONDRINA

**Paulo César Gonçalves**

**Reutilização da Água Recuperada da Quebra da Emulsão de  
Fluido de Corte Degradado Proveniente de Indústria Metal -  
Mecânica**

**DISSERTAÇÃO**

**LONDRINA**

**2019**

**Paulo César Gonçalves**

**Reutilização da Água Recuperada da Quebra da Emulsão de  
Fluido de Corte Degradado Proveniente de Indústria Metal -  
Mecânica**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Saneamento Ambiental

Orientador: Profa. Dra. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

Co-orientador: Prof. Dr. Janksyn Bertozzi

**LONDRINA**

**2019**

## TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

G635r Gonçalves, Paulo César

Reutilização da água recuperada da quebra da emulsão de fluido de corte degradado proveniente de indústria metal - mecânica / Paulo César Gonçalves – Londrina: [s.n.], 2019.  
80 f. : il.; 30 cm.

Orientador: Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup> Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

Coorientador: Prof. Dr. Janksyn Bertozzi

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2019.

Bibliografia: f. 74-80

1. Água - Reuso. 2. Usinagem. 3. Fluidos em Metaloplastia. I. Prates, Kátia Valéria Marques Cardoso, orient. II. Bertozzi, Janksyn, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
Campus Apucarana e Londrina



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **REUSO DE ÁGUA PROVENIENTE DA QUEBRA DA EMULSÃO DE FLUIDO DE CORTE DEGRADADO**

por

**PAULO CÉZAR GONÇALVES**

Dissertação de Mestrado apresentada no dia 31 de maio de 2019, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, *Campus Apucarana e Londrina*, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O(A) mestrando(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após avaliação da Dissertação, a Banca Examinadora considerou a Dissertação

\_\_\_\_\_ (Aprovada ou Reprovada). O presente termo assinado ficará depositado na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA.

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a). Katia Valeria Marques Cardoso Prates - Orientador(a)  
(Universidade Tecnológica Federal do Paraná - "Campus" Londrina)

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a). Cristiane Lurdes Andreani - Membro Titular  
(Universidade Estadual de Londrina)

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a). Ajadir Fazolo - Membro Titular  
(Universidade Tecnológica Federal do Paraná - "Campus" Londrina)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alesandro Bail  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.**

## AGRADECIMENTOS

À Deus e Nossa Senhora Aparecida, por estarem presentes em todos os momentos da minha vida, proporcionando fé, esperança, saúde e coragem para a caminhada.

À minha família, Janaina minha esposa e parceira e aos nossos filhos Ana Clara e João Paulo que nos motivam a caminhar.

À Professora e orientadora Kátia Valéria Marques Cardoso Prates e ao Professor e Co-orientador Janksyn Bertozzi e a Professora Elizabeth Ehashimoto por disponibilizarem tempo e conhecimento preciosos para elaboração desta pesquisa.

Ao laboratório de Microbiologia da UTFPR juntamente com o mestrando Edgar e o IC Alex pela ajuda na realização dos experimentos.

Ao laboratório de Química da UTFPR e os técnicos Carlos e Érica na colaboração e ajuda com os reagentes.

Ao Laboratório Multi Usuários da UTFPR e os técnicos Talita e Marcos pelas leituras em espectrofotômetro.

Ao Laboratório de Materiais da UTFPR e o técnico Felipe pelas imagens dos corpos de prova.

Ao laboratório de Saneamento da UEL e a doutoranda Camila pelas leituras de DQO.

Ao laboratório de Mecânica da UTFPR campus Cornélio Procópio e aos professores Genésio e Adailton por me permitirem o uso do Software LabVIEW para coleta de dados.

A banca de qualificação nas pessoas dos professores Ajadir Fazolo e Edson Fontes que nortearam com suas ideias o andamento desta pesquisa.

A empresa MGL na pessoa do João Marcelo que forneceu fluido de corte para a realização da pesquisa

A CAPES que colaborou financeiramente com bolsa de estudos para esta pesquisa.

E a todos os professores das disciplinas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental por colaborar direta ou indiretamente com seu conhecimento para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

GONÇALVES, Paulo César. **Reutilização da Água Recuperada da Quebra da Emulsão de Fluido de Corte Degradado Proveniente de Indústria Metal - Mecânica**. 2019. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

A indústria de fabricação é de fundamental importância para a economia do Brasil, para manter a competitividade com o mercado internacional, é necessário à busca constante de melhorias de processos, otimizando suas ferramentas de fabricação, tendo como visão a excelência na qualidade de produto. Por sua vez, o fluido de corte faz parte deste processo, pois contribui para que a usinagem seja um processo cada vez mais rápido e ao mesmo tempo mantenha a qualidade nos produtos fabricados. Após a vida útil do fluido de corte, se faz necessário o descarte de forma adequada para não contaminar o meio ambiente. Por outro lado, buscam-se métodos que possam fazer o reaproveitamento de parte deste produto, que contém, em sua composição, aproximadamente 90% de água. Neste sentido, o trabalho buscou a otimização da quebra de emulsão de fluido de corte utilizando o cátions Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e controle de pH. Como ferramentas auxiliares desta pesquisa, foram utilizados o método de planejamento de Delineamento de Composto Central Rotacional (DCCR) e como variáveis resposta leitura em espectrofotômetro de varredura UV. Após otimizados os parâmetros, foi realizada a validação do modelo de quebra de emulsão do fluido. Foram formuladas duas novas emulsões de fluido de corte utilizando água obtida da quebra da emulsão e um terceiro controle, estes fluidos foram ensaiados utilizando ensaio de desgaste do tipo *Reichert Test*, comparando-os. Os resultados apresentados após análise dos ensaios indicam que é possível fazer a quebra da emulsão de fluido de corte degradado utilizando 0,02 (g) de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e 0,04 (g) de  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  como quantidade mínima e 0,12 (g) de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e 0,21 (g) de  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  como quantidade máxima, em pH 12,5 para ambos e, permitindo utilizar a fase aquosa destes resultados para estabilizar nova emulsão de fluido de corte. O ensaio de desgaste *Reichert Test*, que realiza o atrito da ferramenta com o corpo de provas, permitiu a coleta de informações como a temperatura na região do corpo de provas e no fluido de corte, fazendo assim a comparação entre os fluidos analisados. As respostas coletadas indicam que dos três fluidos testados, todos apresentaram um mesmo padrão, tanto na temperatura do fluido de corte como no corpo de provas. Outra informação coletada e analisada foi à rugosidade, medida nas crateras dos corpos de prova, na região que sofreu o desgaste, e estes dados também apresentaram semelhanças de resultados, levando a conclusão de que, os fluidos de corte com água 100% de reuso não perdem capacidade de refrigeração e lubrificação, frente ao fluido de corte com água de abastecimento público.

**Palavras – chave:** Cálcio, Magnésio, pH , Reuso de Água, Usinagem.

## ABSTRACT

GONÇALVES, Paulo César. **Reuse of Recovered Water from Breakage of Emulsion from Degraded Cutting Fluid from Metal - Mechanical Industry.** 2019. 77p. Dissertation (Master in Environmental Engineering). - Course of Environmental Engineering - Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2019.

The manufacturing industry is of fundamental importance for the Brazilian economy, in order to maintain its competitiveness with the international market, it is necessary to constantly seek improvements in processes, optimizing its manufacturing tools, having as vision the excellence in product quality. In its turn, the cutting fluid is part of this process, as it contributes to the fact that the machining is an increasingly faster process and at the same time maintains the quality in the products manufactured. After the life of the cutting fluid, it is necessary to dispose of it properly so as not to contaminate the environment. On the other hand, we are looking for methods that can make the reutilization of part of this product, which contains, in its composition, approximately 90% of water. In this sense, the work sought the optimization of the breaking of emulsion of cutting fluid using the cations Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) and Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) and pH control. As auxiliary tools of this research, we used the Rotational Central Compound Design (DCCR) planning method and as reading response variables in a UV scan spectrophotometer. After optimizing the parameters, the fluid emulsion breaking model validation was performed. Two new shear emulsions were formulated using water obtained from the emulsion breaking and a third control, these fluids were tested using Reichert Test type wear test, comparing them. The results presented after analysis of the tests indicate that it is possible to break the degraded cutting fluid emulsion using 0.02 (g)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and 0.04 (g)  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  as the minimum amount and 0.12 (g) of  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and 0.21 (g) of  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  as the maximum amount, at pH 12.5 for both and allowing the aqueous phase of these results to be used to stabilize a new emulsion of cutting fluid. The *Reichert Test*, which performs the friction of the tool with the test body, allowed the collection of information such as the temperature in the region of the test body and the cutting fluid, thus making a comparison between the analyzed fluids. The collected responses indicate that of the three fluids tested, all presented the same pattern, both in the temperature of the cutting fluid and in the body of evidence. Another information collected and analyzed was the roughness, measured in the craters of the specimens, in the region that suffered the wear, and these data also presented similarities of results, leading to the conclusion that, the cutting fluids with 100% reuse water did not lose cooling capacity and lubrication, in front of the cutting fluid with public water supply.

Keywords: Calcium, Magnesium, pH, Water Reuse, Machining.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluido de Corte em Processo de Torneamento.....	20
Figura 2. Fluido de Corte em Processo de Fresamento.....	21
Figura 3. Classificação dos Tipos de Fluidos de Corte .....	21
Figura 4. Ranking dos 20 Maiores Países Consumidores de Fluido de Corte em 2014 .....	24
Figura 5. Demanda de Consumo de Fluido de Corte na Indústria Brasileira entre os Anos de 2008 a 2014 .....	25
Figura 6. Molécula do Surfactante na Formação da Micela .....	26
Figura 7. Fluxograma do Ciclo de Vida dos Fluidos de Corte Emulsionáveis ..	29
Figura 8. Evolução da Visão e das Práticas da GM .....	34
Figura 9. Simbologia qualitativa, quantitativa e equivalência entre simbologias de rugosidade baseadas na ABNT NBR ISO 4287:2002 sobre rugosidade. ...	48
Figura 10. Fase aquosa da amostra 2 após 48 horas da montagem do procedimento experimental da Etapa 1 e fluido de corte degradado .....	50
Figura 11. Fase aquosa dos melhores ensaios apontados na Etapa3.....	54
Figura 12. Superfície de resposta referente a leitura em 280 nm com variável $Ca^{2+}$ fixo conforme legenda.....	58
Figura 13. Superfície de resposta referente a leitura em 500 nm com variável $Ca^{2+}$ fixo conforme legenda.....	59
Figura 14. Superfície de resposta referente a leitura em 280 nm com variável $Mg^{2+}$ fixo conforme legenda. ....	61
Figura 15. Superfície de resposta referente a leitura em 280 nm com variável $Mg^{2+}$ fixo conforme legenda. ....	62
Figura 16. Superfície de resposta referente a fração orgânica com a variável $Ca^{2+}$ fixo conforme legenda.....	64
Figura 17. Superfície de resposta referente a fração orgânica com a variável $Mg^{2+}$ fixo conforme legenda. ....	65
Figura 18. Fase aquosa antes e depois da filtração das amostras obtidas na Etapa 5.....	67
Figura 19. Duas novas formulações de fluido de corte utilizando 100% de água de reuso e uma formulação com água de abastecimento público.....	68
Figura 20. Corpos de prova ensaiados com desgaste em <i>Reichert Test</i> .....	69



Figura 21. Gráficos de comparação do comportamento das temperaturas durante ensaios de desgaste .....	70
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis codificados de pH e os valores em porcentagem (%) e massa (g) dos reagentes utilizados nos ensaios da Etapa 1 .....	39
Tabela 2. Planejamento fatorial dos ensaios referentes a Etapa 1 .....	39
Tabela 3. Valores de $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ utilizados para determinação da menor massa (g) em que ocorre quebra de emulsão óleo-água.....	41
Tabela 4. Níveis codificados do pH e os valores em porcentagem (%) e massa (g) de $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ utilizados nos ensaios da Etapa 3.....	42
Tabela 5. Planejamento fatorial dos ensaios referentes a Etapa 3 .....	43
Tabela 6. Valores de pH, $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ para validação do modelo obtido .....	44
Tabela 7. Valores de pH, $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ em gramas para 1.000 mL de efluente	45
Tabela 8. Leituras de absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm das fases aquosas obtidas na Etapa 1 .....	49
Tabela 9. Leitura do espectro do fluido de corte degradado .....	50
Tabela 10. Teste de hipótese para verificação de pressupostos da análise de variância.....	51
Tabela 11. Leituras de absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm das fases aquosas nos ensaios da Etapa 2 .....	52
Tabela 12. Leituras de absorciometria óptica das amostras da Etapa 3 e a porcentagem de clarificação em 280 nm e 500 nm em comparação ao fluido de corte degradado. ....	53
Tabela 13. Valores médios da DQO da fase aquosa obtida na Etapa 3. ....	55
Tabela 14. Ensaios referentes a tomada de decisão de quais concentrações serão utilizadas para validação do experimento.....	66
Tabela 15. Concentrações dos reagentes (g) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ e pH utilizados para as emulsões de validação proporcional a 100 mL de fluido de corte degradado .....	66
Tabela 16. Peso (g) dos corpos de prova antes e depois dos ensaios de desgaste com perda de massa (g).....	70
Tabela 17. Valores médios e desvio padrão da rugosidade nas crateras dos corpos de prova em $\mu\text{m}$ .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANOVA	Análise de Variância
Ca <sup>2+</sup>	Cátions Cálcio
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Nitrato de Cálcio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMC	Concentração Micelar Crítica
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONCLA	Conselho Nacional de Classificação
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
CV	Ciclo de Vida
DCCR	Delineamento de Composto Central Rotacional
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EP	Extrema Pressão
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EUA	Estados Unidos da América
GM	<i>Green Manufacturing</i>
HCL	Ácido Clorídrico
H <sub>2</sub> O	Composição Química da Água
HNO <sub>3</sub>	Ácido Nítrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>International Organization For Standardization</i>
Mg <sup>2+</sup>	Cátions Magnésio
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Nitrato de Magnésio
NaOH	Hidróxido de Sódio
NBR	Norma Técnica
O/A	Óleo em Água

OH*	Radical Hidroxila
PIB	Produto Interno Bruto
POA	Processo Oxidativo Avançado
P+L	Produção Mais Limpa
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Ultra Violeta
VAM	Valor Agregado Manufatureiro
KPS	Constante do Processo de Solubilidade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Indústria de Manufatura - fabricação/transformação/usinagem ...</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Fluido de Corte.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 Emulsão .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Tratamento de Fluido de Corte .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Reuso da Água dos Processos Industriais .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6 Gerenciamento .....</b>	<b>32</b>
<b>3.7 Considerações Finais .....</b>	<b>36</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Coleta de fluido de corte degradado do processo de usinagem ..</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Etapa 1 – Ensaio preliminar para determinação dos valores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e pH utilizando o DCCR .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3 Etapa 2 – Determinação da concentração mínima de massa de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> com pH fixo em 11,5 .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4 Etapa 3 – Planejamento e otimização dos valores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e pH com uso do DCCR.....</b>	<b>42</b>
<b>4.5 Etapa 4 – Validação do modelo de quebra de emulsão óleo-água ...</b>	<b>44</b>
<b>4.6 Etapa 5 – Formulação de novas emulsões de fluido de corte utilizando a água recuperada da quebra das emulsões do fluido de corte degradado.....</b>	<b>44</b>
<b>4.7 Etapa 6 – Ensaios de desgaste do tipo <i>Reichert Test</i> .....</b>	<b>46</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Etapa 1 – Ensaio preliminar para determinação dos valores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e pH utilizando o DCCR. ....</b>	<b>49</b>

5.2 Etapa 2 – Determinação da concentração mínima de massa de $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ com pH fixo em 11,5 .....	52
5.3 Etapa 3 – Planejamento e otimização dos valores de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e pH com uso do DCCR.....	53
5.4 Etapa 4 – Validação do modelo de quebra de emulsão óleo-água ...	66
5.5 Etapa 5 – Formulação de novas emulsões de fluido de corte utilizando a água recuperada da quebra das emulsões do fluido de corte degradado.....	67
5.6 Etapa 6 – Ensaio de desgaste do tipo <i>Reichert Test</i> .....	68
6 CONCLUSÕES .....	72
7 REFERÊNCIAS.....	74

## 1 INTRODUÇÃO

A visão da gestão ambiental por parte dos fabricantes de produtos acabados e atendimento a legislação ambiental, são argumentos que levam a busca por métodos eficazes que possam diminuir a geração de resíduos, maximizar a utilização dos recursos naturais, como por exemplo, a reutilização da água empregada nos processos industriais, reduzindo custos na indústria. Neste sentido, o setor industrial busca desenvolver/utilizar novas ferramentas gerenciais, para dar abordagem mais efetiva a resolução dos problemas que possam ocorrer durante o processo produtivo.

Dentro do setor de manufatura, um problema a ser solucionado está relacionado ao setor de usinagem que utiliza grandes quantidades de fluido de corte durante o processo de fabricação de peças. Segundo Lubes (2014), a indústria brasileira utilizou entre os anos de 2008 a 2014 uma média de 1.390 toneladas/ano de fluido de corte para emulsão. E considerando que para emulsionar o fluido de corte são necessários grandes volumes de água, pois durante o processo de preparação são utilizados em média de 4 a 10% de óleo e o restante composto de água, se faz necessário desenvolver estratégias que possibilitem o reuso desta água proveniente do fluido de corte já degradado, visando assim diminuir a demanda extrativa deste recurso natural hoje utilizado para atender a demanda de emulsões.

Outro ponto importante está relacionado ao descarte deste fluido já contaminado ou por fungos e bactérias, ou por não haver um gerenciamento adequado, e para isso é necessário desenvolver ou melhorar métodos e processos que minimizem a quantidade de produtos oriundos da indústria de transformação e se evitar que este montante ou parte dele seja descartado de forma inadequada no meio ambiente ocasionando contaminação do ar, do solo e da água. Esta preocupação se faz necessária, pois o fluido neste estágio contém diferentes produtos químicos na sua composição, além da contaminação por microrganismos.

Nesta linha de pensamento, ao se utilizar de um menor volume de água potável, pois, estará utilizando água de reuso, as indústrias irão colaborar com o meio ambiente por não necessitar deste tipo de fornecimento e ainda evitar o descarte, mesmo que de maneira correta, de um montante considerável de efluente contaminado. Uma das preocupações em se desenvolver um método de reuso para atender a indústria, é a rapidez com que este processo de quebra de emulsão aconteça, pois durante a fabricação não se pode ficar parado, sem produzir, por falta de insumos como o fluido de corte por exemplo. E também ser um processo simplificado e barato para que não se onere o produto final, assim tal processo se torna atrativo financeiramente para ser implementado nas empresas.

Com esta visão, esta pesquisa buscou desenvolver um processo de quebra da emulsão óleo-água capaz de minimizar o descarte de fluido de corte degradado, recuperando parte deste volume, com objetivo principal de reusar a água para nova emulsão, voltando assim a mesma para o processo produtivo, e o processo desenvolvido para reuso da água poderá ser replicado em chão de fábrica com tempo de espera de no máximo 48 horas para que se possa refazer a emulsão de fluido de corte e este retornar ao processo produtivo.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver uma técnica de tratamento do fluido de corte degradado por meio da quebra da emulsão óleo-água para posterior reuso da água na formulação de nova emulsão.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar a influência das concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e do pH na quebra da emulsão óleo-água por meio da Construção de Delineamento Fatorial;

Determinar a redução da fração orgânica presente na fase aquosa obtida;

Formular emulsões utilizando a fase aquosa obtida do processo de separação;

Realizar ensaios de simulação de processo de remoção de material utilizando as emulsões formuladas com a fase aquosa obtida.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Indústria de Manufatura - fabricação/transformação/usinagem

A indústria de fabricação/transformação/usinagem é de fundamental importância para o desenvolvimento econômico de um país. Estudos apontam que 80% dos produtos manufaturados no mundo passam por algum processo de transformação utilizando as técnicas de usinagem, dentre elas o fresamento, furação, rosqueamento, torneamento, entre outros (AGOSTINHO; VILELLA; BUTTON, 2004; e MIRANDA, 2012).

O Brasil é considerado um dos países mais industrializados do mundo, e em 2015 estava classificado em 9ª posição dentre os maiores produtores industriais, e que por uma ordem crescente estavam, China, EUA, Japão, Alemanha, Coréia do Sul, Índia, Itália, França e Brasil, países estes com maior Valor Agregado Manufatureiro, ou seja, maiores fabricantes de produtos acabados no segmento industrial (VAM) (HIRATUKA; SARTI, 2017).

Segundo levantamento realizado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018):

“Este segmento industrial, em 2017, gerou R\$ 666 bilhões em divisas, cerca de 12% do Produto Interno Bruto (PIB) (CNI, 2017). Também respondeu por 37% das exportações brasileiras (Contas Nacionais Trimestrais, IBGE, 2017), 24% da arrecadação de tributos federais (Secretaria Receita Federal, 2017), 63% dos gastos com pesquisa e desenvolvimento do setor privado (Sistemas de Contas Nacionais/RAIS) e, ainda, contribui com 17% da arrecadação previdenciária nacional (Ministério da Previdência Nacional, 2017). A cada R\$1,00 produzido na indústria de transformação são gerados R\$2,58 na economia brasileira. A participação deste seguimento industrial no emprego formal chega a 15%, com cerca de 6,8 milhões de trabalhadores (Ministério do Trabalho, 2017).”

Segundo dados da Comissão Nacional de Classificação (CONCLA) a indústria de transformação brasileira é organizada em 24 divisões destacando-se o potencial metalúrgico nacional que produz entre outros itens, o ferro-gusa, siderurgia, tubos de aço, metais não ferrosos e fundição em uma destas divisões e ainda a fabricação de automóveis, caminhonetes, utilitários, caminhões, peças em geral para a linha de reposição automotiva, a linha aeronáutica, produzindo peças e acessórios para aeronaves, entre outras áreas da fabricação confirmando o potencial nacional destacado neste segmento (CONCLA/IBGE, 2018). E neste seguimento industrial a usinagem

de peças dentre os vários seguimentos citados acima, é a que demanda maior necessidade de aplicação de fluido de corte devido a operação de remoção de material.

Quando o assunto é usinagem, o primeiro pensamento é a de remoção de material metálico ou também, de material não metálico, como os polímeros, estes em menor volume se comparado aos metais. Mas, nos materiais metálicos, onde se concentra os maiores volumes de remoção e também os maiores esforços mecânicos devido a necessidade de se chegar a geometria final desejada de uma peça, que partirá de um bloco maciço, e que ao conferir à esta peça a forma desejada com dimensão e acabamento, gera grandes quantidades de cavaco, este por sua vez caracterizado por apresentar forma geométrica irregular. Durante esta operação de usinagem haverá o atrito e o calor gerado entre o material a ser fabricado e a ferramenta de corte que estará em constante movimento devido a capacidade de deslocamento da máquina ferramenta que ao fabricar a peça proporciona altas velocidades de corte, todos estes esforços estão presentes quando se executa um trabalho mecânico (SOUZA, 2014; MACHADO et al., 2015; SHARMAN et al., 2016).

Na usinagem de ligas de alumínio, por exemplo, o atrito entre a ferramenta e o material que está sendo removido é considerado alto e pode ocorrer durante esta remoção aquecimento deste material, ocasionando danos geométricos e superficiais na peça. Para evitar tais problemas algumas ferramentas secundárias podem fazer parte do processo, uma delas é o fluido de corte, quando aplicado de maneira correta colabora com o processo de remoção de material de maneira a operação acontecer com mais facilidade devido as propriedades do fluido de corte (GONÇALVES, 2013; LUTIF, 2018).

### **3.2 Fluido de Corte**

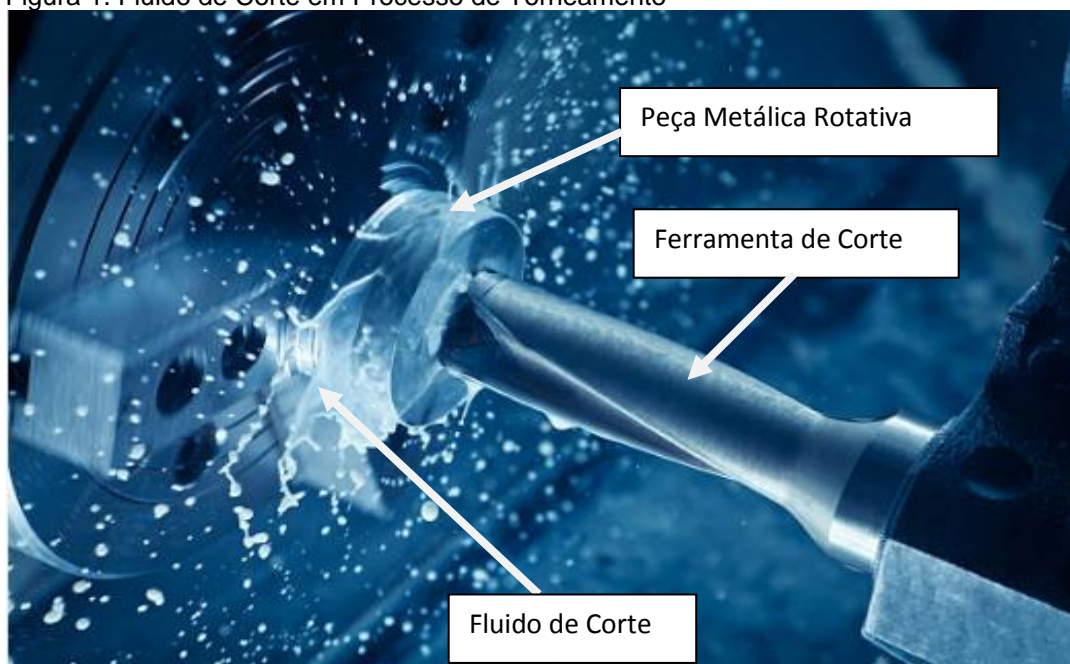
De maneira geral, fluido de corte é qualquer fluido integral ou emulsionado usado para corte ou usinagem de metais ou outros materiais a serem trabalhados e que atenda às necessidades do processo que está sendo executado. Possuem composições complexas contendo agentes químicos que variam de acordo com o tipo de fluido desenvolvido (RUNGE; DUARTE, 1990).

Como principais funções, os fluidos de corte apresentam durante o processo de usinagem a lubrificação, a refrigeração e a limpeza. Como refrigerante, atua sobre a ferramenta para evitar o aquecimento excessivo que levaria a perda de suas características de ferramenta cortante. Também refrigera o material da peça, evitando deformações vindas do aquecimento da ferramenta ao retirar material, e ainda age sobre o cavaco, diminuindo a força necessária de corte na região onde efetivamente se remove o material. Como lubrificante, facilita o deslizamento dos cavacos sobre a ferramenta diminuindo o atrito nesta interface. Já na limpeza, direcionando de forma correta o jato de fluido de corte, facilita a remoção das aparas (cavaco) deixando limpa a região de corte e ainda facilitando o controle visual do trabalho (FOGO, 2008).

Segundo Mang e Dresel (2007), os fluidos de corte, além das funções anteriormente apresentadas, possuem propriedades anticorrosiva, antiespumantes, antioxidantes, de lavagem, alta capacidade de absorção de calor, alta capacidade de umectação, boas propriedades anti-desgaste, anti-solda, estabilidade durante a estocagem e o uso, ausência de odor forte, ausência de precipitados, viscosidade adequada e transparência, quando possível.

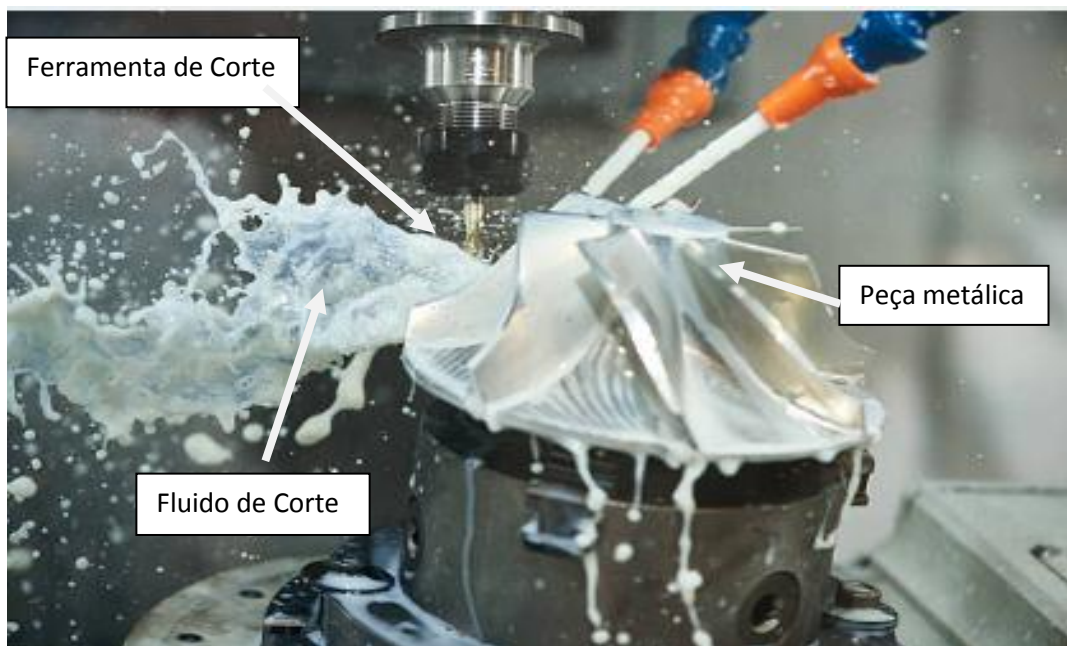
As Figuras 1 e 2 mostram a aplicação de fluido de corte durante o processo de usinagem para torneamento e fresamento, respectivamente.

Figura 1. Fluido de Corte em Processo de Torneamento



Fonte: Istockphoto (2019) (a)

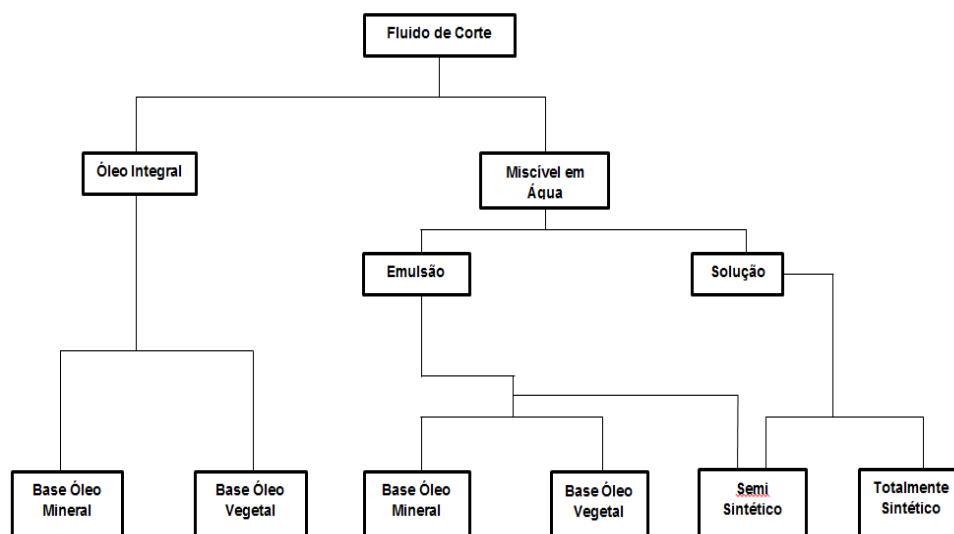
Figura 2. Fluido de Corte em Processo de Fresamento



Fonte: Istockphoto (2019) (b)

Os fluidos de corte podem ser classificados como integrais, que se apresentam como óleos de base mineral e vegetal. Os emulsionáveis (miscíveis em água), com base mineral ou vegetal e ainda, as soluções que provem dos emulsionáveis e que possuem base sintética. Os de base semi-sintética são classificados como emulsionáveis e soluções (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014). Na Figura 3 é apresentada a classificação dos tipos de fluidos de corte.

Figura 3. Classificação dos Tipos de Fluidos de Corte



Fonte: Adaptado de Diniz, Marcondes, Coppini (2014)

Os fluidos de corte integrais (base mineral ou vegetal) são recomendados para operações de usinagem, onde se apresentam desbastes pesados geradores de atrito e calor em grandes quantidades. Estes óleos possuem ótimas qualidades de lubrificação que contribuirá para menor geração de calor na zona de corte e, se sua viscosidade for baixa, também atuará com boa qualidade de refrigeração (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

Os fluidos miscíveis em água (emulsionáveis) são mistura de óleo + água + aditivos, onde a emulsão contém concentração de água de aproximadamente 90%. Este tipo de fluido de corte contém grande concentração de produtos orgânicos, e por este motivo sua vida útil é abreviada por ser degradado com mais facilidade por microrganismos, o que resulta em elevados gastos para descarte e tratamento. São indicados para operações em que a refrigeração é um ponto mais crítico do que a lubrificação, e são utilizados em operações de usinagem com baixos e médios avanços, baixas e médias profundidades de corte, e médias e altas velocidades de corte (GONÇALVES, 2013; SOUZA, 2014; BORK, 2015).

Os fluidos de corte com base mineral, geralmente não possuem boa capacidade de refrigeração, mas contém propriedades que atuam contra a corrosão e oxidação. A sua capacidade de lubrificação se apresenta em duas fases de óleos ativos e inativos: O primeiro gera boa capacidade de lubrificação, o segundo dependerá da presença de aditivos para melhorar sua capacidade de lubrificação. O óleo mineral em sua forma de emulsão, se apresenta disperso em forma de gotículas na água devido à presença de emulsificantes, os quais reduzem o tamanho das gotículas de óleo mineral, mantendo-as dispersas e conferindo às mesmas cargas repulsivas, evitando assim sua coalescência (RUNGE; DUARTE, 1990).

Segundo Maia (2007), os óleos de base vegetal são compostos por aproximadamente 98% de triglicerídeos e os 2 % restantes referem-se a mono e diglicerídeos, ácidos graxos livres, fosfolipídios, constituintes insaponificáveis, ésteres de forbol, tocoferóis, clorofila, dentre outros.

Os fluidos semissintéticos apresentam característica de emulsões e de solução, e se apresentam entre 5% e 50% de óleo mineral nos fluidos concentrados, além de aditivos e compostos químicos que se dissolvem na água e formam moléculas individuais. A presença de grande quantidade de

emulsificantes, permite ao fluido de corte uma apresentação menos leitosa e mais transparente. Menor quantidade de óleo mineral e a presença de biocidas prolongam a vida do fluido e reduzem os riscos à saúde do operador (CHINCHANIKAR et al., 2014; MACHADO et al., 2015;).

Os fluidos sintéticos são soluções formadas por compostos químicos monofásicos como inibidores de ferrugem, detergentes e agentes umectantes dissolvidas completamente em água apresentando boa refrigeração e proteção contra a corrosão (INLUB, 2014). Esses compostos caracterizam-se por serem livres de óleo mineral em suas composições (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

Dos fluidos de corte, as chamadas emulsões óleo em água (o/a) apresentam menores custos operacionais além de atender um número maior de exigências normalmente encontradas em processos de usinagem, proporcionando uma vantagem operacional em relação aos óleos integrais. Por estas características, as emulsões são mais utilizadas nas indústrias de fabricação/transformação/usinagem (BORK, 2017) e pelas razões apresentadas anteriormente, as emulsões em processo de descarte, foram utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

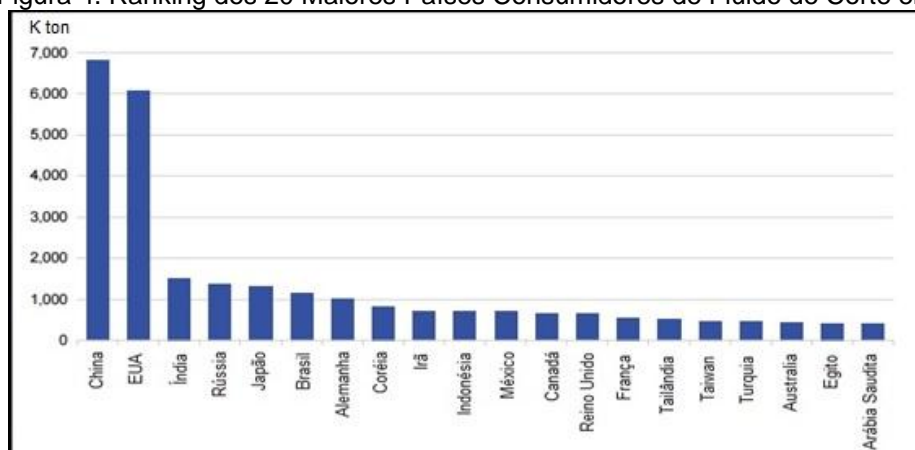
As emulsões são compostas de: água, óleo mineral ou vegetal, emulsificadores, emulgadores, aminas, bactericidas, agentes umectantes, nitrito de sódio, cloro, enxofre, chumbo, zinco (GONÇALVES, 2013; LUTF, 2018). Segundo Maia et al. (2007) as propriedades físico-químicas das emulsões podem ser melhoradas pela seleção criteriosa dos aditivos, tais como biocidas, antiespumantes, anticorrosivos, detergentes, aditivos de extrema pressão, dentre outros, e ainda, as características lubrificantes e refrigerantes também podem ser alteradas por meio da concentração, que depende das necessidades do processo.

Os emulsificantes são tensoativos polares que tem como função de reduzir a tensão superficial, formando assim uma película monomolecular relativamente estável na interface óleo/água, que colabora com a dispersão das gotículas de óleo em água e favorece a estabilidade da emulsão. Assim, os emulsificantes trabalham na formação de glóbulos menores de óleo, resultando em emulsões translúcidas (MANG; DRESEL 2007).

Juntamente ao crescimento da demanda mundial de produtos acabados, cresce também a utilização de insumos como o fluido de corte (SANTOS, 2016).

Dados de um estudo realizado por Fuchs (2014) apresenta a demanda mundial e nacional de fluido de corte. Entre os anos de 2000 a 2014, a média mundial de demanda de óleo para emulsionar fluido de corte foi de 35,5 milhões de toneladas/ano, tendo como principal país consumidor a China, com aproximadamente 7 milhões de toneladas, seguido dos Estados Unidos da América com 6 milhões de toneladas. O Brasil, por sua vez, no mesmo ano consumiu 1,4 milhão de toneladas de fluidos de corte (Figura 4).

Figura 4. Ranking dos 20 Maiores Países Consumidores de Fluido de Corte em 2014



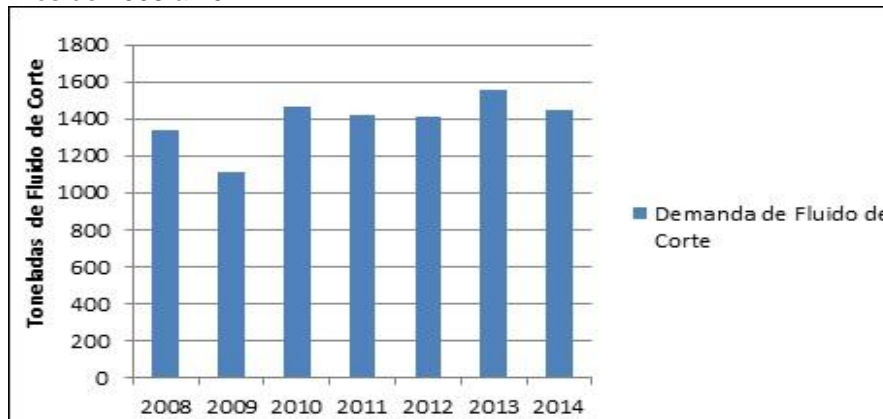
Fonte: Fuchs (2014).

O mesmo estudo de Fuchs (2014) ainda aponta o Brasil, em um contexto mundial de consumo, ocupando a 6ª posição no *ranking* dos 20 maiores países consumidores de fluido de corte, como apresentado na Figura 4.

Ainda sobre a demanda de fluido de corte, agora direcionado para o consumo interno brasileiro, Lubes (2014) apresenta o consumo da indústria nacional no período compreendido entre 2008 a 2014 (Figura 5). A média anual de consumo foi de 1.390 toneladas de fluido de corte.



Figura 5. Demanda de Consumo de Fluido de Corte na Indústria Brasileira entre os Anos de 2008 a 2014



Fonte: Lubes (2014).

### 3.3 Emulsão

Villalobos (2010) define emulsão como um sistema heterogêneo onde participam dois líquidos imiscíveis, um é chamado de fase contínua e o outro de fase dispersa. A fase dispersa (interna) que são as gotículas encontra-se distribuída na fase contínua (externa). Por se tratar de líquidos que não se misturam é necessário que se adicione os surfactantes/tensoativos que são definidos por Daltin (2011) como moléculas que apresentam afinidade pelo óleo e pela água. No momento em que os surfactantes/tensoativos promovem a união das duas fases imiscíveis de água e óleo há a necessidade de se controlar também a concentração desta mistura, utilizando um refratômetro como ferramenta de controle.

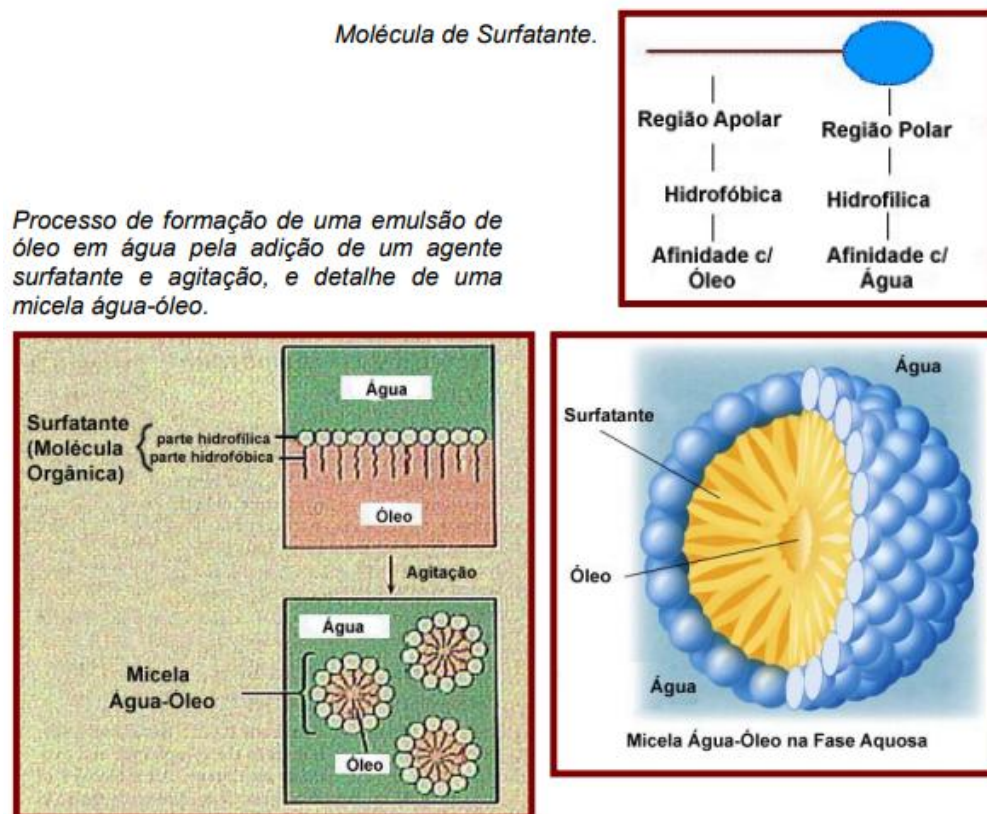
Durante a formação da emulsão, se por algum motivo a concentração de óleo e água se apresentar acima do valor ideal, tornando-se assim saturada por apresentar moléculas excedentes de surfactante, formará aglomerados conhecidos como micelas, levando a mudança nas propriedades da emulsão. Este processo é conhecido como Concentração Micelar Crítica (CMC) (VILLALOBOS, 2010).

Na Figura 6 é possível verificar a formação da micela quando o surfactante faz interface entre óleo e água, permitindo assim a estabilidade da emulsão.

A necessidade de se fazer tratamento das emulsões após seu fim de vida pode-se tornar um processo difícil devido à estabilidade da parte emulsionada, aliado ao fato de que separadores gravitacionais são ineficientes na separação desse tipo de emulsão, o tratamento de água oleosa emulsionada pode se tornar uma operação complexa e dependente de processos altamente eficientes (DAMASCENO, 2009).

A estabilidade das emulsões, presentes no fluido de corte, depende da manutenção da carga elétrica de cargas repulsivas entre as gotículas de óleo dispersas na água. Afetando essa estabilidade, pode ocorrer a quebra da emulsão (MUNIZ, 2008).

Figura 6. Molécula do Surfactante na Formação da Micela



Fonte: Engenovo (2018)

Produtos químicos usados como desmulsificantes caracterizam-se basicamente por duas ações: ocupando a interface da emulsão ou determinando uma forte atração entre as gotículas, produzindo a floculação (MUNIZ, 2008). Assim, o tratamento químico de uma emulsão é tipicamente utilizado para desestabilizar o óleo disperso ou destruir quaisquer agentes

emulsionantes presentes. O processo consiste principalmente na mistura rápida de um produto químico coagulante com as águas residuárias, seguido por floculação e flotação ou outra técnica de separação física (EYSENBACH, 1994).

### **3.4 Tratamento de Fluido de Corte**

Os fluidos de corte dispostos na máquina ferramenta durante seu uso irão sofrer degradação e contaminação. Esse processo pode acontecer em poucos meses ou alguns anos, depende do cuidado com o gerenciamento que é realizado dentro de cada empresa, e após ser utilizado durante sua vida útil, precisa ser descartado e esse descarte acontece em grandes volumes devido a quantidade de fluidos utilizados nos processos de manufatura (GONÇALVES, 2013).

De acordo com a resolução 362 (2005) do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, os lubrificantes usados ou contaminados devem ser destinados corretamente para tratamento posterior. Para classificação dos óleos lubrificantes utilizam-se as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especificamente a NBR-10.004 (2004) para lubrificantes e que denomina este efluente de “resíduo classe I”, perigoso, por apresentar toxicidade, e por este motivo precisam de tratamento ambientalmente correto para serem descartados (SOUZA, 2014).

O fluido de corte, quando sofre contaminação, normalmente por bactérias e fungos, passa por alteração em sua composição, mudando as características como a viscosidade. Por este motivo, as peças podem sofrer corrosão, agredir o sistema mecânico da máquina ferramenta, atacando guias lineares, pintura e materiais poliméricos como as vedações da cabine de usinagem (SOUZA, 2014). Esta contaminação também traz risco para o operador do equipamento, pois os microrganismos encontrados no fluido de corte, podem ser patogênicos (SANTOS, 2016; SÁ, 2017).

Em função do grau de degradação, os fluidos perdem sua eficácia e propriedades, devendo ser substituídos, e assim se tornando fluido de corte residual que necessitará ser tratado antes do seu descarte. Considerando que são produtos com elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono

Orgânico Total (COT) e turbidez (GONÇALVES, 2013). Devido suas características químicas e contaminação microbiológica, este efluente constitui um sério perigo para o ambiente devido à sua elevada superfície-ativa e cargas de poluentes orgânicos e por estes motivos deverão passar por algum tratamento para atender aos padrões de lançamento nos corpos receptores (KOBYA et al., 2008).

O mercado oferece alguns métodos para tratar resíduos dos fluidos de corte e que envolvem a separação da fase oleosa, a partir da fase aquosa e o tratamento de cada fase independentemente. O concentrado de fase oleosa pode ser incinerado em uma indústria de cimento como opção de uso em seu produto. A fase aquosa é normalmente acondicionada e retirada por empresa devidamente habilitada para futuro tratamento (SANTOS, 2016).

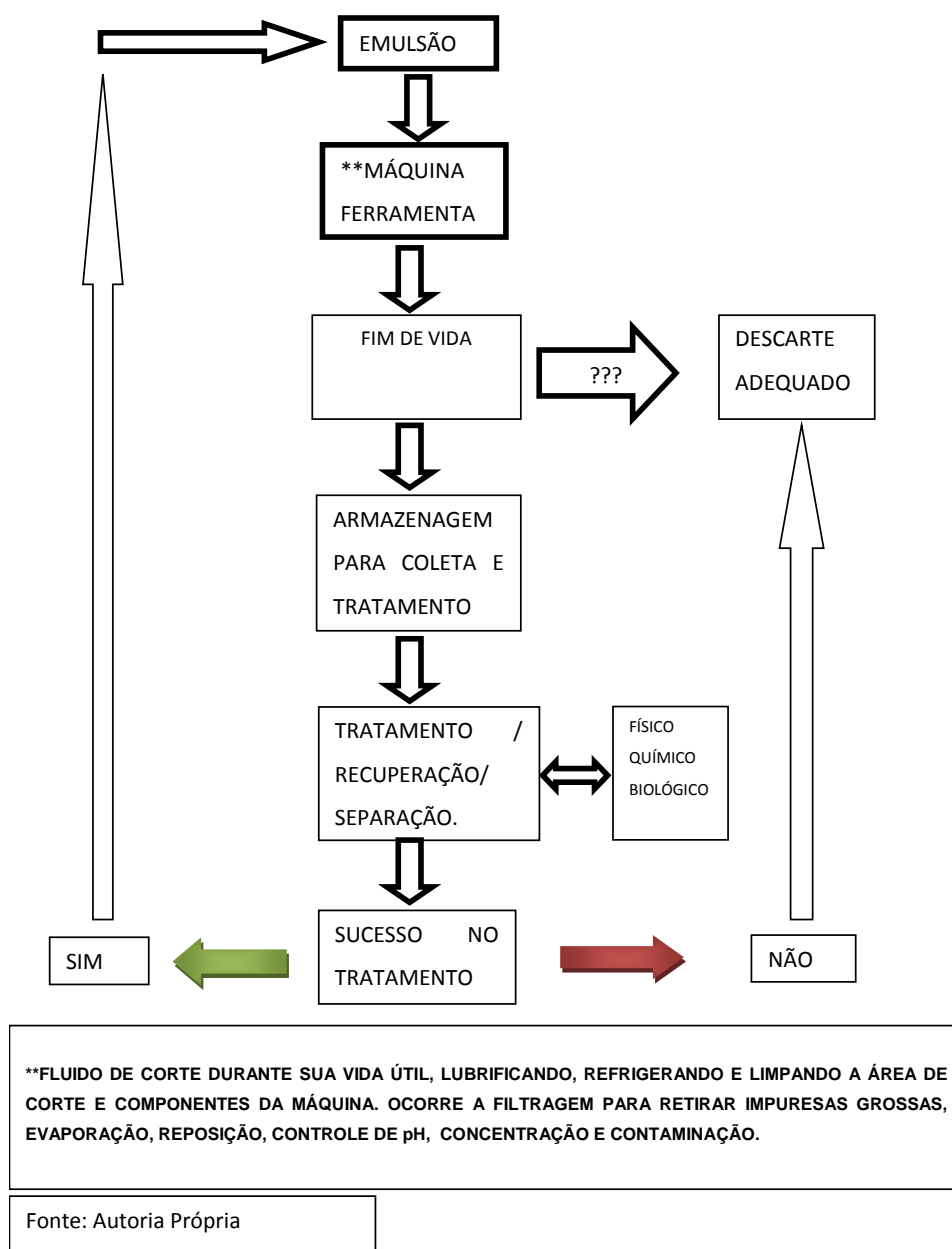
Na Figura 7 pode-se visualizar o ciclo de vida dos fluidos de corte emulsionáveis durante o ciclo de produção na indústria de fabricação.

O tratamento químico utiliza vários produtos químicos inorgânicos (desde sais até ácidos fortes) ou químicos orgânicos (por exemplo, polímeros catiônicos ou aniônicos) para desestabilizar ou "quebrar" emulsões de águas residuárias oleosas (MILACRON, 2000). Dentre esses compostos químicos, Baradie (1996) descreveu que os principais reagentes que podem desestabilizar a emulsão reagindo com o emulsificante são o Cálcio, o Magnésio, o Ferro e, ocasionalmente, o Alumínio. Após o processo de separação da emulsão, a qualidade da fase aquosa deve ser testada a fim de verificar a eficiência da separação e os níveis de contaminação ainda presentes na água, pois conforme os resultados é que se define a destinação da água.

Os processos químicos que se utilizam da adição de produtos químicos e das reações químicas que ocorrem, removem ou transformam os contaminantes potencialmente perigosos em compostos menos danosos ao ser humano e ao meio ambiente. Dentre os processos de tratamento se destacam a floculação, precipitação química, oxidação química e correção de pH. O processo de degradação química mais utilizado têm sido a oxidação química, chamado de Processos Oxidativos Avançados (POAs), que possibilitam a degradação de compostos que causam contaminação da água, principalmente os recalcitrantes, transformando-os em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  e que necessita de poucas

horas para a reação acontecer. Os POAs são baseados na geração do radical hidroxila ( $\text{OH}^*$ ), com característica fortemente oxidante, o que faz com que incorpore o hidrogênio e gere radicais orgânicos e a adição de oxigênio molecular leva a produção de peróxido, os quais são poucos estáveis e reagem com outros materiais levando a formação de compostos mais simples (LEGRINI, 1993).

Figura 7. Fluxograma do Ciclo de Vida dos Fluidos de Corte Emulsionáveis



A microfiltração, ultrafiltração, adsorção, coagulação química e biológica (processo aeróbio e anaeróbio), são opções desenvolvidas e que podem ser

utilizadas para tratamento dos fluidos de corte após fim de vida (KOBYA et al., 2008).

Outros processos de tratamento como os físicos que se utilizam da separação de fases (decantação, filtração, centrifugação), transição de fases (destilação, evaporação), transferência de fases (extração por solvente) e separação molecular (microfiltração, ultrafiltração, diálise) podem colaborar para que o produto seja descartado agredindo em menor intensidade o meio ambiente (HILAL, 2004).

Segundo Monteiro (2006) dentre os processos conhecidos como biológicos, destacam-se os métodos de lagoas aeradas, sistemas aeróbios com biofilmes e reator anaeróbio. Esses processos reproduzem o que acontece em um corpo d'água, mas em um espaço menor e de forma mais econômica, retirando os sólidos coloidais e estabilizando a matéria orgânica, o que ocorre por meio da atividade dos microrganismos. Ainda, Mendonça (2002) diz que o que difere esses processos biológicos é o crescimento biológico (suspenso ou aderido), quanto ao fluxo (contínuo ou intermitente) e quanto às características hidráulicas (mistura completa, fluxo de pistão ou fluxo arbitrário).

### **3.5 Reuso da Água dos Processos Industriais**

A água se constitui em um recurso renovável ao passar pelo ciclo hidrológico. Quando reciclada utilizando sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, por meio da atividade antrópica, mesmo deteriorada a níveis diferentes de poluição a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos, também os custos envolvidos no processo de reuso da água deverão ter um peso a ser calculado, mas inicialmente a preocupação é com a economia e cuidados com os recursos hídricos e com o meio ambiente (HESPANHOL, 2002). Para que o reuso da água seja mais abrangente é necessário que a utilização da água potável apresente mais restrições, e seja racionada a consumos prioritários, evitando perdas e desperdícios, e que a utilização de tratamentos corretos colabore para a minimização da produção de efluentes (CUNHA et al., 2011).

Considerando os fluidos de corte emulsionáveis, compostos por aproximadamente 90% de água e 10% de óleo e aditivos químicos (SOUZA *et al.*, 2015), se faz necessário um processo de tratamento para o descarte adequado ou o aproveitamento desta água nas indústrias. Pois, é um volume considerável de água para realizar o processo, visto que no Brasil segundo Lubes (2014) o consumo de fluido para emulsão foi de cerca 1.400 toneladas neste mesmo ano, e normalmente é utilizada água potável para emulsionar o produto.

Para preparação da emulsão de fluido de corte, o processo não necessariamente necessita de água com alto grau de pureza, pode-se utilizar águas de outros meios como o de reuso, desde que tratada ao ponto de manter a estabilidade da emulsão (BORCK, 2015). Se a indústria fizer uso de algum método de tratamento adequado que tenha capacidade de retornar a qualidade da água para ser reusada, este efluente deixará de ir para o meio ambiente em forma de descarte (GONÇALVES, 2013).

Um processo de reuso da água, inicialmente utilizada para emulsionar os fluidos de corte, devidamente desenvolvido e com tecnologia capaz de trazer de volta a capacidade da água em garantir emulsão estável pode ser visto com bons olhos por todo o sistema industrial que se utiliza deste produto (ARAÚJO; OLIVEIRA 2012). A vantagem imediata no desenvolvimento de tal processo é a economia de recursos hídricos por parte das indústrias e menor descarte de contaminantes (BORK, 2017). Os benefícios são imensuráveis se o sistema de tratamento a ser desenvolvido conseguir fechar o ciclo de utilização da água, fazendo com que possa voltar a ser utilizada para o mesmo fim, sendo capaz de colaborar com a estabilização da emulsão de fluido de corte que voltará para máquina ferramenta (GONÇALVES 2013).

Com o desenvolvimento de um processo adequado de tratamento para usar como meta o aproveitamento, toda água de reuso que voltar ao processo em nova emulsão de fluido de corte, poderá substituir a água potável que iria para o uso na produção, e que por sua vez poderá ser destinada a fins mais nobres (GONÇALVES, 2013).

Rejeitos gerados por processos de fabricação, de modo geral, preocupam todos os setores ligados à manufatura e, gerenciar estes processos, é uma das maneiras de amenizar impactos no futuro. Se fosse

possível, a diminuição ou eliminação do fluido de corte em todos os processos que ele atua na fabricação, ou pelo menos aplicar o reuso deste produto como forma de minimizar a utilização de recursos naturais, estaria indo ao encontro da ideia de Produção mais Limpa (P+L), pois seu objetivo é a diminuição de recursos naturais envolvidos na produção (OLIVEIRA; ALVES, 2007).

### **3.6 Gerenciamento**

O gerenciamento, voltado para resolver os problemas causados pelos resíduos gerados durante a fabricação, tem em sua gestão, a tarefa de buscar soluções adequadas de tratamento, reuso ou destinação adequada, evitando assim contaminação do meio ambiente, dando ênfase a estratégia e a gestão ambiental. A busca por excelência na questão de gestão ambiental leva as empresas a atuarem com sustentabilidade contribuindo para a preservação do meio ambiente, levando a empresa a um novo patamar na imagem organizacional e de planejamento favorecendo a geração de sinergias corporativas. Utilizando alguns mecanismos como técnicas de produção mais limpa, as Normas ISO 14.001 e os sistemas de Gestão Ambiental, entre outras, é possível agregar valores as práticas de sustentabilidade ao longo de sua cadeia de suprimentos, recebendo benefícios econômicos proporcionados pela redução dos custos de processamento e na otimização dos insumos (KOLK; MAUSER, 2002; DEL BRÍO; FERNÁNDEZ; JUNQUERA, 2002; ANTON; DELTAS; KHANNA, 2004; PREUSS, 2005; OMORI; AKPAMA; AJAKE, 2012; IOPPOLO; SAIJA; SALOMONE, 2013; GASBARRO; RIZZI; FREY, 2013; TUDOR, 2013; ŠTEPÁNKOVÁ, 2012; RIZZO; BATOCCHIO, 2011).

A Produção Mais Limpa (P+L) se constitui uma ferramenta de importância impar para o gerenciamento das empresas, pois proporciona colaboração com as áreas estratégicas para alcançar objetivos de ordem produtiva de forma preventiva e em relação aos aspectos ambientais, por meio da minimização dos impactos associados ao custo dos processos, colabora ainda na recuperação e otimização do uso de matérias primas e energia, proporcionando ganho de produtividade e eficiência dentro de um controle ambiental que previne gastos desnecessários ao processo (OLIVEIRA; ALVES,



2007). Veigas e Salles (2012) descrevem de forma clara os caminhos que as indústrias, empresas e toda sociedade incluindo o governo deveriam trabalhar para alcançar um tipo de produção mais sustentável, como segue:

“Com o advento da globalização, temas como a sustentabilidade tem se tornado cada vez mais relevante nos assuntos nacionais e internacionais. As mudanças climáticas e a preocupação com a escassez de recursos naturais são exemplos para a mudança de comportamento da sociedade e da economia em relação ao meio ambiente. As empresas e as indústrias assim como o governo e a sociedade devem rever os seus processos e os seus produtos de modo que proporcionem iniciativas para reduzir o impacto ambiental nos padrões de consumo e na produção. Quando se refere ao processo de desenvolvimento do produto, a sustentabilidade deve ser vista por todas as partes envolvidas no processo desde a disposição de matéria-prima até o descarte do produto ao fim de sua vida útil. Essa nova tendência em projeto de produto é um grande desafio para as organizações em termos de projetar e produzir produtos que atendam aos requisitos ambientais e sociais, de modo que ainda sejam economicamente viáveis. As organizações devem alinhar suas políticas, missão, valores, visão e metas às novas demandas mundiais por produtos sustentáveis. Isso significa uma nova forma de produzir e consumir buscando a consciência global para a preservação do meio ambiente (VIEGAS; SALLES, 2012).”

Ainda sobre manufatura sustentável atualmente o conceito é visto como a manufatura de produtos que utilizam processos produtivos menos impactantes ambientalmente, socialmente e que se mostram economicamente viáveis (*International Trade Administration - ITA*, 2010). Neste processo da visão de sustentabilidade ambiental, predominam as iniciativas que promovem a conservação de recursos naturais e de energia (DORNFELD, 2012).

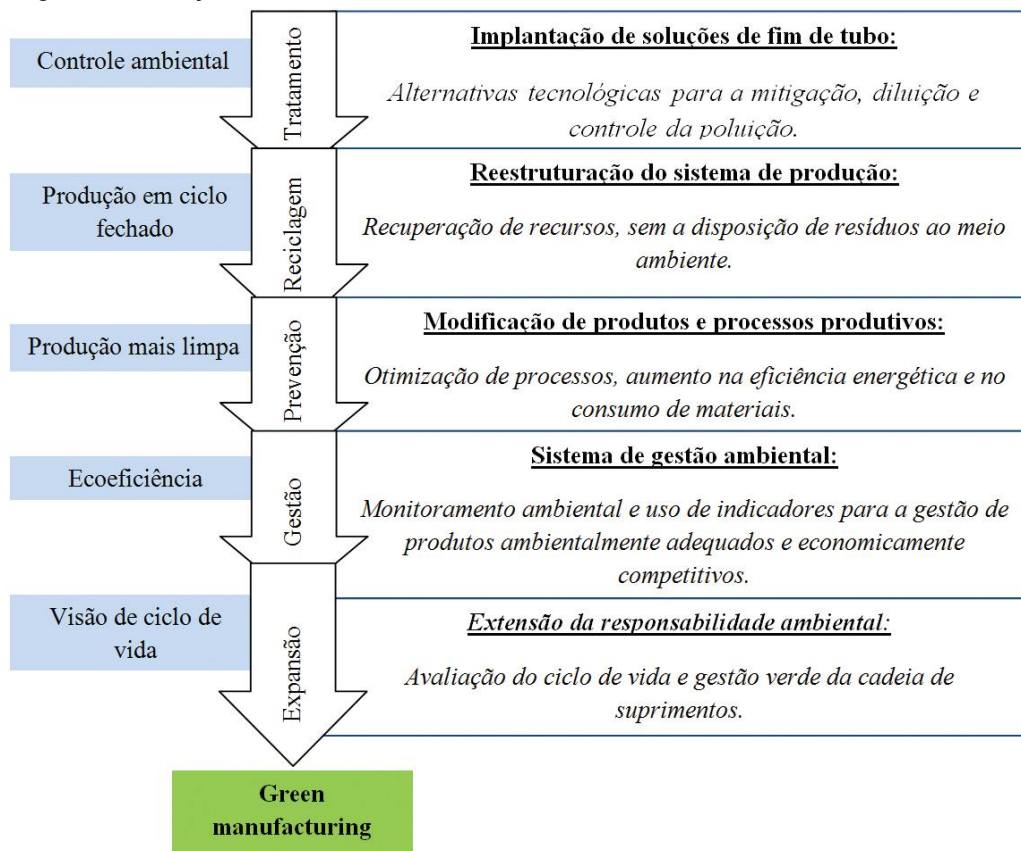
A indústria de manufatura, apesar de sua representatividade socioeconômica, também é responsável por relevantes impactos ambientais, além disso, também se destacam pelos altos níveis de consumo de energia (*Energy Information Administration - EIA*, 2010).

No Brasil, para Araújo e Oliveira (2012), as atividades de manufatura também geram impactos ambientais relevantes. Apesar de sua definição mais recente englobar as três dimensões da sustentabilidade, o termo *sustainable manufacturing* está mais relacionado ao âmbito ambiental.

Diversos autores como Bergmiller, (2006); Dornfeld, (2012); Rusinko, (2007) têm empregado mais o termo *green manufacturing* (GM) quando a pauta se trata de manufatura sustentável e que se modifica ao longo do tempo para adequações necessárias aos seus conceitos.

A Figura 8 apresenta a evolução do conceito GM conforme o surgimento de novas práticas de gestão ambiental.

Figura 8. Evolução da Visão e das Práticas da GM



Fonte: Green manufacturing – (DORNFELD, 2012).

Para os autores Araújo e Oliveira (2012); Rusinko (2007); Silva e Amaral (2009); Silva et al.(2013), a GM é alcançada por meio de práticas de produção mais limpa (P+L), pois ela tem foco sobre o processo produtivo e permite o aumento da eficiência no uso dos recursos naturais e a minimização na geração de resíduos, possibilitando uma melhor ecoeficiência industrial.

Segundo Tochetto (2004), com a globalização das questões ambientais e a necessidade de buscar sustentabilidade foi preciso compatibilizar o desenvolvimento econômico e a preservação do meio ambiente, o que pode ser conseguido por meio da aplicação dos conceitos de gestão ambiental. De acordo com o mesmo autor, o conceito dos 3 Rs constitui-se de estratégias para diminuir a exploração de recursos naturais e o impacto ambiental das diversas atividades, relacionadas com a vida em sociedade e define da seguinte forma os 3 Rs: (Reduzir, Reusar e Reciclar).

A geração de resíduos representa perdas no processo, ineficiência produtiva e custos ambientais de gerenciamento, por estes motivos é necessária visão voltada para a diminuição destas perdas que irão gerar custos na produção, e ainda com desenvolvimento de estratégias de prevenção, beneficiar os princípios de proteção ambiental e de sustentabilidade (TOCCHETTO, 2004).

Um exemplo prático da aplicação dos “3Rs” e produção mais limpa (P+L) apresentado pela (CETESB, 2006) sobre Fluido de Corte:

“(...) Segundo a empresa, a oportunidade foi identificada nos processos de usinagem de peças metálicas na fabricação de motores, transmissões e componentes de chassi que geravam um total médio de 375 t/mês de cavacos metálicos, provenientes dos diferentes tipos de processos e impregnados com diferentes tipos de óleos e emulsões oleosas de corte, os quais eram depositados em 03 caçambas móveis, para separação do óleo/emulsões pelo processo de decantação, gerando um volume decantado na ordem de 35,2 t/mês. Os óleos/emulsões decantados eram drenados e conduzidos para um canaleta impermeabilizado interligado à rede coletora de efluentes industriais e, por gravidade, seguiam para a ETE – Estação de Tratamento de Efluentes. Uma vez identificada a oportunidade as seguintes medidas foram tomadas pela empresa: reavaliação dos tipos de óleos/emulsões de corte utilizados em cada etapa do processo e separação dos mesmos em oito famílias de óleos. A partir daí implantou-se uma coleta seletiva dos cavacos metálicos impregnados com óleos/emulsões coletados em 08 caçambas móveis, sendo que 05 delas foram cedidas pela empresa coletora de cavacos em regime de parceria. Também foi necessário construir sete novos mini-tanques em alvenaria, com capacidade de 250 litros cada, impermeabilizados e revestidos com chapa metálica de aço para receber as oito famílias de óleos/emulsões, decantadas nas caçambas móveis, para que pudessem ser separados, bombeados e armazenados em contêineres e analisados quanto às características e propriedades físico-química para verificação e eventual ajuste das condições técnicas. A partir desta determinação os óleos/ emulsões são reutilizados no processo de corte de que foram originário ou encaminhado para outros equipamentos dentro da empresa, cujas operações permitissem o uso de óleo/emulsões de corte com características menos exigentes. Caso não apresentassem condição de uso, eram enviados para a ETE. Consta no relato que a implantação das medidas, no que se refere às obras civis, treinamento de pessoal e estabelecimento de logística com a empresa que faz remoção dos cavacos, ocorreu ao longo dos meses de fevereiro, março e abril de 2002, entrando em regime de operação em maio/2002 e totalizando um investimento de R\$10.000,00 com previsão de retorno de 1 mês. Os resultados obtidos indicaram: redução na compra de óleo para corte na ordem de 1.400 litros/mês, representando uma economia de aproximadamente R\$ 11.000,00/mês; redução média de 1% no consumo de água da unidade industrial, representando 20.000 litros água/mês e uma economia de cerca de R\$ 78,00/mês; redução de 88% da quantidade de óleo enviada para a ETE, com redução de 3% do volume geral de efluentes líquidos a serem tratados, gerando uma economia de 3% no consumo de produtos químicos utilizados na ETE, ou seja, R\$ 120,00/mês(...)”.

### 3.7 Considerações Finais

As literaturas pesquisadas são vagas em relação a que produtos combinados e suas quantidades poderiam otimizar a quebra da emulsão de fluido de corte degradado. Por esse motivo houve a necessidade da busca por reagentes que, em contato com o surfactante/tensoativo permitissem alcançar qualidade de um produto aquoso em condições de reuso. Os cátions Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) foram escolhidos para este trabalho em forma de Nitrato de Cálcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) e Nitrato de Magnésio ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ) devido a capacidade elevada de solubilidade em contato com produto aquoso, comercialmente serem atrativos e apresentarem uma Constante do Produto de Solubilidade (Kps) com valores baixos na reação química (SKOOG, 2012) com o surfactante/tensoativo promovendo a precipitação da emulsão, pois a emulsão de fluido de corte não apresenta condições claras dos constituintes participantes e quantidades definidas não permitindo assim um cálculo exato de quanto usar de cada reagente para a sua desestabilização.

No desenvolvimento de um processo ou na formulação de um produto, é essencial planejar um procedimento experimental para avaliar os efeitos de interação das variáveis independentes envolvidas, pois o planejamento experimental a ser escolhido depende da quantidade de variáveis e as respostas que estão sendo pretendidas nesta análise. Outros fatores a serem analisados na escolha do procedimento são o número de ensaios a ser realizado, o tempo para realização e o custo do ensaio. No entanto, há um número mínimo de ensaios a ser cumprido conforme o número de fatores envolvidos. No caso de 2 ou 3 variáveis independentes é recomendado o uso de um delineamento composto central rotacional (DCCR), que determina uma quantidade mínima de 17 amostras com repetição de 3 vezes no ponto central determinado, pois esta condição permite que se analise o experimento estatisticamente de forma a não comprometer as respostas que estão sendo analisadas (RODRIGUES e LEMMA 2009).

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se o DCCR como ferramenta de otimização dos ensaios e avaliar o efeito da concentração dos cátions Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e a variação do pH no processo de separação da emulsão óleo-água de fluido de corte degradado. O objetivo foi

otimizar a separação do óleo-água da emulsão de fluido de corte a um nível que a fase aquosa apresente condições de ser reusada para nova emulsão de fluido de corte.

O fluido de corte apresenta absorvância na região do visível devido a alguns fatores como:

(a) compostos que apresentam grupamentos cromóforos como por exemplo duplas ligações conjugadas;

(b) elementos eletronegativos ligados à cadeia carbônica

(c) ou ainda na formação das micelas que podem apresentar diminuição da absorvância devido ao efeito de espalhamento (SKOOG, 2012).

Considerando que no fluido de corte estudado se faz presente surfactante (cadeia longa de ligações simples) que apresenta absorção na região ultravioleta (280 nm) e outros componentes diversos como aminas, biocidas, bactericidas, agentes umectantes, nitrito de sódio, agentes de extrema pressão (EP) como cloro, enxofre, chumbo, zinco, cujas estruturas podem apresentar absorção molecular na região ultravioleta e também visível (500 nm) sendo possível assim a busca pelas variáveis resposta utilizando as leituras do espectrofotômetro.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa se trabalhou com as seguintes etapas

- Etapa 1** → Ensaio preliminar para determinação dos valores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e pH utilizando o DCCR.
- Etapa 2** → Determinação da concentração mínima de massa de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  com pH fixo em 11,5.
- Etapa 3** → Planejamento e otimização dos valores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e pH com uso do DCCR.
- Etapa 4** → Validação do modelo de quebra de emulsão óleo-água.
- Etapa 5** → Formular novas emulsões de fluido de corte utilizando a água recuperada da quebra das emulsões do fluido de corte degradado.
- Etapa 6** → Ensaio de desgaste do tipo *Reichert Test*.

### 4.1 Coleta de fluido de corte degradado do processo de usinagem

Para realização desta pesquisa, foram coletados 50 litros de fluido de corte degradado oriundo do processo de usinagem, em uma indústria de fabricação de peças mecânicas da região metropolitana de Londrina-PR. O fluido de corte degradado coletado foi acondicionado em uma bombona de 50 litros fechada e transportada para o laboratório da UTFPR, onde ficou armazenada para realização dos ensaios laboratoriais.

## 4.2 Etapa 1 – Ensaio preliminar para determinação dos valores de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e pH utilizando o DCCR

Na Tabela 1 são apresentados os níveis codificados do pH e os valores em porcentagem e massa em gramas de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  referentes aos ensaios de quebra de emulsão óleo-água.

Tabela 1. Níveis codificados de pH e os valores em porcentagem (%) e massa (g) dos reagentes utilizados nos ensaios da Etapa 1

Níveis Codificados	pH	$\text{Ca}^{2+}$ (%)	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (g)	$\text{Mg}^{2+}$ (%)	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (g)
1,68	13,00	1,00	5,90	1,00	10,55
1	11,58	0,78	4,62	0,78	8,26
0	9,50	0,49	2,90	0,49	5,19
-1	7,41	0,20	1,19	0,20	2,13
-1,68	6,00	0	0	0	0

Fonte: Autoria própria

A partir dos dados codificados foi construído o planejamento fatorial (Tabela 2) com 15 ensaios sendo repetidos em triplicata num total de 45 ensaios.

Tabela 2. Planejamento fatorial dos ensaios referentes a Etapa 1

Ensaio	Valores codificados			pH	$\text{Ca}^{2+}$ %	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (g)	$\text{Mg}^{2+}$ %	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (g)
	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$					
1	-1	-1	-1	7,41	0,20	1,19	0,20	2,13
2	1	-1	-1	11,58	0,20	1,19	0,20	2,13
3	-1	1	-1	7,41	0,78	4,62	0,20	2,13
4	1	1	-1	11,58	0,78	4,62	0,20	2,13
5	-1	-1	1	7,41	0,20	1,19	0,78	8,26
6	1	-1	1	11,58	0,20	1,19	0,78	8,26
7	-1	1	1	7,41	0,78	4,62	0,78	8,26
8	1	1	1	11,58	0,78	4,62	0,78	8,26
9	-1,68	0	0	6,00	0,49	2,90	0,49	5,19
10	1,68	0	0	13,00	0,49	2,90	0,49	5,19
11	0	-1,68	0	9,50	0,00	0,00	0,49	5,19
12	0	1,68	0	9,50	1,00	5,90	0,49	5,19
13	0	0	-1,68	9,50	0,49	2,90	0,00	0,00
14	0	0	1,68	9,50	0,49	2,90	1,00	10,55
15	0	0	0	9,50	0,49	2,90	0,49	5,19

Fonte: Autoria própria

Definidas as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  iniciaram-se os procedimentos experimentais seguindo os passos descritos a seguir.

Para cada ensaio, se utilizou 100 mL de fluido de corte degradado dispostos em béquer. Em seguida foram adicionados aos béqueres as quantidades dos reagentes  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  previamente pesadas (Tabela 2). A soluço foi homogeneizada utilizando um agitador magnético e o pH foi ajustado aos valores codificados utilizando NaOH em soluço de 3 mol para subir o pH ao valor indicado e/ou HCL na soluço de 3 mol para baixar o pH quando necessário, estes reagentes eram adicionados gota a gota até o valor necessário de pH.

O conjunto experimental permaneceu em repouso durante 48 horas para que a rea o de quebra da emulsão ocorresse. Transcorrido este período, o sobrenadante de cada béquer foi submetido a filtra o, em papel filtro para retirada de particulados sólidos. Na sequência a água obtida após a filtra o foi submetida a dilui o, na propor o 1:10, em água destilada para realiza o da leitura da absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm, utilizando equipamento de Espectrofotometria da marca BIOCHROM, série LIBRA S60, para determina o do nível de clarifica o. Após este processo, os dados coletados com a leitura de absorciometria, alimentaram um software denominado RStudio versão 1.1.456 (2009/2018) com a finalidade de se analisar estatisticamente os valores, e se os resultados apresentavam intera es com as diversas varia es dos reagentes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e pH, para determinar o “ponto de ótimo” e assim trabalhar superfícies de resposta para defini o de valores de reagentes que se daria a quebra da emulsão.

#### **4.3 Etapa 2 – Determina o da concentra o mínima de massa de $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ com pH fixo em 11,5**

A partir da análise dos resultados da Etapa 1 realizou-se novos ensaios com o intuito de determinar o limite mínimo de massa para promover a quebra da emulsão. Utilizou-se como valores de referência para este novo ensaio o melhor resultado da Etapa 1, com os valores de massa inicial de 1,19 g para  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e de 2,13 para  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ . O pH foi fixado em 11,5 pois este se mostrou o mais adequado para a separa o. A partir destes valores foram calculadas fra es de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  a serem utilizadas para se determinar o



ponto em que não ocorresse a quebra da emulsão. Os valores podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  utilizados para determinação da menor massa (g) em que ocorre quebra de emulsão óleo-água

Ensaio	Frações	pH	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -(g)	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ -(g)
1	1/1	11,5	1,19	2,13
2	1/3	11,5	0,40	0,72
3	1/4	11,5	0,30	0,53
4	1/10	11,5	0,12	0,21
5	1/15	11,5	0,08	0,14
6	1/20	11,5	0,06	0,11
7	1/30	11,5	0,04	0,07
8	1/40	11,5	0,03	0,05
9	1/50	11,5	0,02	0,04

Fonte: Autoria própria.

\* As frações são divisões dos valores de massa do ensaio 1 da Tabela 3

Para este procedimento se utilizou 100 mL de fluido de corte degradado dispostos em béquer. Em seguida foram adicionados aos béqueres as quantidades dos reagentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  previamente pesadas (Tabela 3). A solução foi homogeneizada utilizando um agitador magnético e o pH foi ajustado em 11,5 utilizando NaOH em solução de 3 mol para subir o pH ao valor indicado e/ou HCL na solução de 3 mol para baixar o pH quando necessário, estes reagentes eram adicionados gota a gota até o valor necessário de pH.

Neste procedimento as amostras ficaram em repouso durante 60 minutos após a homogeneização. Transcorrido este tempo, o sobrenadante de cada béquer foi submetido a filtração em papel filtro comum para retirada de sólidos particulados. Na sequência a fase aquosa obtida após a filtração foi submetida a diluição na proporção 1:10 em água destilada para que fosse possível a realização de leitura da absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm para determinação do nível de clarificação, utilizando equipamento de espectrofotometria da marca BIOCHROM série LIBRA S60.

Após este processo, os dados de clarificação coletados pela leitura de absorciometria serão analisados para tomada de decisão de quais serão os próximos valores a serem utilizados no novo planejamento fatorial para realizar a Etapa 3.

#### 4.4 Etapa 3 – Planejamento e otimização dos valores de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e pH com uso do DCCR

Na Tabela 4 são apresentados os níveis codificados do pH e os valores em porcentagem de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e massa em gramas de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  referente ao novo ensaio de quebra de emulsão óleo-água. Os valores definidos para o próximo fatorial foram calculados com base nos resultados dos ensaios 4 a 9 da Tabela 3. O motivo de usar estes valores é que as amostras 2 e 3 eram muito próximas do valor base e foram descartadas, e a partir da diluição de 1:50 houve um ponto de inflexão e perda de eficiência na separação. Os valores de pH avaliados variaram de 8 a 12,5.

Tabela 4. Níveis codificados do pH e os valores em porcentagem (%) e massa (g) de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  utilizados nos ensaios da Etapa 3

Níveis Codificados	pH	$\text{Ca}^{2+}$ (%)	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (g)	$\text{Mg}^{2+}$ (%)	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (g)
1,68	12,5	0,020	0,12	0,020	0,21
1	11,59	0,017	0,10	0,017	0,18
0	10,25	0,012	0,07	0,012	0,13
-1	8,91	0,007	0,04	0,007	0,08
-1,68	8	0,004	0,02	0,004	0,04

Fonte: Autoria própria

A partir dos dados codificados apresentados na Tabela 4 foi construído o planejamento fatorial (Tabela 5) com 18 ensaios, tendo quatro repetições no ponto central.

Tabela 5. Planejamento fatorial dos ensaios referentes a Etapa 3

Ensaio	Valores Codificados			Ca <sup>2+</sup>		Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		Mg <sup>2+</sup>		Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	pH	%	(g)	%	(g)			
1	-1	-1	-1	8,91	0,007	0,04	0,007	0,08			
2	1	-1	-1	11,60	0,007	0,04	0,007	0,08			
3	-1	1	-1	8,91	0,017	0,10	0,007	0,08			
4	1	1	-1	11,60	0,017	0,10	0,007	0,08			
5	-1	-1	1	8,91	0,007	0,04	0,017	0,18			
6	1	-1	1	11,60	0,007	0,04	0,017	0,18			
7	-1	1	1	8,91	0,017	0,10	0,017	0,18			
8	1	1	1	11,60	0,017	0,10	0,017	0,18			
9	-1,68	0	0	8,00	0,012	0,07	0,012	0,13			
10	1,68	0	0	12,5	0,012	0,07	0,012	0,13			
11	0	-1,68	0	10,25	0,004	0,02	0,012	0,13			
12	0	1,68	0	10,25	0,020	0,12	0,012	0,13			
13	0	0	-1,68	10,25	0,012	0,07	0,004	0,04			
14	0	0	1,68	10,25	0,012	0,07	0,020	0,21			
15	0	0	0	10,25	0,012	0,07	0,012	0,13			
16	0	0	0	10,25	0,012	0,07	0,012	0,13			
17	0	0	0	10,25	0,012	0,07	0,012	0,13			
18	0	0	0	10,25	0,012	0,07	0,012	0,13			

Fonte: Autoria própria

Com base nos dados da Tabela 5, foi realizada nova sequência de experimentos seguindo os mesmos procedimentos descritos na Etapa 1. Porém nesta etapa, foi sorteado qual seria a ordem de diluição de cada béquer, tornando assim o ensaio aleatorizado. Nesta Etapa, além da leitura da absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm também foi determinado a Demanda Química de Oxigênio (DQO) dos ensaios seguindo o procedimento descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

#### 4.5 Etapa 4 – Validação do modelo de quebra de emulsão óleo-água

Baseado na análise da superfície de resposta obtida após a realização da Etapa 3, foram realizados novos ensaios para validação do modelo obtido. Nesta etapa foram utilizados os valores de melhor resultado para cada uma das variáveis testadas na quebra da emulsão, pH,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , considerando os valores mínimos e máximos de cada reagente. Pensando na questão de economia para a indústria, ter mais opções no momento da tomada de decisão para realizar nova formulação dependendo dos resultados de clarificação de valores apresentados. As quantidades de reagentes são apresentadas na Tabela 6 com as variações mínimas e máximas em suas combinações.

Tabela 6. Valores de pH,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para validação do modelo obtido

Ensaio	pH	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
1	12,5	0,02	0,21
2	12,5	0,02	0,04
3	12,5	0,12	0,21
4	12,5	0,12	0,04

Fonte: Autoria própria

As amostras foram preparadas seguindo os procedimentos descritos na Etapa 1 e a análise da fase aquosa foi semelhante à realizada na Etapa 3 com a leitura da absorciometria óptica e a determinação da fração orgânica.

#### 4.6 Etapa 5 – Formulação de novas emulsões de fluido de corte utilizando a água recuperada da quebra das emulsões do fluido de corte degradado

A Tabela 7 apresenta os valores dos reagentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para diluição na quebra de emulsão de 1.000 mL de fluido de corte degradado, para aquisição da fase aquosa que será utilizada para nova formulação.

Tabela 7. Valores de pH, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em gramas para 1.000 mL de efluente

Amostras	pH	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Quantidade	
1	12,5	0,20	0,40	min	min
2	12,5	1,20	2,10	max	max

Fonte: Autoria própria

Esta etapa foi realizada para aquisição do montante da fase aquosa necessária para formulações das emulsões a serem testadas posteriormente e para isso, foram seguidos os procedimentos conforme descrito:

Para cada uma das duas amostras foram utilizados 1.000 mL de fluido de corte degradado dispostos em béqueres. Em seguida foram adicionados a eles as quantidades dos reagentes Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> previamente pesadas (Tabela 7). A solução foi homogeneizada utilizando um agitador magnético e o pH foi ajustado aos valores codificados utilizando NaOH e/ou HCL.

O conjunto experimental permaneceu em repouso durante 48 horas para que a reação de quebra da emulsão ocorresse. Transcorrido este período, o sobrenadante de cada béquer foi submetido a filtração em papel filtro para retirada de sólidos particulados. Após a filtração se utilizou 200mL da fase aquosa de cada uma das amostras para formulação de novo fluido de corte.

Foram formuladas duas novas emulsões utilizando 100% de água retirada do processo de separação, e uma formulação emulsionada com água de abastecimento público, em uma proporção de 93% de água e 7% de óleo para fluido de corte, diluindo Óleo em Água (O/A). Os 7% de concentração de óleo atende sem restrição os ensaios de desgaste que os fluidos de corte irão passar, pois se trata de um processo simples de desgaste na área de atrito entre o corpo de provas e a ferramenta utilizada, para ensaio de lubrificação e refrigeração do fluido de corte testado. A porcentagem de óleo foi medida utilizando-se refratômetro portátil analógico R-5000.

O óleo utilizado e classificado como de base mineral, semi-sintético, para formular as novas emulsões, foi doado pela mesma indústria que disponibilizou o fluido de corte degradado. O pH das amostras foi ajustado para 7,3 utilizando ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), pois este ácido evita que micro particulados que ainda podem fazer parte da fase aquosa após a filtração se solidifiquem durante a estabilização das emulsões com água de reuso.

#### **4.7 Etapa 6 – Ensaios de desgaste do tipo *Reichert Test***

Os ensaios de desgaste foram realizados utilizando máquina simuladora de desgaste do tipo *Reichert Test*, que tem como função a simulação de atrito e desgaste sob condições controladas. Estes ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia Mecânica da UTFPR do Câmpus Cornélio Procópio.

No tanque reservatório da máquina que executará o desgaste, colocou-se aproximadamente 50 mL de fluido de corte para ser testado. O corpo de provas foi fixado no dispositivo na máquina de modo que quando o equipamento for acionado o fluido passe pela região onde estará acontecendo o atrito. Como ferramenta de atrito foi utilizado uma capa de rolamento, com diâmetro de 50mm previamente fixada, para o corpo de provas foi utilizado aço SAE 1020 com diâmetro de 12mm e comprimento de 25mm. A máquina quando ligada rotacional o anel ferramenta em uma rotação controlada de 350 rpm/min. Dois termopares são fixados para coletar as temperaturas da operação, um termopar no corpo de provas e outro no fluido que está em teste. Conectados aos termopares está o software LabVIEW em interface com uma placa de comunicação (NIDAQ1860f2) que por sua vez está ligada ao computador com o software instalado pronto para colher dados de variação de temperatura nos dois pontos dos termopares, simultaneamente.

Em cada um dos três corpos de prova utilizados foram realizados quatro desgastes de 90° graus de giro, para cada posicionamento, com tempo cronometrado de dois minutos de desgaste, e a coleta da temperatura via LabVIEW, somente no último minuto após estabilização da área de contato do desgaste, coletando os valores de temperatura a cada cinco segundos de intervalo.





A perda de massa foi medida comparando peso antes e depois do ensaio no corpo de provas, pois este parâmetro indica, segundo Gonçalves (2013), que quanto melhor for a capacidade de lubrificação do fluido teste, menor será a área da cratera e a perda de massa.

A rugosidade foi outro dado de análise metrológica colhida nos corpos de prova para a incorporação dos resultados dos ensaios de desgaste. A medição foi realizada com Rugosímetro Portátil Mitutoyo Sj-201.

Estes ensaios foram parâmetros para se analisar o desempenho dos fluidos de corte emulsionados com água de reuso, e comparado com fluido de corte com água de abastecimento público.






Segundo a ABNT NBR ISO 4287:2002 um processo onde a rugosidade da superfície apresenta parâmetro de classificação entre N4 a N6 é considerado uma superfície polida, conforme Figura 9.

Figura 9. Simbologia qualitativa, quantitativa e equivalência entre simbologias de rugosidade baseadas na ABNT NBR ISO 4287:2002 sobre rugosidade.

<b>Simbologia qualitativa</b>	
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Indica que a superfície deve permanecer bruta, sem acabamento, e as rebarbas devem ser eliminadas.
	Indica que a superfície deve ser desbastada. As estrias produzidas pela ferramenta podem ser percebidas pelo tato ou visão.
	Indica que a superfície deve ser alisada, apresentando dessa forma marcas pouco perceptíveis à visão.
	Indica que a superfície deve ser polida, e assim ficar lisa, brilhante, sem marcas visíveis.

<b>Simbologia Quantitativa</b>	
Classes de rugosidade	Desvio médio aritmético Ra (µm)
N 12	50
N 11	25
N 10	12,5
N 9	6,3
N 8	3,2
N 7	1,6
N 6	0,8
N 5	0,4
N 4	0,2
N 3	0,1
N 2	0,05
N 1	0,025

#### Equivalência entre simbologias

SÍMBOLO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL	SÍMBOLO INDICATIVO DE RUGOSIDADE
	
	de N 10 a N 12
	de N 7 a N 9
	de N 4 a N 6

Fonte: adaptado ABNT NBR ISO 4287:2002



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Etapa 1 – Ensaio preliminar para determinação dos valores de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e pH utilizando o DCCR.

A Tabela 8 apresenta os resultados das leituras de absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm das fases aquosas obtidas na Etapa 1.

Tabela 8. Leituras de absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm das fases aquosas obtidas na Etapa 1

Ensaio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (g)	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (g)	pH	Leitura 1		Leitura 3		Leitura 3	
				COMPRI- MIMENTO ONDA	COMPRI- MIMENTO ONDA	COMPRI- MIMENTO ONDA	COMPRI- MIMENTO ONDA		
				280 nm	500nm	280 nm	500nm	280 nm	500nm
1	1,19	2,13	7,41	7,03	1,22	7,61	1,50	8,32	1,55
2	1,19	2,13	11,58	2,38	0,00	2,50	0,00	2,67	0,00
3	4,62	2,13	7,41	6,39	0,68	8,72	1,85	8,30	1,24
4	4,62	2,13	11,58	3,54	0,00	3,41	0,00	3,72	0,00
5	1,19	8,26	7,41	9,33	1,03	9,41	1,31	10,27	1,53
6	1,19	8,26	11,58	3,79	0,00	3,44	0,00	3,92	0,00
7	4,62	8,26	7,41	7,72	0,44	10,23	1,54	10,73	1,68
8	4,62	8,26	11,58	4,68	0,00	4,41	0,00	4,91	0,00
9	2,90	5,19	6,00	11,45	1,68	11,09	1,65	12,10	1,95
10	2,90	5,19	13,00	3,76	0,00	3,71	0,00	4,15	0,05
11	0,00	5,19	9,50	12,32	2,27	11,84	2,22	12,84	2,22
12	5,90	5,19	9,50	9,29	1,44	12,58	2,23	12,80	2,29
13	2,90	0,00	9,50	9,53	1,93	11,00	2,42	4,67	0,51
14	2,90	10,55	9,50	5,31	0,00	8,71	1,21	5,65	0,00
15	2,90	5,19	9,50	9,60	1,81	11,39	2,35	12,86	2,36

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 8 pode-se observar que as amostras 2, 4, 6, 8 e 10 foram as que apresentam os menores valores de leitura indicando melhores resultados de clarificação.

Nas amostras indicadas independentemente das quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  utilizadas, o valor do pH variou entre 11,5 e 13. Quando se analisa o resultado das leituras das amostras destaca-se a amostra 2 por ser a que se utilizou menor proporção de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  1,19 g e  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  2,13 g de cada reagente em estudo.

A Tabela 9 apresenta os valores de leitura em espectrofotômetro do fluido de corte degradado utilizado nas análises dos experimentos, valores que

servem de base para calcular a quantidade de clarificação de cada ensaio após a leitura.

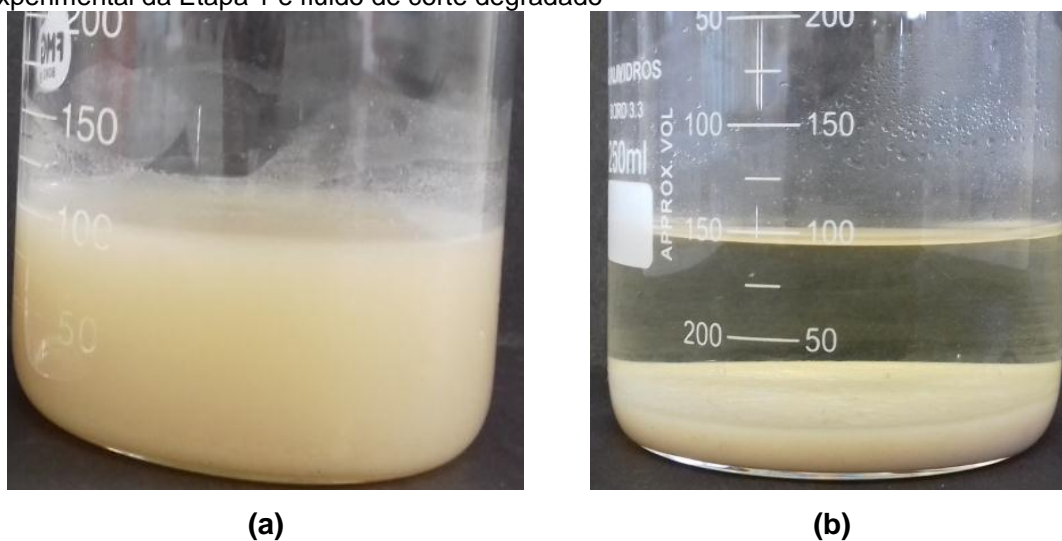
Tabela 9. Leitura do espectro do fluido de corte degradado

280 nm	500 nm
12,86	2,37

Fonte: Autoria própria

Na Figura 10 são apresentados os béqueres contendo a fase aquosa e o precipitado após as 48 horas de reação da amostra 2 (a) e o fluido de corte degradado (b), onde é possível verificar visualmente a clarificação desta amostra onde foi utilizado a menor quantidade de reagente  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  1,19 gramas e  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  2,13 gramas durante o experimento desta etapa.

Figura 10. Fase aquosa da amostra 2 após 48 horas da montagem do procedimento experimental da Etapa 1 e fluido de corte degradado



Legenda: (a) fluido de corte degradado; (b) Fase aquosa e precipitado da amostra 2.

Fonte: Autoria própria

Na Etapa 1, nos resultados de leitura de espectrofotometria foram aplicados testes de hipótese para verificar se os pressupostos da análise de variância (ANOVA) foram atendidos. Na Tabela 10, observa-se que: Para comprimento de onda 280nm: ao nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese nula dos testes: Shapiro-Wilk ( $p$ -valor $<$ 0,05) e falta de ajuste ( $p$ -valor $<$ 0,05).

Para comprimento de onda 500nm: ao nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese nula dos testes: Shapiro-Wilk ( $p$ -valor $<0,05$ ) e falta de ajuste ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Dessa forma, os resultados da leitura de espectrofotometria, analisados estatisticamente, não atenderam os pressupostos da ANOVA. E não atendendo os pressupostos, indica a necessidade da busca por outra forma de avaliação.

Tabela 10. Teste de hipótese para verificação de pressupostos da análise de variância

Comprimento onda	Teste	Hipótese Nula	Grau de Liberdade	Estatística do teste	$p$ -valor
280 nm	Shapiro - Wilk	Resíduo segue distribuição normal	---	0,910	0,002
	Falta de ajuste	Não há falta de ajuste	5	9,222	$2,126 \times 10^{-5}$
500 nm	Shapiro - Wilk	Resíduo segue distribuição normal	---	0,946	0,034
	Falta de ajuste	Não há falta de ajuste	5	5,192	0,002

Fonte: Autoria própria

Por não atender os pressupostos, as análises foram realizadas em blocos, pois foi possível controlar o efeito de ruído considerando o dia como um bloco. Então analisando os resultados do experimento em blocos e ao nível de 5% de significância observou-se que não existe efeito das interações, somente apontando para tendência no uso de pH alto com níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  baixos como os indicados no ensaio 2 da Tabela 8.

Este ensaio preliminar, apesar de ter apresentado resultado de tendência para valores altos de pH e baixos de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , não apresentou satisfatoriamente os resultados esperados, por ter utilizado concentrações elevadas de reagentes e possivelmente mantendo um platô, onde não se observa variações importantes no experimento.

Os resultados desta primeira etapa não foram satisfatórios, pois não se identificou interação quando se variavam os reagentes, a falta de ajuste e o não atendimento dos pressupostos da estatística indicam que se deve procurar outros valores dos reagentes para buscar os resultados esperados. Uma pista para ser seguida é o ensaio 2 da Tabela 8 que indica boa clarificação da fase aquosa.

## 5.2 Etapa 2 – Determinação da concentração mínima de massa de $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ com pH fixo em 11,5

Os resultados das leituras de absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm das fases aquosas obtida nos ensaios da Etapa 2 referentes aos experimentos para determinação da menor massa de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  em que ocorre a quebra de emulsão óleo-água com pH fixo em 11,5 pode ser visualizada na Tabela 11.

Tabela 11. Leituras de absorciometria óptica em 280 nm e 500 nm das fases aquosas nos ensaios da Etapa 2

<i>Ensaio</i>	<i>pH</i>	<i>Fração</i>	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -(g)	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ -(g)	280 nm	500 nm
1	11,5	1/1	1,19	2,13	2,81	0,13
2	11,5	1/3	0,40	0,72	2,22	0,25
3	11,5	1/4	0,30	0,53	2,05	0,15
4	11,5	1/10	0,12	0,21	2,26	0,24
5	11,5	1/15	0,08	0,14	2,41	0,31
6	11,5	1/20	0,06	0,11	2,38	0,38
7	11,5	1/30	0,04	0,07	2,54	0,61
8	11,5	1/40	0,03	0,05	2,56	0,56
9	11,5	1/50	0,02	0,04	2,95	1,05

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 11, utilizando o ensaio 1 como base para os outros resultados e onde este valor foi dividido até 50 vezes, conforme a coluna frações, pode-se observar que com a diminuição da quantidade de reagentes, os resultados de clarificação apresentaram tendência a valores baixos, demonstrando que existe eficiência na quebra da emulsão de fluido de corte degradado utilizando quantidades pequenas de reagentes.

### 5.3 Etapa 3 – Planejamento e otimização dos valores de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e pH com uso do DCCR.

Na Tabela 12 pode-se visualizar os resultados da Etapa 3 da pesquisa, com os valores de absorciometria em 280 e 500 nm e a porcentagem de clarificação em comparação ao fluido de corte degradado.

Tabela 12. Leituras de absorciometria óptica das amostras da Etapa 3 e a porcentagem de clarificação em 280 nm e 500 nm em comparação ao fluido de corte degradado.

Ensaio	Reagentes			Comprimento de onda		clarificação %	
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (g)	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (g)	pH	280 nm	500 nm	280 nm	500 nm
1	0,04	0,08	8,91	10,85	2,19	15,6	7,6
2	0,04	0,08	11,59	3,92	0,70	69,5	70,5
3	0,10	0,08	8,91	9,73	2,10	24,3	11,4
4	0,10	0,08	11,59	2,72	0,21	78,8	91,1
5	0,04	0,18	8,91	9,20	1,97	28,5	16,9
6	0,04	0,18	11,59	2,78	0,29	78,4	87,8
7	0,10	0,18	8,91	11,09	2,37	13,8	0,0
8	0,10	0,18	11,59	2,84	0,22	77,9	90,7
9	0,07	0,13	8,00	10,70	2,24	16,8	5,5
10	0,07	0,13	12,50	2,90	0,21	77,4	91,1
11	0,02	0,13	10,25	11,51	2,29	10,5	3,4
12	0,12	0,13	10,25	12,86	2,37	0,0	0,0
13	0,07	0,04	10,25	12,86	2,37	0,0	0,0
14	0,07	0,21	10,25	7,99	2,37	37,9	0,0
15	0,07	0,13	10,25	10,95	2,37	14,9	0,0
16	0,07	0,13	10,25	11,41	2,37	11,3	0,0
17	0,07	0,13	10,25	11,10	2,29	13,7	3,4
18	0,07	0,13	10,25	7,18	1,31	44,2	44,7
<b>bruto</b>				<b>12,86</b>	<b>2,37</b>		

Fonte: Autoria própria

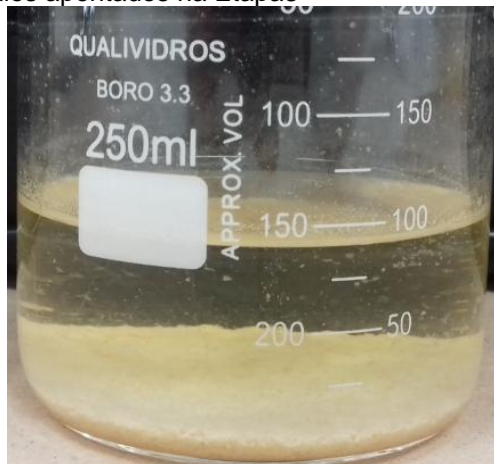
Analisando a Tabela 12 pode-se observar que os ensaios 2, 4, 6, 8 e 10 apresentaram os melhores resultados de clarificação e, todos os citados, apresentam valores de pH alto com valores baixos de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , valores estes em gramas, são indicados na mesma tabela. No ensaio 4 obteve-se clarificação que chegou a 78,8% em 280 nm e 91,1% em 500 nm. Os resultados apresentados confirmam a tendência de que com quantidades baixas de reagentes, combinado com valor elevado de pH, é possível quebrar a emulsão de fluido de corte degradado com eficiência.

Na Figura 11 é possível observar a parte aquosa dos melhores ensaios apontados na Tabela 12 e se verifica que todos os ensaios apresentados tiveram um nível de clarificação semelhante, assim também como a quantidade de particulados depositados ao fundo da parte aquosa.

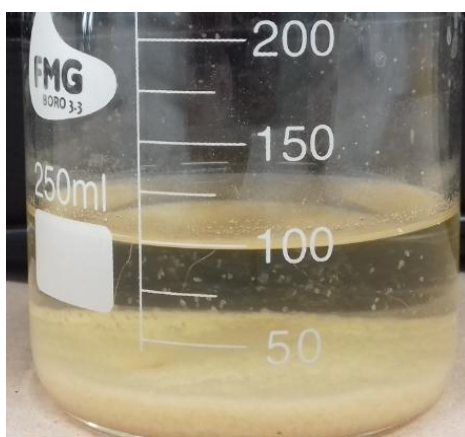
Figura 11. Fase aquosa dos melhores ensaios apontados na Etapa3.



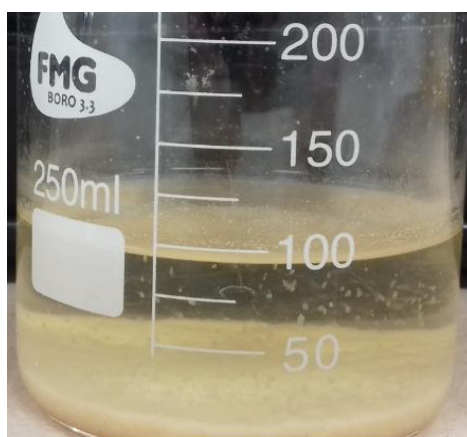
**Ensaio 2**



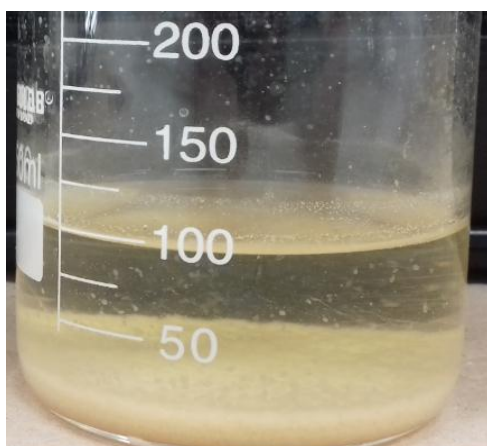
**Ensaio 4**



**Ensaio 6**



**Ensaio 8**



**Ensaio 10**

Fonte: Autoria própria

Os valores da Média da DQO da fase aquosa obtida na Etapa 3 estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Valores médios da DQO da fase aquosa obtida na Etapa 3.

Ensaio	DQO mg/L
1	2.190,0
2	2.718,0
3	4.243,0
4	2.993,0
5	4.118,0
6	2.968,0
7	*
8	2.843,0
9	4.105,0
10	2.668,0
11	4.793,0
12	4.018,0
13	4.568,0
14	3.193,0
15	4.343,0
16	4.093,0
17	4.393,0
18	3.530,0

Fonte: Autoria própria

\* A amostra 7 de DQO foi perdida na coleta, por este motivo não apresenta resultados neste ponto.

Na Tabela 13 visualiza-se que os ensaios com menor fração orgânica foram: 2, 4, 6, 8 e 10. Seguindo os mesmos caminhos da análise de espectrofotometria, a medição da DQO também evidencia que os melhores resultados foram os mesmos ensaios, onde a clarificação, apontou seus dados mais significativos. Mais uma vez demonstrando que valores baixos de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  com a combinação de pH alto fazem a diferença na quebra da emulsão de fluido de corte degradado.

A análise estatística como ferramenta de tomada de decisão é de fundamental importância quando se trabalham diversas variáveis, pois possibilita visualizar o estudo de uma maneira ampla e otimizada, facilitando assim a tomada de decisão necessária. A capacidade de demonstrar graficamente, o comportamento de cada uma das variáveis participantes do

processo, e a interação destas variáveis, possibilita o acerto na tomada de decisão.

Na busca de um modelo para atender e direcionar a pesquisa, a análise estatística levou em consideração trabalhar os 3 fatores que participam da reação química de maneira a indicar a função de cada um destes agentes durante a aplicação no processo de separação do efluente. Estes fatores são descritos na análise por X1 (pH), X2 (Ca<sup>2+</sup>) e X3 (Mg<sup>2+</sup>).

Levando-se em consideração a análise de um modelo completo (Equação 1) o efeito apresentado é somente de X1 (pH) linear e quadrático mas neste caso o modelo não apresenta interação entre X2 (Ca<sup>2+</sup>) e X3 (Mg<sup>2+</sup>).

#### Modelo completo

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \varepsilon \quad (\text{Equação 1})$$

Em que  $y$  é a variável resposta,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$  e  $\beta_{33}$  são coeficientes de regressão,  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$  são os coeficientes de interação,  $\varepsilon$  é o erro aleatório. Por meio da ANOVA, observou-se que não existe efeito de interação. Por essa razão, consideram-se somente os efeitos principais. Foi necessária então, a busca por um modelo que se ajustasse a necessidade do estudo, e o que foi proposto é o modelo na forma reduzida (Equação 2) sem efeito de interação e que analisa somente os efeitos principais e apresentam curvas mais lineares.

#### Modelo reduzido

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \varepsilon \quad (\text{Equação 2})$$

Em que  $y$  é a variável resposta,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$  e  $\beta_{33}$  são coeficientes de regressão,  $\varepsilon$  é o erro aleatório. Considerando X1 (pH), X2 (Ca<sup>2+</sup>) e X3 (Mg<sup>2+</sup>), por meio dos testes, observou-se que o modelo atende todos os pressupostos da ANOVA e não apresenta problema de falta de ajuste. Os testes de pressupostos considerando os 3 fatores apresentam distribuição normal, de homogeneidade de variância, por estes motivos o modelo estudado atende aos requisitos necessários.

As Figuras 12 e 13 são o produto da análise estatística, do modelo reduzido, apresentada em forma de superfície de resposta.

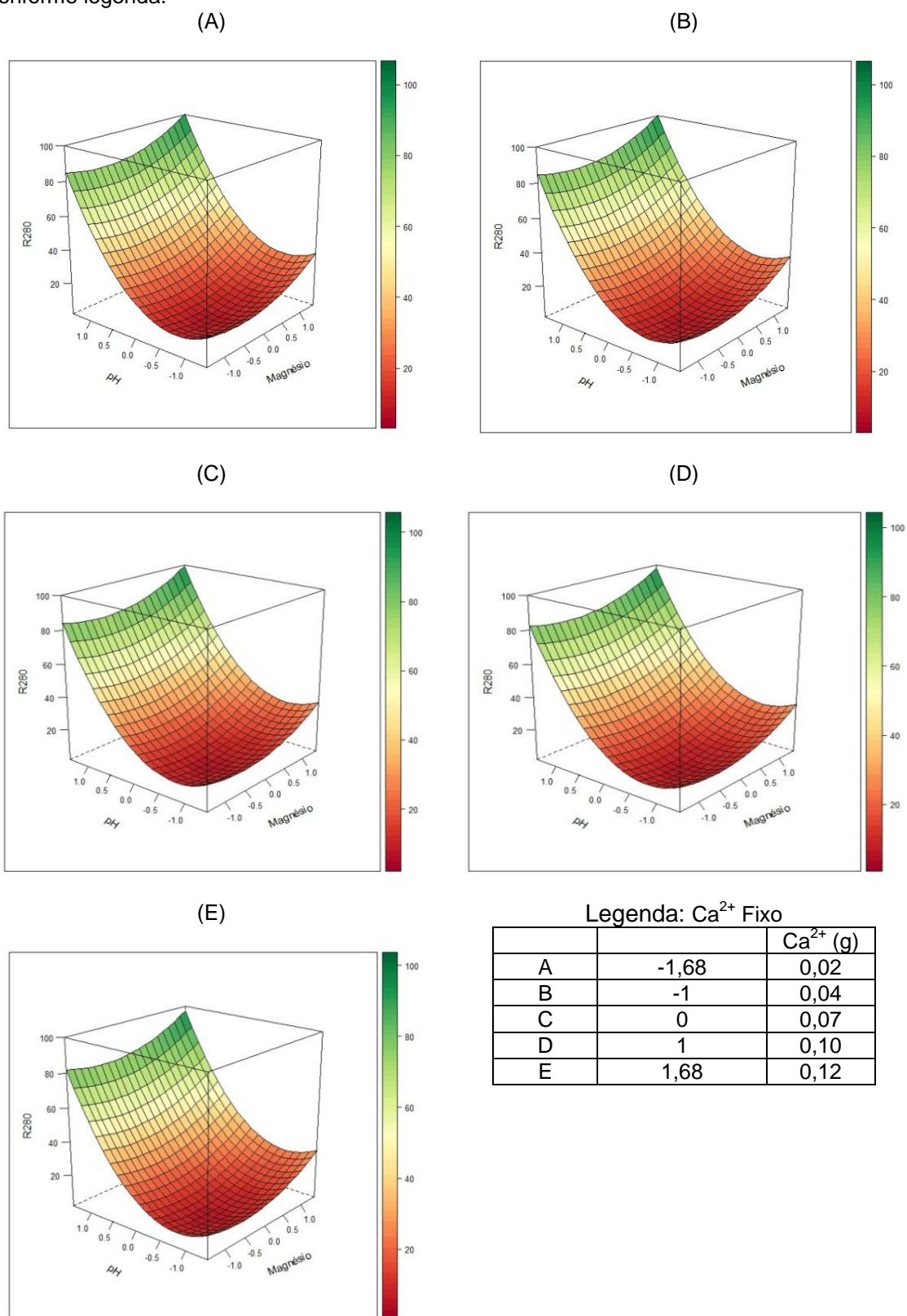
Na Figura 12 que é a medição em 280 nm do espectrofotometro, apresentada em forma crescente de A a E, as superfícies de resposta



demonstram que a quantidade utilizada de  $Mg^{2+}$  influencia no resultado de clarificação, pois é possível observar que no eixo denominado Magnésio, do -1 para o 1, considerando o -1, o menor valor do reagente e 1 o maior valor, a cor em verde da superfície é o melhor resultado de clarificação, assim também acontece com o pH, que em seus maiores níveis, ou seja pH 12,5 apresentam melhores resultados de clarificação. Com relação ao  $Ca^{2+}$ , que nesta figura está fixo, e varia de A até E, apresentando níveis máximos em E, este reagente não influencia no resultado de clarificação, permitindo assim, utilizar qualquer um dos valores do reagente  $Ca^{2+}$ , apontados na legenda.

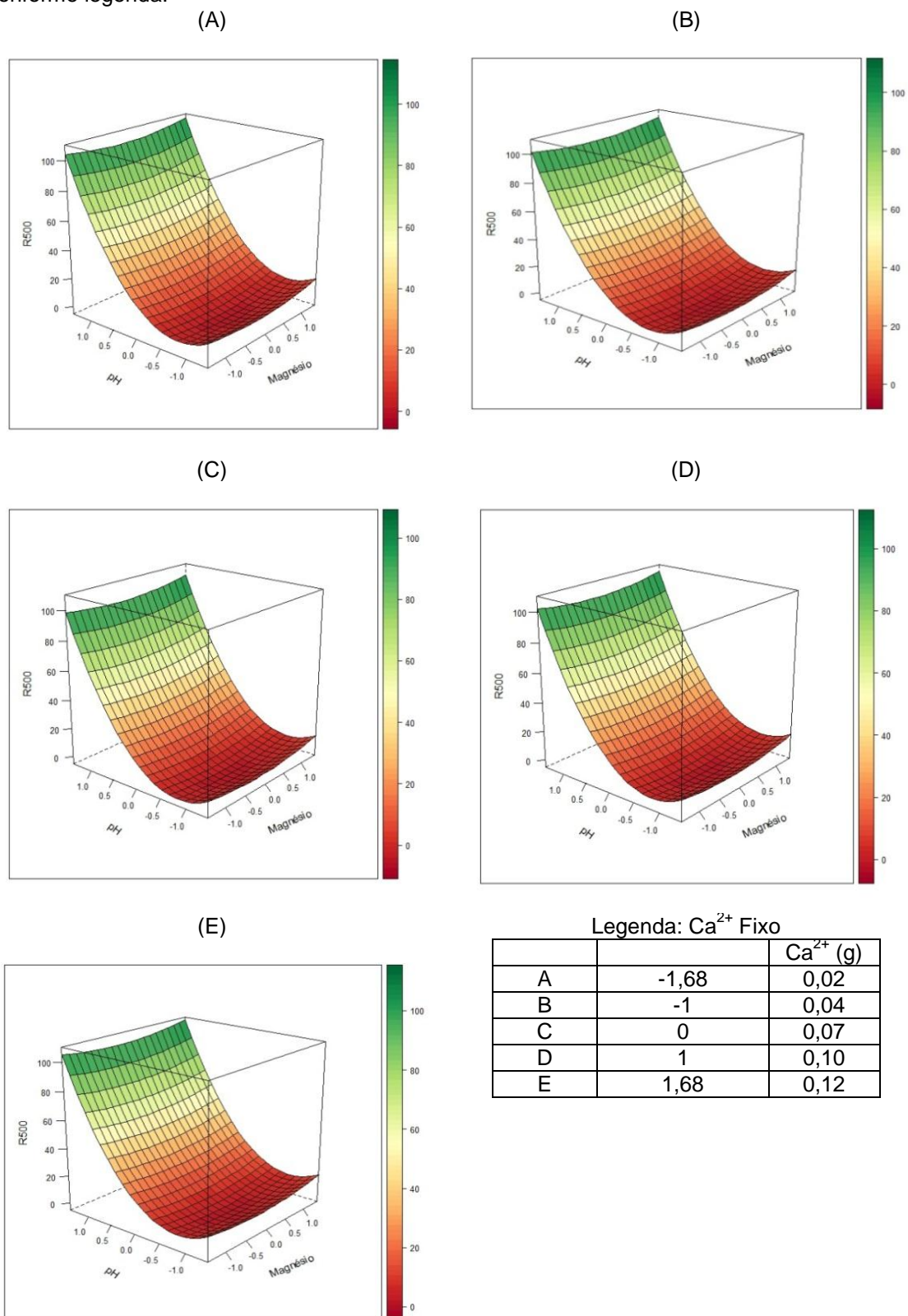
Na Figura 13 que é a medição em 500 nm do espectrofotometro, também apresentada em forma crescente de A a E, as superfícies de resposta demonstram que a quantidade utilizada de  $Mg^{2+}$  não influencia no resultado de clarificação, pois é possível observar que no eixo denominado Magnésio, do -1 para o 1, considerando o -1, o menor valor do reagente e 1 o maior valor, a cor em verde da superfície, que apresenta os resultados de clarificação, não variou, mantendo quase uma reta. Já o pH, em seus maiores níveis, ou seja pH 12,5 apresentam melhores resultados de clarificação. Com relação ao  $Ca^{2+}$ , que nesta figura está fixo, e varia de A até E, apresentando níveis máximos em E, este reagente também não influencia no resultado de clarificação, permitindo assim, utilizar qualquer um dos valores do reagente  $Ca^{2+}$ , apontados na legenda.

Figura 12. Superfície de resposta referente a leitura em 280 nm com variável  $\text{Ca}^{2+}$  fixo conforme legenda.



Fonte: Autoria própria

Figura 13. Superfície de resposta referente a leitura em 500 nm com variável  $\text{Ca}^{2+}$  fixo conforme legenda.



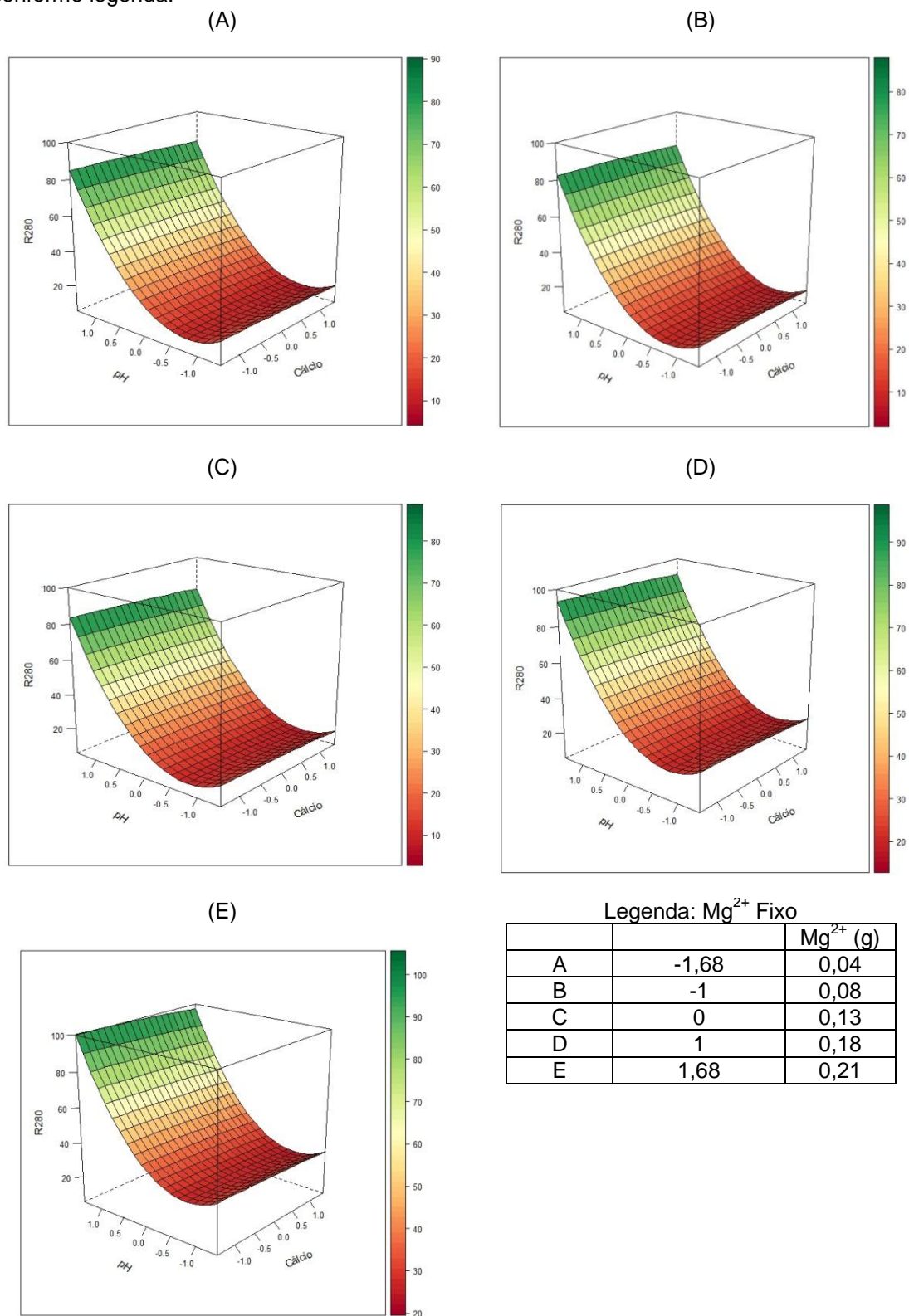
Fonte: Autoria própria

As Figuras 14 e 15 são referentes aos resultados das superfícies de resposta obtidas fixando o valor de  $Mg^{2+}$  em 280 nm e 500 nm respectivamente.

Analisando a Figura 14 na leitura em 280nm é possível verificar no eixo do reagente Cálcio, considerando que em -1,0 é o menor valor do reagente e o 1,0 o maior valor, os resultados de clarificação não alteram a superfície de resposta, mantendo uma forma de reta onde a cor verde predomina na parte superior da superfície. Já o reagente  $Mg^{2+}$ , que está em sua menor quantidade na letra A e maior quantidade em E, demonstra que a variação deste reagente melhora o resultado de clarificação, pois no eixo R280, quanto maior o valor deste reagente, mais próximo de 100% ele fica. Quanto ao pH, em seu maior nível, pH 12,5, apresenta melhores resultados, levando novamente em consideração o eixo pH onde -1,0 é o menor nível e o 1,0 maior.

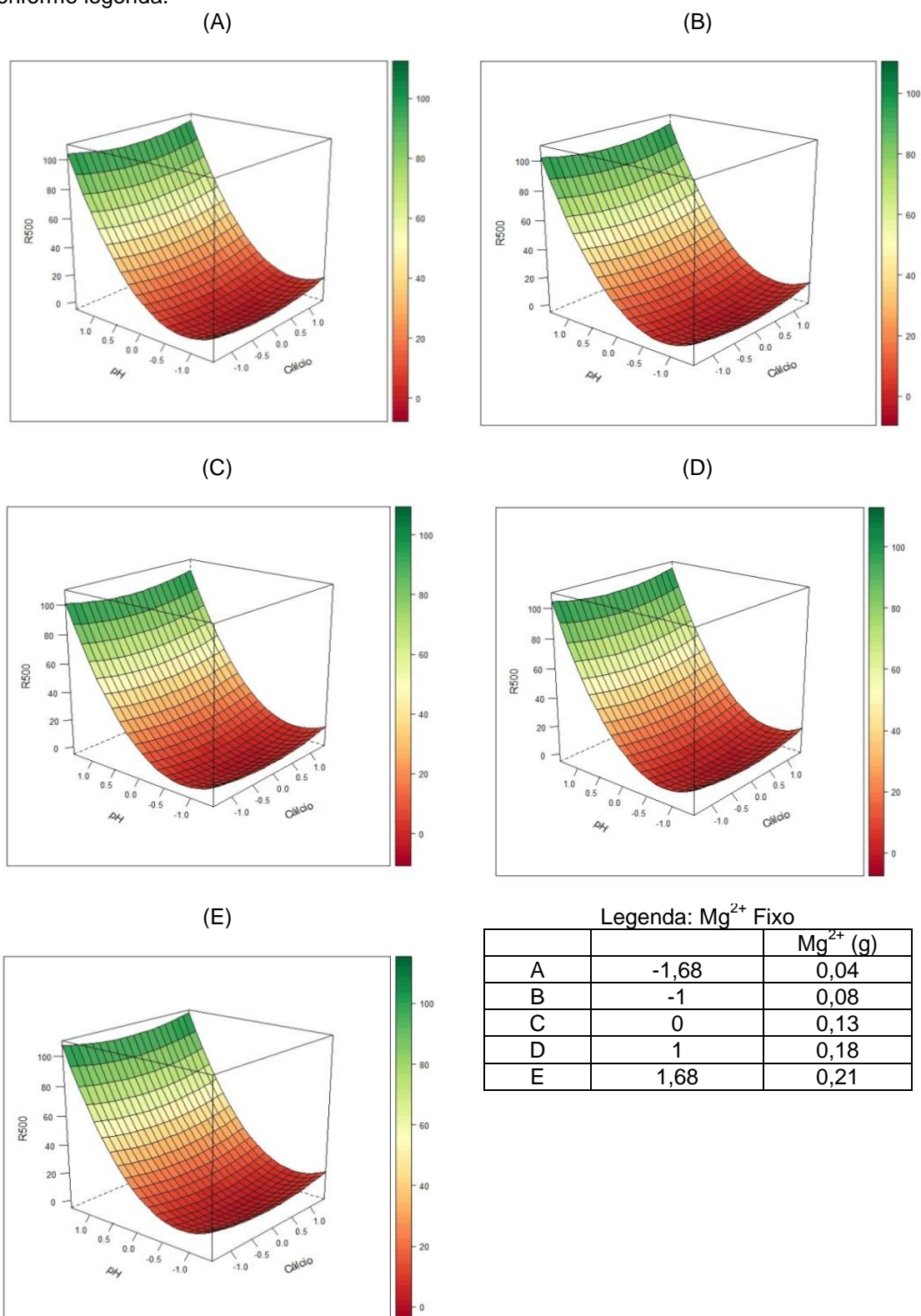
Analisando a Figura 15 na leitura em 500nm é possível verificar que o  $Mg^{2+}$  e o  $Ca^{2+}$  em qualquer uma de suas concentrações propostas desta etapa não influencia nos resultados, podendo ser usado qualquer um dos valores definidos na Tabela 4, com o pH em 12,5 .

Figura 14. Superfície de resposta referente a leitura em 280 nm com variável  $Mg^{2+}$  fixo conforme legenda.



Fonte: Autoria própria

Figura 15. Superfície de resposta referente a leitura em 280 nm com variável  $Mg^{2+}$  fixo conforme legenda.



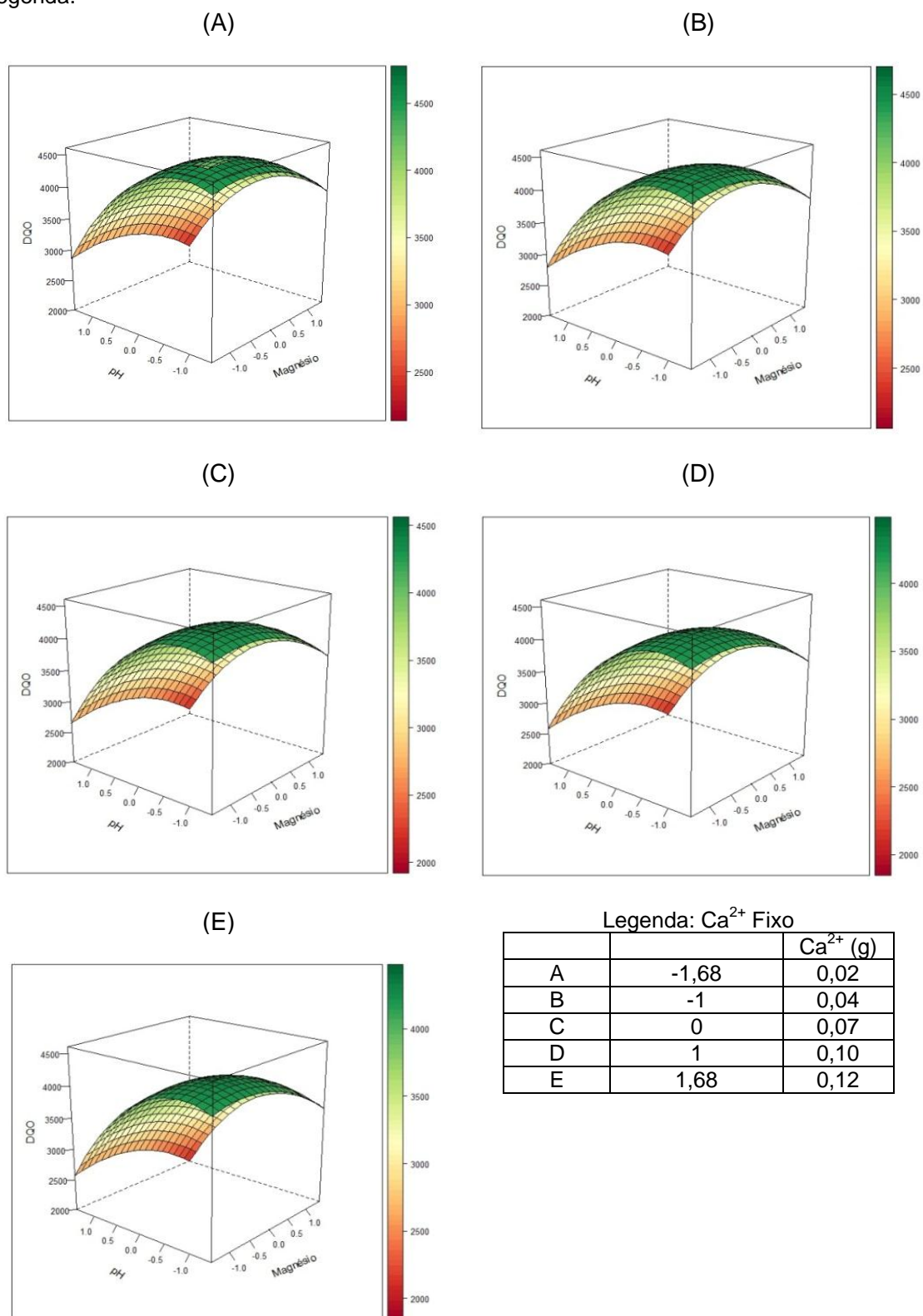
Fonte: Autoria própria



As Figuras 16 e 17 são referentes aos resultados das superfícies de resposta dos dados de DQO em função das variações dos parâmetros pH,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

Ao analisar as Figuras 16 e 17 relacionados à DQO é possível visualizar que valores altos de todos os reagentes envolvidos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e pH diminuem fração orgânica. Para se verificar esta afirmação, devemos ver na Figura 16, que no eixo Magnésio, levando em consideração o -1,0 sendo o menor valor do reagente, e 1,0 o maior valor, todas as demonstrações de A a E indicam que  $\text{Mg}^{2+}$  alto apresenta um valor menor da fração orgânica obtida. O ponto a ser analisado na superfície é onde a cor vermelha predomina. O pH seguindo o mesmo conceito no eixo, onde -1,0 é o menor nível e 1,0 o maior nível, verifica-se que em seu maior nível, o resultado é menor fração orgânica. Acontece a mesma coisa com o reagente  $\text{Ca}^{2+}$ , que em A tem seu menor valor e em E seu maior valor, onde se obteve menor fração orgânica. As mesmas informações se repetem na Figura 17, somente com a informação nas demonstrações entre A e E do eixo Cálcio ficar exposto para visualização, enquanto o  $\text{Mg}^{2+}$  é fixo no valor da legenda em cada uma das demonstrações apresentadas na figura.

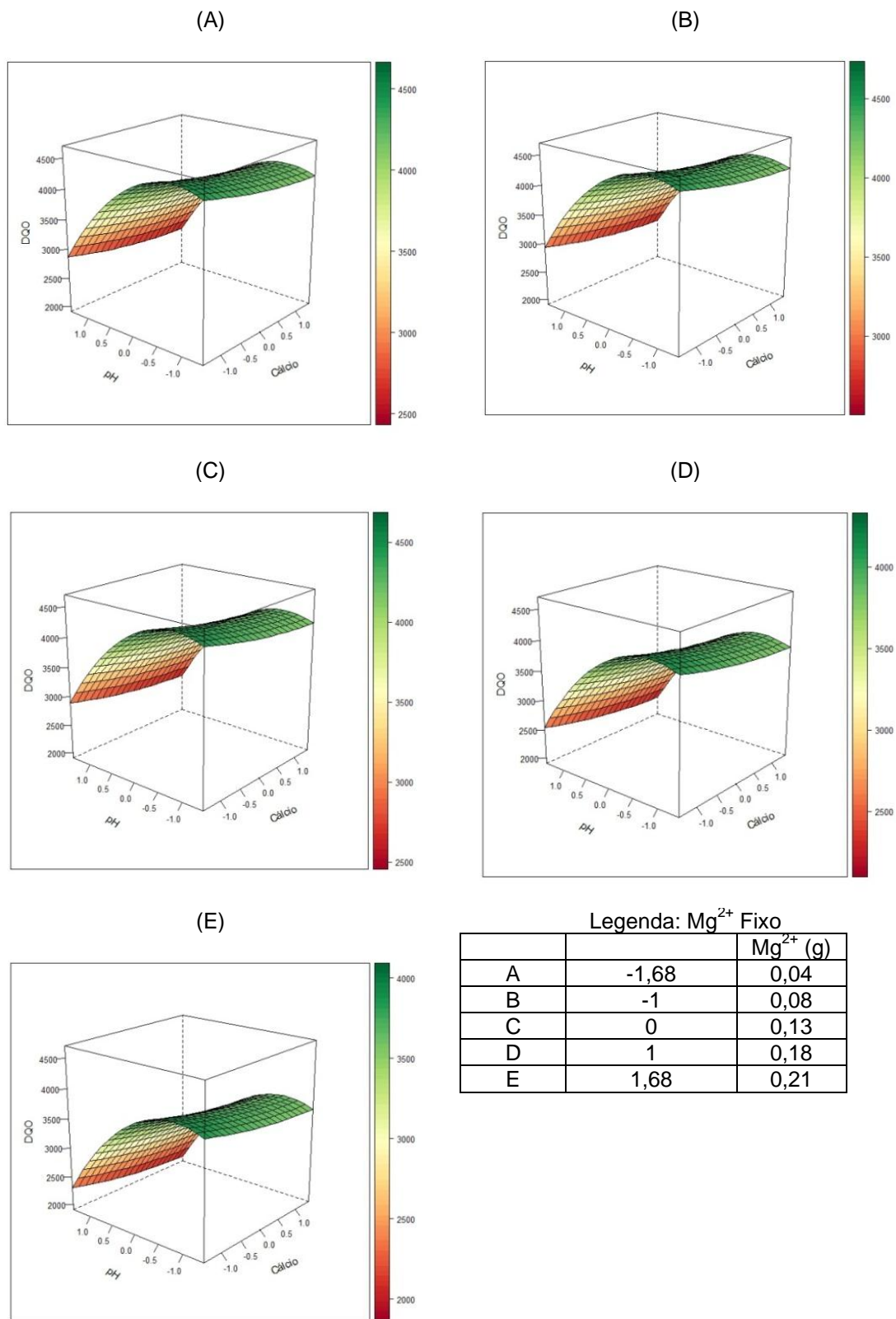
Figura 16. Superfície de resposta referente a fração orgânica com a variável  $\text{Ca}^{2+}$  fixo conforme legenda.



Fonte: Autoria própria



Figura 17. Superfície de resposta referente a fração orgânica com a variável  $Mg^{2+}$  fixo conforme legenda.



Fonte: Autoria própria

#### 5.4 Etapa 4 – Validação do modelo de quebra de emulsão óleo-água

Esta etapa foi necessária para se avaliarem quais dos ensaios iriam passar para próxima etapa, onde a fase aquosa seria utilizada para nova emulsão de fluido de corte com água 100% de reuso. Na Tabela 14 estão os resultados das análises de espectrofotometria e DQO para tomada de decisão.

Tabela 14. Ensaios referentes a tomada de decisão de quais concentrações serão utilizadas para validação do experimento.

Ensaio	Média Absorbância		Média DQO (mg/L)	Eficiência Remoção da fração orgânica (%)
	280 nm	500 nm		
1	2,73	0,03	2925,8	19,8
2	2,72	0,06	2821,7	22,7
3	2,60	0,04	2780,0	23,8
4	2,69	0,05	2913,3	20,2
Bruto			3650,0	

Fonte: Autoria própria

Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 14 notou-se que os valores obtidos estavam próximos, por este motivo tomou-se a decisão de que, trabalhar nos limites dos valores dos reagentes testados nesta etapa (mínimo – mínimo e máximo – máximo, ensaios 2 e 3 da Tabela 14) seria um caminho assertivo para testar a estabilidade da emulsão e ainda avaliar o custo do processo, analisando a viabilidade de cada ensaio para a separação da fase aquosa.

A Tabela 15 apresenta as duas amostras escolhidas após a tomada de decisão, onde os ensaios 2 e 3 da Tabela 14 foram escolhidos como sendo os melhores resultados, se tornando a partir de agora os ensaios 1 e 2 da Tabela 15, que serão utilizados os valores de concentrações descritas nesta tabela para fazer a quebra da emulsão, utilizando a fase aquosa do processo para emulsionar novo fluido de corte com a água 100% de reuso.

Tabela 15. Concentrações dos reagentes (g)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  e pH utilizados para as emulsões de validação proporcional a 100 mL de fluido de corte degradado

Ensaio	pH	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	Quantidade	
1	12,5	0,02	0,04	min	min
2	12,5	0,12	0,21	max	max

Fonte: Autoria própria

### 5.5 Etapa 5 – Formulação de novas emulsões de fluido de corte utilizando a água recuperada da quebra das emulsões do fluido de corte degradado

A Figura 18 apresenta a fase aquosa antes e depois da filtração, onde é possível observar que, após este processo, a quantidade de precipitado, que é caracterizado como lodo, representa de 15 e 20% do volume total. Este resíduo do processo de quebra de emulsão, não será utilizado junto a fase aquosa, devendo ter como destino o envio para empresas credenciadas que recolhem fluido de corte degradado para destinação final.

Figura 18. Fase aquosa antes e depois da filtração das amostras obtidas na Etapa 5

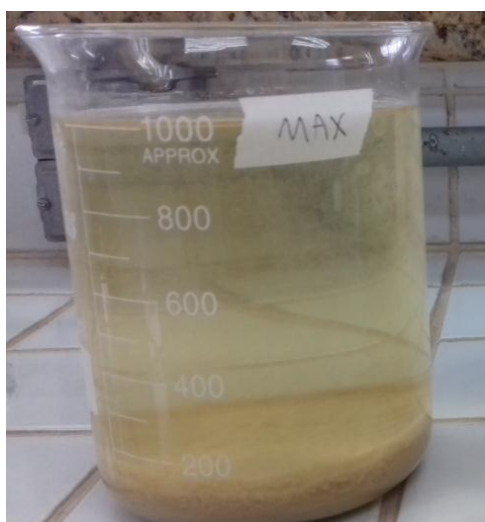
\*Ensaio 1 antes da filtração



\*Ensaio 1 após filtração



\*\*Ensaio 2 antes da filtração



\*\*Ensaio 2 após filtração

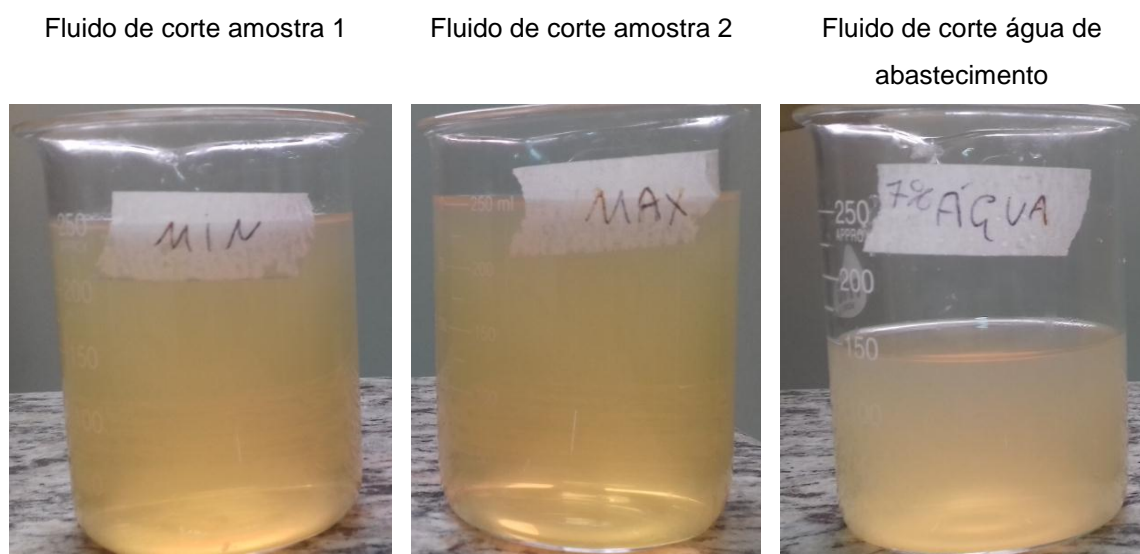


\*Ensaio 1 – Valores de reagentes descritos na Tabela 15. \*\* Ensaio 2 – Valores de reagentes descritos na tabela 15

Fonte: Autoria própria

Na sequência a Figura 19 apresenta as duas novas formulações com utilização de 100% de água de reuso e uma formulação com água de abastecimento público, todas com porcentagem de 7% de óleo de corte e o pH corrigido para 7,3 utilizando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Esta correção de pH é necessária devido a fase aquosa do processo estar com valores aproximados de pH 11,5 e para se adequar com os valores utilizados nas emulsões da indústria .

Figura 19. Duas novas formulações de fluido de corte utilizando 100% de água de reuso e uma formulação com água de abastecimento público



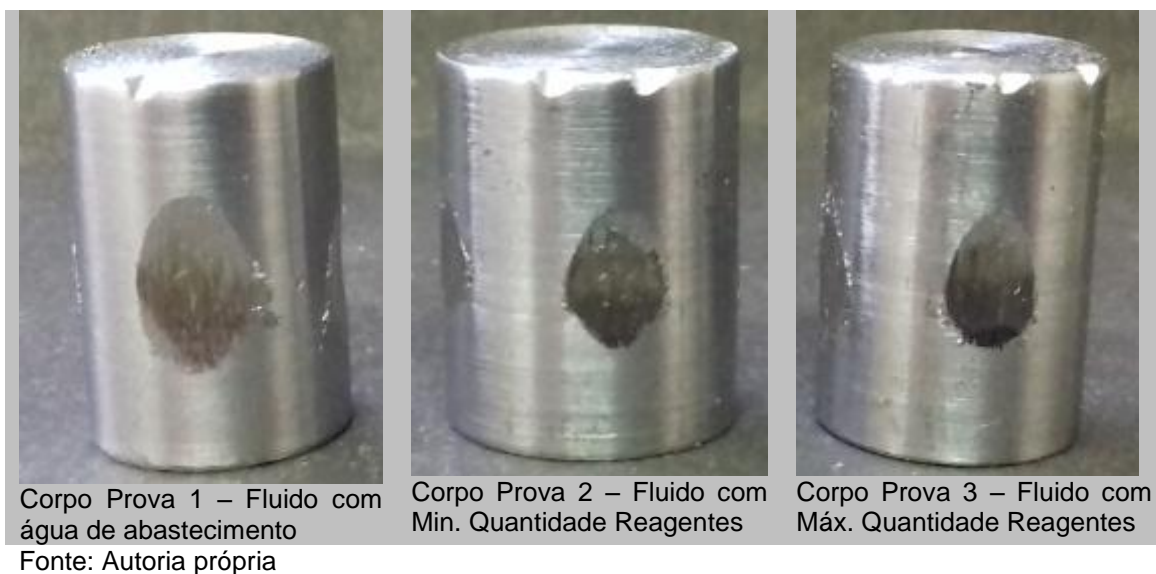
Fonte: Autoria própria

Após a preparação das emulsões apresentadas na Figura 19, elas ficaram por um período de 48 horas em observação para verificar se a estabilidade se manteria. Após este período, com a estabilidade mantida, ou seja, sem a separação natural do óleo e da água, foram realizados os ensaios de desgaste da etapa seguinte.

### 5.6 Etapa 6 – Ensaios de desgaste do tipo *Reichert Test*

A Figura 20 apresenta os corpos de prova utilizados nos ensaios do *Reichert Test* após os ensaios serem executados.

Figura 20. Corpos de prova ensaiados com desgaste em *Reichert Test*



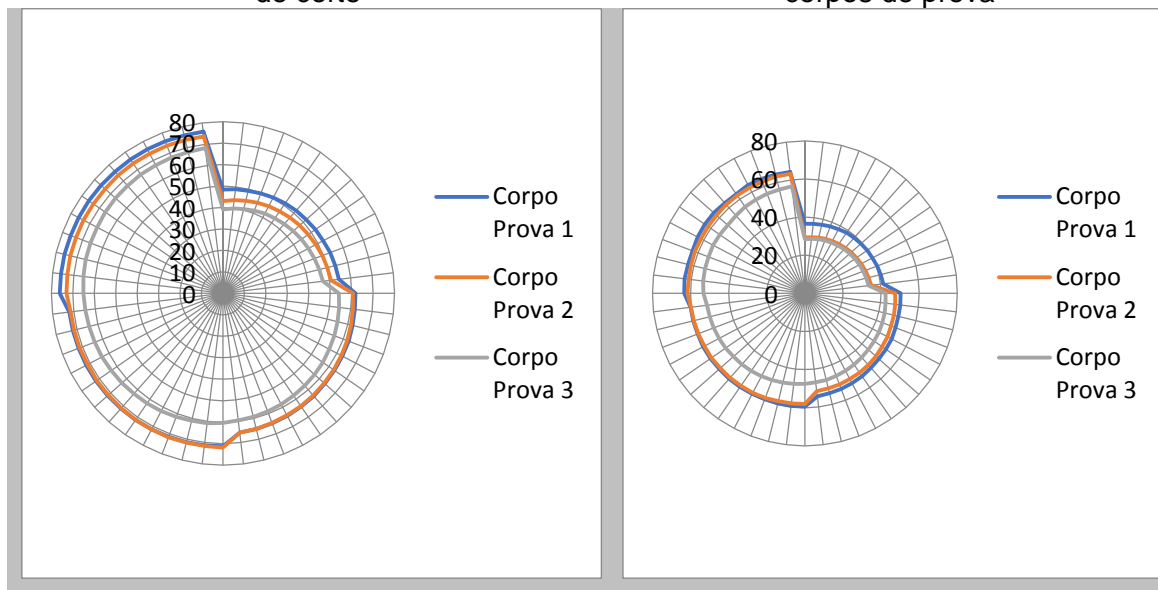
A Figura 20 mostra as elipses formadas após os ensaios de desgaste de cada um dos corpos de prova utilizados. A formação da elipse indica que, durante o ensaio de desgaste, houve contato direto e constante entre o corpo de provas e o anel utilizado para exercer a função de ferramenta de desgaste. Os fluidos testados participaram do ensaio passando pela interface entre o corpo de prova e o anel de desgaste durante o movimento de rotação.

Na Figura 21 os gráficos de modelo radar mostram a trajetória das temperaturas no fluido de corte durante os ensaios de desgaste e a trajetória das temperaturas do corpo de prova durante os ensaios. As trajetórias percorridas durante o tempo de ensaio de cada um dos corpos de prova demonstram que os comportamentos dos fluidos de corte não apresentam diferenças entre eles. É possível afirmar que o fluido de corte com água de abastecimento público e os fluidos com água 100% de reuso, no quesito temperatura apresentam comportamento semelhantes. Nesta análise de temperatura os fluidos com 100% de água de reuso são comparados apenas ao fluido com água de abastecimento público, pois este é uma formulação utilizada pela indústria de transformação, servindo assim como parâmetro de comparação para os fluidos novos com água de reuso testados.

Figura 21. Gráficos de comparação do comportamento das temperaturas durante ensaios de desgaste

Comportamento da temperatura nos fluidos de corte

Comportamento da temperatura nos corpos de prova



Legenda: Corpo Prova 1 – Fluido com água de abastecimento; Corpo Prova 2 – Fluido com Min. Quantidade Reagentes e Corpo Prova 3 – Fluido com Máx. Quantidade Reagentes.

Fonte: Autoria própria

A Tabela 16 apresenta os valores de perda de massa durante o processo de desgaste dos corpos de prova.

Tabela 16. Peso (g) dos corpos de prova antes e depois dos ensaios de desgaste com perda de massa (g)

Corpo de Prova	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Perda Massa (g)
1	15,5379	15,4081	0,1298
2	15,5285	15,4392	0,0893
3	15,6553	15,5818	0,0735

Legenda: Corpo Prova 1 – Fluido com água de abastecimento; Corpo Prova 2 – Fluido com Min. Quantidade Reagentes e Corpo Prova 3 – Fluido com Máx. Quantidade Reagentes.

Fonte: Autoria própria

Neste parâmetro de análise de perda de massa durante o processo de desgaste, há um indicativo pelos valores numéricos apresentados de que os fluidos de corte com 100% de água de reuso tem uma leve vantagem em relação ao de água de abastecimento público, pois permitiram menor arrancamento de material dos corpos de prova indicando melhor atuação de lubrificação na área de desgaste.

A Tabela 17 apresenta a rugosidade em desvio aritmético médio (Ra) medida com equipamento denominado rugosímetro e comprimento de amostragem (*Cut Off*) de 1,25 mm.

Tabela 17. Valores médios e desvio padrão da rugosidade nas crateras dos corpos de prova em  $\mu\text{m}$

Corpo de prova 1		Corpo de prova 2		Corpo de prova 3	
Ra 1	0,41 $\pm$ 0,07	Ra 1	0,60 $\pm$ 0,12	Ra 1	0,45 $\pm$ 0,04
Ra 2	0,45 $\pm$ 0,07	Ra 2	0,65 $\pm$ 0,12	Ra 2	0,49 $\pm$ 0,04
Ra 3	0,46 $\pm$ 0,07	Ra 3	0,70 $\pm$ 0,12	Ra 3	0,51 $\pm$ 0,04
Ra 4	0,57 $\pm$ 0,07	Ra 4	0,87 $\pm$ 0,12	Ra 4	0,55 $\pm$ 0,04
<b>Média</b>	<b>0,47</b>	<b>Média</b>	<b>0,70</b>	<b>Média</b>	<b>0,50</b>

Legenda: Corpo Prova 1 – Fluido com água de abastecimento; Corpo Prova 2 – Fluido com Min. Quantidade Reagentes e Corpo Prova 3 – Fluido com Máx. Quantidade Reagentes.

Fonte: Autoria própria

Os valores médios e desvio padrão da rugosidade nas crateras dos corpos de prova, calculados seus resultados e comparados com a Figura 9, permite denominar o acabamento adquirido durante o ensaio de desgaste, que o Ra apresentado se classifica entre N4 e N6 e que segundo a ABNT NBR ISO 4287:2002 pode ser classificado como superfície polida, demonstrado neste resultado de que os fluidos testados, indiferente de ser emulsionado com água de abastecimento ou água 100% de reuso apresentaram resultados satisfatórios.

## 6 CONCLUSÕES

Ao final desta pesquisa, determinou-se que é possível a quebra da emulsão óleo-água de fluido de corte degradado. Para o processo de quebra são necessários os reagentes  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  em 0,02 gramas (mínimo) e 0,12 gramas (máximo), o  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  em 0,04 gramas (mínimo) e 0,21 gramas (máximo) e pH fixo de 12,5. Valores proporcionais a quebra da emulsão de 100mL de fluido de corte degradado.

A determinação da DQO obtida após a quebra da emulsão da Etapa 4, onde foram escolhidas as amostras 2 e 3 para nova formulação de fluido de corte, apresentaram remoção da fração orgânica do resíduo de 22,7% e 23,8%, respectivamente com pH final de 11,5.

Todas as emulsões formuladas com água 100% de reuso mantiveram estabilidade após a mistura óleo-água.

Quanto aos ensaios de desgaste das amostras desenvolvidas com água 100% de reuso e os dados coletados de perda de massa, rugosidade e temperaturas no fluido de corte e nos corpos de prova, apresentaram resultados semelhantes quando comparado ao fluido de corte formulado com água de abastecimento público, utilizado na indústria de fabricação.



### **Sugestão para trabalhos futuros**

Analisar o fluido formulado nesta pesquisa com relação a oxidação de partes metálicas das máquinas de produção e oxidação de peças usinadas;

Avaliar o tempo de vida, do fluido de corte preparado com água de reuso e do fluido de corte com água de abastecimento público;

Aplicar o processo de quebra da emulsão, desenvolvido nesta pesquisa, em outros fluidos de corte degradado provenientes de empresas diferentes.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 4287:2002. **Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade.**

AGOSTINHO, O.L.; VILELLA, R. C.; BUTTON, S. T.; “**Processo de Fabricação e Planejamento de Processos**”, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, Brasil, 2004 p. 98.

ANTON, W. R. Q.; DELTAS, G.; KHANNA, M. (2004); “**Incentives for environmental self-regulation and implications for environmental performance**”. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(1), 632-654.

APHA-AWWA-WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** APHA American Public Health Association, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Resíduos sólidos** – Classificação NBR-10004. Norma Brasileira. Rio de Janeiro, p. 77. 2004.

ARAÚJO, J. B., & OLIVEIRA, J. F. G. (2012). **Towards a balanced scoreboard for assessing manufacturing processes sustainability.** *International Journal of Business Performance Management*, 13, 198-221.

BARADIE, M. A. El. **Cutting fluids: part I. Characterisation.** *Journal of Materials Processing Technology*. Dublin. Ireland, n°. 56. 1996. p. 786-797.

BERGMILLER, G. G. (2006). **Lean manufacturers transcendence to green manufacturing: correlating the diffusion of lean and green manufacturing systems.** Florida: University of South Florida.

BORK, C. A. S.; **Método para avaliação da sustentabilidade de produtos e processos em sistemas produtivos: Uma aplicação para escolha de fluidos de corte.** Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP. 2015.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 362, de 23 de junho de 2005.** Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Publicado no D.O.U. n°121, de 27 de junho de 2005, Seção 1, páginas 128-130

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **P+L Casos de Sucesso.** 2006.

CHINCHANIKAR, S. et al. **Comparative Evaluations of surface roughness during hard turning under dry and with water-based and vegetable oilbased cutting fluids.** *Procedia Materials Science*, n. 5, p. 1966-1975, 2014.

CNI - **Confederação Nacional da Indústria.** 2018.  
<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/importancia-da-industria/>.  
 Acesso em: 08/11/2018.

CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H.; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M.; SILVA, S. M. C.; **Reuso da Água no Brasil: A Importância da Reutilização de Água no País.** UnUCET – UEG. Universidade Estadual Goiás. Anápolis, GO. 2011.

DALTIN, D.; **Tensoativos:** Química, Propriedades e Aplicações – São Paulo: Blucher, 2011.

DAMASCENO, L. C. **Tratamento de águas oleosas oriundas do processo de produção de óleo de dendê utilizando a flotação por ar dissolvido.** Trabalho de conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro, SP. 2009.

DEL BRÍO, J. Á.; FERNÁNDEZ, E.; JUNQUERA, B. (2002); "The role of the public administrations in the promotion of the environmental activity in Spanish industrial companies". *Ecological Economics*, 40(2), 279-294.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos metais.** 8 ed. São Paulo: Artiber, 2014. 270 p.

DORNFELD, A. D. (2012). **Green manufacturing: fundamentals and applications.** Berkeley: Springer.

Energy Information Administration - EIA. **Annual Energy Review** 2011. Retrieved from <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/aer.pdf>

Engenovo. Disponível em: <http://www.engenovo.com.br/pt/artigostecnicos/taoind.pdf> - **Molécula do Surfactante na Formação da Micela** – Acesso 15-07-2018.

EYSENBACH, E. (org.), et al., **Pretreatment of industrial wastes – Manual of practice N. FD-3**, Water Environment Federation, Alexandria, USA, pp.110-122, 1994

FOGO, F. C.; **Avaliação e Critérios de Eficiência nos processos de Tratamento de Fluido de Corte Por Eletroflotação**, Dissertação de Mestrado; USP-São Carlos, 2008.

FUCHS; **Macroeconomic Factors Impacting The Global & European Lubricants Industry.** Disponível em: < [https://www.fuchs-oil.de/fileadmin/fuchs\\_upload/pdf\\_addons/Unternehmensinfos/\\_The\\_Macroeconomics\\_in\\_the\\_European\\_Lubricants\\_Market\\_\\_\\_ueil\\_distribution\\_version.pdf](https://www.fuchs-oil.de/fileadmin/fuchs_upload/pdf_addons/Unternehmensinfos/_The_Macroeconomics_in_the_European_Lubricants_Market___ueil_distribution_version.pdf) >. Acesso em 22 set 2015.

FUNCEX – **Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior** – Site: <http://www.funce.org.br/> - Acesso em 08/11/2018.

GASBARRO, F.; RIZZI, F.; FREY, M. (2013); "The mutual influence of Environmental Management Systems and the EU ETS: Findings for the Italian pulp and paper industry". *European Management Journal*, 31(1), 16-26.

GONÇALVES, J. F. S.: **Proposição de método de desenvolvimento de fluido de corte de base vegetal**. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP. 2013.

HESPANHOL, I. **Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**; RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95.

HILAL, N; **The Use of UF and nanofiltration membranes in the treatment of metal-working fluids**. *Journal Desalination*, v.167, p.227-238, 2004.

HIRATUKA, C., SARTI, F.; **Desempenho recente da indústria brasileira no contexto de mudanças estruturais domésticas e globais – Instituto De Economia – Unicamp – Campinas – 2017**.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **CONCLA – Comissão Nacional de Classificação** – Seção: Indústria de Transformação – Site: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?secao=C&tipo=cnae&versao=9&view=secao> – Acesso em 08/11/2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Sistemas de Contas Nacionais Trimestrais SCNT** – Site: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/servicos/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=oque-e> – Acesso em 08/11/2018.

INLUB FLUIDOS DE CORTE, 2014. Disponível em: <[www.inlub.com.br/apostilas/fluidos\\_de\\_corte.pdf](http://www.inlub.com.br/apostilas/fluidos_de_corte.pdf)>. Acesso em: 03 Janeiro 2018, página ii7)

International Trade Administration - ITA. (2010). **How does Commerce define Sustainable Manufacturing?** Retrieved from [http://www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/how\\_doc\\_defines\\_SM.asp](http://www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/how_doc_defines_SM.asp)

IOPPOLO, G.; SAIJA, G.; SALOMONE, R. (2013); "From coastal management to environmental management: The sustainable eco-tourism program for the mid-western coast of Sardinia (Italy)". *Land Use Policy*, 31, 460-471.

Istockphoto (2019) (a). Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/foto/treino-de-alta-velocidade-gm159758719-20507271> - **Imagem de fluido de corte no torneamento**: Acesso em: 27-08-2018

Istockphoto (2019) (b). Disponível em: [https://www.istockphoto.com/br/foto/trabalho-em-metal-de-moagem-processo-metal-cnc-machining-por-moinho-vertical-gm535467002-Imagem de fluido de corte no fresamento](https://www.istockphoto.com/br/foto/trabalho-em-metal-de-moagem-processo-metal-cnc-machining-por-moinho-vertical-gm535467002-Imagem%20de%20fluido%20de%20corte%20no%20fresamento): Acesso em: 27-08-2018

KOBYA, M.; CIFTCI, C.; BAYRAMOGLU, M.; SENSOY, M. T.; **Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation.** *Separation and Purification Technology*, pp. 285–291, 2008.

KOLK, A.; MAUSER, A. (2002); **"The evolution of environmental management: from stage models to performance evaluation"**. *Business Strategy and the Environment*, 11(1), 14-31.

LEGRINI, O.; OLIVEROS, E.; BRAUN, A.M.; **Photochemical processes for water treatment.** *Revista Chemical Engineer*, v.93, p.671-698, 1993.

LUBES EM FOCO; **O Mercado em Foco. Uma estimativa do mercado relativa ao ano de 2014.** Lubes em Foco, n. 46, p. 28, 2015. Disponível em: < <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao46/index.html> >. Acesso em 25 set 2015.

LUTIF, S. Y. S.; **Avaliação de desempenho lubrificante do óleo de tunge.** Mestrado Acadêmico. Química dos Materiais. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP. 2018.

MAIA, D. A. S.; **Fluidos de corte: novas formulações e recuperabilidade.** In: PDPETRO, 4. Campinas. Anais... Campinas: PDPETRO, 2007. p. 1-10

MACHADO, A. R. ABRÃO, A. M. COELHO, R. T. SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais.** 3 ed. São Paulo: Blucher, 2015.

MANG, T.; DRESEL, W. **Lubricants and Lubrication.** 2. Ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2007. 850 p.

MENDONÇA, L. C.; **Microbiologia e cinética de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbico de leito expandido.** Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.

MILACRON. **Treatment and disposal of used metalworking fluids.** Disponível em: <https://www.milacron.com/treatment-and-disposal-of-used-metalworking-fluids/> Acessado em : 9 de novembro de 2016.

Ministério da Previdência Social – Site: <http://www.previdencia.gov.br/> - Acesso em 09/11/2018

MIRANDA, H. C. D., 2012 **"Processos de Fabricação"**. Universidade Federal do Ceará- UFC. Fortaleza, Brasil, 2012 pp. 175.

MONTEIRO, M. I.; **Tratamento de efluentes oleosos provenientes da indústria metal-mecânica e seu reuso.** Lorena, São Paulo, 2006.

MUNIZ, C. A. S. **Novas formulações de fluidos de corte: otimização, propriedades e recuperação do óleo usado**. 2008. 175f. 2008. Tese de Doutorado. Tese (doutorado)-Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

OLIVEIRA, J. F. G. (NUMA-USP); ALVES, S. M. (SOCIESC). **Adequação Ambiental dos Processos Usinagem Utilizando Produção mais Limpa como Estratégia de Gestão Ambiental** – 2007.

OMORI, A. E.; AKPAMA, S. I.; AJAKE, U. E. (2012); "Investing in the education of women: A determinant for effective environmental management". *International Journal of Diversity in Organisations, Communities and Nations*, 11(4), 1-10.

PREUSS, L. (2005); "Rhetoric and reality of corporate greening: a view from the supply chain management function". *Business Strategy and the Environment*, 14(2), 123-139.

RAIS – **Relatório Anual de Informações Sociais** – Site: [http://www.rais.gov.br/sitio/consulta\\_trabalhador\\_identificacao.jsf](http://www.rais.gov.br/sitio/consulta_trabalhador_identificacao.jsf) - Acesso em 09/11/2018.

RIZZO, G. V.; BATOCCHIO, A. (2011).; **Manufatura Sustentavel: Estudo e Análise da Adopção Articulada das Técnicas de Produção Mais Limpa e Produção Enxuta** - 3rd International Workshop | Advances in Cleaner Production - São Paulo – Brazil – May 18th-20ndth - 2011

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F.; **Planejamento de Experimentos & Otimização de Processos**. Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2ª Edição – Campinas, SP – 2009.

RUNGE, P. R. F.; DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas indústrias**. 1. ed. São Paulo : triboconcept. 1989.

RUSINKO, C. A. (2007). **Green manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes**. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54, 445-454. <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2007.900806>

SANTOS, F. S.; **Análise dos efeitos do tratamento de ozonização de fluidos de corte solúveis em um processo de fresamento**. Dissertação(Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Cornélio Procópio, 2016.

SÁ, P. N.; **Controle de Bactérias Presentes em Fluido de Corte Utilizando Biocidas Naturais**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Ambiental Câmpus Apucarana e Londrina, 2017.

Secretaria da Receita Federal – Disponível em:  
<http://idg.receita.fazenda.gov.br/> - Acesso em 08/11/2018.

SHARMAN, 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. v.127. p.1-18. 2016.

SILVA, D. A. L., DELAI, I., CASTRO, M. A. S., OMETTO, A. R. (2013). **Quality tools applied to Cleaner Production programs: a first approach toward a new methodology.** Journal of Cleaner Production, 47, 174-187.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.026>

SILVA, D. A. L.; SILVA, E. J.; OMETTO, A. R. (2016). **Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro.** Vol.26, n.3, pp.642-655.

SILVA, P. R. S., & AMARAL, F. G. (2009). **An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes.** Journal of Cleaner Production, 17, 1339-1350.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.010>

SKOOG, Douglas A. Et. Al.; **Fundamentos de Química Analítica.** 8<sup>o</sup> edição. São Paulo. 2012.

SOUZA, M. C.; **Avaliação das Dimensões Técnico/Econômica, Ambiental E Social No Fresamento Com Aplicação De Distintas Técnicas De Lubri-Refrigeração.** Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP. 2014.

SOUZA, M. C.; LUTIF; S. Y. S; GONÇALVES, J. F. S; BORK, C. A. S; GOMES, J. O. **Aplicação da Técnica de Mínima Quantidade de Lubrificante – MQL em Processos de Usinagem e Avaliação dos seus Impactos sobre a Saúde Ocupacional - 8<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação.** Salvador, Brasil, 2015.

ŠTĚPÁNKOVÁ, E. (2012); **"Decision making about the use of environmental management tools for organization image building."** *Croatian Journal of Education*, 14, 175-180.

TOCCHETTO, M.R.L. e COUTINHO, H.L., **"Curso De Gerenciamento De Resíduos Sólidos Industriais"**. Edição Revisada 2004 - Realização ABES Associação Brasileira De Engenharia Sanitária E Ambiental Porto Alegre - RS

TUDOR, F. (2013); **"Environmental management activities"**. *Quality - Access to Success*, 14, 124-128.

VIEGAS, J. C.; SALLES, M. T. (2012).; **A Sustentabilidade em Projetos de Produto: Uma Abordagem Ambiental – VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão 8 e 9 de junho de 2012 – Rio de Janeiro - RJ.**

VILLALOBOS, E.M.C.; **Formação de Emulsão no Escoamento Bifásico de Óleo e Água através de Orifícios**, Dissertação de Mestrado; PUC Rio de Janeiro, 2010.