

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MARCO AURÉLIO DE CARVALHO ANDRADE**

**ESTUDO INVESTIGATIVO DA VIABILIDADE DE UM FLUIDO LUBRIFICANTE  
PARA ESTAMPAGEM EM AÇO BH220**

**LONDRINA**

**2023**

**MARCO AURÉLIO DE CARVALHO ANDRADE**

**ESTUDO INVESTIGATIVO DA VIABILIDADE DE UM FLUIDO LUBRIFICANTE  
PARA ESTAMPAGEM EM AÇO BH220**

**Investigative study on the feasibility of a lubricating fluid for bh220 steel  
stamping**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Janaina Fracaro de Souza Gonçalves.

**LONDRINA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MARCO AURÉLIO DE CARVALHO ANDRADE**

**ESTUDO INVESTIGATIVO DA VIABILIDADE DE UM FLUIDO LUBRIFICANTE  
PARA ESTAMPAGEM EM AÇO BH220**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Mecânica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 15/junho/2023

---

Janaina Fracaro de Souza Gonçalves  
Doutorado em Engenharia Mecânica Aeronáutica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Rosana Travessini  
Mestrado em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcos Massaki Imamura  
Mestrado em Engenharia Industrial  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Laboratório de Engenharia de Fábrica e Produtos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina e com ele ao professor Amadeu Lombardi Neto, por abrir suas portas para que este trabalho de conclusão de curso fosse construído e proporcionar o conhecimento necessário para que todos os resultados fossem obtidos de maneira correta.

Agradeço a minha orientadora Professora Dra. Janaina Fracaro de Souza Gonçalves, por todo o apoio, direcionamento e ensinamentos durante todo o curso de Engenharia Mecânica e por me guiar durante esse trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Mecânica desta universidade por todo os desafios e realizações durante todo o período acadêmico.

E por fim aos meus amigos Eduardo, Lincon e Guilherme, familiares e namorada Leticia pelos conselhos e colaboração durante a minha graduação e minha vida.

Não podemos permitir que o passado molde  
conceitos imutáveis que negam a nossa  
capacidade de construir novas estradas.  
(PERES; SHIMON, 1994).

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo estudar três fluidos lubrificantes comerciais e retirar os melhores resultados visando viabilizar a fabricação de um fluido lubrificante otimizado a ser produzido em escala com especificações e características voltadas a estampagem de aço *bake hardening* (BH220) de 0,7mm de espessura para utilização em painéis de classe A da indústria automobilística, mediante ensaios realizados em outros fluidos comerciais.

Os ensaios de estampagem foram executados em uma prensa de hidráulica com geometria de ferramenta constante (punção cilíndrico), variando o tipo de lubrificante comercial utilizado, sendo dois sintéticos e um vegetal.

Foram efetuados estudos investigativos em corpos de prova do material estampado sob a ação dos lubrificantes comerciais, medindo coeficientes de rugosidade e coeficiente de atrito, além de ensaios de estudo de materiais para obter características dos fluidos estudados como molhabilidade e ângulo de contato, um dos fluidos sintéticos foi o escolhido e esse trabalho servirá de base de estudo para o processo de fabricação de um novo modelo otimizado de lubrificante para estampagem. Essa iniciativa de trabalho foi motivada pela necessidade do mercado quando se trata de fabricação de painéis para indústria de automóveis utilizando estampagem, principalmente para a necessidade futura de carros mais leves.

Palavras-chave: bake hardening; lubrificante; rugosidade; estampagem.

## **ABSTRACT**

This thesis aims to study three commercial lubricating fluids and extract the best results in order to enable the production of an optimized lubricating fluid to be manufactured on a large scale, with specifications and characteristics tailored for the stamping of bake hardening (BH220) steel with a thickness of 0.7mm for use in Class A panels in the automotive industry. The stamping tests were conducted on a hydraulic press with a constant tool geometry (cylindrical punch), varying the type of commercial lubricant used, including two synthetic and one vegetable-based lubricant.

Investigative studies were performed on stamped material specimens under the action of the commercial lubricants, measuring roughness coefficients and friction coefficients, as well as material studies to obtain characteristics of the studied fluids such as wettability and contact angle. One of the synthetic fluids was chosen, and this work will serve as the basis for the manufacturing process of a new optimized lubricant for stamping. This initiative was motivated by the market's need for lightweight panel manufacturing in the automotive industry, particularly for future lightweight vehicle requirements.

Keywords: bake hardening; lubricant; roughness; stamping.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ford F-150 .....	14
Figura 2 – Microestrutura de aço BH220 evidenciando a presença de ferrita com granulação fina .....	17
Figura 3 – Comportamento das propriedades do aço BH220 antes e depois da pintura .....	18
Figura 4 – Gráfico de Conformabilidade: Material Baseado em Resistência e alongamento .....	19
Figura 5 – Processo de Refinamento .....	21
Figura 6 – Estrutura Química .....	24
Figura 7 – Esquema de uma estampagem em prensa .....	26
Figura 8 – Relação do modo de deformação com a necessidade de atrito .....	27
Figura 9 – Óleos utilizados .....	28
Figura 10 – Corpo de prova BH 220 .....	29
Figura 11 – Prensa hidráulica.....	30
Figura 12 – Punção U-Shape .....	30
Figura 13 – Rugosímetro SJ-210 Mitutoyo .....	31
Figura 14 – Sequência de procedimentos.....	31
Figura 15 – Áreas delimitadas para obtenção de parâmetros.....	35
Figura 16 – Direção de captação dos parâmetros de rugosidade .....	35
Figura 17 – Amostra ensaio.....	36
Figura 18 – Modelo Teórico do ângulo de contato .....	37
Figura 19 – Acúmulo de depósitos nos lubrificantes .....	45
Figura 20 – Ângulo 17° Ciro W40 .....	48
Figura 21 – Ângulo 19° Ciro 522.....	48
Figura 22 – Ângulo 7° Ciro 870 .....	49
Gráfico 1 – Rugosidade RA (1 lado) .....	40
Gráfico 2 – Rugosidade RZ (1 lado).....	40
Gráfico 3 – Rugosidade RA (2 lados) .....	42
Gráfico 4 – Rugosidade RZ (2 lados).....	42
Gráfico 5 – Rugosidade RA (Spray).....	44
Gráfico 6 – Rugosidade RZ (Spray) .....	44
Gráfico 7 – Tensão superficial .....	47



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores típicos de temperatura e do coeficiente de atrito nos trabalhos a frio, morno e a quente.....	15
Tabela 2 – Classificação API .....	22
Tabela 3 – Diferença de Lubrificante .....	33
Tabela 4 – 1º Resultado – Método de Lubrificação 1 lado .....	39
Tabela 5 – 2º Resultado – Método de Lubrificação 1 lado .....	39
Tabela 6 – 3º Resultado – Método de Lubrificação 1 lado .....	39
Tabela 7 – 1º Resultado – Método de Lubrificação 2 lados .....	41
Tabela 8 – 2º Resultado – Método de Lubrificação 2 lados .....	41
Tabela 9 – 3º Resultado – Método de Lubrificação 2 lados .....	41
Tabela 10 – 1º Resultado – Método de Lubrificação Spray .....	43
Tabela 11 – 2º Resultado – Método de Lubrificação Spray .....	43
Tabela 12 – 3º Resultado – Método de Lubrificação Spray .....	43
Tabela 13 – Viscosidade dos lubrificantes a 40º .....	45
Tabela 14– Tensão superficial Ciro W40 .....	46
Tabela 15 – Tensão superficial Ciro 522 .....	46
Tabela 16 – Tensão superficial Ciro 870 .....	46
Tabela 17 – Ângulo de contato.....	47

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivo específico</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Revisão bibliográfica</b> .....	<b>17</b>
2.1.1	Aço BH 220 .....	17
2.1.2	Lubrificantes .....	20
<u>2.1.2.1</u>	<u>Óleos minerais</u> .....	<u>21</u>
<u>2.1.2.2</u>	<u>Óleos sintéticos</u> .....	<u>22</u>
<u>2.1.2.3</u>	<u>Óleos vegetais</u> .....	<u>23</u>
2.1.3	Métodos de Lubrificação .....	24
<u>2.1.3.1</u>	<u>Lubrificação por salpico</u> .....	<u>24</u>
<u>2.1.3.2</u>	<u>Lubrificação por imersão</u> .....	<u>25</u>
<u>2.1.3.3</u>	<u>Lubrificação por pulverização</u> .....	<u>25</u>
2.1.4	Estampagem .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>31</b>
3.2.1	Escolha dos Lubrificantes .....	31
3.2.2	Ensaio Investigativos .....	32
3.2.3	Ensaio nos Fluídos .....	36
<u>3.2.3.1</u>	<u>Ensaio Método da Gota</u> .....	<u>36</u>
<u>3.2.3.1</u>	<u>Ensaio de Viscosidade</u> .....	<u>37</u>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Rugosidade</b> .....	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Viscosidade</b> .....	<b>45</b>
<b>4.3</b>	<b>Tensão superficial e ângulo de contato</b> .....	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta introdução trará uma breve contextualização sobre a realidade do mercado ferramental no Brasil.

### 1.1 Contextualização

O Brasil tem um déficit de mão de obra e principalmente de tecnologia frente a grandes países exportadores de ferramentaria. De acordo com dados da (ABINFER) a china abastece cerca de 30% do mercado mundial de produtos dessa classe. O Brasil apenas 0.4% isso citando apenas o comércio exterior. No que diz Gomes (2019) sobre o mercado interno a realidade não é muito diferente, 50% dos ferramentais em geral e 100% dos moldes para grandes peças e de superfícies classe a, são importados.

O que faz com que exista um grande atraso em lançamentos de veículos com engenharia e desenvolvimento nacionais e um déficit significativo na balança comercial. Este cenário tem como grandes motivos e como principal foco, o custo de produção que faz com que empresas nacionais não sejam competitivas com o mercado externo e a insuficiência do mercado interno, impossibilitando o funcionamento das mesmas, além da falta de capacitação de mão de obra especializada em grande escala, um exemplo é que poucas empresas no Brasil tem a capacidade de manter uma produção satisfatória se tratando de superfícies de classe A como portas, capôs e estruturas externas.

É praticamente inexistente a competitividade no que refere a custos, ciclos de produção, prazos e flexibilidade em atender a demanda quando se trata de empresas nacionais, principalmente comparada aos fornecedores de origem asiática. O alto custo para aquisição de equipamentos para produção de peças de grande porte também se encontra na lista de motivos que fazem o Brasil deixar de evoluir nesse ramo de superfícies, o custo Brasil entra com empecilho para empresas menores, o valor dos impostos sobre a renda e sobre a importação impossibilita o avanço desse tipo de tecnologia, principalmente pode deixar de fora as pequenas ferramentarias que não tem o poder aquisitivo suficiente. Além de todos esses já citados, é necessário citar novamente a falta de mão de obra especializada, principalmente pela falta de renovação dos profissionais, por falta de capacitação atualizada e continua.

Saindo de um contexto global e aprofundando no principal foco deste projeto, também é necessário propor que o mercado hoje busca soluções diferentes principalmente dentro do ramo automobilístico. A tendência futura de eletrização dos veículos automotores e principalmente a necessidade de diminuir poluentes resultantes de emissão de gases de queima de combustível, vem incentivando mercado ao uso de ligas de alumínio e aços de alta conformabilidade e de elevada resistência mecânica na construção dos painéis desses veículos, painéis como o da Figura 1, resultando na diminuição de peso, sem reduzir o seu tamanho e o seu formato, o que faz com que a energia para locomover esse carro diminua em cerca de 5% a 8% se tratando de consumo de combustível segundo Assembly (2021). A classe de aço utilizada neste estudo é a *bake hardening* (BH220) em chapas de 0,7mm de espessura.

**Figura 1 – Ford F-150**



**Fonte - Novelis**

Com objetivo de viabilizar esta evolução no mercado ferramenteiro do Brasil, alguns passos devem ser iniciados. Poucos testes foram realizados de forma a garantir uma boa qualidade de material em fabricas nacionais. Como já posto o mercado brasileiro possui um déficit de tecnologia e mão de obra quando tratamos de moldes e estampagem de grande escala para superfícies classe a. Para isso é necessário um desenvolvimento tanto tecnológico como da mão de obra.

Os aços tipo BH220 são de fácil conformação, mas além dele o mercado já busca outras novas evoluções de material, principalmente nas famílias de alumínio 6xxx e 7xxx, existindo então a necessidade do estudo de um novo fluido lubrificante para a testagem e o uso em estampagem desses tipos de materiais. Levando em consideração também que a conformação das chapas de alumínio a frio é bastante complicada devido à alta resistência do material, com isso uma utilização prolongada

dessa prensa gera o aumento a sua temperatura podendo assim danificar a peça moldada.

O uso de lubrificantes é uma das soluções para que a maior qualidade possível seja obtida no processo. A aplicação de óleo lubrificante em processos de conformação mecânica é utilizada para evitar problemas relacionados ao desgaste da matriz, exemplo de superfície da chapa “arranhada”.

Esse tipo de problema ocorre na conformação de metais surge devido ao contato direto entre o ferramental e as superfícies do metal e as pressões elevadas que mantem as superfícies em contato nessas operações, e o ambiente de conformação no caso de uma prensa hidráulica apresenta altas pressões. Essas condições podem resultar em coeficientes de atrito relativamente altos na transformação dos materiais. Como observado na Tabela 1:

**Tabela 1 - Valores típicos de temperatura (relativa ao ponto de fusão  $T_f$ ) e do coeficiente de atrito nos trabalhos a frio, morno e a quente.**

<b>Categoria</b>	<b>Faixa de temperatura</b>	<b>Coefficiente de atrito</b>
Trabalho a Frio	$\leq 0,3T_f$	0,1
Trabalho a Morno	$0,3T_f - 0,5 T_f$	0,2
Trabalho a Quente	$0,5T_f - 0,75T_f$	0,4 - 0,5

**Fonte: GROOVER (2018)**

Assim, com o objetivo de diminuir a possibilidade de uma falha de material a utilização de fluidos lubrificante é recomendada, a estes são aplicados na superfície ferramenta/peça de diversas maneiras com objetivo de reduzir os efeitos nocivos do desgaste por atrito, reduzindo a aderência, as forças de contato, desgaste da ferramenta e garantindo um melhor acabamento superficial do produto final além de outra funções dependentes do tipo de ferramenta e do tipo de processo de conformação. Porém a escolha desse tipo de material deve ser estabelecida seguindo diversos critérios importantes com: Tipo de processo de conformação, temperatura utilizada, material da peça, reatividade química facilidade de aplicação, toxicidade, flamabilidade, molhabilidade e um dos principais fatores na indústria que é o custo.

## **1.2 Justificativa**

Este projeto será utilizado como base de pesquisa da terceira etapa do projeto DESCAAL (Demonstrador de Estampagem de Superfícies Classe A em Alumínio) aprovado em chamada pública de PD&I 02/2021 da Linha IV do Programa Rota 2030. Na busca de uma tecnologia nacional e de qualidade que consiga oferecer a indústria ferramenteira uma opção viável e mais rentável na fabricação de chapas para uso em exterior dos veículos foi elaborado um estudo que possibilite o desenvolvimento de um fluido lubrificante que seja adequado para o processo de estampagem.

## **1.3 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo de rugosidade e de propriedades físicas de três fluidos lubrificantes comerciais amplamente utilizados na indústria, a fim de identificar o melhor desempenho em termos de redução de atrito e desgaste após estampagem.

## **1.4 Objetivo específico**

Esse projeto busca alguns objetivos específicos, são eles:

- Ensaio comparativo de 3 fluidos lubrificantes comerciais, sendo eles 2 sintéticos e um vegetal, buscando a melhor qualidade dentre eles, se tratando de estampagem a frio de material BH220;
- Estudo de rugosidade do aço BH220 com três métodos de aplicação de fluido lubrificante, sendo elas, aplicação com pincel em apenas uma superfície, aplicação por pincel nas duas superfícies e aplicação por spray;
- Recolher informações e características, tensão superficial e molhabilidade do melhor fluido comercial para esse tipo de conformação a frio.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Para o presente trabalho, estudos sobre conceitos de tribologia e materiais para estampagem foram essenciais.

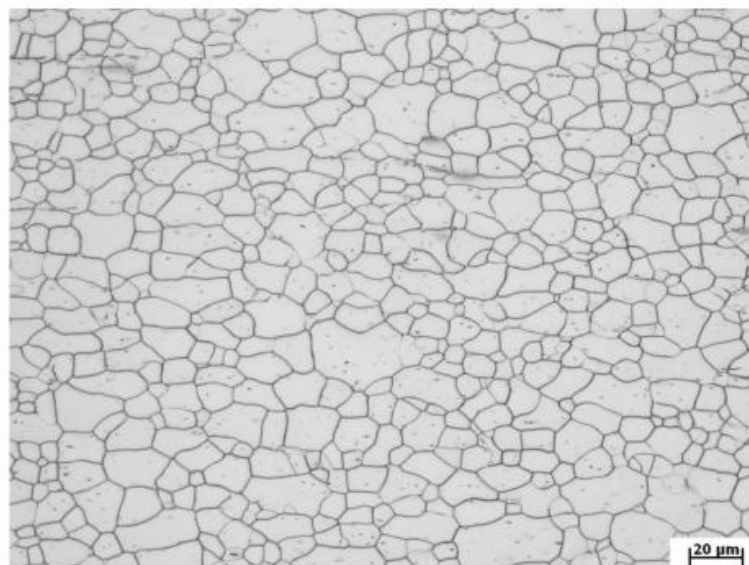
### 2.1 Revisão bibliográfica

Nesta seção, serão apresentados aprofundamentos teóricos sobre tópicos do que nortearam o desenvolvimento deste trabalho, de forma que fiquem esclarecidos o material trabalhado, o método de conformação utilizada e o objetivo sugerindo a solução para a resolução de um problema.

#### 2.1.1 Aço BH 220

Segundo Bhadeshhi (2008) a ciência envolvida com aços *bake hardening*, é entendida em termos de interações entre solutos intersticiais e as discordâncias com o processo de BH, sendo sempre controlado devido à grande quantidade de ligas e interações entre elas envolvidas. Os aços *BH* são compostos principalmente por ferrita com um mínimo de carbono (menos de 25ppm) em solução sólida, são utilizados no processo automotivo basicamente na conformação, principalmente por estampagem de painéis de classe A, ou seja, painéis externos dos veículos como portas e capôs.

**Figura 2- Microestrutura do aço BH220 evidenciando a presença de ferrita com granulação fina.**



Fonte - Ferreira (2012)

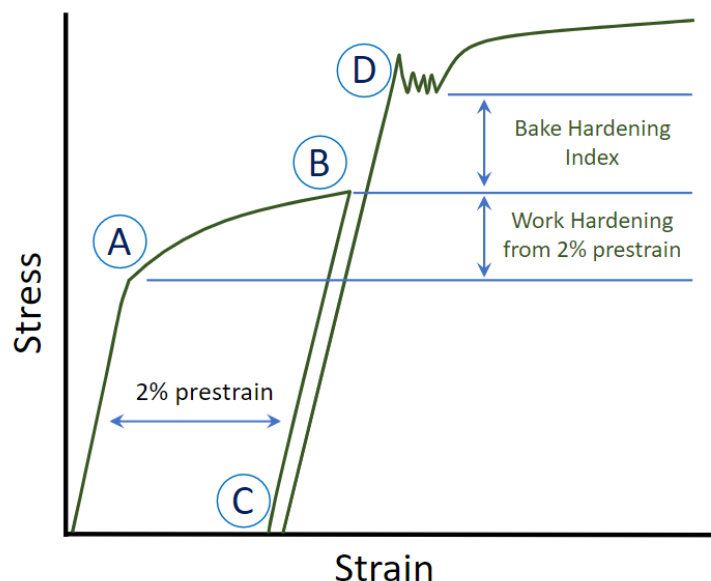
A Figura 2 demonstra a microestrutura de um aço BH220 a 0,7mm de espessura e mostra a presença de ferrita com tamanho de grão de 9  $\mu\text{m}$  (+/- 1  $\mu\text{m}$ ).

Ferreira (2012) descreve esse tipo de material como aços laminados a frio com envelhecimento controlado. Estes aços caracterizam-se pela boa conformação e por apresentarem aumento de resistência mecânica devido ao envelhecimento, que ocorre por tratamento térmico.

Já no final do século XX a indústria japonesa de siderurgia introduziu esse tipo de aço na manufatura de peças de grande porte como chapas para utilização em portas e capôs justamente pelo seu alto grau de conformação. Sendo manufaturada com o aço BH220, elas poderiam tomar várias formas de maneiras mais simples.

Lora (2009) confirma que o emprego desse material em painéis veiculares permite a utilização de chapas mais finas e mais leves pois são facilmente trabalhadas e possuem uma maior resistência no produto final. Os aços *Bake Hardening* são elaborados e tratados para que se obtenha um aumento significativo do limite de elasticidade durante um tratamento térmico à baixa temperatura, o que permite alcançar níveis de resistência maiores nos produtos, com um desempenho constante do ponto de vista da estampabilidade. Os ganhos proporcionados pelo tratamento de cozimento são chamados “efeito *bake hardening*”. Os efeitos de antes e depois da pintura são mostrados na imagem a seguir:

**Figura 3 – Comportamento das propriedades do aço BH220 antes e depois da pintura.**



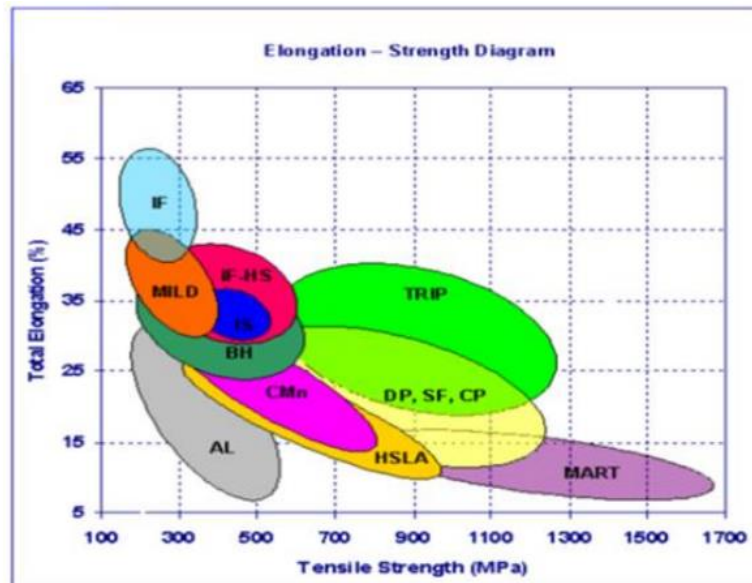
Fonte – FERREIRA (1997)



Os aços em geral têm o aumento de sua resistência mecânica quando trabalhados a frio, grande parte devido ao encruamento durante a conformação mecânica. No caso do aço BH como mostrado na Figura 3, existe um aumento da resistência pela deformação a frio, mas também como uma vantagem tem o aumento da resistência no processo de pintura com isso temos um aço leve, de boa estampabilidade e otimizado quando tratamos de endurecimento.

Na Figura 4, as propriedades de tração dos aços tipo BH são comparadas com as de outros aços. O que indica a direção tomada pela indústria automotiva no desenvolvimento de materiais para os novos carros. Os aços têm uma tensão de escoamento baixa e boa conformabilidade inicialmente, o que os torna adequados para as operações de conformação mais complexas encontradas durante a fabricação de peças da carroceria externa.

**Figura 4 - Gráfico de Conformabilidade: Material Baseado em Resistência e Alongamento**



Fonte - Adaptado (WORLD AUTO STEEL, 2017)

Durante a conformação e o cozimento da pintura, o aço sofrerá envelhecimento significativo, resultando no retorno da deformação descontínua acompanhada por um aumento na resistência à tração. Como o aumento de resistência ocorre após a formação do componente, materiais mais finos podem ser usados para componentes como para-lamas, capôs, tampa do porta-malas e partes externas das portas, resultando em uma economia de peso de mais ou menos 7 kg por carro, componentes como tampa do porta-malas e capô, que sofrem deformações relativamente pequenas durante a conformação, se beneficiam

especialmente, pois o aumento de resistência relativamente pequeno produzido pelo endurecimento por trabalho pode ser melhorado com um aumento de endurecimento por cozimento maior. A resistência a pequenos amassados causados por pedras e outros detritos também é importante, sendo as partes como capôs e superfícies externas das portas as mais suscetíveis. Os aços BH podem oferecer uma resistência superior a amassados estáticos e dinâmicos em comparação com outros graus de aço, devido à sua maior resistência após o cozimento.

### 2.1.2 Lubrificantes

Os efeitos de atrito estão ligados a dispersão de energia nas superfícies, no caso de conformação de metais o fluxo do mesmo é dado por uma pressão de contato entre a matriz e a peça com o atrito entre elas podendo causar defeitos visíveis ou internos na peça conformada, isso é indesejável no processo de fabricação principalmente quando tratamos de uma superfície classe A que agrega valor ao produto final da indústria automobilística, para evitar ou diminuir os resultados desses efeitos, utilizamos diversos tipos de lubrificação.

Óleos são os principais lubrificantes utilizados, pois tem grande facilidade de penetração em partes móveis, separam as superfícies com sua película e agem como refrigerantes (Petronas, s.d). A dissertação de Weidlich (2009) define lubrificação como o ato de introduzir um material lubrificante entre duas superfícies em movimento relativo, fazendo com que as superfícies não entrem em contato direto um com a outra evitando assim o desgaste entre elas. A principal função de um lubrificante é reduzir o atrito entre as superfícies e permitindo que exista apenas contato entre o fluido preparado e as superfícies. Com isso podemos concluir que a falta de lubrificação tem influência na formação de defeitos superficiais e internos do material, além do aumento de forças e tensões durante o processo, elas sendo causadas pela pressão transmitida pelo punção na peça.

Zini (2020) caracteriza como função principal dos óleos lubrificantes a diminuição do coeficiente de atrito e desgaste das peças, efetuando o resfriamento e a proteção contra choques e cargas de médio e grande porte. O óleo cria uma fina película protetora e buscam garantir uma boa qualidade final da peça.

Estes óleos são produzidos através de misturas de um óleo básico e aditivos. Podendo ser de bases vegetais, minerais ou sintético.

### 2.1.2.1 Óleos minerais

Os óleos minerais mais comuns são produzidos através do refino de petróleo cru, com isso, também são formados pelos elementos químicos carbono e hidrogênio em forma de hidrocarbonetos (PETRONAS, s.d).

O método mais comum de processo desse tipo de óleo é através de destilação fracionada, onde os produtos mais voláteis, não lubrificantes, são separados das frações residuais mais densas. Nesse processo o óleo passa por refinamento a fim de produzir uma melhor qualidade de produto final. O refinamento é feito por meio de solventes em contracorrente em uma coluna extratora, dando uma melhor qualidade do produto.

No refinamento é extraído o excesso de impurezas em forma de parafina, hidrocarbonetos instáveis e resinas, além de outros elementos não utilizáveis (MOBIL, s.d).

A Figura 5 pode ilustrar o processo desde a extração até a destilação:



Fonte - Mundo Educação

O Instituto de petróleo Americano (API) atendendo uma necessidade de qualidade da indústria automobilística aderiu um sistema para classificar os produtos

e utilizou como base de pesquisa três parâmetros: Teor de Enxofre, Teor de Saturados e Índice de Viscosidade (ZAMBONI, 2008).

### 2.1.2.2 Óleos sintéticos

Esse tipo de lubrificante é aquele básico sintetizado em laboratório. Obtido através de processos e ensaios usando reagentes derivados do petróleo, tendo como base um outro óleo sem os contaminantes, apenas o que há de melhor e desejado deste. Tornando-se assim um produto de alta confiabilidade e desempenho (SILVA, 2011).

Como grande parte das tecnologias, a sintetização de lubrificantes também se desenvolveu em período de guerra, onde eram utilizados para fins militares, desde então os estudos vem se desenvolvendo, principalmente no que diz respeito a vida útil e condições de emprego (SOARES, 2013).

Ao compará-lo com o óleo básico mineral nota-se diversas vantagens e desvantagens ao utiliza-lo como lubrificante. As principais vantagens são em relação às suas características físico-químicas, como maior resistência a elevadas temperaturas e suas variações, devido ao seu alto índice de viscosidade, maior vida útil, boa estabilidade química, alta resistência a oxidação e a degradação. O que pesa contra a utilização deste óleo básico é seu custo mais elevado, em comparação ao de base mineral, e incompatibilidade de se misturar com alguns aditivos na produção do óleo lubrificante, tornando necessário avaliar o custo benefício antes de fabricá-lo (CARRERITO & BELMIRO, 2008).

**Tabela 2- Classificação API.**

	<b>Teor de Saturados (% peso)</b>	<b>Teor de Enxofre (% peso)</b>	<b>Índice de Viscosidade</b>
Grupo I	< ou = 90	> ou = 0,03	80 – 119
Grupo II	> 90	< 0,03	80 – 119
Grupo III	> 90	< 0,03	> ou = 120
Grupo IV	PAOs (Polialfaolefinas)		
Grupo V	ésteres sintéticos / óleos naftênicos / outros		
Grupo VI	PIOs (Poli-interna Olefinas)		

**Fonte – Adaptado de Zamboni, 2008**

Como observado na Tabela 2 acima foram criados 6 grupos, os 3 primeiros de bases minerais e os 3 últimos bases sintéticas (INOVAÇÃO, 2018).

Grupo I – Óleos menos refinados com cadeias de hidrocarbonetos não uniforme, refino utilizando solventes, são utilizados para lubrificantes automotivos.

Grupo II – Óleos produzidos através de hidro refinação, com menos impurezas e desempenho melhor que o anterior. São bastante utilizados na América do Norte por suas características.

Grupo III – Óleos básicos mais refinados dos 3 primeiros grupos, mesmo não sendo sintético tem alto índice de desempenho e é estável em grande parte de suas características. Serve de base para fabricação de óleos sintéticos.

Grupo IV – Formado por polialfaolefinas (PAOs), possuindo um baixo ponto de fluidez, alto índice de viscosidade, ótima estabilidade térmica e resistência a oxidação.

Grupo V – Óleos de base especial, como ésteres sintéticos e poliésteres. São bastante utilizados em aditivos e processos petroquímicos. Utilizados em lubrificação aeronáutica.

Grupo VI - Exclusivamente *Poli-internal Olefina* um tipo de oligômero de olefina produzido na Europa. O grupo foi criado para simplificar os processos de aprovação (ZAMBONI, 2008).

### 2.1.2.3 Óleos vegetais.

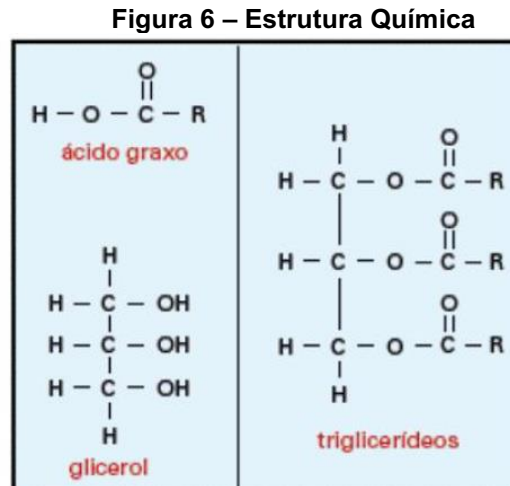
Além de ser uma opção na substituição dos óleos derivados do petróleo, por ser biodegradável e menos tóxico, os óleos de base vegetal apresentam algumas características melhores que os comerciais, como boa lubricidade, baixa volatilidade e um índice de viscosidade alto (DELGADO et al., 2017).

Sua utilização na indústria vem sendo estudada, desde 1900, quando Rudolph Diesel utilizou óleo de amendoim em seu motor, na exposição universal, em Paris. Nacionalmente, os primeiros estudos datados são de meados do século 20. Em 1975 surgiu o “Pro Óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos”, programa do governo federal que visava substituir o óleo diesel por óleos vegetais (MATOS, 2011).

Podem ser extraídos das sementes de mamona, girassol, soja, babaçu, entre outros. É composto basicamente de produtos de condensação entre glicerol e

ácidos graxos, os triglicerídeos (90% a 98%), mas também há presença de glicerídeos, como como fosfatídeos, esteroides etc (MATOS & POLITI, 2010).

Na Figura 6 observa-se a estrutura química dos produtos que compõem os óleos vegetais.



Fonte - Matos & Politi, 2010

Apesar de ter boas características, os básicos vegetais têm certas limitações relacionadas a baixa estabilidade térmica e oxidativa, tornando o óleo mais viscoso e ácido, e alto ponto de fluidez a baixas temperaturas. Esses fatores são ocasionados pois ao longo das cadeias carbônicas não há saturações (MATOS & POLITI, 2010). Porém essas limitações podem ser vencidas utilizando os devidos aditivos na produção do lubrificante.

### 2.1.3 Método de Lubrificação.

Para que exista uma boa lubrificação, algumas condições devem ser admitidas para garantir o melhor método de lubrificação das chapas. Correto lubrificante, quantidade, local e sistema de lubrificação, para o caso deste trabalho utilizaram-se alguns métodos específicos.

#### 2.1.3.1 Lubrificação por salpico

O Lubrificante fica armazenado em um recipiente e lubrifica as partes que entram em contato com o óleo, e esta borrifa nas demais peças. É um sistema eficiente e econômico (JANSEM, 2005).

### 2.1.3.2 Lubrificação por imersão

Neste tipo de método a peça a imersa no lubrificante, total ou parcialmente, também conhecido como banho de óleo, geralmente ocorre nas chapas antes do processo de estampagem (JANSEM, 2005).

### 2.1.3.3 Lubrificação por pulverização

Mediante a utilização de pulverizador o lubrificante é espalhado pela superfície de forma a abranger o maior espaço possível da chapa, também realizado antes do processo de estampagem (JANSEM, 2005).

## 2.1.4 Estampagem

O processo de estampagem mecânica, segundo (CRIVELLARO, 2003) é definido por meio de operações de conformação mecânicas de chapas que produzem produtos acabados ou semiacabados por meio de deformação plástica, que distribui o material pela matriz sem que ocorra nenhum tipo de falha, porém, há fatores que poderão influenciar na qualidade do produto conformado como o retorno elástico conhecido como “*springback*”, a falta de rigidez, rugosidade da superfície e outros.

O estado de tensão e deformação aplicado em cada momento define o comportamento da peça ao longo do processo em suas diferentes regiões. O comportamento do estado é influenciado por vários fatores de processo como: geometria das ferramentas, condições de atrito, tamanho da peça, que produz um estado de tensão e deformação multiaxial.

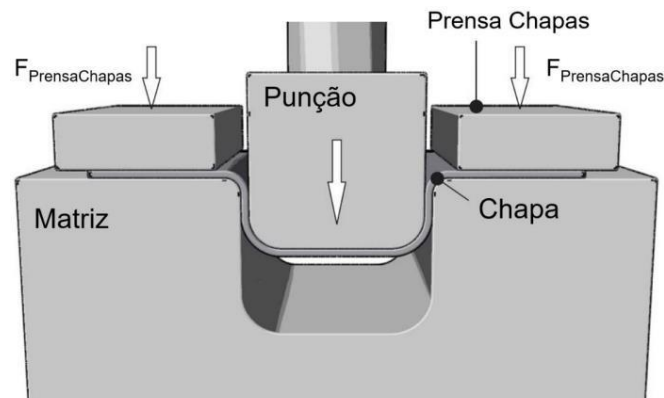
Em processos produtivos onde a demanda é extremamente grande, o lubrificante ideal pode trazer além de bons retornos financeiros na aquisição de um menor volume de produto a ser comprado, uma melhor qualidade das peças processadas e um aumento significativo na vida útil das ferramentas. Também pode-se afirmar que a pressão de contato possui uma ligação direta na definição do coeficiente de atrito e do desgaste adesivo (ROSA,2016).

Quanto menor a pressão de contato maior a probabilidade de uma superfície apresentar regime de lubrificação misto ou saturado, e com isso as condições de propensão à adesão são significativamente mais prolongadas, contudo o coeficiente de atrito tende a ser mais elevado. Em contra partida disso, quando se

trabalha com maiores pressões, a lubrificação fica tendendo a regime seco, o que por sua vez gera um coeficiente de atrito mais baixo e uma maior propensão ao desgaste adesivo (ROSA,2016).

Groover (2018) diz que no processo de conformação de chapas é caracterizado pela deformação plástica de um material com uma geometria tridimensional, em muito dos casos, sem a necessidade de mudança de espessura da peça por estiramento e nem das características da superfície da peça. O processo pode ser realizado por meio de uma prensa hidráulica com ferramentas de punção e uma matriz tomando comportamento de macho e fêmea no processo que dará formato desejado a peça, podendo ser um processo a frio. A chapa é deformada plástica e elasticamente durante o processo, com o fim da imposição das cargas a deformação elástica é recuperada, resultando somente numa deformação plástica com alteração da sua geometria como visto no esquema da Figura 7.

**Figura 7 – Esquema de uma estampagem em prensa**



**Fonte – SILVEIRA (2017)**

Dentro do processo de conformação, nota-se duas condições de deformação características, como o embutimento e o estiramento. Define-se o embutimento de forma simples, como um processo de conformação que modela chapas planas sem grandes mudanças na sua espessura. As peças embutidas têm o formato semelhante a um copo, como as cápsulas, cartuchos e partes de automóveis como para-lamas, capô e porta (BATALHA, 2015).

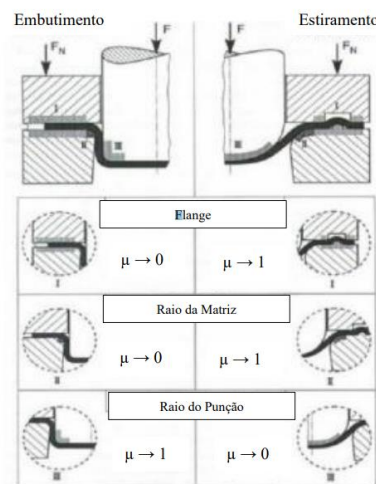
O estiramento tem características semelhantes ao embutimento, contudo com uma maior variação na espessura da peça. A operação de estiramento



corresponde a um estado de tensão biaxial de esforços de tração. O encruamento na chapa ocorre na região perto do punção durante o processo de conformação mecânica, o que aumenta sua resistência e ajuda o material a transmitir os esforços produzidos pelo punção para o restante da chapa, que está se deformando para o interior da matriz durante a conformação. Sendo assim, o estiramento deve suceder de modo controlado, provocando a redução da espessura, podendo conduzir a um escoamento instável do material, causando a estricção (afinamento local) ou até mesmo a falha por fratura (BATALHA, 2015).

Como discutido, as tensões distribuídas na chapa são influenciadas pelo encruamento. O coeficiente de encruamento se relaciona com a distribuição da carga, quanto maior, melhor é a distribuição, logo, a chapa suporta níveis de deformações superiores, antes de iniciar a estricção. Para as operações que carecem de alto nível de estiramento, é recomendável que o material tenha um maior nível de encruamento (BATALHA, 2015). O valor do coeficiente de atrito ( $\mu$ ) indica as diferenças no processo de estiramento e embutimento, como visto na Figura 8.

**Figura 8 - Relação do modo de deformação com a necessidade de atrito.**



**Fonte - Adaptado (BATALHA, 2015)**

Como visto na Figura 8, depende-se da forma de conformação mecânica e da região do material o atrito tem suas peculiaridades. O exemplo disso é a região do flange no caso de estiramento, que deve oferecer maior atrito possível para não provocar o deslizamento da chapa para dentro da matriz. No processo de estiramento utiliza-se o “*draw bead*” que é uma saliência na matriz para ajudar na fixação da chapa (BATALHA, 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os ensaios realizados e os materiais utilizados.

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados para realizar esse projeto e seus ensaios foram: óleo lubrificante de base sintética Lubrika Ciro 552, óleo lubrificante de base sintética Lubrika Ciro 870, óleo lubrificante de base vegetal Lubrika W40, mostrados na Figura 9, 10 corpos de prova de aço BH220 com coeficiente de escoamento de 239 MPa, de 0,7 a 0,9 milímetros de espessura, representados na Figura 10.

**Figura 9 - Óleos utilizados**



**Fonte– Autoria própria (2022)**

**Figura 10 – Corpo de prova BH220**



**Fonte – Autoria própria (2022)**

Além dos materiais consumíveis, foram utilizados alguns equipamentos para a realização de ensaios de tribologia e de estudo de materiais.

O principal equipamento utilizado foi uma prensa hidráulica com força de 45 toneladas com punção em *u-shape* retratada na Figura 11 e 12.

**Figura 11 – Prensa hidráulica**



**Fonte – Aatoria Própria (2022)**

**Figura 12 – Punção U-shape**



**Fonte – Aatoria Própria (2022)**

E para realizar as medições de tribologia foi utilizado o rugosímetro portátil SJ -210 MITUTOYO, que tem alta precisão e estava disponível no laboratório de manufatura da UTFPR campus Londrina da Figura 13.

**Figura 13 – Rugosímetro SJ-210 MITUTOYO**

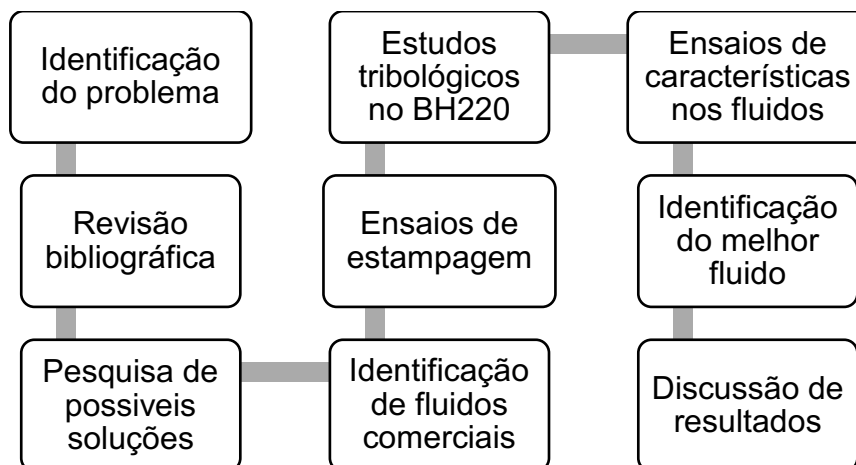


Fonte – Autoria Própria (2020)

### 3.2 Métodos

A realização desse trabalho seguiu basicamente os procedimentos retratados na Figura 14, passando por uma revisão bibliográfica, pesquisa e estudo de quais fluidos comerciais escolher para o início dos ensaios, ensaios na prensa hidráulica em si e estudos tribológicos, químicos e mecânicos do aço e dos lubrificantes.

**Figura 14 – Sequência de procedimentos.**



Fonte – Autoria Própria (2023)

Essa sequência de procedimentos se iniciou no primeiro contato com o problema central que foi a dificuldade que a indústria ferramenteira do Brasil se

encontra quando trata da produção de ferramentas de fabricação para chapas de classe A em alumínio para a indústria automotiva.

A partir desse problema foi executado um estudo de possíveis soluções, observando principalmente como o mercado internacional já em funcionamento age, mediante a esse estudo foi encontrada uma solução considerada plausível e alcançável com o uso de prensa hidráulica, com isso fez-se necessário o estudo do material a ser utilizado nessa fabricação que foi escolhido o aço BH220 por suas propriedades e a escolha de um fluido lubrificante e seu modo de aplicação mediante a ensaios e validação dos seus componentes para melhor resultado na superfície das peças estampadas.

### 3.2.1 Escolha dos fluidos lubrificantes

O primeiro fluido escolhido foi o CIRO522 fluido de base sintética, solúvel em água, de média viscosidade, desenvolvido especialmente para estampagem e repuxo. É recomendado para operações de estampagem e repuxo de metais ferrosos e não ferrosos. Não sendo necessário a utilização de desengraxante para sua remoção. Tendo como principais características:

- Alto poder lubrificante
- Isento de óleo mineral
- Excelente resultado em extrema pressão
- Ótimo acabamento
- Fácil remoção de água após a estampagem
- Não apresenta insalubridade
- Atende a NR15

O segundo fluido escolhido foi o CIRO870 fluido de base sintética, solúvel em água, de média viscosidade, desenvolvido especialmente para estampagem e repuxo. É recomendado para operações de estampagem e repuxo de metais ferrosos, não sendo necessário a utilização de desengraxante para sua remoção.

Tendo como principais características:

- Alto poder lubrificante
- Isento de óleo mineral
- Excelente resultado em extrema pressão
- Para metais ferrosos

- Ótimo acabamento
- Fácil remoção de água após a estampagem
- Não apresenta insalubridade
- Atende a NR15

O terceiro fluido escolhido foi o CIRO W40 fluido de base vegetal, solúvel em água, de média viscosidade, desenvolvido especialmente para estampagem e repuxo. É recomendado para operações de estampagem e repuxo de metais ferrosos, fácil de até mesmo com desengraxantes aquosos.

Tendo como principais características:

- Alto poder lubrificante
- Isento de óleo mineral
- Excelente resultado em extrema pressão
- Para metais ferrosos
- Ótimo acabamento
- Fácil remoção de água após a estampagem
- Não apresenta insalubridade

**Tabela 3 – Diferenças Lubrificantes.**

Lubrificantes	Ciro 522	Ciro W40	Ciro 870
Diferenças	Sintético Atende NR15 X	Base Vegetal X Metais Ferrosos	Sintético Atende NR15 Metais Ferrosos

**Fonte – CADIUM.**

### 3.2.2 Ensaio investigativos.

Foram escolhidas chapa de aço carbono revestida com zinco do tipo BH220, para os ensaios, a primeira fase foi estampar corpos de prova desse material com coeficiente de escoamento 239 MPA e uma variação de espessura de 0.7 a 0.9 milímetros em uma prensa hidráulica com punção *u-shape*, com força de estampagem de 45 toneladas que pode ser calculada pela equação (1), de curso regulável, 10 bar de pressurização no pulsão e 5 bar de pressurização na embreagem, ambas utilizadas na força de prensagem do equipamento. Foram realizadas 10 estampagens em corpos de prova com diferentes métodos de lubrificação e diferentes lubrificantes, 3 com lubrificação apenas de um lado feito

com pincel, 3 com lubrificação dos dois lados feito com pincel e 3 com lubrificação feita por pulverização.

$$F = \pi D_e t (S_u) \left( \frac{D_e}{D_p} - 0,7 \right) \quad (1)$$

Sendo F a força de estampagem em Newtons, t a espessura inicial do corpo de prova em milímetros, Su o limite de resistência à tração em Mega Pascal (MPa) e  $D_e$  e  $D_p$  os diâmetros de partida do corpo de prova e do punção em milímetros.

Groover(2018) mostra que a constante 0,7 é um fator de correção sobre os efeitos do atrito. Para a identificação da rugosidade dos corpos de prova após a estampagem foi utilizado o equipamento o rugosímetro portátil SJ -210 MITUTOYO, a rugosidade foi medida a 3 repetições em 3 áreas diferentes do material em cada corpo de prova, duas numa área atingida por estiramento pela força de estampagem e outra não, para servir de base do material sem ação do punção. Com isso conseguimos ter resultados mais controlados e descartar resultados de rugosidade o que estão muito fora do padrão.

Foram retirados em 3 regiões do corpo de prova parâmetros de RA e RZ, sendo RA (*Roughness Average*) utilizada para quantificar a textura superficial da peça usando a média das irregularidades presentes, quanto maior o valor da rugosidade Ra, mais áspera é a superfície e a RZ (*Roughness depth*) calculada como a diferença entre os pontos mais altos e mais baixos no perfil de rugosidade, valores maiores de Rz indicam uma maior amplitude de irregularidades na superfície, o que significa uma textura mais rugosa ou áspera, o estudo do RZ também deixa ser capaz a identificação de formação de bolsões de óleo nas ranhuras. Na Figura 15 e 16 podemos observar as áreas demarcadas para retirada dos parâmetros nos corpos de prova, a captação dos parâmetros de rugosidade foi na mesma direção que as estrias causadas pelo processo de estiramento da peça conformada.

Para definição da rugosidade média a norma NBR ISO 4287 (2002) indica que existem três parâmetros geométricos que caracterizam a superfície:

- Parâmetro P: Calculado a partir do perfil primário;
- Parâmetro W: Calculado a partir do perfil de ondulação;
- Parâmetro R: Calculado a partir do perfil rugosidade;



Dentre esses parâmetros, o R é o mais utilizado pelo fato de ser uma das variáveis (rugosidade) mais importantes nos processos produtivos. Por isso é o escolhido.

**Figura 15 – Áreas delimitadas para obtenção de parâmetros**



**Fonte 15 – Autoria própria**

**Figura 16 – Direção de captação dos parâmetros de rugosidade**



**Fonte 16 – Autoria própria**

Alves (2011) afirma que RA é o parâmetro de medição mais usado, aplicável na maioria dos processos de fabricação e, devido a sua grande utilização quase todos os equipamentos apresentam esse parâmetro. Já o RZ trata-se da média aritmética dos cinco valores de rugosidade parcial, analisando a altura máxima do

perfil (maior pico) e a profundidade do maior vale, no percurso de amostragem, e também torna capaz a identificação de bolsões de óleo na superfície do material. No caso de uma conformação para peças visíveis em automóveis a altura máxima e a profundidade máxima são de extrema importância na garantia do bom acabamento.

Com os resultados adquiridos foi possível analisar a melhor situação tanto de método de aplicação quanto do melhor óleo testado.

### 3.2.3 Ensaio nos Fluídos.

Nessa seção serão comentados dois ensaios realizados para definir algumas características físicas dos lubrificantes com objetivo de encontrar o que melhor se encaixa no processo de estampagem.

#### 3.2.3.1 Ensaio método da gota.

A tensão superficial da amostra foi realizada como mostra a Figura 17, por meio de uma bureta de 50ml, deste modo, foi gotejado em um Béquer cerca de 200 gotas para cada repetição de cada amostra, totalizando 1200 gotas. A massa do Becker é aferida antes e depois em uma balança de precisão. O ensaio foi realizado 3 vezes afim de se obter precisão nos resultados.

**Figura 17 – Amostra em ensaio**



**Fonte – Autoria própria**

Equação tensão superficial:

$$\sigma_{\text{óleo}} = \frac{m_{\text{óleo}} \times \sigma_{\text{água}}}{m_{\text{água}}}$$

(2)

Sendo:

$$\sigma_{\text{óleo}} = \text{Tensão superficial do Óleo} \left( \frac{N}{m} \right)$$

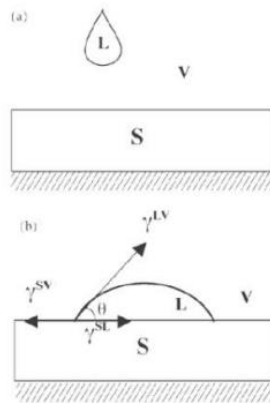
$$m_{\text{óleo}} = \text{Massa Óleo (g)}$$

$$\sigma_{\text{água}} = \text{Tensão superficial da água} \left( \frac{N}{M} \right)$$

$$m_{\text{água}} = \text{Massa água (g)}$$

Para o ângulo de contato mostrado na Figura 18, é realizado a partir de uma gota sobreposta sob a amostra de aço BH220, ou seja, cada lote apresentou um ângulo de contato diferente em relação a placa metálica, quanto mais próximo a 0° significa que a superfície tem característica hidrofílica e, inversamente a isso, se a gota formar um ângulo de contato maior que 90° temos uma superfície com característica hidrofóbica, em relação ao fluido e o sólido (placa de aço BH220) analisado.

**Figura 18 - Modelo teórico do ângulo de contato.**



**Fonte - Autoria própria**

Onde:

- sólido-vapor ( $A_{sv}$ )
- líquido-vapor ( $A_{lv}$ ).
- $\gamma^{sv}$  e  $\gamma^{sl}$  energias de superfície.

### 3.2.3.2 Ensaio Viscosidade.

O ensaio de viscosidade foi realizado pela empresa fornecedora dos fluidos lubrificantes, a viscosidade é uma propriedade dos fluidos que mede a resistência interna do material ao fluxo. Em geral, fluidos com baixa viscosidade, têm uma consistência mais fina, o que lhe dá uma capacidade de fluir mais facilmente na superfície, escoando rapidamente quando submetidos a uma força, o fluido oferece pouca resistência ao movimento, não adere ao material e tem um escoamento laminar, o que se significa que eles têm uma um escoamento facilitado durante os processos ao qual o material sofrerá na estampagem. Fluidos com alta viscosidade tem uma maior resistência por serem mais espessos.

Para um processo de estampagem em prensa, onde é necessária uma fluidez maior e uma distribuição melhor do lubrificante entre a superfície do material estampado e as ferramentas de estampagem para facilitar o movimento e reduzir o atrito durante o processo, uma menor viscosidade tem que ser considerada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante o processo de produção deste trabalho, no final deste conseguiremos escolher o melhor fluido lubrificante e o melhor método de lubrificação para a estampagem do aço BH220.

### 4.1 Rugosidade

Os parâmetros de rugosidade (RA) e (RZ) encontrados mediante ao uso do rugosímetro portátil SJ -210 MITUTOYO estão nas tabelas a seguir, após os ensaios nos diferentes corpos de prova dos 3 métodos de lubrificação (Pincel em um lado, pincel nos dois lados e spray por toda a peça), também dos 3 diferentes fluidos utilizados e em 3 áreas diferentes do corpo de prova, as médias de rugosidade foram obtidas tanto para (RA), como para (RZ).

O objetivo desse ensaio foi encontrar o material com menor rugosidade, o que caracteriza menos atrito da ferramenta com a superfície da peça. Desde modo buscamos os menores valores médios dos dois parâmetros de rugosidades e encontramos o lubrificante mais eficaz para esse caso. Nas Tabelas 4, 5 e 6 encontramos os valores das rugosidades em corpo de prova lubrificado somente de um lado com aplicação em pincel. Nas Tabelas 7, 8 e 9 os corpos de prova lubrificadas por pincel nos dois lados, e nas Tabelas 10, 11 e 12 os lubrificadas com borrifador (spray).

**Tabela 4 – 1º Resultado – Método Lubrificação 1 lado.**

LUBRIFICANTE 1 Lado	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
Tipo de Rugosidade						
CIRO W 40	1,347	6,001	1,116	5,848	1,191	5,004
<b>CIRO 870</b>	<b>1,24</b>	<b>5,566</b>	<b>1,194</b>	<b>5,365</b>	<b>1,272</b>	<b>4,836</b>
CIRO 552	1,421	6,344	1,201	6,672	1,243	6,765
SEM NADA	1,448	6,806	1,405	6,461	1,345	6,115

Fonte – Autoria Própria (2022)

**Tabela 5 – 2º Resultado – Método Lubrificação 1 lado.**

LUBRIFICANTE 1 Lado	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
Tipo de Rugosidade						
CIRO W 40	0,900	5,501	0,842	4,547	0,970	4,754
<b>CIRO 870</b>	<b>0,803</b>	<b>5,562</b>	<b>0,787</b>	<b>4,375</b>	<b>0,780</b>	<b>4,290</b>
CIRO 552	0,933	5,335	0,894	5,188	0,868	5,049
SEM NADA	0,941	5,868	0,998	5,787	0,929	5,86

Fonte – Autoria Própria (2022)

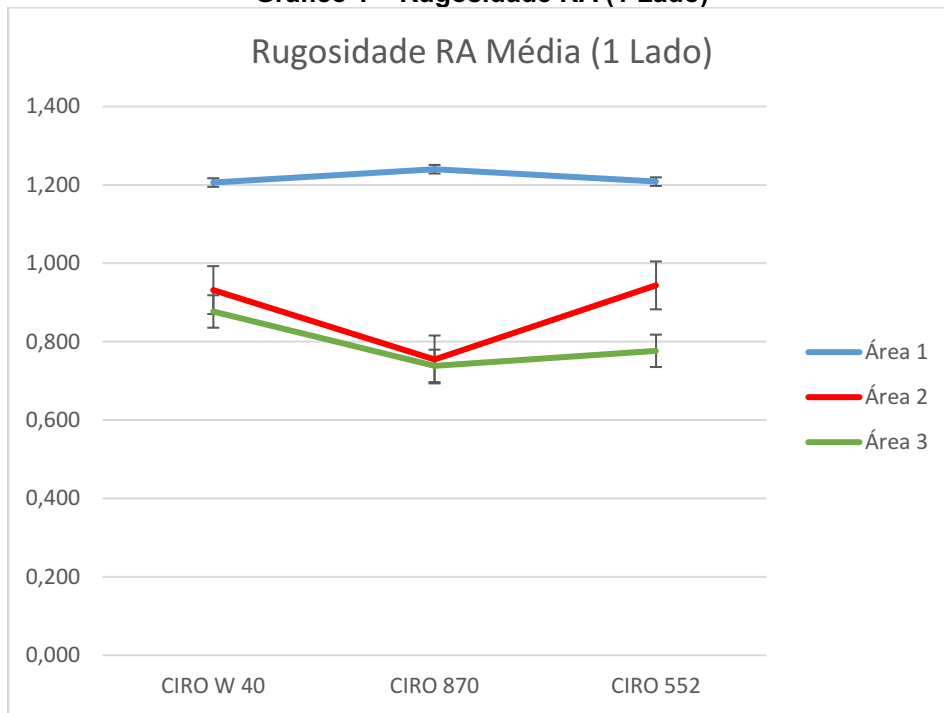
**Tabela 6 – 3º Resultado – Método Lubrificação 1 lado.**

LUBRIFICANTE 1 Lado	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
Tipo de Rugosidade						
<b>CIRO W 40</b>	<b>0,827</b>	<b>5,05</b>	<b>0,759</b>	<b>4,31</b>	<b>0,788</b>	<b>4,279</b>
CIRO 870	0,82	5,355	0,862	4,729	0,82	4,349
CIRO 552	0,861	4,611	0,871	5,206	0,964	5,541
SEM NADA	0,911	5,715	0,923	5,76	0,936	5,752

Fonte – Autoria Própria (2022)

Na primeira seção de ensaios podemos observar que os valores não são muito discrepantes entre os resultados de cada um dos óleos, porém ambos valores de rugosidade atingem valores numéricos satisfatórios. Como forma de filtrar ainda melhor os resultados, foram tiradas as médias de cada um dos parâmetros de rugosidade e o Gráfico 1 apresenta linha de tendência mostrando que em média tanto nos valores de RA como de RZ o óleo CIRO 870 tem os melhores resultados.

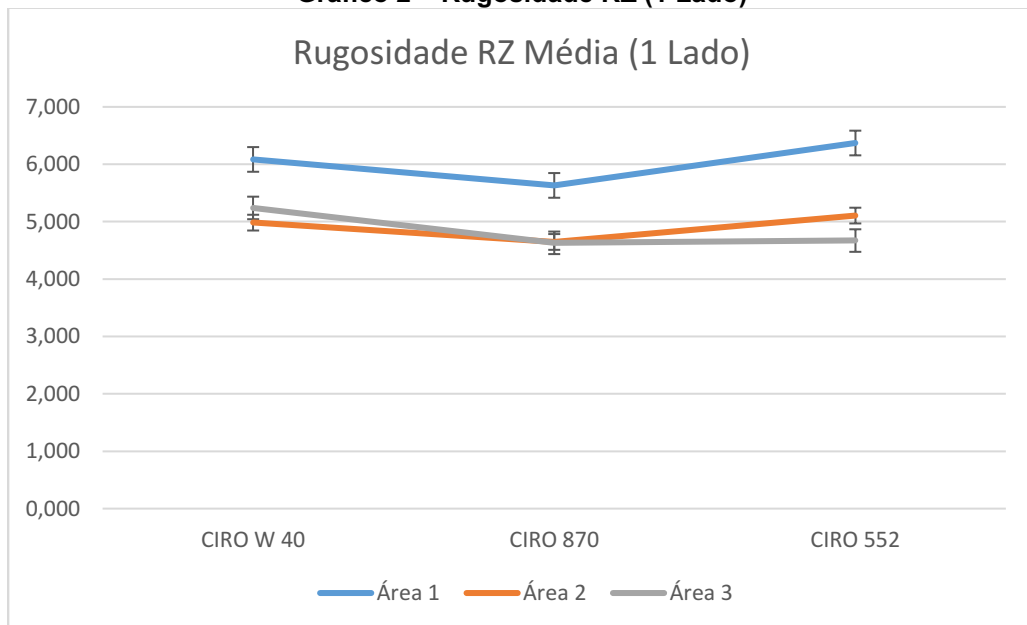
**Gráfico 1 – Rugosidade RA (1 Lado)**



Fonte - Autoria própria

Desvio padrão médio: 0,230526

**Gráfico 2 – Rugosidade RZ (1 Lado)**



Fonte - Autoria própria

Desvio padrão médio: 0,550831

Na segunda seção de ensaios, agora temos os resultados em outro método de aplicação do lubrificante, após uma breve limpeza da punção da prensa hidráulica, o corpo de prova é lubrificado por pincel em suas duas superfícies.

**Tabela 7 – 1º Resultado – Método Lubrificação 2 lados.**

LUBRIFICANTE 2 Lado	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
Tipo de Rugosidade						
CIRO W 40	1,092	5,186	1,154	5,185	1,249	5,280
CIRO 870	1,673	6,820	1,631	6,820	1,393	6,364
CIRO 552	1,421	6,677	1,274	6,100	1,263	6,035

Fonte – Autoria Própria (2022)

**Tabela 8 – 2º Resultado – Método Lubrificação 2 lados.**

LUBRIFICANTE 2 Lado	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
Tipo de Rugosidade						
CIRO W 40	0,824	4,846	0,876	4,633	0,928	5,130
CIRO 870	0,834	4,633	0,834	4,635	0,873	4,873
CIRO 552	0,933	4,752	0,922	4,850	0,930	4,997

Fonte – Autoria Própria (2022)

**Tabela 9 – 3º Resultado – Método Lubrificação 2 lados.**

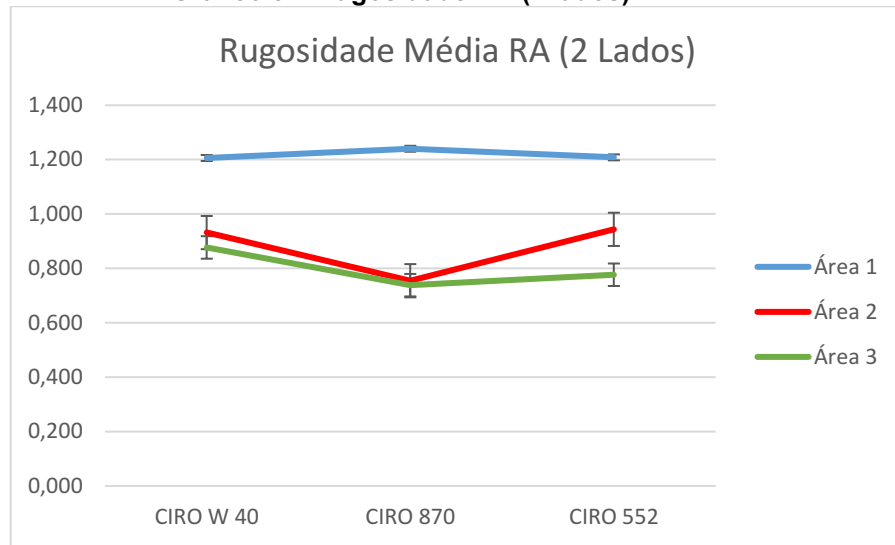
LUBRIFICANTE 2 Lado	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
Tipo de Rugosidade						
CIRO W 40	0,840	5,149	0,827	5,141	1,055	5,509
CIRO 870	0,783	5,198	0,820	5,141	0,833	5,364
CIRO 552	0,870	5,203	0,886	5,274	0,895	5,357

Fonte – Autoria Própria (2022)



Alguns problemas foram identificados na primeira tabela de resultados, pode-se dizer que o rugosímetro foi utilizado de maneira inadequada ou algum fator interno contribuiu para os dados. Com isso decidiu-se descartar os resultados da mesma. Os dois outros resultados mostraram novamente que o fluido Ciro 870 obteve os melhores parâmetros e a Tabela 9 mostra ainda que os resultados no método de lubrificação por pincel nos dois lados do corpo de prova são melhores que os primeiros com apenas um lado. Os Gráficos 3 e 4 mostram a média de rugosidade em RA e RZ neste caso.

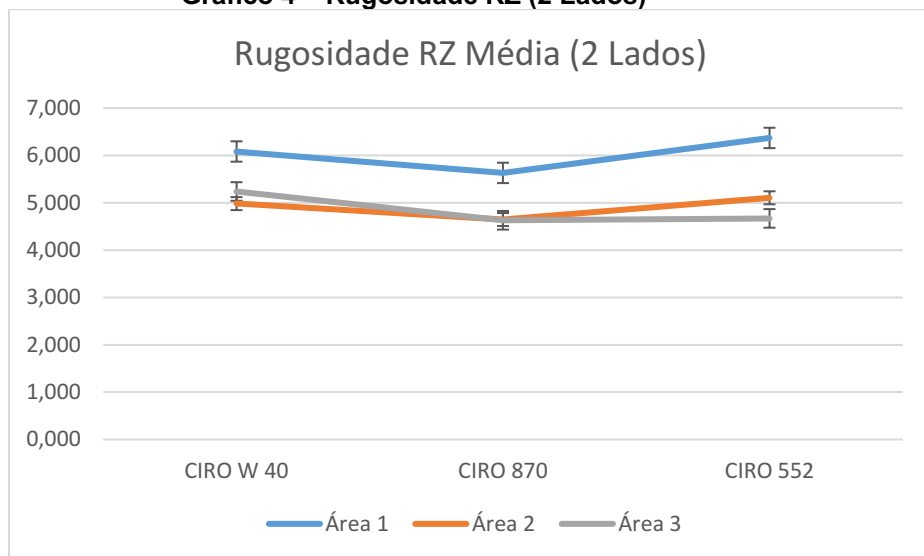
**Gráfico 3 – Rugosidade RA (2 lados)**



Fonte – Autoria Própria (2022)

Desvio padrão médio: 0,274551

**Gráfico 4 – Rugosidade RZ (2 Lados)**



Fonte – Autoria Própria (2022)

Desvio padrão médio: 0,650064

Por fim nas tabelas abaixo, utilizou-se o método da pulverização, com a utilização de um borrifador, novamente com a limpeza do equipamento sendo feita e novos corpos de prova sendo lubrificados.

**Tabela 10 – 1º Resultado – Método Lubrificação pulverização.**

LUBRIFICANTE Spray	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
Tipo de Rugosidade	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
CIRO W 40	1,225	6,619	1,245	5,814	1,148	5,821
<b>CIRO 870</b>	<b>1,178</b>	<b>5,443</b>	<b>1,294</b>	<b>5,778</b>	<b>1,248</b>	<b>5,675</b>
CIRO 552	1,229	7,299	1,193	5,902	1,203	5,912

Fonte – Autoria Própria (2022)

**Tabela 11 – 2º Resultado – Método Lubrificação pulverização.**

LUBRIFICANTE Spray	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
Tipo de Rugosidade	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
CIRO W 40	0,916	5,037	0,947	5,013	0,932	4,900
<b>CIRO 870</b>	<b>0,760</b>	<b>4,695</b>	<b>0,735</b>	<b>4,626</b>	<b>0,709</b>	<b>4,620</b>
CIRO 552	0,928	4,937	0,935	4,896	0,968	5,486

Fonte – Autoria Própria (2022)

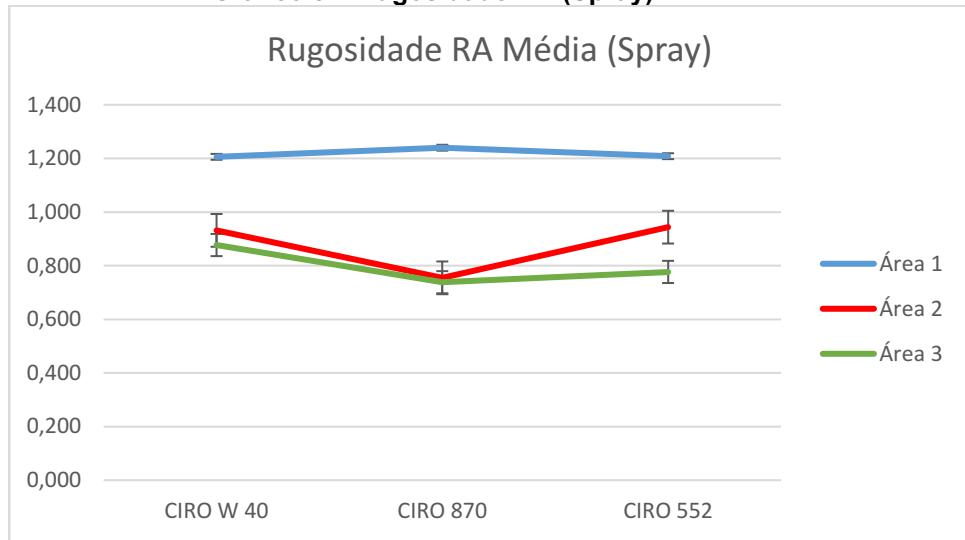
**Tabela 12 – 3º Resultado – Método Lubrificação pulverização.**

LUBRIFICANTE Spray	Área 1 (Sem contato)		Área 2 (Lado direito)		Área 3 (Lado esquerdo)	
Tipo de Rugosidade	RA	RZ	RA	RZ	RA	RZ
CIRO W 40	0,797	5,385	0,920	5,179	0,914	5,154
<b>CIRO 870</b>	<b>0,788</b>	<b>5,255</b>	<b>0,707</b>	<b>4,324</b>	<b>0,720</b>	<b>4,315</b>
CIRO 552	0,772	4,735	0,761	4,531	0,797	4,747

Fonte – Autoria Própria (2022)

Novamente problemas foram identificados na primeira tabela de resultados. Com isso decidiu-se descartar os resultados da mesma novamente. Os dois outros resultados colocam o fluido Ciro 870 novamente com os melhores parâmetros e a Tabela 11 e 12 mostra ainda que os resultados no método de lubrificação por pulverização como os melhores de todos os ensaios. Os Gráficos 5 e 6 confirma os resultados com as médias de rugosidade em RA e RZ.

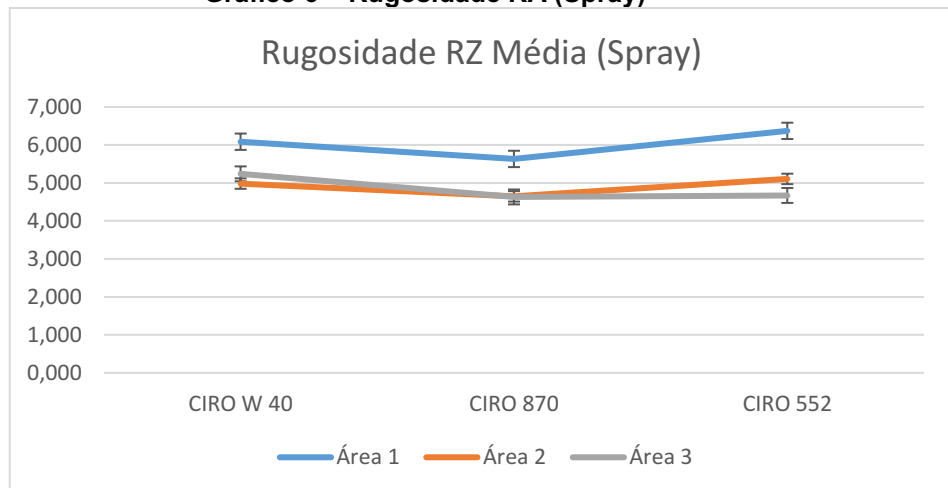
**Gráfico 5 – Rugosidade RA (Spray)**



Fonte – Autoria Própria (2022)

Desvio padrão médio: 0,226335

**Gráfico 6 – Rugosidade RA (Spray)**



Fonte – Autoria Própria (2022)

Desvio padrão médio: 0,677562

## 4.2 Viscosidade

**Tabela 13 – Viscosidade dos lubrificantes a 40°**

Lubrificante	Viscosidade
Ciro 522	70 cSt
Ciro W40	95 cSt
<b>Ciro 870</b>	<b>1 cSt</b>

Fonte – Empresa parceira (2022)

O lubrificante **Ciro 870** tem o menor valor de viscosidade calculado pela empresa parceira que forneceu cada óleo, o valor é muito abaixo dos outros fornecidos o que é uma validação do argumento que uma menor viscosidade traria melhores resultados no processo de estampagem, o que pode ser observado no ensaio de rugosidade onde o mesmo fluido também obteve os melhores resultados. Além disso, um fluido lubrificante de baixa viscosidade pode ajudar a evitar o acúmulo excessivo de resíduos e a formação de depósitos nas ferramentas de estampagem, o que compromete a qualidade do processo, esses acúmulos foram observados nos fluidos lubrificantes de alta viscosidade e pode ser observado na Figura 19.

**Figura 19 – Acúmulo de depósitos nos lubrificantes**



Fonte – Autoria própria

### 4.3 Tensão superficial e ângulo de contato.

Os resultados obtidos nesse estudo são apresentados a seguir:

**Tabela 14 – Tensão superficial Ciro W40**

Bequer	Massa conjunto	Massa Óleo	Massa gota	Tensão Superficial
B2	55,5941	4,6593	0,0233	0,0397947
B2	55,606	4,6712	0,0234	0,0398996
B2	55,5282	4,5934	0,0230	0,0392319
		Média		0,0396420

**Fonte – Autoria Própria**

**Tabela 15 – Tensão superficial Ciro 522**

Bequer	Massa conjunto	Massa Óleo	Massa gota	Tensão Superficial
B2	59,0719	8,1371	0,0407	0,0694984
B2	57,7426	6,8078	0,0340	0,0581449
B2	56,7218	5,7870	0,0289	0,0494263
		Média		0,0590232

**Fonte – Autoria Própria**

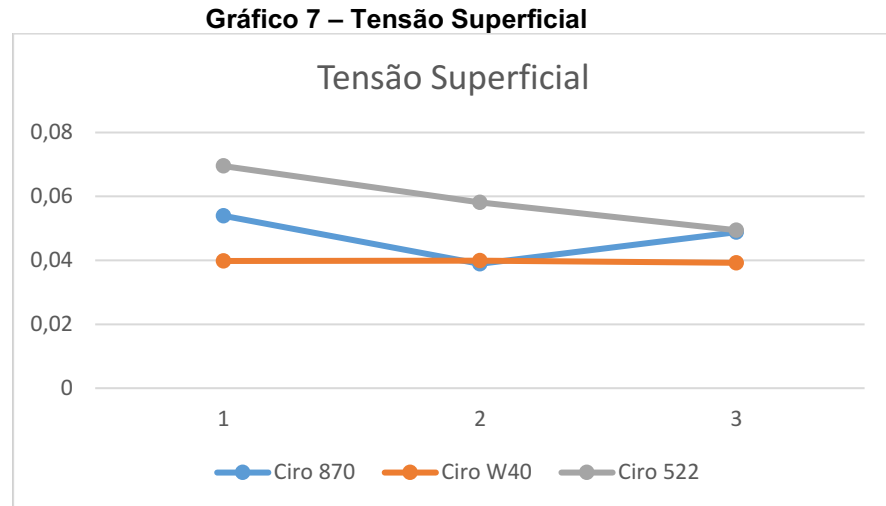
**Tabela 16 – Tensão superficial Ciro 870**

Bequer	Massa conjunto	Massa Óleo	Massa gota	Tensão Superficial
B2	57,2502	6,3154	0,0316	0,0539394
B2	55,4899	4,5551	0,0228	0,0389046
B2	56,6465	5,7117	0,0286	0,0487831
		Média		0,0472090

**Fonte – Autoria Própria**

A partir dos dados coletados e da equação matemática (2), foi possível determinar os valores das tensões para cada tipo de lote. Pode ser observado que no óleo Ciro 552 houve uma variação visível nas massas aferidas, justificamos esta variação pelo fato do fluido ter sofrido decantação no interior da bureta, fazendo com que pequenas partículas ficassem acumuladas, dificultando a vasão do óleo, isso interferiu para a variação dos valores do cálculo, mesmo com amostras em agitação

Os óleos Ciro W40 e Ciro 870 respectivamente obtiveram os melhores resultados, tendo o Ciro 870 alcançado o melhor resultado de tensão superficial em seu segundo ensaio tendo o valor de 0,0389046 N/M.



Fonte – Autoria Própria

Desvio padrão médio: 0,677562

O Gráfico 7 faz um comparativo de todos os resultados dos ensaios realizados. O próximo ensaio realizado foi o de ângulo de contato e os resultados estão na Tabela 17 abaixo:

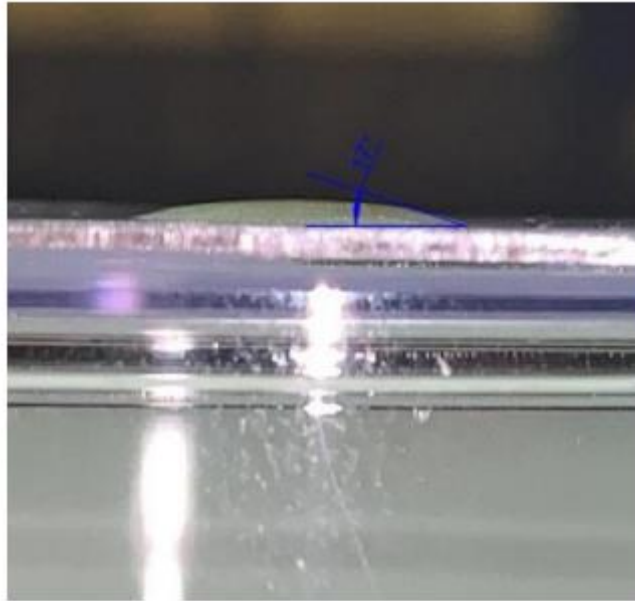
**Tabela 17 – Ângulo de Contato**

Lubrificante	Ângulo de Contato
Ciro 522	19°
Ciro W40	17°
<b>Ciro 870</b>	<b>7°</b>

Fonte – Autoria própria

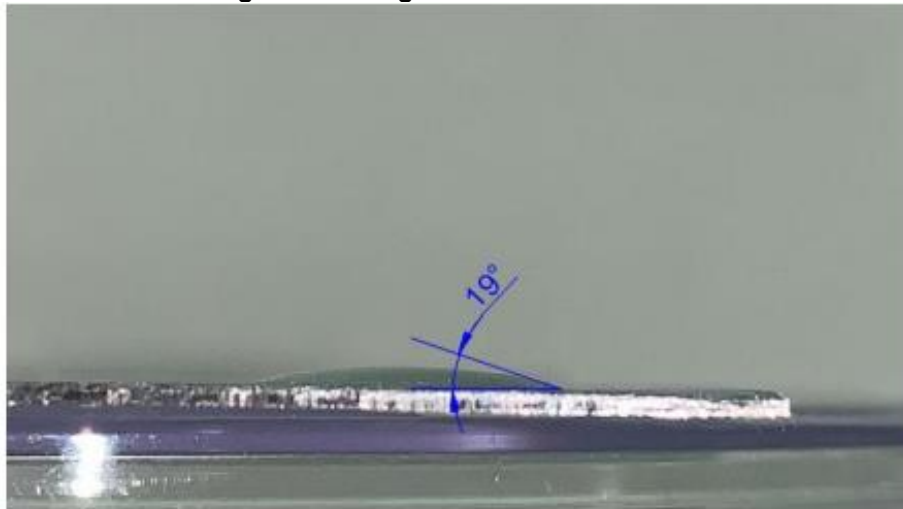
Para esta caracterização e para uma otimização das análises, foi utilizado o software Autocad, obtendo os valores descritos acima. Para uma homogeneidade das amostras no ângulo de contato, os fluídos foram colocados sob agitação constante, com uma micropipeta, uma gota de cada lote foi disposta na superfície de aço BH220, é visível que o óleo **Ciro 870** obteve o menor ângulo de contato (7°), mas outras amostras também obtiveram um baixo valor dos seus ângulos, ou seja, a capacidade de molhabilidade para os fluídos ensaiados é alta. Nas figuras abaixo podemos observar os resultados.

**Figura 20 – Angulo 17° Ciro W40**



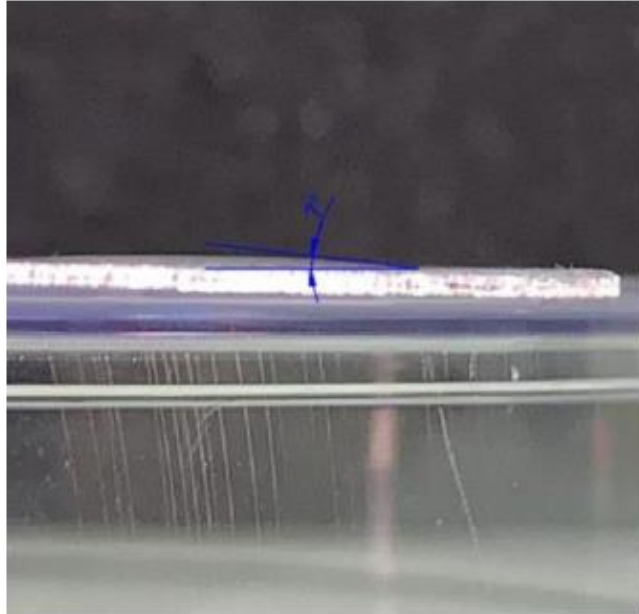
**Fonte - Autoria própria**

**Figura 21 – Angulo 19° Ciro 522**



**Fonte - Autoria própria**

**Figura 22 – Angulo 7° Ciro 870**



**Fonte - Autoria própria**

O ângulo de contato caracteriza a molhabilidade do fluido em contato com o sólido no caso o aço BH220, no caso de um ângulo menor o líquido tende a se espalhar e aderir à superfície de forma eficiente, cobrindo uma área maior.

O líquido forma uma camada fina e uniforme sobre a superfície sólida, o que facilita a interação entre as moléculas do líquido e do sólido. Isso resulta em uma aderência melhor e mais estável do líquido à superfície, promovendo uma cobertura eficiente e uma maior estabilidade da interface líquido-sólido. Em casos de estampagem uma boa aderência e um contato estável e eficiente faz com que o acabamento da peça seja melhor.



## 5 CONCLUSÃO

Considerando todos os ensaios realizados e resultados obtidos nos estudos tribológicos do material é possível concluir que o objetivo principal do trabalho que era estudar três fluidos comerciais afim de identificar o melhor desempenho entre eles em termos de redução de atrito e desgaste na estampagem do aço BH220 em ferramentarias para um melhor acabamento em peças estampadas para o uso em carroceria e painéis de classe A de veículos foi cumprido.

Nos ensaios de rugosidade, o produto Ciro 870 com a aplicação por meio de pulverização obteve os melhores resultados, causando menos variações de picos e vales de rugosidade o que mostrou o parâmetro RZ, os valores menores do parâmetro RA mostram uma proximidade da linha média da superfície do material o que se pode concluir que as deformações e imperfeições do material são pequenas.

Nos ensaios de viscosidade realizados pela empresa fornecedora, novamente para o caso estudado o produto Ciro 870 teve a menor viscosidade atingida o que também é um fator de importância para a escolha do produto final, vários motivos confirmam essa conclusão, um óleo de menor viscosidade tem o seu fluxo facilitado, conseguindo atingir todas as superfícies do material, possui menos formação de resíduos por facilitar o processo de remoção, um óleo menos viscoso forma uma camada fina e uniforme entre superfícies o que facilita o processo de estampagem sem falhas de acabamento.

Para tensão superficial dois óleos tiveram resultados satisfatórios sendo eles o Ciro W40 e novamente o 870, sendo o primeiro com os melhores resultados médios de tensão e o segundo o melhor resultado entre todos no seu segundo ensaio, ainda nesse ensaio pode-se concluir que todos os óleos ensaios têm excelente molhabilidade o que é de extrema importância na estampagem.

Por fim, novamente o lubrificante Ciro 870 teve os melhores resultados no ensaio de ângulo de contato, atingindo um valor de  $7^\circ$  o que é extremamente satisfatório para o processo de estampagem a frio, principalmente por reduzir o atrito durante o processo, permitindo o deslizamento suave da ferramenta sobre o material, um ângulo baixo também minimiza o desgaste da ferramenta pois a formação da fina camada de óleo reduz o contato direto da ferramenta com o material.

Além disso, dois fatores foram de extrema importância para a escolha do lubrificante, ele atende as normas da NR15, principalmente no 15.1.5 Entende-se por "Limite de Tolerância", para os fins desta Norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral. E também por se tratar de um óleo sintético sem adição de minerais, o que é benéfico para o ambiente por ser de uma fonte renovável e com menor emissão de poluentes.

Apesar de todos os resultados positivos, foram observadas algumas possibilidades de otimização a serem feitas, todos os lubrificantes sofreram com decantação com pequenos detritos mesmo em constante agitação, o que pode ser uma fonte de problemas no decorrer da implementação dos óleos na fabricação das peças.

Após toda essa investigação temos que o Óleo Lubrificante sintético Ciro 870 será o escolhido e enviado para o fornecedor junto com seus resultados para que seja otimizado nos detalhes necessários e será o óleo enviado para finalização de estudo das ferramentarias e possível aplicação no processo de produção de painéis para indústria automobilística.

## REFERÊNCIAS

- WEIDLICH, F. **Avaliação de Lubrificação de Rolamentos de motores elétricos**. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009;
- SANTOS, S. C; SALES, W. F. **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**. Sao Paulo: Artliber, 2007. 246 p;
- ASSEMBLY - **Reducing Weight of Electric Vehicles (2021)** Acesso em 11/11/2022. Disponível em: <https://www.assemblymag.com/articles/96600-reducing-weight-of-electric-vehicles>;
- BORGES, R. **Aços com envelhecimento controlado: Efeito do modo e da quantidade de pré-deformação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 1994;
- NOVELIS. **Estudo de caso**. Ford F-150 (2022). Acesso em 11/10/2022. Disponível em: [https://pt-br.novelis.com/case\\_study/ford-f-150/](https://pt-br.novelis.com/case_study/ford-f-150/);
- REVISTA ALUMÍNIO (2018). **Por um rodar leve e sustentável**. Acesso em 12/10/2022. Disponível em: <https://revistaaluminio.com.br/por-um-rodar-leve-e-sustentavel/>;
- FERREIRA, F. R. et al. **Estudo de viabilidade de utilização do material BH220 em substituição ao FEP04 em painel externo de um automóvel**. Congresso ABM, 2012;
- CZERWINSKI, F. (2021). **Current trends in automotive lightweighting strategies and materials**. Materials, 14(21). <https://doi.org/10.3390/ma14216631>;
- GOMES, J. (2019). **Ferramentarias no ROTA 2030**. Revista Ferramental, Joinville pp. 80, ed 84, p. 78, julho, 2019;
- LORA, F. A. **Avaliação do processo de estampagem profunda de chapas de aço BH180 e BH220 utilizado na indústria automobilística**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009;
- BHADESHIA H.K.D.H; DAS S.; SINGH S. B.; MOHANTY O.N. **Understand the Complexities of Bake Hardening, Materials Science and Technology**, Vol. 24, p. 107-111, 2008;
- ZINI, M. **Óleos lubrificantes e seu rerrefino**. 2020. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Unopar, Cascavel, 2020;
- CORDEIRO, Y. M. *et al.* **Aspectos Técnicos e Ambientais dos Óleos Lubrificantes Minerais versus Vegetais em Aplicações de Metal Working com Ênfase em Usinagem**. Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana, Macaé, v. 11, p. 20-39, 23 nov. 2020. Mensal;

FOLLE, L. F.; SCHAEFFER, L; **Avaliação das condições tribológicas em estampagem de chapas através de ensaio de dobramento sob tensão.** Revista Matéria, Porto Alegre, v. 22, p. 1-15, 29 jun. 2016. Anual;

LEMOS, G. **Efeito do recozimento em caixa do passe de encruamento nas propriedades mecânicas de um aço Bake Hardening.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, pp.14-17,2011;

FERREIRA, F. R. et al. **Influência da Temperatura e do tempo de permanência no forno do aço BH220 no resultado de Bake Hardening.** Congresso ABM, 2013;

GROOVER, M. P. **Introdução aos processos de fabricação** / Mikell P. Groover; tradução Anna Carla Araujo ; tradução e revisão técnica André Ribeiro de Oliveira [et al.] - 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2014. il.  
Baker,L., Daniel, S., Parker, J.D. "Metallurgy and processing of ultra-low carbon bake

SETH, P. P. **Study of Bake-hardening behaviour of ultra-low carbon BH 220 steel at different strain rates. 2014.Dissertação**(Mestrado em Engenharia Mecânica), National Institute of Technology, Rourkela.  
MOBIL. Lubrificação Curso Básico. 8ªEdição. s.d.

PETRONAS. **Princípios Básicos de LUBRIFICANTES E LUBRIFICAÇÃO**, s.d.

ZAMBONI, G. E. **Óleos Básicos. Lubes em Foco**, n. 05, p. 1219,2008. Disponível em: < <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao05/index.html>>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SILVA, A. E. O. **Transposição didática: a química dos óleos lubrificantes.** 2011. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). – Curso de Química, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SOARES, R. M. **Avaliação técnica, mercadológica e de tendências da utilização de óleos lubrificantes de base vegetal.** 2013. 114f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

CARRERITO, R. P., BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes e lubrificação industrial.** Rio de Janeiro, 2008.

INOVAÇÃO INDUSTRIAL. **Qual impacto do óleo básico na composição do lubrificante?** 2018. Disponível em: <<https://inovacaoindustrial.com.br/oleobasico/>>. Acesso em: 05 de abr. 2023.

DELGADO, M. A; QUINCHIA, L. A; SPIKES, L. A; GALLEGOS, C. **Suitability of ethyl cellulose as multifunctional additive for blends of vegetable oilbased lubricants.**Journal of Cleaner Production, v. 151, p. 19,2017.

MATOS, P. R. R. **Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado) – Programa de PósGraduação em Química, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília 2011

MATOS, P. R. R.; POLITI, J. R. S. **Óleos vegetais – Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes**. Lubes em Foco, n. 20, p. 2426, 2010. Disponível em: <<http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao20/index.html>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

JANSEN, L. A. **Lubrificantes & Lubrificação Especial**. 2005.

BATALHA, M. H. F. **Estudo da Estampabilidade a Quente de Aço ao Boro em Conformação com Redução de Espessura Controlada**. Dissertação de mestrado - Curso de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas 2015.

CRIVELLARO, R. S. **Estudo da Estampabilidade de Tailored Blanks soldadas a laser**. 2003. 89 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2003

TIGRINHO, L. M. V. Perfil de redução na espessura de chapas de aço de alta

FERREIRA FR, FERREIRA JL, SILVA SM, FARIA ER, BUSTAMANTE GO. **Estudo de viabilidade de utilização do material BH220 em substituição ao FEP04 em painel externo de um automóvel**. In: Anais do 67º Congresso ABM Internacional; 2012; Rio de Janeiro. São Paulo: ABM; 2012.

World Auto Steel. Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines, Versão 4.1, 2009. Disponível em : <[www.worldautosteel.org](http://www.worldautosteel.org)>

LIMA, A.L.L. **Combustíveis**. 2020. Disponível em: :<<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/combustiveis.htm>> Acesso em: 05 de abr. 2023.

ROSA, A. M. **Influência de diferentes tipos de lubrificantes e da pressão de contato no atrito e desgaste de ferramentas para conformação de chapas**. 2016. 102f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2016.