



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

ADRIANO DO AMOR DIVINO GUILHON SERRA

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA VIABILIDADE TRIBOLÓGICA DA
UTILIZAÇÃO DE BIOLUBRIFICANTES**

São Luís – MA
2018

ADRIANO DO AMOR DIVINO GUILHON SERRA

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA VIABILIDADE TRIBOLÓGICA DA
UTILIZAÇÃO DE BIOLUBRIFICANTES**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO ALUNO ADRIANO DO AMOR DIVINO GUILHON SERRA, E ORIENTADO PELO PROF. ME. PAULO ROBERTO CAMPOS FLEXA RIBEIRO FILHO.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

São Luís – MA

2018

Serra, Adriano do Amor Divino Guilhon.
Estudo experimental da viabilidade tribológica da utilização de biolubrificantes / Adriano do Amor Divino Guilhon Serra. – São Luís, 2018.

... 65f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho.

1. Biolubrificantes. 2. Óleo de urucum e coco. 3. Taxa de desgaste.
4. Tribologia. 5. Tribômetro.

CDU: 621.892

Elaborado por Giselle Frazão Tavares- CRB 13/665

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA VIABILIDADE TRIBOLÓGICA DA
UTILIZAÇÃO DE BIOLUBRIFICANTES**

Autor: Adriano do Amor Divino Guilhon Serra

Orientador: Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Adilto Pereira Andrade Cunha

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Me. Diego Rosa Santos

Instituição: Universidade CEUMA

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís -MA, 12 de dezembro de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a maior e melhor pessoa que já conheci, a quem moldou e construiu o meu caráter, e quem teria mais orgulho de mim neste momento de vitória. Porém mesmo ter em minhas mãos o sonho dela por mim vivenciado e hoje se tornando realidade, sou acometido da infelicidade em que essa maravilhosa pessoa, Ceane do Amor Divino Guilhon Serra, minha mãe, já não se faz presente em vida, porém estarás sempre em meu coração.

À minha irmã, Adriane do Amor Divino Guilhon Serra, também destino esta dedicatória, ela que sempre esteve comigo e possibilitou aos meus cuidados a retribuição dos mesmos, e com compreensão me dá forças para continuar, e que a realização desta monografia possa servir de incentivo e exemplo para ela prosseguir, com o legado de que através do esforço podemos alcançar nossos objetivos.

Em geral, dedico esse trabalho para todos que acreditaram em mim, e sempre me apoiaram para prosseguir nesta jornada, citando em especial a minha tia (Rosimar Mendes Serra) e meu pai (José Ribamar Mendes Serra) que proporcionaram o incentivo suficiente para eu não desistir.

E peço desculpas para todos em que ausentei devido ao tempo que me dediquei para fazer este trabalho e por isso vos agradeço, e para minha namorada, Yen, a ti dedico esta monografia pelo apoio e companheirismo sem limites que tens me proporcionado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a modo geral aos meus familiares e amigos que por mim torceram e contribuíram na realização dos cinco anos de graduação da minha formação em engenheiro mecânico.

À minha namorada, Wang Fe Yen, que me ajudaste nesta caminhada não só estando ao meu lado proporcionando momentos inesquecíveis, mas por atuar de forma direta neste trabalho, mesmo que significasse o sacrifício de seu tempo, estavas comigo me auxiliando na execução dos testes e propondo novas ideias para aprimoramento dos mesmos de forma geral.

Ao professor Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho por suas orientações e sempre disposto para atender aos meus chamados, agradeço por além de se apresentar como um exemplo de vida e inspiração, ter trilhado esta jornada, onde por meio dessa pesquisa de grande relevância fomos indicados ao Prêmio FAPEMA Sergio Ferretti na categoria das engenharias como jovem cientista, além de ganhar o prêmio de iniciação científica do SEMIC, edição 30, na categoria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação.

Ighor Caetano Silva Ferreira te agradeço por todos os ensinamentos que junto com Paulo possibilitou o entendimento dos assuntos aqui apresentados, e proporcionou o embasamento teórico e prático deste trabalho, além de se torna um grande amigo.

Ao Luizivam Coimbra Rabelo por proporcionar dias de leitura das dissertações por mim feitas, além de fornecer o aprimoramento destas através de correções, se dedicando com paciência e perseverança, me mostrando que se deve fazer o melhor que pode ser feito, mesmo que seja necessário ser efetuado por um longo tempo.

Aos integrantes do laboratório LABLUB, agradeço os dias de convívio através dos experimentos, e em especial ressalto Thymisson Sousa da Paixão através da força de vontade para compreender o projeto e auxiliar através de ideias para aprimoramento da bancada experimental.

À UEMA e o corpo docente da graduação do curso de engenharia mecânica pela educação de qualidade. E aos discentes, meus companheiros de estudos, que sempre tiveram paciência ao sanar minhas dúvidas e por meio de seus ensinamentos obter êxito em cada semestre de aprovação. Em homenagem aos integrantes da Turma de 2014.1 que neste semestre concluem este curso junto comigo, são: Wang Fe Yen (Mô), José Airton (Paizão), Jot Anderson Pereira (Pereirão), Nicolas Dias (Nicolau) e Wallace Soeiro (Wallasix).

RESUMO

O LUBRAX HYDRA XP, assim como a maioria dos lubrificantes minerais, possui uma ficha técnica chamada FISPQ, que traz consigo uma lista de advertência ao seu manuseio e descarte, isto por ser um agente tóxico. Logo, tem-se a proposta de implementação de óleos vegetais para substituí-los, já que estes se apresentam substâncias biodegradáveis que são provenientes de fontes renováveis, que o difere dos de base mineral (derivados do petróleo). Com o objetivo de verificar a viabilidade de substituição dos óleos de origem mineral pelo de origem vegetal, realizou-se ensaios para definir propriedades físicas e taxas de desgaste por meio da bancada experimental. A determinação das propriedades físicas dos óleos vegetais, como a viscosidade a 40°C e 100°C, o ponto de fulgor, de combustão e a densidade, são respectivamente obtidas com base nas normas ASTM D445, ASTM D92 (vaso aberto Cleveland - COC) e ASTM D4502. Para o óleo mineral, LUBRAX HYDRA XP 46, tem suas propriedades físicas obtidas através dos dados fornecidos pelo fabricante. Testes e metodologias são apresentados para se obter maior confiabilidade, estes remetem em análises para resultados de dureza, rugosidade e microscopia. Através de um sistema aberto de pino contra disco (bancada experimental utilizada para averiguar a lubricidade dos óleos), tribômetro de deslizamento, efetuou-se os testes de desgaste, onde os óleos vegetais apresentaram melhores resultados para redução do calor gerado na área de contato como na quantidade de desgaste dos corpos de prova. A região de contato lubrificada com óleo de urucum se comparado com o óleo mineral promove um desgaste inferior na ordem de 74,45%. O óleo de coco apresentou maior eficiência dos três óleos, com 80,2 % mais eficaz do que o LUBRAX HYDRA XP 46.

Palavras-chaves: Biolubrificantes, Óleo de Urucum e Coco, Tribologia, Tribômetro e Taxa Desgaste.

ABSTRACT

LUBRAX HYDRA XP, as well as most mineral lubricants, has a data sheet called a FISPQ, which carries a list of warnings for its handling and disposal, as this is a toxic agent. Therefore, the proposed implementation of vegetable oils to replace them, since these are biodegradable substances that come from renewable sources, which differs from those of mineral based (derived from petroleum). In order to verify the feasibility of replacing the oils of mineral origin with the vegetable origin, tests were carried out to define physical properties and wear rates through the experimental bench. The determination of the physical properties of vegetable oils, such as viscosity at 40 ° C and 100 ° C, flash point, combustion point and density, are respectively obtained according to ASTM D445, ASTM D92 (Cleveland - COC open vessel) and ASTM D4502. For mineral oil, LUBRAX HYDRA XP 46, has its physical properties obtained from data supplied by the manufacturer. Tests and methodologies are presented to obtain greater reliability, these refer in analyzes for results of hardness, roughness and microscopy. Through an open pin-to-disk system (experimental bench used to verify the lubricity of the oils), sliding tribometer, the wear tests were performed, where the vegetable oils presented better results to reduce the heat generated in the contact area as in the amount of wear of the specimens. The contact region lubricated with urucum oil compared to mineral oil promotes a wear and tear in the order of 74.45%. Coconut oil showed higher efficiency of the three oils, with 80.2% more effective than LUBRAX HYDRA XP 46.

Keywords: Biolubricants, Tribology, Oil of Urucum and Coconut, Tribometer and Wear Rate.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 2.1 – Ilustração isométrica da presença de Elemento Interfaciais entre superfícies irregulares (Adaptado de Stachowiak e Batchelor, 2005).	3
Figura 2.2 – O consumo de toda energia gerada pelo combustível se reduz a 21,5% para movimentar o carro, enquanto parte da perda foi por atrito (Adaptado de Farias, 2017).	4
Figura 2.3 – Gráfico da força de atrito e das forças atuante em um corpo rígido (Adaptado de Soares, 2015).	5
Figura 2.4 – Atrito por: a) deslizamento, b) rolamento e c) fluído	6
Figura 2.5 – Esquema de um sistema tribológico (Adaptado de Farias, 2017).	7
Figura 2.6 – Imagem ilustrativa e explicativa da topografia superficial	8
Figura 2.7 – Processos de desgaste (Adaptado de Radi et al, 2007).	10
Figura 2.8 – Mecanismo de desgaste (Adaptado de Radi et al, 2007).	10
Figura 2.9 – Principais óleos básicos derivado do petróleo (Adaptado de Ramos, 2018).15	
Figura 2.10 – Lubrificação por gravidade, da esquerda para direita: manual; copo com vareta e copo conta gotas (Adaptado de Silva, 2017).	18
Figura 2.11 – Classificação do sistema tribológico e parâmetros de escolha pré-definidos (Adaptado de Farias, 2017).	19
Figura 3.1 – Agitador Magnético: 1 – Termopar; 2 – Erlenmeyer com o óleo ensaiado; 3 – Base do agitador magnético.	21
Figura 3.2 – Viscosímetro Copo de Ford	22
Figura 3.3 – Vaso aberto de Cleveland.	23
Figura 3.4 - Definição da densidade com o uso de balança, pipeta e Becker.	24
Figura 3.5 – Projeto simplificado em CAD da Bancada (Adaptado de Ribeiro, 2015). ...	25
Figura 3.6 – Montagem do circuito; A- Placa de prototipagem com USB inserido; B- Protoboard; C- Termistor NTC (ambiente); D- Termistor NTC (corpo de prova); E- Led de infravermelho alinhado ao fototransistor.	27
Figura 3.7 – Ligação do circuito; A- Alimentação da protoboard B- Conexões do infravermelho; C- Conexões do Termistor NTC (ambiente); D- Conexões do Termistor NTC (corpo de prova); E- Conexões do fototransistor.	27
Figura 3.8 - Ensaio de dureza no disco.	28
Figura 3.9 – Foto do rugosímetro TR220.	29
Figura 3.10 – Esmeril JOWA.	30

Figura 3.11 – Microscópio.	31
Figura 3.12 – Balança de precisão da BEL.	31
Figura 4.1 – Aparências dos óleos a) urucum, b) coco e Lubrax.	32
Figura 4.2 – Bancada experimental finalizada; 1- Reservatório e regulador de gotas; 2- Suporte e alavanca; 3 - Motor; 4 – Base da bancada; 5 – Canalizador.	35
Figura 4.3 – Ênfase na área de contato da Bancada experimental; 1- Chapa guia; 2 - Corpo de prova com sensor serido; 3 - Bandeja coletora; 4 - Base dos sensores de vazão; 5 - Disco.	36
Figura 4.4 – Gráfico da taxa de desgastes dos óleos ensaiados.	39
Figura 4.5 - Fotos microscópica de 500x antes dos ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.	40
Figura 4.6 - Fotos microscópica de 500x antes dos ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.	41
Figura 4.7 - Fotos microscópica de 500x após os ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.	41
Figura 4.8 - Fotos microscópica de 1000x após os ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Materiais da bancada experimental	26
Tabela 3.2 – Configuração alteradas no TR 220.	29
Tabela 4.1 – Resultados dos ensaios das Propriedades físicas.	32
Tabela 4.2 – Resultados das rugosidades no disco.	33
Tabela 4.3 – Resultados das rugosidades nos corpos de prova I, II e III.	34
Tabela 4.4 - Resultados da dureza dos componentes.	35
Tabela 4.5 – Resultados das massas dos corpos de prova (g).	38

LISTA DE ABREVIATURA, SIGLAS E SÍMBOLOS

f	frequência do inversor em Hertz
\vec{F}_{at_d}	Força que sustenta o movimento decorrente ao atrito dinâmico
$\vec{F}_{at(máx.)}$	Força máxima devido ao coeficiente de atrito estático
\vec{F}_{at}	Força de atrito
\vec{N}	Força normal do corpo a ser deslocado
V_{cin}	Viscosidade cinemática do fluido
V_{per}	Volume perdido
d_{disco}	diâmetro do disco
°C	Grau Celsius
μ	Coeficiente de atrito
μm	Micrometro
w	Velocidade de rotação do motor
A0	Sinal analógico do termistor contido no corpo de prova
A1	Sinal analógico do termistor no ambiente
A2	Sinal analógico do fototransistor
ABCM	Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas
ASTM	Órgão de normalização (American Society for Testing and Materials)
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
C	Escala de dureza em Rockwell
Cut off	Comprimento de medição
D	Distância percorrida
d	Densidade
DEM	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
EI	Elementos interfaciais
EN	Normas europeias
EP	Extrema pressão
F	Força que desloca o corpo na imagem 2.4
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos
g	Massa em gramas
G1	Portal de notícias da Globo

<i>H</i>	Dureza do material ensaiado
HRC	Medida em Rockwell C
Hz	Hertz
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
IV	Índice de viscosidade
<i>K</i>	Coefficiente de desgaste dimensional
LABLUB	Laboratório de Lubrificação
<i>m</i>	Massa
mm ²	Milímetro quadrado
mm ³	Milímetro cúbico
N6	acabamento superficiais
N7	acabamento superficiais
NTC	Sensor de temperatura (Negative Temperature Coefficient)
NUTENGE	Núcleo Tecnológico de Engenharia da Uema
Ø	Diâmetro
PAO's	Classificação de Polialfaolefinas
Q	Taxa de desgaste
Ra	Parâmetro de rugosidade
<i>s</i>	Tempo de escoamento
SAE	Sociedade dos Engenheiros Automotivos
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SKF	Fabricante de rolamentos (Svenska Kullager Fabriken)
<i>t</i>	tempo de teste em minutos
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
USB	Tecnologia que permite a conexão de periféricos (Universal Serial Bus)
<i>V</i>	Volume
W	Força peso na imagem 2.4
W	Carga aplicada no ensaio de desgaste
XP 46	Lubrificante mineral Lubrax Hydra XP 46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos gerais.....	2
1.2. Objetivos específicos:.....	2
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1. Atrito.....	3
2.1.1. MATERIAIS.....	7
2.1.2. GEOMETRIA SUPERFICIAL	8
2.1.3. CARREGAMENTO	9
2.1.4. MOVIMENTO	9
2.1.5. AMBIENTE.....	9
2.2. Desgaste	10
2.3. Lubrificação	12
2.3.1. HIDRODINÂMICA	12
2.3.2. HIDROSTÁTICA.....	12
2.3.3. ELASTO-HIDRODINÂMICA.....	13
2.3.4. CONTORNO	13
2.3.5. FILME SÓLIDO.....	13
2.4. Lubrificante.....	13
2.4.1. ORGÂNICOS	14
2.4.2. MINERAIS	15
2.4.3. SINTÉTICOS	16
2.5. Propriedades físicas dos lubrificantes.....	17
2.6. Métodos de Lubrificação.....	18
2.7. Tribômetro	19
2.8. Sustentabilidade.....	20

3.	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1.	Definição das propriedades físicas	21
3.1.1.	VISCOSIDADE.....	21
3.1.2.	PONTO DE FULGOR E COMBUSTÃO	23
3.1.3.	DENSIDADE	24
3.2.	Montagem da bancada experimental.....	25
3.3.	Procedimentos para os testes	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1.	Propriedades Físicas	32
4.2.	Rugosidade	33
4.3.	Dureza.....	34
4.4.	Bancada experimental.....	35
4.5.	Diferença de Temperatura dos Testes	37
4.6.	Taxa de desgaste	38
4.7.	Análise microscópica	40
5.	CONCLUSÃO.....	43
6.	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	44
	REFERÊNCIAS	45
	ANEXO A – Informações técnicas do Lubrax Hydra XP.	51
	APÊNDICE A – Compilação no ARDUINO para aquisição de dados dos sensores... ..	52
	APÊNDICE B – Gráfico de dispersão da diferença de temperatura dos óleos.	55
	APÊNDICE C – Gráfico polinomial da diferença de temperatura dos óleos.....	56
	APÊNDICE D – Diferenças de temperatura dos óleos com relação à distância.....	57

1. INTRODUÇÃO

Ao passar do tempo a humanidade tem evoluído, e a evolução ocorre de acordo da necessidade que o ser humano tem em se adaptar por meio da sua capacidade de transformar e inventar. Com a lubrificação não foi diferente, pois segundo o relato de Radi et al. (2007), no antigo Egito, por volta de 2600 a.C., já existiam produtos destinados a lubrificação. Evidências mostram o uso dessas substâncias nos trenós, utilizados como transporte de enormes e pesadas estátuas. Essas substâncias facilitavam o manuseio dos trenós, reduzindo o esforço para efetuar o deslocamento.

Em meados do século XIX na Europa, iniciou-se a prática de destilação do petróleo gerando o surgimento de componentes que serviriam de base para produtos utilizados como lubrificantes. Desde então o petróleo tem sido a base para os lubrificantes fabricados atualmente e produzidos em grande escala (SÁ, 2018).

A resistência que se manifesta ao movimento de um corpo sobre outro é reduzida quando há o uso de lubrificante, pois atua formando uma película protetora no espaço entre as duas superfícies, reduzindo indesejáveis reações físicas nos corpos em atrito como o desgaste, o aumento de temperatura e o cisalhamento (SERRA et al., 2017).

Segundo Carreteiro (2006), sempre existirá irregularidades em uma superfície sólida, por mais polida que seja. A rugosidade é o conjunto de desvios microgeométricos, caracterizado pelas pequenas saliências e reentrâncias existentes em uma superfície (PIRATELLI FILHO, 2011), tal parâmetro influi diretamente no desgaste e no atrito.

O desgaste é um grande problema que sempre existirá em função do tempo de uso do componente, é um dos três problemas industriais mais frequentes, ocasionando a manutenção do equipamento ou até mesmo a troca dos elementos (SILVA, 2010). A existência do desgaste é indesejável, pois além de prejudicar o componente reduzindo sua vida útil, provavelmente alterará o sistema, seja reduzindo sua eficiência de operação através do aumento da perda de potência e até mesmo a danificação de outros componentes a ele interligados.

Com o intuito de se alcançar a redução do desgaste é aplicada uma lubrificação adequada para o sistema, na aplicação deste estudo é utilizado os lubrificantes na forma líquida que apresentam uma película fluida entre as superfícies de contato reduzindo o aumento de desgaste, atrito e temperatura (FERREIRA, 2016).

Em geral, a lubrificação por meio líquido se difere por ser essencialmente incompressível aos níveis de tensão por compressão, tendo um cisalhamento de imediato, assim ele se torna o material mais fraco da área de contato e sua baixa resistência ao cisalhamento reduz o coeficiente de atrito (NORTON, 2013).

A maioria dos lubrificantes utilizados nos dias atuais são os derivados de base minerais, os mesmos provêm do petróleo. Estes produtos comercializados têm reflexos diretos na economia mundial, porém é limitado, pois sua fonte não é renovável.

O urucum (*Bixaceae*) é o fruto do urucuzeiro, uma planta originária da América tropical (EMBRAPA, 2009). Seu óleo é obtido por meio da prensagem a frio, este não possui uma aplicação industrial como lubrificante, viabilizando assim este estudo de forma inovadora. A matéria apresentada pelo G1 (2012), e revela que em 2009 já apresentavam um investimento nessa agricultura com cerca de 20 mil plantas, rendendo assim colheitas com cerca de 5 toneladas no Maranhão.

O óleo de coco (*cocos nucifera*) é extremamente comercializado, porém diferente do coco babaçu (*attalea speciosa*) que é utilizado como fluido de arrefecimento, apresenta pouca exploração para fins tribológicos. O SEBRAE (2016), publicou em meios digitais a importância do cultivo e o mercado do coco para o Maranhão, já que 80% das plantações do Brasil se encontra no Nordeste e afirma que seu consumo é um crescente significativo.

Com isso este estudo reflete em uma relevante pesquisa, que justifica o seu potencial inovador de forma sustentável. Como os derivados do petróleo apresentam alto potencial de contaminação, o uso de óleos vegetais sanaria esse problema, através da biodegradação.

1.1. **Objetivos gerais**

Realizar um estudo tribológico para avaliar a viabilidade da substituição do óleo mineral Lubrax Hydra XP 46 pelos os óleos vegetais de urucum e coco.

1.2. **Objetivos específicos:**

- I. Definir as características físicas dos óleos vegetais;
- II. Desenvolver um tribômetro para avaliação do desempenho dos lubrificantes;
- III. Analisar por meio comparativo as características físicas e tribológicas dos óleos vegetais em relação aos óleos minerais

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Atrito

Ao estudar o atrito tem-se por conhecimento a tribologia. O termo “tribologia” tem sua origem do grego, com “TRIBOS” e “LOGOS” que correspondem respectivamente ao “atrito” (resultante da ação de esfregar, roçar ou estado em que se encontra em contato) e “estudo”, como apresentado pela Prof. Dr. Farias (2017), implica no uso da ciência e tecnologia das superfícies que possuem interações com movimentos relativo entre si. Esta ciência abrange o estudo do atrito, desgaste e da lubrificação.

O fenômeno do atrito ocorre pela existência de irregularidades nas superfícies em contato. Com ampliação visual da área de um corpo, torna-se possível o reconhecimento de suas imperfeições, onde a ilustração da Figura 2.1 demonstra duas superfícies uma sobreposta a outra. As configurações com que uma certa superfície se apresenta dependerá de diversos fatores, e isto influi no surgimento do atrito que pode ser do severo ao ameno (Stachowiak e Batchelor, 2005).

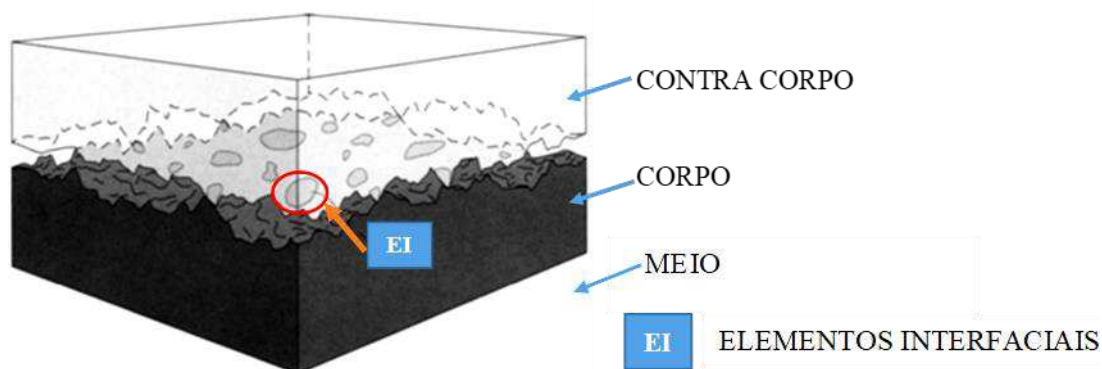


Figura 2.1 – Ilustração isométrica da presença de Elemento Interfaciais entre superfícies irregulares (Adaptado de Stachowiak e Batchelor, 2005).

A presença de elementos interfaciais (elementos da Figura 2.1) presente entre duas superfícies, podem influenciar tanto no movimento dos corpos atritados como na modificação dos corpos, seja facilitando o deslocamento ou o dificultando, que dependendo das propriedades das superfícies e forças exercida para o deslocamento poderá levar o desgaste significativo.

Uma das maiores fabricantes de rolamentos atuais, SKF (2013) com 111 anos no mercado, apresenta que a tribologia se tornou uma ciência oficializada no ano de 1966, por meio do “*The Jost Report*” (O relatório de Jost), produzido por um Comitê do Departamento Britânico de Educação e Ciência. Nesta época comprovou-se que os investimentos em pesquisas na aplicação da tribologia trariam várias vantagens.

Para Holmberg (2012) a importância desta nova ciência reduziria os custos e perdas nas indústrias, resultaria o aumento do lucro sobre investimento com aumento da vida útil de seus produtos, e com base em seu estudo mostra por meio de porcentagem o aproveitamento do combustível, onde o atrito altera de forma significativa o resultado final (Figura 2.2).

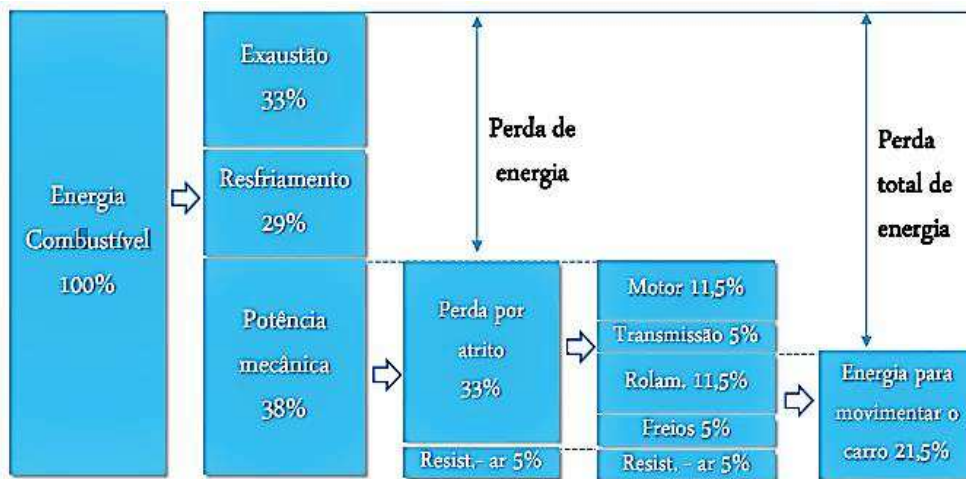


Figura 2.2 – O consumo de toda energia gerada pelo combustível se reduz a 21,5% para movimentar o carro, enquanto parte da perda foi por atrito (Adaptado de Farias, 2017).

De fato, o atrito sempre existiu, já que maioria dos movimentos só são possíveis por meio dele. Relatos do uso de técnicas e tecnologias empregados pelo homem vem sido evidenciado desde da pré-história. Portanto, estudos destinados ao atrito ganha importância para Leonardo da Vinci (1452 -1519), que apresentou conceitos básicos de atrito e desgaste, com o desenvolvimento de rolamentos e dispositivos para aferição da força de atrito (ABCM, 2007). Com as contribuições de Vinci, Amontons e Coulomb se estabeleceram as três leis do atrito:

1ª Lei de Atrito: A força de atrito é proporcional à força normal;

2ª Lei de Atrito: A força de atrito é independente da área aparente de contato;

3ª Lei de Atrito: A força de atrito é independente da velocidade de deslizamento.

As forças de atrito são inevitáveis, por meio dela há o comportamento estático de um corpo referente a outro, como também o deslocamento relativo ao romper esta força. Com o movimento de uma superfície sólida sobre outra, é fundamentalmente importante para o funcionamento de muitos tipos de mecanismos, tanto artificiais quanto naturais. Hutchings e Shipway (2017) apresenta estes conceitos, e mostra em seus estudos a Equação 2.1, que deduz a definição do coeficiente de atrito (μ).

$$\mu = \frac{\vec{F}_{at}}{\vec{N}} \quad (2.1)$$

Logo, a força de atrito (\vec{F}_{at}) é o produto do coeficiente de atrito com a força normal do corpo a ser deslocado (\vec{N}). Entretanto há o coeficiente de atrito estático (μ_e) e dinâmico (μ_d), onde o estático sempre apresenta maior valor que o dinâmico (demonstrado no gráfico da Figura 2.3), já que se precisa de mais força para tirar um corpo do repouso do que manter o seu deslocamento.

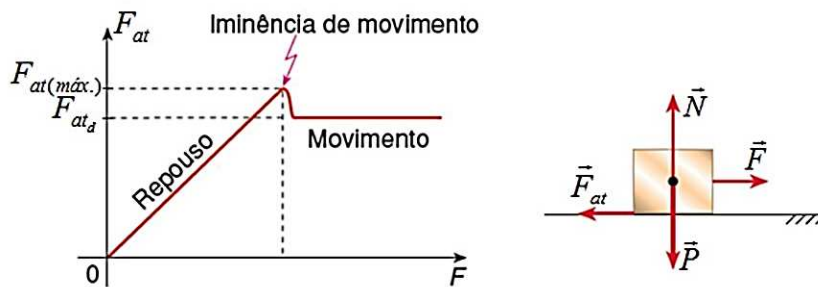


Figura 2.3 – Gráfico da força de atrito e das forças atuante em um corpo rígido
(Adaptado de Soares, 2015).

Com o gráfico acima podemos deduzir que sempre o coeficiente de atrito estático será vinculado a força máxima ($\vec{F}_{at(máx.)}$), no ponto de iminência ao movimento, enquanto o de atrito dinâmico é para a força que sustenta o movimento(\vec{F}_{at_d}).

Para a UNIVERSAL LUBRIFICANTES (2018) o contato de uma superfície em relação a outra são provenientes de duas possíveis natureza, que são oriundas do meio sólido ou fluido. O atrito sólido é realizado por dois corpos, sendo classificado por deslizamento

ou rolamento. Já o de natureza fluida é dado pela presença de uma película de lubrificante entre as superfícies.

Para identificação dos atritos, tem-se a Figura 2.4, onde mostra a esquerda um corpo que desliza sobre o outro de forma direta, que define a existência de uma superfície sempre em contato com o outro corpo, seja de forma pontual, linear ou superficial.

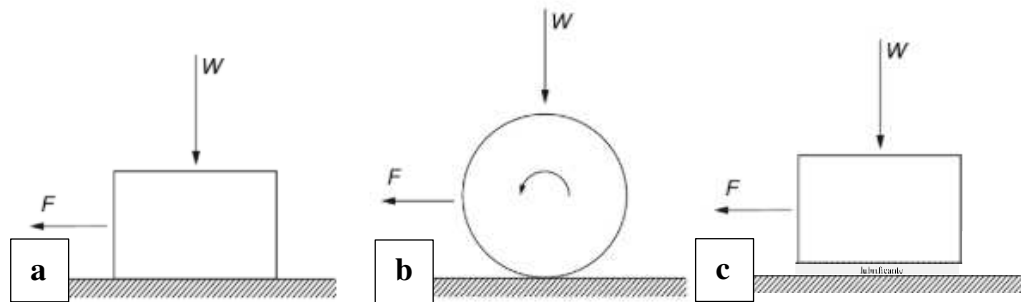


Figura 2.4 – Atrito por: a) deslizamento, b) rolamento e c) fluido

(Adaptado de HUTCHINGS e SHIPWAY, 2017).

. O atrito por rolamento é definido pelo item b (Figura 2.4), onde há presença de corpos com formatos circulares, estes necessariamente não poderá ter um ponto fixo em contato e nem a superfície não rolante, senão será definido como deslizante (exemplo é a rodas de um carro quando travadas deslizam sobre a pista), este possui menor atrito por conta da geometria. E na camada fluída que separa os corpos é demonstrada pelo item c da Figura 2.4.

Nos estudos de Zum-Gahr (1987), ele apresenta um estudo da tribologia para um sistema, que por intermédio das análises de entradas e saídas chega-se à conclusão do esquemático apresentado na Figura 2.5.

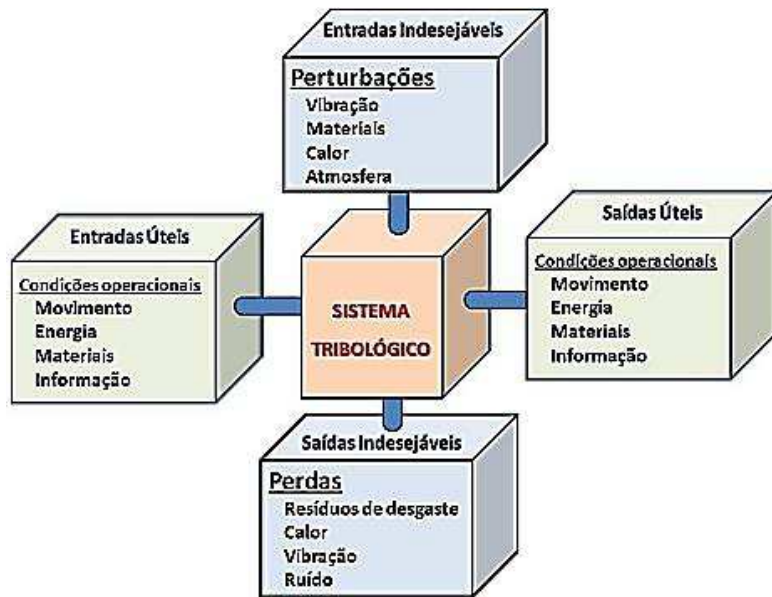


Figura 2.5 – Esquema de um sistema tribológico (Adaptado de Farias, 2017).

Segundo Farias (2017), o atrito estabelecido em um sistema é influenciado por cinco principais fatores:

2.1.1. MATERIAIS

Para definição do sistema tribológico é necessária avaliação do material dos corpos que estarão sob condições de atrito, onde a composição química, o tratamento térmico, a propriedades elasto-plásticas e a dureza do material compõem as propriedades físicas dos corpos que definem uma parte do sistema.

Na presença de um terceiro corpo (elementos interfaciais), conhecido como partículas soltas, ocasionará a influencia na região de atrito, logo os fatores atuantes nestes corpos para se levar em conta são: distribuição dos tamanhos, formas, angulosidades, concentrações, velocidades e ângulos de impacto, além de todos os fatores apresentados para o corpo e o contra corpo.

Para um sistema lubrificado a avaliação da influência são feitos através das características físicas como: viscosidade; densidade; pontos de fulgor; e entre outras. Algumas propriedades químicas como as composições e reações oxidantes influem diretamente na escolha de um lubrificante, entretanto deve ser levado em conta o uso de aditivos para sanar deficiências tanto em: graxas; emulsões; óleos e sólidos de baixa dureza.

2.1.2. GEOMETRIA SUPERFICIAL

O fator geométrico ocorre de forma macroscópica e microscópica. A macroscópica está voltada nas configurações em que os corpos assumem seus formatos, como por placas, esferas ou cilindros sobre um corpo plano. Porém, o nível macro é definida de forma genérica para quaisquer formas visualmente perspectiva para visão humana.

A geometria dentro da microscopia é atribuída com parâmetros superficiais que necessitem da utilização de equipamentos para que sua visualização e análise sejam realizadas de forma eficaz e eficiente. O conjunto destes parâmetros e fatores influencia no acabamento superficial dos corpos.

A Figura 2.6 exemplifica a topografia de uma superfície com algumas características.

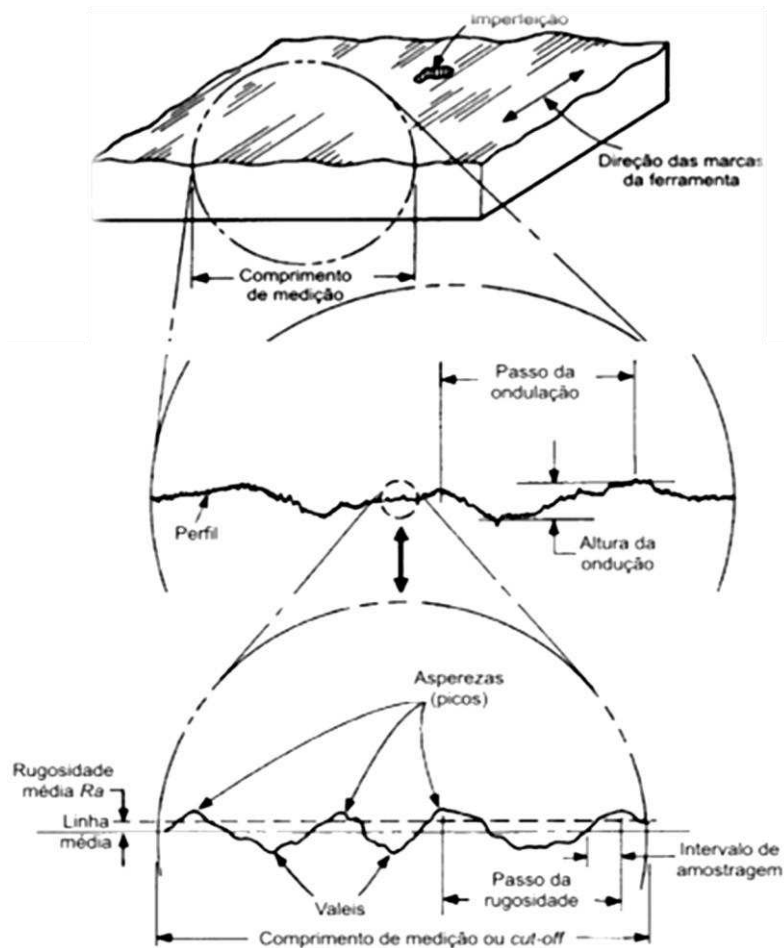


Figura 2.6 – Imagem ilustrativa e explicativa da topografia superficial

(Adaptado de Bhushan, 2013).

As características são: as ondulações como picos e vales das áreas externas dos corpos; marcas de fabricação das peças que dependem dos processo de fabricação por meio da tecnologia (ferramentas e máquinas) e técnicas (de acordo com a usinagem) empregadas na produção com aparecimento de imperfeições; e consecutivamente a rugosidade que são parâmetros topográficos presentes nos corpos podendo ser mensurados com equipamentos como rugosímetro e microscópio.

2.1.3. CARREGAMENTO

As Forças atuantes para exercer o atrito em um sistema varia tanto da força exercida, como a forma de se aplicar esta força, que influi de forma direta no comportamento da análise tribológica. As principais formas de aplicação é por estático, dinâmico e impacto, onde estas podem variar as configurações do movimento em: constante, crescente, decrescente, variável e oscilante.

O contato de uma peça sobre outra resulta em tensões, estas poderão ser definidas como por contato elástico (tensões de Hertz) que são os contatos por rolamento, ou por contato plástico atribuído ao contato deslizante.

2.1.4. MOVIMENTO

Os movimentos efetuados em um sistema tribológico interfere principalmente no tipo do desgaste, e para atritos entre sólidos ocorre os movimentos de: rolamento, deslizamento, impacto, unidirecional, alternado, contínuo e intermitente. Em superfícies em contato com fluídos (gases e líquidos) têm-se parâmetros relevantes que resultam no movimento como a turbulência, velocidade, os ciclos e tempos de permanência.

2.1.5. AMBIENTE

Para análise efetiva do atrito, o fator ambiental em que os corpos se encontram possibilita a alteração do comportamento do corpo e contra corpo, isto é bem ressaltado quando postos em meios com grandes severidades. As condições ambientes mais propicias para resultar em mudanças são a temperatura , umidade , pressão e o meio líquido.

2.2. Desgaste

A empresa RIJEZA Metalurgia (2018) apresenta o desgaste como um processo que resulta no dano superficial causado por uma interação mecânica de um corpo ou fluido contra uma superfície. Este processo não é apenas a propriedade do material, mas uma resposta integrada do sistema tribológico. A Figura 2.7 demonstra os processos de desgaste.

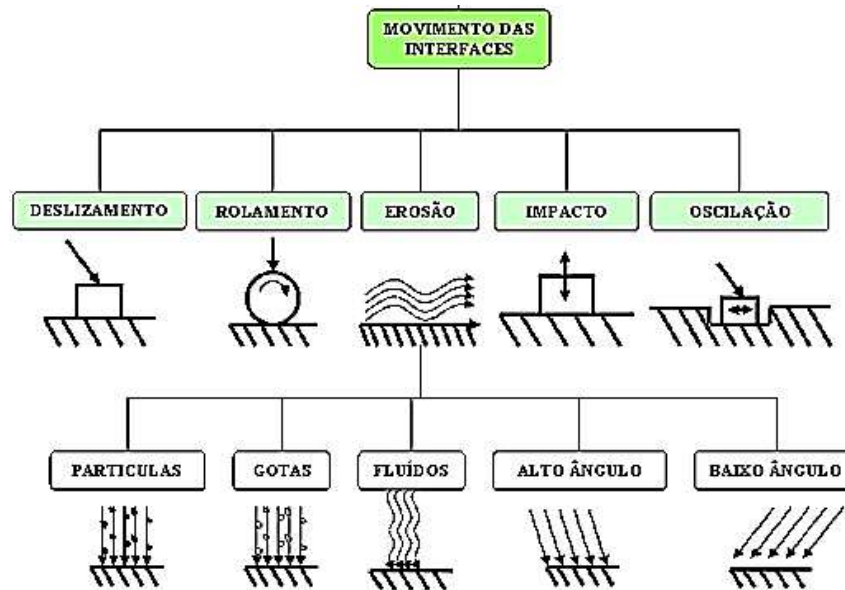


Figura 2.7 – Processos de desgaste (Adaptado de Radi et al, 2007).

Carretero e Belmiro (2006) apresentam quatro mecanismos de desgaste, sendo estes apresentados na Figura 2.8, onde têm-se:

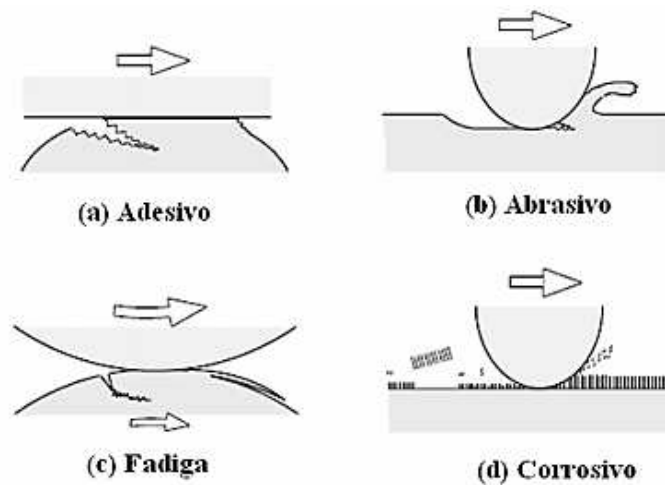


Figura 2.8 – Mecanismo de desgaste (Adaptado de Radi et al, 2007).

a) **Desgaste por adesão:** ocorre quando há deformação plástica que resulta na transferência de material (ASTM, 2007). Essa deformação é ocasionada em função do calor gerado pelo atrito entre os picos das rugosidades das peças em contato;

b) **Desgaste por abrasão:** é definido pela norma ASTM G65 (2016) como a severidade da perda do sistema por meio da abrasividade que dependerá do tamanho, forma, frequência de contato e dureza da partícula abrasiva. Isto é determinado para presença de um terceiro corpo, quando o desgaste é efetuado de maneira direta entre dois corpos, picos do material de maior dureza cisalha o de menor dureza, provocando assim ranhuras na superfície;

c) **Desgaste por fadiga:** acontece quando há perda do material proveniente de cargas cíclicas que fragmentam a superfície, gerando pites (orifícios) ou cavidades. Alguns testes de fadiga por atrito são utilizados para determinar os efeitos de vários parâmetros de desgaste na vida de fadiga de materiais metálicos como o da norma ASTM E2789-10 (2015). Alguns parâmetros inclusos são os materiais diferentes, amplitudes de deslocamento relativo, força normal no contato de atrito, força tangencial alternada, geometria de contato, parâmetros de integridade da superfície, acabamento e o ambiente.

d) **Desgaste por corrosão:** é evidenciado pela deterioração do metal através de reações químicas com o meio em que está inserido. É favorecido em ambientes com temperaturas elevadas. Este também é conhecido por desgaste químico, onde a ação combinada desses processos pode resultar em interação mútua significativa além das contribuições individuais de desgaste mecânico e corrosão (ASTM G119-09, 2016).

Pesquisas relativas ao desgaste, em sua maioria, são desenvolvidas por ensaios laboratoriais, e como parâmetro de análise do desgaste abrasivo na tribologia, tem-se a equação de Archard (SANTOS; SOUZA; COSTA, 2012). Esta trata-se em representar o fenômeno abrasivo em função da dureza do material (H), da carga aplicada (W) sobre o sistema e do o coeficiente de desgaste dimensional (K), contido na fórmula a seguir (Equação 2.2):

$$Q = \frac{(K * W)}{H} \quad (2.2)$$

Para Farias (2017), A taxa de desgaste (Q) pode se reduzir na função da Equação 2.3, onde tanto a aplicação da carga como a dureza dos materiais não serão alterados, evidenciando assim o volume perdido (V_{per}) sobre a distância percorrida (D).

$$Q = \frac{V_{per}}{D} \quad (2.3)$$

2.3. Lubrificação

Segundo Souza et al. (2018), o conceito para lubrificação é a atividade em que consiste a introdução de uma substância entre duas superfícies que estão em movimento relativo entre si. Com o objetivo de se alcançar a redução do atrito e do desgaste, o estabelecimento de uma proteção contra oxidação e a dissipação do calor gerado na área de contato, se implementa a lubrificação. Normalmente as substâncias adicionadas nestes sistemas são os óleos e graxas lubrificantes.

Segundo Budynas e Nisbett (2011), há cinco tipos de lubrificação que podem ser identificadas, que estão descritas a seguir.

2.3.1. HIDRODINÂMICA

Este tipo de lubrificação possui um filme de lubrificante relativamente espesso, na qual visa a separação do corpo móvel com a superfície estática, a fim de prevenir o contato entre elas. Na lubrificação hidrodinâmica não depende da inserção de óleos na região de contato por pressão. A pressão surge através do deslocamento da parte móvel, fazendo com que o fluido desenvolva um formato de cunha, denominado como lubrificação de filme completo ou fluida.

2.3.2. HIDROSTÁTICA

Consiste na introdução do fluido lubrificante por pressão alta, o suficiente para distanciar as superfícies em contato. Difere da hidrodinâmica por não ter a necessidade de movimento de um dos corpos, e mesmo assim, proporciona um filme relativamente espesso do lubrificante.

2.3.3. ELASTO-HIDRODINÂMICA

Ocorre quando o meio em que o lubrificante é introduzido consiste na presença de rolamento entre as superfícies. O fenômeno acontece principalmente em engrenagens engrazadas ou mancais de rolamento, onde a teoria de Hertz (tensão de contato e mecânica de fluidos) se faz necessário.

2.3.4. CONTORNO

Com condições similares da hidrodinâmica, porém a inexistência de um filme suficientemente espesso, tem-se a formação de uma película fluida com espessura ínfima, onde denomina-se a lubrificação de contorno. Esta poderá acontecer devido a uma área de superfície insuficiente, uma queda na velocidade das superfícies móveis, uma diminuição de lubrificante ou o aumento de carga no sistema.

A mudança de uma lubrificação hidrodinâmica para uma de contorno em maioria dos casos reais não se dá bruscamente, possibilitando assim uma lubrificação mista. Para Carreteiro e Belmiro este tipo de lubrificação é conhecida por camada limite e pode ser classificada como: suave (baixas pressões e temperaturas); de temperatura elevada; de alta pressão e elevada temperatura e alta pressão, conhecida como EP (extrema pressão).

2.3.5. FILME SÓLIDO

O filme sólido é utilizado principalmente em sistemas de temperaturas extremas, onde as propriedades dos lubrificantes de forma líquida não correspondem nessas aplicações devido a mudança de sua viscosidade ocasionada pelo o aumento de temperatura significativa. Alguns elementos como o grafite e o dissulfeto de molibdênio tem sido utilizada para solucionar estes problemas.

2.4. Lubrificante

Para Martinez (1998), o lubrificante é todo ou qualquer material sólido, líquido ou gasoso de baixa resistência ao cisalhamento inserido entre duas superfícies. Objetiva-se com a utilização de lubrificante o impedimento de contato direto entre corpos, evitando assim o

desprendimento das partículas dos corpos em atrito. Substituindo-se assim um atrito direto por meio sólido por uma condição de atrito fluido que consecutivamente resultará em consequências ao processo de poucos riscos.

Os óleos lubrificantes podem ser descritos de acordo com suas bases, que segundo Ferreira (2016) podem ser:

2.4.1. ORGÂNICOS

Os óleos orgânicos são oriundos de seres vivos, seja animal ou vegetal. Os óleos animais possuem origens de diversas espécies, como: oleína animal; óleo do fígado de peixe; óleo de mocotós; óleo de peixe (Ômega 3); óleo de salmão; sebo bovino e entre outros (AGROQUIMICA BRASINHA, 2018).

Para Matos (2011), os óleos vegetais que servirão de insumo para lubrificantes vegetais e outras aplicações são extraídos e refinados a partir da semente originária do vegetal, e em sua maioria possuem ácidos graxos e glicerol como composições quimicamente predominante.

Os lubrificantes de base vegetal apresentam algumas vantagens quando comparados aos de base minerais para aplicações em lubrificação industriais, o principal destaque está no elevado índice de viscosidade que contribui para uma boa estabilidade térmica e na aderência de forma efetiva na superfície metálica, porém apresenta um contraponto que é a estabilidade oxidativa baixa (RIBEIRO FILHO, 2015).

Conforme Serra et al (2017), a utilização de óleos de origem vegetais são poucos explorados para fins tribológicos, e com isso aumenta a relevância de pesquisas nesta área onde uma fonte sustentável se apresenta viável com a substituição de óleos minerais.

Com o tempo a humanidade vem se preocupando com os produtos derivados do petróleo, e uma saída sustentável e econômica para esta problemática seria a substituição de óleos lubrificantes de base mineral por óleos de base vegetal. Paixão et al (2017) afirma que a implementação desta solução, traria o desenvolvimento de tecnologias, valorização aos produtos nacionais, extinção do êxodo rural e melhoria na distribuição de renda.

2.4.2. MINERAIS

São lubrificantes derivados do petróleo. Estes são formados basicamente por carbonos e hidrogênios, denominados assim como hidrocarbonetos. Sua caracterização é definida de acordo com a relação numérica entre os carbonos e hidrogênios, como também as formas que assumem. Na Figura 2.9 mostra os principais óleos básicos com os possíveis modelos de arranjos moleculares e prováveis aplicações.

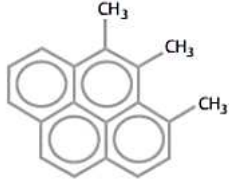
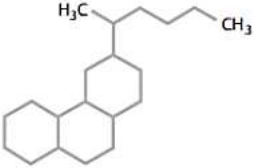
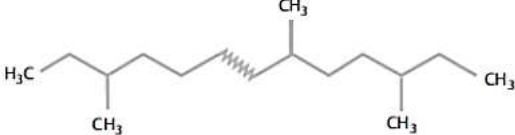
Tipo	Ligação	Algumas Aplicações
Óleos Básicos Aromáticos		Extensores e emolientes na indústria de borracha.
Óleos Básicos Naftênicos		Óleos para transformadores, compressores de refrigeração e compressores de ar.
Óleos Básicos Parafínicos		Óleos de motor, óleos hidráulicos e óleos de engrenagens.

Figura 2.9 – Principais óleos básicos derivado do petróleo (Adaptado de Ramos, 2018).

Visto que os aromáticos não apresentam características físico-químicas compatíveis com os lubrificantes, têm-se na Tabela 2.1 as principais divergências entre o parafínico e naftênicos, onde se observa que dependendo da aplicação o comportamento de um será melhor que do outro.

Tabela 2.1 – Características entre parafínicos e naftênicos
(Adaptado de Carreteiro e Belmiro, 2007).

Características	Parafínicos	Naftênicos
Ponto de Fluidez	Alto	Baixo
Índice de viscosidade (IV)	Alto	Baixo
Resistencia à oxidação	Grande	Pequena
Oleosidade	Pequena	Grande
Resíduo de carbono	Grande	Pequeno
Emulsibilidade	Pequena	Grande

2.4.3. SINTÉTICOS

Os óleos sintéticos vieram com a proposta de sanar algumas deficiências dos de base minerais, onde trouxe consigo aprimoramentos de grande relevância na área da manutenção. Com isso é notável que além da utilização dos elementos encontrados no hidrocarboneto, iniciou-se reações químicas com o acréscimo de outras substâncias.

Justificativas surgem decorrente a evolução da tecnologia através das criações de equipamentos em pequena escala, porém para diversas situações demandam grande potencial sob condições severas, visando-se a sua utilização de forma interrupta.

Logo, para o aumento da vida útil dos componentes presente nestes maquinários, se faz necessário o incremento de produtos mais sofisticados e específicos, que possa oferecer propriedades que resistem às temperaturas, pressões e oxidação apresentando assim uma boa estabilidade química e física (CARRETEIRO e BELMIRO, 2007).

Conforme Ferreira (2016) os óleos sintéticos dividem-se em cinco grupos:

I. Oligômeros de Olefina (PAO's ou Polialfaolefinas) que são bastante utilizados já que possuem boa estabilidade térmica;

II. Ésteres são caracterizados principalmente por possuir boa estabilidade térmica com alto índice de viscosidade e resistência à oxidação;

III. Silicone são polímeros de metil-siloxano, fenil-siloxano ou polímeros de metil-fenil-siloxano (CARRETEIRO e BELMIRO, 2006). Possuem uma variedade de aplicações onde é permitida a mínima variação da viscosidade em razão da temperatura;

IV. Poliglicóis são obtidos a partir de óxidos de etileno e propileno, tendo aplicação principal em ambientes de alta temperatura como em fornos que funcionem hidraulicamente (PARKER, 1999);

V. Alquilados aromáticos são sintetizados a partir da olefina com um núcleo aromático, são bastante similares aos polialfaolefinas, porém apresentam pequeno intervalo de viscosidade tendo aplicação principal em motores e indústria.

2.5. Propriedades físicas dos lubrificantes

Uma das formas de avaliação do desempenho de um lubrificante é através do seu comportamento diante aos efeitos físicos. Um lubrificante possui várias propriedades físicas, que determina a sua qualidade para aplicações específicas. Ribeiro Filho (2014) apresenta como as principais características físicas dos lubrificantes: a viscosidade cinemática à 40°C e 100°C; o índice de viscosidade; a densidade a 20/4°C; o ponto de fulgor; o ponto de combustão e aparência de sua cor.

Segundo a norma ASTM D1200-10 (2014), a viscosidade de um fluido é definida através do viscosímetro Copo de Ford que consiste na aplicação da amostra no aparato, onde em seguida escoará pelo o orifício do mesmo, este tempo de escoamento é cronometrado e assim possibilita a definição da viscosidade do lubrificante através de uma equação característica do equipamento.

Por meio da utilização de um equipamento chamado “Vaso aberto de Cleveland”, tem-se a definição do ponto de fulgor e combustão de um óleo (ASTM D92-16b, 2016). O método de ensaio realizado através deste equipamento visa definir a temperatura em que um líquido possa apresentar o aparecimento de uma chama através do lampejo quando excitado, como a temperatura necessária para entrar e sustentar a combustão, respectivamente com estas situações tem-se o ponto e fulgor e combustão de um lubrificante definidos.

A densidade relativa é demonstrada na norma da ASTM D4052-18 (2018) através da relação de massa e volume, mostra-se uma propriedade física fundamental que pode ser usada em conjunto com outras caracterizações, em geral as unidades são grama por mililitro (g/mL).

2.6. Métodos de Lubrificação

Na aplicação da lubrificação nos sistemas mecânicos, se faz necessário a utilização de meios e dispositivos na inclusão do lubrificante. Para Silva (2017), há vários métodos de se lubrificar os equipamentos, que podem ser divididos em sete tipos: por gravidade, por capilaridade, por salpico, por anel, por imersão, por sistema forçado e por graxa. Com enfoque na lubrificação por gravidade (Figura 2.10), têm-se três tipos: manual, copo com agulha ou vareta e copo conta gotas.

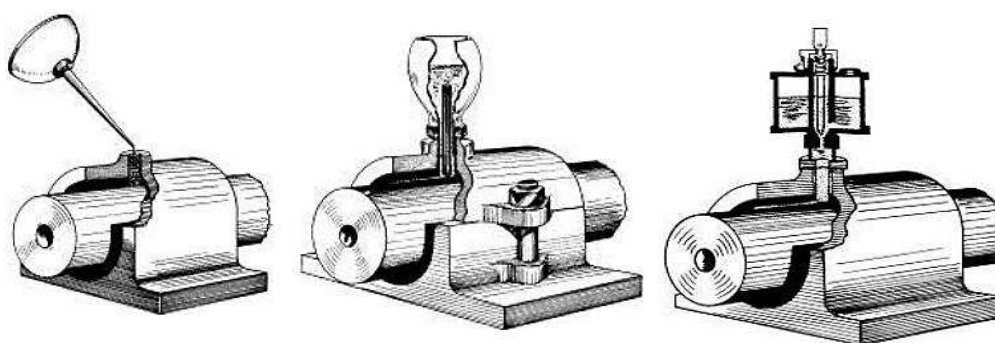


Figura 2.10 – Lubrificação por gravidade, da esquerda para direita: manual; copo com vareta e copo conta gotas (Adaptado de Silva, 2017).

Na lubrificação manual o óleo é colocado na região de contato com o auxílio de almotolias, este é pouco utilizado por não produzir uma camada de lubrificante homogênea já que depende de fatores altamente variável como o tempo irregular e quantidade fornecida diferenciada que depende da força manual exercida na aplicação do óleo (imagem esquerda da Figura 2.10).

O método por vareta se dar na presença de um dispositivo com uma agulha. Esta passa por dentro do orifício do recipiente com óleo, direcionando-o a outra extremidade que se encontra em contato com o eixo a ser lubrificado. A medida que o eixo rotaciona a lubrificação ocorre com o movimento da vareta (imagem central da Figura 2.10).

A utilização do copo conta gotas, apresentado pela imagem direita da Figura 2.10, é o método por gravidade mais utilizado. Com base em Carreteiro (2006), este método por gotejamento apresenta maior vantagem em relação as outras, isto ocorre por estabelecer um controle de vazão mais aprimorado, onde resulta em uma lubrificação mais constante e homogênea ao auxiliar na alimentação da película fluida do lubrificante na área de contato.

2.7. Tribômetro

Farias (2017) apresenta os ensaios tribológicos em virtudes do meio que estão inseridos onde serão classificados de acordo com a estrutura e função da tribomáquina, do tribossistema, do tribocomponente ou da amostra em estudo (grau de proximidade com a realidade). Na Figura 2.11 está sistematizado a classificação da escolha de um estudo tribológico, que ocorre diante da melhor representação para obter os resultados esperados.

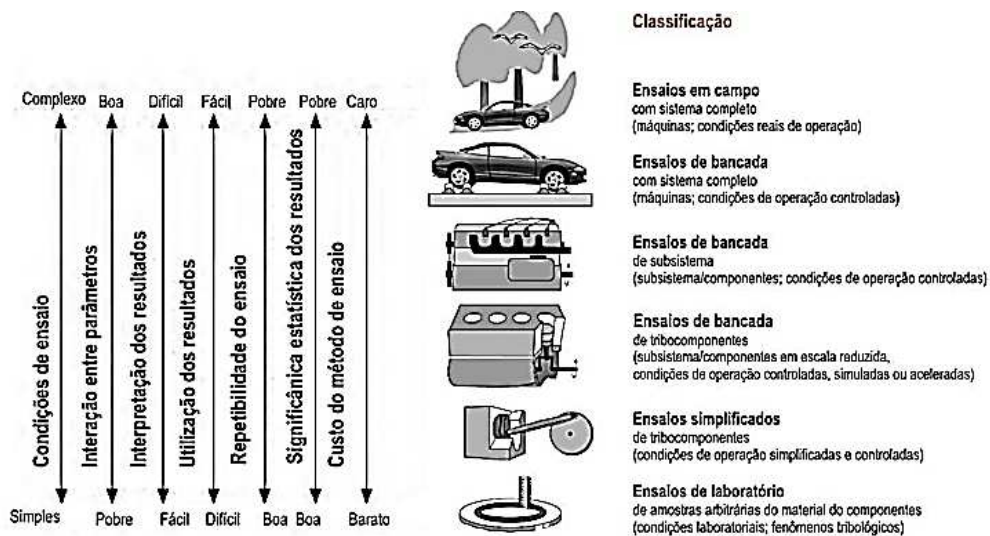


Figura 2.11 – Classificação do sistema tribológico e parâmetros de escolha pré-definidos (Adaptado de Farias, 2017).

De acordo com MORIM (2018), os tribômetros servem como meios para aferir ou obter tanto o coeficiente de atrito como o desgaste, simulando as condições de operação na situação de interesse de forma específica. Atualmente, existem diversos tipos de tribômetros no mercado, e a seguir tem-se a ilustração técnica de três tribômetros com suas respectivas descrições (Figura 2.12).

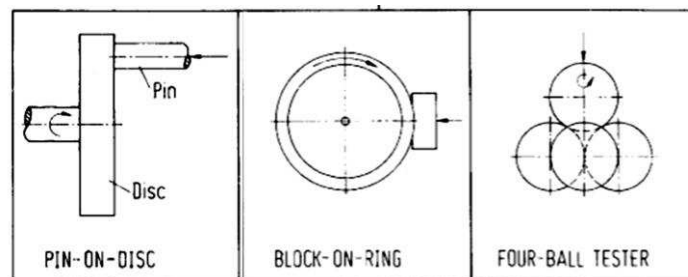


Figura 2.12 – Principais tribômetros, da esquerda para direita têm respectivamente Pino-disco, Bloco-anel e Quatro esferas (Adaptado de DEM, 2017).

O **Pino-disco** consiste na rotação de um disco em torno do próprio eixo enquanto um pino é pressionado contra a superfície plana do disco, através de uma carga controlada. Este poderá ser determinado as características tribológicas em condição de deslizamento a seco ou lubrificado.

Bloco-Anel é um tribômetro composto por um disco que gira em torno do próprio eixo enquanto um bloco ou um pino é atritado contra a superfície curva do anel, este disco poderá estar sob a uma lubrificação a seco, a salpico quando imergido em lubrificante e por gotejamento. Este caracteriza-se como tribômetro de deslizamento.

O teste efetuado no tribômetro de **quatro esfera** (*four ball*) é um equipamento que consiste na aplicação do lubrificante entre três esferas apoiadas (base giratória) enquanto uma força específica da quarta esfera é exercida contra as demais. Determina as propriedades de atrito e desgaste em óleos e graxas sob extrema pressão e fadiga superficial.

2.8. Sustentabilidade

Para uma abordagem sustentável se faz necessário o entendimento de algo que seja renovável, tendo assim de forma responsável o consumo e a reposição do mesmo (BELLOQUE, 2016). Uma grande preocupação a nível mundial com a utilização do petróleo tem alarmado a humanidade. Por além de ser um agente tóxico ao ambiente com alto potencial de contaminação, o petróleo é proveniente de uma fonte não renovável, este tende a se esgotar.

Segundo Guerra e Fuchs (2010) relatam que enquanto a este aspecto: “O óleo vegetal extraído de plantas e utilizado como fonte de energia renovável é uma alternativa ambientalmente correta e sustentável”. A respeito de uma economia sustentável MOBARRAK (2018), expõe que aumento do preço é refletido pela lei da oferta e demanda, logo se deduz que a tendência está na busca de produtos de baixo custo que consigam se renovar ao suprir a demanda.

Conforme MATOS (2011), o óleo vegetal poderá ter preço competitivo no mercado quando comparado ao óleo mineral através de intensivas plantações, visto que os aspectos climáticos do Brasil se mostram favorável a esta prática.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas se baseiam na escolha dos óleos vegetais e mineral através de suas propriedades físicas, montagem da bancada para realização dos ensaios comparativos e a realização de testes com os óleos para avaliação dos resultados.

3.1. Definição das propriedades físicas

3.1.1. VISCOSIDADE

As definições foram feitas no laboratório de lubrificação (LABLUB) da UEMA, situado na oficina mecânica NUTENGE. A primeira propriedade a ser definida e mais importante (já que servirá como parâmetro de viabilização na escolha dos óleos), é a viscosidade à 40°C. Para o ensaio é preciso elevar a temperatura, isto se dar através da utilização do agitador magnético, mostrado na Figura 3.1.

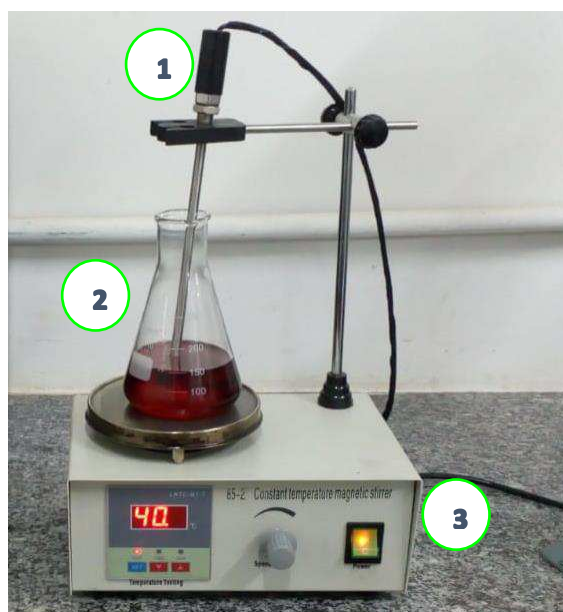


Figura 3.1 – Agitador Magnético: 1 – Termopar; 2 – Erlenmeyer com o óleo ensaiado; 3 – Base do agitador magnético.

O termopar, do item 1 na Figura 3.1, funciona como termômetro eletrônico para averiguar a temperatura em que o óleo se encontra. Dentro do óleo é colocado um ímã especial, conhecido como peixinho, que mesmo com o aumento de temperatura gerado pela

base (placa circular abaixo do Erlenmeyer) não perde suas propriedades magnéticas. No item 3 da Figura 3.1 está localizado o sistema de acionamento do agitador, configuração da variação de temperatura da placa circular e rotação de um ímã que se encontra abaixo da placa, onde excita por meio do magnetismo o movimento rotacional do peixinho presente no Erlenmeyer (item 2).

Para padronização dos ensaios tem se estabelecido 50 °C configurado no agitador, com isso leva 10 minutos com o agitador ligado para assim deixar a amostra com temperatura uniforme. Para o teste da viscosidade leva-se em consideração a transferência de calor perdido para o meio quando o óleo é transferido do Erlenmeyer para o viscosímetro.

Com o lubrificante adicionado no viscosímetro Copo de Ford (Figura 3.2), é esperado que alcance a temperatura de 40 °C através do monitoramento com um termômetro químico.



Figura 3.2 – Viscosímetro Copo de Ford

Esse viscosímetro é bastante utilizado por ser de fácil manuseio. O teste consiste no preenchimento do copo com a amostra a ser ensaiada, sendo que o orifício do bocal (conectado na parte inferior do copo) deverá se encontrar vedado pelo usuário. Inicia-se o ensaio com abertura do orifício, com isso o lubrificante escoar, e este tempo de escoamento é cronometrado. Insere-se o tempo adquirido na equação do viscosímetro, entretanto por fábrica tem-se apenas a equação para 25 °C.

Logo se fez necessário da definição da Equação 3.1, que é adquirida através de vários ensaios efetuados com lubrificantes de viscosidade a 40°C já definida.

$$V_{cin} = -0,0017s^3 + 0,2487s^2 - 6,32927s + 88,902 \quad (3.1)$$

Onde V_{cin} representa a viscosidade cinemática do fluido à 40°C dada em centístokes (cSt) e s o tempo de escoamento dado em segundos.

3.1.2. PONTO DE FULGOR E COMBUSTÃO

Na definição da capacidade física do óleo para trabalhar com temperatura acima da temperatura ambiente, efetuam-se testes de ponto de fulgor e combustão. Estes testes visam a viabilidade da aplicação de lubrificantes quando há elevação da temperatura proveniente do atrito da região de contato.

O vaso de Cleveland, mostrado na Figura 3.3, é o equipamento utilizado neste teste. A chama liberada no bico de Bunsen (item 4 da Figura 3.3) aquece o óleo contido no vaso (item 3 da Figura 3.3).

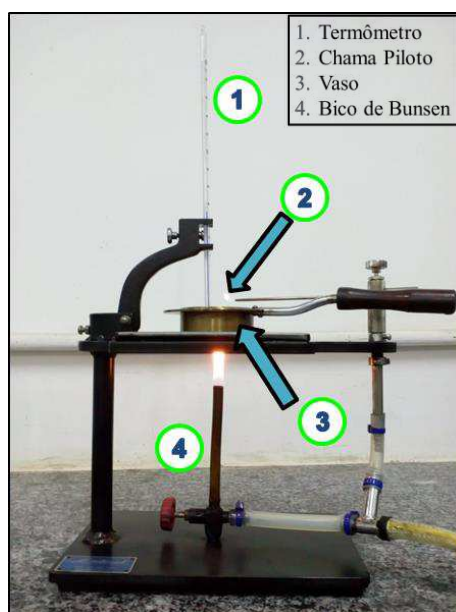


Figura 3.3 – Vaso aberto de Cleveland.

O vaso de Cleveland aberto (termo utilizado quando a fonte de calor para o vaso não é isolada do meio) apresenta a chama piloto (indicado pelo item 2) e a presença de um termômetro (como mostrado pelo item 1). Em uma dada temperatura os óleos liberam vapor, e estes ao entrar em contato com a chama piloto geram o flash, tem-se assim o ponto de fulgor definido através da temperatura mostrada no termômetro.

A temperatura mostrada quando o óleo inflama por completo e não se apaga durante 5 segundos, é denominada como ponto de combustão. Neste ponto é importante certificar-se que não existirá riscos para ocorrer um acidente, com a presença de um pano umedecido que deverá ser jogado por cima do vaso para apagar a chama.

O equipamento possui suas limitações, visto que o mesmo teria maior eficiência se ao invés de aberto fosse fechado. Assim poderia alcançar temperaturas maiores.

3.1.3. DENSIDADE

Uma das propriedades físicas mais conhecida é a densidade. A mesma é utilizada para verificar se há contaminação no óleo lubrificante. A densidade (d) pode ser obtida através da relação de massa (m) sobre o volume (V) a certa temperatura. A Equação 3.1 demonstra seu arranjo matemático:

$$d = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Para os testes realizados não se analisou a presença de contaminantes, visto que todas as amostras utilizadas nos ensaios foram óleos sem precedentes de uso, porém os testes serviram de embasamento comparativo entre os óleos ensaiados.

A obtenção da massa específica foi atribuída com a medição do volume através de uma pipeta volumétrica definida em 25 ml, e da massa aferido por uma balança de precisão, com amostra de 25 ml contida no Becker de 100 ml (demonstrado na Figura 3.4).



Figura 3.4 - Definição da densidade com o uso de balança, pipeta e Becker.

3.2. Montagem da bancada experimental

Com a análise das propriedades físicas tem-se os primeiros indícios de potencial dos óleos vegetais, servindo de base comparativa com os óleos de origem mineral. Entretanto não se confirma a viabilidade somente com os resultados das propriedades físicas.

Com possíveis aplicações simuladas podem-se avaliar a lubrificidade através de ensaios nas bancadas experimentais. A eficácia dos lubrificantes neste trabalho é observada através do protótipo que apresenta a aplicação de sistemas abertos, do tipo pino contra disco por meio deslizante (similar a norma ASTM G77-17).

O tribômetro (equipamento usado para avaliar parâmetros derivados do atrito) deste trabalho será utilizado para exercer uma condição de atrito que permitirá o monitoramento da temperatura e obtenção da taxa de desgaste, será avaliado respectivamente, a capacidade de arrefecimento (propriedade em que o lubrificante tem ao esfriar a área de contato) dos lubrificantes e seu desempenho na redução de desgaste nas peças ensaiadas.

O mecanismo onde se efetuará o desgaste é composto por um corpo de prova que será atritado contra um disco giratório. A lubrificação será por meio do gotejamento na região de contato. Esse sistema apresenta uma variedade de aplicações onde podemos citar como principal aplicação à utilização em mancais de escorregamento ou rolamentos, assim a escolha de lubrificação por gotejamento acaba sendo apropriada (CARRETEIRO, 2006).

A bancada (Figura 8) é desenvolvida de acordo com a que Ribeiro Filho (2015) apresenta. Esta pretende simular condições frequentemente encontrados nas indústrias, onde a lubrificação está exposta ao ambiente o que caracteriza um sistema aberto. Com a montagem realizou-se o aprimoramento da mesma.

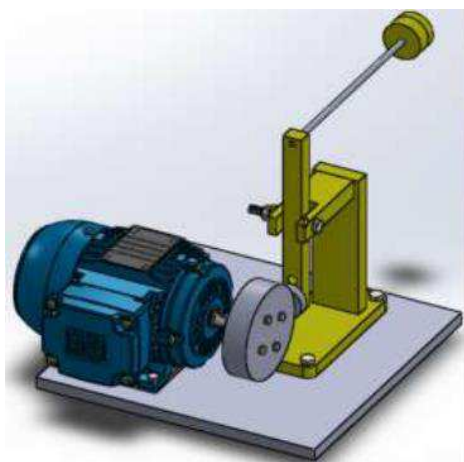


Figura 3.5 – Projeto simplificado em CAD da Bancada (Adaptado de Ribeiro, 2015).

Com base na Figura 3.5, foi desenvolvido a bancada de acordo com os materiais apresentada na Tabela 3.1, visando sempre obter excelentes resultados com baixo custo, além de obter experiência, na qual trará aprimoramento ao sistema.

Tabela 3.1 – Materiais da bancada experimental

Quantidade	Material
3	Corpo de prova (aço SAE 1020)
1	Disco de Ø 100 mm (aço SAE 4140)
1	Gotejador com recipiente com regulador de gotas
1	Motor Trifásico Vorges 1/3 CV
1	Inversor de Frequência Powerflex 4
1	Recipiente
1	Base móvel
1	Led infravermelho
1	Fototransistor
1	Placa Arduino
1	Protoboard
1	Kit de jumpers
2	Termistores NTC

A dinâmica do sistema está em o corpo de prova ser pressionado contra o disco, tal atrito é estabelecido por meio do peso presente no sistema de alavanca (segundo a Figura 3.5). O disco acoplado ao motor girará com uma rotação de 1.195,6 rpm induzido pelo inversor com 42,7 Hz, estes parâmetros são fixados para todos ensaios. Esta rotação foi escolhida por apresentar maior estabilidade ao sistema oferecendo assim menores amplitudes derivados dos efeitos vibracionais.

A força exercida pela alavanca foi aferida com dinamômetro no valor de 17,5 N. O sistema de gotejamento opera com frequência de 1 gota a cada 6 segundos.

Para aquisição de dados, utiliza-se um sistema eletrônico composto por uma placa de prototipagem da ROBOCORE® (com mesma especificação de um ARDUÍNO® UNO), placa *protoboard*, fiação e sensores.

A Figura 3.6 é o circuito montado onde a placa de prototipagem possui compatibilidade com o software Arduino IDE, o mesmo é responsável pela compilação do código (Apêndice A) que é enviado para placa que atuará nos sensores e a comunicação

entre computador e placa. A *protobord* e os *jumpers* são os componentes para interligar fisicamente os sensores e a placa.

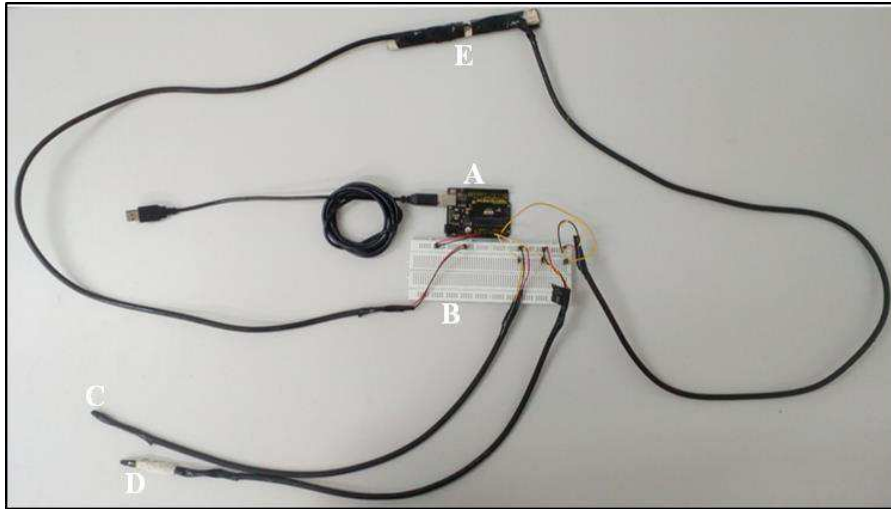


Figura 3.6 – Montagem do circuito; A- Placa de prototipagem com USB inserido; B- Protoboard; C- Termistor NTC (ambiente); D- Termistor NTC (corpo de prova); E- Led de infravermelho alinhado ao fototransistor.

A Figura 3.7 dá ênfase na ligação do sistema eletrônico, os fios vermelhos e pretos são interligados de forma horizontal na protoboard. Os mesmos oferecem a alimentação do circuito através da diferença de tensão na qual o vermelho funciona com 5V e o preto com o neutro do sistema.

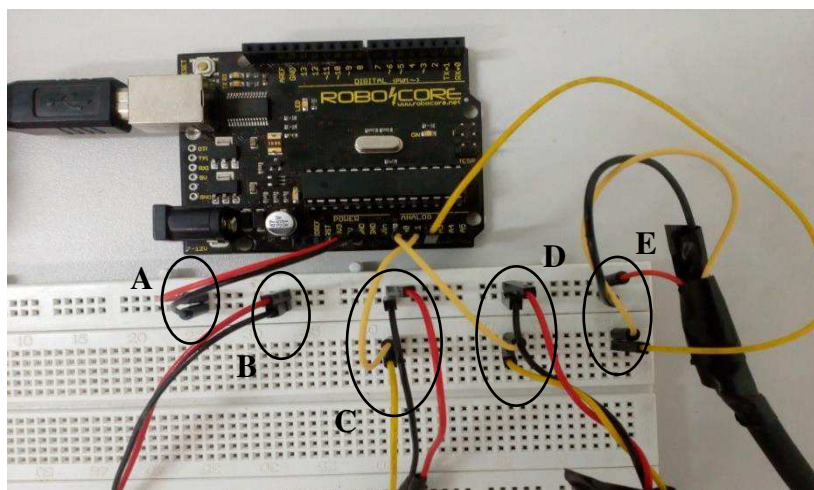


Figura 3.7 – Ligação do circuito; A- Alimentação da protoboard B- Conexões do infravermelho; C- Conexões do Termistor NTC (ambiente); D- Conexões do Termistor NTC (corpo de prova); E- Conexões do fototransistor.

Os fios em amarelo da Figura 3.7 são para os sinais analógicos que se encontram conectados nas portas A0, A1 e A2 ligados no sentido vertical da protoboard. O termistor que avalia a temperatura do corpo de prova e o termistor que mede a temperatura ambiente são conectados respectivamente nas portas A0 e A1.

A porta A2 é responsável pela comunicação do fototransistor, que afere o fluxo de vazão (gota/segundo) ao perceber a ausência da luz emitida pelo LED de infravermelho ocasionada pela passagem da gota do lubrificante. Este sistema tem como objetivo monitorar a quantidade equivalente de gotas em cada teste.

3.3. Procedimentos para os testes

Com a bancada montada inicia-se os testes, porém é necessária a existência de procedimentos que visam a preparação dos mesmos, para padronização destes.

Os corpos de prova, supostamente classificados como aço carbono SAE 1020, são conhecidos como aço carbono simples e de baixo teor de carbono (com 0,20%). O disco em aço carbono SAE 4140 composto por teor significativo de Molibdênio e Cromo apresenta maior dureza tanto pela presença destes elementos como por possuir a presença de carbono em 0,40%.

Logo, validaria a utilização de um disco com dureza superior aos corpos de prova, através de um ensaio não destrutivo com o durômetro PATEC-RBS (Figura 3.8) confirmou-se o esperado. Além de o disco apresentar maior dureza, demonstrou que os corpos de prova refletem dureza similares, justificando a utilização destes 3 corpos diferentes para os testes.



Figura 3.8 - Ensaio de dureza no disco.

Este ensaio usa o comparativo dos valores de dureza em Rockwell na escala C, que neste caso utilizou-se um penetrador de diamante cônico de 120°, pré-carga de 3 kgf e a carga de 150 kgf.

Com a dureza definida, realiza-se o acabamento superficial por meio do lixamento para alcançar aproximação entre as rugosidades apresentadas pelo corpo de prova e disco. O aparelho responsável para obtenção da rugosidade é o rugosímetro TR220 (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Foto do rugosímetro TR220.

Para utilização do mesmo é feito uma calibração onde existe uma placa modelo vindo de fábrica com rugosidade 1,66 µm. Para o rugosímetro apresentar aproximadamente o valor desejado, é configurado 6% na calibração do equipamento, e padronizado com as configurações adicionais, que estão na Tabela 3.2, executadas antes de qualquer ensaio. Para as configurações que não são apresentadas na tabela permaneceram as do fabricante.

Tabela 3.2 – Configuração alteradas no TR 220.

Parâmetro de Configuração	Opção selecionada
Cutoff	0,8mm
n*cutoff	5
Range	40µm
Filter	Gauss
Display r	Ra

O lixamento é um processo realizado com intuito de amenizar o desgaste excessivo por conta da diferença de sua superfície (ocorrido na presença de vales e picos com diferenças significativas entre o corpo de prova e do disco). O disco desgastará o corpo de prova, isso se dar por sua dureza ser maior e a área superficial de contato maior, enquanto

para o corpo de prova o desgaste em sua superfície é representado de forma linear (visto que a disposição do corpo de prova está tangente ao disco).

Como metodologia utiliza-se o disco como referência para definição da rugosidade, visto que o mesmo precisa de um acabamento superficial através do lixamento tanto para estabelecer um sentido de ranhuras perpendicular ao do corpo de prova como redução da rugosidade para não se ter excessivos desgaste do disco entre os ensaios, já que o mesmo disco será utilizado nos três ensaios.

Com o disco acoplado ao motor efetua-se o seu lixamento durante sua rotação. No objetivo de realizar o lixamento por 200 voltas do disco, efetuou-se o cálculo onde o inversor configurado a 3 Hz necessitava de 142,8 segundos.

Através da rugosidade obtida, verificou-se a necessidades de repetir o procedimento acima, já que os valores se encontravam distante entre si. Para medição utilizou-se a divisão do disco em quadrantes na obtenção da rugosidade, para cada um se fez 3 medições.

Para finalização da padronização do corpo de prova aumentou-se a rotação para 154 rpm (com 5,5 Hz no inversor) durante 5 minutos, realizando duas vezes este processo para lixa de #120 e mais um processo com a lixa #220 para suavizar a diferença de rugosidade. As lixas são graduadas, na proporção em que o seu valor aumenta, reduz sua porosidade. As lixas utilizadas neste trabalho são de carbeto de silício, própria para utilização em teste.

Para os corpos de prova se fez necessário usar um disco de escova de aço no esmeril (o disco da esquerda na Figura 3.10), na retirada do excesso de ferrugem. Isto fez com que tivesse uma retirada considerável de material que influenciaria nos testes.



Figura 3.10 – Esmeril JOWA.

Na ausência de macrorregiões oxidantes, parte-se para o lixamento da superfície de contato dos corpos manualmente de forma linear com movimentos apenas em um sentido com as lixas de número #120. Efetuou-se os lixamentos em uma direção por 200 vezes para

cada peça, o que apresentou um método satisfatório, visto que as mesmas mostraram as ranhuras embutidas nas peças visualmente tanto a nível macroscópico como a microscópico.

Para visualização a nível microscópico utilizou-se o AXIOVERT 25 da ZEISS (Figura 3.11), com ocular de 10x e objetiva de 50x e 100x respectivamente oferecendo uma ampliação de 500x e 1000x.



Figura 3.11 – Microscópio.

A balança da marca BEL®, modelo MARK M214A com erro de 0,001g, capacidade máxima para 220g, e afere até quatro casas decimais será utilizada para medição das massas dos corpos de prova. Ela é mostrada na Figura 3.12, sua utilização objetiva a obtenção das massas dos corpos e assim possibilita a obtenção da taxa de desgaste.



Figura 3.12 – Balança de precisão da BEL.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Propriedades Físicas

A comparação entre o óleo mineral e os vegetais é viabilizada a partir da proximidade da viscosidade cinemática a 40°C como mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resultados dos ensaios das Propriedades físicas.

Propriedades Físicas	Urucum	Coco	Hydra XP 46	Normas
Viscosidade cinemática à 40°C (cSt)	43,23	43,22	44,3	ASTM D1200
Ponto de fulgor (°C)	>280	>280	244	ASTM D92
Ponto de Combustão (°C)	>280	>280	>258	ASTM D92
Densidade (g/ml)	0,900	0,886	0,869	ASTM D4052

O óleo mineral LUBRAX HYDRA XP 46, um óleo bastante usado na indústria para sistemas hidráulicos que operem em condições severas de alta pressão e temperatura, possui viscosidade apenas 2 % maior que os vegetais, logo essa proximidade justifica a utilização dos lubrificantes nos testes.

O óleo de urucum e coco apresentaram densidade respectivamente aproximadas com 4 e 2 % maior em relação ao LUBRAX. No entanto, a densidade é uma propriedade que não representa um fator predominante em relação à qualidade do óleo, sendo utilizada apenas com o objetivo de controle da massa e volume do lubrificante. A Figura 4.1 demonstra a aparência dos óleos.

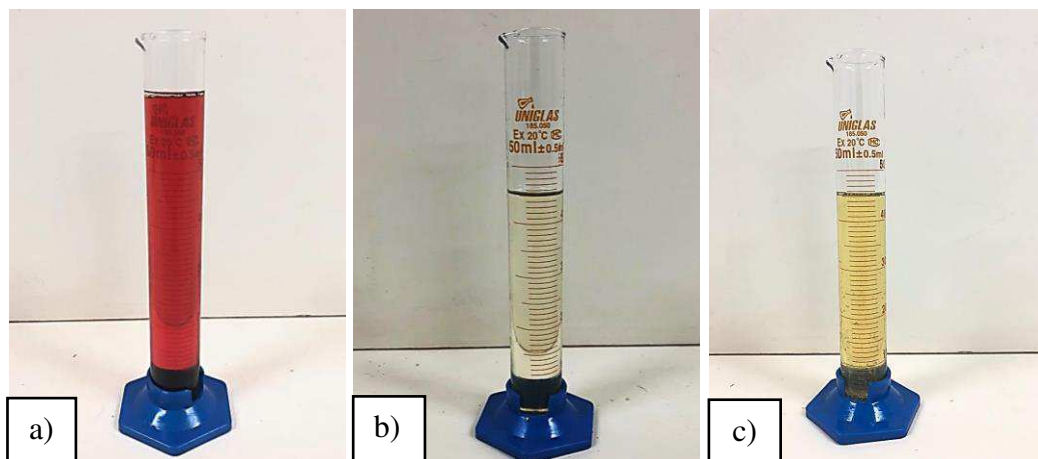


Figura 4.1 – Aparências dos óleos a) urucum, b) coco e Lubrax.

Em relação ao ponto de fulgor e combustão, os óleos vegetais apresentaram valores maiores que 280°C (Tabela 4.1). A definição exata do ponto de fulgor e combustão não se tornou possível, já que o equipamento utilizado não possui sua estrutura fechada. Isso compromete a elevação de temperatura do sistema.

A aplicação em sistema aberto raramente chegará a tais temperaturas. Logo é validado a utilização dos óleos, já que apresentam superioridade comparado ao óleo mineral, apresentando percentuais de 15 e 9 % para os pontos de fulgor e combustão.

Mesmo impossibilitado de realizar o ponto de fluidez (segundo a ASTM D97-17), o óleo de coco demonstrou seu ponto próximo a 24 °C, ou seja, abaixo da temperatura ambiente, este fenômeno ocorreu devido a utilização do ar condicionado, com a proposta de submeter a mesma condição ambiental para os três ensaios. Os dados do Lubrax são encontrados na FISPQ, e nela revela que o óleo pode trabalhar normalmente em seu estado líquido até -18°C, isso por possuir aditivos de abaixador de fluidez.

4.2. Rugosidade

As medidas das rugosidades apresentaram com resultados de acabamento superficiais entre N7 e N6, esses correspondem a uma qualidade superficial de alta exigência. Os valores são concedidos no parâmetro de rugosidade em Ra, que em geral estão compreendidos entre 0,41 a 1,6. Esses caracterizam uma aplicação em superfície de deslizamento com ajuste de pressão. A Tabela 4.2 mostra os resultados obtidos no disco.

Tabela 4.2 – Resultados das rugosidades no disco.

Rugosidade do Disco				
Quadrante	1°	2°	3°	4°
1 medição	0,790	0,846	1,268	1,025
2 medição	0,770	0,848	1,277	1,008
3 medição	0,820	0,888	1,117	1,001
Média	0,793	0,861	1,221	1,011
Média Total	0,972			

O desvio padrão populacional das médias é de 0,16409, onde a variação ocorre de forma relativamente baixa.

Na Tabela 4.3 têm-se os valores das rugosidades dos corpos de prova nomeados como I, II e III para os testes realizados consecutivamente com os lubrificantes de urucum, Lubrax e coco. O desvio padrão das médias total entre os corpos apresenta 0,10137 no que implica uma variação baixa entre estes dados.

Tabela 4.3 – Resultados das rugosidades nos corpos de prova I, II e III.

Rugosidade			
Corpo de prova	I	II	III
Média da 1 medição	0,683	0,430	1,079
Média da 2 medição	0,760	0,854	1,181
Média da 3 medição	1,079	0,866	0,965
Média da 4 medição	0,607	0,844	0,645
Média da 5 medição	1,274	0,857	1,139
Média Total	0,841	0,852	1,061

No corpo de prova procedeu a retirada aleatória de 5 pontos diferentes de sua superfície, sendo que cada ponto foi aferido 3 vezes, e logo após retirou-se a média como mostrado na Tabela 4.3. Na obtenção da média total retiramos o maior e menor valor de cada coluna, e aplicou-se a média nos valores restantes.

Com valores obtidos dos corpos I, II e III temos respectivamente um erro relativo percentual de 13,47, 12,33 e 8,87 % referente a média superficial do disco (apresentado na Tabela 4.2). Entretanto os corpos de prova possuem uma diferença percentual entre si, no intervalo de 4,6 %, tal valor se torna insignificante a ponto de validar o êxito do processo de lixamento.

4.3. Dureza

É evidenciado que o disco possui maior dureza com média de 26,4 HRC, o que representa aproximadamente o triplo das médias dos corpos de prova. Este valor se indica que o aço é o SAE 4140. A dureza entre os corpos se revela de forma bem próxima, com o diferencial entre si menor que 1 HRC (que se torna desprezível devido a margem de erro do equipamento), isto permite a realização dos testes com as peças diferentes de forma justa.

Os resultados referente ao ensaio Rockwell é apresentado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Resultados da dureza dos componentes.

Ensaio de Dureza (HRC)				
	Disco	Corpo de Prova I	Corpo de Prova II	Corpo de Prova III
Medida 1	23,5	8	9	9
Medida 2	26	8	7,5	9
Medida 3	27	9	7,5	8,5
Medida 4	26,5	8	9	10
Medida 5	26,5	9,5	8,5	9,5
Medida 6	27,5	7,5	10	8
Medida 7	27,5	7,5	8,5	9
Média	26,4	8,2	8,6	9,0

4.4. Bancada experimental

A bancada experimental aprimorada do modelo apresentada por Ribeiro Filho (2015), é demonstrada na Figura 4.2.

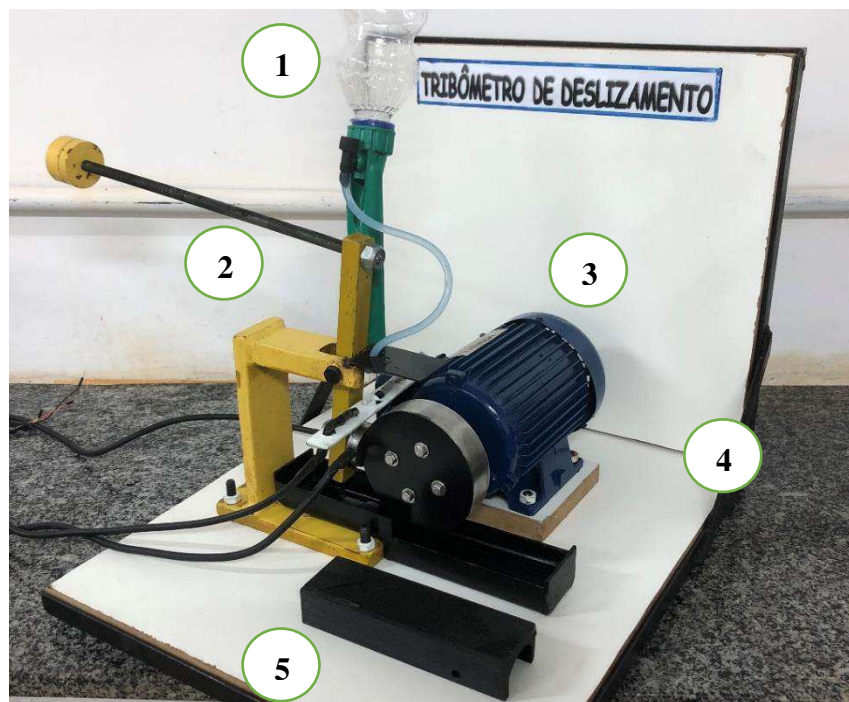


Figura 4.2 – Bancada experimental finalizada; 1- Reservatório e regulador de gotas; 2- Suporte e alavanca; 3 - Motor; 4 – Base da bancada; 5 – Canalizador.

O item 1 da Figura 4.2 representa o reservatório de óleo feita de garrafa pet, que apresenta fácil remoção e acesso para a adição do lubrificante. Em conjunto ao reservatório tem-se o regulador de gotas que possui a mangueira por onde o fluido será transportado até a região de contato.

A alavanca que está acoplada ao suporte é representada pelo item 2 da Figura 4.2. No item 3 da Figura 4.2 é mostrado o motor Vorges de 1/3 de CV, que se encontra fixado na base, assim como todo o sistema. A base (item 4) foi projetada para facilitar o manuseio do sistema e proporcionar maior mobilidade do mesmo, ao possibilitar que seja transportada facilmente.

A região de contato propriamente dita é mostrado na Figura 4.3, pelos números 2 e 5 que correspondem ao corpo de prova com o termistor inserido e o disco acoplado ao motor que o desgastará através da rotação.

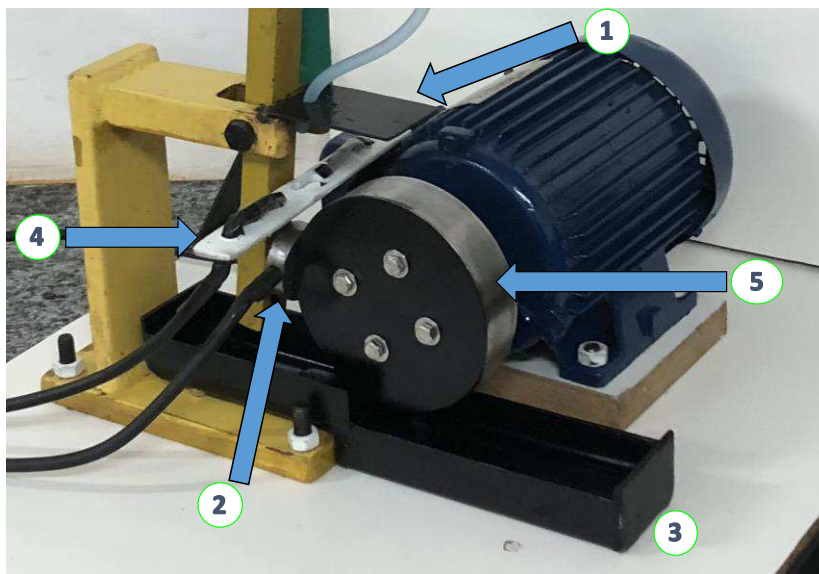


Figura 4.3 – Ênfase na área de contato da Bancada experimental; 1- Chapa guia; 2 - Corpo de prova com sensor serido; 3 - Bandeja coletora; 4 - Base dos sensores de vazão; 5 - Disco.

A bandeja coletora, no item 3, levou um acabamento superficial de qualidade (por meio de lixamento e pintura), possibilitou a retirada dos adesivos que tinham que ser trocados a cada ensaio. Ao armazenar o lubrificante ensaiado e sustentar o canalizador (item 5 da Figura 4.2) que impede o fluido de ser projetado para fora da bandeja, o recipiente e a chapa (número 1 da Figura 4.3) possibilita a realização dos ensaios sem levar resíduos ao ambiente.

O número 4 e 1 (da Figura 4.3), são responsáveis pelo gotejamento na área de contato. Enquanto o número 4 é a base que está adaptada ao motor para fixação do fototransistor e do LED de infravermelho que fazem o monitoramento da vazão do lubrificante, o número 1 é o sistema que possui a chapa que guia a mangueira com o fluido do ensaio.

4.5. Diferença de Temperatura dos Testes

O monitoramento do diferencial de temperatura é realizado através da diferença do termistor localizado no corpo de prova (responsável por aferir a temperatura na área de atrito) e do posicionado fora da bancada para medir a temperatura ambiente. Assim as alterações ocasionadas pelo meio não influenciam nos resultados, além de que os testes são submetidos em ambiente controlado devido o equipamento de resfriamento do laboratório.

No Apêndice B mostra o gráfico de dispersão obtido através das diferenças de temperaturas dos testes, onde picos e vales que são gerados através de interferência no ensaio foram retirados. Os óleos vegetais se mostraram superiores na capacidade de refrigerar a região de atrito (os dados dos ensaios são demonstrados no Apêndice D).

O lubrificante XP 46 teve um aumento brusco entre a rodagem de 1 a 2 km, e logo após, reduziu drasticamente para assim aumentar de forma gradativa. Isto implica que o óleo durante os primeiros quilômetros rodados não criou uma película fluida e a partir dos 2 km tem-se a película formada.

Os óleos vegetais apresentam a criação da película fluida de forma imediata, o que reflete o aumento na temperatura de forma suave como mostrado no gráfico do Apêndice B entre o período de 17 à 21 km, o óleo de coco apresenta uma queda de temperatura para aproximadamente 2 °C, isto ocorre devido a saída de forma acidental do sensor de temperatura que logo após foi reinserido.

Para visualizar e quantificar o gráfico de dispersão utilizou-se a ferramenta linha de tendência no programa EXCEL®, onde é habilitado o R^2 (mostrado em cada linha polinomial na Apêndice C), coeficiente que varia de 0 a 1 correspondente a confiabilidade da linha de tendência ao passar pelos pontos do gráfico (onde 1 é 100 % dos pontos correspondidos), e assim se torna possível a definição das equações do Apêndice C que regem as curvas do polinômio referente ao comportamento do urucum, Lubrax e coco.

Como o óleo de urucum e coco possuem pouca dispersão (isso sem levar o incidente ocorrido no teste para o óleo de coco) a equação de 2ª ordem satisfaz a sua representação

com respectivamente 92,02 % e 86,41 %. Já o óleo mineral para se apresentar próximo aos 75% de representatividade de seus pontos (com 74,75%) utiliza uma equação de 6ª ordem.

4.6. Taxa de desgaste

A definição do desgaste é adquirida através da Equação 2.3, portanto para se obter o volume perdido, utilizou-se a Equação 3.1. Com densidade de 7,85 g/cm³ dos corpos e massas perdidas (resultados da pesagem na Tabela 4.5) obtém-se o volume perdido.

Tabela 4.5 – Resultados das massas dos corpos de prova (g).

Especificação	Massa antes do lixamento			Massa após o lixamento			Massa após os ensaios		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Corpo de Prova									
Medição 1	78,2505	74,1857	78,9526	78,0976	74,0560	78,8480	78,0954	74,0452	78,8460
Medição 2	78,2506	74,1856	78,9526	78,0982	74,0577	78,8484	78,0948	74,0456	78,8454
Medição 3	78,2499	74,1856	78,9534	78,0983	74,0570	78,8480	78,0951	74,0450	78,8460
Medição 4	78,2500	74,1857	78,9524	78,0981	74,0574	78,8480	78,0950	74,0455	78,8458
Medição 5	78,2504	74,1857	78,9524	78,0979	74,0583	78,8475	78,0947	74,0459	78,8455
Média (g)	78,2503	74,1857	78,9527	78,0980	74,0573	78,8480	78,0950	74,0455	78,8457

Com as médias das massas do corpo de prova se evidencia a importância do processo de lixamento, que desprende uma quantidade considerável de material dos corpos, que provavelmente afetaria os resultados dos testes (já que existia a presença de partículas oxidadas). E na diferença entre as massas de antes dos ensaios (representado pela massa após o lixamento) e as massas após o ensaio, se defini o valor da massa perdida.

A distância Percorrida é medida por meio da Equação 4.1, que depende do tempo de teste em minutos (t), diâmetro do disco (d_{disco}) em metro e a velocidade do motor (w), em rotações por minuto, induzido pela frequência do inversor em Hertz (f).

$$D = \left(\frac{w * f}{60} \right) * (\pi * d_{disco}) * t \quad (4.1)$$

A Equação 4.2 está a solução da Equação 4.1, estes valores são os dados dos ensaios realizados que se mantiveram os mesmos nos testes dos três óleos.

$$D = \left(\frac{1680 * 42,7}{60} \right) * (\pi * 0,1) * 60 = 22.587,67 \text{ metros} \quad (4.2)$$

Com os valores conhecidos, a solução da Equação 2.3 (taxa de desgaste) se torna possível, onde os resultados para cada óleo estão no gráfico de barras da Figura 4.4.

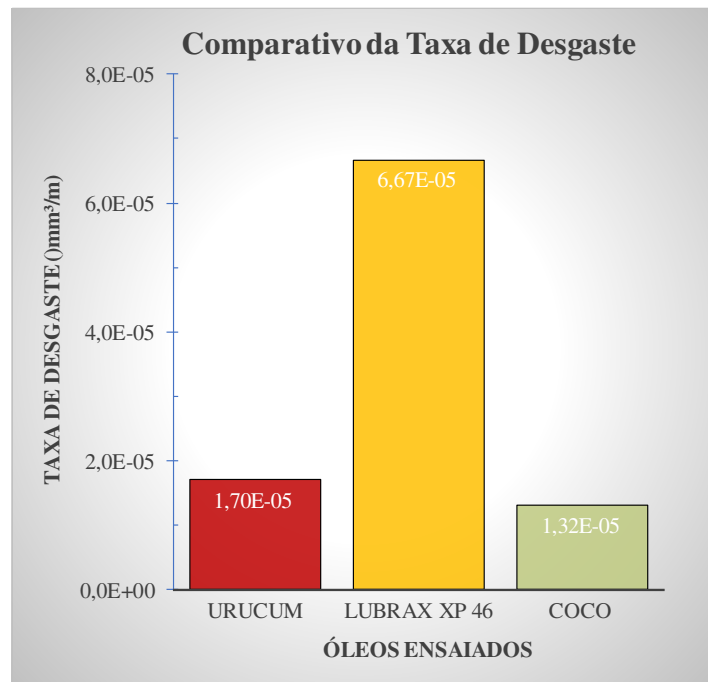


Figura 4.4 – Gráfico da taxa de desgastes dos óleos ensaiados.

O gráfico revela um resultado surpreendente no desempenho dos óleos vegetais que se sobressaíram ao lubrificante mineral. O óleo mineral tido como referência comparativa, desgastou cerca de 3 e 4 vezes a mais que os óleos de urucum e coco, estes apresentaram um percentual de 25,55 e 19,8 % do Lubrax.

Durante o ensaio por volta de 9 à 10 km rodados, o coco se solidificou interrompendo assim a sua lubrificação por gotejamento, no entanto aderiu ao disco de forma semilíquida e se fez presente até o término do ensaio, isso justificou com que houvesse a continuidade do teste. O mesmo se mostrou mais eficaz com a menor taxa de desgaste.

É importante frisar que o Lubrax é um lubrificante comercial considerado estável com proteção antidesgaste em temperatura ambiente e entre outros aditivos que melhoram sua performance.

Alguns parâmetros se tornaram fixos nos três ensaios, o que possibilitou a utilização da Equação 2.3 ao invés da Equação 2.2. Tais parâmetros correspondem a utilização do aço SAE 1020 com a dureza de 868,68 (N/m²) para todos corpos de prova e a força atuante nos testes de 17,5 Newton, tal valor foi imposto maior do que Ferreira (2016) utiliza em seu estudo, justamente para evidenciar o atrito e garantir melhores resultados com o aumento do desgaste.

4.7. Análise microscópica

Com análise microscópica visualiza-se os efeitos dos desgastes nas peças ensaiadas. As figuras 4.5 e 4.6 apresentam os corpos antes dos ensaios e com o acabamento superficial dado através do lixamento. Onde na Figura 4.5 é possível ver as marcas ocasionadas pelo lixamento com ranhuras disposta em mesma direção.

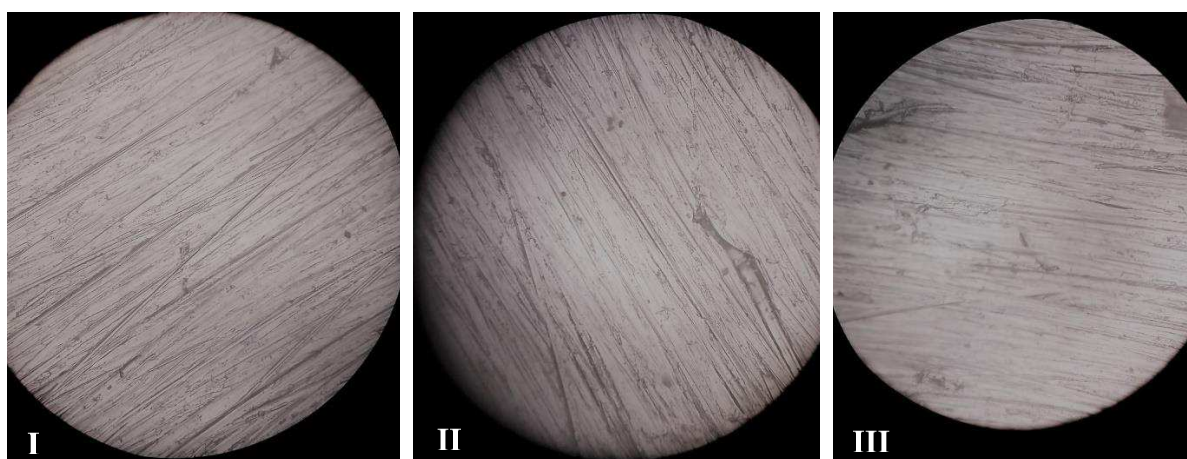


Figura 4.5 - Fotos microscópica de 500x antes dos ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.

Na Figura 4.6, a ampliação 1000x evidencia os baixos níveis de irregularidades desta área, apresentado similaridades entre os corpos de prova, em tom mais claro é a superfície lisa, e as linhas escuras são vales proveniente do contato durante o ensaio.

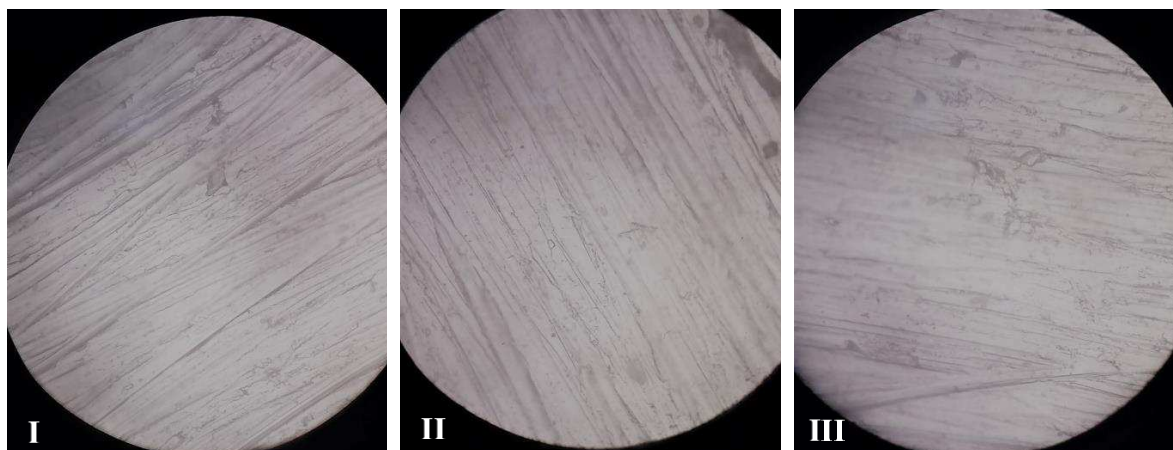


Figura 4.6 - Fotos microscópica de 500x antes dos ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.

Após os testes, nas Figuras 4.7 e 4.8 mostram de forma nítida a evidência de criações de novas ranhuras em uma nova direção produzida pelo disco através das fotos I e III. As fotos de número II das duas Figuras a seguir mostram um comportamento de desgaste de forma excessiva comparado com as I e III, isso se deve ao maior desgaste a ponto de retirar o acabamento superficial da peça.



Figura 4.7 - Fotos microscópica de 500x após os ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.

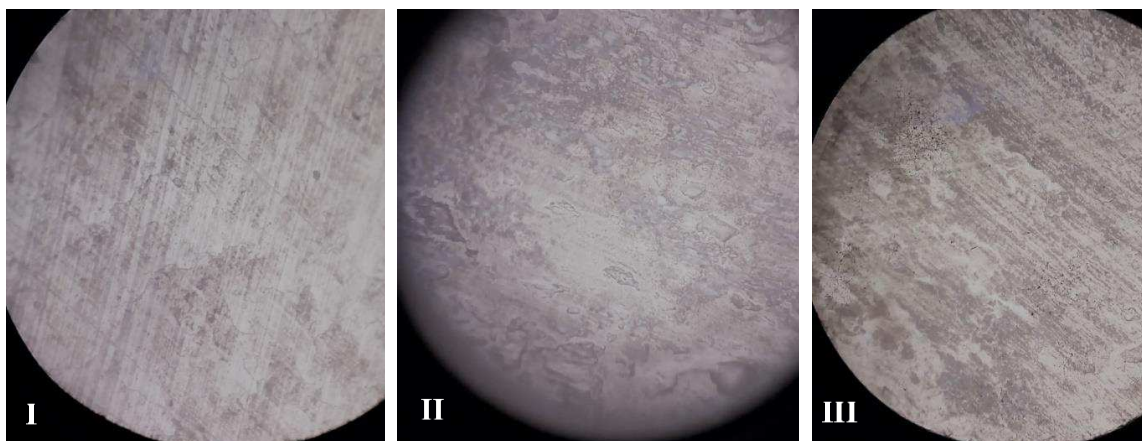


Figura 4.8 - Fotos microscópica de 1000x após os ensaios nos corpos I, II e III respectivamente ensaiados com os óleos de urucum, Lubrax e coco.

As peças mostraram pontos de oxidação, que na presença de um filtro ocular específico são demonstrados em formas de grãos da cor azul. Estes grãos são encontrados em maior concentração na peça II, o que não se esperava, já que o Lubrax apresenta aditivos antioxidante, portanto todos os corpos possuem a presença destes.

5. CONCLUSÃO

Alcançou-se grande êxito na definição das propriedades físicas dos óleos vegetais, com isso tem-se a divulgação a nível científico do mesmo. Além de resultar no parâmetro de comparação para viabilizar de forma justa os ensaios dos lubrificantes, representando equivalência nas viscosidades, induz a acreditar que o potencial de lubrificidade entre eles seja semelhante.

Os pontos de fulgor e combustão indicaram a utilização dos biolubrificantes para dissipação do calor de forma efetiva em sistemas abertos, visto que os mesmos apresentam valores superiores a 280°C, superior ao mineral com 258°C.

Os procedimentos realizados neste trabalho antes dos testes, se mostraram com resultados satisfatório, atribuindo uma ótima confiabilidade tanto nos testes de Dureza como na padronização da rugosidade.

A bancada experimental foi aprimorada com intuito de estabelecer testes confiáveis, no que se teve um desempenho da mesma de forma positiva e com isso o sistema de avaliação de baixo custo superou as expectativas ao apresentar resultados condizentes aos projetos similares já existentes.

Com os testes efetuados se faz possível a viabilidade de substituição do óleo mineral pelos os óleos vegetais, já que os mesmos apresentaram de forma satisfatória o comportamento em condições simuladas neste estudo, porém se faz necessário testes em situações de extrema pressão, e assim o Lubrax poderá ser substituído em elevadores, equipamentos de mineração, prensas e máquinas operatrizes. Ao possuir grande importância ambiental, os óleos vegetais, refletem um desenvolvimento sustentável e renovável.

Após análises microscópicas é correto afirmar que o Lubrax mesmo com aditivos teve o pior desempenho, atestado pela peça de maior desgaste. Considerando que o Lubrax é especificado para uma aplicação em sistemas hidráulicos de condições severas de pressão e temperatura, faz com que possivelmente isto justifique o seu desempenho inferior.

Revelou-se com este projeto a proposta inovadora da inserção dos óleos de urucum e coco na manutenção, com a utilização de biolubrificantes contribuindo na redução tanto de desgaste como no aumento de temperatura decorrente do atrito nas áreas de contato. Além de refletir com grande impacto na preservação do meio ambiente, com o propósito de evitar a contaminação através do descarte de lubrificantes minerais.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como sugestões futuras:

- Realizar um estudo químico para entendimento cadeia carbônicas que compõem os óleos vegetais;
- Desenvolver aditivos biodegradáveis para aprimoramento das propriedades físicas;
- Inovar com diferentes testes para configurações tribológicas diferentes;
- Ensaiair em tribômetro fechado para aplicação sobre alta pressão;
- Estudar a possibilidade de barateamento dos óleos vegetais;
- Implementar um estudo de nanopartículas;
- Aprimorar este trabalho com definições de outras propriedades físicas;
- Montar um estudo estatístico para os ensaios tribológicos.

REFERÊNCIAS

AGROQUIMICA BRASINHA. **Óleos Animais**. Disponível em: <<http://www.agroquimicabrasinha.com.br/servicos/producao/oleos-animais/>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

Associação Brasileira De Engenharia E Ciências Mecânicas – ABCM. As Leis do Atrito: da Vinci, Amontons ou Coulomb? **Abcm**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 01, p.33-36, out. 2007.

ASTM D1200-10(2014), **Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.

ASTM D4052-18, **Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org.

ASTM D92-16b, **Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org

ASTM E2789-10(2015), **Standard Guide for Fretting Fatigue Testing**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.

ASTM G119-09 (2016), **Standard Guide for Determining Synergism Between Wear and Corrosion**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.

ASTM G65-16e1, **Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org

ASTM G77-17. **Standard Test Method for Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear Using Block-on-Ring Wear Test**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.

ASTM. **Capítulo 5 - Teste de desgaste adesivo.** Disponível em: <https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/MNL/PAGES/MNL11345M.htm>.

Acesso em: 04 nov. 2018.

BELLOQUE, Maria Carolina Mirabella. **Gestão de Marcas para a Sustentabilidade.** 2016. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2016.

Bhushan B., **Introduction to tribology**, 2013

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica.** 8. ed. São Paulo: Amgh Editora Ltda., 2011.

CARRETEIRO, R. P; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial.** Editora Interciência LTDA, 2006.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA (Santa Catarina). **CLASSIFICAÇÃO DE PROCESSOS DE DESGASTE.** Santa Catarina: Slides, 2017. 47 slides, color.

EMBRAPA. A CULTURA DO URUCUM. **Coleção Plantar:** Urucum, Brasília, v. 2, n. 64, p.9-61, dez. 2009.

FARIAS, María Cristina Moré. **TRIBOLOGIA.** Bom Princípio: Slides, 2017. Color.

FERREIRA, Ighor Caetano Silva. **Estudo da lubricidade dos óleos vegetais de mamona/linhaça através de ensaio de desgaste de contato lubrificado por gotejamento.** 2016. 95 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016.

G1. **Produtores rurais utilizam margens de rodovia para plantar urucum.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2012/05/produtores-rurais-utilizam-margens-de-rodovia-para-plantar-urucum.html>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

GUERRA, Edson Perez; FUCHS, Werner. **Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores**. Revista Acadêmica: Ciência Animal, v. 8, n. 1, p. 103-112, 2017.

Holmberg K., et al. **Global Impact of Friction on Energy Consumption, Economy and Environment**. Tribology. Int. 47, 221-234, 2012.

HUTCHINGS, Ian; SHIPWAY, Philip. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. 2. ed. Cambridge: Elsevier, 2017.

MARTINEZ, Gustavo Aristides Santana. **Comportamento da Lubrificação no Tribosistema de Trefilação a Altas Velocidades**. 1998. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MATOS, Paulo Roberto Rodrigues de. **Utilização de Óleos Vegetais como Bases Lubrificantes**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MOBARAK, H.m. et al. The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Estados Unidos, p. 35-42. fev. 2014. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/rser>. Acesso em: 22 set. 2018.

MORIM, Pedro Truppel. **PROJETO DE UM TRIBÔMETRO DISCO-DISCO PARA ENSAIOS DE LUBRIFICANTES**. 2018. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

NORTON R. L., 2013. **Projeto de Máquinas**, Bookman, 4ª edição, 2013, São Paulo, Brasil, 625 e 626 p.

O IMPARCIAL. **Maranhão lidera crescimento econômico com alta de 9,7% no PIB**. Disponível em: <<https://oimparcial.com.br/noticias/2018/03/maranhao-lidera-em-crescimento-economico-com-alta-de-97-no-pib/>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

PAIXÃO, Thymisson et al. **STUDY OF LUBRICATION OF CASTOR/LINSEED VEGETABLE OILS THROUGH DRIP LUBRICATED CONTACT WEAR TEST**. In: 24th ABCM international congress of mechanical engineering, 24., 2017, Curitiba. Anais. Curitiba: Abcm, 2017.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. “**Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - LUBRAX HYDRA XP (5, 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150, 220)**”, FISPQ, 2011.

PIRATELLI FILHO, Antonio. **RUGOSIDADE SUPERFICIAL**. Brasília, 2011. Color. Disponível em: <http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/metrologia/arquivos/palestra_ufu_17_05_2011.pdf> . Acesso em: 20 jun. 2017.

RAMOS, Vinicius Erler de Sousa. **Lubrificação**. Espírito Santo: Slide, 2018. Color.

RIBEIRO FILHO, Paulo Roberto Campos Flexa et al. **Propriedades Físicas de Óleos Lubrificantes Minerais e Vegetais e Avaliação de Desgastes por Four Ball**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, Santa Cecília, v. 5, n. 1, p.154-163, fev. 2016.

RIBEIRO FILHO, P. R. C. F. **Desenvolvimento de uma unidade experimental para estudo tribológico de desgaste de contato lubrificado por gotejamento de óleos vegetais**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Santa Cecília, Santos, São Paulo. 2015.

RIJEZA METALURGIA. **Você sabe classificar um Mecanismo de Desgaste?** Disponível em: <https://www.rijeza.com.br/blog/voce-sabe-classificar-um-mecanismo-de-desgaste?gclid=CjwKCAjw6-_eBRBXEiwA-5zHaYzMUyONGzxdAFk8GYCAgxXMLq6e2zyJe6zqGgNIPPg7i8v8xbRRIRoCdfIQAvD_BwE>. Acesso em: 03 nov. 2018.

SÁ, André S. **História do Lubrificante**. Disponível em: <<http://mundosegundohistoria.blogspot.com/2017/10/historia-do-lubrificante.html>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

SANTOS, Zirlene Alves da Silva; SOUZA, Claudiano de Jesus; COSTA, Adilson Rodrigues. **A metodologia bsceq na seleção de materiais para otimização do desgaste de coroas de perfuração de uma indústria de sondagem.** Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração, [s.l.], v. 9, n. 3, p.212-219, 2012. Editora Cubo Multimídia.

SEBRAE. **O cultivo e o mercado do coco verde.** Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SERRA, Adriano do Amor Divino Guilhon et al. **STUDY OF GRAPE SEED OIL IN THE PROPOSAL OF BIOLUBRICANTS IN OPEN SYSTEMS.** In: 24th ABCM international congress of mechanical engineering, 24., 2017, Curitiba. Anais. Curitiba: Abcm, 2017.

SILVA, Ruthilene Catarina Lima da. **Desgaste de polímeros estruturais de engenharia em contato de deslizamento com cilindro metálico.** 2010. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA, Wellington Pereira da. **LUBRIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS.** 2017. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Pitágoras, Poços de Caldas, 2017.

SKF. **Tribologia – uma história inspiradora.** Disponível em: <<http://www.skf.com/pt/news-and-media/news-search/2013-10-25-tribology-a-moving-story.html>>. Acesso em: 30 out. 2018.

SOARES, Climério. **Leis de Newton.** Rio de Janeiro: Slides, 2015. Color.

SOUZA, Alan Mendes de et al. **ESTUDO SOBRE LUBRIFICAÇÃO EM ROLAMENTOS E DESENVOLVIMENTO DE UM TRIBÔMETRO MÉTODO REICHERT.** Revista Eniac Pesquisa, Garulhos, v. 7, n. 1, p.82-96, jan. 2018.

Stachowiak, G.W.; Batchelor, A.W. **Engineering Tribology**, 2005.

UNIVERSAL LUBRIFICANTES. **Atrito, Desgaste e Viscosidade**. Disponível em: <<http://www.universallubrificantes.com.br/component/k2/item/33-atrito-desgaste-e-viscosidade>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

Zum-Gahr, K. H., **Microstructure and wear of materials**, 1987

ANEXO A – Informações técnicas do Lubrax Hydra XP.

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

LUBRAX HYDRA XP

Óleo para sistema hidráulicos que operem em condições severas de pressão e temperatura. Disponível nos graus ISO 5, 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150 e 220.

LUBRAX HYDRA XP evita o desgaste e a corrosão das partes lubrificadas. É formulado com óleos básicos parafínicos e sua aditivação especial lhe proporciona elevada estabilidade à oxidação, proteção antidesgaste e resistência à formação de espuma.

LUBRAX HYDRA XP é especialmente recomendado para uso em sistemas hidráulicos de alta pressão, como elevadores, equipamentos de mineração, máquinas de moldagem e injeção de plásticos, prensas e máquinas operatrizes.

LUBRAX HYDRA XP atende aos requisitos dos testes de estabilidade térmica CINCINNATI MACHINE, de filtrabilidade DENISON e de desgaste em bombas de palhetas VICKERS e DENISON, sendo indicado quando requerido um óleo DIN 51524 parte 2 (categoria HLP)⁽¹⁾.

LUBRAX HYDRA XP 68 atende à categoria P-69 da CINCINNATI MACHINE e ao teste Vickers 35VQ25, podendo ser usado em sistemas hidráulicos automotivos, como os de máquinas agrícolas, tratores e escavadeiras.

O nome **LUBRAX HYDRA XP** é a nova denominação do antigo **LUBRAX INDUSTRIAL HR-...-EP**.

Aditivos - anticorrosivo, antidesgaste, antiespumante, antiferrugem, antioxidante e abaixador do ponto de fluidez.

ANÁLISES TÍPICAS⁽²⁾

GRAU ISO	5	10	15	22	32	46	68	100	150	220
Densidade a 20/4 °C	0,845	0,855	0,857	0,860	0,863	0,869	0,874	0,880	0,886	0,892
Ponto de Fulgor (VA) (°C)	138	186	198	212	232	244	260	270	274	280
Ponto de Fluidez (°C)	-15	-24	-33	-15	-21	-18	-18	-18	-12	-9
Viscosidade a 40°C (cSt)	4,43	10,53	15,07	20,8	30,2	44,3	65,3	94,9	147,0	217
Viscosidade a 100°C (cSt)	1,60	2,73	3,56	4,24	5,38	6,83	8,77	11,08	14,82	19,04
Índice de Viscosidade	95	96	118	108	113	110	107	103	100	99
Índice de Acidez Total (mgKOH/g)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Demulsibilidade (tempo de separação) a 54°C: minutos	11	14	14	16	16	20	25	-	-	-
a 82°C:	-	-	-	-	-	-	-	15	15	20

(1) O enquadramento no requisito do teste ISO 4406 é feito sob demanda, implicando em custos adicionais de filtragem.

(2) As Análises Típicas representam os valores modais da produção, não constituindo especificações. Para informações mais detalhadas primeiramente consulte nossa assistência técnica.

Janeiro/2011

LUBRAX  **PETROBRAS**

Não necessita de aditivação extra. Para descarte use as instalações dos postos de serviço, conforme Resolução CONAMA 362/05. Preservar o meio ambiente é responsabilidade de todos.

APÊNDICE A – Compilação no ARDUINO para aquisição de dados dos sensores.

```
    //#include <math.h>
    //#include<iostream>
    //#include<cstdlib>
    int sensor1 = A0; //PINO ANALÓGICO 0
    int sensor2 = A1; //PINO ANALÓGICO 1
    int sensor3 = A2; //PINO ANALÓGICO 3
    int valor1 = 0; //VALOR LIDO NA ENTRADA ANALÓGICA 0
    int valor2 = 0; //VALOR LIDO NA ENTRADA ANALÓGICA 1
    int valor3 = 0; //VALOR LIDO NA ENTRADA ANALÓGICA 2
    float temp1 = 0; //VARIÁVEL QUE RECEBERÁ VALOR CONVERTIDO DO
SENSOR 1
    float temp2 = 0; //VARIÁVEL QUE RECEBERÁ VALOR CONVERTIDO DO
SENSOR 2
    int cntg=0;//Contador de gotas de óleo
    float a=0.000880382, b=0.000252617, c=0.00000018807, a1=0.000880382,
b1=0.000252617, c1=0.00000018807, Vin1, Vin2, RNTC1,RNTC2,
    logRNTC1,logRNTC2;
    long previousMillis = 0;
    long interval = 4995;
    // VARIÁVEIS DA COMUNICAÇÃO SERIAL COM O EXCEL (PLX-DAQ)
    // NÃO PODE USAR O "MONITOR SERIAL" DO IDE DO ARDUINO
(CONFLITO)
    int ROW = 0; // VARIÁVEL QUE SE REFERE AS LINHAS DO EXCEL
    int LABEL = 1;
    void setup() {
    Serial.begin(9600); // INICIALIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO SERIAL
    Serial.println("CLEARDATA"); // RESET DA COMUNICAÇÃO SERIAL
    Serial.println("LABEL,Time,T_Disp,T_Amb, Q_Oleo"); // NOMEIA AS COLUNAS
    pinMode(13,OUTPUT);
    }
    void data_exec(){
```

```

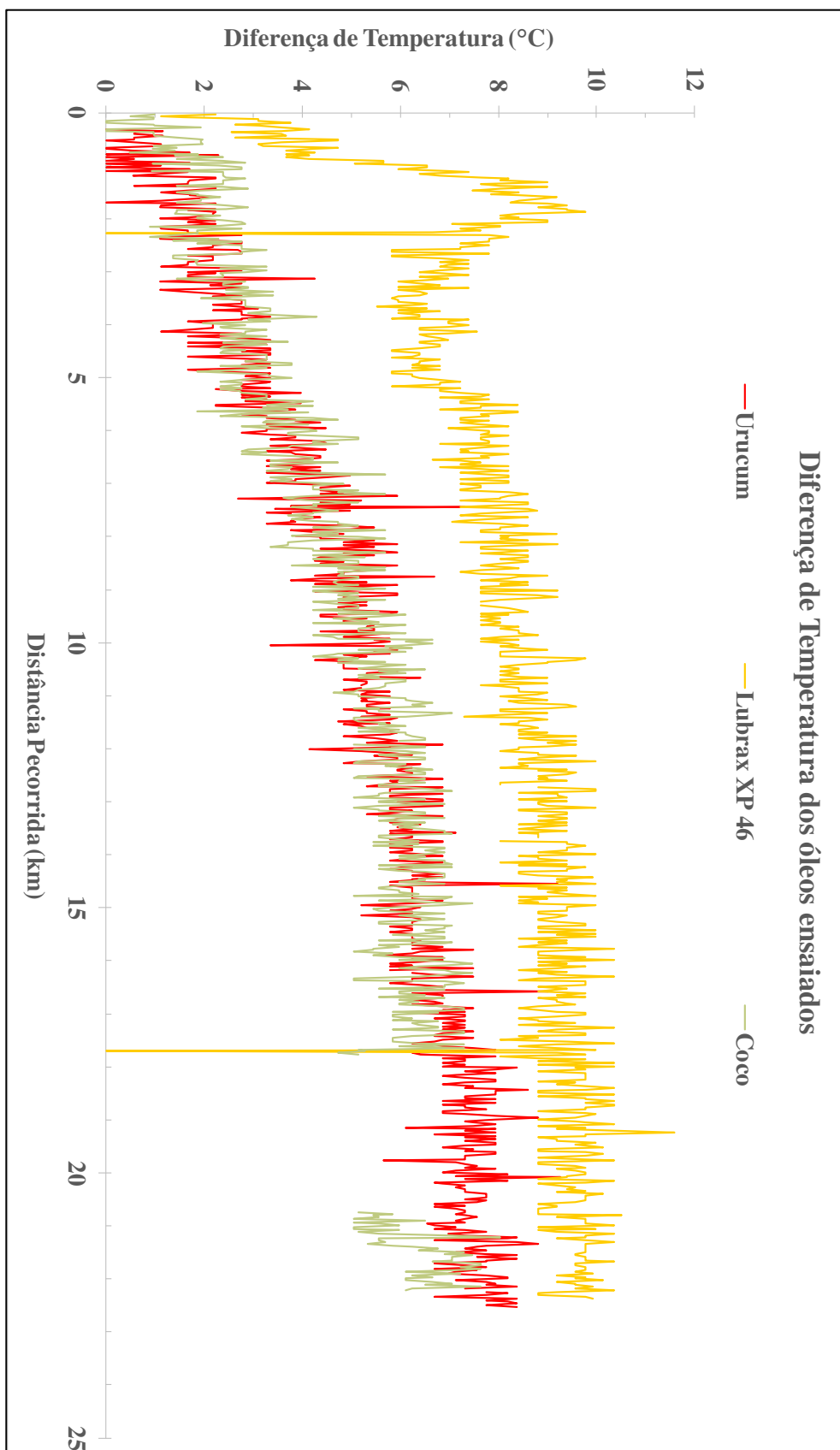
unsigned long currentMillis = millis();
Serial.println(currentMillis);
if(currentMillis - previousMillis > interval) {
  previousMillis = currentMillis; // ESPERA CINCO SEGUNDOS PARA NOVA
LEITURA
  Serial.print("DATA,TIME,"); // INICIA A "IMPRESSÃO" DOS DADOS, SEMPRE
INICIANDO COM O "TIME"
  Serial.print(temp1);
  Serial.print(",");
  Serial.print(temp2);
  Serial.print(",");
  Serial.println(cntg);
  ROW++; // INCREMENTA A LINHA DO EXCEL
  if (ROW > 1000) // LAÇO PARA LIMITAR A QUANTIDADE DE DADOS
ENVIADOS, SERVE PARA LIMITAR O GRÁFICO
  {
    ROW=0; // RESET DA LINHA
    Serial.println("ROW,SET,2");// ALIMENTAÇÃO DAS LINHAS COM OS DADOS,
INICIANDO DA LINHA 2
  }
}
}

void loop() {
  valor1 = analogRead(sensor1);//LEITURA DO PINO A0
  valor2 = analogRead(sensor2);//LEITURA DO PINO A1
  valor3 = analogRead(sensor3);//LEITURA DO PINO A3
  Vin1=0.00488*valor1;//LEITURA DA VOLTAGEM DE ENTRADA DO SENSOR1
  Vin2=0.00488*valor2;//LEITURA DA VOLTAGEM DE ENTRADA DO SENSOR2
  RNTC1=10000*(5/Vin1-1);
  RNTC2=10000*(5/Vin2-1);
  logRNTC1 = log(RNTC1);
  logRNTC2 = log(RNTC2);
  temp1 = (1.0/(a+b*logRNTC1+c*logRNTC1*logRNTC1*logRNTC1))-273.15;

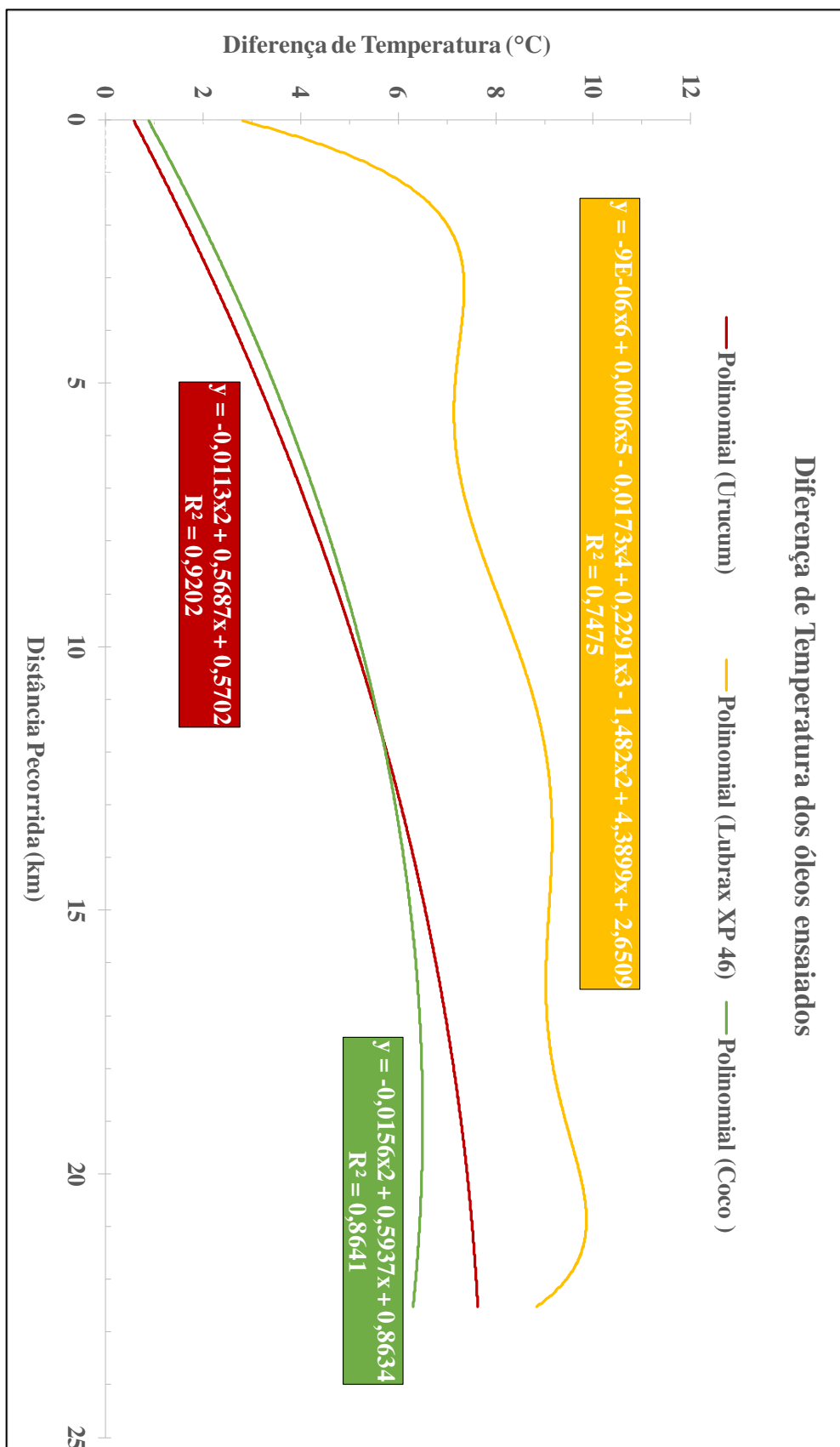
```

```
temp2 = (1.0/(a1+b1*logRNTC2+c1*logRNTC2*logRNTC2*logRNTC2))-273.15;
if(valor3 > 50){
digitalWrite(13,HIGH); // Liga led
cntg=cntg+1;
delay(220);
}else{
digitalWrite(13,LOW); // Desliga led
}
if(1){
data_exec();
}
}
```

APÊNDICE B – Gráfico de dispersão da diferença de temperatura dos óleos.



APÊNDICE C – Gráfico polinomial da diferença de temperatura dos óleos.



APÊNDICE D – Diferenças de temperatura dos óleos com relação à distância.

T_Urucum (°C)	T_Lubrax (°C)	T_Coco (°C)	Distancia (km)				
-	2,24	0,98	0,0	2,24	7,63	2,44	1,2
-	1,12	0,50	0,1	2,24	8,21	2,83	1,3
1,17	1,57	0,96	0,1	1,7	8,03	2,38	1,3
-	3,10	0,96	0,1	1,66	9,00	2,38	1,3
1,74	3,10	0,00	0,2	1,66	7,63	2,38	1,3
-	3,77	0,00	0,2	0,57	8,03	1,43	1,4
-	2,62	0,96	0,2	2,24	9,00	2,38	1,4
-	3,10	0,98	0,3	2,24	8,03	2,89	1,4
-	3,58	1,93	0,3	1,66	7,46	1,93	1,5
0	4,15	0,00	0,3	1,12	8,42	1,43	1,5
1,15	3,58	0,00	0,3	1,7	7,85	1,88	1,5
0,58	2,55	0,96	0,4	1,7	8,42	1,85	1,6
0,57	3,58	0,96	0,4	2,24	9,19	2,33	1,6
1,15	3,67	0,98	0,4	1,7	8,81	1,93	1,6
0,57	2,62	1,46	0,5	1,12	8,42	1,93	1,7
0,57	4,73	1,97	0,5	0	8,24	1,43	1,7
0	4,73	1,93	0,5	2,24	9,00	1,93	1,7
0,57	3,58	1,93	0,6	1,12	9,39	2,44	1,8
1,12	3,10	1,97	0,6	1,09	8,81	2,89	1,8
1,12	3,19	0,96	0,6	2,24	9,39	2,44	1,8
0	4,73	1,43	0,7	1,66	9,39	1,43	1,8
0	4,25	0,95	0,7	2,24	9,77	1,43	1,9
0,55	3,67	1,40	0,7	2,18	8,42	1,40	1,9
1,7	4,25	0,47	0,8	2,18	8,03	2,33	1,9
0	3,67	1,88	0,8	1,66	8,42	1,85	2,0
2,29	4,15	1,40	0,8	1,09	8,03	1,85	2,0
0	3,67	2,38	0,8	2,24	9,00	2,38	2,0
0,57	4,15	1,43	0,9	1,66	9,00	2,77	2,1
0	5,65	2,38	0,9	2,24	7,06	2,83	2,1
1,7	5,65	2,83	0,9	1,61	8,03	2,33	2,1
0	5,07	0,95	1,0	1,09	8,03	0,90	2,2
1,12	6,54	2,29	1,0	1,12	7,22	2,77	2,2
0	6,54	2,77	1,0	1,66	7,63	1,85	2,2
1,7	5,96	2,77	1,1	1,66	6,65	1,85	2,3
0	6,97	0,92	1,1	1,66	-	1,88	2,3
1,66	7,39	2,38	1,1	2,76	7,80	1,37	2,3
1,12	6,39	2,38	1,2	1,09	8,21	0,90	2,3
0,55	6,81	2,38	1,2	1,09	7,80	2,29	2,4
				2,18	7,80	1,37	2,4
				2,76	7,80	2,77	2,4

2,76	7,22	1,85	2,5	2,76	6,39	3,41	3,8
2,18	7,80	2,77	2,5	3,35	6,39	4,30	3,8
2,18	7,22	2,77	2,5	2,76	5,82	3,41	3,9
1,66	7,22	2,77	2,6	2,76	7,39	2,89	3,9
2,69	5,82	3,27	2,6	1,66	6,97	3,34	3,9
2,76	5,82	2,77	2,6	2,18	6,97	1,97	4,0
2,76	7,80	2,77	2,7	2,18	7,39	2,83	4,0
1,66	5,82	1,37	2,7	2,18	6,97	2,33	4,0
2,18	5,82	1,37	2,7	2,18	6,39	2,38	4,1
2,18	6,81	1,37	2,8	1,66	6,39	3,27	4,1
2,18	7,39	1,88	2,8	1,12	7,56	2,83	4,1
1,66	6,81	1,81	2,8	2,76	6,97	2,83	4,2
1,66	7,39	1,85	2,8	2,76	6,39	2,33	4,2
1,66	6,97	1,85	2,9	1,66	6,54	3,27	4,2
1,12	6,81	3,27	2,9	2,76	6,81	2,33	4,3
2,76	7,39	2,33	2,9	3,35	6,97	2,77	4,3
2,76	6,81	3,27	3,0	3,35	6,39	3,70	4,3
1,66	6,39	2,83	3,0	1,66	6,39	2,38	4,3
2,24	6,81	2,33	3,0	3,27	6,81	3,27	4,4
1,66	7,39	2,38	3,1	1,66	6,81	2,38	4,4
1,66	6,39	2,38	3,1	3,35	6,39	2,33	4,4
4,25	6,97	1,43	3,1	3,35	5,82	2,83	4,5
1,66	6,39	1,88	3,2	2,76	5,82	2,38	4,5
1,09	5,96	2,83	3,2	3,35	6,39	2,33	4,5
2,76	6,39	2,38	3,2	3,35	6,39	3,27	4,6
2,12	6,81	2,38	3,3	1,66	6,24	3,27	4,6
2,76	5,96	2,89	3,3	2,18	5,82	3,27	4,6
2,76	7,39	2,89	3,3	3,27	6,81	3,27	4,7
1,09	5,96	2,44	3,3	2,83	6,39	2,83	4,7
1,61	6,39	3,41	3,4	3,35	6,39	3,78	4,7
2,18	6,54	2,44	3,4	2,76	6,24	3,78	4,8
2,76	6,39	3,41	3,4	2,76	6,81	2,33	4,8
2,18	5,96	2,89	3,5	3,35	6,24	3,27	4,8
2,18	5,82	1,93	3,5	1,66	6,81	2,77	4,8
2,76	5,96	2,83	3,5	2,24	5,82	1,85	4,9
2,76	5,96	2,83	3,6	3,35	5,82	2,77	4,9
2,76	6,54	2,83	3,6	3,27	6,24	3,27	4,9
2,18	6,39	2,83	3,6	2,83	6,24	3,34	5,0
2,69	5,52	2,83	3,7	3,35	6,39	3,78	5,0
3,1	6,54	3,34	3,7	2,76	6,81	2,77	5,0
2,18	5,96	3,34	3,7	3,35	7,22	2,33	5,1
2,76	6,81	3,34	3,8	3,27	6,81	2,77	5,1
2,76	5,96	2,89	3,8	2,76	6,81	2,77	5,1

2,76	5,82	2,33	5,2	4,36	7,80	4,21	6,5
3,35	7,22	2,77	5,2	3,86	6,65	4,21	6,5
2,24	6,81	2,33	5,2	3,27	7,22	3,34	6,6
2,76	6,81	2,72	5,3	4,36	7,63	4,73	6,6
3,97	7,22	2,77	5,3	3,86	7,22	3,34	6,6
2,76	7,80	3,27	5,3	3,27	8,21	3,34	6,7
3,35	7,63	3,27	5,3	4,36	6,81	3,78	6,7
2,76	6,81	3,27	5,4	3,77	7,63	3,70	6,7
3,27	7,80	2,83	5,4	4,36	8,21	3,27	6,8
2,83	7,22	4,21	5,4	3,27	7,22	4,21	6,8
3,97	7,22	3,78	5,5	4,36	7,80	5,69	6,8
2,24	8,39	3,27	5,5	4,98	8,21	4,30	6,9
2,24	7,63	4,21	5,5	4,48	8,21	3,34	6,9
3,35	7,63	3,20	5,6	3,86	7,22	3,78	6,9
3,86	6,81	3,70	5,6	3,86	8,21	3,34	6,9
2,76	8,39	1,85	5,6	3,27	8,21	4,21	7,0
3,77	8,39	4,12	5,7	3,86	7,22	4,84	7,0
2,76	7,63	2,72	5,7	4,98	7,63	4,21	7,0
3,27	7,80	2,33	5,7	4,36	7,63	4,21	7,1
3,27	7,22	4,21	5,8	4,36	7,22	4,21	7,1
3,86	7,22	4,73	5,8	4,36	7,22	5,15	7,1
3,86	7,80	3,27	5,8	4,84	8,21	4,73	7,2
4,36	7,22	3,20	5,9	4,36	8,61	5,69	7,2
3,27	7,63	4,12	5,9	5,94	8,21	4,21	7,2
3,35	8,21	2,77	5,9	3,77	8,03	3,62	7,3
4,48	6,97	3,27	5,9	2,69	8,03	3,70	7,3
3,27	7,22	4,12	6,0	5,2	7,22	4,21	7,3
3,27	7,80	4,30	6,0	4,36	8,61	5,15	7,4
2,76	7,80	3,70	6,0	4,98	8,61	4,21	7,4
3,35	7,63	3,70	6,1	3,77	7,63	4,30	7,4
3,86	8,21	4,21	6,1	7,31	7,22	3,78	7,4
3,86	7,63	5,15	6,1	3,45	8,61	4,30	7,5
3,35	7,63	5,15	6,2	4,98	8,80	4,73	7,5
4,36	7,80	4,21	6,2	3,27	8,03	4,21	7,5
4,48	7,80	4,21	6,2	3,77	7,63	4,21	7,6
4,48	6,81	4,73	6,3	3,77	7,22	3,70	7,6
3,35	8,21	3,78	6,3	4,36	8,61	4,21	7,6
3,86	7,63	3,70	6,3	3,86	7,80	3,78	7,7
4,48	7,22	2,89	6,4	3,77	7,22	4,21	7,7
3,27	7,39	2,77	6,4	3,86	7,06	4,73	7,7
3,77	7,22	3,27	6,4	3,27	8,03	4,73	7,8
3,86	8,21	2,77	6,4	4,84	8,61	5,15	7,8
4,36	7,63	3,78	6,5	5,46	8,03	4,21	7,8

4,98	8,03	4,73	7,9	4,84	8,03	5,69	9,2
3,77	7,63	5,69	7,9	5,32	7,63	4,21	9,2
4,25	7,63	4,21	7,9	4,73	-	4,63	9,3
4,84	9,19	4,73	7,9	5,32	7,63	5,15	9,3
3,86	8,03	3,78	8,0	4,73	8,03	5,15	9,3
4,36	8,21	5,15	8,0	4,84	8,21	5,15	9,4
4,36	8,03	5,69	8,0	4,84	8,42	4,21	9,4
5,46	8,61	4,21	8,1	5,94	8,61	5,56	9,4
4,84	7,22	3,70	8,1	5,79	7,63	4,73	9,4
5,94	9,20	3,70	8,1	4,36	8,21	6,10	9,5
4,84	8,61	3,70	8,2	4,36	7,63	5,56	9,5
5,46	7,63	3,34	8,2	5,32	8,03	4,63	9,5
4,36	7,63	4,21	8,2	4,84	7,63	5,15	9,6
5,46	8,61	4,21	8,3	4,84	8,03	5,56	9,6
5,94	8,03	5,69	8,3	5,32	8,03	4,21	9,6
4,84	7,63	5,15	8,3	5,46	7,63	6,10	9,7
5,46	8,61	4,21	8,4	5,32	8,42	5,56	9,7
4,36	8,61	5,27	8,4	5,46	8,03	5,15	9,7
4,25	8,03	4,21	8,4	5,46	8,42	5,15	9,8
4,25	8,61	5,15	8,4	4,36	8,42	5,15	9,8
4,84	8,61	5,15	8,5	5,79	8,42	6,10	9,8
4,36	8,03	5,15	8,5	5,32	8,81	4,21	9,9
5,94	7,63	3,78	8,5	4,84	8,03	4,63	9,9
4,84	8,21	5,69	8,6	5,79	7,63	4,73	9,9
4,84	8,42	4,73	8,6	5,46	8,42	6,65	9,9
5,46	7,63	5,69	8,6	5,79	7,63	6,10	10,0
4,84	7,22	4,73	8,7	5,32	8,21	6,65	10,0
4,84	7,63	4,84	8,7	3,35	8,42	6,10	10,0
4,25	9,00	4,73	8,7	5,94	8,03	5,69	10,1
6,69	8,42	5,15	8,8	5,79	8,42	6,24	10,1
4,36	8,21	5,15	8,8	5,94	9,00	5,15	10,1
3,77	7,63	4,73	8,8	5,46	8,03	6,10	10,2
5,32	8,61	4,63	8,9	5,79	8,03	4,73	10,2
4,25	8,03	4,73	8,9	4,84	8,03	4,63	10,2
5,94	8,61	5,15	8,9	5,32	8,03	4,21	10,3
4,84	7,63	4,21	8,9	4,84	9,77	5,15	10,3
5,46	7,63	5,69	9,0	4,25	9,59	4,73	10,3
4,84	9,20	4,21	9,0	5,32	9,00	5,69	10,4
4,25	7,63	4,21	9,0	4,84	9,00	4,73	10,4
5,94	7,63	5,15	9,1	4,84	8,42	6,10	10,4
5,94	8,80	4,73	9,1	4,84	8,03	5,56	10,4
4,84	9,20	5,15	9,1	4,84	8,42	5,15	10,5
4,84	8,42	4,73	9,2	5,79	8,42	6,51	10,5

5,94	8,03	5,56	10,5	5,32	9,00	-	11,9
5,32	8,42	6,10	10,6	6,86	9,59	5,04	11,9
5,32	8,03	5,15	10,6	5,79	9,00	6,51	12,0
5,32	8,42	5,56	10,6	5,79	8,42	6,51	12,0
6,41	9,00	5,15	10,7	4,15	8,42	5,04	12,0
4,84	8,03	6,10	10,7	5,2	8,03	6,10	12,0
5,32	8,03	6,10	10,7	5,79	8,81	6,51	12,1
5,32	9,00	5,69	10,8	6,24	8,81	5,56	12,1
5,2	7,63	5,69	10,8	5,46	9,59	5,69	12,1
-	8,03	5,69	10,8	5,94	8,81	6,51	12,2
5,2	8,42	5,56	10,9	5,94	8,42	6,51	12,2
4,84	8,42	5,15	10,9	5,2	9,98	5,15	12,2
5,79	8,42	5,04	10,9	4,84	8,42	5,04	12,3
5,32	9,00	4,63	10,9	6,41	8,42	6,10	12,3
5,2	8,80	5,15	11,0	5,79	8,61	5,69	12,3
5,79	8,03	5,15	11,0	6,24	8,03	6,24	12,4
5,2	8,61	6,10	11,0	5,94	9,39	6,65	12,4
5,32	9,00	6,10	11,1	5,94	8,81	6,10	12,4
5,2	8,21	6,24	11,1	6,24	9,59	6,51	12,5
5,79	8,42	6,65	11,1	6,24	9,39	6,51	12,5
5,32	9,39	6,24	11,2	5,32	8,81	5,15	12,5
5,32	9,59	6,51	11,2	6,41	9,00	5,04	12,5
5,79	9,00	5,04	11,2	6,86	8,81	6,51	12,6
4,84	8,03	5,56	11,3	5,79	9,39	5,97	12,6
5,32	8,03	5,56	11,3	5,94	8,03	6,51	12,6
5,32	9,00	7,06	11,3	5,65	8,03	5,56	12,7
5,79	8,03	6,65	11,4	5,32	-	5,56	12,7
5,2	7,30	6,10	11,4	6,86	8,81	6,10	12,7
5,94	8,61	5,04	11,4	5,79	9,98	6,65	12,8
5,79	9,00	5,04	11,5	5,79	9,98	7,06	12,8
4,73	8,42	5,15	11,5	5,79	8,42	5,69	12,8
5,79	8,42	5,69	11,5	6,86	9,20	5,56	12,9
4,84	8,03	5,56	11,5	5,79	9,20	5,56	12,9
5,2	8,61	6,10	11,6	5,79	9,39	5,04	12,9
5,32	8,81	5,15	11,6	6,86	8,42	6,51	13,0
5,79	8,42	5,97	11,6	6,86	9,39	5,56	13,0
5,79	8,42	5,15	11,7	5,94	8,81	5,56	13,0
5,94	9,00	6,10	11,7	6,24	8,81	6,91	13,0
5,79	8,42	6,10	11,7	6,86	9,00	5,56	13,1
4,84	9,59	6,24	11,8	5,79	9,98	5,04	13,1
5,46	8,42	6,51	11,8	5,79	8,42	5,56	13,1
5,79	8,81	6,51	11,8	6,24	8,42	5,56	13,2
5,94	9,59	5,97	11,9	5,94	9,39	6,51	13,2

5,32	9,39	6,51	13,2	5,79	8,03	5,97	14,6
6,86	8,81	5,56	13,3	6,24	9,39	5,56	14,6
6,24	9,39	6,91	13,3	6,24	8,81	5,56	14,6
5,94	9,39	5,97	13,3	6,24	9,39	5,97	14,7
5,79	8,81	5,56	13,4	6,24	9,00	5,97	14,7
5,79	9,39	6,51	13,4	6,24	9,39	6,37	14,7
6,41	8,42	5,85	13,4	6,24	9,98	5,04	14,8
6,24	9,39	6,37	13,5	6,24	8,42	7,06	14,8
5,94	8,81	5,97	13,5	6,24	9,00	6,91	14,8
6,24	8,42	6,51	13,5	6,86	8,42	5,56	14,9
5,79	9,39	6,91	13,5	6,69	8,81	6,51	14,9
7,13	8,42	6,91	13,6	6,24	8,42	7,46	14,9
5,79	8,81	7,06	13,6	5,2	9,98	6,91	15,0
6,24	8,81	5,56	13,6	6,41	9,39	5,97	15,0
6,24	8,81	5,56	13,7	6,24	9,39	5,45	15,0
5,79	-	5,97	13,7	5,79	9,39	5,56	15,0
6,86	8,03	6,37	13,7	6,24	8,81	5,97	15,1
6,86	9,39	5,45	13,8	6,24	8,81	6,91	15,1
5,79	9,39	6,37	13,8	5,2	9,39	5,97	15,1
6,24	9,77	5,45	13,8	6,24	9,19	6,37	15,2
5,79	9,39	6,91	13,9	6,41	8,81	6,91	15,2
6,24	9,39	6,91	13,9	6,41	8,81	6,51	15,2
6,24	9,39	6,51	13,9	6,24	9,19	5,56	15,3
5,79	8,81	6,91	14,0	6,24	9,77	5,56	15,3
6,41	9,98	6,51	14,0	6,24	9,77	7,06	15,3
6,86	8,42	5,97	14,0	5,79	8,81	6,91	15,4
6,24	8,81	6,51	14,0	6,24	8,81	6,91	15,4
6,24	8,81	5,97	14,1	6,24	9,98	6,51	15,4
5,79	9,39	6,91	14,1	5,79	8,81	6,91	15,5
6,86	8,03	6,91	14,1	6,24	9,98	6,37	15,5
6,24	9,39	7,06	14,2	6,24	9,19	5,85	15,5
5,79	8,42	5,56	14,2	6,24	9,98	6,91	15,5
6,24	9,77	7,06	14,2	6,24	8,42	6,91	15,6
5,79	9,39	5,56	14,3	6,41	9,39	5,56	15,6
6,24	9,39	5,97	14,3	6,24	8,81	7,06	15,6
6,24	8,42	6,51	14,3	6,24	9,39	6,91	15,7
6,86	8,42	6,91	14,4	6,24	8,81	5,56	15,7
6,24	8,81	6,91	14,4	6,86	8,42	5,97	15,7
6,86	9,93	6,91	14,4	6,24	10,36	5,45	15,8
6,24	9,19	6,37	14,5	7,49	9,77	5,45	15,8
6,24	9,39	6,51	14,5	6,41	8,81	5,04	15,8
5,79	9,19	5,97	14,5	6,24	8,81	5,85	15,9
9,2	9,98	6,91	14,5	5,65	8,81	5,45	15,9

6,86	9,77	5,97	15,9	7,31	10,36	6,76	17,3
6,24	8,81	6,91	16,0	6,86	9,19	5,85	17,3
6,86	10,36	5,97	16,0	7,49	8,81	7,30	17,3
6,41	8,81	7,06	16,0	6,86	9,77	7,30	17,4
5,79	9,39	7,46	16,0	6,69	9,77	6,76	17,4
6,24	8,81	6,91	16,1	6,69	8,42	6,24	17,4
5,79	9,77	6,37	16,1	7,49	8,81	5,85	17,5
7,49	9,19	5,97	16,1	6,86	8,03	5,85	17,5
5,79	8,42	6,91	16,2	6,69	9,39	5,85	17,5
-	9,39	7,06	16,2	6,24	10,36	6,37	17,6
6,24	8,81	7,46	16,2	6,69	9,19	7,30	17,6
6,69	9,19	6,91	16,3	6,86	8,42	5,97	17,6
7,49	10,36	6,37	16,3	7,49	9,19	7,30	17,6
6,24	8,81	5,04	16,3	7,94	9,98	5,15	17,7
6,24	8,42	5,04	16,4	7,49	-	5,27	17,7
6,24	9,77	6,91	16,4	6,24	9,19	4,73	17,7
5,79	9,77	7,30	16,4	6,41	9,77	5,15	17,8
6,41	9,77	6,91	16,5	7,94	8,03	-	17,8
6,86	8,81	6,91	16,5	6,86	8,81	-	17,8
6,24	9,39	5,56	16,5	7,31	9,77	-	17,9
6,24	9,19	6,91	16,5	7,31	8,81	-	17,9
9,01	8,81	5,97	16,6	6,86	10,36	-	17,9
6,24	9,77	5,97	16,6	7,31	8,81	-	18,0
6,86	9,19	6,51	16,6	6,86	10,36	-	18,0
6,86	9,77	5,56	16,7	8,38	9,56	-	18,0
6,86	8,81	6,91	16,7	7,94	9,77	-	18,1
6,24	9,19	5,97	16,7	7,31	8,81	-	18,1
6,69	9,19	6,37	16,8	7,94	9,77	-	18,1
6,86	9,39	5,97	16,8	7,13	9,77	-	18,1
6,24	9,56	5,97	16,8	6,86	9,77	-	18,2
6,86	8,81	6,91	16,9	7,31	9,77	-	18,2
7,49	8,42	7,30	16,9	7,94	9,77	-	18,2
6,86	8,81	7,30	16,9	7,94	8,81	-	18,3
7,31	9,19	5,85	17,0	7,31	9,56	-	18,3
6,24	9,77	6,76	17,0	6,86	9,19	-	18,3
7,31	9,77	5,85	17,0	7,49	9,77	-	18,4
7,31	9,19	5,85	17,1	7,31	10,36	-	18,4
6,69	8,42	6,24	17,1	8,6	9,77	-	18,4
7,31	8,81	5,85	17,1	7,94	8,81	-	18,5
7,31	8,81	6,76	17,1	7,94	8,81	-	18,5
6,86	9,56	6,24	17,2	7,94	10,36	-	18,5
7,31	8,42	6,37	17,2	7,31	8,81	-	18,6
6,86	9,77	6,76	17,2	7,31	9,77	-	18,6

7,94	9,77	-	18,6	7,13	9,56	-	20,0
6,86	10,36	-	18,6	6,86	9,77	-	20,0
7,94	9,77	-	18,7	8,18	9,77	-	20,0
6,86	10,36	-	18,7	7,13	9,39	-	20,1
7,31	10,36	-	18,7	9,27	9,39	-	20,1
7,31	9,77	-	18,8	7,31	8,81	-	20,1
7,75	9,77	-	18,8	8,18	10,36	-	20,1
6,86	8,81	-	18,8	6,69	9,77	-	20,2
6,86	9,77	-	18,9	6,86	8,81	-	20,2
7,31	9,98	-	18,9	7,31	9,19	-	20,2
7,94	9,77	-	18,9	7,13	9,56	-	20,3
8,81	9,56	-	19,0	7,31	9,39	-	20,3
7,94	8,81	-	19,0	7,31	9,77	-	20,3
7,31	9,56	-	19,0	7,31	9,19	-	20,4
7,49	9,77	-	19,1	7,75	10,14	-	20,4
7,94	10,36	-	19,1	7,75	9,77	-	20,4
7,49	8,81	-	19,1	7,75	9,77	-	20,5
6,1	9,77	-	19,1	7,31	9,77	-	20,5
7,94	9,19	-	19,2	7,75	9,77	-	20,5
7,31	10,36	-	19,2	7,56	9,56	-	20,6
7,94	11,58	-	19,2	6,69	8,81	-	20,6
6,69	9,77	-	19,3	7,31	9,19	-	20,6
7,94	9,77	-	19,3	6,69	9,19	-	20,6
7,31	8,81	-	19,3	7,13	8,81	-	20,7
7,94	9,19	-	19,4	7,31	8,81	-	20,7
7,31	9,19	-	19,4	7,31	8,81	5,15	20,7
7,94	9,98	-	19,4	7,13	8,81	5,85	20,8
7,94	9,56	-	19,5	7,31	10,51	5,45	20,8
7,31	9,77	-	19,5	7,56	9,19	5,56	20,8
6,86	10,14	-	19,5	7,31	9,77	5,04	20,9
7,49	8,81	-	19,6	7,13	9,77	6,51	20,9
7,31	8,81	-	19,6	7,31	9,77	5,04	20,9
7,94	9,77	-	19,6	6,54	9,77	5,56	21,0
7,94	10,14	-	19,6	6,69	10,36	5,97	21,0
7,31	9,77	-	19,7	7,13	8,81	5,04	21,0
7,31	8,81	-	19,7	6,69	9,98	5,04	21,1
7,31	9,77	-	19,7	7,31	8,81	5,97	21,1
5,65	10,36	-	19,8	7,75	9,19	5,15	21,1
7,13	8,81	-	19,8	6,97	10,36	5,56	21,1
7,31	8,81	-	19,8	7,31	9,77	7,06	21,2
7,56	9,56	-	19,9	8,38	9,77	8,03	21,2
7,31	9,77	-	19,9	8,18	9,19	5,56	21,2
7,94	9,19	-	19,9	6,69	9,77	5,56	21,3

8,38	10,36	5,69	21,3
8,81	9,77	5,34	21,3
7,75	9,77	5,85	21,4
7,56	9,77	6,24	21,4
7,31	9,77	6,76	21,4
7,75	9,77	6,37	21,5
7,13	9,77	7,30	21,5
7,75	9,56	6,91	21,5
8,38	9,56	7,46	21,6
7,56	9,77	7,06	21,6
8,38	9,77	7,06	21,6
7,75	9,77	7,06	21,6
7,75	10,36	6,65	21,7
6,69	9,56	7,63	21,7
7,31	9,56	7,63	21,7
7,75	9,77	7,22	21,8
6,69	9,77	7,63	21,8
7,56	9,77	7,22	21,8
7,13	9,56	6,10	21,9
6,97	9,93	7,22	21,9
7,75	9,19	6,24	21,9
8,18	9,77	6,65	22,0
8,18	9,56	6,10	22,0
7,13	10,14	6,10	22,0
7,75	9,19	6,65	22,1
7,94	9,56	7,06	22,1
7,75	9,56	6,51	22,1
8,38	9,93	7,63	22,1
7,31	9,56	6,24	22,2
-	10,36	6,10	22,2
7,75	9,19	-	22,2
8,18	8,81	-	22,3
7,75	8,81	5,85	22,3
6,69	9,77	-	22,3
8,38	9,93	-	22,4
7,75	-	-	22,4
8,18	-	-	22,4
8,38	-	-	22,5
7,75	-	-	22,5
8,38	-	5,62	22,5
-	-	4,94	22,6
-	-	5,34	22,6