

Tema: Iniciação científico-tecnológica

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REFRIGERANTES E TÉRMICAS DOS ÓLEOS VEGETAIS E MINERAL APLICADOS NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO\*

Izabela Silva Bicalho<sup>1</sup>  
Leonardo Roberto da Silva<sup>2</sup>  
Helene Lúcia Oliveira de Moraes<sup>3</sup>  
Claudinei Rezende Calado<sup>4</sup>  
Evanilton José Alves Barbosa<sup>5</sup>  
Cintia Braga<sup>1</sup>  
Felipe Amaral Oliveira<sup>1</sup>

## Resumo

A utilização de fluidos de corte no processo de retificação tem como principais objetivos lubrificar e refrigerar a zona de corte, limpar a superfície do rebolo e minimizar a corrosão. Observa-se que a maioria dos óleos de corte aplicados na zona de retificação apresentam vantagens quanto às propriedades lubrificantes e corrosivas, porém perdem seu poder de refrigeração, quando comparados aos fluidos emulsionáveis. O presente estudo tem como objetivo avaliar o ganho da propriedade refrigerante dos óleos vegetais com e sem aditivos, e compará-la com a dos fluidos de corte integral. Para isso foi realizada análise da curva de resfriamento, termogravimetria (TG), ponto de fulgor e teste de corrosão em amostras com e sem aditivos de óleo vegetais (soja e milho) e de um fluido de corte mineral parafínico. As curvas de resfriamento foram obtidas conforme a ASTM D6200 e as curvas TG foram determinadas em uma termobalança. O ponto de fulgor foi determinado conforme a ASTM D92-25. O teste de corrosão foi realizado conforme a NBR 10505. O ponto de fulgor e a termogravimetria indicaram uma maior estabilidade ao aumento da temperatura dos óleos vegetais em relação ao mineral. Os óleos vegetais analisados apresentaram melhor capacidade de resfriamento quando comparados com o fluido de corte mineral sendo sua ordem apresentada da seguinte maneira: milho > soja > mineral. A amostra aditivada de óleo de soja também promoveu aumento da capacidade de resfriamento e diminuição da estabilidade térmica.

**Palavras-chave:** Propriedades térmicas e refrigerantes; Óleos vegetais; Fluido de corte; Processo de retificação.

## EVALUATION OF REFRIGERANTS AND THERMAL PROPERTIES OF VEGETABLE AND MINERAL OILS USED IN GRINDING PROCESS

### Abstract

The use of cutting fluids in grinding processes has as main objectives to lubricate and cool the cutting zone, to clean the surface of the grinding wheel and to minimize corrosion. It is observed that most of the cutting oil applied in the grinding zone have advantages regarding lubricants and corrosive properties, but lose their cooling power compared to emulsifiable fluids. This study aims to evaluate the gain of the refrigerant property in vegetable oils with and without additives, and to compare them with integral cutting fluids. For this cooling curve analysis, thermogravimetry (TG), flash point and corrosion test on samples with and without additives of vegetable oil (soybean and corn) and a paraffinic mineral cutting fluid were performed. The cooling curves were obtained according to ASTM D6200 and TG curves were determined in a thermobalance. The flash point was determined according to ASTM D92-25. The corrosion test was performed according to NBR 10505. The flash point and thermogravimetry indicated a higher stability to temperature increase of vegetable oils compared to the mineral oil. The vegetable oils analyzed showed better cooling capacity when compared with the mineral cutting fluid, their order being submitted as it follows: corn > soybean > mineral. The additivated sample of soybean oil also promoted increased cooling capacity and decreased thermal stability.

**Keywords:** Thermal and refrigerant properties; Vegetable oils; Cutting fluid; Grinding process.

<sup>1</sup> Engenharia de Materiais, Graduando, Depto. Eng. de Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenharia Mecânica, Doutor, Coordenador do Mestrado em Eng. de Materiais, DEMAT, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia de Materiais, Mestrando, Depto. Eng. de Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Química, Doutor, Professor, Departamento de Química, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Engenharia de Materiais, Mestrando, Depto. Eng. de Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Os fluidos de corte para usinagem são usados em grandes quantidades nas indústrias de processamento metal-mecânica, gerando elevados custos relacionados ao seu consumo e descarte, o que acarreta um grande prejuízo ambiental. A necessidade cada vez maior de uma técnica de produção não agressiva ao meio ambiente, e o rápido crescimento dos custos de disposição dos fluidos de corte têm justificado a demanda por uma alternativa ao processo de usinagem com fluidos [1-5].

Um dos principais elementos causadores da poluição ambiental na indústria de metal-mecânica tem como base os fluidos de corte [5]. Com os avanços tecnológicos as indústrias buscam por produtos e processos sofisticados com elevado grau de tolerância geométrica, dimensional e acabamento superficial, que possuam um baixo custo e não poluam o meio ambiente. A retificação, um dos processos mais importantes no âmbito industrial, é extremamente complexa e envolve parâmetros como o rebolo, a velocidade de corte e avanço, e os tipos de fluidos de corte. A desconsideração desses parâmetros pode levar à alteração da rugosidade da peça retificada, ao maior desgaste do rebolo e até a danos na superfície da peça. Os fluidos de corte utilizados nos processos de retificação tem por objetivos lubrificar e refrigerar a zona de corte, remover os cavacos da região, limpar a superfície do rebolo e minimizar a corrosão da máquina e de seus componentes. No entanto esses fluidos apresentam considerável toxicidade tanto para o trabalhador quanto para o meio ambiente [6,7].

Existe uma demanda crescente no desenvolvimento de fluidos de corte ambientalmente corretos, geralmente baseados em óleos vegetais, que possuem as vantagens de serem uma fonte renovável. Grande parte dos trabalhos consultados mencionam como possíveis candidatos os óleos de soja, milho e de mamona. Há um enorme potencial na utilização de óleos vegetais como fluidos de corte no setor de fabricação [8]. No entanto, poucos estudos referentes ao comportamento reológico dos óleos vegetais têm sido realizados e descritos pela literatura especializada [9,10].

Os óleos vegetais são considerados uma atraente opção, pois, além de serem de fonte renovável, também possuem propriedades como bom contato para lubrificação, alto índice de viscosidade, alto ponto de fulgor e baixa volatilidade [11]. Além desses benefícios citados acima, o Brasil é um dos maiores produtores desses tipos de óleo, especialmente o de soja, o que sustenta e facilita ainda mais sua utilização [12]. Quanto maior é a necessidade de lubrificação, maior é o benefício no uso de fluidos de corte de base vegetal em comparação as demais bases [13].

De modo geral, os óleos vegetais são excelentes substitutos dos fluidos de base mineral, por serem biodegradáveis, menos tóxicos e de fontes renováveis. Devido ao aumento da preocupação ambiental e das inspeções por parte dos órgãos de regulamentação, passa a haver uma maior procura por lubrificantes renováveis e biodegradáveis [14].

O objetivo deste trabalho, portanto, é analisar as propriedades dos óleos vegetais aditivados e não aditivados, comparando suas características refrigerantes com as do óleo integral. Os itens analisados no estudo foram curva de resfriamento, termogravimetria (TG), ponto de fulgor e teste de corrosão em amostras com e sem aditivos de óleos vegetais (soja e milho) e de um fluido de corte mineral parafínico.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O óleo mineral utilizado neste trabalho é o Mecafluid 14SC, da marca Petronas Lubrificantes do Brasil, de base parafínica, contendo aditivos sulfoclorados inativos indicados para operações de corte em geral. Já os óleos vegetais de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) do fabricante Campestre foram utilizados sem nenhum tratamento adicional e com a adição de aditivos. O aditivo de Extrema Pressão utilizado é o Liovac 580, e como agente refrigerante o Liovac PLO, todos fornecidos pela MIRACEMA-NUODEX. Já o antioxidante utilizado é o Naugalube 438-L fornecido pela CHEMTURA.

A matriz experimental constituiu da análise dos óleos 100% (sem mistura) e de uma aditivação do óleo de soja denominado soja 5 com a seguinte formulação: 5% Liovac 580/ 1% Liovac PLO/ 1% Naugalube 438 – L. O procedimento para a obtenção dessa mistura foi realizado utilizando um volume final de 5,0 litros para essa matriz. O sistema foi submetido à agitação mecânica (agitador mecânico modelo TE 139 - Tecnal) a uma velocidade de 700rpm por um período de 10 minutos, à temperatura ambiente (25°C). Em seguida, antes de se iniciarem os testes, a mistura permaneceu em repouso por um período de 30 minutos.

Os ensaios de retificação foram realizados em uma retificadora plana tangencial (Sulmecânica RPH 600), sem deslocamento transversal. Os corpos de prova utilizados foram de aço ABNT 4340 temperado e revenido, com dureza média de 52 HRC e fornecido pela Açocon. Classificado como aço para beneficiamento, ele possui uma boa combinação de resistência e tenacidade, sendo empregado em peças sujeitas a cargas altas e periódicas, em peças aeronáuticas, em eixos virabrequins e na confecção de dispositivos, além de possuir muitas outras aplicações. Realizou-se a usinagem com a avaliação do comportamento dos fluidos. A Figura 1 representa a retificadora utilizada realizando a usinagem da peça para determinação das variáveis analisadas. A composição química do aço em percentual determinada pelo fabricante está apresentada na Tabela 1.



Figura 1. Retificação utilizando fluido vegetal.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 4340 em %

C	Mn	P	Si	S	Cr	Ni	Mo	Al
0,38	0,66	0,03	0,21	0,011	0,74	1,66	0,22	0,021
Cu	Co	V	Ti	Sn	N	H	Fe	
0,052	0,04	0,04	0,003	0,0012	0,72ppm	4,7ppm	Balanço	

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

A temperatura atingida pela peça após o ensaio foi medida com um termômetro de infravermelho do fabricante *Minipa*, modelo MT-390.

## 2.1 Curva de Resfriamento

As curvas de resfriamento foram obtidas mediante o sistema de aquisição de dados, constituído por uma sonda normalizada tipo Wolfson, com um termopar do tipo J (Ni/Cr/NiAl) no seu centro geométrico, para a captação de mudanças de temperatura durante o resfriamento do fluido. A sonda foi feita de aço inox AISI 420, com as dimensões de 12,5mm de diâmetro por 60mm de comprimento, sendo aquecida até 700°C e resfriada imediatamente no fluido analisado. Utilizou-se 2,0L de amostra para cada ensaio. Esse procedimento foi feito tomando por base a norma ASTM D 6200-01 [15] com algumas adaptações. Os dados obtidos foram transferidos para o computador, via placa A/D, mostrando em tempo real a curva de resfriamento. A Figura 2 apresenta a interface do ensaio. Esse ensaio pode mostrar o efeito da oxidação, a presença de aditivos e suas concentrações e a contaminação sobre as características de arrefecimento de óleo de têmpera.



Figura 2. Interface para análise de curva de resfriamento.

A caracterização dos óleos foi feita analisando-se os parâmetros de termogravimetria (TG), ponto de fulgor e corrosão da lâmina de cobre.

## 2.2 Curva TG

As curvas TG foram obtidas em uma Termobalança *Shimadzu* DTG-60H, por meio do método dinâmico, com razões de aquecimento de 10°C/min, com massa aproximadamente de 5mg em cadinho de platina, em atmosfera de ar com fluxo de 50mL/min no intervalo de 25 a 600°C. A análise das curvas TG pode informar a taxa de decomposição de substâncias, que permite avaliar as propriedades de uma substância em função do tempo ou da temperatura. Essa análise é bastante utilizada no estudo da eficácia da aplicação de aditivos em materiais orgânicos, quando se deseja avaliar a estabilidade térmica e oxidativa.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 2.3 Ponto de Fulgor

A análise do ponto de fulgor foi realizada em um aparelho Vaso Aberto Cleveland marca Quimis, conforme Figura 3, onde foi colocado cerca de 0,01L da amostra na cuba. Em seguida, a chama piloto do equipamento foi acendida e controlada para a obtenção de aproximadamente 3mm de comprimento. A amostra foi aquecida via resistência elétrica e a temperatura medida por um termômetro calibrado TE-013, com faixa de leitura de 100 a 360°C, imerso na amostra. A leitura da temperatura do ponto de fulgor foi feita pelo termômetro no momento em que ocorreu o primeiro lampejo de chama.



Figura 3. Medição do ponto de fulgor.

## 2.4 Corrosão

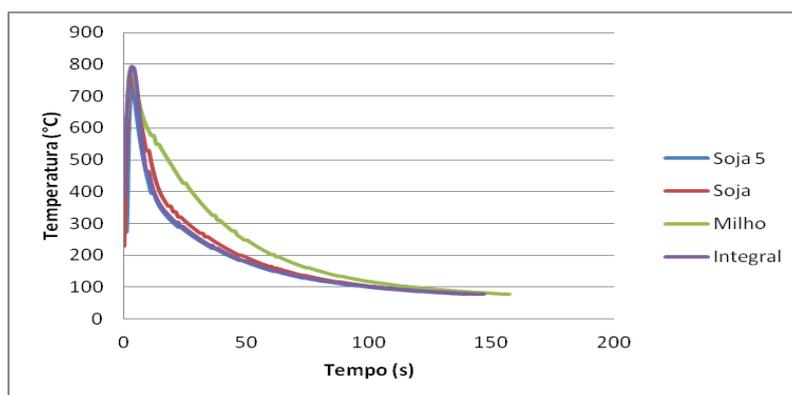
A verificação da corrosividade do óleo por presença de compostos de enxofre foi realizada através da imersão de fitas de cobre em amostras de óleo. As fitas foram polidas com lixa de carborundum com granulometria de 400 e 600mesh e posteriormente limpas com algodão. Em seguida, as fitas foram mergulhadas em frascos contendo 300mL de óleo. Os frascos foram borbulhados com nitrogênio por 1 minuto, fechados e levados para uma estufa a 140°C±2, por 19h, conforme o procedimento descrito na NBR 10505 [16]. A classificação da cor das fitas de cobre se deu de acordo com a escala cromática apresentada na norma mencionada.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Curva de Resfriamento

O método mais indicado na medição da capacidade de resfriamento de meios é a análise da curva de resfriamento. A Figura 4 mostra as curvas de resfriamento dos óleos vegetais e do fluido de corte comercial de base mineral parafínico. Já a Tabela 2 compara alguns dos valores das curvas. Ao observar o gráfico, nota-se que quanto maior é a declividade da curva, maior é a capacidade do fluido de refrigerar o material.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 4.** Curva de resfriamento, relacionando temperatura por tempo para óleos vegetais e fluido de corte comercial mineral.

**Tabela 2.** Comparação entre o tempo de resfriamento dos óleos vegetais e do fluido de corte comercial mineral

Amostras	*Tempo de resfriamento até 500°C	*Tempo de resfriamento até 300°C	*Tempo de resfriamento até 200°C
Mineral	9,7 s	25,0 s	46,3 s
Milho	9,4 s	20,5 s	41,5 s
Soja	8,5 s	23,6 s	44,2 s
Soja 5	7,7 s	20,1 s	42,3 s

Refere-se ao tempo de resfriamento a partir de 700°C.

Observa-se que o fluido de corte mineral apresentou, em todos os seus estágios, menor capacidade de resfriamento. Em relação aos óleos vegetais 100%, observa-se uma similaridade de tempo no primeiro estágio das duas amostras. No segundo estágio, entretanto, nota-se que o óleo de milho apresenta um menor tempo de resfriamento. Já no terceiro estágio, o óleo de milho volta a demonstrar uma melhor capacidade de resfriamento. Segundo Secco et al. [17], a maior taxa de resfriamento entre um corpo de prova e um fluido ocorre aproximadamente a 600°C para todos os fluidos, devido a formação de bolhas provenientes de uma parte do líquido que passou para a fase gasosa em decorrência do contato com a superfície aquecida do corpo de prova – um comportamento característico da primeira fase, ou fase A, conforme descrito por Totten et al. [18].

Os óleos vegetais 100%, por outro lado, apresentaram as menores taxas de resfriamento em todas as fases. Na primeira fase, evidencia-se a menor velocidade de resfriamento no óleo de soja. Na segunda e terceira fases, a menor velocidade de resfriamento obtida foi a do óleo de milho.

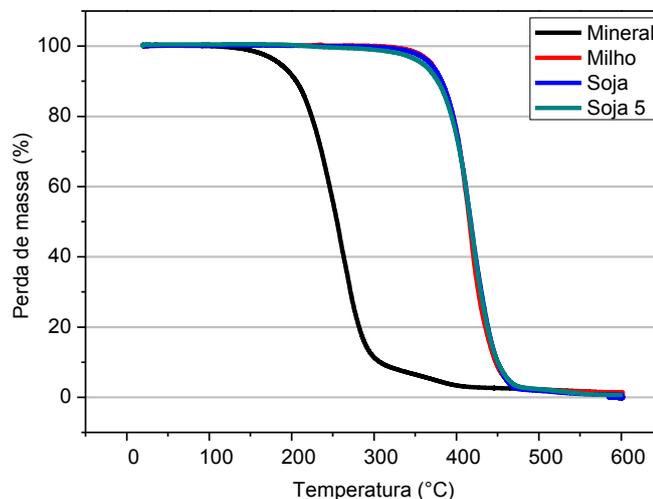
Quando comparado com o óleo mineral, o óleo de soja apresentou a menor taxa de resfriamento em todas as etapas; esse comportamento é igualmente observado nos estudos de Kobasko et al. [19].

Segundo Bashford; Mills apud Souza [20], a função do aditivo é a de aumentar a habilidade do óleo no molhamento da superfície do metal, de modo a eliminar a fase vapor, levando a fase de nucleação de bolhas para temperaturas mais altas. Em relação ao óleo de soja aditivado soja 5, é possível afirmar que a aditivação gerou uma melhora em seu desempenho quanto ao tempo de resfriamento. Em todos os estágios, os aditivos utilizados obtiveram respostas satisfatórias, sendo o tempo necessário para o resfriamento menor do que o tempo necessário para o óleo de soja 100%.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

### 3.2 Curva TG

As análises da TG das amostras de óleos vegetais e do óleo mineral foram realizadas em atmosfera de ar, conforme está representado abaixo, na Figura 5.



**Figura 5.** Curvas TG dos óleos.

Segundo Eychenne et al. apud Matos [21], a decomposição térmica dos óleos vegetais em atmosfera oxidante pode ocorrer em duas ou três etapas e está intimamente relacionada com o grau de insaturação dos óleos. Na primeira etapa são formados radicais alquil que reagem com o oxigênio formando hidroperóxidos e peróxidos. Essa reação está ligada diretamente ao grau de insaturação dos ácidos graxos, pois a reação ocorre no sítio da ligação  $\pi$  das moléculas.

Segundo Matos [21], há uma maior perda de massa na segunda etapa, devido à degradação das cadeias carbônicas. A terceira etapa está relacionada aos resíduos carbonáceos dos óleos e por sua vez, ocorre em temperaturas superiores, próximas de 450°C. Já a decomposição térmica dos óleos minerais parafínicos, de maneira geral, ocorre em única etapa devido à homogeneidade do óleo, e conseqüentemente, menor variação de temperatura na sua decomposição.

Os dados termogravimétricos das curvas de TG para as amostras de óleos vegetais e minerais estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Dados termogravimétricos das amostras de óleos vegetais e mineral

Amostras	Étapas	Intervalos de temperatura (°C)	$\Delta$ Massa (%)
Óleo mineral	1	107,27 - 283,20	85,21
	2	283,20 - 570,00	13,93
Óleo de soja	1	231,97 - 383,30	40,23
	2	383,30 - 457,94	47,86
	3	457,84 - 569,00	10,58
Óleo de Milho	1	221,33 - 378,86	36,36
	2	378,86 - 436,57	35,43
	3	436,57 - 463,58	15,84
	4	463,58 - 505,22	12,31
Óleo de Soja 5	1	226,39 - 386,22	36,94
	2	386,22 - 441,23	38,83
	3	441,23 - 561,66	23,19

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

As etapas de variação de massa foram identificadas com o auxílio da derivada das curvas de TG (DTG). Nos óleos vegetais 100%, observou-se três etapas na degradação térmica, sendo que a etapa 1, determinada entre 200-230°C, está relacionada à formação dos radicais alquil, cujas reações com o oxigênio podem gerar peróxidos e hidróxidos. Na etapa 2, a temperatura inicial foi de aproximadamente 380°C, e a maior perda de massa aconteceu acima de 35% em peso, pela provável degradação das cadeias carbônicas. Segundo Arora et al. [22], essa perda de massa se dá, respectivamente, pela decomposição de ácidos graxos poli-insaturados, mono-insaturados e saturados. Já a etapa 3 ocorreu em temperaturas superiores a 420°C, sugerindo a policondensação e a carbonização dos compostos formados. O óleo de milho apresentou uma etapa 4 com temperatura inicial de 463°C e com uma perda de massa de 12% em peso que, segundo Dantas [23], acontece pela volatilização e/ou decomposição dos triglicerídeos.

Em relação ao óleo mineral parafínico, observa-se duas etapas, sendo a primeira entre 121,9 e 279,7°C, com uma perda de massa de 85% em peso, provavelmente devido à degradação dos materiais voláteis. A etapa 2, determinada entre 279,7 e 362,8°C, apresentou uma perda de massa de 13,93% em peso devido à policondensação e à carbonização dos compostos formados, conforme também verificado por Matos [21]. Adicionalmente, é interessante estatuar que a amostra de óleo mineral apresentou a menor temperatura do início do processo de degradação (107°C) e a maior perda de massa (85% em peso) na etapa 1; já a amostra de óleo de soja apresentou a maior temperatura (231°C) do início do processo de degradação. Esse resultado indica uma maior estabilidade térmica dos óleos vegetais em comparação ao óleo mineral.

Dessa forma, podemos destacar que a quantidade de insaturações nas cadeias carbônicas dos óleos vegetais é um fator determinante para a formação do radical alquil, que reagirá com o oxigênio e aumentará a instabilidade térmica do óleo vegetal.

Observa-se que os aditivos utilizados no óleo soja 5 reduziram a temperatura do início do processo de degradação em relação ao óleo de soja 100%, que passou de 231°C para 226°C, sinalizando que a adição dos aditivos diminui a estabilidade térmica do óleo de soja.

As etapas de variação de massa foram identificadas com o auxílio da derivada das curvas da TG (DTG).

Diante desses resultados, percebe-se que a amostra de soja 5 apresentou a segunda maior temperatura de degradação (226°C), ou seja, a segunda maior estabilidade térmica. Ao compararmos esse valor com o da temperatura de degradação do óleo de soja 100% (231°C), é possível notar que houve uma perda da estabilidade térmica com a adição dos aditivos.

### 3.3 Ponto de Fulgor

A Tabela 4 apresenta as temperaturas do ponto de fulgor das amostras de óleos estudadas.

**Tabela 4.** Ponto de fulgor das amostras de óleos estudadas

Amostra	Soja	Milho	Integral
Temperatura (°C)	330	326	174

*Não foi realizado o ensaio para a amostra de óleo soja 5.*

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

No ensaio do ponto de fulgor, repara-se que as amostras de óleos vegetais apresentaram valores muito superiores em relação ao valor encontrado para o óleo mineral, sendo esse considerado um indicativo muito positivo para a aplicação em processos de retificação, onde a margem de segurança aumenta com o aumento do ponto de fulgor do fluido de corte empregado. Kobasko et al. [19], afirma em seus estudos que existem outros componentes de ácidos graxos insaturados não identificados em baixas concentrações nos óleos vegetais, que podem modificar o valor do ponto de fulgor. De maneira geral, podemos dizer que o óleo de soja, dentre os óleos vegetais, é o que apresenta o maior ponto de fulgor, sendo esse resultado considerado favorável para sua escolha.

### 3.4 Corrosão

As lâminas de cobre do teste de corrosão estão mostradas na Figura 6, e a classificação respectiva de cada uma está mostrada na Tabela 5.



Figura 6. Lâminas de cobre obtidas na análise de corrosão.

Tabela 5. Classificação da corrosão para os óleos estudados

Amostra	Soja	Milho	Mineral	Soja 5
Corrosão da lâmina de Cu	1A	1A	4B	1A

O resultado do teste de corrosão para as fitas de cobre expostas às amostras de soja, milho e soja 5 indica uma variação de alaranjado claro quase igual a da fita recém polida, sendo classificada como levemente manchada (1A). A amostra mineral, por outro lado, indica uma variação de grafite ou negro fosco, sendo classificada como corrosão (4B).

Os óleos vegetais, segundo estudos realizados por Silva et al. [24], não apresentam um comportamento corrosivo detectável. Kobasko et al. [19] afirma em seus estudos que, apesar do óleo de soja apresentar o maior potencial oxidativo quando comparado com o óleo de milho, ele ainda é o mais interessante para ser utilizado como fluido de corte, devido ao seu custo menos elevado e pela sua resposta satisfatória à aditivação.

As amostras de soja 100% e soja 5 foram classificadas em 1A. Percebe-se então que a aditivação não influenciou essa propriedade, pois a amostra aditivada apresentou índice de corrosão semelhante ao do óleo de soja 100%.

## 4 CONCLUSÃO

A análise preliminar dos óleos de soja, milho e soja 5 no processo de retificação apresentou, em geral, resultados melhores do que os do óleo mineral. Os óleos vegetais mostraram-se menos agressivos ao processo e não corrosivos à peça.

A partir dos ensaios de caracterização do óleo mineral e dos óleos vegetais, pode-se observar que o primeiro apresenta baixo ponto de fulgor e elevada corrosividade. Já os óleos vegetais apresentam elevado ponto de fulgor e são menos corrosivos.

Na curva de resfriamento é possível perceber que a utilização dos óleos vegetais apresentou um desempenho satisfatório, uma vez que se observam taxas de

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



resfriamento menores que as do óleo mineral comercial, indicando uma formação de óxidos reduzida, que reafirma o teste de corrosão da lâmina de cobre.

Pela TG nota-se que o óleo mineral apresenta, na etapa 1, a menor temperatura de degradação (107°C). As amostras de óleos vegetais iniciaram sua degradação a partir de 200°C; dessa forma, esses óleos apresentaram uma maior estabilidade térmica. Em resumo, a estabilidade térmica dos óleos vegetais se deu da seguinte forma: soja > soja 5 > milho.

De maneira geral, o óleo de soja apresentou o melhor desempenho no processo de retificação. Ele se destaca pela maior temperatura de degradação (231°C) e maior ponto de fulgor dentre os óleos vegetais.

Para a amostra de óleo de soja aditivada, a adição de “Liovac 580/ Liovac PLO/ Naugalube 438 – L” demonstrou, em comparação ao óleo de soja 100%, uma diminuição do tempo de resfriamento e da temperatura de início de degradação. A corrosão do óleo de soja aditivado foi semelhante a do óleo de soja 100%. Assim, pode-se concluir que ocorreu uma diminuição da estabilidade térmica do óleo aditivado.

Os resultados acima comprovam a viabilidade de uso dos óleos vegetais como uma alternativa ao uso dos óleos minerais, com a possibilidade de melhora das suas propriedades por meio da aplicação de outros aditivos. Finalmente, características como sua menor toxicidade e a sua proveniência de fontes renováveis e biodegradáveis, somam-se às vantagens da utilização dos óleos vegetais no processo de retificação, contribuindo para uma manufatura ecologicamente correta.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa e à FAPEMIG pelo auxílio referente ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, Edital 84/12. Ao CEFET-MG e ao Departamento de Engenharia de Materiais - DEMAT.

## REFERÊNCIAS

- 1 Sahm D, Schneider T. A produção sem refrigerante é interessante e deve ser mais conhecida. Máquinas e Metais, 1996; 367: 38-55.
- 2 Dunlap RE. The evolution of environmental sociology: a brief history and assessment of the American experience. In: Redclift, M. & Woodgate, G.(Eds.) The international Handbook of Environmental Sociology. Cheltenham: Edward Elgar, p.21-39,1997.
- 3 Klocke F, Schulz A, Gerschwiler K, Rehse M. Clean manufacturing technologies - The competitive edge of tomorrow?. The Internacional Journal of Manufacturing Science & Production, 1998; 1 (2): 77-86.
- 4 Machado AR, Diniz AE. Vantagens e desvantagens do uso (ou não) de fluidos de corte. In: Congresso de Usinagem 2000, São Paulo - SP, 2000.
- 5 Silva LR, Bianchi EC, Füsse RY, Catai RE, França TV, Aguiar PR. Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant - MQL in grinding. International Journal of Machines Tools & Manufacture, 2007; 47: 412-418.
- 6 Bianchi EC, Alves MCS, Aguiar PR. Influência da velocidade de avanço do rebolo nos danos de aços endurecidos retificados. Revista Matéria, 2008; 13(4): 636-642.
- 7 Oliveira JD, et al. Aprimoramento das condições de lubri-refrigeração na retificação de aços endurecidos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia De Fabricação, 6., Caxias do Sul, 2011. Anais... Caxias do Sul: ABCM, 2011. p. 1-13.
- 8 Singh AK, et al. Metal working fluids from vegetable fluids. Journal Synth Lubr, 2006: 123-76.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

- 9 Santos JCO, Santos IMG, Souza AG. Effect of heating and cooling on rheological parameters of edible vegetable oils. *Journal of Food Engineering*, 2005, 67(4): 401-405.
- 10 Encinar JM. et al. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Trans esterification of *Cynara cardunculus* L. Oils with Ethanol. *Energy & Fuels*, 2002; 16(2): 443-450.
- 11 Baltanás MA, Campanella A, Rustoy E, Baldessari A. Lubrificants from chemically modified vegetable oils *Bioresource Technology*, 101:245 - 254, 2010.
- 12 Fofana I, Hemmatjou H. Farzaneh M. Low temperature and moisture effects on polarization and depolarization currents of oil paper insulation. *Electric Power Systems Research*, 2010; 80:91-97.
- 13 Gonçalves JFS. Proposição de método de desenvolvimento de fluido de corte de base vegetal Tese (Doutorado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos 1-223, 2013.
- 14 Lawal SA, Choudhury IA, Nukman Y. Application of vegetable oil-basead metalworking fluids in machining ferrous metal- a review. *Internacional Journal of machine Tools & Manufacture*, 2012; 52: 1-12.
- 15 ASTM D 6200-01. Standard test method for determination of cooling characteristics of quench oils by cooling curve analysis. *2007 Annual Book of ASTM Standards*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 2007.
- 16 Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10505: Óleo mineral isolante - Determinação de enxofre corrosivo, 2012.
- 17 Secco DC, Matsumoto H, Rodrigues AR, Oliver AC, Barrios ANS. Análise lubrificante de fluidos de corte In: *7th Brazilian Congress on Manufacturing Engineering Anais...* 2013 – Penedo, Itatiaia – RJ – Brasil, 2013.
- 18 Totten GE, Bates CE, Clinton NA. *Handbook of quenching and quenching technology*, ASM International, 1993.
- 19 Kobasko NI, et al. Vegetable oil quenchants: calculation and comparison of the cooling properties of a series of vegetable oils. *Journal of Mechanical Engineering*, 2010; 56: 131-142, 2010.
- 20 Souza JF, Gomes JO. *Manual de análises microbiológicas de fluidos de corte solúveis*. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2008.
- 21 Matos PRR. *Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes*. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Química. Universidade de Brasília.
- 22 Arora S, Bagoria R, Kumar M. Thermal decomposition behavior of edible oils in different atmospheres. *Scholars Research Library*, 2012; 4(6): 2382 – 2390.
- 23 Dantas MB. *Obtenção, caracterização e estudo termoanalítico de biodiesel de milho Zea mays L.* 2006. 133f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Química. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Paraíba. 2006.
- 24 Silva CR, et al., *Caracterização físico-química e dielétrica de óleos biodegradáveis para transformadores elétricos*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2012; 16(2): 229-234.

---

\* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*