

## **USO DE FLUIDOS DIELÉTRICOS À BASE DE ÓLEOS VEGETAIS NA USINAGEM POR DESCARGAS ELÉTRICAS**

**Jorge Francisco Costa Brasil** – costabrasil@mec.ufu.br

**Luciano José Arantes** – ljarantes@mecanica.ufu.br

**Alberto Arnaldo Raslan** – ltm-raslan@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Laboratório de Tribologia e Materiais – Avenida João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica – Bloco 1R – Uberlândia – MG – 38400-902.

***Resumo.** Os fluidos dielétricos utilizados nos processos de usinagem por descargas elétricas (EDM) por penetração são, em geral, à base de hidrocarbonetos aromáticos derivados do petróleo, altamente tóxicos e perigosos, tanto à saúde dos operadores de EDM quanto por questões ecológicas, pois os mesmos não devem ser descartados de forma indiscriminada na natureza. Como alternativa viável, este trabalho apresenta um estudo comparativo entre um hidrocarboneto comercial de alta performance, querosene e um fluido dielétrico à base de óleo vegetal, o LTM 07. O querosene ainda é, de forma indevida, muito utilizado na indústria brasileira. O LTM 07 apresentou vantagens sobre os fluidos hidrocarbonetados como, por exemplo: baixo custo; renovável; maior segurança ao operador; qualidade superior da peça usinada. Como desvantagem, a TRM (Taxa de Remoção de Material) utilizando óleo vegetal foi cerca de 15% menor que as TRMs apresentadas pelos fluidos convencionais. Os resultados são altamente positivos e estratégicos para um país como o Brasil, grande produtor de oleaginosos.*

***Palavras-chave:** usinagem, EDM, fluidos dielétricos, óleos vegetais.*

## 1. INTRODUÇÃO

A usinagem por descargas elétricas, ou eletroerosão, ou ainda EDM, como é conhecida internacionalmente, é um dos mais populares processos não tradicionais de usinagem, um dos primeiros a surgir. EDM é um processo que permite a usinagem de furos, ranhuras e superfícies, com formas das mais complexas ou dimensões diminutas e materiais de elevada dureza, que seriam dificilmente usinados por processos convencionais, desde que condutores elétricos, Bhattacharyya<sup>4</sup>.

Segundo Guitral<sup>6</sup>, aplicando-se uma diferença de potencial (em corrente contínua) entre duas placas condutoras de eletricidade, chamadas de eletrodo e peça, separadas por uma pequena distância (de 0,012mm a 0,050mm), denominada “gap”, ocorrem descargas elétricas entre elas. Na verdade, neste espaço entre a peça e o eletrodo, circula o fluido dielétrico que se torna eletrolítico na forma gasosa. No instante da descarga elétrica, o eletrodo e a peça não estão em contato devido ao meio dielétrico que os envolve. Ao iniciar o ciclo de erosão, a potência despendida por unidade de área pode chegar até 1000 W/m<sup>2</sup> na pequena região de descarga elétrica. A temperatura, nesta mesma região, pode atingir até 15.000°C. Assim o fluido dielétrico evapora, tornando-se eletrolítico e, no meio gasoso, a pressão poderá alcançar as marcas de até 200 atm, Mcgeough<sup>10</sup>.

Como alternativa viável, este trabalho apresenta um estudo comparativo entre um hidrocarboneto comercial de alta performance, querosene, que são tóxicos e difíceis de descartar sem causar danos à natureza, e um fluido dielétrico à base de óleo vegetal, batizado de LTM 07.

## 2. METODOLOGIA

Neste trabalho, foram usinadas barras de aço ABNT 1045, que geralmente é usinado pelo processo EDM.

Os ensaios de usinagem por descargas elétricas foram realizados em uma máquina da marca ENGEMAC, modelo EDM 440 NC. Para comparação de resultados, foram pré-determinados dois regimes de usinagem: acabamento e desbaste. Os valores dos parâmetros de usinagem foram selecionados do manual do equipamento e estão apresentados na tabela 01.

Tabela 01. Parâmetros do equipamento para realização dos ensaios

Dados / Regime	
Tempo de Pulso (T <sub>ON</sub> )	300 [μs]
Porcentagem de Pulso (DT)	90 [%]
Corrente	~5 [A]
Tensão	~15 [V]

Os ensaios foram realizados sem a reciclagem do fluido dielétrico na interface ferramenta-amostra. Um dispositivo anexado a máquina, constituído numa cuba de volume de 8 litros, que foi especificamente desenvolvido para a realização das usinagens.

Esse dispositivo tem a finalidade de evitar que os 420 litros de fluido dieletrico do reservatório do equipamento EDM fossem contaminados com resíduos de diferentes fluidos dielétricos, provocando alto custo nos ensaios de usinagem.

Para a realização dos ensaios foi confeccionada uma ferramenta de cobre com secção transversal circular e vazada com diâmetro de 10mm e com uma espessura de parede de 1,5 mm.

O aço ABNT 1045 é um aço de grande versatilidade, com uma excelente combinação de tenacidade e de resistência a abrasão. As amostras tinham uma geometria retangular com as dimensões de 50 mm de comprimento por 10 mm de largura e foram obtidas através de corte com disco abrasivo.

Empregou-se metalografia para a análise das modificações microestruturais da secção transversal na região da usinagem. As amostras foram embutidas, lixadas e polidas, atacadas com reativo Nital.

As modificações nas propriedades mecânicas foram avaliadas em ensaios de microdureza em um microdurômetro da marca Shimadzu, aplicando-se uma carga de 50 g sobre as superfícies usinadas. As trincas geradas no processo foram analisadas em banco metalográfico Neophot 21.

Os valores de rugosidade geométrica foram obtidos por meio de interferometria laser e, as morfologias, por microscopia eletrônica de varredura.

### 3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1. Taxa de Remoção de Material

A Tabela 2 apresenta os resultados para Taxa de Remoção de Material (TRM) para os fluidos dielétricos ensaiados.

Tabela 2. Taxa de Remoção de Material utilizando-se os fluidos derivados do petróleo (Hidrocarbonetado A e Querosene) e o fluido vegetal (LTM 07)

TRM [mm <sup>3</sup> /min]	Hidrocarbonetado A	Querosene	LTM 07
Média	17,9	16,4	14,9
Desvio Padrão	2,1	1,9	2,9

O fluido hidrocarbonetado apresentou melhor TRM, em comparação ao querosene e ao óleo vegetal LTM 07. Porém, essa diferença não ultrapassou 15%, resultado que não descarta a utilização industrial dos fluidos de origem vegetal, pois há no mercado brasileiro, fluidos hidrocarbonetados específicos para EDM que apresentaram, em estudos anteriores, TRMs de até 25% menores em relação ao mesmo fluido de teste neste trabalho (Arantes, 2001). Esse resultado vem mostrar que as principais propriedades físico-químicas dos fluidos vegetais devem ser similares às dos fluidos de melhor qualidade para EDM, isso em se tratando da capacidade de remoção de material, ou seja, potência e estabilidade das descargas elétricas.

#### 3.2. Microdureza

Os valores de microdureza para os fluidos ensaiados nesse trabalho apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3. Microdureza obtida nas amostras com os fluidos ensaiados

Microdureza [Hv]	Matriz	Hidrocarbonetado A	Querosene	LTM 07
Média	154	442	425	426
Desvio Padrão	6,32	71,5	77,1	71,1
Variância	4,11	16,2	18,0	16,7

A superfície usinada pelos fluidos ensaiados apresentaram pequenas diferenças em microdureza entre si, porém, cerca de 3 vezes maiores que os valores apresentados para microdureza da matriz (Tabela 3). Durante o processo de redeposição de material fundido, ocorre rápido resfriamento da camada branca, o que se equivale a um tratamento térmico de endurecimento superficial. As diferenças físico-químicas dos fluidos não são aparentemente suficientes para causar uma grande diferença de microdureza na camada branca, o que é um aspecto positivo para o óleo vegetal LTM 07, que não deixa a desejar em relação ao querosene nem ao melhor óleo do mercado brasileiro (Arantes, 2001).

### 3.3. Espessura da Camada Branca

Tabela 4. Espessura média de camada refundida das amostras usinadas

Espess. C. R. [ $\mu\text{m}$ ]	Hidocarbonetado A	Querosene	LTM 07
Média	7,7	24,9	24,8
Desvio Padrão	2,3	19,1	11,3

Uma das grandes vantagens apresentadas pelo fluido hidocarbonetado A foi a espessura de camada refundida (Tabela 4). De alguma forma, esse fluido proporciona uma baixa redeposição de material, devido ao menor tempo de deionização desse fluido específico. Esse tempo de deionização é o tempo necessário para que os íons positivos e negativos do fluido se reorganizem depois de uma descarga elétrica, proporcionando descargas elétricas mais frequentes e estáveis. Os demais fluidos, querosene e LTM 07 apresentaram valores praticamente idênticos, cerca de 3 vezes maiores em média quando comparados com os resultados do fluido hidocarbonetado A. Esse fato se deve provavelmente ao maior tempo de deionização desses fluidos, o que permite deposição de maior volume de material como camada refundida após uma descarga elétrica. Esse fator pode ser também um dos motivos das menores TRMs apresentadas por esse dois fluidos em relação ao primeiro. A Figura 1 apresenta as topografias das superfícies usinadas, mais precisamente, as topografias das camadas refundidas ou camadas brancas. Pode-se observar que, além da pequena espessura da camada refundida obtida com o óleo A, sua morfologia é a de melhor aspecto, comparando com os demais óleos testados. Agora, comparando-se o Querosene com o óleo vegetal LTM 07, pode-se observar que quase não há formação de bolas na superfície usinada por este óleo, o que não acontece com o Querosene, com grande número de bolhas provocadas pela excessiva evaporação do fluido durante o processo de usinagem. A Figura 2 apresenta fotografias das camadas refundidas das peças usinadas por EDM, onde evidencia-se a morfologia da camada branca, espessura e posicionamento de trincas.

### 3.4. Espessura da Zona Afetada pelo Calor (ZAC)

Os valores na Tabela 5 representam a espessura média da Zona Afetada pelo Calor nas peças usinadas pelos diferentes tipos de fluidos dielétricos.

Tabela 5. Espessura média da ZAC (Zona Afetada pelo Calor) nas amostras usinadas

Espess. ZAC [ $\mu\text{m}$ ]	Hidocarbonetado A	Querosene	LTM 07
Média	27,6	20,3	29,4
Desvio Padrão	5,9	6,1	10,0

A espessura da ZAC das peças usinadas pelos óleos A e LTM 07 não apresentaram diferenças significativas. Entretanto, já o Querosene, apresentou uma espessura 28% menor

que a média das espessuras apresentadas pelos demais óleos. Provavelmente a elevada geração de bolhas nas peças usinadas por Querosene proporciona uma melhor refrigeração da superfície transiente usinada e menor o ataque térmico. Poderia ser uma das poucas vantagens do querosene, se não fosse as imensas desvantagens já apresentadas nesse trabalho e em trabalhos passados, tanto em questões técnicas de usinagem quanto na toxicidade e periculosidade do uso deste fluido dielétrico.

### 3.5. Comprimento e Contagem de Trincas

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos para comprimento de trincas e densidade de trincas nas superfícies usinadas por EDM com os diversos fluidos dielétricos testados.

Tabela 6. Comprimento médio de trincas e Densidade de trincas das amostras usinadas

Compri. Trincas [ $\mu\text{m}$ ]	Hidrocarbonetado A	Querosene	LTM 07
Média	9,2	21,2	28,9
Desvio Padrão	1,0	13,0	11,5
Dens. Trincas (trincas/mm)	112	144	167

Os fluidos Querosene e o óleo vegetal LTM 07 apresentaram resultados semelhantes para comprimento de trincas, com pequena vantagem para o Querosene. Já o fluido dielétrico hidrocarbonetado A, observou-se que o comprimento de trincas foi, em média, 2,5 vezes menor que a média do comprimento de trincas dos demais fluidos. Esse resultado foi semelhante ao apresentado para espessura de camada refundida. De certa forma, o resfriamento da camada refundida com o óleo A não é tão severo, impedindo que o comprimento de trincas seja tão elevado, afetando também na densidade de trincas, ou número de trincas por comprimento, pois o óleo A apresentou melhor desempenho em comparação dos demais óleos testados.

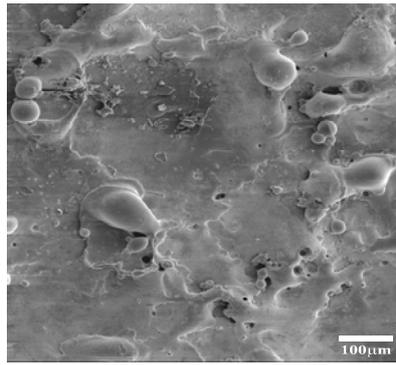
### 3.6. Rugosidade

Os parâmetros de rugosidade ( $R_a$  e  $R_q$ ) foram colhidos e mostrados na Tabela 7 para as peças usinadas com os óleos A, Querosene e LTM 07.

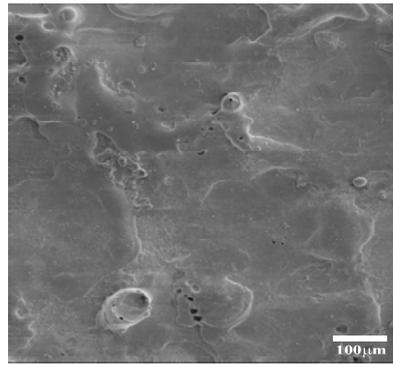
Tabela 7. Parâmetros de rugosidade  $R_a$  e  $R_q$  para as superfícies usinadas

PARÂMETROS DE RUGOSIDADE		
Rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$	$R_q$
Hidrocarbonetado A	$6,0 \pm 0,32$	$8,6 \pm 0,67$
Querosene	$7,0 \pm 0,65$	$11,3 \pm 0,65$
LTM 07	$6,6 \pm 1,02$	$9,7 \pm 1,65$

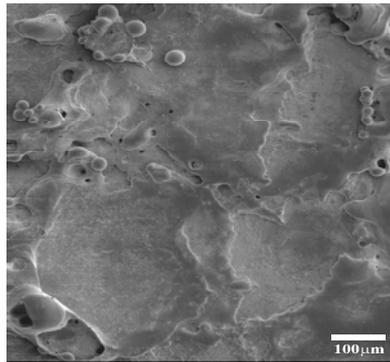
Quanto aos valores de rugosidade, não houve sensível diferença entre os óleos testados, tanto em termos de  $R_a$ , quanto em termos de  $R_q$ . Entretanto, a morfologia das superfícies usinadas mostraram grande diferença, como pode ser observado na Figura 1. O Querosene apresentou pior aspecto de morfologia de superfície, com grande número de bolhas e número de trincas. O LTM 07 mostrou uma superfície mais homogênea, com menor número de trincas e de bolhas, aspecto esse que se aproximou da superfície obtida pelo melhor óleo, o hidrocarbonetado A.



Querosene

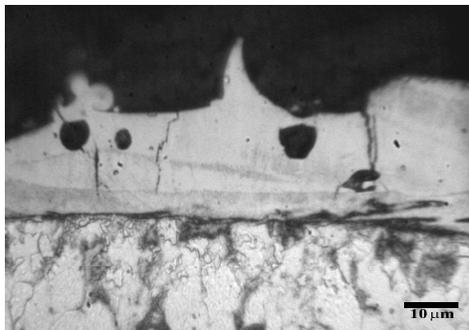


Hidrocarbonetado A

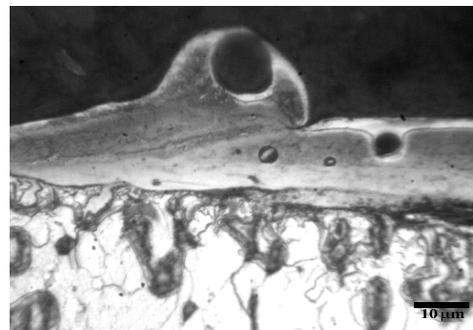


LTM 07

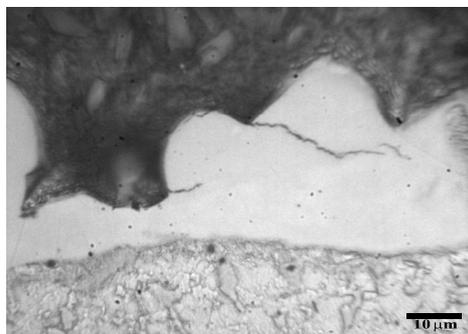
Figura 1. Topografias obtidas por MEV (aumento de 100x) das superfícies usinadas por EDM com fluidos dielétricos Querosene, Hidrocarbonetado A e óleo vegetal LTM 07



Querosene



Hidrocarbonetado A



LTM 07

Figura 2. Fotografias obtidas pelo microscópio ótico das camadas refundidas das superfícies usinadas por EDM com fluidos testados

## 4. CONCLUSÕES

Atentando-se estritamente para o aspecto tecnológico de desempenho dos fluidos dielétricos para EDM nas condições testadas, pode-se concluir que:

Os Fluidos Dielétricos de alta qualidade, no caso o Hidrocarbonetado A, testado neste trabalho, foi sem dúvida o que apresentou melhor desempenho em praticamente todos os aspectos técnicos analisados. Entretanto, sua elevada toxicidade e alto custo são pontos negativos desse fluido.

O Fluido Vegetal LTM 07 apresentou bom desempenho em termos de TRM, morfologia de superfície, microdureza e rugosidade, comparando-se com os demais fluidos. Entretanto, deixou a desejar quanto aos aspectos de espessura de camada refundida e comprimento de trincas, não muito diferente do Querosene.

O Querosene deixou a desejar em todos os aspectos analisados, mostrando que, esses resultados, aliados à elevada toxicidade e perigo no manuseio, devem reforçar a tese de que, como nos Estados Unidos, esse fluido deve ser proibido para operações de Usinagem Por Descargas Elétricas.

Uma das grandes vantagens dos fluidos vegetais está na não toxicidade do produto, juntamente com desempenho técnico compatível e em alguns aspectos superior ao Querosene, além do baixo custo, cerca de 3 vezes menor em comparação a um fluido dielétrico de alta qualidade específico para EDM.

Os resultados obtidos com os fluidos vegetais são altamente positivos e estratégicos para um país como o Brasil, grande produtor de oleaginosos, e representa uma alternativa técnica e economicamente viável para substituição parcial o total dos fluidos dielétricos derivados do petróleo.

## 5. REFERÊNCIAS

1. ARANTES, L. J., 2001; **“Performance Evaluation of Dielectric Fluids for Electrical Discharge Machining Process”**, Master’s Dissertation, Federal University of Uberlandia, MG-BR / MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), MA, USA.
2. ALLISON, Sam; 2000, **The Case For Additive Technology In EDM**, ONLINE ARTICLE From the Editorial Staff of Modern Machine Shop. Internet address: [www.mmsonline.com/articles](http://www.mmsonline.com/articles)
3. BENEDICT, G. F., 1987; **Nontraditional Manufacturing Processes**, New York, Marcel Dekker, pp.207-246.
4. BHATTACHARYYA, A.,1973; **New Technology**, Hooghly Printing Company, Calcutá, pp. 144- 177.
5. FULLER, J. E., 1989, **Electrical Discharge Machining**, *Metals Handbook*, 9ª Ed. Vol. 16, machining, pp. 557-564.
6. GUITRAL, E. Bud, 1997, **The EDM Handbook**, Hanser Gardner Publication, Cincinnati, 306 pp.
7. INTECH EDM, 1996, **A Guide to Understanding and Selecting EDM Dielectric Fluids**, Broadview, IL.

8. KÖNIG & DAUW, D. F., 1998, Estudo de um Sistema por Penetração em meio Aquoso, São Paulo, **Revista Máquinas & Metais**, Aranda Editora – Ano XXXIV, Dezembro, n.º 395, pp. 20-27.
9. KURAFUJI, H. & SUDA, K., 1965, Study on Electrical Discharge Machining, **Journal of the Faculty of Engineering**, University of Tokyo, Vol. XXVIII, No 1, pg., 1-18.
10. MCGEOUGH, J. A.; 1988, **Advanced Methods of Machining**, London, Chapman and Hall, pp.128-152.
11. RODRIGUES, J.R.P., 1999, **Efeito da Adição de Carboneto de Silício em Pó na Geração de Microtrincas e na Topografia da Superfície Usinada por Descargas Elétricas do Aço Rápido ABNT M2**, Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia-MG, 47 pgs.

## **VEGETAL OILS USED AS DIELECTRIC FLUIDS ON ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESS**

**Jorge Francisco Costa Brasil** – costabrasil@mec.ufu.br  
**Luciano José Arantes** – ljarantes@mecanica.ufu.br  
**Alberto Arnaldo Raslan** – ltm-raslan@ufu.br

Federal University of Uberlândia - Faculty of Mechanical Engineering - Laboratory of Materials and Tribology - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia - MG - 38400-902

**Abstract.** *The dielectric fluids used on the sinking electrical discharge machining (EDM) are, in general, based on aromatics hydrocarbon from petroleum, which are very dangerous and toxic, as much to the health of the operators' health of EDM such for ecological questions, therefore the same ones might not have to be discarded in the nature. As viable alternative, this work presents a comparative study enters commercial hydrocarbon oil of high performance, kerosene and vegetal oil base dielectric fluid called LTM 07. The kerosene still is, of improper form, much used in the Brazilian industry. LTM 07 presented advantages on hydrocarbon fluids as, for example: low cost; renewable; bigger security to the operator; superior quality of the machined part. As disadvantage, the MRR (Metal Removal Rate) using vegetal oil was about 15% minor compared to the MRRs presented by conventional fluids. The results are highly positive and strategically important for a country as Brazil, great producer of vegetal oils.*

**Keywords:** *EDM, dielectric fluids, machining, vegetal oils.*