

EFEITO DA ADIÇÃO DE GRAFENO EM FLUIDO DIELÉTRICO UTILIZANDO EDM EM AÇO RÁPIDO ABNT M2

Tiago Napolitano

Luciano Antônio Fernandes

Rogério Valentim Gelamo

Raphael Silva Lins

Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM / Av. Randolfo Borges Junior, 1400.

tiagonapolitano@gmail.com

luciano.fernandes@uftm.edu.br

rogerio.gelamo@uftm.edu.br

raphael.lins@uftm.edu.br

Resumo. Este trabalho apresenta resultados relacionados ao uso de nanofluidos compostos da adição de nanopartículas de grafeno ao fluido dielétrico empregado no processo de usinagem não tradicional por descargas elétricas por penetração em regime de desbaste. Mesmo sendo o primeiro processo não tradicional que se popularizou na indústria, referido apenas por processo EDM (Electrical Discharge Machining), este até o presente tem sido objeto de estudo na questão de otimizar de parâmetros experimentais em termos da integridade superficial aliado com taxa de remoção de material. O material usinado neste trabalho foi o aço rápido ABNT M2 e a proposta foi à análise da taxa de remoção de material, relação de desgaste e a qualidade superficial do processo relacionando tais resultados ao uso de fluido dielétrico com e sem adição de nanopartículas de grafeno. Utilizando-se da adição de nanopartículas de grafeno à concentração de 120mg/l observou-se um aumento nas taxas de remoção de material e de relação de desgaste sem qualquer alteração da qualidade superficial uma vez que não houve mudança na rugosidade superficial R_a e R_z indicando novas possibilidades de uso desse nanofluido na área de usinagem.

Palavras chave: Usinagem não tradicional, Grafeno, EDM por penetração, Aço rápido ABNT M2, Fluido dielétrico.

1. INTRODUÇÃO

Na década de 40 os processos de Usinagem Não-Traducional (UNT) ganharam força devido a sua capacidade de usinar peças de dureza acima de 55 HRC e com alto grau de complexidade geométrica. Apesar disso, estes processos garantem tolerâncias estreitas e acabamento satisfatório, Benedict (1987).

Segundo Kobayashi (1995), o processo de EDM, que frequentemente é chamado de processo de usinagem por eletroerosão dentro da indústria metalmeccânica, é o que se popularizou primeiramente dentre todos os outros processos não tradicionais, além disso, foi o grande responsável pelo crescimento econômico japonês até a década de 90 no setor automobilístico. Apesar da popularização do processo e das inúmeras aplicações, Kobayashi (1995) alerta para a baixa taxa de remoção de material, quando comparado com os processos tradicionais, além disso, o processo de EDM é limitado quanto ao quesito acabamento superficial e afeta metalurgicamente as camadas superficiais e sub-superficiais das peças usinadas. Alguns autores como Gilmore (1991) e Rhoades (1990) recomendavam que as superfícies usinadas por EDM, deveriam ser acabadas por outros processos, dentre eles ultrassom ou eletroquímico, com a finalidade de eliminar a camada refundida.

A adição de pós ao fluido dielétrico foi sinalizada como uma tecnologia altamente promissora para a geração de superfícies com um ótimo acabamento. Outra vantagem, descrita também por Narumiya et al. (1989), é em relação ao aumento da estabilidade do processo, que se deve pela maior dispersão das descargas e o aumento da interface ferramenta-peça. Já Jeswani (1980) conseguiu um aumento na taxa de remoção de material e uma diminuição no desgaste da ferramenta ao adicionar pó de grafite ao fluido dielétrico, que neste caso foi querosene.

Apesar do surgimento de diferentes métodos e tecnologias promissoras, que surgiram ao longo de 65 anos da primeira aplicação industrial do processo de EDM, Malhorta et al. (2008) apontam que as dificuldades ainda existem, principalmente no que tange ao desgaste do eletrodo, aumento da taxa de remoção de material e qualidade superficial.

O presente trabalho se restringe ao regime de desbaste, diferentemente dos trabalhos citados anteriormente, que em sua maioria estudaram os efeitos da adição de pós ao dielétrico em regime de acabamento. Nanopartículas de multicamadas de grafeno foram utilizadas para estudar os efeitos de sua presença no fluido dielétrico sobre a relação de desgaste (RD), a taxa de remoção de material (TRM) e alguns parâmetros de textura superficial. O material escolhido para ser usinado é o aço rápido ABNT M2, que possibilita realizar a comparação de alguns parâmetros entre o presente trabalho e o de Fernandes (1999).

2. METODOLOGIA

O trabalho experimental consiste na usinagem de aço rápido ABNT M2 por eletroerosão, em duas situações diferentes: a primeira somente com fluido dielétrico e a segunda com multicamadas de grafeno adicionadas ao dielétrico. O objetivo é entender como a adição desse material influencia na TRM, RD e alguns parâmetros de qualidade superficial (Ra, Rz e Rt) do processo.

Realizou-se pré-testes para analisar e definir o ferramental a ser empregado e como o fluido dielétrico se comportaria nas condições empregadas, já que o volume da cuba foi reduzido drasticamente, para que não houvesse a contaminação de todo o reservatório de fluido dielétrico da máquina. Além disso, investigou-se a necessidade de um agitador, para que o pó conseguisse permanecer na interface ferramenta peça e o processo fosse considerado válido. Feitos os pré-testes, procedeu-se para a preparação das ferramentas, em cobre eletrolítico, usinadas no torno mecânico. Os corpos de prova, de aço rápido ABNT M2, popularmente conhecidos como “bits”, foram cortados também pelo processo de EDM, para facilitar a pesagem das amostras em balança de precisão com carga máxima de 360g.

Já nos ensaios finais, realizou-se 9 testes com o fluido sem grafeno e 6 testes com 120mg/l de grafeno misturados ao fluido dielétrico, dos quais foram coletados valores para análise dos parâmetros de RD, TRM e qualidade superficial, como comentado anteriormente. Deve-se lembrar de que a cada 3 testes, trocou-se o fluido da cuba. A profundidade usinada foi fixada em um milímetro e as repetições foram realizadas para análises estatísticas de como os parâmetros de qualidade superficial variam.

2.1. Equipamento de eletroerosão

Tanto os testes preliminares quanto os definitivos foram realizados em um equipamento EDM por penetração, S430 CNC, fabricado por CLEVER do departamento de Engenharia Mecânica da UFTM. O sistema de lavagem interno a ferramenta foi desconectado e utilizado como um sistema de arrefecimento, como será discutido posteriormente.

2.2. Peça a ser usinada

O material da peça a ser usinada nos testes foi o aço rápido ABNT M2. Este tipo de material é fabricado pela norma DIN 4964, temperado e revenido com dureza de 65 HRC. Os “bits” adquiridos são de seção quadrada de 10 x 10 mm e com comprimento de 100 mm e foram cortados em 4 partes iguais pelo processo de EDM adaptado, para fabricação dos corpos de prova. A composição do material é dada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do aço-rápido ABNT M2 em %. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Carbono	Tungstênio	Vanádio	Molibidênio	Ferro	Cromo
0,85	6,45	1,90	5,00	81,55	4,25

Este tipo de aço foi escolhido, pois apresenta características físicas e estruturais muito bem definidas e um alto grau de confiabilidade, utilizado também no experimento de Fernandes (1999). A peça é usinada de topo por uma ferramenta com face plana rebaixando uma de suas 4 laterais em 1mm. O resultado da usinagem favorece a realização posterior das análises de rugosidade.

2.3. Ferramental empregado

Benedict (1987) define como ferramental todo o conjunto desde a geometria da ferramenta a ser utilizado, o sistema de fixação da mesma até o sistema de lavagem. O material utilizado no presente trabalho foi o cobre eletrolítico, devido aos altos valores de relação de desgaste que o mesmo apresenta. Mohri et al. (1993) atribuem estes valores à alta condutividade térmica deste tipo de cobre. A forma e dimensão principal da ferramenta são apresentadas na Figura 3a. Outras propriedades deste metal podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades do cobre eletrolítico a 20 °C. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Densidade (kg/m ³)	Ponto de fusão (K)	Condutividade elétrica (%)	Condutividade térmica (W/mK)	Módulo de elasticidade (MPa)
8890	1356	97,00	16,56	115000

Todo o sistema de fixação e uma cuba foram projetados exclusivamente para este trabalho. A cuba foi reduzida drasticamente em volume para garantir o uso racional das nanopartículas de grafeno, além de não ocorrer à contaminação de todo o reservatório de dielétrico. Portanto, utilizou-se uma cuba com capacidade para 1,8 l e o sistema

de fixação foi acoplado a esta nova cuba, garantindo perpendicularismo entre a ferramenta e a base de apoio do material a ser usinado, como se pode observar na Figura 3 b.

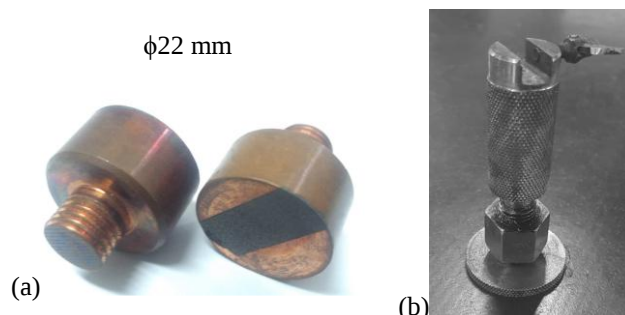


Figura 3 – Ferramental empregado a) eletrodo-ferramenta e b) Sistema de fixação dos corpos de prova.
Fonte: Do Autor, 2018.

Após os testes preliminares percebeu-se que havia a necessidade de um sistema de arrefecimento, uma vez que havia restrição volumétrica da cuba, pois o mesmo aproximava da temperatura do ponto de fulgor do dielétrico. Este sistema foi implementado utilizando o próprio sistema de lavagem do equipamento de EDM, onde se adaptou um trocador de calor para retirada calor do fluido dielétrico.

3. TESTES DEFINITIVOS

Feita separação do “bits” em corpos de prova, procede-se para a fase referenciada como testes definitivos. Nesta fase, utilizou-se o mesmo fluido dielétrico das fases de pré-testes, com suas características presentes na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades do fluido dielétrico ELETRON. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Aspecto	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de fulgor (°C)	Densidade a 20°C	Viscosidade cinemática (cSt)	Rigidez dielétrica (kV)
Líquido transparente	250	100 – mínimo	0,8	1,5 – 4,5	20

Em resumo, os parâmetros de usinagem utilizados, em regime de desbaste, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de usinagem empregados nos testes definitivos. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Corrente (A)	Tensão (V)	Ton (µs)	Toff (µs)
10	60	200	10

Fez-se a usinagem de todos os 15 corpos de prova, 9 com o fluido dielétrico e os outros 6 com nanopartículas de grafeno adicionado ao fluido dielétrico. Deve-se lembrar que, foi trocado o fluido especificado a cada 3 testes, para que as partículas desprendidas não se acumulassem muito, dado o volume reduzido da cuba instalada.

A diferença entre as massas inicial e final, necessárias para que os cálculos de TRM e RD foram quantificados por meio de uma balança analítica, da marca MARTE, modelo BL320H, com resolução de 1mg. Deve-se lembrar de que antes das pesagens ao final da usinagem, as ferramentas e as peças foram imersas em acetona e agitadas por processo ultrassônico por cerca de 2 minutos para que algum resíduo superficial fosse retirado.

Para analisar a qualidade superficial das peças usinadas, três parâmetros foram utilizados, Ra, Rz e Rt, todos quantificados por rugosímetro da marca Taylor Hobson, Modelo Surtronic 25, com a utilização de *cut-off* configurado em 2,5 mm. Realizou-se 3 medidas em cada corpo de prova com o equipamento, em 3 locais diferentes e os resultados obtidos são as médias dos valores encontrados.

4. RESULTADOS

A Figura 4 apresenta resultados médios de TRM, na qual o desempenho sem e com nanopartículas de grafeno adicionado ao fluido dielétrico pode ser comparado.

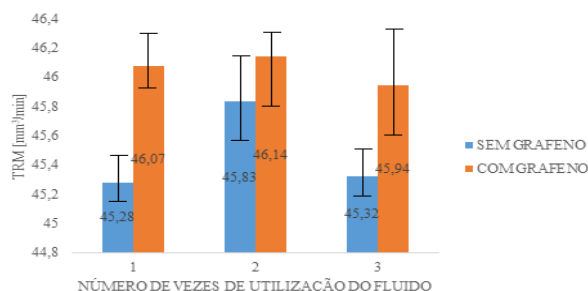


Figura 4 – TRMs do processo de EDM com e sem adição de grafeno ao fluido dielétrico.
 Fonte: Do Autor, 2018.

A adição de nanopartículas de grafeno ao fluido dielétrico permitiu um aumento da TRM, como pode ser observado na Figura 4. Contudo, o aumento não se mostrou significativo, visto que ficou entre 0,6% e 1,75%, sendo que a maior diferença foi pronunciada na primeira utilização do fluido. As análises de Kurafuji & Suda (1965) corroboram com este resultado, uma vez que seus resultados indicam que a concentração de resíduos melhora a TRM até uma concentração ideal, depois volta a diminuir. Este aumento da TRM, apesar de pequeno, deve-se também ao efeito de dispersão das descargas elétricas mencionado por Narumiya et al. (1989), pois diminui o tempo de usinagem consideravelmente. Jeswani (1980) comenta ainda que a adição de pós ao fluido atenua a queda brusca na tensão no início da descarga, aumentando o ciclo ativo do processo EDM, que por sua vez, melhora a eficiência do processo.

Por último, o mecanismo de propagação da corrente elétrica apresentado por Kurafuji & Suda (1965), indica que a corrente elétrica tem sua percolação pelas menores distâncias no material para se propagarem e as partículas ajudam a diminuir esta diferença de potencial. Porém, isto faz com que as partículas de grafeno sejam usinadas antes da peça em si, o que pode ter causado esta baixa diferença entre a usinagem com e sem grafeno, diminuído a eficiência de tal adição.

A Figura 5 apresenta resultados médios da RD, na qual o desempenho sem e com nanopartículas de grafeno adicionado ao fluido dielétrico é comparado.

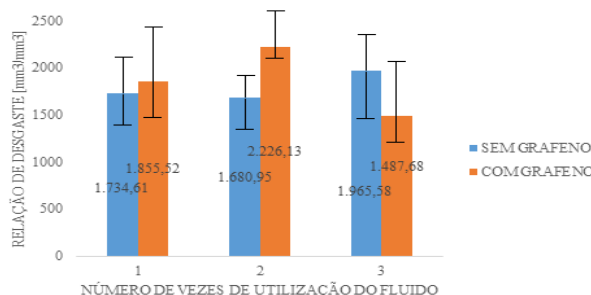


Figura 5 – RDs do processo de EDM com e sem adição de grafeno ao fluido dielétrico.
 Fonte: Do Autor, 2018.

A relação de desgaste normalmente se comporta de maneira inversamente proporcional a taxa de remoção de material, porém fica evidente que isto não ocorreu nas primeiras utilizações do fluido. Isto mostra como há um espaço grande e promissor para pesquisas de adição de pós no dielétricos em regime de desgaste. A maior diferença observada foi na segunda utilização do fluido, na qual houve um aumento considerável da relação de 32%.

Apesar deste resultado interessante, deve-se salientar que Fernandes (1999) indica que relações de desgaste muito satisfatórias estão na casa de 100:1, resultados 20 vezes menores dos obtidos nestes experimentos. Tal efeito pode ter ocorrido devido à impregnação de partículas de grafeno na ferramenta, o que aumenta sua condutividade elétrica.

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os valores médios das rugosidades Ra, Rt e Rz obtidas após o processo de usinagem, indicando como a qualidade superficial das peças se altera com e sem a adição de grafeno.

Segundo a Figura 6, referente aos parâmetros Ra e Rt, não se pode afirmar, pelo desvio padrão, que a adição de nanopartículas de grafeno ao fluido corroborou efetivamente para melhoria do acabamento, mas na média houve uma redução não significativa, menor que 5%, visto que não se consegue observar um padrão dentro dos resultados, além dos valores encontrados ficarem bem próximos, em ambos os regimes. Porém, de acordo com Benedict (1987) um aumento na TRM, o que também vale para a RD, com constatado anteriormente, levaria normalmente a um pior resultado em termos de acabamento, entretanto, a rugosidade permaneceu praticamente inalterada. Este resultado é promissor uma vez que houve um ganho na TRM e na RD sem comprometer o acabamento.

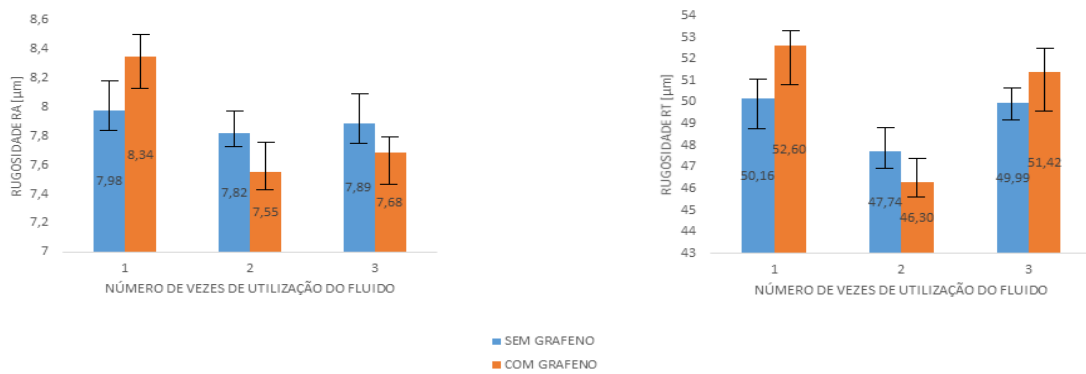


Figura 6 – Rugosidade das peças usinadas com e sem adição de grafeno ao fluido dielétrico a) Ra e b) Rt.
Fonte: Do Autor, 2018.

Já o parâmetro Rz apresenta ligeiro aumento quando é utilizado grafeno, principalmente na primeira utilização do fluido, quando não há resíduos em sua composição (a não ser o próprio grafeno), conforme Figura 7.

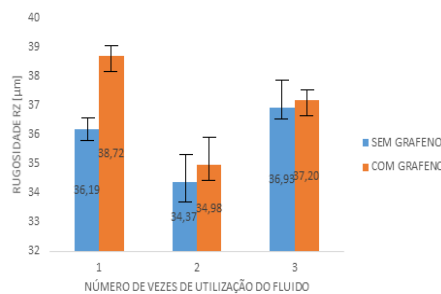


Figura 7 – Rugosidade Rz das peças usinadas com e sem adição de grafeno ao fluido dielétrico.
Fonte: Do Autor, 2018.

Neste caso o aumento foi de 7%, aproximadamente. Fica claro também, que esta progressão vai diminuindo a cada utilização do fluido, uma vez que a concentração de resíduos dos fluidos com e sem nanopartículas de grafeno vai aumentando.

5. CONCLUSÃO

Dos pré-testes realizados, foi obtida informação suficiente para que fosse empregado método de arrefecimento da cuba interna, bem como a instalação de um sistema de fixação eficiente dentro dos padrões necessários de posicionamento dos corpos de prova. Além disso, os pré-testes viabilizaram a análise do número de utilizações de fluido, indicando que o mesmo seria trocado a cada 3 utilizações.

Já nos testes definitivos a adição de grafeno mostrou um aumento na TRM, em torno de 1,75%, quando o fluido foi utilizado pela primeira vez. Também em relação a TRM fica claro que os melhores resultados se deram quando o fluido era utilizado pela segunda vez, quando havia uma quantidade considerável de resíduos misturados ao dielétrico, que melhoram a eficiência do processo e as descargas elétricas se tornam mais dispersas provocando este aumento na TRM em ambos os casos (com e sem grafeno).

Em relação a relação de desgaste RD esta obteve um maior aumento do que a TRM, em torno de 30% na segunda utilização do fluido, porém a RD com a utilização do grafeno, embora apresentasse queda brusca na terceira utilização do fluido, enquanto sem adição de grafeno esta relação aumenta na terceira utilização.

A qualidade superficial das peças foi pouco alterada, os parâmetros Ra e Rt, além disso, não se pode observar padrão algum entre os resultados comparando os processos com e sem a utilização de grafeno. Já o parâmetro Rz aumentou ligeiramente, na casa dos 7% na primeira utilização do fluido, porém este aumento foi reduzindo a cada utilização, até chegar à casa de 0,8% no terceiro uso do fluido. Porém, mesmo os resultados em termos de acabamento entre a adição ou não de nanopartículas de grafeno ao fluido dielétrico se equiparando houve ganho na TRM e na RD.

6. REFERÊNCIAS

- BENEDICT, GARY F., “Nontraditional Manufacturing Processes”, ISBN 0-8247-7352-7, New York, 1987.
- FERNANDES, L. A., “Efeito da Adição de Pó de Carboneto de Silício nos Fluidos Dielétricos sobre o Desempenho da usinagem por Descargas Elétricas do Aço-Rápido ABNT M2”. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Brasil, 1999.
- GILMORE, R., “Ultrasonic Polishing – New Technology for Manufacturing in a New Era”. EDM Today, 1991.
- JESWANI, M.L., “Effect of the Addition of Graphite Powder to kerosene used as the Dielectric Fluid in Electrical Discharge Machining”. Wear, Vol 70, pp. 133-139, 1980.
- KOBAYASHI, K., “The present and Future Developments of EDM and ECM”. International Symposium for Electro-machining- ISEM XI, Lausanne, pp. 29-47, 1995.
- KURAFUJI, H. & SUDA, K., “Study on Electrical Discharge Machining”. Journal of the Faculty of Engineering, University of Tokyo (B), Vol XXVIII, No. 1, pg. 1-18, 1965.
- MALHOTRA, N.; RANI, S.; SINGH, H. “Improvements in performance of EDM – A review”. In: SOUTHEASTCON, 2008, Huntsville. Anais. Karta: Shri Mata Vaishno Devi Univ, p. 599-603, 2008.
- NARUMYA, H., MOHRI, N., SAITO, N., OOTAKE, H., TSUNEKAWA, Y., TAKAWASHI, T., KOBAYASHI, K., “EDM by Powder Suspended Working Fluid”. Proceedings of International Symposium for Electro-machining – ISEM IX, Toyota Technological Institute and Mitsubishi Electrical Corporation, Nagoya/Japan, pp.5-8, 1989.
- RHOADES, L., “Post Processing of EDM Surfaces”. EDM Digest, Vol. XII, 1990.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EFFECT OF THE ADDITION OF GRAPHENE IN DIELECTRIC FLUID EDM MACHINING HIGH SPEED STEEL ABNT M2

Tiago Napolitano

Luciano Antônio Fernandes

Rogério Valentim Gelamo

Raphael Silva Lins

Universidade Federal do Triângulo Mineiro– UFTM / Av. Randolfo Borges Junior, 1400.

tiagonapolitano@gmail.com

luciano.fernandes@uftm.edu.br

rogerio.gelamo@uftm.edu.br

raphael.lins@uftm.edu.br

Abstract. The results herein presented are related to the use of nanofluids composed of graphene nanoparticles added to the dielectric fluid used in the process of non - traditional machining by electric discharges by roughing penetration. Although it is the first non-traditional process that has become popular in the industry, referred to only by EDM (Electrical Discharge Machining) process, this one has been the subject of study on the optimization of experimental parameters in terms of surface integrity allied with a removal rate of the material. The material machined in this work was the high speed steel ABNT M2 and the proposal was to the analysis of the material removal rate, wear ratio and surface process quality, relating such results to the use of the dielectric fluid with and without graphene nanoparticles. The addition of graphene nanoparticles in concentration of 120mg/l showed an increase in the rates of material removal and wear ratio without any additional change in the surface quality since there was no change in the surface roughness Ra and Rz indicating new possibilities of using this nanofluid in the machining area.

Keywords: EDM, Non-traditional machining, Graphene, EDM by penetration, ABNT M2 High Speed Steel.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.