

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS FLUIDOS DE CORTE PARA RETIFICAÇÃO ADEQUADOS AO DESEMPENHO MECÂNICO E AO MEIO AMBIENTE

Salete Martins Alves

Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Núcleo de Manufatura Avançada, av. trabalhador São Carlense, 400, salete@sc.usp.br

João Fernando Gomes de Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Núcleo de Manufatura Avançada, av. trabalhador São Carlense, 400, jfgo@sc.usp.br

Resumo. *A utilização de fluidos de cortes no processo de usinagem faz da indústria metal-mecânica uma potencial agressora do meio ambiente. São vários os problemas decorrentes desta utilização, que vão desde a geração de efeitos nocivos ao ambiente de trabalho até a agressão do meio ambiente. Devido à necessidade crescente de adequação aos requisitos atuais de segurança do operador e ao meio ambiente, novas combinações de tipos de rebolos e fluidos de corte estão sendo procuradas. Um fluido de corte para ser considerado amigo do ambiente (environmentally friendly) deve possuir características como biodegradabilidade, não ser tóxico e fisiologicamente seguro, em uso deve ter emissões reduzidas. Mas também deve possuir um bom desempenho durante o processo, compatível com o obtido para o óleo mineral. Neste trabalho buscou-se desenvolver novos fluidos de corte solúveis, a base de óleo de mamona sulfonado, preenchendo assim os atuais requisitos ambientais. Este fluido foi desenvolvido para o processo de retificação em altas velocidades com o rebolo de CBN vitrificado. Os resultados mostraram que o fluido a base de óleo de mamona, no processo de retificação possui desempenho superior aos outros fluidos comerciais à base de água e quando comparado com óleo mineral obteve desempenho semelhante. Os parâmetros avaliados foram desgaste do rebolo e qualidade superficial da peça. Além de bom desempenho mecânico, este fluido depois de analisado quimicamente, foi considerado facilmente biodegradável.*

Palavras-chave: *retificação, CBN, fluido de corte, meio ambiente.*

1.INTRODUÇÃO

Um maior interesse pela consciência ambiental da indústria de manufatura tem sido observado devido ao aumento da poluição, desenvolvimento de legislações preventivas e o crescimento da demanda de produtos e processos de produção “verde”. Até recentemente, os esforços industriais para aliviar os impactos ambientais de seus produtos e processos estavam focados em duas áreas: desenvolvimento de um processo de reciclagem, especialmente para metais e plásticos, e substituições de produtos químicos nos processos de manufatura, tornando-os processos denominados “processos limpos”.

Devido à necessidade crescente de adequação aos requisitos atuais de segurança do operador e ao meio ambiente, novas combinações de tipos de rebolos e fluidos de corte estão sendo procuradas. Como resultados, tem-se buscado otimizar o processo de retificação, através da adoção de procedimentos que visam uma diminuição na energia gerada durante o processo de corte e sua mais rápida dissipação da zona de retificação. Estes procedimentos incluem o uso de rebolos de CBN, os quais permitem que uma maior quantidade de calor seja removida da região de corte através da própria ferramenta superabrasiva ⁽¹⁾. Quando a retificação com CBN é realizada com altas velocidades tem-se uma melhora significativa no processo, porém há algumas desvantagens como altas temperaturas e maiores solicitações do fluido de corte.

Este artigo apresenta uma rápida revisão sobre os principais impactos ambientais dos fluidos de corte e um estudo de desenvolvimento de um novo conceito de fluidos de cortes para a retificação com CBN. Este fluido é formulado a partir de óleo vegetal. Características mecânicas e ambientais foram verificadas, com o intuito de avaliar a nova formulação. Aspectos tais com biodegradabilidade e desempenho mecânico foram considerados. O desempenho do novo fluido de corte foi avaliado considerando alguns parâmetros de saída: rugosidade da peça e desgaste radial do rebolo. Também diferentes diluições foram testadas para verificar qual forneceria melhores condições de trabalho.

2. IMPACTOS AMBIENTAIS DOS FLUIDOS DE CORTE, LEGISLAÇÕES E ATUAIS TENDENCIAS.

As considerações dos aspectos ambientais dos fluidos de corte são focadas, principalmente, em danos à saúde e aos recursos hídricos ⁽²⁾. Muitos produtos químicos usados na composição dos fluidos de corte, como biocidas, anticorrosivos, umectantes, antiespumantes e outros aditivos podem ter efeitos nocivos sobre o homem e a natureza. Entre estes, principalmente os biocidas usados para o controle de bactérias são extremamente prejudiciais principalmente à saúde do operador e possuem altos custos ⁽³⁾. Com a evolução tecnológica, uma grande quantidade de novos produtos sintéticos é lançada no mercado para os quais não existem testes toxicológicos adequados e, como é complexa tarefa de monitorá-los, os órgãos ambientais americanos recomendam atitudes preventivas.

A OSHA (Occupational Safety and Health Administration) regulamentou algumas substâncias a serem observadas nas formulações dos fluidos de corte, entre elas estão: Etanolamina, dietanolamina, hexylene glicol, morpholine, p-cloro-m-cresol, policlorados alcalinos de C10 a C13, 3-iodo-2-pronylbutil carbamate, nitrodietanolamina, o-Fenilfenol, éter de glicol, solvente de Stoddard, nitritos, óleos de cadeias polinucleares aromáticas (PNA), óleos parafínicos clorados de cadeias curtas, compostos de Bário, névoa de óleo, compostos de cobre.

Um fluido que contenha qualquer um destes elementos não pode ser considerado “limpo”, apesar de que nenhum efeito específico possa ser comprovadamente ligado ao uso de tais substâncias (EPA, 1995). Entretanto, alguns efeitos nocivos foram associados a tais componentes, assim, o recomendável é a precaução.

Segundo Ignácio ⁽⁴⁾, a partir da preparação até a aplicação, um grande número de inconvenientes atinge os fluidos de corte de várias formas e fontes, os quais podem determinar a vida útil deste produto e também aumentar as responsabilidades da empresa. Além das causas existentes na preparação, a utilização dos fluidos de corte em processos de usinagem torna-os susceptíveis ao ataque de microorganismos, bactérias e fungos e a forma de trabalho do próprio operador e sua higiene. O manuseio incorreto, por exemplo, pode gerar resultados desagradáveis que vão desde problemas no processo de fabricação e ataques à saúde dos operadores até o descarte prematuro deste produto. Para garantir um menor impacto dos fluidos de corte à saúde dos operadores e à qualidade do meio ambiente, gerentes e operadores devem estar cientes de

todos os cuidados que são indispensáveis na sua aplicação, usando das medidas de precauções fornecidas pelo fabricante e órgãos ambientais, evitando assim a ocorrência de resultados desagradáveis.

Nas últimas décadas, os órgãos ambientais e as autoridades públicas têm se preocupado em viabilizar a harmonia entre as atividades industriais e o meio ambiente, devido ao consumo irracional de recursos naturais, poluição do ar e os resíduos industriais gerados. Por outro lado, à competitividade, globalização da economia e legislação ambiental mais rígida tem pressionado as indústrias a ajustar seus processos buscando atender os três aspectos mais importantes para a sua sobrevivência: tecnológico, econômico e ambiental.

No Brasil, não existe uma legislação específica para fluidos de corte, mas através de uma revisão dos mais recentes textos da Legislação Ambiental Brasileira pode-se identificar algumas determinações sobre óleos lubrificantes, CONAMA 09/93 e o Decreto Lei 50.877/61.

Atualmente, existe uma tendência mundial, principalmente na Europa, de reduzir a utilização de óleos integrais, devido ao elevado custo, mas principalmente pelos riscos à saúde do operador e ao meio ambiente. Este conjunto de situações torna cada vez mais indesejável o uso de sistemas de refrigeração na produção. Algumas alternativas têm sido estudadas para substituir os métodos tradicionais de refrigeração, tais como, mínima quantidade de lubrificantes, usinagem a seco, utilização de fluidos amigos do ambiente (ar, fluido polimérico, fluido biodegradável, etc.).

3.METODOLOGIA

3.1 Formulação do novo fluido de corte

Para a preparação do novo fluido de corte algumas etapas foram realizadas:

1. Escolha dos componentes: é necessário considerar se os componentes escolhidos para compor a fórmula do fluido de corte não são problemáticos, perigosos ao meio ambiente e a saúde do operador.
2. Misturas dos componentes: primeiramente adiciona-se o óleo a água e agita-se a solução por dois minutos. Depois os aditivos devem ser adicionados. Então a solução deve ser agitada por 15 minutos, com o intuito de verificar se a emulsão forma uma solução. A emulsão repousa por 24 horas para verificar se a mesma é estável.

Materiais utilizados na formulação do fluido de corte:

1. Óleo de mamona sulfonado 80%;
2. Água;
3. Bactericida derivado de triasina;
4. Anticorrosivo – composição de ésteres sintéticos
5. Agente emulsificador -Poliglicol de éster sintético.

Todos os produtos compõem a linha Liovac de produtos para lubrificante da Miracema-Nuodex produtos químicos.

3.2 Caracterização química e física

Algumas análises, químicas e físicas, foram realizadas para avaliar a qualidade do novo fluido de corte. A seguir estão descritas todas as análises.

PH

O pH do fluido de corte foi determinado através de um pHmetro digital modelo Q-400BI – Quimis. Sempre antes de cada medição, o instrumento era calibrado com soluções padrões. O pH do fluido de corte deve estar entre 9 e 11.

Viscosidade

Para determinar a viscosidade do fluido de corte foi utilizado um viscosímetro de esfera. Este método é muito tradicional e simples. O equipamento consiste de um tubo de vidro com duas marcas, onde o fluido é colocado, também é colocada uma esfera de metal ou vidro, que dependendo da viscosidade do fluido tem um específico tempo de queda. Pela Equação (1) é possível calcular a viscosidade do fluido de corte.

$$\eta = t(\rho_1 - \rho_2)K \quad (1)$$

Onde: η - viscosidade dinâmica (MPa.s)

ρ_1 - densidade da esfera (g/cm^3);

ρ_2 - densidade do fluido (g/cm^3);

t - tempo de queda da esfera entre as duas marcas do tubo (s);

K - constante da esfera ($0,13 \text{ MPa.cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)

Corrosão

Corrosão é uma reação do metal com o ambiente. Esta reação causa uma considerável mudança no material.

O objetivo desta análise é determinar a característica anticorrosiva dos fluidos de corte solúveis. Dois gramas de cavacos de ferro fundido, previamente lavados com acetona e secos, foram colocados sobre um papel filtro numa placa de petri. Os cavacos são espaçados pelo papel filtro e umidificados com 2 ml de fluido de corte. Os cavacos foram deixados em repouso por 2 horas. Após este tempo, os cavacos foram descartados e o papel filtro lavado com acetona.

O grau de corrosão do fluido de corte é medido pela observação da quantidade de manchas deixadas na superfície do papel filtro.

A Tabela 3 mostra como o grau de corrosão pode ser determinado.

Tabela 3: Critérios de avaliação do teste de corrosão

Corrosão	Significado	Superfície do papel filtro
0	Sem corrosão	Inalterado.
1	Vestígios de corrosão	No máximo 3 sinais de corrosão com menos de 1 mm de diâmetro.
2	Ligeira corrosão	Não mais que 1% da área do papel, porém mais manchas que no grau 1 ou com tamanho maior do que 1 mm.
3	Corrosão moderada	Acima de 1%, porém não mais que 5% da superfície.
4	Forte corrosão	Acima de 5% da superfície.

Biodegradabilidade

O método usado para investigar a biodegradabilidade do fluido de corte foi *Ready Biodegradability : 301B CO₂ Evolution Test* adotado em 1992 (OECD), 1997.

Neste teste uso-se um sistema de aeração de fluxo contínuo e para filtrar o ar foram utilizados vários potes com hidróxido de sódio. O teste foi conduzido em escuro, sob 20 até 25°C por 28 dias.

A biodegradabilidade do fluido de corte foi avaliada pela evolução do CO₂ que era absorvida pela solução de Ba(OH)₂ durante o período de teste. A evolução CO₂ foi determinada por titulação com HCL.

3.3 Testes de Retificação

Os testes de retificação foram realizados numa retificadora plana convencional, FERDIMAT modelo FRPH-600. O material do corpo de prova foi SAE 8640, temperado, com dureza 52 HRc, em forma retangular. As dimensões eram 18,0 mm de largura, 40 mm de altura e 170 mm de comprimento.

Para comparar o desempenho da nova fórmula, outros dois tipos de fluidos de corte comerciais foram testados : um óleo mineral e um fluido semi-sintético. A concentração do fluido semi-sintético foi 15%. Três diferentes diluições do novo fluido de corte foram testadas, sendo possível avaliar qual diluição é melhor para o processo de retificação. As condições de corte aplicadas no teste de retificação foram:

1. Velocidade de corte (v_s) = 33 m/s
2. Velocidade do corpo-de prova (v_f) = 11,5 mm/s
3. Profundidade de retificação (b) = 6.5 mm
4. Penetração do rebolo de CBN (a) = 25 μ m.

Os testes foram realizados usando um rebolo de CBN vitrificado B181, concentração 125 (31,25%), dressado cross-axialmente usando disco de diamante eletrodepositado. A velocidade do rebolo na dressagem (v_s) foi 33 m/s, a velocidade periférica do disco dressador (v_r) 38m/s e profundidade de dressagem $a_d=10\mu$ m. Sucessivos passes de dressagem de 10 microns no diâmetro foram realizados até obter um perfil uniforme do rebolo.

Alguns parâmetros de saída foram escolhidos com a finalidade de comparar os diferentes fluidos testados. Os parâmetros de saída foram desgaste radial do rebolo e rugosidade do corpo-de-prova.

O desgaste do rebolo foi medido através da reprodução do perfil do mesmo em uma peça de aço mole (SAE1020). Este procedimento é denominado como técnica de impressão do perfil. Uma placa foi retificada usando a profundidade total de retificação. O perfil obtido foi medido pelo equipamento Talysurf. Esta técnica é baseada em escaneamento da superfície da peça com uma agulha, que é capaz de verificar pequenos degraus na superfície. A diferenças no degrau de duas regiões distintas do rebolo “impresso” na peça foi analisado para cada teste de retificação.

A rugosidade medida foi obtida usando cut-off de 0,25 mm. Cada valor de rugosidade representa a média de quatro medidas em diferentes pontos do corpo-de-prova.

A Figura 1 mostra o setup do experimento e da dressagem.

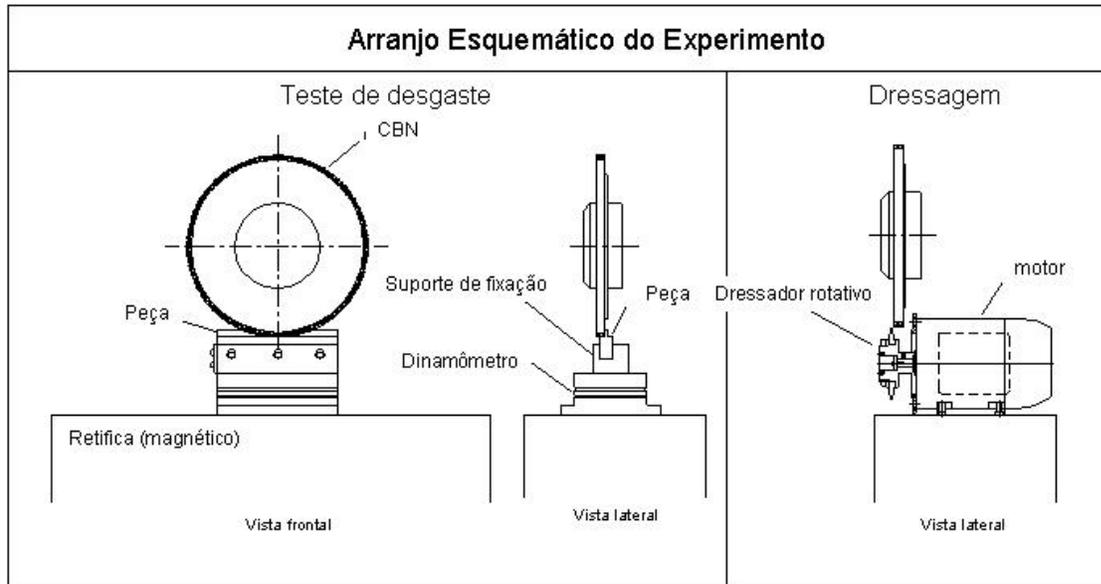


Figura 1: Setup experimental dos testes de retificação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Formulação e caracterização do novo fluido de corte.

Para elaborar o novo fluido de corte foram escolhidos materiais que não tem produtos banidos em sua composição, como, por exemplo, substâncias cloradas e nitrosaminas.

Também, foi proposta uma fórmula mais simples do que a proposta por Hübner ⁽⁵⁾, com poucos tipos de aditivos. Isto facilita o tratamento e a disposição do fluido de corte utilizado. A composição é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Composição do novo fluido de corte.

Bactericida
Agente emulsificante
Inibidor de corrosão
Óleo de mamona sulfonado
Água

Durante a preparação do fluido de corte observou-se que os componentes são facilmente misturados e a solução tem aspecto translúcido similar ao óleo integral.

As características físicas e químicas estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Caracterização do novo fluido de corte.

Aspecto oleoso	Sim
PH	10.77
Viscosidade dinâmica	105.56 cp
Cor	Castanho claro
Solução estável	sim

A alta viscosidade dá ao fluido de corte um aspecto oleoso e característica lubrificante. A presença da água aumenta a capacidade refrigerante. Sendo possível ter as duas principais características dos fluidos de corte: lubricidade e refrigeração, em um único produto.

Também com o intuito de avaliar a qualidade da nova formulação, análises de corrosão e biodegradabilidade foram feitas. A habilidade de inibição da corrosão do novo fluido de corte foi investigada. Evidências de corrosão não foram observadas. A Figura 2 mostra o papel filtro onde o grau de corrosão do fluido foi analisado. Pode ser verificado que não há manchas de corrosão. A partir desta observação é possível concluir que o novo fluido de corte tem grau de corrosão 0, possuindo característica de inibição a corrosão.



Figura 2: Teste de corrosão.

O resultado da análise de biodegradabilidade permite concluir que o novo fluido de corte é facilmente biodegradável. Do ponto de vista ecológico este fluido de corte não é agressivo ao meio ambiente e seu tratamento e disposição são feitos com facilidade.

4.2 Testes de Retificação

O desempenho do novo fluido de corte foi analisado através do desgaste radial do rebolo e da rugosidade do corpo-de-prova. Foi também realizada uma comparação entre o novo fluido de corte e outros existentes no mercado.

Desgaste Radial do Rebolo

Os valores do desgaste radial do rebolo foram medidos através da técnica de impressão de perfil. A relação G (volume da material removido/volume de rebolo desgastado) foi usada para comparar os diferentes fluidos de corte. Uma alta relação G corresponde a um pequeno volume de rebolo desgastado.

Analisando os resultados do desgaste radial do rebolo na Figura 3, pode ser avaliada a influência do tipo de fluido de corte no desgaste radial do rebolo. Também é possível verificar que o desgaste do rebolo pode ser significativamente reduzido se for utilizado fluido de corte com alta lubrificidade, como também foi observado por Hitchiner⁽⁶⁾. O uso do óleo integral causou um pequeno desgaste no rebolo (alto G). Por outro lado, um alto desgaste no rebolo foi observado na retificação usando o fluido de corte semi-sintético (alto poder de refrigeração e baixa lubrificidade), aproximadamente 8µm no raio. A nova formulação em diferentes concentrações apresentou um comportamento intermediário. A concentração 21% demonstrou desempenho similar ao do óleo integral, com alto valor de G. A altas concentrações, 32%, o novo fluido de corte não foi bom. Nesta concentração aglomeração de cavacos sobre a peça e suporte foi observada, dificultando o corte, conseqüentemente aumentando o desgaste do rebolo.

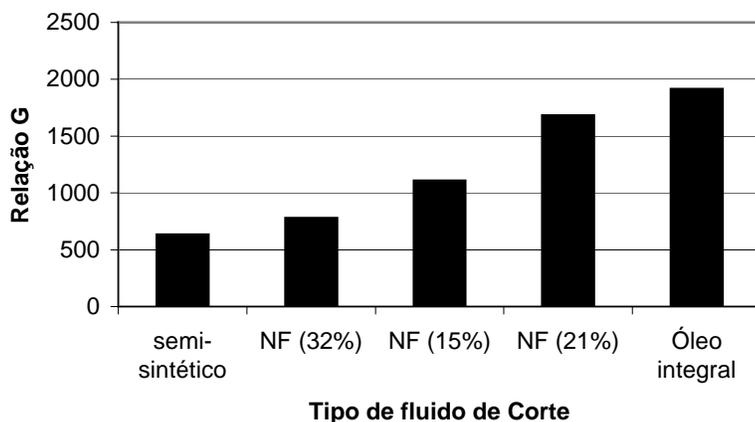


Figura 3: Valores do desgaste radial do rebolo para diferentes fluidos de corte.

A concentração 15% deu bons resultados, mas piores que o óleo integral e a concentração 21%. Quando fluidos de corte com alto poder lubrificante são usados o desgaste por atrito é reduzido e outros mecanismos são menos significantes.

Rugosidade

Os resultados de rugosidade da peça para os testes de retificação usando diferentes fluidos de corte são apresentados na Figura 4. O tipo de fluido de corte influencia nos valores de rugosidade. Normalmente o alto poder lubrificante fornece baixos valores de rugosidade, contudo neste experimento observou-se altas rugosidades para os dois fluidos com alta viscosidade (óleo integral e o novo fluido de corte a 32%). Este fato pode ser causado pela aglomeração de cavacos descrita acima. O atrito entre a peça e o cavaco aumenta o valor da rugosidade. As baixas concentrações (15 e 21%), o novo fluido de corte causou uma diminuição no valor da rugosidade.

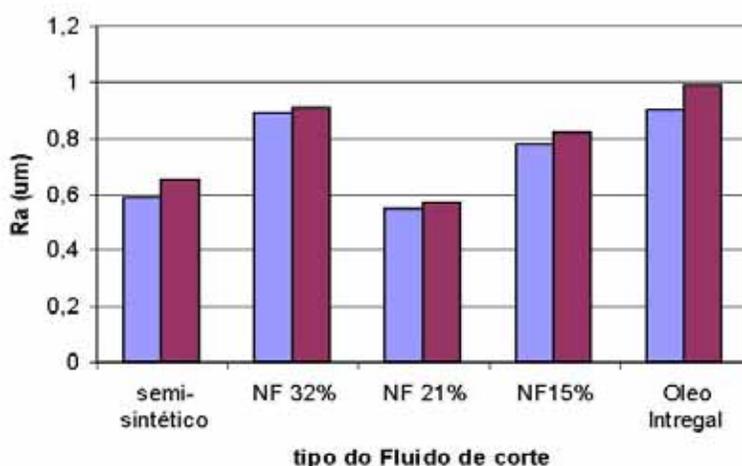


Figura 4: Valores de rugosidade (Ra) para os diferentes fluidos de corte.

O melhor desempenho foi observado usando o novo fluido de corte a 21%, onde a rugosidade foi menor que $0,60\mu\text{m}$. Na Figura 4, a primeira coluna de cada fluido corresponde a rugosidade depois de uma remoção de metade do material total removido e a segunda coluna a rugosidade depois do final do processo de retificação. A tendência de aumento do valor da rugosidade com o aumento do material removido foi observado para todos os fluidos de corte testados, mas não muito acentuada.

O novo fluido de corte a 32% e o óleo integral apresentaram um comportamento similar, com tendência de aumento dos valores de rugosidade, com o aumento do volume de material removido. A variação da rugosidade ficou em torno de $0,90\mu\text{m}$. O fluido semi-sintético apresentou bons resultados com rugosidade em torno de $0,6\mu\text{m}$. Neste teste não pode ser confirmado que o poder lubrificante é o maior fator no desempenho dos fluidos de corte.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais, algumas conclusões podem ser formuladas:

- A lubricidade do fluido de corte é o fator chave para seu desempenho e pode influenciar o desgaste radial do rebolo. Quando o óleo de corte e o novo fluido a 21% foram usados houve uma diminuição do desgaste do rebolo.
- A mesma influência não foi observada para a rugosidade, fluidos de corte com alto poder lubrificante forneceram piores valores de rugosidade.
- O desgaste do rebolo e a rugosidade da peça foram reduzidos pelo uso do novo fluido de corte diluído. O melhor resultado foi obtido com a concentração 21%.
- Foi possível formular um fluido de corte a partir de óleo vegetal com menor quantidade de aditivos, obtendo excelentes resultados, similar ao óleo integral.
- O fluido de corte desenvolvido neste trabalho preencheu todos os requisitos ambientais e tem um bom desempenho mecânico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KOHLI, S. P., GUO, C., MALKIN, S. Energy Partition for Grinding with Aluminum Oxide and CBN abrasive Wheels. **ASME Journal of Engineering for Industry**, vol. 117 p. 160-168, 1995.
2. BARTZ, W. J., Lubricants and the environment. **Tribology International**, vol. 31, n. 1-3, pp. 35-47, 1998.
3. HONG, S. Y., BROOMER, M., Economical and Ecological cryogenic machining of AISI 304 austenitic stainless steel. **Clean Products and Process** 2, 157-166, 2000.
4. IGNÁCIO, E. A., **Caracterização de Legislação Ambiental Brasileira voltada para a utilização de fluido de corte na indústria metal-mecânica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
5. HÜBNER, J., Aufbau Moderner Kühlschmierer (Composition of modern Coolants), **Tribologie und Schmierungstechnik**, 41(2), 1994.
6. HITCHINER, M. P., Precision Grinding Systems for Production Grinding with Vitrified CBN. **SME Technical Paper MR90-507**, pp. 1-11, 1990.

DEVELOPMENT OF NEW CUTTING FLUID FOR GRINDING PROCESS ADJUSTED MECHANICAL PERFORMANCE AND ENVIRONMENT.

Salete Martins Alves

University of São Paulo, Engineering School of São Carlos – EESC, Nucleos of Advanced Manufacturing, salete@sc.usp.br

João Fernando Gomes de Oliveira

University of São Paulo, Engineering School of São Carlos – EESC, Nucleos of Advanced Manufacturing, jfgo@sc.usp.br

***Abstract.** The cutting fluids use in machining process does of metal industry an aggressor to environment. Many problems are identified with cutting fluids use, such as health and environment hazards. There has been a high demand for better adequacy of these industrial grinding processes in order to meet the present requirements of safety and protection to the environment. In this scenario new combinations of fluids and grinding wheels have been tested in research projects. The application of Grinding wheels using Cubic Boron Nitrite (CBN) abrasives is a strong tendency in grinding processes. An environmentally friendly fluid has to accomplish some main requirements such as: should not be toxic, biodegradable and should produce low emissions when in use. But also an ideal fluid has to provide good process performance and allow low costs in the application of CBN based tools. This work presents new grinding fluid formulation able to meet both the performance and environmental requirements. The proposed fluid is based on a sulfonate vegetable oil with high concentration in water for grinding with CBN in high speed. This way it is possible to get high lubricity and good performance on CBN grinding. The tests show that the application of the proposed formula in CBN grinding results in process performance equivalent to the obtained using mineral neat oils. The parameters evaluated were radial wheel wear and workpiece roughness. Chemical analysis shows the new fluid as to be non-toxic and have easy biodegradability.*

***Keywords.** Grinding, CBN, cutting fluid, environment*