



Artigo

Estudo sobre a reciclagem de fluidos de corte aplicados no processo de torneamento por um filtro confeccionado com materiais de fácil acesso

Samuel de Lima Menezes ^[1] e Ramsés Otto Cunha Lima ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa; samuel_menezes2008@hotmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa; ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

Recebido: 31/10/2020;

Aceito: 17/12/2020;

Publicado: 15/02/2021.

Resumo: Durante as operações de usinagem, o atrito entre a ferramenta e a peça gera calor, levando ao desgaste ou perda de propriedades da ferramenta de corte, além de distorções na peça usinada. Para resfriar e lubrificar as operações de usinagem, são aplicados fluidos de corte, os quais, quando descartados de maneira inadequada, podem gerar danos ao meio ambiente. Esta pesquisa tem como objetivo estudar a possibilidade de reciclagem, por filtração a partir de aparato simples, de dois tipos de fluidos de corte aplicados em processos de torneamento. Além disso, avaliar se estes fluidos filtrados mantêm suas propriedades de maneira a permanecerem aptos a serem novamente aplicados, minimizando a necessidade de descarte dos mesmos. Para tanto, os fluidos de corte utilizados foram coletados por um recipiente acoplado ao torno, filtrados por um aparelho confeccionado com materiais de fácil acesso e submetidos a análises físico-químicas. Análises da rugosidade das peças usinadas com fluidos de corte novos e reciclados também foram realizadas. Os resultados relativos aos fluidos novo e utilizados, após a filtração, foram comparados. Verificou-se que os fluidos reciclados tiveram um bom desempenho, podendo ser reciclados sem gerar perdas ao processo, mas levando em consideração algumas condições, como o tempo de reaproveitamento.

Palavras-chave: fluido de corte; reciclagem; filtração; análises físico-químicas; rugosidade.

Abstract: During machining operations, friction between the tool and the workpiece generates heat, leading to wear or loss of cutting tool properties, as well as distortions in the machined workpiece. To cool and lubricate machining operations, cutting fluids are applied, which, when improperly disposed of, can generate damage to the environment. This research aims to study the possibility of recycling, by filtration from simple apparatus, two types of cutting fluids applied in turning processes. In addition, to evaluate whether these filtered fluids maintain their properties so that they remain able to be applied again, minimizing the need to dispose of them. For this purpose, the cutting fluids used were collected by a container attached to the lathe, filtered by a device made with easily accessible materials and subjected to physical-chemical analysis. Analyzes of the roughness of the parts machined with new and recycled cutting fluids were also carried out. The results for new and used fluids, after filtration, were compared. It was found that the recycled fluids performed well, being able to be recycled without generating losses to the process, but taking into account some conditions, such as the time of reuse.

Key-words: cutting fluid; recycling; filtration; physicochemical analysis; roughness.

1. INTRODUÇÃO

Durante o processo de usinagem, uma quantidade considerável da energia da máquina é transformada em calor através da deformação plástica da superfície da peça, do atrito do cavaco na face da ferramenta e do atrito entre a ferramenta e a peça de trabalho [1]. A literatura clássica [2] sugere que 99% do trabalho feito na usinagem

é convertido em calor. Isso aumenta as temperaturas da ferramenta e da peça. Além disso, foi demonstrado que a integridade da superfície usinada e a precisão dimensional atingida são diretamente afetadas pela temperatura de corte [1].

Nos processos de formação de cavacos, as duas funções principais dos fluidos de corte são resfriamento e lubrificação. Uma vez que as temperaturas na zona de corte têm uma grande influência na dureza da ferramenta e na difusão da fase sólida, o resfriamento da ferramenta pode produzir melhorias significativas na vida útil da ferramenta [3]. Um segundo ponto em que o resfriamento auxilia o processo é em manter as tolerâncias dentro de limites adequados, reduzindo a dilatação térmica da ferramenta, da peça e de partes da máquina. O resfriamento também produz uma mudança na formação de aresta postiça de corte (APC) para velocidades mais altas, o que melhora o acabamento da superfície, conforme já apontado em diversas literaturas [2,4,5]. A lubrificação no corte ocorre na superfície de saída, por meio da formação de um filme na interface cavaco-ferramenta, o que reduz a superfície de contato e o coeficiente de atrito aparente. Como resultado, a lubrificação da superfície de saída promove uma diminuição da compressão dos cavacos, formação da APC, bem como rugosidade da superfície, forças de corte e consumo de energia [2,4]. Além disso, os fluidos de corte também têm algumas funções secundárias, tais como transporte de cavacos e resíduos sólidos da zona de corte, protegendo a peça de trabalho contra corrosão e limpando a ferramenta e a peça de trabalho.

Os fluidos de corte têm sido, cada vez mais, apontados [6,7] como um acessório nos processos de usinagem para aumentar a produtividade. Em termos de desempenho, aumenta efetivamente a vida útil da ferramenta, produzindo um melhor controle dimensional e boa qualidade superficial. Um bom acabamento é desejado não apenas pelo apelo estético de um produto, mas também para melhorar as propriedades tribológicas, resistência à fadiga e resistência à corrosão. Assim, a qualidade da superfície é extremamente importante na avaliação da produtividade de máquinas-ferramenta e peças mecânicas [8]. Estudos das últimas décadas [7,9], mostram que a quantidade de lubrificantes usados na usinagem foi reportada em cerca de 38 Mt com um aumento estimado de 1,2% nas décadas futuras. Aproximadamente 85% dos fluidos de corte usados em todo o mundo são fluidos de corte de base mineral, sendo a maior demanda entre os outros. No entanto, os impactos dos fluidos de corte na saúde e no meio ambiente têm sido questionados. Devido ao amplo uso de fluidos de corte de base mineral, eles causam poluição ambiental significativa ao longo de seu ciclo de vida.

É amplamente reconhecido que o efeito dos fluidos de corte no meio ambiente, particularmente no que diz respeito à sua degradação e descarte final, é um grande problema. Devido ao efeito tóxico dos fluidos de corte, os fatores ambientais associados à usinagem tornam-se um aspecto problemático emergente nas últimas décadas [9]. Foi relatado [10] que cerca de 80% de todas as infecções ocupacionais dos operadores foram devido ao contato da pele com fluidos de corte. Isso porque a complexidade na composição dos fluidos de corte pode ser irritante ou alergênica, mesmo que as matérias-primas sejam seguras. Devido a essas substâncias perigosas, os fluidos de corte tóxicos e de menor biodegradabilidade causam muitos problemas tecno-ambientais e graves problemas de saúde como câncer de pulmão, doenças respiratórias, doenças dermatológicas e genéticas [11].

Para evitar ameaças, tanto à saúde do operador quanto às agressões ao meio ambiente, uma vez atingido o limite de degradação do desempenho, o fluido de corte pode ser reciclado ou descartado. Os processos de reciclagem envolvem a separação de contaminantes sólidos e líquidos do fluido de corte e a remistura do fluido reciclado com o novo. O sistema de reciclagem a ser usado depende de vários fatores, como o tamanho da oficina mecânica, o número de máquinas-ferramentas, a variedade de diferentes processos, etc. De acordo com a literatura [3], existem três tipos diferentes de sistemas de remoção de contaminantes: reciclagem centralizada de fluidos, sistemas auto-contidos e unidades de fornecimento individuais. Em um sistema centralizado, as ferramentas da máquina são conectadas através de um circuito de fluido comum a um reservatório central. Os sistemas independentes localizam o reservatório e a unidade de reciclagem em cada máquina-ferramenta individual. As unidades de abastecimento individuais são um híbrido dos dois primeiros métodos, com reservatórios separados para a máquina-ferramenta, uma unidade portátil de remoção e reabastecimento de fluido e uma unidade central de reciclagem.

A reciclagem de fluidos de corte pode resolver problemas de eliminação de resíduos, reduzir custos e aliviar problemas de poluição. Um sistema de circuito fechado para a reciclagem do fluido de corte terá algumas perdas, mas uma recuperação de 90% pode ser alcançada [12]. A literatura [7,13,14] destaca várias formas de realizar o processo de reciclagem do fluido de corte, esses processos podem ser separados em físicos; químico; biológico; separação magnética; separação centrífuga e separação por membrana. Dentre estes, um dos mais comumente aplicados é o processo de separação por membrana devido à sua maior simplicidade de aplicação, cuja filtração é

um exemplo clássico [13]. Em estudo sobre a separação da fase sólida e da fase líquida do carboneto de silício e do silício [15], alguns métodos aplicados para esse fim foram o processo de centrifugação, separação por transferência de fase e extração líquido-líquido seguida da regeneração do polietilenoglicol pelo processo de destilação. Foi verificado experimentalmente que o micropó de silício e carboneto de silício pode ser efetivamente separado por separação por transferência de fase, centrifugação, limpeza química, filtração e destilação. Algumas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de promover o reaproveitamento do fluido de corte utilizado nas operações de usinagem para reduzir a quantidade de material descartado e, dessa forma, a agressão ao meio ambiente.

De acordo com outro estudo [16], a principal diferença entre a filtração convencional e a filtração por membrana é que os filtros convencionais operam capturando partículas dentro de uma matriz de filtro, e os filtros não podem ser regenerados após o uso. Portanto, ao invés de entupimento do filtro com contaminantes, a principal limitação para altas taxas de filtração na microfiltração e ultra filtração é a interação físico-química dos ingredientes dos fluidos de usinagem com a superfície da membrana [17]. Em estudo aplicando a separação por membranas [18], objetivou caracterizar a filtração de emulsões que possuem um teor relativamente alto de fase dispersa (30% O/W), utilizando membranas tubulares de cerâmica hidrofílica ou hidrofóbica com diferentes tamanhos médios de poro, e também estudou o efeito de diferentes parâmetros na emulsão filtração. Foi observado que o tamanho médio da gota e a viscosidade da emulsão a ser filtrada podem mudar drasticamente com a pressão e as forças de cisalhamento durante um período de transição.

Os processos de filtração por membrana, embora desafiadores, provaram ser capazes de restaurar os fluidos de corte à condição de "bons como novos" e reduzir os impactos ambientais do ciclo de vida. Por exemplo, a pesquisa demonstrou a viabilidade técnica do uso de membranas de microfiltração de cerâmica para complementar ou substituir biocidas e outras tecnologias de tratamento como um meio de controlar a contaminação e criar fluidos de usinagem reciclados indistinguíveis de novos [19]. Em outra pesquisa [20], realizou-se uma comparação entre os módulos de membrana cerâmica e polimérica para soluções modelo (soluções de fluido hidráulico em meios ácidos e alcalinos). Como uma descoberta geral, o fluxo diminui com o teor de óleo. O valor do pH parece desempenhar um papel na permeabilidade. Na solução a 1%, a maior permeabilidade foi obtida em pH 5, enquanto o maior fluxo em 4% foi obtido em pH 9. Esses resultados são confirmados por estudo posterior [21], que mostrou que quanto menor o ajuste de pH, mais lama de partículas precipitadas do fluido de corte residual, resultando simultaneamente em maior aderência nos cristais de gelo. A permeabilidade foi ligeiramente inferior à da membrana cerâmica. Além disso, pode-se observar que os tamanhos de partícula foram maiores no meio alcalino porque reduz a densidade de carga negativa na superfície de uma gota de óleo, devido à alta força iônica, diminui o módulo de elasticidade interfacial óleo-água e a viscosidade, promovendo a coalescência da gota de óleo.

Porém, por mais que avancem as pesquisas no sentido de se obter a melhor forma de realizar o processo de reciclagem de fluidos de corte, às vezes estes não podem ser aplicados em pequenas empresas e oficinas, seja no custo de implantação, seja pela complexidade de manutenção ou mesmo pela falta de conhecimento dos gestores e operadores destes estabelecimentos. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo estudar a viabilidade de se realizar o reaproveitamento de fluidos aplicados em usinagens por meio de um processo de filtração simples, utilizando materiais de fácil acesso e baixo custo, que podem ser reproduzidos em oficinas menores para reduzir seus custos e preservar o meio ambiente, reduzindo a frequência de descarte. Para tanto, foram selecionados dois tipos de fluidos de corte normalmente utilizados, estes foram aplicados no processo de torneamento e coletados para proceder a sua filtração e, posteriormente, análises químicas e físicas. Os fluidos filtrados também foram testados mantendo os mesmos parâmetros para verificar a influência na qualidade da peça usinada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico tem como objetivo descrever os materiais utilizados ao longo da fase experimental desta pesquisa, bem como os procedimentos utilizados, as técnicas, os parâmetros definidos e todo o planejamento para a sua execução.

2.1. Materiais aplicados

Os materiais utilizados como corpo de prova foram dois tarugos de aço trefilados SAE 1020 com dimensões de 30 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento cada.

Foram utilizados dois tipos de fluido de corte, um classificado como óleo mineral e outro classificado como óleo de emulsão aquosa. Para o primeiro caso, o óleo utilizado foi UNIMAX SAE 10W, produzido pela INGRAX. É um óleo lubrificante recomendado para motores a diesel de alta velocidade para serviços pesados. Este fluido tem como principal aplicação em sistemas hidráulicos e caixa de engrenagens, porém, também é comumente utilizado como óleo lubrificante para operações de usinagem em muitas pequenas oficinas. Para o segundo caso, foi utilizado óleo de emulsão de água LUBRAX UTILE PE. É um óleo de emulsão de base naftênica para corte, usinagem e acabamento de metais. Sua mistura com água, na proporção de 1:20, ou seja, 5% de óleo do total da emulsão, forma emulsões leitosas, homogêneas e estáveis de cor branca. Possui baixa tendência à formação de espuma e seu aditivo evita a corrosão das peças metálicas usinadas.

A usinagem foi realizada em um torno universal Nardini, modelo Nodus 220 Gold. As ferramentas de corte utilizadas para realizar o processo de usinagem foram as pastilhas de metal duro ISCAR, modelo TNMG 160408 - TF IC 908. Estas foram fixadas na máquina-ferramenta usando um porta-ferramentas MT JNR 2020 K16. Para a fabricação do filtro de baixo custo, foram utilizados materiais de fácil acesso, como garrafa PET de 2 litros, algodão e seixo (pedra bruta para aquário).

2.2. Procedimento experimental

Os ensaios de usinagem ocorreram com operações de desbaste longitudinal externo, para tanto, os parâmetros de corte foram aplicados dentro da faixa recomendada pelo fabricante, ou seja: $V_c = 140$ m/min; $f = 0,042$ mm/rev; e $a_p = 1,50$ mm. É importante ressaltar que os parâmetros de corte adotados foram os mesmos para usinagem com dois tipos de fluidos testados, bem como a quantidade de passes de desbaste aplicados em cada peça.

O método de aplicação dos fluidos de corte durante os ensaios de usinagem foi realizado por jato de baixa pressão, com vazão de 125 ml/min. No primeiro momento, foram utilizados 1000 ml de óleo mineral UNIMAX SAE 10W. Em uma segunda etapa, foram utilizados 1000 ml da emulsão, ou seja, 50 ml do óleo de emulsão LUBRAX UTILE PE e 950 ml de água.

A captação do fluido de corte aplicado ocorreu com o auxílio de um recipiente plástico (polipropileno) acoplado ao torno, localizado abaixo da placa castanha que segura a peça, conforme mostrado na Figura 1. Assim, por gravidade, o fluido aplicado no corte zona tendia a cair no recipiente de plástico.



FIGURA 1. Posicionamento do recipiente de plástico acoplado à estrutura do torno em relação à peça de trabalho e à ferramenta de corte.

O fluido coletado passou por um processo de filtração para separar os resíduos sólidos nele contidos. Para ambos os fluidos, o processo de filtração foi o mesmo, porém, para o óleo mineral, antes da filtração foi aplicada a etapa de decantação, na qual o fluido permaneceu em repouso por três dias. Este procedimento adicional foi realizado de modo que as partículas metálicas fossem depositadas no fundo do recipiente por gravidade, para diminuir suas impurezas antes de serem filtradas. Para a fabricação do filtro, a garrafa PET foi cortada ao meio, o gargalo serviu de funil, no qual foi adicionada uma camada de algodão e, acima delas, as pedras, conforme indicado no diagrama esquemático apresentado na Figura 2. O fundo da garrafa serviu de recipiente para a coleta do fluido do corte filtrado.

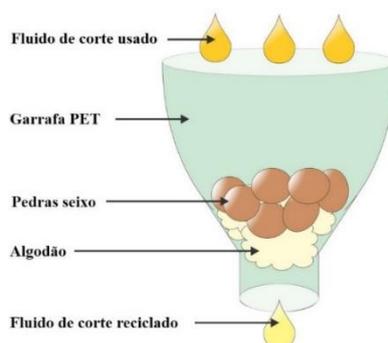


FIGURA 2. Diagrama esquemático do mesmo, identificando os materiais utilizados, bem como a trajetória do fluido utilizado, coletado durante o processo de filtração.

Após a filtração, os fluidos de corte foram armazenados em diferentes recipientes. Parte dessas foi conduzida para análises químicas e físicas em laboratório e a outra parte foi reservada para uso em testes de usinagem com fluido de corte reciclado. A Tabela 1 apresenta um resumo das condições das amostras de fluido de corte.

TABELA 1. Condições de amostras de fluido de corte.

<i>Condição da amostra</i>	<i>Descrição do fluido de corte</i>
MN	Óleo mineral novo
MR	Óleo mineral reciclado
EN	Óleo emulsionável novo
ER	Óleo emulsionável reciclado

2.3. Análises físico-químicas

O pH foi medido com o auxílio de um pHmetro de bancada, PHMETER JK-PHM-005, calibrado com soluções padrão de pH 4 e pH 7.

Para a verificação da massa específica, foi utilizada a técnica de picnometria, que consiste na medição do peso de um recipiente, com volume conhecido, no qual esse volume é calibrado de acordo com o peso da água pura no mesmo recipiente. Picnômetros têm baixo coeficiente de expansão, geralmente 50 ml de volume e boa precisão.

Para a determinação de água e sedimento, utilizou-se 10 ml da amostra em tubo de escala graduada de até 0,1 ml, que é centrifugado em tubo microprocessado centrífugo a 700 RPM, por 10 min, verificando assim o volume de água e sedimento precipitado.

A verificação da qualidade superficial da peça usinada na utilização de fluidos novos e reciclados também foi realizada por meio da medição da rugosidade média (R_a). Para isso, foi utilizado um rugosímetro SJ-201 Mitutoyo. Este possui uma faixa de medição máxima de 360 μm (-200 μm a + 160 μm) e curso de medição de 4 mm a uma velocidade de 0,5 mm/s. O parâmetro de rugosidade média R_a foi escolhido entre os demais, por ser o parâmetro mais utilizado na indústria e bem representar o perfil de rugosidade média de superfícies usinadas que possuem ranhuras de usinagem bem orientadas como no torneamento. Além disso, seu valor médio funciona como um parâmetro contínuo e menos sujeito a interferências de efeitos ocasionais. Seis medidas de rugosidade foram feitas na superfície de cada peça. Destes, o maior valor de rugosidade foi descartado e os outros cinco foram utilizados para avaliação dos resultados.

3. RESULTADOS

Neste tópico, os resultados das análises físico-químicas dos fluidos testados serão apresentados, comparados e discutidos. Além disso, os valores médios de rugosidade das peças usinadas serão comparados com os fluidos novos e reciclados e discutir a influência da condição do fluido de corte no acabamento destas.

3.1. Coleta e reciclagem dos fluidos de corte

O volume do fluido de corte coletado pelo recipiente foi de 350 ml, cerca de um terço, do volume total aplicado na operação de usinagem. O restante do volume total foi desperdiçado devido a alguns fatores, tais como: com o movimento de rotação da peça, o fluido mudou sua trajetória e foi liberado tangencialmente, essa porção do fluido não foi capturada; devido ao comprimento da peça, as primeiras porções do fluido aplicado no início do processo, ao escoar, caem no coletor.

Devido à ocorrência desses fatores de influência, o volume de fluido coletado para filtração não foi tão alto quanto o esperado, o que influenciou na quantidade de fluido reciclado. Porém, por mais que seja praticamente impossível obter um reaproveitamento de 100%, o sistema de captação pode ser aprimorado com um aparelho que possa coletar um volume maior de fluido levando em consideração as limitações geométricas do torno, mesmo para peças com comprimentos maiores.

3.2. Análise visual dos fluidos filtrados

A Figura 3, apresenta a fotografia do filtro aplicado nos ensaios, após o a conclusão de sua fabricação.



FIGURA 3. Fotografia do filtro confeccionado a partir de materiais de fácil acesso.

Após a filtragem dos fluidos coletados, constatou-se que várias partículas metálicas permaneceram depositadas no fundo do recipiente (Figura 4), o que comprova que a decantação prévia, embora seja uma técnica simples, foi eficaz na separação desses fragmentos. O período de repouso do líquido foi de três dias. Não foi necessário submeter a emulsão à decantação antes da filtração, pois sua viscosidade era muito inferior à do óleo mineral. Assim, para este caso, a filtração foi suficiente.



FIGURA 4. Fotografia do recipiente utilizado no processo de filtração, contendo deposição das partículas metálicas ao fundo como resultado do processo de decantação.

No caso da filtração do óleo mineral, devido à sua viscosidade, a filtração não era instantânea, devendo permanecer em repouso por 12 horas para que todo o fluido fosse completamente filtrado. Ainda assim, embora não tenha sido filtrado por várias camadas de materiais, o resultado final foi satisfatório, não apresentando visualmente nenhum tipo de impureza no interior do óleo. Nesse sistema de filtragem, o principal componente é o algodão, pois é responsável por evitar que partículas sólidas passem junto com o fluido. A avaliação das

condições do algodão ao final do processo é a prova de que a filtração foi realmente eficaz, conforme mostrado na Figura 5.

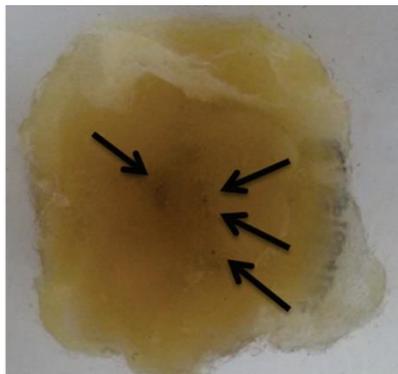


FIGURA 5. Fotografia do algodão após o processo de filtração do óleo mineral. As setas indicam as partículas sólidas, provenientes da operação de usinagem, retidas durante o processo.

Vários pontos escuros são observados em toda a área do algodão, que são as impurezas filtradas. A filtração da emulsão foi instantânea porque sua viscosidade, por ser próxima à da água, permite que esse fluido escoe facilmente pelo algodão. Da mesma forma, foi possível analisar o algodão (Figura 6) e afirmar que a filtração foi eficiente devido à quantidade de partículas retidas nele. Esses resultados estão de acordo com o que foi observado em pesquisas anteriores [3,7].



FIGURA 6. Fotografia do algodão após o processo de filtração do óleo de emulsão. As setas indicam as partículas sólidas, provenientes da operação de usinagem, retidas durante o processo.

Para obter evidências com maior grau de confiabilidade quanto à eficiência do filtro, foi realizada uma análise de água e sedimentos, cujos resultados serão apresentados no tópico 3.3.3.

3.3. Análises físico-químicas

3.3.1. Análise de pH

Os valores de pH obtidos para os fluidos analisados, novos e após filtração, são mostrados na Tabela 2.

TABELA 2. Resultados para análise de pH dos fluidos novos e após filtração.

<i>Condição do fluido / pH</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
MN	5.46	5.39	5.35	5.40	0.056
MR	6.05	5.97	5.99	6.00	0.042
EN	7.75	7.74	7.71	7.73	0.021
ER	7.25	7.22	7.18	7.22	0.035

Conforme demonstrado na Tabela 2, observa-se que os fluidos, mesmo após o primeiro uso e, posteriormente, a reciclagem, do processo de filtração, permaneceram dentro de suas características. Os óleos minerais mantiveram características ligeiramente ácidas (pH logo abaixo de 7), enquanto as emulsões mantiveram suas características levemente alcalinas (pH logo acima de 7). Esse comportamento está de acordo com o observado em pesquisas anteriores [15,20,21]. Houve pouca variação entre os valores de pH de fluidos de corte novos e usados, o que ocorreu, em parte, devido ao ataque de microbactérias, principalmente no período em que os fluidos estavam em repouso. Isso compreendeu desde o dia da coleta, filtragem, até a realização das análises, totalizando sete dias. Além disso, devido a esse período de descanso, observou-se uma mudança na cor da emulsão (água + óleo), de esbranquiçada para amarelada, conforme mostrado na Figura 7. Porém, mesmo assim, a dispersão encontrada foi bastante baixa, o que confirma o comportamento homogêneo das amostras estudadas.

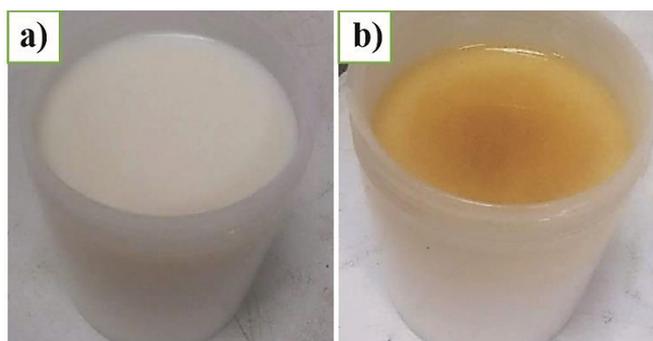


FIGURA 7. Fotografia com registro de amostras de fluido de corte emulsionável a) recém filtradas e b) sete dias após a filtração.

O tamanho das gotículas de óleo suspensas na fase contínua governa o aparecimento da emulsão, gotículas de óleo menores na emulsão tendem a ter maior bioestabilidade; entretanto, as emulsões com gotas maiores de óleo (como emulsões de cor branca leitosa) são mais fáceis de tratar e tendem a formar menos espuma, de acordo com a literatura [3]. Isso explica o fato de que pequenas partículas de óleo se separam da água, ou seja, uma mistura deixa de ser 100% homogênea, passando a apresentar mais de uma fase.

De acordo com outra literatura consultada [22], os valores de pH de soluções recém-preparadas tendem a diminuir nas primeiras horas de uso, devido à absorção de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera. A redução típica é de 0,5 no valor do pH. Portanto, é possível afirmar que, ao longo do tempo, a emulsão apresentará novas características e, conseqüentemente, variará, mesmo que pouco, algumas de suas propriedades. Outra pesquisa [4] aponta que o pH ideal para uma solução está entre 8,5 e 9,3. Apesar de novo, o fluido de corte em emulsão água não possui valor nesta faixa, porém apresentou um desempenho muito satisfatório na usinagem. Portanto, apesar das variações, no que diz respeito ao pH, este não influenciará negativamente no desempenho dos fluidos, porém, é importante atentar para o fator tempo, pois quanto mais tempo este fluido permanecer em repouso, sem ser reciclado, maior será o ataque de bactérias e conseqüentemente sua degradação.

3.3.2. Análise de densidade

Os valores de densidade obtidos para os fluidos analisados, novos e após filtração, são mostrados na Tabela 3.

TABELA 3. Resultados para análise de densidade (g/ml) dos fluidos novos e após filtração.

<i>Condição do fluido/Densidade (g/ml)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
MN	-	-	-	0.8790	-
MR	0.8700	0.8760	0.8700	0.8720	0.003
EN	-	-	-	0.9227	-
ER	0.9934	0.9941	0.9941	0.9939	0.000

Os valores de densidade para os novos fluidos de corte foram fornecidos pelos respectivos fabricantes, portanto, seus valores para as medidas 1, 2 e 3 não estão incluídos, apenas o valor final. As densidades dos fluidos de corte utilizados e filtrados foram coletadas três vezes e foi calculada uma média simples entre eles, bem como sua dispersão. Pode-se observar na Tabela 3 que houve uma pequena variação nas densidades. Os valores médios mostraram-se ligeiramente abaixo dos observados em estudo anterior [15], porém, embora este investigue fluidos semelhantes, seus elementos básicos e proporções variam. As emulsões apresentaram valores de densidade ligeiramente superiores aos dos óleos minerais. Isso é compreensível e, de certa forma, já esperado, pelo fato de as emulsões serem preparadas com uma pequena fração do óleo e a maior parte da água. Como a água tem uma densidade mais alta que o óleo, esses fluidos têm uma densidade mais alta que o óleo mineral.

3.3.3. Análise de água e sedimentos

Os valores de análise de água e sedimento obtidos para os fluidos analisados, novos e após filtração, são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Resultados para análise de água e sedimentos nos fluidos novos e após filtração.

<i>Condição do fluido / Água e sedimentos</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
MN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ER	Menor que 0.1 ml	Menor que 0.1 ml	Menor que 0.1 ml	0.00	0.00

A partir dos dados apresentados na Tabela 4, pode-se perceber que a filtração de ambos os fluidos de corte foi eficiente, atendendo às expectativas. Apenas o fluido de corte água-emulsão que apresentou certo teor de sedimentos, porém muito baixo, que pode ser considerado como, aproximadamente, zero. Essa avaliação permite que esse fluido seja reciclado sem prejudicar o processo. Esse resultado corrobora a hipótese de que mesmo um filtro simples, feito com materiais de fácil acesso, pode proporcionar uma reciclagem satisfatória do fluido de corte utilizado nos processos de usinagem. Além disso, esse processo se mostrou mais eficaz (e provavelmente mais barato) que os tanques de sedimentação conhecidos, que permitem a sedimentação de partículas pesadas e a flutuação de óleos (e sólidos leves), conforme destacado em literatura [3].

3.3.4. Análise de rugosidade média (Ra)

A Figura 8 representa um gráfico de colunas, que relaciona os valores de rugosidade Ra (μm), obtidos nas superfícies usinadas com a aplicação de fluidos novos e reciclados.

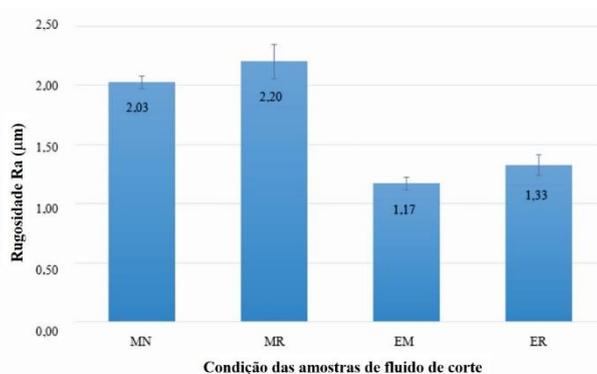


Figura 8. Valores médios de rugosidade Ra medidos nas superfícies usinadas com a aplicação de fluidos novos e reciclados.

Tomando como base os valores médios, pode-se observar na Figura 8 um aumento de 8,4% na rugosidade da superfície usinada, utilizando o novo fluido de corte mineral referente ao fluido reciclado. Além disso, há um aumento de 13,1% na rugosidade da superfície usinada com o novo fluido de corte por emulsão em relação ao reciclado. Percebe-se também que o fluido de corte em emulsão teve uma variação maior nos valores médios de rugosidade medidos, quando comparado ao fluido de corte mineral.

A Tabela 5 mostra os resultados da rugosidade média Ra (μm) medida nas superfícies usinadas com fluidos novos e reciclados, com seus respectivos desvios-padrão, além do coeficiente de variação desses resultados.

Tabela 5. Resultados da rugosidade Ra (μm) medidos nas superfícies usinadas com fluidos novos e reciclados.

<i>Condição do fluido / Ra (μm)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Coefficiente de variação (%)</i>
MN	2.06	2.00	1.97	2.10	2.03	2.03	0.05	2.71
MR	2.20	2.01	2.41	2.23	2.17	2.20	0.14	6.58
EN	1.19	1.15	1.12	1.25	1.16	1.17	0.05	4.70
ER	1.29	1.47	1.24	1.33	1.31	1.33	0.09	6.63

Os valores médios são consistentes com os medidos em estudo anterior [9], aplicando emulsão. Pode-se afirmar que o baixo desvio padrão (dispersão) obtido indica que os valores medidos tendem a se aproximar da média, como esperado, caracterizando um comportamento homogêneo entre as amostras. Para determinar se um desvio padrão é considerado baixo, é necessário calcular o coeficiente de variação, que é interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média. Nesse caso, todos os coeficientes de variação calculados podem ser considerados baixos, uma vez que esses valores estão bem abaixo da margem de 25%. Os fluidos reciclados foram os que apresentaram maior dispersão nos resultados, embora sejam valores baixos.

4. CONCLUSÃO

Um processo simples de reciclagem de fluidos de corte à base de óleos minerais e de emulsão, aplicado em operações de usinagem, foi investigado neste estudo. A fabricação de um filtro de baixo custo, utilizando materiais de fácil acesso, foi proposta para separar fragmentos sólidos e outras impurezas dos fluidos utilizados, tornando-os adequados para reutilização. As seguintes conclusões podem ser tiradas com base nas descobertas deste estudo:

- A eficiência de coleta do fluido de corte utilizado pode ser aumentada com a utilização de um reservatório de maior área, que se adapta às limitações geométricas do torno, reduzindo o desperdício devido ao movimento de rotação da peça causando dispersão do fluido.
- A filtração, embora utilizando um aparelho muito simples, proporcionou bons resultados, com um custo muito baixo, utilizando material de fácil acesso.
- As análises físico-químicas foram bastante satisfatórias, uma vez que os fluidos de corte puderam ser reciclados sem grandes variações em suas propriedades, bem como diminuição no desempenho de usinagem.
- Através da análise de rugosidade média (Ra) observa-se que, apesar de uma pequena dispersão dos resultados, considerando os volumes normalmente aplicados em ambiente industrial, são variações aceitáveis em função do tipo de processo. A dispersão dos resultados, também baixa, sugere que esses fluidos podem ser reciclados sem causar danos ao processo.
- Quanto à influência do tipo de fluido de corte na rugosidade das peças usinadas, para os fluidos selecionados, o óleo água-emulsão mostrou-se mais vantajoso, proporcionando melhor acabamento à superfície usinada, tanto para fluido novo quanto para fluido reciclado.
- Os fluidos de corte utilizados nos processos de torneamento podem ser reaproveitados, quando coletados e filtrados corretamente, sem contaminação, e desde que seu reaproveitamento seja em curto espaço de tempo.

5. AGRADECIMENTOS

Aos Laboratórios de Química da Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Campus Caraúbas, pelo apoio na realização das análises de caracterização de fluidos de corte.

REFERÊNCIAS

- [1] Longbottom, J.M.; Lanham, J.D.. Cutting temperature measurement while machining – a review. *Aircraft Engineering And Aerospace Technology*. (2005) [s.l.], v. 77, n. 2, p.122-130. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/00022660510585956>.
- [2] Trent, E.M. and Wright, P.K. *Metal Cutting*, 4th ed., Butterworth-Heinemann, Boston, MA. (2000), p. 464.
- [3] Sheng, P. S.; Oberwalleney, S.. Life-Cycle Planning of Cutting Fluids—A Review. *Journal Of Manufacturing Science And Engineering*. (1997) [s.l.], v. 119, n. 4, p. 791-800, 1. ASME International. <http://dx.doi.org/10.1115/1.2836826>.
- [4] Baradie, M.A. El. Cutting fluids: part I. characterisation.: Part I. Characterisation. *Journal Of Materials Processing Technology*. (1996a) [s.l.], v. 56, n. 1-4, p. 786-797. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)01892-1](http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136(95)01892-1).
- [5] Lawal, S.A.; Choudhury, I.A.; Nukman, Y.. Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals—A review. *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*. (2012) [s.l.], v. 52, n. 1, p. 1-12. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmachtools.2011.09.003>.
- [6] Vieira, J.M.; Machado, A.R.; Ezugwu, E.O.. Performance of cutting fluids during face milling of steels. *Journal Of Materials Processing Technology*. (2001) [s.l.], v. 116, n. 2-3, p. 244-251. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136\(01\)01010-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136(01)01010-x).
- [7] Feng, W.; Yin, Y.; Mendoza, M. L.; Wang, L.; Chen, P.; Liu, Y.; Cai, L.; Zhang, L. Oil recovery from waste cutting fluid via the combination of suspension crystallization and freeze-thaw processes. *Journal Of Cleaner Production*. (2018) [s.l.], v. 172, p. 481-487. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.281>.
- [8] Davim, J. P.; Gaitonde, V.N.; Karnik, S.R.. Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models. *Journal Of Materials Processing Technology*. (2008) [s.l.], v. 205, n. 1-3, p. 16-23. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.082>.
- [9] Debnath, S.; Reddy, M. M.; Yi, Q. S. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal Of Cleaner Production*. (2014) [s.l.], v. 83, p.33-47. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.071>.
- [10] Shashidhara, Y.M.; Jayaram, S.R.. Vegetable oils as a potential cutting fluid—An evolution. *Tribology International*. (2010) [s.l.], v. 43, n. 5-6, p. 1073-1081. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2009.12.065>.
- [11] Ozelcik, B.; Kuram, E.; Cetin, M. H.; Demirbas, E. Experimental investigations of vegetable based cutting fluids with extreme pressure during turning of AISI 304L. *Tribology International*. (2011) [s.l.], v. 44, n. 12, p. 1864-1871. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2011.07.012>.
- [12] Baradie, M.A. El. Cutting fluids: part ii. recycling and clean machining. : Part II. Recycling and clean machining. *Journal Of Materials Processing Technology*. (1996b) [s.l.], v. 56, n. 1-4, p. 798-806. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)01893-x](http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136(95)01893-x).
- [13] Cheryan, M; Rajagopalan, N. Membrane processing of oily streams. Wastewater treatment and waste reduction. *Journal Of Membrane Science*. (1998) [s.l.], v. 151, n. 1, p.13-28. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0376-7388\(98\)00190-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0376-7388(98)00190-2).
- [14] Lee, C.; Choi, Y.; Ha, J.; Woo, W. Eco-friendly technology for recycling of cutting fluids and metal chips: a review. : A review. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-green Technology*. (2017) [s.l.], v. 4, n. 4, p. 457-468. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40684-017-0051-9>.
- [15] Hecini, M.; Drouiche, N.; Bouchelaghem, O.. Recovery of cutting fluids used in polycrystalline silicon ingot slicing. *Journal Of Crystal Growth*. (2016) [s.l.], v. 453, p. 143-150. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2016.08.035>.
- [16] Skerlos, S. J.; Hayes, K. F.; Clarens, A. F.; Zhao, F. Current advances in sustainable Metalworking Fluids research. *International Journal Of Sustainable Manufacturing*. (2008) [s.l.], v. 1, n. 1/2, p.180-202. Inderscience Publishers. <http://dx.doi.org/10.1504/ijsm.2008.019233>.
- [17] Skerlos, S. J.; Rajagopalan, N.; Devor, R. E.; Kapoor, Shiv G.; Angspatt, V. D. Ingredient-Wise Study of Flux Characteristics in the Ceramic Membrane Filtration of Uncontaminated Synthetic Metalworking Fluids, Part 1: experimental investigation of flux decline. : Experimental Investigation of Flux Decline. *Journal Of*

- Manufacturing Science And Engineering*. (1999) [s.l.], v. 122, n. 4, p. 739-745. ASME International. <http://dx.doi.org/10.1115/1.1286132>.
- [18] Bøllon, J.; Cárdenas, A.; Sánchez, J.. Emulsion Filtration Through Surface Modified Ceramic Membranes. *Journal Of Dispersion Science And Technology*. (2002) [s.l.], v. 23, n. 1-3, p.269-277. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01932690208984203>.
- [19] Rajagopalan, N.K.; Rusk, T.; Dianovsky, M. Purification of semi-synthetic metalworking fluids by microfiltration. *Tribology and Lubrication Technology*. (2004) Vol. 60, No. 8. pp.38–44.
- [20] Murić, A.; Petrinić, I.; Christensen, M. L. Comparison of ceramic and polymeric ultrafiltration membranes for treating wastewater from metalworking industry. *Chemical Engineering Journal*. (2014) [s.l.], v. 255, p.403-410. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.009>.
- [21] Feng, W.; Yin, Y.; Mendoza, M. L.; Wang, L.; Chen, X.; Liu, Y.; Cai, L.; Zhang, L.. Freeze-thaw method for oil recovery from waste cutting fluid without chemical additions. *Journal Of Cleaner Production*. (2017) [s.l.], v. 148, p. 84-89. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.156>.
- [22] Runge, P. RF; Duarte, G. N. *Lubrificantes nas indústrias–produção, manutenção e controle*. Ed. Triboconcept, Cotia. (1990), p.323.