

ANÁLISE SOBRE A INFLUÊNCIA DE APLICAÇÃO DE NANOMATERIAIS DE CARBONO NO FLUIDO DE CORTE APLICADO NA USINAGEM DO ALUMÍNIO COMERCIAL

Bruno Júnio Quaresma Rezende, brunojunio.rezende@gmail.com¹
Matheus Philippe Martins da Cruz, matheus-philippe2009@hotmail.com¹
Matheus Hernane Sena Costa, mhscosta@hotmail.com¹
Gean Flávio Soares de Melo Nogueira, geanflavio@gmail.com¹
Gabriel Vitor Costa Ferreira, gabrielvcostaf@hotmail.com¹
Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba460@hotmail.com¹
Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br¹

¹Centro Unisitário Una, Engenharia Mecânica, Rua Aimorés 451, Lourdes, Belo Horizonte,

Resumo: Este trabalho propôs a utilização da nanotecnologia buscando melhora no processo de usinagem da liga alumínio-silício que é considerada como um desafio, devido poder abrasivo do silício sobre a ferramenta de corte, que gera altas concentrações de temperatura na zona de corte. Foi investigado a influência da aplicação dos nanomateriais de carbono como aditivos para o fluido de corte utilizado no torneamento com ferramenta de metal duro em ligas de alumínio. A aplicação de nanomateriais como aditivos para fluidos de corte utilizado na usinagem apresentou um grande potencial para redução dos custos de fabricação, pois promoveu a redução do coeficiente de atrito. Amostras de nanofluido de corte produzidas com derivados de grafeno ofereceram acréscimo ao poder de lubrificação do fluido de corte, proporcionando melhora de 8,7% no acabamento superficial em relação ao fluido de corte comercial não modificado.

Palavras-chave: Usinagem, Fluido de corte, Grafeno, Nanotubos de carbono, Liga alumínio-silício.

1. INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio são utilizadas em uma série de indústrias em razão de sua resistência mecânica, baixa densidade e maior facilidade de usinagem entre os metais. A adição do silício ao alumínio decresce o seu ponto de fusão e melhora a resistência ao desgaste, por isso são muito empregadas na fabricação de componentes de motores de combustão e cabeçotes, os quais exigem fluidez e baixa tendência de contração em fundição sob pressão. A fundição sob pressão é um processo capaz de produzir peças relativamente complexas e com excelente acabamento superficial em elevado volume de produção. Dentre os processos industriais de transformação de metais, é um dos mais severos quanto à solicitação sobre o ferramental, no qual se podem verificar velocidades de fluxo de 40 m/s e gradientes de temperatura de até 1000°C/cm. Como essas solicitações são necessárias para se obter altas taxas de produção, elas também acabam limitando a vida das ferramentas.

Dentre os principais mecanismos que levam ao desgaste e perda do ferramental, pode-se destacar: erosão causada pelas altas velocidades com que o metal fundido colide com as cavidades da ferramenta; trincas térmicas causadas por fadiga térmica devido ao aquecimento e resfriamento alternado da superfície da ferramenta durante a fundição; e adesão/ corrosão causada pela interação química entre a liga fundida e a ferramenta durante o preenchimento e solidificação (Saturnino, 2004). Segundo Santos (2007), são adicionados aditivos como lubrificantes sólidos ao fluido de corte para refrigerar e lubrificar a usinagem do alumínio-silício, tornando viável a utilização do mesmo quando é necessário atender aos objetivos importantes de projetos, como peças com faixa de tolerâncias apertadas, peças com paredes estreitas que estão suscetíveis a dilatações térmicas e bom acabamento superficial.

Observando o desafio da indústria de usinagem, que sempre demanda por alta taxa de produção e necessita obter alta qualidade em termos de precisão dimensional e acabamento superficial das peças, o objetivo desse trabalho foi um estudo de aplicação de nanomateriais (grafeno e nanotubos de carbono) como aditivos para fluido de corte utilizado nos processos de usinagem que geram altas concentrações de temperatura, provocando resultados indesejáveis no produto final, além de elevar o custo de produção.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para estudar a influência da aplicação da nanotecnologia no processo de usinagem, prepararam-se amostras de nanofluidos e realizaram-se testes experimentais no torno mecânico para conferir as propriedades do fluido de corte antes e após a adição do nanomaterial.

Para o desenvolvimento da pesquisa, quatro nanoestruturas de carbono, mais especificamente grafeno, grafeno oxidado, nanotubo de carbono de paredes múltiplas e nanotubo de carbono de paredes múltiplas oxidado, foram aplicadas na produção do fluido de corte. Os nanomateriais de carbono foram cedidos pelo Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). 10 mL de amostra de cada nanomaterial foram produzidos a partir da dispersão em ultrassom de banho por 4 horas.

O fluido de corte escolhido para realização deste trabalho foi o fluido ECOCOOL MH 6000 produzido e cedido empresa Fuchs do Brasil S.A. O fluido é um óleo solúvel sintético indicado para usinagem severa da liga alumínio-silício com concentração entre 15% em água potável.

Para o estudo das propriedades mencionadas das nanopartículas (lubrificação e condutividade térmica) é desejável a obtenção de suspensões estáveis dos nanomateriais no fluido de corte, conforme Pacheco (2016). A estabilidade dessas nanopartículas em fluidos é um desafio. Visando aprimorar a estabilidade das dispersões, foi feito um lote de amostras dos nanofluidos com o dispersante químico chamado Triton. O dispersante foi adicionado a uma concentração de 1% nas quatro amostras adicionais, equivalendo a 94µL de Triton para cada 10 mL. As concentrações e os pesos dos materiais adicionados às amostras foram conforme Tab. 1 a seguir.

Tabela 1: Configuração das amostras para o teste de dispersão das nanopartículas no fluido de corte.

Nanomaterial	Peso (mg)	Fluido de corte (ml)	Dispersante (µl)
Grafeno (G)	1,00	10	/
Grafeno c/ dispersante (G-D)	1,05	9,99906	0,94
Grafeno Oxidado (GO)	0,98	10	/
Grafeno Oxidado c/ dispersante (GO-D)	1,04	9,99906	0,94
Nanotubo de Carbono (NT)	0,95	10	/
Nanotubo de Carbono c/ dispersante (NT-D)	0,98	9,99906	0,94
Nanotubo de Carbono Oxidado (NTO)	1,02	10	/
Nanotubo de Carbono Oxidado c/ dispersante (NTO-D)	0,95	9,99906	0,94

Para obter uma boa eficiência de aplicação dos nanofluidos de corte, foi montado um sistema de aplicação por seringas hospitalares. O sistema foi composto por uma seringa, que bombeava o fluido; um tubo de PCV, que tinha a função de conduzir o fluido; um suporte de chapa zincada, que tinha a função de segurar a agulha de forma estática; e uma agulha que foi apontada para a superfície de escorregamento do cavaco no inserto de metal duro. A Fig. 1 mostra uma foto teste de aplicação do nanofluido com sistema montado.

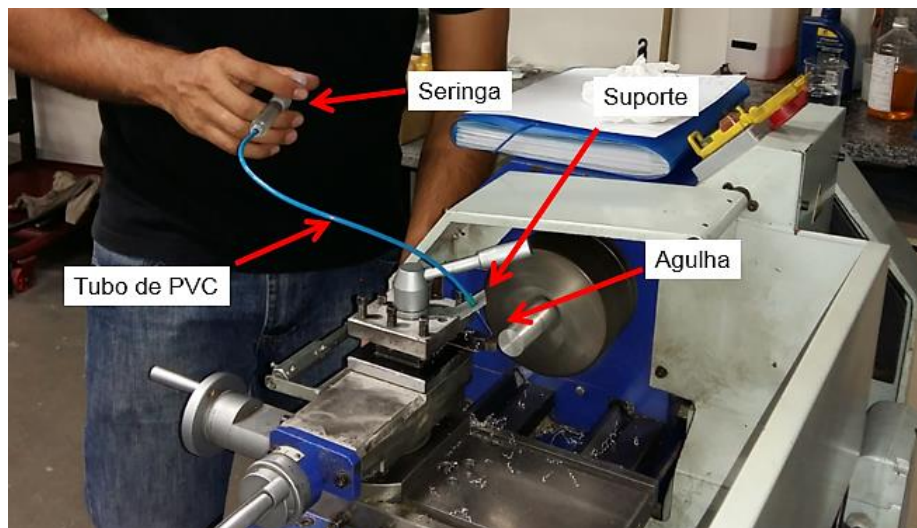
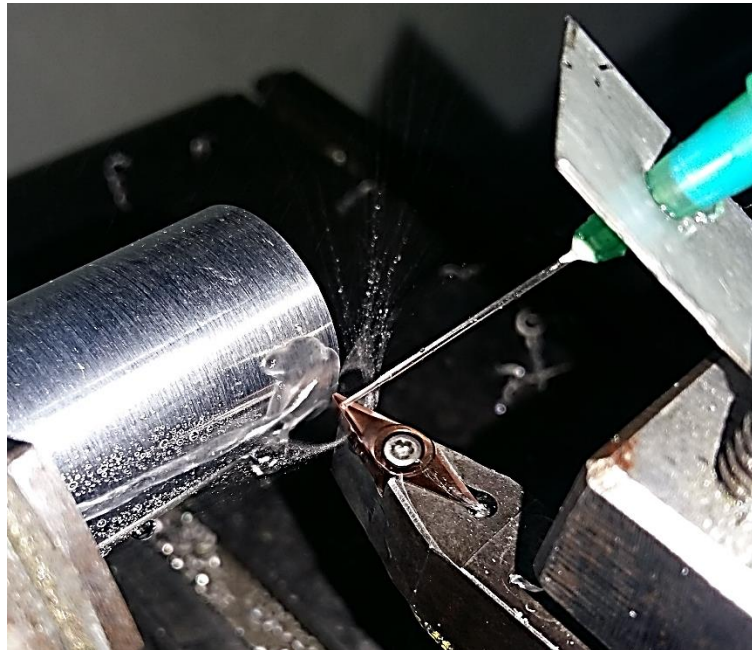


Figura 1: Sistema desenvolvido para aplicação do fluido de corte.

Na Fig. 2 mostra-se a projeção do jato de fluido de corte utilizando o sistema.

**Figura 2: Projeção do jato de fluido de corte utilizando o sistema.**

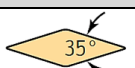
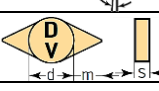
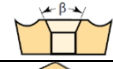
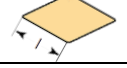
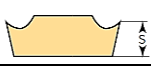
Os parâmetros de usinagem utilizados no experimento são apresentados na Tab. 2. Os parâmetros foram definidos para configurar uma usinagem severa para condições do processo e condições de máquina.

Tabela 2: Parâmetros de usinagem.

Parâmetros de usinagem usados no experimento			
Velocidade de Rotação da Peça - V_c (RPM)	Vel. Avanço - f (mm/rotação)	Profundidade - P (mm)	Comprimento usinado - L (mm)
1000	0,14	1,0	20

Para escolha do inserto de metal duro intercambiável demonstrado na Fig. 3-a) levou-se em consideração a compatibilidade com o porta-ferramenta, o material a ser usinado e com os critérios de indicação do catálogo da Walter. Todos os critérios foram expostos na Tab. 3 a seguir.

Tabela 3: Inserto de metal duro

Passo-a-passo para seleção do inserto - Catálogo Walter				
Passo	Características do Inserto		Descrição	Cód.
1°	Formato do inserto		Ângulo = 35°	V
2°	Ângulo de saída		Ângulo = 7°	C
3°	Tolerâncias dimensionais (mm)		$\pm 0,025$ $\pm 0,025$ $\pm 0,130$	G
4°	Caract. Geometria de fixação		$\beta = 40-60^\circ$	T
5°	Compr. aresta de corte l (mm)		$l=11\text{ mm}$	11
6°	Espessura do inserto S (mm)		$S=3,18$	03.

7°		Raio de ponta r (mm)		r=0,4	04.
12°	1.	Forma básica			P
	2.	Faixa de quebra dos cavacos		Usinagem média	M
	3.	Versão da aresta	1  fina		2
Código descritivo das classes de metal duro – Torneamento					
13°		Walter			W
	1.	Tipo de revestimento		Revestimento em PVD	X
	2.	Aplicação principal		Metais não ferrosos	N
	3.	Campo de aplicação ISSO		Alta resistência ao desgaste	10

Conforme indicado pelo catálogo do fabricante Walter, a denominação do inserto é VCGT110304-PM2 WXN10, demonstrando na Figura 3-b). O inserto possui face de escorregamento do cavaco polida, gerando menos adesão dos cavacos na ferramenta, sendo apropriado para usinagem de alumínio.

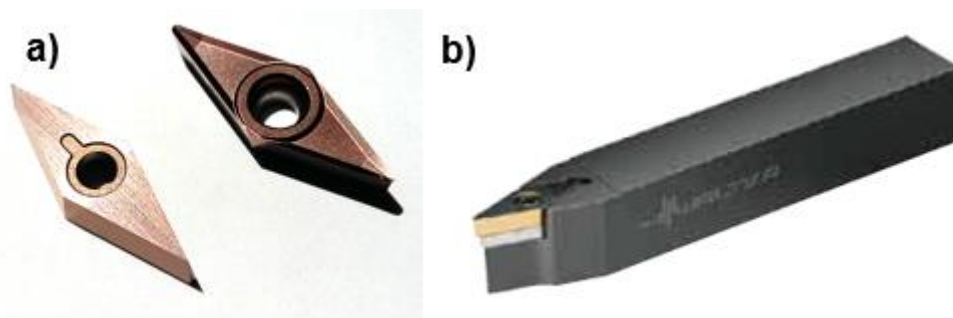


Figura 3: Ferramentas: a) Inserto de metal duro; b) Porta-ferramenta.

Após cada corpo de prova ser usinado, foi utilizado o rugosímetro para coletar os valores de rugosidade média (R_a), rugosidade quadrática (R_q) e rugosidade total (R_z) de cada região. Os valores foram coletados em 4 pontos distintos, sendo os pontos separados em torno de 90° um do outro. Este processo foi repetido até terminar todos os corpos de prova. Para evitar erros na mediação, a coleta dos dados foi feita no próprio torno mecânico. Conforme mostra a Fig. 2.

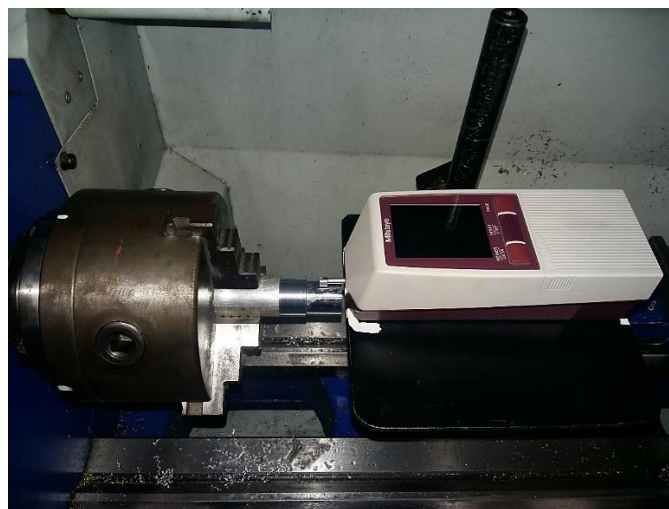


Figura 2: Coletando a rugosidade da peça.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Após os processos de preparação das amostras e de dispersão dos nanomateriais, avaliaram-se visualmente os resultados das dispersões nas amostras de fluido de corte conforme mostrado nas Fig. 3 e 4.

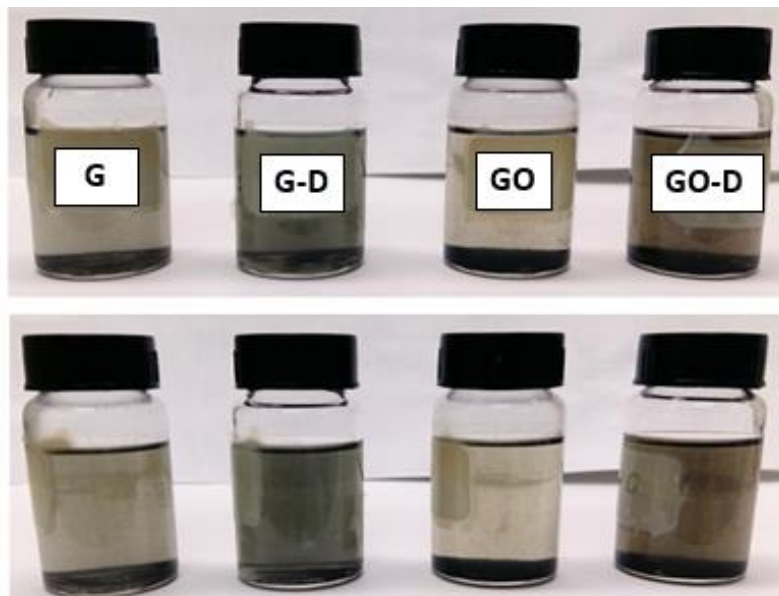


Figura 3: Amostras dos fluidos de corte produzidos com derivados de grafeno: (G) Grafeno; (G-D) Grafeno com dispersante; (GO) Grafeno oxidado; (GO-D) Grafeno oxidado com dispersante.

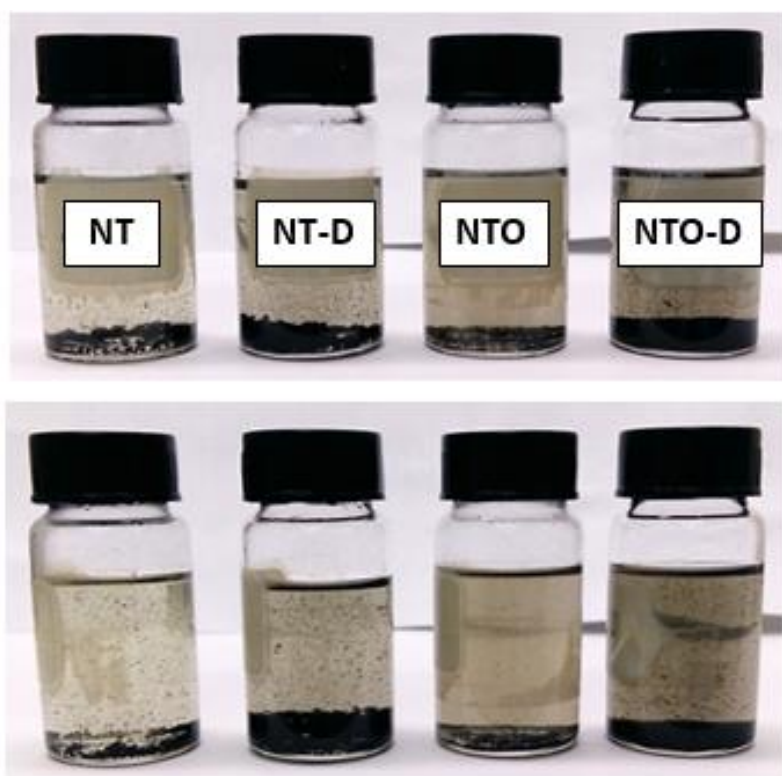


Figura 4: Amostras dos fluidos de corte produzidos com derivados de nanotubos de carbono: (NT) Nanotubo de carbono; (NT-D) Nanotubo de carbono com dispersante; (NTO) Nanotubo de carbono oxidado; (NTO-D) Nanotubo de carbono oxidado com dispersante

Conforme Fig 3 e 4, notou-se um baixo rendimento nas dispersões dos nanomateriais, com uma quantidade considerável dos mesmos precipitada no fundo dos recipientes.

Observa-se, entretanto, uma melhor dispersão das amostras G-D e GO-D, que apresentaram uma tonalidade mais escura após o procedimento de ultrassom.

Os resultados das medições de rugosidade são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados das medições das rugosidades dos corpos de provas

Resultados das medições das rugosidades dos copos de provas						
Nanofluido de Grafeno (G)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	1,959	2,034	1,915	1,922	1,96	0,04
Rq	2,353	2,421	2,274	2,304	2,34	0,05
Rz	9,234	9,84	9,34	9,076	9,37	0,23
Nanofluido de Grafeno com Dispersante (G - D)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	1,726	1,78	1,781	1,755	1,76	0,02
Rq	2,067	2,173	2,14	2,112	2,12	0,03
Rz	8,353	9,211	8,794	8,445	8,70	0,30
Nanofluido de Grafeno Oxidado (GO)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	1,864	1,941	1,936	1,94	1,92	0,03
Rq	2,247	2,346	2,348	2,335	2,32	0,04
Rz	8,562	8,826	9,61	9,148	9,04	0,34
Nanofluido de Grafeno Oxidado com Dispersante (GO - D)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	1,71	1,72	1,784	1,671	1,72	0,03
Rq	2,069	2,087	2,127	2,002	2,07	0,04
Rz	8,93	8,939	8,888	8,402	8,79	0,19
Nanofluido de Nanotubos de Grafeno (NT)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	2,055	2,446	1,973	1,916	2,10	0,17
Rq	2,464	2,898	2,341	2,382	2,52	0,19
Rz	9,936	11,486	9,112	9,429	9,99	0,75
Nanofluido de Nanotubos de Grafeno com Dispersante (NT - D)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	2,151	1,97	2,107	1,938	2,04	0,09
Rq	2,567	2,347	2,532	2,321	2,44	0,11
Rz	10,494	9,262	10,219	9,197	9,79	0,56
Nanofluido de Nanotubos de Grafeno Oxidado (NTO)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	2,002	2,121	2,109	2,153	2,10	0,05
Rq	2,367	2,522	2,512	2,551	2,49	0,06
Rz	9,133	10,14	10,016	10,362	9,91	0,39
Nanofluido de Nanotubos de Grafeno Oxidado com Dispersante (NTO - D)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	1,934	1,878	1,927	1,896	1,91	0,02
Rq	2,304	2,226	2,273	2,264	2,27	0,02
Rz	9,505	8,566	8,597	8,476	8,79	0,36
Fluido de Corte Comercial não modificado (CM)						
Rugosidade [μ m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	Desv. Médio
Ra	1,843	1,988	1,857	1,803	1,87	0,06
Rq	2,257	2,277	2,262	2,173	2,24	0,03
Rz	9,554	9,792	9,375	9,078	9,45	0,22

Nas Fig. 5 a 7, são apresentados gráficos dos resultados das medições das rugosidade dos corpos de prova usinados utilizando os mesmos parâmetros de corte e com as amostras de fluido de cortes preparados: nanofluido de grafeno (G), nanofluido de grafeno e dispersante (G-D), nanofluido de grafeno oxidado (GO), nanofluido de grafeno oxidado com dispersante (GO-D), nanofluido de nanotubos de grafeno (NT), nanofluido de nanotubos de grafeno com dispersante (NT-D), nanofluido de nanotubos de grafeno oxidado (NTO), nanofluido de nanotubos de grafeno com dispersante (NTO-D) e com o fluido de corte comercial não modificado (CM).

A Fig. 5, que apresenta os valores da rugosidade média (R_a) resultante de cada aplicação das amostras do fluido de corte, mostra a presença de variações consideráveis de R_a nos testes. Nela verifica-se um melhor resultado para a amostra GO-D que apresentou menor R_a dentre todos fluidos utilizados. Verifica-se que o valor de R_a de GO-D foi 8,72% menor quando comparado com o fluido de corte comercial não modificado (CM). Observou-se também que a amostra G-D obteve o menor desvio padrão médio de todas as amostras e o R_a foi 6,25% menor que o valor encontrando

em CM. As mostras NT e NTO resultaram juntas em um aumento de R_a de 12,3% em relação a CM, e NT apresentou o maior desvio padrão de R_a .

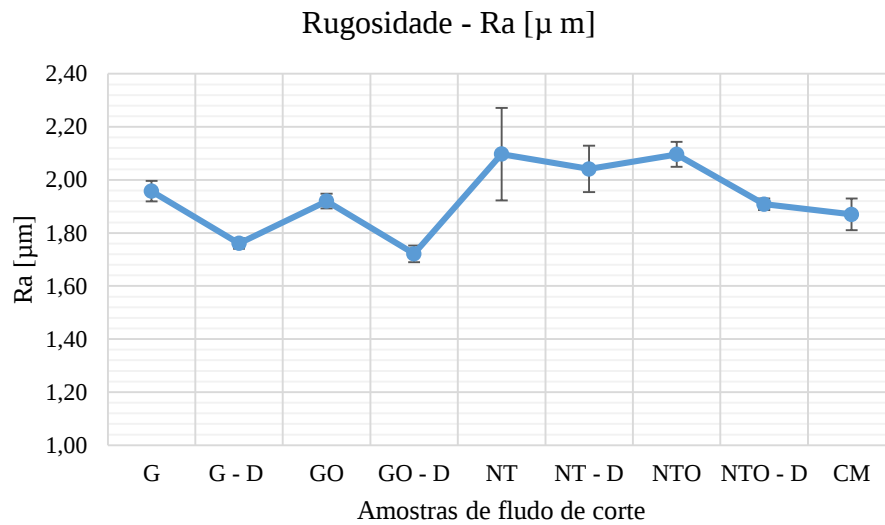


Figura 5: Gráfico dos resultados da rugosidade média.

Na Fig. 6, nota-se pela curva do gráfico que os resultados de R_q tiveram um comportamento semelhante aos resultados obtidos de R_a . As amostras de G-D e GO-D apresentaram resultados melhores de quando comparados com a amostra de fluido de corte não modificado.

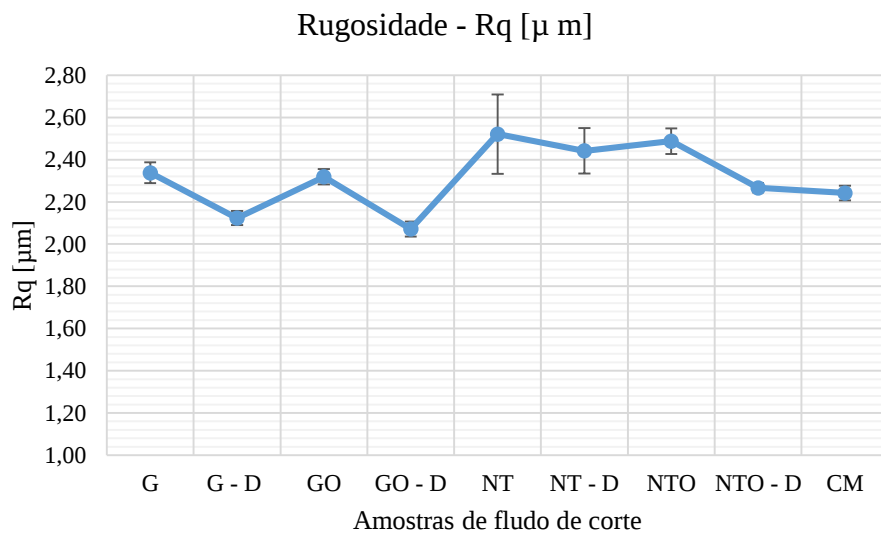


Figura 6: Gráficos dos resultados da rugosidade quadrática média

Na Fig. 7, nota-se um resultado melhor para os diferentes nanomateriais relacionados a rugosidade total (R_z). Mais de 62% das amostras de nanofluidos obtiveram valores de R_z inferior ao do fluido não modificado.

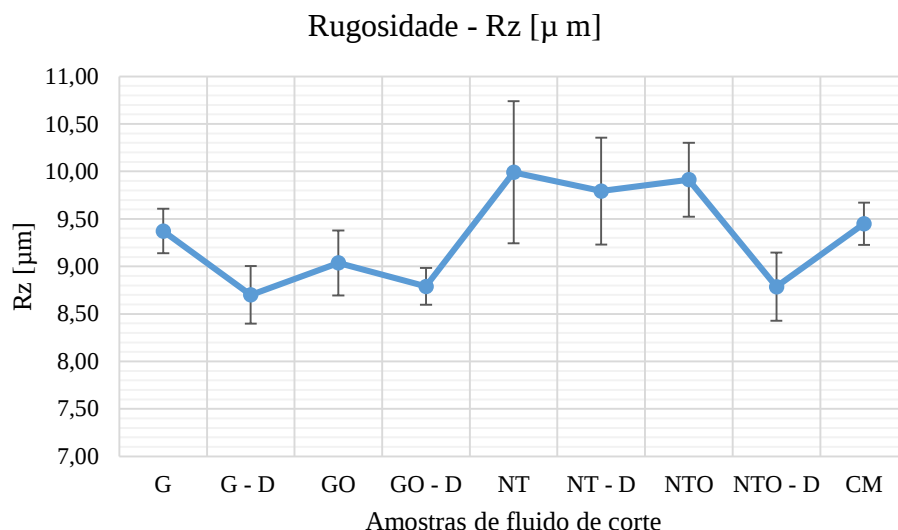


Figura 7: Gráfico dos resultados da rugosidade total média.

Todas as amostras que utilizaram o grafeno (G; G-D; GO; GO-D) junto com a amostra NTO-D apresentaram resultados melhores que CM, a amostra NTO-D que não teve bons resultados nos outros testes de rugosidade, mas neste apresentou resultado igual amostras GO-D. A amostra com o nanomaterial grafeno com adição de dispersante obteve o melhor resultado de R_z , o resultado foi 8,62% menor que a amostra de fluido não modificado.

As amostras de nanofluido que utilizaram derivados de grafeno obtiveram resultados melhores quando comparados aos resultados das amostras que utilizaram nanotubos nas condições testadas. Dentre as amostras de nanofluidos de grafeno, as amostras com dispersante obtiveram melhores resultados. Esse resultado indica que a qualidade da dispersão é um fator de grande importância para se obter melhores resultados na usinagem do Al-Si com os parâmetros de corte estabelecidos.

4. CONCLUSÃO

Pelos métodos utilizados neste trabalho, a aplicação de nanomateriais como aditivos para fluido de corte utilizado na usinagem apresentou um grande potencial para redução dos custos de produção, tendo resultados de qualidade caracterizados pelos parâmetros de rugosidade superficial melhores em 8,7%, quando comparados com fluido de corte não modificado.

A utilização de nanomateriais proporcionou condições favoráveis para superfície usinada, melhorando os parâmetros superficiais no acabamento da peça durante os testes realizados. As nanopartículas de grafeno apresentaram melhores reduções de rugosidades [R_a , R_q e R_z], reduzindo os coeficientes de atrito quando aplicados em um fluido de corte sintético.

O coeficiente de atrito não apresentou alterações significativas com a presença das nanopartículas de nanotubos no óleo emulsionado, sendo esse comportamento atribuído ao estado de aglomeração das mesmas.

A dispersão demonstrou ser um fator crucial para se obter melhores resultados nos testes, pois as amostras que indicaram melhores dispersões obtiveram melhores resultados. A água presente na emulsão no fluido de corte foi um fator que dificultou a dispersão dos nanomateriais.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecer pelo apoio do Professor Dr. Paulo Sérgio Martins, me incentivou, inspirou e acreditou no desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de agradecer a Clascídia Furtado, Tiago Serodre e em especial a Flávia Pacheco do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear por fornecer os nanomateriais, permitir utilizar a infraestrutura e auxiliar na manipulação e preparação das dispersões dos nanomateriais de carbono.

Ao Valtencir Galhardo representada comercial marca Fuchs Lubrificantes do Brasil LTDA. Por fornecer o fluido de corte utilizado do trabalho.

E ao Amauri Suga vendedor técnico Walter Brasil, que ajudou e contribuiu com os insertos para a realização dos ensaios deste trabalho.

E a equipe do Instituto Politécnico do Centro Universitário UNA que através da sua colaboração possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Munitor, L.H., Análise da Influência do Fluido de Corte no Desempenho da Usinagem HSM em Liga de Alumínio Silício Hipoeutética. Monografia de Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, pp. 20. 2013.
- Santos, S.C., Sales, W.F., Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais. 1 ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda. pp 246.2007.
- Flavio, A.C. Ávila, A.V. Tribological Investigation of Nanographite Platelets as Additive in Anti-Wear Lubricant: a Top-Down Approach. Artigo Científico Departamento de Engenharia UFMG, 2013.
- Pacheco, F.G., Funcionalização e Dispersão de Nanoestruturas de Carbono em Óleo Vegetal, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, tese de doutorado, 2016.
- Saturnino, L.J.M., Desenvolvimento de Ferramentas para Definição, Análise e Avaliação de Desempenho de Veículos Automotivos, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, PUC Minas, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2004.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS ON THE INFLUENCE OF APPLICATION OF CARBON NANOMATERIALS IN CUTTING FLUID APPLIED TO COMMERCIAL ALUMINUM MACHINING

Bruno Júnio Quaresma Rezende, brunojunio.rezende@gmail.com¹

Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba460@hotmail.com¹

Matheus Philippe Martins da Cruz, matheus-philippe2009@hotmail.com¹

Matheus Costa, theusmhsc@hotmail.com¹

Gean Flávio Soares de Melo Nogueira, geanflavio@gmail.com¹

Gabriel Vitor Costa Ferreira, gabrielvcostaf@hotmail.com¹

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br¹

¹UNA University Center, Mechanical Engineering, Aimorés Street, 1451, Lourdes, CEP. 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais - Brazil.

Abstract. *This work proposes the use of nanotechnology seeking improvement in the machining process of aluminum-silicon alloy, which is considered a challenge, due to the silicon's abrasive power on the cutting tool, which generates high temperature concentrations in the cutting zone. The influence of applying carbon nanomaterials as additives for the cutting fluid used in turning with a carbide tool in aluminum alloys was investigated. The application of nanomaterials as additives for cutting fluids presented a great potential for reducing machining costs during manufacturing process, since it promoted the reduction of friction coefficient. Cutting nanofluid samples produced with graphene derivatives provided added lubricity of the cutting fluid, providing an 8.7% improvement in surface finish over unmodified commercial cutting fluids.*

Keywords: *Machining, Cutting fluid, Graphene, Carbon nanotubes, Aluminum-silicon alloy.*