



Análise da usinagem sustentável da liga de alumínio 6351-t6 pela técnica do gotejamento

Washington Luis Lima Pereira¹; Antonio Santos Araújo Junior²; Mauro Araújo Medeiros³; José Aécio Gomes de Sousa⁴; Leandro Ribeiro da Conceição⁵; Luciano Anderson Birino Pinheiro⁶; Antônio Merval Machado Tavares⁷; Magno Sousa França⁸; Darcilius Marcus de Sousa⁹;

Como Citar:

PEREIRA, Washington Luis Lima et al.
Análise da usinagem sustentável da liga de alumínio 6351-t6 pela técnica do gotejamento. Revista Sociedade Científica, vol. 9, n. 1, p. 435-448, 2026.
<https://doi.org/10.61411/rsc2026125819>

DOI: 10.61411/rsc2026125819

Área do conhecimento:

Engenharias

Sub-área:

Engenharia Mecânica, Processo de Fabricação

Palavras-chave: Usinabilidade; Torneamento; Liga de alumínio 6351-T6; Óleo vegetal; Mínima quantidade de lubrificação.

Publicado: 10 de março de 2026.

Resumo

O presente estudo analisa a usinabilidade da liga alumínio-silício 6351-T6 por meio do processo de torneamento cilíndrico externo. Foram conduzidos experimentos considerando diferentes condições de velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, tendo como variáveis de resposta a potência de usinagem, a temperatura de corte e a rugosidade superficial. As operações de torneamento foram realizadas sob três condições de lubrificação: usinagem a seco, aplicação de óleo comercial de milho e uso do óleo industrial Quimatic 2, empregando-se a técnica de mínima quantidade de fluido por gotejamento. Os resultados obtidos indicaram que a utilização da mínima quantidade de fluido é tecnicamente viável, proporcionando desempenho comparável ao método convencional, além de evidenciar que o óleo vegetal pode substituir o óleo industrial sem prejuízos significativos aos parâmetros avaliados, configurando-se como uma alternativa mais sustentável para o processo de usinagem.

¹IFMA, São Luis, Brasil. Email: ✕

²IFMA, São Luis, Brasil. Email: ✕

³IFMA, São Luis, Brasil Email: ✕

⁴UTFPR, Curitiba, Brasil. Email: ✕

⁵IFMA, São Luis, Brasil. Email: ✕

⁶IFMA, São Luis, Brasil. Email: ✕

⁷IFMA, São Luis, Brasil. Email: ✕

⁸IFMA, São Luis, Brasil. Email: ✕

⁹IFMA, São Luis, Brasil. Email: ✕



Analysis of sustainable machining of 6351-t6 aluminum alloy with drip technique

Abstract

This study analyzes the machinability of the aluminum–silicon alloy 6351-T6 through the external cylindrical turning process. Experimental tests were conducted under different cutting speed, feed rate, and depth of cut conditions, considering cutting power, cutting temperature, and surface roughness as response variables. The turning operations were performed under three lubrication conditions: dry machining, application of commercial corn oil, and use of the industrial oil Quimatic 2, employing a minimum quantity lubrication technique by dripping. The results indicated that the use of minimum quantity lubrication is technically feasible, providing performance comparable to conventional lubrication methods, and demonstrated that vegetable oil can replace industrial oil without significant deterioration of the evaluated parameters, thus representing a more sustainable alternative for machining processes.

Keywords: Machinability; Turning; 6351-T6 aluminum alloy; Vegetable oil; Minimum amount of lubrication.

1. Introdução

Observa-se, de forma contínua, uma atenção voltada à melhoria de métodos, processos e aspectos técnicos dos produtos manufaturados. Os processos de fabricação mecânica buscam, cada vez mais, a adequada interação entre máquina e ferramenta, visando à obtenção de peças com melhor qualidade superficial e maior produtividade nas etapas envolvidas [1].

No contexto da usinagem, o torneamento cilíndrico externo destaca-se como uma das operações mais relevantes, pois possibilita condições para oferecer versatilidade na fabricação de peças em diversas formas geométricas. Também, permite modelar peças, independentemente de sua complexidade, com o uso de máquinas com comando



numérico computadorizado (CNC), e altas taxas de remoção de material, tornando o processo mais utilizado no setor produtivo [2].

Os fluidos de corte exercem papel fundamental nos processos de usinagem, sendo empregados com o objetivo de lubrificar, resfriar e facilitar a remoção dos cavacos durante a operação. Quando aplicados de forma adequada, contribuem significativamente para a melhoria do acabamento superficial, o aumento da vida útil da ferramenta, o controle da temperatura na zona de corte e, conseqüentemente, para o incremento da produtividade do processo [3].

Entretanto, com o aumento das exigências ambientais e o endurecimento da legislação relacionada ao descarte de resíduos industriais, tornou-se necessária a adoção de práticas sustentáveis nos processos de fabricação. Nesse cenário, a gestão do ciclo de vida dos fluidos de corte, desde sua aplicação até o descarte final, passou a representar um fator relevante para a indústria mecânica contemporânea, tanto do ponto de vista ambiental quanto ocupacional [4].

Dessa forma, visando à redução do impacto poluente, optou-se pelo uso de fluidos com menor potencial agressivo ao meio ambiente. Adicionalmente, ressalta-se a utilização da mínima quantidade de fluido (MQF) por meio da técnica de gotejamento na zona de corte, estratégia que tem se demonstrado viável ao processo [5].

Além disso, tais abordagens podem contribuir para a redução de custos operacionais e para a minimização dos riscos à saúde dos operadores, tornando-se tecnicamente aplicáveis e economicamente atrativas para o setor industrial [6,7].

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os resultados de potência na usinagem, temperatura e rugosidade no torneamento da liga de alumínio-silício 6351-T6, avaliando a viabilidade da substituição de um fluido convencional amplamente utilizado na indústria, o Quimatic 2, por um fluido de origem vegetal à base de milho, sob diferentes condições de velocidade de corte, avanço e profundidade de corte.



2. Metodologia

O experimento foi conduzido considerando três condições de usinagem: a seco, com aplicação de óleo vegetal à base de milho e com aplicação do fluido industrial Quimatic 2. Para cada condição experimental foram realizadas réplica e tréplica, visando garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. Posteriormente, os dados coletados foram analisados por meio de ferramentas estatísticas, com o objetivo de avaliar a influência das variáveis de entrada sobre as respostas do processo, subsidiando a etapa de resultados e discussões.

Neste experimento, utilizaram-se os materiais e equipamentos listados a seguir:

- a) torno mecânico manual da fabricante Nardini, modelo NODUS ND 325 8/5Hp;
- b) ferramenta de corte com a pastilha de corte TNMG 160404;
- c) rugosímetro digital, modelo TR220;
- d) câmera termográfica FLIR C3-X;
- e) alicate wattímetro Hikari true-RMS HÁ-4020;
- f) paquímetro Mitutoyo;
- g) ferramentas do laboratório do Departamento de Mecânica;
- h) um litro de fluido de corte Quimatic 2;
- i) um litro de óleo vegetal à base de milho;
- j) sistema de gotejamento gravitacional, com recipientes e reguladores de vazão;
- k) suportes para fixação da câmera e do gotejador;
- l) corpo de prova em forma cilíndrica com comprimento de 100 mm e diâmetro na base de 38 mm, liga de Alumínio 6351-T6;
- m) computador (laptop).



Os procedimentos adotados tiveram como finalidade a obtenção simultânea dos parâmetros de saída referentes à potência de usinagem e à temperatura na zona de corte. Após a execução dos ensaios, realizou-se a avaliação da rugosidade superficial para cada corpo de prova. As etapas experimentais foram conduzidas conforme descrito a seguir.

Inicialmente, uma barra cilíndrica da liga de alumínio foi montada no torno mecânico, sendo preparados os corpos de prova de acordo com os parâmetros de avanço, rotação e profundidade de corte previamente estabelecidos. Em seguida, o sistema de medição de potência foi instalado por meio de um alicate wattímetro conectado ao sistema elétrico do torno, com interface para aquisição dos dados em computador. Paralelamente, uma câmera termográfica foi posicionada em suporte adequado sobre o torno, permitindo o registro contínuo das temperaturas durante o processo de usinagem.

Na condição de usinagem a seco, os corpos de prova foram torneados, sendo monitoradas e registradas simultaneamente as medições de potência elétrica e temperatura. Após a usinagem, a rugosidade superficial foi medida em três regiões distintas de cada corpo de prova, a fim de garantir maior representatividade dos resultados. Esses procedimentos foram repetidos conforme o número de réplicas estabelecido.

Posteriormente, foi montado o sistema de aplicação de fluido por mínima quantidade de fluido (MQF), operando por gravidade e com regulador de vazão, direcionando o fluido diretamente à região de contato entre a ferramenta de corte e o corpo de prova. Na sequência, realizou-se a usinagem com aplicação do óleo de milho, adotando-se vazão de 90 mL/h, sendo novamente monitoradas as variáveis de potência elétrica e temperatura, seguidas da medição da rugosidade superficial. Os ensaios foram repetidos conforme o planejamento experimental.

De modo análogo, realizou-se a usinagem com aplicação do fluido industrial Quimatic 2, utilizando a mesma vazão de 90 mL/h e repetindo-se os procedimentos de aquisição de potência, temperatura e rugosidade superficial, garantindo a comparabilidade entre as condições analisadas.



O planejamento experimental adotado foi do tipo fatorial completo 2³, considerando três variáveis de entrada quantitativas: velocidade de corte (Vc), avanço de corte (f) e profundidade de corte (ap), cada uma avaliada em dois níveis. O resumo das condições experimentais e dos resultados obtidos encontra-se apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de Planejamento Experimental

testes	Variáveis independentes			Variações de Saída								
	Vc (m/min)	f (mm/rot)	ap (mm)	Temp. (°C)			Potencia (Kw)			Rugosid. Ra (µm)		
				Seco	Quimatic	Milho	Seco	Quimatic	Milho	Seco	Quimatic	Milho
1	48	0,109	2	102,633	93,467	84,867	1,103	0,997	0,823	4,004	0,880	0,853
2	96	0,109	2	138,667	124,333	82,267	3,373	2,061	1,620	9,592	3,581	2,344
3	48	0,435	2	113,000	104,000	89,133	3,373	1,023	1,030	10,607	7,168	6,954
4	96	0,435	2	127,000	102,667	102,000	3,490	1,941	1,927	12,261	8,034	8,417
5	48	0,109	3	140,667	105,333	99,867	1,153	0,987	0,997	4,595	1,161	1,141
6	96	0,109	3	124,667	107,667	112,000	2,027	1,389	1,331	8,129	1,631	1,382
7	48	0,435	3	135,333	127,333	96,267	2,563	1,883	1,037	10,081	6,826	7,153
8	96	0,435	3	128,333	112,667	104,333	2,110	1,568	1,408	10,506	7,917	7,400

Fonte: Autores (2024).

Os dados experimentais obtidos para as variáveis de saída temperatura, rugosidade superficial e potência de usinagem foram submetidos à análise estatística com o objetivo de verificar a influência das condições de usinagem e identificar diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

Inicialmente, foi realizada a **Análise de Variância (ANOVA)**, adotando-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), a fim de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias das condições analisadas. **Os pressupostos da ANOVA foram verificados previamente.**

Uma vez constatada a significância estatística pelo teste F, procedeu-se à aplicação do **teste de comparações múltiplas de Tukey (HSD)**, com o intuito de identificar quais pares de médias apresentaram diferenças significativas. Essa abordagem permitiu uma análise comparativa detalhada entre as condições de usinagem a seco, com aplicação de óleo vegetal à base de milho e com o fluido industrial Quimatic 2.

Os resultados estatísticos obtidos foram utilizados como base para a discussão dos



efeitos dos parâmetros de corte e das condições de lubrificação sobre o desempenho do processo de torneamento, possibilitando uma avaliação técnica e sustentável das alternativas estudadas.

3. Desenvolvimento e discussão

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) para os dados da Temperatura.

Tabela 2: ANOVA Temperatura

	Amostra	Dados Inválidos	Média	Desvio Padrão	Erro Médio	
	Seco	8	0	126,2875	13,01224	4,60052
	Quimatic	8	0	108,60833	13,34268	4,72E+00
	Milho	8	0	97,41667	9,27812	3,28031

	GL (DF)	Soma dos Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F	Valor-p
Modelo	2	3390,21694	1695,10847	11,73277	3,79E-04
Erro/Resíduo	21	3034,00375	144,47637	-	-
Total	23	6424,22069	-	-	-

Fonte: Autores (2024)

3.1. Análise do Teste de Tukey – Temperatura (Tabela 3)

Com o objetivo de identificar **quais pares de condições de usinagem apresentam diferenças estatisticamente significativas** nas temperaturas médias.

Tabela 3: Teste Tukey Temperatura

	Diferença entre as Médias	Erro Padrão Diferença Médias	q Valor	Prob	Nível Sig	Sig	Limite Inf Int. Conf. LCL	Limite Sup Int. Conf. UCL
Quimatic Seco	-17,67917	6,00992	4,16014	0,2041	0,05	1	-32,82746	-2,53E+00
Milho Seco	-28,87088	6,00992	6,79369	2,70E-04	0,05	1	-44,01913	-1,37E+01



Milho	-11,19167	6,00992	2,63355	0,17448	0,05	0	-26,33996	3,95663
Quimatic								

Fonte: Autores (2024).

De forma consolidada, a análise estatística da temperatura evidenciou que a aplicação de fluidos de corte exerce influência significativa na redução térmica do processo de usinagem quando comparada à condição a seco. Os resultados da ANOVA indicaram diferença estatisticamente significativa entre as médias das três condições avaliadas ($p < 0,05$), o que foi detalhado pelo teste de Tukey. Observou-se que tanto o fluido industrial Quimatic 2 quanto o óleo de milho promoveram reduções expressivas da temperatura média em relação à usinagem a seco, sendo essa redução mais pronunciada para o óleo de milho. Entretanto, a comparação direta entre os dois fluidos não apresentou diferença estatisticamente significativa, indicando desempenho térmico equivalente entre o óleo vegetal e o fluido industrial nas condições experimentais analisadas. Esses resultados demonstram que a utilização de óleo de milho em regime de mínima quantidade de fluido apresenta potencial técnico comparável ao de um fluido comercial amplamente utilizado, ao mesmo tempo em que se configura como uma alternativa mais sustentável sob os aspectos ambiental e ocupacional.

Tabela 4: ANOVA Rugosidade

	Amostra	Dados Inválidos	Média	Desvio Padrão	Erro Médio
Seco	8	0	8,7219	2,96427	1,04803
Quimatic	8	0	4,64969	3,15863	1,11675
Milho	8	0	4,45518	3,28968	1,16308

	GL (DF)	Soma dos Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F	Valor-p
Modelo	2	92,86851	46,43426	4,70842	0,02045
Erro/Resíduo	21	207,10097	9,86195	-	-
Total	23	299,96948	-	-	-



Fonte: Autores (2024).

Tabela 5: Teste Tukey Rugosidade

	Diferença entre as Médias	Erro Padrão Diferença Médias	q Valor	Prob	Nível Sig	Sig	Limite Inf Int. Conf. LCL	Limite Sup Int. Conf. UCL
Quimatic Seco	-4,07221	1,57019	3,6677	0,04301	0,05	1	-8,02995	-0,11448
Milho Seco	-4,26672	1,57019	3,84289	0,3314	0,05	1	-8,22446	-0,30899
Milho Quimatic	-0,19451	-1,57019	0,17519	0,99158	0,05	1	-4,15225	3,76322

Fonte: Autores (2024).

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4 e na Tabela 5, observa-se que os parâmetros de usinagem e as condições de aplicação de fluido exerceram influência estatisticamente significativa sobre a **rugosidade superficial**, conforme indicado pela análise de variância (ANOVA), que apresentou valor de $p = 0,02045$, inferior ao nível de significância de 5%. Esse resultado evidencia que pelo menos uma das condições de usinagem avaliadas promoveu alteração relevante nos valores médios de rugosidade.

A análise descritiva demonstra que a **usinagem a seco** apresentou o maior valor médio de rugosidade ($R_a = 8,72 \mu\text{m}$), acompanhado também de elevada dispersão dos dados, indicando menor estabilidade do processo. Em contrapartida, as condições com aplicação de fluido em mínima quantidade apresentaram valores médios significativamente inferiores, sendo $4,65 \mu\text{m}$ para o óleo industrial Quimatic 2 e $4,46 \mu\text{m}$ para o óleo de milho, o que representa uma redução expressiva da rugosidade em relação à condição a seco.

Os resultados do **teste de Tukey HSD** confirmam essas observações, indicando diferença estatisticamente significativa entre as condições **seco–Quimatic** e **seco–milho**, ambas com intervalo de confiança que não inclui o valor zero. Por outro lado, a comparação entre **óleo de milho e Quimatic 2** não apresentou diferença significativa,



evidenciando comportamento estatisticamente equivalente entre os dois fluidos quanto à qualidade superficial obtida. Dessa forma, os resultados indicam que a aplicação de mínima quantidade de fluido contribui de maneira efetiva para a redução da rugosidade superficial, e que o óleo vegetal à base de milho apresenta desempenho comparável ao fluido industrial convencional, reforçando sua viabilidade técnica como alternativa mais sustentável no processo de torneamento.

A Tabela 6 – ANOVA Potência, apresenta os resultados da análise estatística para a potência elétrica consumida na usinagem sob as diferentes condições.

Tabela 6: ANOVA Potência

Tabela 6: ANOVA Potência						
	Amostra	Dados Inválidos	Média	Desvio Padrão	Erro Médio	
	Seco	8	0	2,399	0,96869	0,34248
	Quimatic	8	0	1,48117	0,44951	0,15893
	Milho	8	0	1,27152	0,37085	0,13112

	GL (DF)	Soma dos Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F	Valor-p
Modelo	2	5,75536	2,87768	6,75537	0,00543
Erro/Resíduo	21	8,94566	0,42598	-	-
Total	23	14,70102	-	-	-

Fonte: Autores (2024).

Tabela 7: Teste Tukey Potência

	Diferença entre as Médias	Erro Padrão Diferença Médias	q Valor	Prob	Nível Sig	Sig	Limite Inf Int. Conf. LCL	Limite Sup Int. Conf. UCL
Quimatic Seco	-0,918	0,32634	3,97824	0,027	0,05	1	-1,74055	-0,09545
Milho Seco	-1,12765	0,32634	4,88676	0,00642	0,05	1	-1,95019	-0,3051
Milho Quimatic	-0,20965	0,32634	0,90852	0,7986	0,05	1	-1,03219	0,6129



Fonte: Autores (2024).

Com base nos resultados apresentados na Tabela 6 e na Tabela 7, verifica-se que as condições de usinagem exerceram influência estatisticamente significativa sobre a **potência consumida no processo**, conforme evidenciado pela ANOVA, que apresentou valor de $p = 0,00543$, inferior ao nível de significância de 5%. Esse resultado indica que a condição de lubrificação adotada impacta de forma relevante a demanda energética do torneamento.

A análise dos valores médios mostra que a **usinagem a seco** apresentou a maior potência média consumida (2,399), além de maior dispersão dos dados, o que sugere maior esforço do conjunto máquina-ferramenta e menor eficiência do processo. Em contrapartida, as condições com aplicação de fluido em mínima quantidade resultaram em menores valores médios de potência, sendo 1,48 para o óleo industrial Quimatic 2 e 1,27 para o óleo de milho, evidenciando uma redução significativa do consumo energético quando comparadas à condição a seco.

Os resultados do **teste de Tukey HSD** confirmam essas diferenças, indicando que tanto a condição **Quimatic–seco** quanto **milho–seco** apresentaram diferenças estatisticamente significativas, com intervalos de confiança que não incluem o valor zero. Por outro lado, a comparação entre os dois fluidos (**milho–Quimatic**) não revelou diferença significativa, demonstrando que ambos apresentam desempenho estatisticamente equivalente em termos de potência requerida pelo processo. Dessa forma, os resultados indicam que a aplicação de mínima quantidade de fluido contribui para a redução do consumo de potência na usinagem, e que o óleo vegetal à base de milho apresenta comportamento comparável ao fluido industrial convencional, reforçando sua viabilidade técnica e energética como alternativa sustentável.



4. **Considerações finais**

O presente trabalho teve como objetivo **avaliar a usinabilidade da liga de alumínio 6351-T6 no processo de torneamento cilíndrico externo**, comparando as condições de usinagem a seco e com aplicação de mínima quantidade de fluido (MQF), utilizando um fluido industrial convencional (Quimatic 2) e um fluido de origem vegetal à base de milho, por meio da análise das variáveis de saída **temperatura, rugosidade superficial e potência de usinagem**, sob diferentes parâmetros de corte.

Os resultados obtidos permitiram atender plenamente a esse objetivo, uma vez que foi possível identificar diferenças estatisticamente significativas entre as condições de usinagem analisadas. Em relação à **temperatura de usinagem**, verificou-se que a condição a seco apresentou os maiores valores médios, enquanto as condições com aplicação de óleo de milho e Quimatic 2 resultaram em temperaturas significativamente mais baixas, com comportamento estatisticamente semelhante entre si. Observou-se ainda que a **velocidade de corte e a profundidade de corte** exerceram maior influência sobre essa variável.

Quanto à **rugosidade superficial**, os resultados mostraram que os parâmetros de velocidade de corte, avanço e profundidade de corte influenciaram diretamente os valores obtidos. A condição de usinagem a seco apresentou o pior desempenho em termos de acabamento superficial, enquanto a aplicação dos fluidos de corte, tanto vegetal quanto industrial, proporcionou valores médios de rugosidade significativamente menores e estatisticamente equivalentes, atendendo ao objetivo de avaliar a integridade superficial da peça usinada.

No que se refere à **potência de usinagem**, os resultados indicaram que a aplicação de MQF reduziu de forma significativa a potência requerida pelo processo quando comparada à condição a seco. Além disso, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre o óleo de milho e o fluido industrial Quimatic 2, demonstrando que o fluido vegetal apresenta desempenho energético equivalente. Verificou-se ainda



que os parâmetros de **avanço e velocidade de corte** foram os que mais influenciaram essa variável.

Dessa forma, considerando conjuntamente as variáveis analisadas, conclui-se que **o óleo de milho aplicado por MQF atende ao objetivo de se apresentar como uma alternativa técnica viável ao fluido industrial Quimatic 2**, possibilitando sua substituição no torneamento da liga de alumínio 6351-T6. Além do desempenho semelhante ou superior observado nos resultados experimentais, o fluido vegetal apresenta vantagens adicionais relacionadas ao menor impacto ambiental, menor risco à saúde ocupacional e maior facilidade de manuseio e descarte.

Assim, o estudo contribui para o avanço de práticas de usinagem mais sustentáveis, demonstrando que a utilização de **lubrificantes de origem vegetal associados à técnica de mínima quantidade de fluido** é uma alternativa promissora para a indústria, atendendo simultaneamente aos requisitos técnicos, ambientais e econômicos dos processos de fabricação contemporâneos.

5. Declaração de direitos

Os autores declaram ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declaram que as imagens e textos publicados são de responsabilidade dos autores, e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declaram respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declaram não cometer plágio ou autoplágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.



6. **Referências**

1. GROOVER, M. P. Fundamentos da manufatura moderna. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011
2. BARBOSA, R. S. *Avaliação dos esforços de corte no fresamento frontal da liga de alumínio-silício (A356)*. 2014. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2014.
3. DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. São Paulo: Artliber, 2017.
4. DHAR, N. R. *et al.* The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 171, p. 93–99, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.06.047>
5. ARAÚJO JUNIOR, A. S. *Desempenho de óleos vegetais comestíveis aplicados por MQF no fresamento frontal do aço ABNT 1045*. 2013. 162 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
6. BATISTA, T. *et al.* Influência de óleos vegetais na usinagem com mínima quantidade de fluido. *Revista Matéria*, v. 17, n. 4, p. 1205–1216, 2012.
7. SILVA, E. J.; BIANCHI, E. C. Lubrificação mínima na retificação cilíndrica. *Revista Engenharia Mecânica*, v. 62, p. 12–17, 2001.