

## UMA ANÁLISE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE FLUIDOS DE CORTE E MATERIAIS DE FERRAMENTAS FRENTE AO CALOR NA USINAGEM

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Bruno de Paulo Novaes**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **João Pedro de Souza Nunes**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **Gustavo José Corrêa Gonçalves**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **Marcelo Rodrigo Munhoz**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **Fernando Sabino Fonteque Ribeiro**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

**RESUMO:** A usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas. Sabe-se que durante o processo

é gerado uma alta concentração de calor devido ao atrito e força que a ferramenta de corte realiza na peça, danificando-as e encarecendo o processo, sendo necessário a utilização de meios para refrigeração e lubrificação do trabalho. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo aprofundar de que forma esse calor é gerado e transparecido para os componentes de trabalho, e explicar a importância dos fluidos refrigerantes e lubrificantes, bem como outras alternativas propostas para melhores condições de usinagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Usinagem. Calor. Fluidos. Refrigeração. Lubrificação.*

### AN ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF CUTTING FLUIDS AND TOOL MATERIALS IN THE FACE OF HEAT IN MACHINING

**ABSTRACT:** Machining is recognized as the most popular manufacturing process in the world, transforming into chips something around 10% of all metal production and employing tens of millions of people. It is known that during the process a high concentration of heat is generated due to the friction and force that the cutting tool exerts on the piece, damaging them and making the process more expensive,

requiring the use of means for cooling and lubrication of the work. Therefore, this work aims to deepen how this heat is generated and transmitted to the working components, and to explain the importance of coolants and lubricants, as well as other proposed alternatives for better machining conditions.

**KEYWORDS:** *Machining. Heat. Fluids. Refrigeration. Lubrication.*

## INTRODUÇÃO

A usinagem é a modificação da matéria prima através da remoção de cavaco, sendo utilizado para isso, uma ferramenta com aresta de corte. Esse contato da ferramenta com a matéria prima, devido a força causada, gera calor entre os dois itens, chegando a elevadas temperaturas, onde é necessário a utilização de alguns meios para refrigerar ambas as partes e facilitar o processo de fabricação.

Segundo Trent (1988), a maior parte da potência consumida na usinagem dos metais é convertida em calor próximo à aresta de cortante da ferramenta e muitos problemas técnicos e econômicos são causados direta e indiretamente por conta desse aquecimento. Esses problemas estão ligados diretamente com a ferramenta, onde pode ocorrer o desgaste mais rapidamente, diminuir a quantidade de cavaco a ser retirado, a velocidade de usinagem e deixar o processo com o custo mais elevado (MACHADO, A. et al, 2015).

Durante muito tempo foi pensado em uma forma de diminuir esse calor gerado e tentar entender como ocorre esse fluxo de calor e a distribuição de temperatura na ferramenta e na peça. Em 1978, foi apresentado pela primeira vez na Academia Real de Londres, pelo Conde Rumford (Benjamin Thompson), o registro de experiências em usinagem, realçando seu aspecto térmico (FERRARESI, 1977). Os métodos utilizados foram os do calorímetro, que consiste em medir a temperatura da água que envolve a peça em usinagem, a ferramenta e o cavaco, sendo notado que toda energia mecânica da usinagem se transforma em energia térmica (MACHADO, A. et al, 2015).

Outros métodos utilizados para análise do calor na usinagem, o tempo que a ferramenta desgasta, as alterações na peça e o local que mais dissipa calor, foram utilizados termopares e também um verniz térmico que muda de cor de acordo com a variação da temperatura (40°C a 650°C). Diversos estudiosos se empenharam para esse estudo, sendo utilizado os mesmos parâmetros para todos os testes e alterando o material a ser usinado.

Dessa forma, verifica-se que o problema relacionado ao calor da usinagem é histórico, sendo contornado por técnicas como aplicação de fluidos de corte ou o uso de materiais resistentes ao calor nas ferramentas de corte. No entanto, a alta produtividade tem sido fator importante no aumento das velocidades de corte e de avanço, fazendo que maior quantidade de calor seja gerada (RIBEIRO, 2019).

Isto posto, este trabalho tem como foco entender como é gerado o calor no processo de usinagem, quais os tipos de fluidos de corte e suas vantagens e desvantagens que eles agregam no processo de fabricação, bem como a identificação de materiais de ferramentas

de corte e sua resistência ao calor.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste, foram realizadas pesquisas no âmbito de artigos científicos, dissertações de mestrado e trabalhos de conclusão de curso (TCC), bem como em livros conceituados na área de usinagem. A princípio, foram determinadas as etapas a serem elaboradas, conforme apresentada no fluxograma da Figura 01 abaixo:



Figura 01 – Fluxograma

Todos os tópicos abaixo, serão tratados mais detalhadamente ao decorrer deste artigo, onde se poderá fazer uma associação entre eles e identificar quais os benefícios para cada tipo de operação.

**Dissipação de calor:** tem um papel fundamental para o desempenho da operação, a qualidade da peça usinada e a vida útil das ferramentas de corte. Estão algumas das razões pelas quais a dissipação de calor é importante na usinagem de materiais: evitar o superaquecimento, prolongar a vida útil da ferramenta, melhorar a qualidade superficial, manter tolerâncias dimensionais.

**Fluídos de corte:** serão apresentadas características, vantagens e desvantagens, problemas e soluções acerca de grande parte dos fluídos usados na usinagem de materiais.

**Revestimentos de ferramentas:** oferecem uma série de benefícios que melhoram a eficiência, a qualidade e a economia do processo. São algumas das principais razões pelas quais os revestimentos de ferramentas são importantes na usinagem: prolongamento da vida útil da ferramenta, melhoria do desempenho de corte, aumento da velocidade de corte, redução da dissipação de calor, maior versatilidade, melhoria na qualidade da superfície, redução do consumo de energia, redução de resíduos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

É possível distinguir a temperatura que está sendo gerada na usinagem sem refrigeração pela cor e as condições de interface (aderência, escorregamento ou aresta postiça de corte) do cavaco gerado no trabalho, onde as cores podem variar no azul, roxo, vermelho, amarelo, entre outras. Pela forma, o cavaco quando está em uma temperatura mais baixa, tende a se quebrar mais facilmente pela saída de cavaco da ferramenta de corte, porém quando se está em temperaturas elevadas, ele fica mais difícil de se quebrar, no caso de um material dúctil, se transformando em um cavaco contínuo.

Na usinagem, quanto maior a velocidade de corte e a profundidade de corte, maior o calor gerado entre peça e ferramenta. Segundo Trigger e Chao (1951), assumiram que no processo de furação, cerca de 10% da energia mecânica despendida em cisalhamento fluem para a peça (MACHADO, A. et al, 2015).

O estudo da interação entre o cavaco e a ferramenta na sua superfície de saída é tratado como um problema de uma fonte móvel de calor em um contato deslizante sobre um corpo. O material deixa o plano de cisalhamento já aquecido e desliza pela superfície de saída da ferramenta. Nessas condições de contato muito boas o coeficiente de atrito pode variar entre 0,5 e 1,5, ou mais, dependendo dos materiais em contato e das condições de corte (TRIGGER E CHAO, 1951).

Segundo Trigger e Chao (1951), com base em velocidades e avanços convencionalmente usados em operações comuns de usinagem, a penetração do calor na interface cavaco/ferramenta no corpo do cavaco é extremamente rasa (MACHADO, A. et al, 2015).

Existem também outros estudos para o calor gerado na formação de cavacos, como o modelo de Loewen e Shaw. Suas hipóteses se baseiam em que todo calor gerado nas fontes primária de cisalhamento ao longo do plano de cisalhamento (1) e secundária de cisalhamento na interface cavaco/ferramenta (2) na Figura 02 é transformado em calor, sendo a energia total conservada e que as fontes de geração de calor se concentram em planos, além de que, o fluxo de calor nestas regiões é constante e uniforme e não há perda de calor para o ambiente.

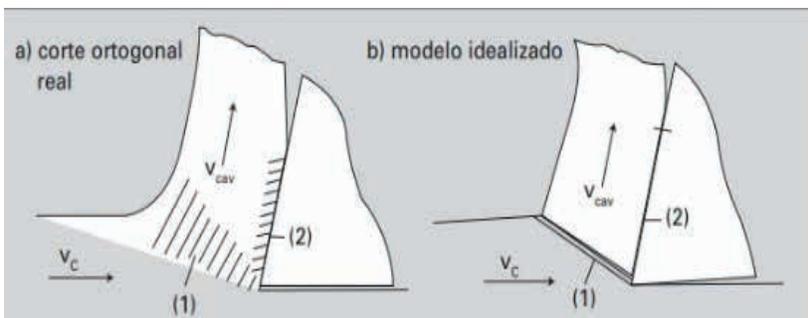


Figura 02 – Fontes de calor admitidas no Modelo de Shaw para o corte ortogonal (MACHADO, A. et al, 2015).

Esses são alguns dos métodos de estudos teóricos para estimar as temperaturas formadas na usinagem, sem a necessidade de que ocorra o processo para verificar a temperatura no cavaco, ferramenta e peça.

De acordo com Byrne (1987), alguns métodos para medir a temperatura na formação de cavacos pode ser empregada pela medição através de (MACHADO, A. et al, 2015):

- Medição por termopares inseridos;
- Medição da força termoelétrica entre a ferramenta e a peça;
- Medição por radiação de calor com sensores infravermelhos;
- Medição utilizando vernizes termossensíveis;
- Medição por propriedades metalográficas;
- Medição usando pós de sais químicos;
- Medição usando o método do filme PVD.

## **Tipos de Ferramentas de Corte**

Sabe-se que as ferramentas de corte são de materiais com maior durabilidade e mecanicamente resistentes em relação à peça. Com isso, para cada tipo de usinagem é necessário escolher de forma correta a ferramenta de corte a se utilizar, e isso se deve para obter melhores condições de trabalho, evitando desgastes excessivos e altas temperaturas.

As principais propriedades desejáveis em um material para ferramenta de corte podem ser assim listadas (MACHADO, A. et al, 2015).

- Alta dureza;
- Tenacidade suficiente para evitar falha por fratura;
- Alta resistência ao desgaste abrasivo;
- Alta resistência à compressão;
- Alta resistência ao cisalhamento;
- Boas propriedades mecânicas e térmicas em temperaturas elevadas;
- Alta resistência ao choque térmico;
- Alta resistência ao impacto;
- Ser inerte quimicamente.

Essas propriedades não necessariamente se concentram em uma só ferramenta, elas são definidas de acordo com o material e o trabalho a ser realizado. No Quadro 01, estão algumas das ferramentas de corte e suas composições químicas:

	1	2
1. Aço-carbono · Comum · Com elementos de liga (V, Cr)		
2. Aço semirrápido (baixo W)		
3. Aço rápido (pode ser fundido ou fabricado pela metalurgia do pó) · Sem revestimento · Com revestimento		
4. Aço super-rápido (elevador teor de V)		
5. Ligas fundidas		
6. Metal duro (com ou sem revestimento) Classes: · P · M · K · N · S · H		
7. Cermets (com ou sem revestimento)		
8. Cerâmicas Com e sem revestimento · À base de Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (SIALON) · À base de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (SIALON) · Com adições · ZrO <sub>2</sub> (branca) · TiC (mista) · SiC ( <i>whiskers</i> )		
9. Ultraduros · CBN – PCBN · PCD		
10. Diamante Natural		
1 – Aumento de dureza e resistência ao desgaste 2 – Aumento de tenacidade		

**Aços-Carbono e Aços Ligados:** No final do século XVIII e início do século XIX, os aços-carbono eram os principais materiais empregados como ferramentas de corte. Mais tarde, foram introduzidas por Múshet, em 1868 as baixas e médias ligas de aço que já representavam as primeiras inovações em ferramentas de corte (JEANS, 2005). Atualmente, esses aços são utilizados em usinagem com baixas velocidades de corte e em ferramentas de conformação.

**Aços Rápidos:** Na virada do século XIX, Taylor e White desenvolveram o primeiro aço rápido, contendo 0,67% de Carbono (C), 18,91% de Tungstênio (W), 5,47% de Cromo (Cr), 0,11% de Manganês (Mn) e 0,29% de Vanádio (V), além do tratamento térmico apropriado. Esse tipo de ferramenta aumentou a produtividade, sendo possível obter um aumento nas velocidades de corte em 10 vezes, passando de 3 a 5 m/min com as ferramentas de aço-carbono, para 30 a 35 m/min com as de aço rápido (MACHADO, A. et al, 2015).

Suas principais aplicações são em brocas, fresas inteiriças, cossinetes, brochas

e até em ferramentas de barra para aplicações em torneamento de peças de diâmetros reduzidos (MACHADO, A. et al, 2015).

**Aço Rápido Revestido:** Para trabalhos com elevada temperatura, tem-se usado ferramentas com revestimentos em estruturas martensíticas. Para esses casos, é utilizado o revestimento PVD (Deposição Física de Vapor), que submetem as ferramentas a ambientes em vácuo e a gases que se vaporizam e se depositam em temperaturas de até 500°C. As ferramentas revestidas por PVD garantem tempo de vida mais longo e velocidades de corte superiores às possíveis em ferramentas sem revestimento (MACHADO, A. et al, 2015).

Suas utilizações são em brocas, fresas, fresas caracol e segmentos de brochas de aço rápido revestido (MACHADO, A. et al, 2015).

**Ligas Fundidas:** São ferramentas à base de Cobalto (Co), contendo Tungstênio (W) e Cromo (Cr) em solução sólida, e, às vezes, alguns carbonetos. Essas ligas são mais duras que os aços rápidos e mantêm essa dureza a temperaturas mais elevadas. Com isso, as velocidades de corte empregadas podem ser em torno de 25% maiores (MACHADO, A. et al, 2015).

**Metal Duro:** As ferramentas de metal duro aumentaram as velocidades de corte em torno de 10 vezes mais que as de aço rápido, empregando 250 m/min a 300 m/min), além de possuírem maior dureza. Essa descoberta aconteceu durante 1920, na Alemanha, por Schröter, que produziu em laboratório o carboneto de tungstênio (WC) em pó, pela primeira vez. Essa mistura emprega também o Cobalto (Co), Níquel (Ni) ou o Ferro (Fe) (SCHROTER, 1925).

Após ingressarem no mercado, essas ferramentas foram chamadas de Widia (do alemão wie Diamond = como o diamante), por causa de suas propriedades parecidas, onde possui excelente combinação de resistência ao desgaste, mecânica e tenacidade (MACHADO, A. et al, 2015).

Há diversas classes para as ferramentas de metal duro, que são catalogadas para cada tipo de usinagem. Pode-se verificar isso na tabela abaixo no Quadro 02:

Principais classes			Classes de aplicação			
Letra de identificação	Cor de identificação	Materiais a serem usados	Metais duros		a	b
P	Azul	<b>Aços:</b> Todos os tipos de aços e aços fundidos, exceto inoxidáveis com estrutura austenítica	P01 P10 P20 P30 P40 P50	P05 P15 P25 P35 P45		
M	Amarelo	<b>Aço inoxidável:</b> Aço inoxidável austenítico e aço duplex (austenítico e ferrítico) e aço fundido	M01 M10 M20 M30 M40	M05 M15 M25 M35		
K	Vermelho	<b>Ferro fundido:</b> Fundido, com grafita esferoidal, fundido maleável	K01 K10 K20 K30 K40	K05 K15 K25 K35		
N	Verde	<b>Metais não ferrosos:</b> Alumínio e outros metais não ferrosos, materiais não metálicos	N01 N10 N20 N30	N05 N15 N25		
S	Marrom	<b>Superligas e titânio:</b> Ligas especiais resistentes ao calor a base de ferro, níquel e cobalto, titânio e ligas de titânio	S01 S10 S20 S30	S05 S15 S25		
H	Cinza	<b>Materiais duros:</b> Aços endurecidos, ferros fundidos endurecidos, ferros fundidos resfriados	H01 H10 H20 H30	H05 H15 H25		
a – Aumento da velocidade de corte, aumento da resistência ao desgaste do material da ferramenta b – Aumento do avanço, aumento da tenacidade do material da ferramenta						

Quadro 02 – Classificação dos metais duros (ISSO 513, 2004).

**Metal Duro Revestido:** As ferramentas de metal duro revestido são as mais empregadas nas empresas nos dias atuais, pois elas possuem um desempenho superior na usinagem de materiais ferrosos se comparado com as não revestidas e com um custo mais acessível. Essas ferramentas revestidas representam em torno de 95% do metal duro aplicado nas empresas, com tendência a crescimento contínuo (MACHADO, A. et al, 2015).

Além do revestimento em PVD, as ferramentas de metal duro podem receber também os revestimentos CVD (Deposição Química de Vapor), onde as temperaturas podem chegar a 1.000°C (MACHADO, A. et al, 2015). No Quadro 03, pode-se verificar a comparação dos revestimentos nessas ferramentas:

	<b>CVD – Decomposição química de vapor</b>	<b>PVD – Decomposição física de vapor</b>
Temperatura de revestimento	Aproximadamente 1.000 °C	Aproximadamente 500 °C
Tenacidade	Reduzida	Não é afetada
Aresta de corte	Arredondamento requerido	Pode ser quina viva
Espessura de revestimento	Até 12 µm	Até 4 µm
Camadas	Multicamadas TiC – TiN, TiN – TiCN – TiN, TiC – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiN, TiCN, TiAl
Principais aplicações	Torneamento e mandrilhamento	Fresamento, roscamento e furação
Vantagens	Melhor resistência ao desgaste Melhor resistência à craterização Grande vida da ferramenta	Substitui ferramentas sem revestimento: com mesma tenacidade, mesma configuração de aresta e mesma precisão Reduz APC Melhor vida na ferramenta

Quadro 03 – Comparação de ferramentas revestidas pelos processos CVD e PVD (MACHADO, A. et al, 2015).

**Cerâmica:** São formadas por elementos metálicos e não metálicos, óxidos, carbonetos ou nitretos. Tem estrutura cristalina e as ligações entre os elementos são iônicas ou covalentes (MACHADO, A. et al, 2015).

Algumas propriedades das cerâmicas:

- Materiais refratários.
- Alta resistência ao desgaste.
- Materiais frágeis.
- Baixa condutividade térmica.
- Boa estabilidade química e térmica.
- Alta resistência à compressão e baixa resistência à tração.

## Fluidos de corte

Os fluidos de corte, são líquidos ou gases usados na usinagem que são aplicados diretamente na área de corte para melhorar seu desempenho. Existem dois principais problemas que são possíveis resolver com esses fluidos, o primeiro é a geração de calor nas áreas de cisalhamento, o segundo é o atrito entre cavaco-ferramenta e ferramenta-peça. Além disso, também existem outros benefícios, entre eles, a remoção do cavaco, redução de temperatura com intuito de haver um manejo mais fácil da peça, reduzir forças e potências de corte, manter a estabilidade dimensional e melhorar o acabamento superficial.

Por existirem dois principais problemas, existem dois tipos de fluidos relacionados a

cada um deles e são os: refrigerantes e lubrificantes. Os refrigerantes são projetados para remover o calor gerado na área de corte, fazendo com que a vida útil da ferramenta seja aumentada. A refrigeração máxima desse tipo de fluido depende de suas propriedades térmicas, sendo a água usada como base, por ter elevado calor específico e elevada condutividade térmica. Tem melhor aproveitamento em usinagem com velocidade de corte mais alta, pois é nessa situação onde é gerado maior calor e altas temperaturas, como usinagem e fresamento. Nesses tipos de usinagem, por exemplo, é frequentemente usado o aço rápido, que sofre com falhas por temperatura, mais um fator que o torna fluido refrigerante necessário (GROOVER, M.P, 2017).

Já os lubrificantes, tem em sua composição o óleo, que tem características lubrificantes. Esse tipo de fluido é produzido para reduzir o atrito ao realizar a usinagem, entre, ferramenta-peça e cavaco-ferramenta. Na lubrificação de extrema pressão, forma-se uma camada muito fina de sal na superfície do metal aquecida por meio de reações químicas com o próprio lubrificante. A criação dessas camadas de alta pressão, separa as diferentes superfícies metálicas, e permite uma lubrificação mais eficaz que a convencional, onde é formado filmes líquidos (GROOVER, M.P, 2017).

Em 1894, Frederick Winslow Taylor observou que aplicando grande quantidade de água na região de corte, era possível aumentar a velocidade de corte em 33 %, sem prejuízo para a vida da ferramenta (RUFFINO, 1977). Com o passar dos tempos, foram criando diversos fluidos de corte com diferentes composições químicas, pensando em produtos menos nocivos ao meio ambiente e a vida humana, além de terem melhores propriedades refrigerantes e lubrificantes se comparado com de gerações passadas (MACHADO, A. et al, 2015).

Um dos problemas da utilização dos fluidos de corte é o seu descarte ou reciclagem, onde o descarte tem custo menor que a reciclagem, sendo necessário desenvolver as seguintes etapas (MACHADO, A. et al, 2015):

- Decantação para remoção de material particulado grosseiro, como cavacos;
- Flotação para remoção de particulado fino;
- Uso de hidrociclones ou centrífugas para remoção de contaminantes muito finos;
- Filtração por gravidade, pressão ou a vácuo;
- Tratamento da água (correção de dureza, deionização e destilação);
- Controle biológico.

Diferente dos refrigerantes, os fluidos lubrificantes tem melhor desempenho em usinagem de baixa velocidade. Acima de 120 m/min, há perda de eficácia, pois, pelo movimento do cavaco, o fluido não consegue entrar na interface cavaco-ferramenta. Além disso, nessas velocidades há uma geração de calor muito maior, o que faz os óleos

evaporarem antes de realizar sua função lubrificante. As principais operações de usinagem que tem melhor aproveitamento desse fluido, são: furação, torneamento e rosqueamento, nelas, a aresta postiça de corte é retardada e o torque sobre a ferramenta é menor (GROOVER, M.P, 2017).

No Quadro 04, são mostrados os problemas relacionados aos fluidos e possíveis soluções que podem ser aplicadas.

Problema	Prováveis condições e sintomas	Possíveis mudanças no fluido de corte
Calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falha prematura da ferramenta devido à alta temperatura</li> <li>Velocidade de corte alta demais para ferramenta</li> <li>Cavaco adere à superfície de saída</li> <li>Corte contínuo (por exemplo, torneamento, furação)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumentar a vazão do fluido</li> <li>Se for óleo de corte, reduzir o nível de viscosidade</li> <li>Se for óleo de corte, tentar óleo emulsionado</li> <li>Se for óleo emulsionado, aumentar proporção de água</li> <li>Se for óleo emulsionado, tentar óleo sintético ou semissintético</li> </ul>
Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocidade de corte baixa</li> <li>Desgaste rápido da ferramenta</li> <li>O material da peça usinada é o aço de alta resistência à tração ou liga resistente ao calor</li> <li>O material da peça é abrasivo (por exemplo, fundido em molde de areia)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se for óleo emulsionado, tentar óleo de corte</li> <li>Se for óleo emulsionado, aumentar proporção de óleo</li> <li>Se for fluido sintético, tentar óleo emulsionado</li> <li>Tentar fluido com aditivos quimicamente ativos para lubrificação de extrema pressão</li> </ul>
Vibração	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vibração</li> <li>Rigidez inadequada na montagem do conjunto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se estiver seco, tentar o uso de um fluido de corte para tratar da vibração por meio de amortecimento hidráulico</li> <li>Se for fluido de corte, usar fluido com maior viscosidade</li> </ul>

Quadro 04 – Guia de solução de problemas relacionados aos fluidos de corte (GROOVER, M.P, 2017)

Há diferentes fluidos de corte para refrigeração, onde o mais comum utilizado são fluidos de corte em estado líquido, com composições diferentes. No entanto, há fluidos no estado gasoso, sendo o mais conhecido o ar comprimido, com função de expulsar o cavaco da região de corte, mas seu uso ainda é inviável para as empresas. Também é existente fluidos de corte sólidos, como a grafita e o bissulfeto de molibdênio, que têm função principal de reduzir o coeficiente de atrito ferramenta/cavaco, porém pouco usado (DINIZ, 2014).

Em se tratando de estado líquido, encontramos fluidos do tipos óleos, emulsões e compostos, podendo ainda serem aprimorados pelo uso de aditivos. Os óleos de origem vegetal e animal foram os primeiros óleos integrais da usinagem dos metais. Sua utilização se tornou inviável devido ao alto custo e da rápida deterioração, porém são muito eficientes para reduzir o atrito, sendo comumente usados para operação de rosqueamento (MACHADO et. al, 2015). Outra opção de óleos são os minerais, que são hidrocarbonetos obtidos a partir do refino do petróleo. Ele também possui um alto custo, baixo ponto de

fulgor (risco de incêndio), ineficiência a altas velocidades de corte, baixa refrigeração, e oferece risco a saúde do trabalhador, pois há alta formação de fumos, sendo assim, acabou perdendo espaço nas indústrias (MACHADO et. al, 2015). Os óleos minerais podem ser de base parafínica, naftênica ou aromática, onde a mais usada é a parafínica (ceras), pois é facilmente encontrado e possui um baixo custo, além de ter elevada resistência à oxidação e menos prejudiciais à saúde, sendo um ótimo lubrificante (MACHADO et. al, 2015).

Os fluidos emulsionados, mais conhecidos como “óleos solúveis”, são compostos bifásicos de óleos minerais ou vegetais adicionados à água na proporção de 1:10 a 1:100. Eles são emulsificantes que reduzem a tensão superficial, sendo um dos mais utilizados nas indústrias, são bons refrigerantes e baratos, além de não ser prejudicial à saúde humana, adicionando aditivos que evitam isso, assim como para evitar a ação corrosiva da água na peça (MACHADO et. al, 2015).

As soluções são compostos monofásicos de óleos que se dissolvem completamente na água, sem a necessidade de aditivos emulsificantes. Também são chamados de fluidos sintéticos, onde possuem inibidores de corrosão, vida mais longa, boa propriedade refrigerante e lubrificante (MACHADO et. al, 2015).

Os aditivos dos fluidos de corte tem como objetivo cumprir as propriedades dos fluidos de corte, que são (MACHADO et. al, 2015):

**Antiespumantes:** evitam a formação de espumas que impedem a visibilidade da região de corte, reduzem a tensão interfacial do óleo. Para o controle das espumas, usam-se ceras especiais ou óleos à base de silicone.

**Anticorrosivos:** protegem a peça, ferramenta e máquina-ferramenta da corrosão. Para isso é utilizado nitrito de sódio, ou óleos sulfurados ou sulfonados, sendo necessário estar atento a quantidade de nitrito de sódio pois pode ser cancerígeno.

**Detergentes:** reduzem a deposição de lodo, lamas e borras. São compostos organometálicos que contém magnésio, bário, cálcio, ou ainda álcoois.

**Surfactantes:** têm função de garantir a uniformidade das emulsões.

**Biocidas:** substâncias ou misturas químicas que inibem o desenvolvimento de microrganismos, especialmente fungos e bactérias.

**Aditivos de Extrema Pressão (EP):** suportam elevadas temperaturas e pressões de corte, reduzindo o contato ferramenta/cavaco. São muito utilizados na necessidade de operações mais severas que necessitam de lubrificação adicional. O EP é composto de enxofre, fósforo ou cloro.

## CONCLUSÃO

Neste artigo, pôde-se observar a importância dos fluidos de corte na usinagem. Eles desempenham um papel crucial na remoção do calor gerado durante o processo, na redução do atrito entre a ferramenta e a peça, na remoção de cavacos e na manutenção

da estabilidade dimensional. No entanto, também existem diversos desafios relacionados ao descarte e reciclagem desses fluídos, por exemplo, a necessidade de um tratamento adequado para minimizar o impacto ambiental.

Além disso, os revestimentos das ferramentas são importantes no processo de usinagem, onde devem ser empregadas diferentes tipos para cada situação de trabalho e materiais, afim de evitar desgaste, calor excessivo e melhorar as condições de trabalho, como velocidade e profundidade de corte.

Nota-se também, que o controle do calor na usinagem e o uso eficaz de fluidos de corte são elementos essenciais para garantir a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade dos processos de usinagem. O avanço contínuo no desenvolvimento de técnicas de lubrefrigeração contribui para melhorar a produtividade e reduzir os custos na fabricação das peças usinadas.

## REFERÊNCIAS

- BYRNE G. Thermoelectric signal characteristics and average interfacial temperatures in the machining of metals under geometrically defined conditions. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, v. 27, n. 2, p. 215-224, 1987.
- DINIZ, Anselmo Eduardo. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. Artliber, 2014.
- FERRARESI, Dino. *Fundamentos da usinagem dos metais*. Editora blucher, 2018.
- GROOVER, P. Mikell. *Fundamentos da Moderna Manufatura*. 5. ed. [S. l.: s. n.], 2023. v. 2.
- JEANS, W. T. *Creators of the age of steels*. Kessinger, 2005.
- MACHADO, Álisson Rocha et al. *Teoria da usinagem dos materiais*. Editora Blucher, 2015.
- RIBEIRO, Fernando Sabino Fontequ. *Avaliação de ferramentas de corte texturizadas preenchidas com nanotubos de carbono*. 2019. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/183308>>. Acesso em: 16/09/2023.
- RUFFINO, R. T. Fluidos de corte. In: *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Blucher, 1977.
- SCHRÖTER, K. German Patent n. 420689. Treuhand – gasellssht für elektrische glühlampen, depositada em 30 de março de 1923, aprovada em 30 de outubro de 1925.
- SHAW, M. C. *Metal cutting principles*. Oxford Scientific, 1986.
- TRENT, E. M. Metal cutting and the tribology of seizure: I seizure in metal cutting. *Wear*, v. 128, p. 29-45, 1988b.
- TRIGGER, K. J.; CHAO, B. T. An analytical evaluation of metal-cutting temperatures. *Trans. of ASME*, n. 53, p. 57-68, 1951.