



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102020025949-0 A2



(22) Data do Depósito: 17/12/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 28/06/2022

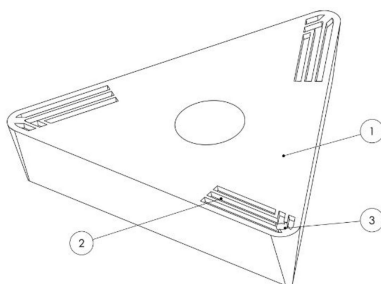
(54) **Título:** APARATO DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO COM AR COMPRIMIDO POR MICRO CANAL EM FERRAMENTA DE CORTE TEXTURIZADA

(51) **Int. Cl.:** B23P 13/02.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO.

(72) **Inventor(es):** FERNANDO SABINO FONTEQUE RIBEIRO; JOSÉ CLAUDIO LOPES; EDUARDO CARLOS BIANCHI; LUIZ EDUARDO DE ANGELO SANCHEZ.

(57) **Resumo:** O presente invento, pertencente ao campo das engenharias, tem como constituinte principal a aplicação de ar comprimido refrigerado através de micro canal localizado na ferramenta de corte texturizada. Os constituintes do presente invento são ao menos uma ferramenta de corte texturizada, um porta ferramentas, tubo vórtice, compressor de ar e tubulações de ar comprimido. Extremamente danosa ao meio ambiente e aos colaboradores, bem como altamente custosa para a operação, a aplicação de fluidos de corte é tida como o principal problema na usinagem atualmente. Técnicas tradicionais de aplicação de fluido de corte proporcionam a aplicação em altos volumes de fluido buscando a redução de temperatura nas proximidades da região de contato entre cavaco e ferramenta. O presente invento abre uma nova possibilidade frente a usinagem à seco, unindo a técnica de lubri-refrigeração por ar comprimido juntamente a aplicação de ferramentas de corte texturizada, de forma que a constituinte única da presente invenção caracteriza-se na aplicação do jato de ar comprimido refrigerado na região de deformação do cavaco, gerando uma pressão contrária ao contato com a ferramenta de corte. Aliando-se aos benefícios já observados para as ferramentas de corte como redução da área de contato e redução de (...).



**APARATO DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO COM AR COMPRIMIDO  
POR MICRO CANAL EM FERRAMENTA DE CORTE  
TEXTURIZADA**

[001] O presente invento, pertencente ao campo das engenharias, tem como constituinte principal a aplicação de ar comprimido refrigerado através de micro canal localizado na ferramenta de corte texturizada. Os constituintes do presente invento são ao menos uma ferramenta de corte texturizada, um porta ferramentas, tubo vórtice, compressor de ar e tubulações de ar comprimido. Extremamente danosa ao meio ambiente e aos colaboradores, bem como altamente custosa para a operação, a aplicação de fluidos de corte é tida como o principal problema na usinagem atualmente. Técnicas tradicionais de aplicação de fluido de corte proporcionam a aplicação em altos volumes de fluido buscando a redução de temperatura nas proximidades da região de contato entre cavaco e ferramenta. O presente invento abre uma nova possibilidade frente a usinagem à seco, unindo a técnica de lubri-refrigeração por ar comprimido juntamente a aplicação de ferramentas de corte texturizada, de forma que a constituinte única da presente invenção caracteriza-se na aplicação do jato de ar comprimido refrigerado na região de deformação do cavaco, gerando uma pressão contrária ao contato com a ferramenta de corte. Aliando-se aos benefícios já observados para as ferramentas de corte como redução da área de contato e redução de atrito, a aplicação de ar comprimido refrigerado em micro canal posicionado na região texturizada proporciona grande avanço para a aplicação da usinagem à seco, ampliando as possibilidades de aplicação de uma usinagem limpa.

**ESTADO DA TÉCNICA**

[002] A indústria metal mecânica, no qual se refere aos setores de usinagem, faz amplo uso de fluidos de corte. Tal fluido cumpre algumas funções durante o processo de usinagem, entre elas, refrigerar a região de corte,

lubrificar as superfícies em atrito, arrastar o cavaco da área de corte e proteger a ferramenta, a peça e a máquina contra corrosão e oxidação.

[003] A redução da temperatura durante a usinagem é uma das principais funções e a mais importante do fluido de corte. Ao remover o calor gerado durante a operação aumenta-se a vida das ferramentas de corte e garante-se a precisão dimensional das peças pela redução dos gradientes térmicos.

[004] Apesar de a maior parte da energia produzida em forma de calor ser removida pelo cavaco, a energia acumulada na ferramenta de corte e na peça de trabalho geram distorções térmicas nas peças e alterações prejudiciais na estrutura da ferramenta, culminando no desgaste prematuro e trocas mais frequentes da ferramenta. Entretanto, as aplicações convencionais de fluido de corte fazem uso de altos volumes de fluido devido complexidade de atuação da lubrificação nas interfaces cavaco e ferramenta, em virtude das elevadas pressões de contato.

[005] A forma como o fluido penetra na região de contato cavaco-ferramenta é o ponto de pesquisas mais crescente sobre usinagem. Em meio a esta dificuldade, propõe-se a aplicação de ferramentas de corte texturizadas, que devido às suas características tribológicas permitem maior eficiência do lubrificante, proporcionando a entrada do fluido de corte na região entre o cavaco e a ferramenta, formando um filme com resistência ao cisalhamento menor que a resistência do material na interface.

[006] A eliminação total de fluidos de corte é buscada em diversos estudos. Os benefícios encontrados nas ferramentas durante a aplicação de ferramentas de corte texturizadas ampliam-se para o corte à seco, indicando que a aplicação do corte à seco é possível. Outra possibilidade vista para a aplicação da usinagem à seco é a aplicação de jatos de ar comprimido refrigerado na interface de corte através da aplicação de tubos vórtice. Os tubos vórtice são equipamentos que proporcionam o fornecimento de ar comprimido refrigerado através de câmaras internas de diferentes

geometrias, que alteram a velocidade e pressão do escoamento e culminam na redução da temperatura de ar comprimido fornecido, visto que há apenas um único jato de ar comprimido na entrada do mesmo. Apesar dos benefícios, a aplicação de ar comprimido refrigerado apresenta um problema em comum com a refrigeração convencional, visto que a aplicação de ar comprimido também não atinge a interface de contato entre o cavaco e a ferramenta.

**[007]** Tal ponto é o objetivo principal deste invento, no qual há a aplicação de ar comprimido refrigerado por tubo vórtice por intermédio de um micro canal posicionado na interface de contato entre cavaco e ferramenta, de tal modo que o posicionamento do micro canal é coincidente com a região texturizada. Deste modo, são ampliados os benefícios da usinagem a seco e da aplicação de ferramentas de corte texturizadas.

**[008]** Buscas realizadas nos principais bancos de patentes visam verificar as mais recentes patentes acerca de ferramentas de corte texturizadas e usinagem criogênica. A patente WO2016088567 descreve um método de aplicação de ar comprimido durante a usinagem por meio de um canal fixado abaixo da ferramenta de corte, divergindo do presente invento pelo fato de não apresentar ar comprimido refrigerado e ter um canal externo a ferramenta de corte. A patente JP2005329483 aponta um sistema de redução de fluido de corte, nomeando a técnica como aplicação semi-seca em ferramentas de corte convencionais, semelhante a patente JP10086036, no qual a principal divergência do presente invento é vista na aplicação de fluido de corte em baixos volumes, não proporcionando de fato a usinagem à seco. A patente JP2005186184 apresenta uma metodologia de usinagem à seco por intermédio da aplicação de um novo material de ferramenta de corte, permitindo que a ferramenta apresente maior resistência ao desgaste, diferindo do proposto por não aplicar jatos de ar comprimido por meio de micro canal interno à ferramenta. Outro invento indicado em JP2000158234

apresenta um método específico para a usinagem de engrenagens de alta precisão, mostrando-se divergente da invenção apresentada nesta patente. A análise de parâmetros de usinagem junto a amostras é indicada na patente CN104809313, que por meio destas análises indica a melhor condição de usinagem, assim divergindo do proposto pelo fato de não propiciar redução de temperatura em altas velocidades de corte.

[009] Quanto às ferramentas texturizadas, podem ser citadas as patentes MX2016014284, IN201611016675, EP2580370, CN102471896, WO 2012079769, US20120144965 e WO2018000529, compreendendo aplicações tradicionais para ferramentas de corte texturizadas, não apresentando nenhuma indicação quanto a aplicação de jatos de ar comprimido refrigerado por tubos vórtice.

[010] Com vistas ao apresentado, nenhum invento apresenta a técnica de aplicação de lubri-refrigeração com ar comprimido por micro canal em ferramenta de corte texturizada. Assim, o invento apresentado apresenta caráter inovador frente ao estado da técnica atual.

### **VANTAGENS DA INVENÇÃO**

[011] O invento proposto vem demonstrar diversas utilidades e importantes aplicações aos usuários, das quais fazem as seguintes citações:

[012] Permite a usinagem totalmente à seco, eliminando o fluido de corte e proporcionando uma usinagem sem resíduos tóxicos;

[013] Proporciona a redução da temperatura na interface de contato, visto que a aplicação do ar comprimido refrigerado é realizada preferencialmente em temperaturas abaixo de 0°C;

[014] O jato de ar provém de um micro canal na interface de contato, juntamente a região texturizada da ferramenta de corte;

[015] Auxilia na quebra do cavaco, dado pelo rápido resfriamento do mesmo e pela pressão de aplicação do jato de ar comprimido;

[016] Além da refrigeração, proporciona lubrificação por meio de uma fina camada de óxido na interface de contato;

[017] Auxilia na redução das forças, visto que a pressão contrária ao fluxo do cavaco reduz a área de contato e conseqüentemente o atrito durante o escoamento do cavaco;

[018] Reduz passivos ambientais e trabalhistas, garantindo menor custo de produção e melhor qualidade de vida ao colaborador.

[019] Aumenta a vida da ferramenta de corte frente à aplicações à seco sem a presente técnica

[020] Permite avanços e maiores pesquisas frente a usinagem à seco em diversas condições de usinagem e materiais de trabalho.

### **BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

[021] De modo a ter uma melhor visualização das características da invenção, são apresentadas as descrições das Figuras:

[022] A Figura de 1 apresenta em vista isométrica a ferramenta de corte (1), sua região texturizada (2) e o micro canal (3). Verifica-se que o posicionamento do micro canal coincide com a região texturizada, proporcionando a aplicação de jato de ar na interface de contato.

[023] Na Figura 2, estão indicadas a ferramenta de corte (1), o porta ferramentas (4), o tubo vórtice (5), o compressor de ar (6), a tubulação de ar comprimido (7) e a tubulação de ar comprimido refrigerado (8).

[024] Provindo de (6), o ar comprimido segue por (7) até (5) onde por diferença de pressão, há separação do fluxo de ar comprimido em um fluxo quente expelido ao ambiente e um fluxo refrigerado, este seguido por (8), passando por (4) até atingir a região (2) através de (3) contido em (1).

[025] A Figura 3 apresenta os valores médios dos esforços obtidos experimentalmente durante os ensaios.

[026] A Figura 4 apresenta o desgaste médio de flanco para as duas condições avaliadas no estudo.

[027] A disposição dos equipamentos e componentes, bem como a geometria dos sistemas e itens apresentados são representativas. O uso de equipamentos divergentes dos apresentados mas que objetivem o mesmo fim já é defendido pela presente patente.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

[028] Durante a usinagem, a remoção do material em forma de cavaco dá-se pelo recalque do material sobre a ferramenta de corte, seguida pela deformação plástica, ruptura e escoamento do material sobre a superfície de saída.

[029] A geração de calor durante a usinagem ocorre em três regiões, sendo a região de deformação primária, com maior parcela do calor gerado, localizando-se região de deformação do cavaco; região secundária, localizada sobre a superfície de saída, onde há atrito entre o cavaco e a ferramenta; e na região terciária, localizada no flanco da ferramenta de corte, onde também há atrito entre a ferramenta e o material recém usinado.

[030] A região texturizada da ferramenta de corte encontra-se sob a região de deformação secundária do cavaco, juntamente ao micro canal de fornecimento de ar comprimido refrigerado. A presença da região texturizada por si só garante uma redução da área de contato entre cavaco e ferramenta de corte, garantindo menor condução térmica do cavaco aquecido para a ferramenta, bem como auxiliando na redução do coeficiente de atrito devido as suas propriedades tribológicas.

[031] Em meio a esta região, é aplicado um jato de ar comprimido em pressão e vazão adequada aos parâmetros de usinagem, preferencialmente em temperaturas abaixo de 0°C, originando uma pressão contrária a pressão de deformação do cavaco sobre a superfície de saída. A refrigeração do ar comprimido é obtida preferencialmente pela utilização de tubos vórtice.

[032] O rápido resfriamento do cavaco gera instantâneo aumento de dureza, e devido à pressão contrária a sua deformação, há maior facilidade em quebra do mesmo.

[033] A redução de temperatura estende-se a ferramenta de corte, na qual o fluxo de ar comprimido no interior da mesma garante temperaturas menores de usinagem, reduzindo a adesão de material em sua superfície, a difusão e a perda de dureza devido ao aumento de temperatura, culminando assim em aumento de vida para a mesma.

[034] Além disso, a aplicação de ar comprimido na interface de contato pode diminuir o atrito através dos óxidos superficiais formados no cavaco e na ferramenta de corte. A baixa resistência mecânica dos óxidos permite a redução do atrito durante a usinagem.

[035] Melhor quebra do cavaco juntamente a menores temperaturas na ferramenta de corte proporcionam uma aresta de corte com integridade prolongada, garantindo melhor qualidade superficial para a peça de trabalho.

[036] Ensaio controlados em laboratório foram realizados buscando verificar a funcionalidade do presente invento. Abaixo, estão descritos os procedimentos e os resultados encontrados durante as análises.

### **Procedimento para análise de forças, coeficiente de atrito e vida de ferramenta**

[037] Os ensaios foram realizados em um torno CNC da marca ROMI, modelo Centur 30D, no qual foi montado um dinamômetro de três coordenadas da marca Kistler, modelo 9257BA. Os sinais do dinamômetro são enviados até a unidade de controle 5233 A1, no qual os sinais foram configurados em Fx, Fy e Fz conforme os esforços atingidos durante a usinagem. As saídas coaxiais da unidade de controle do dinamômetro foram conectadas a um módulo de aquisição de dados analógicos da National Instrument modelo NI-9207, conectado ao chassi de ethernet cDaq-9188,

também da National Instrument e lidos em um computador com software de análise Labview® a uma frequência de aquisição de 200 Hz.

[038] As forças de corte foram tomadas em cada ensaio e foram representadas através de seus valores médios para cada passe até o fim da vida das ferramentas. Os valores das forças de corte mensuradas durante os ensaios foram aplicados para a quantificação do coeficiente de atrito entre cavaco e ferramenta, conforme proposto nas Equações 1, 2 e 3:

$$F_{at} = (F_{xy} + F_z \tan \alpha) \cos \alpha \quad (1)$$

$$F_N = (F_z - F_{xy} \tan \alpha) \cos \alpha \quad (2)$$

$$\mu = \frac{F_{at}}{F_N} \quad (3)$$

no qual,  $F_{at}$  é a força de atrito,  $F_N$  é a força na direção normal à superfície de saída e  $F_{xy} = F_x / \sin(90 - \theta)$ ,  $\alpha$  é o ângulo de saída e  $\theta$  é o ângulo de posicionamento da ferramenta ou ângulo lateral da aresta de corte. O ângulo lateral da aresta de corte é definido como o ângulo entre a aresta de corte e a superfície lateral do porta ferramentas. Na dada situação o, o conjunto entre ferramenta de corte e porta ferramentas apresenta  $\theta = 1^\circ$  e  $\alpha = 6^\circ$ . Tal relação apresenta o valor do coeficiente global de atrito, não podendo indicar apenas o atrito em determinada região, que como já apresentado, pode ter origem na superfície de flanco, ponta ou superfície de saída da ferramenta de corte.

[039] A norma ISO 3685 estabelece que um dos critérios para o final de vida da ferramenta de corte é o desgaste de flanco médio de 0,3 mm (VBB). Durante os ensaios, o desgaste foi medido até alcançar o valor limite de 0,3, ou a operação interrompida caso ocorresse algum falha catastrófica na ferramenta. A medição foi realizada através de dados obtidos por imagens

realizadas em microscópio ótico (Nikkon SMZ 800) acoplado a uma câmera digital.

[040] Os resultados avaliados foram comparados em função da aplicação de torneamento com lubrificação convencional e o presente invento. Os parâmetros de corte aplicados foram fixados em velocidade de corte de 100 m/min, avanço de 0,2 mm/rev e profundidade de corte de 1mm. A seguir, apresentamos os resultados em termos de vida de ferramenta e forças de corte.

#### **Resultados acerca da força de corte e atrito**

[041] A aplicação de ar comprimido como proposta neste invento afetou significativamente as condições de usinagem principalmente pela redução na temperatura e alteração na formação do cavaco. Na Figura 3 estão contidos os esforços de corte médios obtidos experimentalmente para a condição convencional e a apresentada neste invento. Como visto, reduções significativas nas três componentes de esforços foram atingidas. Com a contra pressão formada ao cavaco juntamente a baixa temperatura pela qual o jato de ar comprimido foi aplicado, o cavaco alterou sua forma de contínuo para espiral. A presença de um cavaco contínuo gera maior área de contato e dificuldades para a usinagem, podendo gerar acidentes e danos ao processo. No uso de jatos de ar comprimido provindo de micro canais na região texturizada da ferramenta de corte, o cavaco foi rapidamente resfriado, alterando sua forma e por consequência reduzindo o contato e forças de corte.

#### **Resultados da análise de vida da ferramenta de corte.**

[042] A Figura 4 apresenta o perfil de desgaste para as condições convencionais e a aplicada no presente invento. A ferramenta convencional atingiu seu final de vida ao remover aproximadamente 150 cm<sup>3</sup> de material, enquanto a ferramenta de corte texturizada dotada do presente invento removeu aproximadamente 220 cm<sup>3</sup> de material, apresentando um aumento

de aproximado de 46% no volume de material removido. A melhor condição de formação de cavaco que resultou em reduções nas forças de corte auxiliou na redução do desgaste da ferramenta de corte. Em primeiro lugar, uma menor região de contato entre cavaco e ferramenta permite que apenas uma menor parcela da temperatura do cavaco seja transferida por condução para a ferramenta de corte. Em segundo lugar, o fluxo de ar frio presente em um micro canal na região de corte texturizada pode remover e refrigerar rapidamente a ferramenta de corte. Tais pontos reduzem o desgaste por excesso de temperatura, como a adesão e a perda da dureza da ferramenta de corte por meio do aumento da temperatura.

[043] Deste modo, a aplicação do presente invento pode presente invento pode promover uma condição viável para o corte a seco, sem a presença de fluidos líquidos de usinagem. No entanto, é de conhecimento que o ar atmosférico, como o aplicado de forma comprimida, apresenta alto volume de nitrogênio. O nitrogênio, por sua vez, é altamente eficaz em termos de redução de atrito, sendo o mesmo utilizado como aditivo em fluidos de corte. Desta forma, justifica-se a aplicação de ar comprimido puro na interface de corte.

[044] Aponta-se a região texturizada pode se apresentar em micro/nano furos, micro/nano ranhuras, ou qualquer micro/nano geometria que promova melhor interação tribológica entre cavaco e ferramenta de corte, assim como podem ser aplicados diversos materiais e geometrias de ferramentas de corte e porta ferramentas.

[045] A promoção da usinagem à seco vista nesta invento é ponto de fundamental caráter inovador, visto que garante uma aplicação viável entre ferramenta de corte texturizada e lubri-refrigeração por ar refrigerado por meio de um micro canal interno a ferramenta de corte.

## REIVINDICAÇÕES

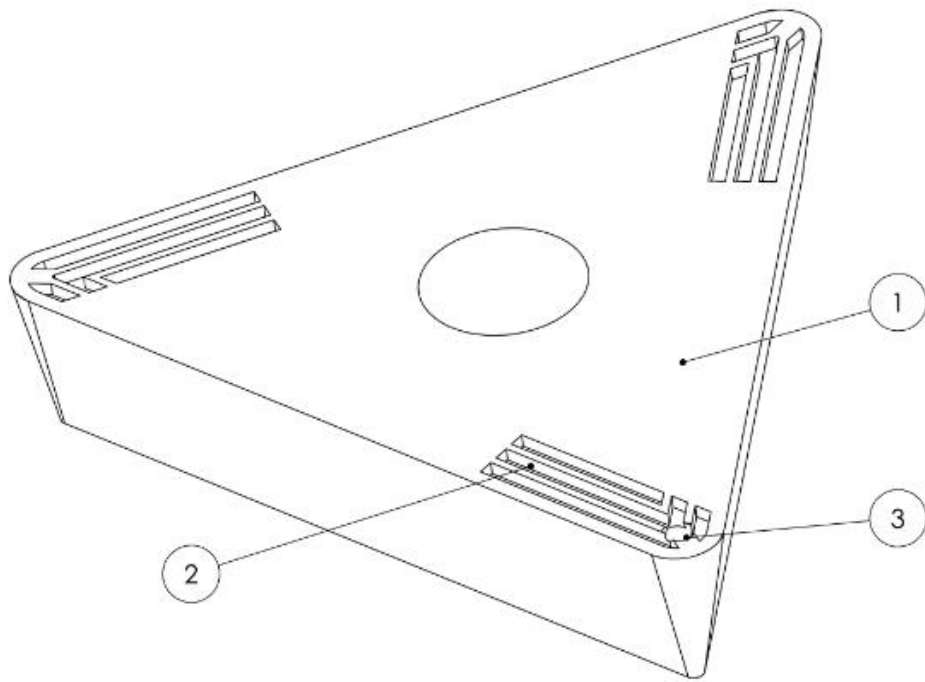
**1-APARATO DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO COM AR COMPRIMIDO POR MICRO CANAL EM FERRAMENTA DE CORTE TEXTURIZADA**, caracterizado por conter ao menos uma ferramenta de corte (1) com região texturizada (2) e ao menos um micro canal (3) interno a ferramenta de corte, juntamente a um porta ferramentas (4), tubo vórtice (5), compressor de ar (6), tubulação de ar comprimido (7) e a tubulação de ar comprimido refrigerado (8), no qual o ar comprimido é gerado em (6), onde segue por (7) até (5) onde por diferença de pressão é refrigerado, e segue por (8), passando por (4) e sendo expelido em (2) através de (3) contida em (1).

**2-APARATO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por (8) ser constituído de material isolante.

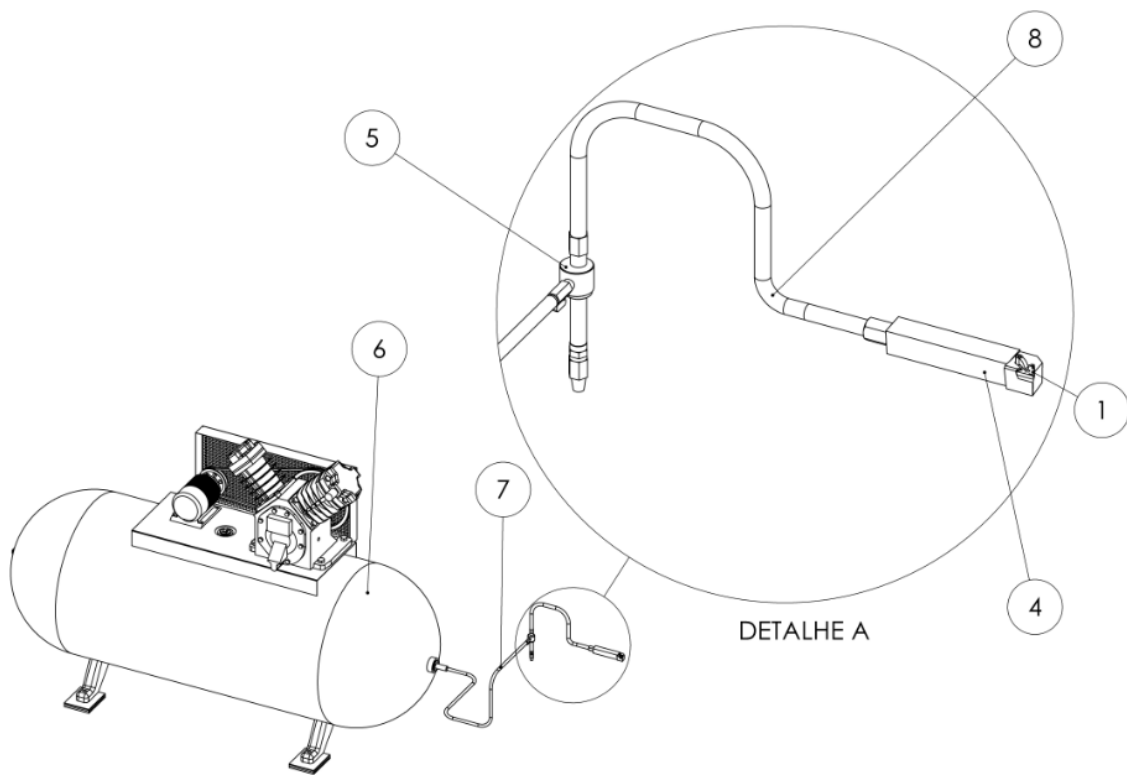
**3-APARATO**, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por o tipo e a capacidade de produção de ar comprimido de (6) ser compatível com a pressão e vazão necessárias ao processo de usinagem, podendo ser (6) do tipo alternativo com pistões, membranas, parafuso, lóbulos, ou qualquer tipo compatível ao processo.

**4-USO DO APARATO**, conforme definido nas reivindicações 1 a 3, caracterizado por ser como sistema de lubri-refrigeração com ar comprimido por micro canal em ferramenta de corte texturizada a aplicação de jato de ar comprimido refrigerado por debaixo do cavaco por meio micro canal contido na ferramenta de corte na região de contato texturizada.

**FIGURA 1**



**FIGURA 2**



**FIGURA 3**

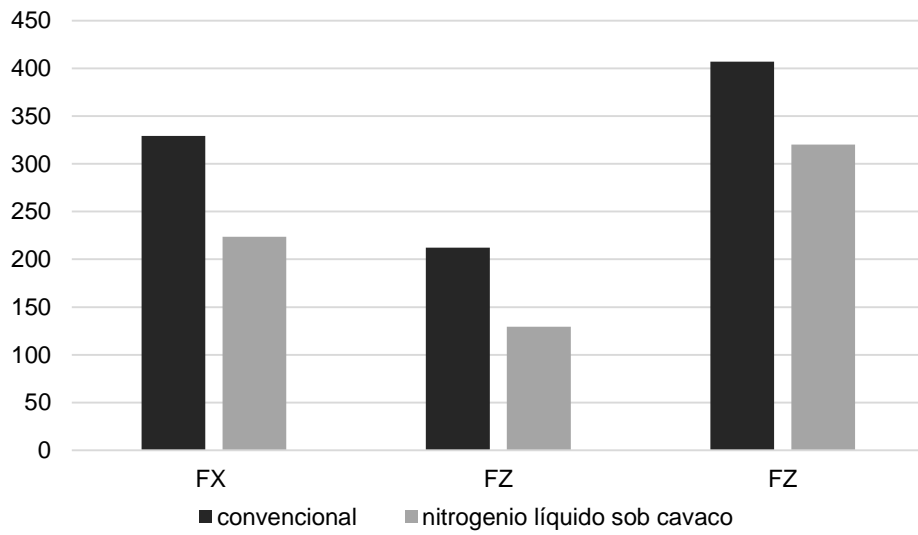
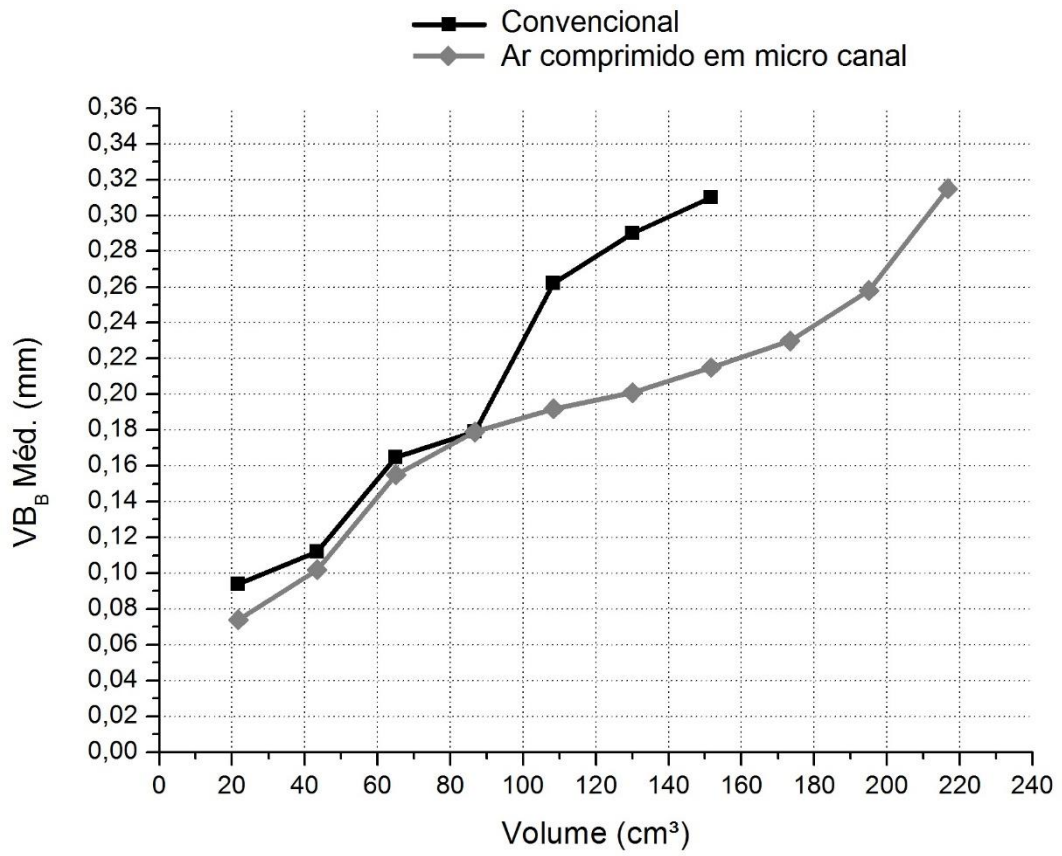


FIGURA 4



## **RESUMO**

### **APARATO DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO COM AR COMPRIMIDO POR MICRO CANAL EM FERRAMENTA DE CORTE TEXTURIZADA**

O presente invento, pertencente ao campo das engenharias, tem como constituinte principal a aplicação de ar comprimido refrigerado através de micro canal localizado na ferramenta de corte texturizada. Os constituintes do presente invento são ao menos uma ferramenta de corte texturizada, um porta ferramentas, tubo vórtice, compressor de ar e tubulações de ar comprimido. Extremamente danosa ao meio ambiente e aos colaboradores, bem como altamente custosa para a operação, a aplicação de fluidos de corte é tida como o principal problema na usinagem atualmente. Técnicas tradicionais de aplicação de fluido de corte proporcionam a aplicação em altos volumes de fluido buscando a redução de temperatura nas proximidades da região de contato entre cavaco e ferramenta. O presente invento abre uma nova possibilidade frente a usinagem à seco, unindo a técnica de lubri-refrigeração por ar comprimido juntamente a aplicação de ferramentas de corte texturizada, de forma que a constituinte única da presente invenção caracteriza-se na aplicação do jato de ar comprimido refrigerado na região de deformação do cavaco, gerando uma pressão contrária ao contato com a ferramenta de corte. Aliando-se aos benefícios já observados para as ferramentas de corte como redução da área de contato e redução de atrito, a aplicação de ar comprimido refrigerado em micro canal posicionado na região texturizada proporciona grande avanço para a aplicação da usinagem à seco, ampliando as possibilidades de aplicação de uma usinagem limpa.