

## CONEM2024-1119

# ESTUDO DA USINABILIDADE DE UM AÇO DE LIVRE CORTE COM ADIÇÃO DE CHUMBO E BISMUTO NA OPERAÇÃO DE TORNEAMENTO

João Paulo Luiz Grisotto Alves, joao.l.alves@edu.ufes.br<sup>1</sup>  
Evandro Falcão Della Valentina de Oliveira, evandro.f.oliveira@edu.ufes.br<sup>1</sup>  
João Paulo Coutinho Mutiz, joao.mutiz@edu.ufes.br<sup>1</sup>  
João Batista Ribeiro Martins, jbmartins2008@gmail.com<sup>1,2</sup>  
Marcelo Bertotele Carneiro, marcelo.b.carneiro@ufes.br<sup>1</sup>  
Patrícia Alves Barbosa, patricia.a.barbosa@ufes.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, 29075-910, Vitória/ES

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Coordenação de Metalurgia, 29040-780, Vitória/ES

**Resumo:** Os aços de livre corte são produzidos utilizando técnicas metalúrgicas para alcançar alta usinabilidade através da adição de elementos de liga com o intuito de aumentar a produtividade, e consequentemente, reduzir os custos de fabricação. A usinabilidade, por sua vez, pode ser compreendida como uma grandeza tecnológica que serve para comparar a usinagem dos materiais. Porém, esta é influenciada pelas características metalúrgicas do material da peça, condições de corte, tipo de operação e rigidez do sistema. O objetivo do trabalho foi avaliar a usinabilidade em operação de torneamento de um aço de livre corte contendo sulfeto de manganês (MnS) com adições de chumbo (Pb) e bismuto (Bi), codificado como (MnS+PbBi), comparando-o com o aço ABNT 1020, tomado como material de referência. Para tanto, os materiais de trabalho foram caracterizados quanto a microestrutura, para evidenciar as fases e elementos presentes; e o número de dureza Vickers. Os ensaios de torneamento foram executados mantendo-se a velocidade de corte e a profundidade de corte constantes em 150 m/min e 1 mm, respectivamente. O avanço foi variado em um intervalo de 0,1 a 0,3 mm/volta. Os índices de usinabilidade avaliados foram: a força de usinagem ( $F_u$ ), a pressão específica de corte ( $K_s$ ), e os parâmetros de rugosidade  $R_a$  e  $R_z$ . Os resultados indicaram que o aço de livre corte possui microestrutura predominantemente ferrítica, com presença de perlita, assim como o aço ABNT 1020. Os elementos de livre corte evidenciados por microscopia consistiram de sulfeto de manganês (MnS) do tipo 1 em formato elipsoidal levemente deformados devido ao processo de laminação, envoltos por Pb e Bi. Os materiais apresentaram dureza média semelhante, em torno de 180 HV30. A  $F_u$  e a  $K_s$  foram em média 34% e 32%, respectivamente, menores para o aço MnS+PbBi, enquanto que os parâmetros de rugosidade  $R_a$  e  $R_z$  foram 17% e 21% maiores para o aço de livre corte. A melhor usinabilidade do aço MnS+PbBi deve-se a ação de fragilização do cavaco e de lubrificação promovida pela presença dos elementos de livre corte.

**Palavras-chave:** aço de livre corte, dureza Vickers, força de usinagem, pressão específica de corte, rugosidade

## 1. INTRODUÇÃO

A usinabilidade de um metal pode ser definida como uma grandeza tecnológica que expressa por meio de um valor numérico a capacidade de um material ser usinado em relação a um outro tomado como referência. Para tanto, índices de usinabilidade são utilizados para comparação, podendo-se citar: a vida da ferramenta; os esforços de corte; o acabamento superficial; a forma do cavaco; a temperatura; e a produtividade (Ferraresi, 2011).

O estado metalúrgico da peça, as propriedades mecânicas, a composição química, bem como as condições de usinagem, operação de corte, características da ferramenta, rigidez do sistema máquina-ferramenta-peça influenciam nos resultados de usinabilidade de um material (Shaw, 2005; Diniz *et al.*, 2014). Assim, segundo Trent e Wright (2000) a usinabilidade não deve ser considerada como uma propriedade do material, porque ela pode mudar de acordo com o critério de avaliação adotado, índice de usinabilidade. Da mesma forma, os resultados podem variar com as diferentes operações de usinagem, assim como quando se muda o material da ferramenta de corte.

Aços de alta usinabilidade são materiais em que técnicas metalúrgicas são utilizadas para adicionar elementos de livre corte, em que sozinho ou composto com enxofre (S) e manganês (Mn) formam inclusões que interrompem a matriz diminuindo a tenacidade e a ductilidade. A intenção dos aços de livre corte é reduzir os custos de usinagem, ao mesmo tempo, aumentar a produtividade em comparação com aços estrutura similar (Tanaka *et al.*, 2007; Kurka *et al.*, 2022). Os

principais elementos de liga encontrados nestes materiais são o enxofre (S), selênio (Se), telúrio (Te), bismuto (Bi), chumbo (Pb), estanho (Sn), fósforo (P) e nitrogênio (N). Em particular, o Pb e o Bi são formadores de partículas metálicas micrométricas de baixo ponto de fusão, atuando como lubrificante entre a ferramenta e a peça, conseqüentemente, diminuindo o esforço de corte, o comprimento de contato cavaco-ferramenta e aumentando o ângulo de cisalhamento (Ramanujachar e Subramanian, 1996; Tanaka *et al.*, 2007). A adição de elementos de livre corte foram reportadas em aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos, e aços de alto e baixo carbono (Kishi e Eda, 1976; Li e Wu, 2010). Todavia, a adição de Pb tem sido banida em muitos países devido a sua toxicidade ao meio ambiente e aos seres humanos, sendo o Bi considerado como substituto (Tanaka *et al.*, 2007; Hashimura *et al.*, 2007; Watari *et al.*, 2017).

O objetivo do trabalho foi avaliar a usinabilidade de um aço de livre corte contendo sulfeto de manganês (MnS) com adições de chumbo (Pb) e bismuto (Bi), tomando como referência para comparação o aço ABNT 1020. Para tanto, a microestrutura e dureza dos materiais foram caracterizadas, pois refletem aspectos metalúrgicos. Em seguida, ensaios de torneamento foram executados avaliando os índices de usinabilidade de força de usinagem (Fu), pressão específica de corte (Ks) e os parâmetros de rugosidade Ra e Rz.

## 2. METODOLOGIA

Os materiais de peça utilizados foram um aço de livre de corte contendo sulfeto de manganês (MnS) com adições de chumbo (Pb) e bismuto (Bi), codificado como (MnS+PbBi), e um aço ABNT 1020, utilizado como referência para comparação de resultados. As barras tinham diâmetro nominal de 25,4 mm.

Seções transversais e longitudinais de amostras do aço em investigação foram preparadas metalograficamente e atacadas com Nital a 2% para caracterização microestrutural e ensaios de dureza. A caracterização da microestrutura foi realizada em um microscópio invertido Invert 5000 Metal (FWL) e uma análise química semiquantitativa foi executada em um microscópio eletrônico de varredura, MEV, Quanta FEG650 (FEI) com detector de espectro de energia dispersiva, EDS, Quantax (Bruker). O ensaio para a determinação da dureza Vickers foi executado em conformidade com a norma ASTM E92-17 (2017), em um durômetro 200HBRV-187.5S (Lleida), com carga de trabalho de 30 kgf. O número de dureza Vickers (HV) foi calculado conforme a Eq. (1), em que  $P$  é a carga aplicada em kgf e  $d$  a média das diagonais da impressão em mm. Para tanto, foram analisadas 10 indentações nas seções longitudinal e transversal dos materiais de estudo.

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (1)$$

Os ensaios de usinagem foram realizados em um torno CNC Centur 35D (Romi) de 3000 rpm e 11 kW. Foram utilizados insertos de metal duro sem revestimento, com especificação TPUN 160304, classe BA 55 (Brassinter), que corresponde a classe ISO P25-P45. As ferramentas foram montadas em um suporte CTGPR 2525M16 (Sandvik) que conferiu uma geometria de corte com ângulo de posição ( $\chi_r$ ) de 91°, ângulo de saída ( $\gamma_o$ ) de 6°, ângulo de folga ( $\alpha_o$ ) de 5° e ângulo de inclinação ( $\lambda_s$ ) 0°. Essa geometria de corte semi-ortogonal é uma simplificação para a investigação dos fenômenos de usinagem (Shaw, 2005). Como índice de usinabilidade, foram avaliadas as respostas força de usinagem (Fu), pressão específica de corte (Ks) e parâmetros de rugosidade de amplitude Ra e Rz. Para tanto, utilizou-se um sistema Kistler composto por um dinamômetro modelo 9129 AA, amplificador 5080A103001, sistema de aquisição 5697A1 e software de análise Dynoware. Ks foi calculado a partir da Eq. (2), sendo  $F_c$  a força de corte em N e  $A$  a área da seção transversal de corte em mm<sup>2</sup>. Esta última é obtida pelo produto da profundidade de corte ( $a_p$ ) pelo avanço ( $f$ ), ambos em mm. Os parâmetros de rugosidade foram avaliados com o auxílio de um rugosímetro portátil SJ-210 (Mitutoyo) e os comprimentos de amostragem (*cut-off*) utilizados basearam-se nas recomendações da ABNT NBR ISO 4288:2008.

$$Ks = \frac{F_c}{A} [\text{MPa}] \quad (2)$$

Na Tabela 1 tem-se as condições de corte utilizadas para o estudo, de modo que devido ao pequeno diâmetro das barras (25,4 mm) e limitação de rotação da máquina-ferramenta,  $v_c$  e  $a_p$  foram mantidos fixos, variando-se apenas o parâmetro  $f$ . As barras foram preparadas para ter comprimento de 200 mm, sendo que o percurso de avanço ( $L_f$ ) para cada condição de corte foi de 15 mm. Um teste e duas réplicas foram executados para cada condição de corte, sempre utilizando uma aresta de corte nova. A rugosidade foi avaliada em quatro quadrantes dispostos a 90° para cada trecho usinado. Na Figura 1 tem-se um fluxograma da metodologia experimental, na qual se ilustra as etapas descritas anteriormente.

**Tabela 1. Condições utilizadas nos ensaios de usinagem.**

$v_c$ [m/min]	$a_p$ [mm]	$f$ [mm/volta]
150	1	0,1
		0,2
		0,3

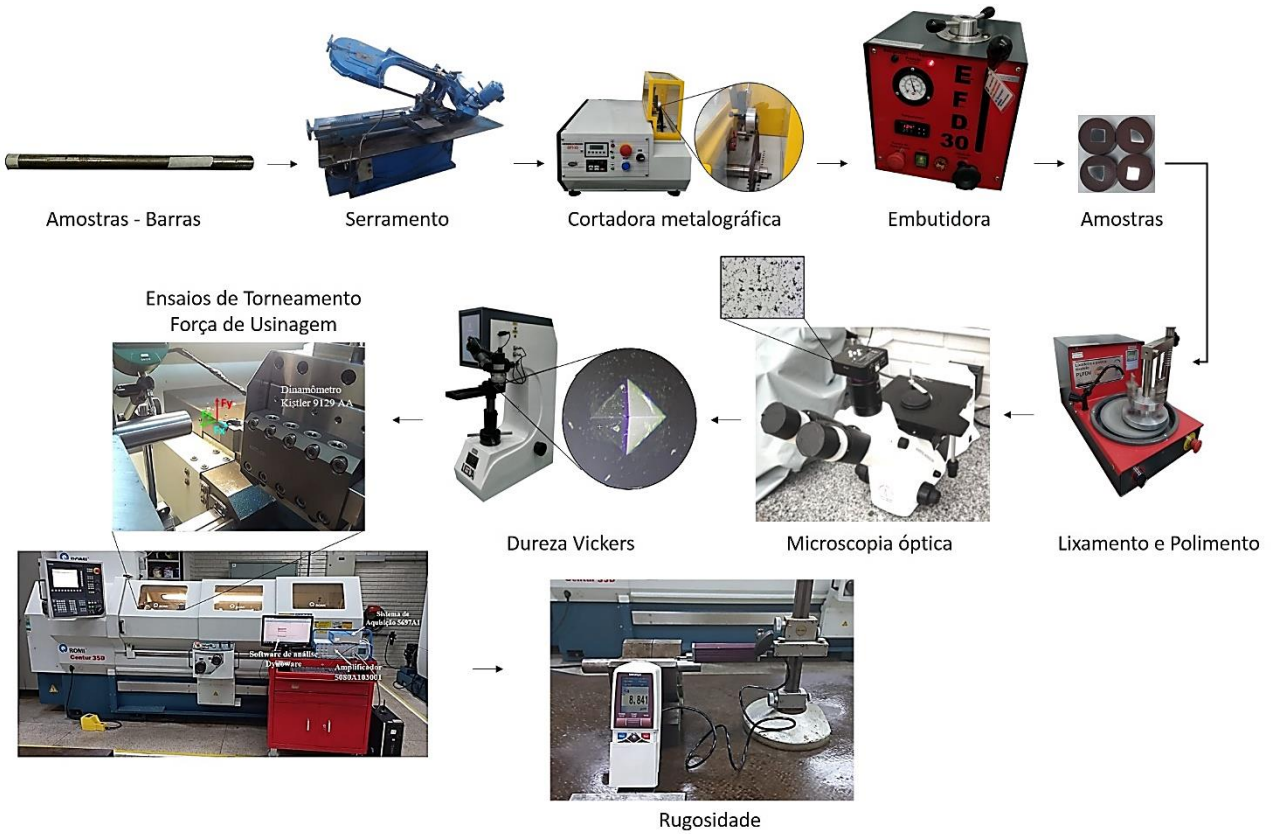


Figura 1. Fluxograma metodologia experimental.

### 3. RESULTADOS

Na Figura 2 tem-se imagens da seção transversal e longitudinal do aço de livre corte, MnS+PbBi, e do aço ABNT 1020.

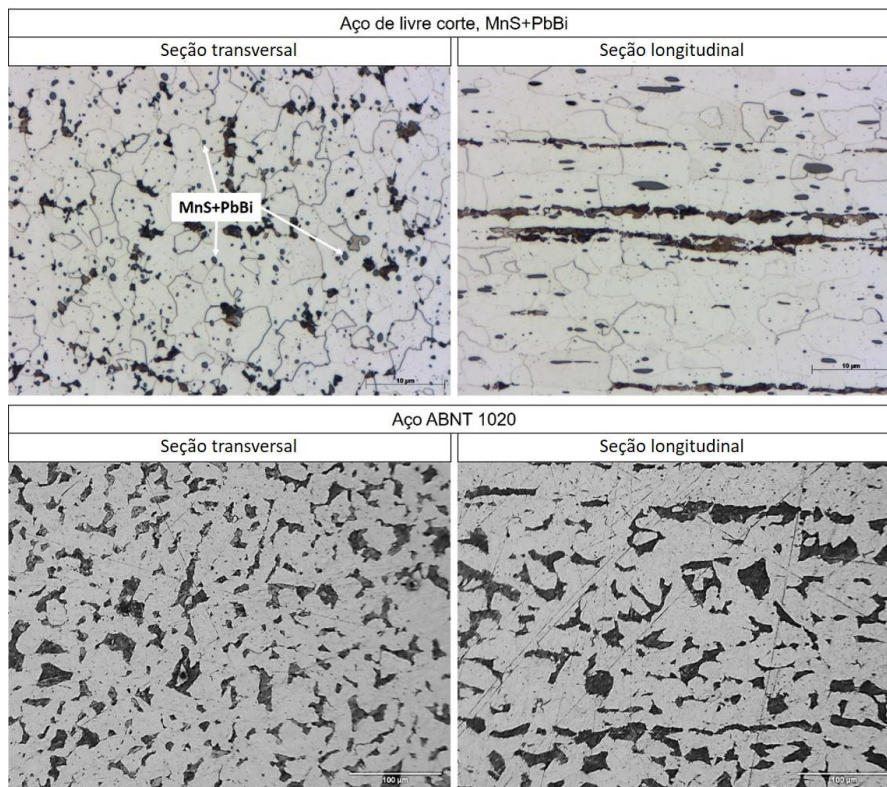


Figura 2. Micrografias das seções longitudinal e transversal do aço de livre corte (MnS+PbBi) e do aço ABNT 1020.

Nas micrografias da seção transversal (Figura 2, à esquerda) destaca-se que a microestrutura dos materiais possuem matriz ferrítica, contraste em cor clara, além da presença da fase perlita, cor escura. Para o aço MnS+PbBi nota-se na micrografia os elementos de livre corte em tom cinza, dispersos na matriz e de pequena dimensão, quando comparado com as outras fases. Os elementos de livre corte se apresentam como inclusões, insolúveis na matriz, promovendo descontinuidades, que podem afetar as propriedades mecânicas do material (Tanaka *et al.*, 2007; Li e Wu, 2010). Na seção longitudinal de ambos os materiais (Figura 2, à direita), nota-se as mesmas fases, todavia deformadas na direção horizontal, indicando o sentido de laminação das barras.

Na Figura 3 (a) nota-se que os elementos de livre corte, fase com contraste mais escuro evidenciados por MEV, possuem formato elipsoidal.

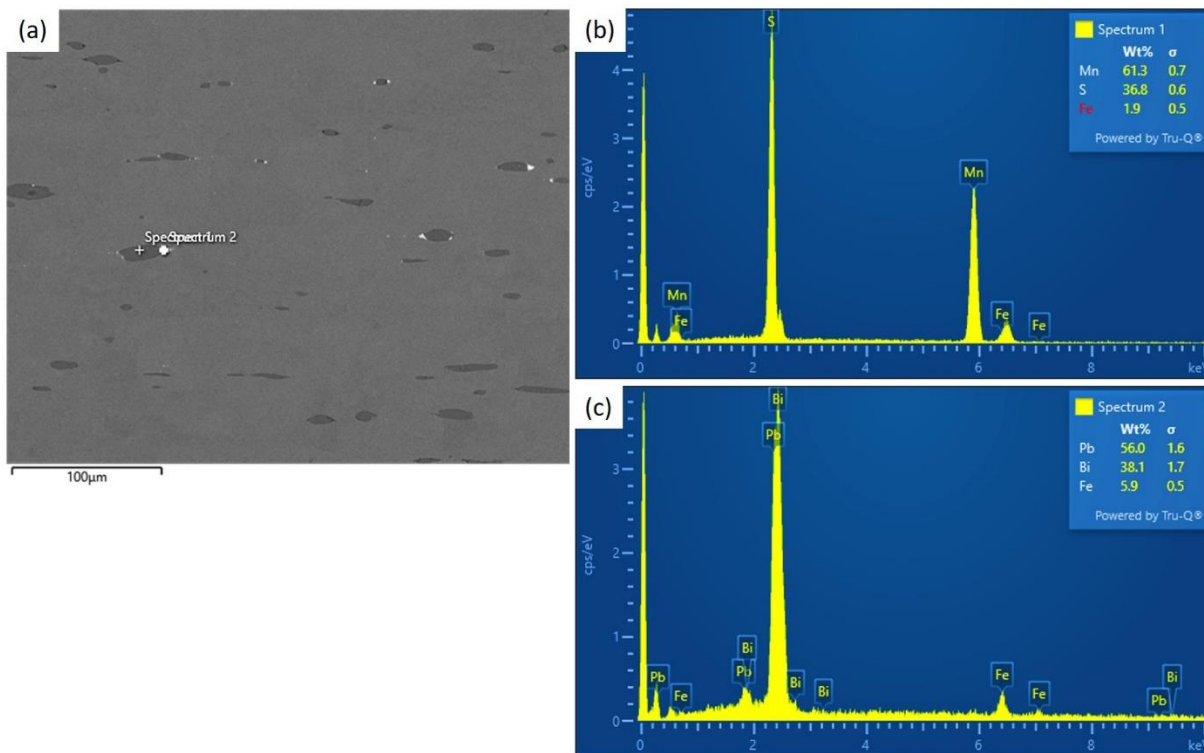


Figura 3. Micrografia em MEV e análise química. (a) MEV do aço MnS+PbBi; (b) EDS do *Spectrum 1* indicando os elementos Mn e S; (c) EDS do *Spectrum 2* indicando os elementos Pb e Bi.

Na Figura 3 (b) tem-se o espectrograma da análise química semi-quantitativa do *Spectrum 1* feita por EDS, revelando que a fase é constituída, basicamente, de Mn e S, formando o sulfeto de manganês (MnS). Todavia, o *Spectrum 2*, Fig. 3 (c), indica que o sulfeto está envolto por uma fase cor clara, constituída, principalmente, por Pb e Bi. Xie *et al.* (2020) fizeram a mesma observação em aço inoxidável com adição de MnS e Bi. A adição de elementos de livre corte tem a tendência de tornar o cavaco mais suscetível à falha no plano de cisalhamento primário durante a sua formação, de diminuir a condição de atrito na interface cavaco-ferramenta e consequentemente os esforços de corte (Kishi e Eda, 1976; Varghese *et al.*, 2017).

Na Tabela 2 é apresentado o número médio de dureza Vickers e desvio-padrão das seções transversal e longitudinal dos materiais avaliados.

**Tabela 2. Médias do número de dureza Vickers para os aços avaliados.**

Materiais	Número de Dureza Vickers [HV 30]	
	Seção transversal	Seção longitudinal
Aço MnS+PbBi	188±5	185±5
Aço ABNT 1020	185±2	176±3

De maneira geral, os materiais avaliados apresentaram número de dureza Vickers semelhantes e pouca variação em relação a mudança da seção de avaliação. Para a seção transversal o aço MnS+PbBi teve dureza média apenas 1,6% maior do que a do aço ABNT 1020. Enquanto que para a seção longitudinal, o aço de livre corte apresentou dureza 5,1% superior ao do ABNT 1020. Xie *et al.* (2020) e Li e Wu (2010) citam que a adição de elementos de livre corte podem afetar negativamente as propriedades do material como, por exemplo, diminuir a dureza. No entanto, diferente daquilo que foi mencionado na literatura a adição de elementos de livre corte não causou redução de dureza, quando comparado ao aço

ABNT 1020, também de matriz ferrítica. A justificativa pode estar relacionada ao tamanho reduzido das inclusões, processo de conformação (laminação) da barra, bem como percentual de fases. A avaliação da microestrutura dos materiais e da dureza é importante, pois evidenciam fatores metalúrgicos que podem influenciar a usinabilidade dos materiais (Diniz *et al.*, 2014).

Na Figura 4 tem-se os resultados médios do índice de usinabilidade força de usinagem ( $F_u$ ) em função do avanço ( $f$ ). As barras verticais representam o desvio-padrão.

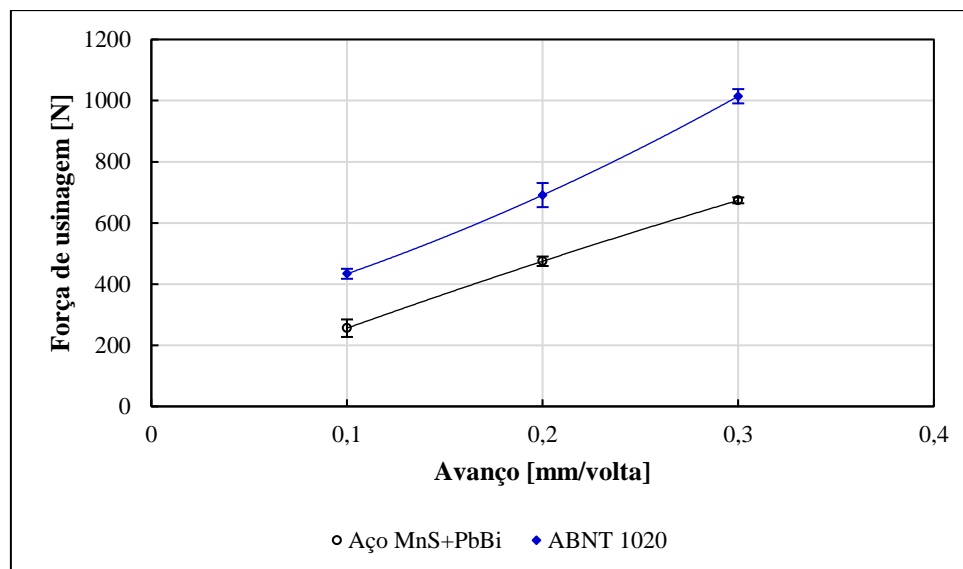


Figura 4. Resultados de  $F_u$  com desvio-padrão para o aço de livre corte (MnS+PbBi) e aço ABNT 1020.

Nota-se na Figura 4 que com o aumento do  $f$  tem-se um aumento na  $F_u$  para ambos os materiais. Isso se deve ao aumento da seção transversal de corte na Eq. (2), que implica em aumento das áreas dos planos de cisalhamento primário e secundário durante a formação do cavaco e, conseqüentemente, aumento da força resultante  $F_u$  (Diniz *et al.*, 2014; Machado *et al.*, 2015). Avaliando-se do menor para o maior avanço testado,  $F_u$  foi maior para o aço ABNT 1020 em 69,5%, 45,6% e 50,5%, respectivamente, em comparação com o aço de livre corte. Em média,  $F_u$  para o aço MnS+PbBi foi 34% menor do que a do aço ABNT 1020.

Na Figura 5 tem-se os resultados médios e desvio-padrão para pressão específica de corte ( $K_s$ ) em função do  $f$ .

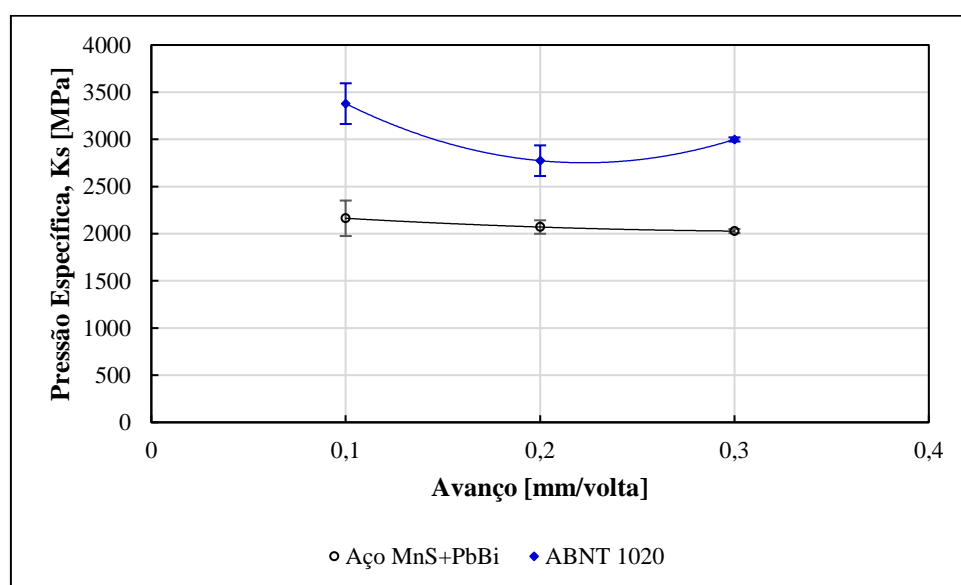


Figura 5. Resultados médios de  $K_s$  com desvio-padrão para o aço de livre corte (MnS+PbBi) e aço ABNT 1020.

Na Figura 5 pode-se observar que os resultados médios de  $K_s$  são maiores para o aço ABNT 1020 em toda a extensão experimental. Adicionalmente, nota-se que a variação de  $K_s$  com a variação de  $f$  é menor para o aço de livre corte quando comparada ao do aço de referência. A justificativa está relacionada ao efeito da adição dos elementos de livre na forma de inclusão (não solúvel a matriz). Isso favorece a fratura do cavaco, diminuindo o comprimento de contato na interface cavaco-ferramenta. Um outro fator a ser mencionado é o efeito de lubrificação que os elementos de livre corte podem

proporcionar sobre as superfícies de saída e folga da ferramenta de corte (Ramanujachar e Subramanian, 1996; Tanaka *et al.*, 2007). Ao longo do menor para o maior avanço o  $K_s$  foi em média 56,2%, 34,0% e 47,9% maior para o aço ABNT 1020. Em média,  $K_s$  foi 32% menor para o aço MnS+PbBi.

Na Figura 6 tem-se os resultados médios e desvio-padrão de rugosidade para os parâmetros de amplitude  $R_a$  e  $R_z$ . De maneira geral, observa-se que os valores de rugosidade aumentam com o aumento do  $f$ . Isso se deve diretamente a contribuição geométrica que este parâmetro de processo causa nas amplitudes das irregularidades (Diniz *et al.*, 2014). Nota-se também, que para o  $f = 0,3$  mm/volta o desvio-padrão foi maior para o aço ABNT 1020, que pode estar associado a efeitos de vibração.

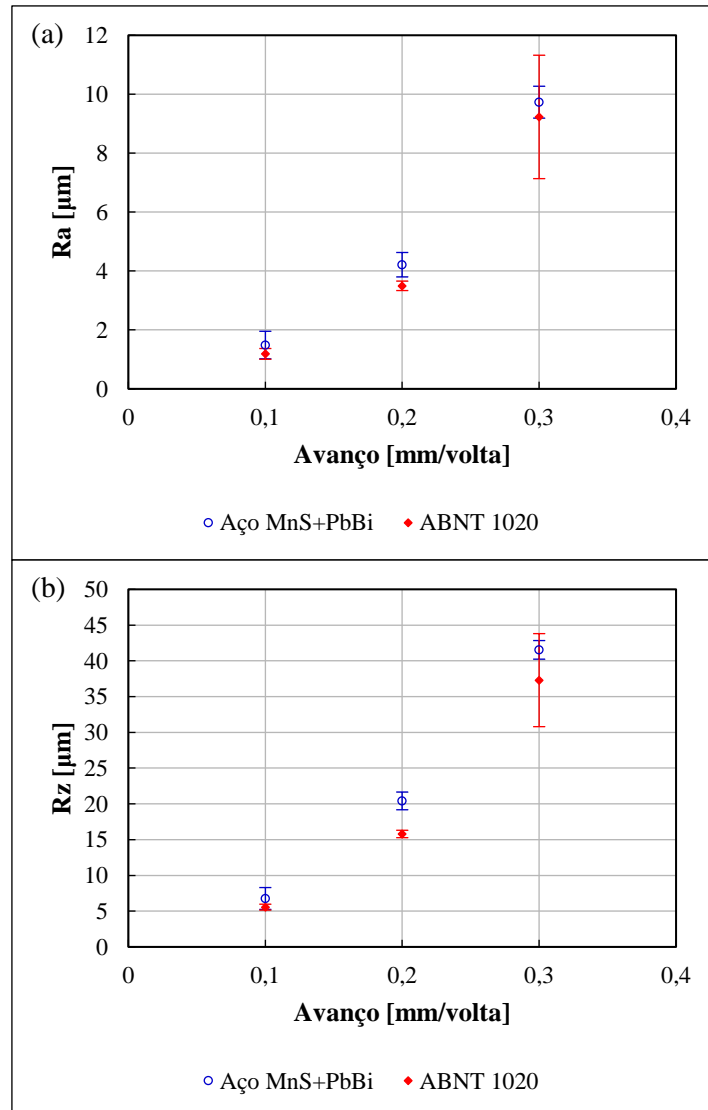


Figura 6. Resultados médios de rugosidade com desvio-padrão. (a) Parâmetro  $R_a$ ; (b) Parâmetro  $R_z$ .

Na Figura 6 (a) tem-se os resultados de média aritmética das irregularidades ( $R_a$ ) e desvio-padrão do perfil. Com o aumento do  $f$ , nota-se que os valores de  $R_a$  do aço de livre corte aumentaram em média 25,3%, 20,5% e 5,4%, respectivamente, quando comparado com o aço ABNT 1020. Em média, a rugosidade  $R_a$  foi 11% maior para o aço MnS+PbBi. Na Figura 6 (b) tem-se os resultados de média da altura máxima das irregularidades ( $R_z$ ) e desvio-padrão do perfil. Nota-se que com o aumento do  $f$  os valores de  $R_z$ , para o aço de livre corte em relação ao de referência, aumentaram em média 21,7%, 29,3% e 11,4%, respectivamente. De maneira geral, a rugosidade  $R_z$  foi em média 17% maior para o aço MnS+PbBi.

#### 4. CONCLUSÕES

O aço de livre de corte possui matriz com microestrutura ferrítica, presença da fase perlita e elementos de livre na forma de inclusões insolúveis a matriz. Os elementos de livre corte, de maneira geral, são formados por sulfetos de manganês (MnS), envoltos por Pb e Bi, possuindo formato elipsoidal. De maneira geral, os materiais avaliados apresentaram número de dureza Vickers semelhantes. Para a seção transversal e longitudinal o aço MnS+PbBi teve dureza média 1,6% e 5,1% maior do que a do aço ABNT 1020. No que se refere aos índices de usinabilidade força de usinagem

(Fu) e pressão específica de corte (Ks), o aço MnS+PbBi apresentou em média Fu e Ks 34% e 32% menor do que o aço ABNT 1020. No entanto, para os parâmetros de rugosidade Ra e Rz houve um aumento em média de 11% e 17%, respectivamente, para o aço de livre de corte. A melhor usinabilidade do aço MnS+PbBi pode estar associada a ação de fragilização do cavaco e de lubrificação na interface cavaco-ferramenta promovida pela presença dos elementos de livre corte.

## 5. AGRADECIMENTOS

À FAPES (TO 144/2020) e ao polo EMBRAPPII-IFES.

## 6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2008. NBR ISO 4288: Especificações geométricas do produto (GPS) — Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro: ABNT.
- American Society For Testing And Materials, 2017. ASTM E92-17: Standard test methods for Vickers hardness and Knoop hardness of metallic materials. West Conshohocken: ASTM International.
- Diniz, A. D.; Marcondes, F. C.; Coppini, N. L., 2014, *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. Artliber, São Paulo, Brazil, 272 p.
- Ferraresi, D., 2011, *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, Brazil, 751 p.
- Hashimura, M.; Miyanishi, K.; Mizuno, A., 2007. “Development of Low-Carbon Lead-Free Free-Cutting Steel Friendly to Environment”, *Nippon Steel Technical Report*. 96, pp. 45–49.
- Kishi, K.; Eda, H., 1976. “The lubrication and deformation mechanism of MnTe, MnS, MnSe and Pb inclusions in various steels during wear and cutting processes”. *Wear*, Vol. 38, n. 1, pp. 29–42.
- Kurka, V.; Kuboň, Z.; Kander, L.; Jonšta, P.; Kotásek, O., 2022. “The Effect of Bismuth on Technological and Material Characteristics of Low-Alloyed Automotive Steels with a Good Machinability”. *Metals*. 12, 301, <https://doi.org/10.3390/met12020301>
- Li, Z.; Wu, D., 2010. “Effect of free-cutting additives on machining characteristics of austenitic stainless steels”. *Journal of Material Science and Technology*, Vol. 26, n. 9, pp. 839–844.
- Machado, Á.R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; da Silva, M.B., 2015. *Teoria da usinagem dos materiais*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, Brazil, 408 p.
- Ramanujachar, K.; Subramanian, S.V., 1996. “Micromechanisms of tool wear in machining free cutting steels”. *Wear*, Vol. 197, pp. 45–55.
- Shaw, M.C., 2005, *Metal Cutting Principles*. Oxford University Press, New York, EUA, 651 p.
- Tanaka, R.; Yamane, Y.; Sekiya, K.; Narutaki, N.; Shiraga, T., 2007. “Machinability of BN free-machinig steel in turning”. *International Journal of Machine tools & Manufacture*, Vol. 47, pp. 1971–1977.
- Trent, E.M. and Wright, P.K., 2000. *Metal Cutting*. Butterworth-Heinemann, Boston, 4th ed. 464p.
- Varghese, L.; Aravind, S.; Shunmugesh, K., 2017. “Multi-objective optimization of machining parameters during dry turning of 11SMn30 free cutting steel using grey relational analysis”. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, pp. 4196–4203.
- Xie, J.; Fan, T.; Zeng, Z.; Sun, H.; Fu, J., 2020. “Bi-sulfide existence in 0Cr18Ni9 steel: correlation with machinability and mechanical properties”. *Journal of Materials Science and Technology*, Vol. 9, n. 4, pp. 9142–9152.
- Watari, K.; Iwasaki, T.; Aiso, T., 2017. “Development of Lead-free Free-cutting Steel and Cutting Technology”, *Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report*. 116, pp. 32-37.

## 7. RESPONSABILIDADE AUTORMAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## MACHINABILITY STUDY OF A FREE-CUTTING STEEL WITH THE ADDITION OF LEAD AND BISMUTH IN TURNING OPERATION

João Paulo Luiz Grisotto Alves, joao.l.alves@edu.ufes.br<sup>1</sup>  
Evandro Falcão Della Valentina de Oliveira, evandro.f.oliveira@edu.ufes.br<sup>1</sup>  
João Paulo Coutinho Mutiz, joao.mutiz@edu.ufes.br<sup>1</sup>  
João Batista Ribeiro Martins, jbmartins2008@gmail.com<sup>1,2</sup>  
Marcelo Bertotele Carneiro, marcelo.b.carneiro@ufes.br<sup>1</sup>  
Patrícia Alves Barbosa, patricia.a.barbosa@ufes.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal University of Espírito Santo, Mechanical Engineering Department, 29075-910, Vitória/ES

<sup>2</sup>Federal Institute of Education, Science and Technology of Espírito Santo, Metallurgy Coordination, 29040-780, Vitória/ES

**Abstract.** *The free-cutting steels are produced using metallurgical techniques to achieve high machinability through the addition of alloying elements increasing productivity and reducing manufacturing costs. Machinability can be understood as a technological quantity which serves to compare the materials cutting. However, it is influenced by the metallurgical characteristics of the workpiece material, cutting conditions, machining operations and system stiffness. The work aimed to evaluate the machinability in the turning operation of a free-cutting steel containing manganese sulphide (MnS) with lead (Pb) and bismuth addition, coded as (MnS+PbBi), and compare it with ABNT 1020 steel, as reference. Thus, the workpiece materials were characterised as for microstructure, to evidence phases and free-cutting elements; and Vickers hardness number. The turning tests were performed by keeping the cutting speed and depth of cut constant at 150 m/min and 1 mm, respectively. The feed rate was varied in a range of 0.1 to 0.3 mm/rev. Machining force (Fu), specific cutting pressure (Ks), and roughness parameters Ra and Rz were the machinability indexes evaluated. The results indicated that the free-cutting steel has a microstructure mostly ferritic with the presence of perlite, as well as ABNT 1020 steel. The free-cutting elements evidenced by microscopy were type I manganese sulphide (MnS) with ellipsoidal form slightly deformed due to the forming process, surrounded by Pb and Bi. The materials showed similar average hardness, around 180 HV30. Fu and Ks were in average 34% and 32%, respectively, lower for MnS+PbBi steel, whereas roughness parameters Ra and Rz were 17% and 21% higher for the free-cutting steel. The best machinability of MnS+PbBi steel is due to the chip embrittlement and lubrication action provided by free-cutting additives.*

**Keywords:** *free-cutting steel, Vickers hardness, machining force, specific cutting pressure*