

## **MEDIÇÃO DA TEMPERATURA NO TORNEAMENTO CONVENCIONAL A SECO DO AÇO ABNT 1045 ATRAVÉS DE CÂMERA TERMOGRÁFICA**

### **TEMPERATURE MEASUREMENT IN ABNT 1045 CONVENCIONAL DRY TURNING BY THERMOGRAPHIC CAMERA**

**Prof. Dr. Carlos Renato Pagotto** – Universidade Federal de Juiz de Fora

renato.pagotto@ufjf.br

#### **Resumo**

A análise da temperatura no processo de usinagem é de grande importância, influenciando diversos fatores, seja de forma direta ou indireta, como desgaste e vida da ferramenta, uso e escolha de lubrificantes, determinação dos parâmetros de corte, entre outros. O presente trabalho buscou viabilizar o uso da termografia na usinagem. Utilizando a câmera termográfica para captar o calor na forma de imagem e mensurar a máxima temperatura obtida no processo. As imagens termográficas foram coletadas durante o corte ortogonal a seco, utilizando pastilha de metal duro revestido, e o aço SAE 1045 como material usinado. A câmera de imagem térmica faz a leitura da intensidade de radiação na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético (invisível para o olho humano) e converte para uma imagem visível. O uso das câmeras de imagem térmicas no contexto da usinagem é ainda recente e com poucas informações disponíveis sobre esse método. Portanto, é um campo onde podem ser descobertos os mais variados métodos e abordagens, de modo a contribuir para o desenvolvimento na área. Para os experimentos, parâmetros de corte foram variados (avanço e profundidade de corte, para determinadas rotações da máquina-ferramenta), buscando a relação existente entre o comportamento da temperatura e a variação destes parâmetros na análise experimental.

Sendo o comportamento da temperatura em função dos parâmetros utilizados coerente com o encontrado na literatura, mostrando que a câmera termográfica é viável para este tipo de abordagem.

**Palavras-chave:** Câmera termográfica; Temperatura; Torneamento a seco.

## **Abstract**

The analysis of the temperature on the machining process has a considerable importance, influencing directly or indirectly several factors like the wear and the useful life of the cutting tool, the usage and choice of the lubricant, the determination of the cutting parameters among others. The current work tries to make it feasible the use of thermography on the machining process. It was used a thermographic camera to capture the heat in the form of the image and measure the maximum temperature obtained in the process. The thermal images were collected during a dry orthogonal cut, using a cutting tool of coated cemented carbide and the SAE 1045 steel as workpiece. The thermal camera detects radiation in the long-infrared range of the electromagnetic spectrum (invisible of the human eye) and converts it a visible image. The usage of thermographic cameras on the machining context is still recent and there is few available information about that method. Therefore, it is a field passive to new discoveries about several methods and approaches to broaden the development of this area. For this experiment, cutting parameters were varied (feed rate e depth of cut to certain spindle speed of the machine tool), trying to find out the existing relation between the behavior of the temperature and the variation of these parameters and the experimental analysis and in the analytical model chosen. From the analysis of the obtained results, it was possible to establish the relations between the methods discussed. The behavior of the temperature and the variation of these parameters in the experimental analysis. From the analysis of the obtained results, it was possible to establish the relations between the methods discussed. The behavior of the temperature in function of the utilized parameters was consistent with that found in the literature. That shows that thermographic camera is the viable for this kind of approach.

**Keywords:** Thermographic camera; Temperature; Dry turning.

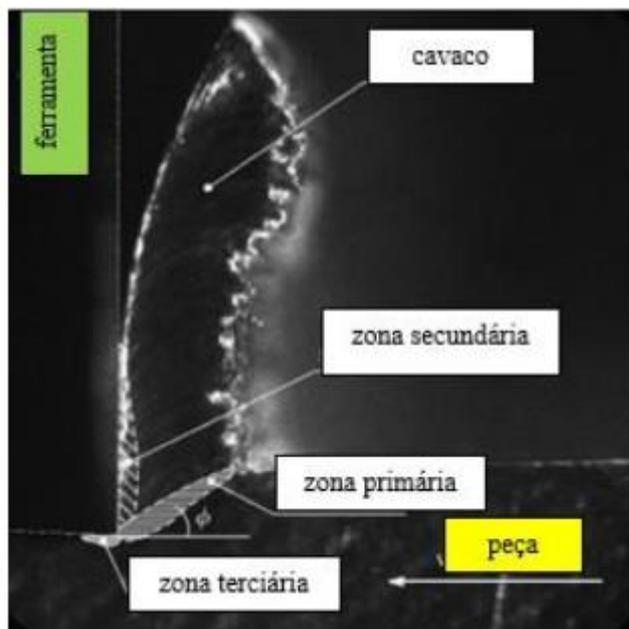
## Introdução

Sabendo-se que a usinagem é um processo termomecânico, o conhecimento da distribuição da temperatura torna-se um fator importante para a compreensão do fenômeno presente durante o corte (BARBOSA, 2014). Segundo BOOTHROYD (1981), FERRARESI (2011) e MACHADO et al (2015), os fenômenos de geração e dissipação do calor na operação de usinagem são complexos e as temperaturas alcançadas durante o corte provocam alteração nas propriedades físicas e mecânicas, as quais aceleram o desgaste da ferramenta provocando mais atrito e conseqüentemente mais calor elevando a temperatura, limitando o uso da ferramenta de corte. Para diminuir a temperatura gerada há a necessidade do uso de grandes quantidades de fluido de corte. O uso do fluido de corte na usinagem visa o aumento da produtividade, pois tem função de diminuir o atrito na interface ferramenta peça, cavaco-ferramenta, reduzir a temperatura nas zonas de corte e promover a quebra e a expulsão do cavaco gerado na usinagem e proteger a peça, a ferramenta e a máquina ferramenta da corrosão (KHANNA et al., 2021).

A demanda global de lubrificantes foi de 39,4 milhões de toneladas em 2015 e deve chegar a 43,9 milhões de toneladas agora em 2022 (BENEDICTO et al., 2017). Além disso os fluidos de corte exigem cuidados especiais na sua manipulação, manutenção, transporte e armazenagem. A presença de água nas soluções e emulsões podem acelerar um processo de corrosão sendo necessário o uso de aditivos anticorrosivos. Os fluidos de corte podem entrar em combustão, sendo necessário atenção às condições de corte e à formulação do óleo. Além disso, névoas de óleo podem irritar a pele e as vias respiratórias causando doenças graves aos operadores. O produto também pode emitir vapores, fumaças, gases causando efeitos nocivos à atmosfera além da degradação do solo e recursos hídricos através do descarte inadequado (HEGAB et al., 2019; SINGH et al., 2020).

De acordo com Trent e Wright (2000) este calor é gerado em três regiões distintas: a zona de cisalhamento primária, a zona de cisalhamento secundária e a zona de cisalhamento terciária, regiões estas que são as principais zonas de interesse das investigações em usinagem, como dizem também BARBOSA, 2014; SUTTER E RANC, 2007; FAHAD *et al.*, 2013 e mostrado na Figura 1.

**Figura 1.** zonas geradoras de calor durante a usinagem (CARPANEZ DAVID et al., 2022)



A primeira região é a zona primária de deformação (ou de cisalhamento), onde acontece a formação do cavaco. Nesta região, a peça sofre deformação plástica devido às tensões cisalhantes da formação do cavaco e mais de 90% da energia consumida para deformação plástica se transforma em calor (ASTAKHOV, 2004). Na segunda região o calor é gerado devido ao atrito entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta. Nessa região, devido ao atrito, há um desgaste da ferramenta e, por consequência, a diminuição de sua vida útil (SUTTER E RANC, 2007). Há ainda uma zona terciária que gera calor devido ao atrito entre a peça e a superfície de folga da ferramenta. O calor gerado nesta zona afeta a qualidade, a tolerância e a integridade da superfície acabada. Portanto, na usinagem, a geração de calor e o desgaste a ferramenta de corte dependem fortemente da interação entre a ferramenta de corte e o cavaco (ZHOU, 2013).

Para a realização do desenvolvimento de modelos ou mesmo para a aquisição dos dados de temperatura é necessário compreender-se o mecanismo de formação do cavaco, durante o qual a maior parcela da energia térmica é dissipada na zona de cisalhamento primário, sendo a maior parte desta energia transferida ao cavaco e outra parte a peça. Mas como sugerem estudos de Lowen e Shaw (1954), foram desenvolvidos alguns tipos de modelos analíticos para a medida da temperatura de corte, e empiricamente chegou-se a uma relação que determina que a temperatura média de corte, representada pela Equação 1 abaixo.

$$\theta_t = K v_c^{0,5} f^{0,3} \quad (1)$$

Onde  $\theta_t$  é a temperatura,  $v_c$  a velocidade de corte em m/min e  $f$  é a taxa de avanço em mm/rev.

O calor gerado a partir do corte do metal apresenta-se como fator importante na influência da performance da ferramenta de corte e é sabido que cada vez mais empregam-se os processos de usinagem a seco e em altas velocidades, os quais causam maior dissipação de calor na zona de formação de cavacos e os fenômenos térmicos desempenham um papel fundamental no desgaste da ferramenta e na integridade da superfície usinada resultante segundo Grzesik (1999). Alguns pesquisadores analisaram a temperatura de corte durante o processo de torneamento de ferramentas de corte sem revestimento, com camada única de revestimento e ferramentas revestidas com multicamadas. Grzesik (1999), fizeram a medição da temperatura de corte média na interface ferramenta-cavaco durante o corte ortogonal do aço 1045 e aço inoxidável AISI 304 através de termopar inserido na mesma interface com revestimentos de TiC, TiC/TiN e TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN, O pesquisador mostrou que a diferença da temperatura de corte medida versus a taxa de avanço para ferramentas revestidas no corte do aço 1045 e no aço AISI 304, atingiu até 290°C ao se comparar o uso de revestimentos simples e triplos.

Existem várias técnicas experimentais propostas para a medição da temperatura de corte, podendo-se destacar os métodos do termopar ferramenta-peça, termopares inseridos na ferramenta de corte e a medição por radiação infravermelha como sendo os mais utilizados (DA SILVA e WALBANK, 1999; TRENT e WRIGHT, 2000; DINIZ et al, 2000; CHANG, 2007; BARBOSA, 2014).

. O uso das câmeras termográficas permite captar o calor em forma de imagem, permitindo a análise das superfícies envolvidas no processo de usinagem sem que seja necessário o contato com a área analisada. Sendo assim, as temperaturas na superfície da peça, da ferramenta ou do cavaco, podem ser obtidas de forma acessível e rápida.

O presente trabalho possui como principal objetivo a análise da viabilidade do uso das câmeras térmicas na determinação e investigação do comportamento da temperatura durante a usinagem, sendo alvo do estudo o torneamento sem lubrificação do aço ABNT 1045, utilizando pastilha de metal duro revestido.

## 1. MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.1 MATERIAL UTILIZADO

As condições que permitem a realização da medição utilizando a câmera termográfica incluem a exposição da superfície durante a operação, e que o material possa ser usinado sem a presença de fluido de corte. A presença do fluido de corte, segundo Machado et al (2011), altera a emissão dos raios infravermelhos e a temperatura nas interfaces não pode ser avaliada pelo método da radiação infravermelha – câmera termográfica.

O material escolhido, já foi e é usado em diversos experimentos quando o assunto é usinagem, o aço ABNT 1045. Sendo um aço que apresenta boa resistência mecânica, boa usinabilidade e portabilidade. Apresenta médio teor de carbono, podendo ser endurecido ou beneficiado através de tratamento térmico. É disponível em diversos perfis e acabamentos. Sua utilização abrange diversas áreas na indústria mecânica geral, sendo usado na fabricação de diversos componentes da indústria petrolífera, na fabricação de eixos, cilindros, na indústria agrícola e de máquinas e equipamentos. De acordo com a norma que estabelece as composições químicas dos aços para construção mecânica, NBR NM 87/2000, o aço ABNT 1045 deve apresentar a composição química apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 1045 (% em massa).

C	Mn	P <sub>máx</sub>	S <sub>máx</sub>	Si
0,43 – 0,50	0,60 – 0,90	0,040	0,050	0,10 – 0,60

### 1.2 FERRAMENTA

Denominado “metal duro”, o carboneto de tungstênio, fabricado pelo processo de metalurgia do pó, possui uma excelente combinação de resistência ao desgaste, resistência mecânica e tenacidade (MACHADO et al, 2015).

A ferramenta utilizada nos ensaios foi a TNMG160404R-ZC YBC251, P10-P30, abrangendo todos os tipos de aço e aço fundido, com exceção de aço inoxidável com uma estrutura austenítica, seguindo a classificação dos metais duros segundo a norma ISO 513 (2004), recoberta com TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN através do processo CVD (Deposição Química a Vapor).

Para definir os parâmetros de corte a serem utilizados no ensaio, serão tomadas como base as recomendações do fabricante da ferramenta, que traz as seguintes

informações, conforme a Tabela 2, obtida a partir do catálogo do fabricante – ZCC Cutting Tools para esse modelo de pastilha.

Tabela 2. Dados da pastilha utilizada

Aresta da pastilha [mm]	Espessura da pastilha [mm]	Forma	Ângulo de folga	Raio de ponta [mm]	Ângulo de saída
16	4,76	Triangular	0°	0,4	14°

### 1.3 MÁQUINA FERRAMENTA E CÂMERA TERMOGRÁFICA

O torno utilizado nos ensaios foi o NARDINI-MS 205AS. A câmera termográfica utilizada foi da marca FLIR, modelo E50, possuindo as seguintes características, fornecidas pelo fabricante (para maiores informações, consultar as demais informações disponíveis no catálogo de produtos do fabricante):

Resolução IR: 160 x 120 pixels

Faixa de temperatura: -20°C a 120°C / 0°C a 650°C

Precisão:  $\pm 2^\circ\text{C}$  ou  $\pm 2\%$  da leitura, para temperatura ambiente de 10°C a 35°C

### 1.4 PARÂMETROS DE CORTE E IMAGENS TERMOGRÁFICAS

A escolha dos parâmetros utilizados foi em função da compatibilidade com os ensaios e com as características da ferramenta, do torno e do material empregados no trabalho. A velocidade de corte variou entre 115,5 e 127 m/min em função do diâmetro dos corpos de prova utilizados. Os valores de avanços selecionados, de acordo com os disponíveis no equipamento, foram 0,042; 0,100 e 0,201 mm/rev. As profundidades de usinagem utilizadas foram 0,125; 0,250 e 0,375 mm. A rotação foi mantida constante em 1600 rpm, e o diâmetro inicial dos corpos de prova foi de 25,4 mm.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 abaixo mostram as temperaturas medidas com a câmera termográfica para cada relação de parâmetros corte usadas no torneamento do aço ABNT 1045.

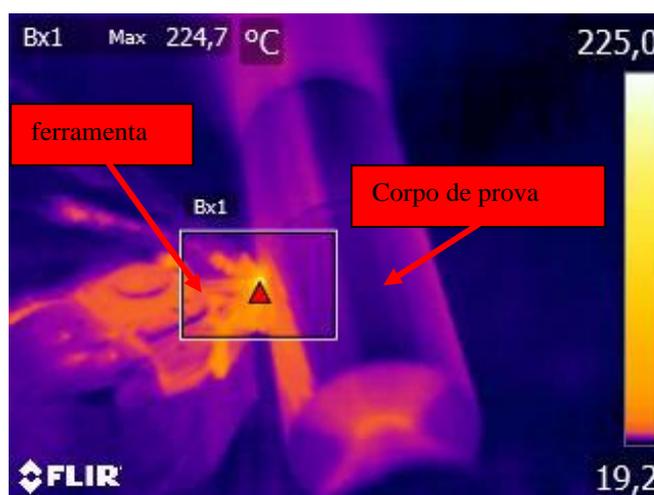
**Tabela 2.** Valores das temperaturas medidas para as condições de corte mostradas.

<b>a<sub>p</sub> [mm]</b>	<b>f [mm/rev]</b>	<b>V<sub>c</sub> [m/min]</b>	<b>T (°C)</b>
0,125	0,042	127,0	139
0,250	0,042	127,0	263,3
0,125	0,042	123,4	224,7
0,250	0,042	123,4	199,2
0,125	0,042	119,5	283,9
0,250	0,042	119,5	263,6
0,125	0,042	115,5	147,5
0,250	0,042	115,5	263,6
0,375	0,042	127,0	281,4
0,375	0,042	123,4	292,4
0,375	0,042	119,5	260,2
0,375	0,042	115,5	272,2
0,125	0,100	127,0	199,9
0,250	0,100	127,0	238,3
0,125	0,100	123,4	195,1
0,250	0,100	123,4	240,3
0,125	0,100	119,5	230,7
0,250	0,100	119,5	242,3
0,125	0,100	115,5	246,7
0,250	0,100	115,5	244,3
0,375	0,100	127,0	235,2
0,375	0,100	123,4	326,1
0,375	0,100	119,5	330,4
0,375	0,100	115,5	308,4
0,125	0,201	127,0	154,1
0,250	0,201	127,0	214,2
0,125	0,201	123,4	182,4
0,250	0,201	123,4	220,4

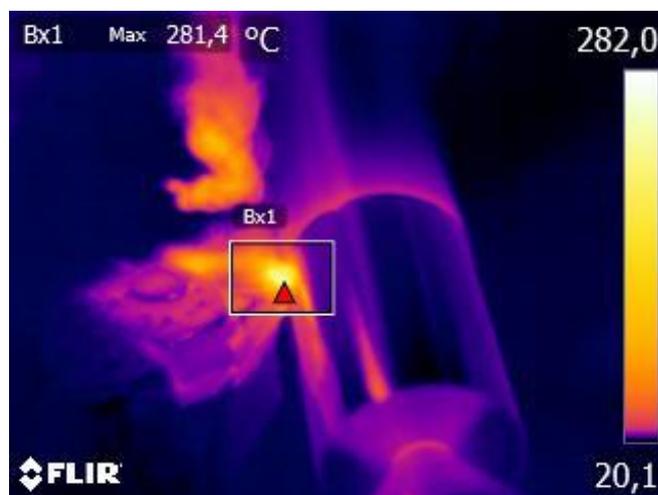
<b>0,125</b>	0,201	119,5	212,6
<b>0,250</b>	0,201	119,5	219,3
<b>0,125</b>	0,201	115,5	225,8
<b>0,250</b>	0,201	115,5	219,3
<b>0,375</b>	0,201	127,0	237,8
<b>0,375</b>	0,201	123,4	299,7
<b>0,375</b>	0,201	119,5	284,9
<b>0,375</b>	0,201	115,5	285,6

Através dos ensaios realizados, foram coletadas 4 imagens termográficas em cada corpo de prova utilizado. Não serão exibidas todas as imagens geradas, a seguir estão algumas das imagens e seus respectivos parâmetros em cada legenda, segundo a Tabela 2 e segundo as Figuras 2 a 7. A temperatura máxima obtida nas imagens é indicada pelo vértice superior do triângulo vermelho, dentro da área demarcada que aparece nas imagens termográficas, sendo indicada na parte superior esquerda da imagem.

**Figura 2.** Corpo de prova 1,  $V_c=123,4$  m/min;  $f=0,042$  mm/rev;  $a_p=0,125$  mm



**Figura 3.** Corpo de prova 2;  $V_c=127$  m/min;  $f=0,042$  mm/rev;  $a_p=0,375$  mm



**Figura 4.** Corpo de prova 3;  $V_c=115,5$  m/min;  $f=0,100$  mm/rev;  $a_p=0,25$  mm



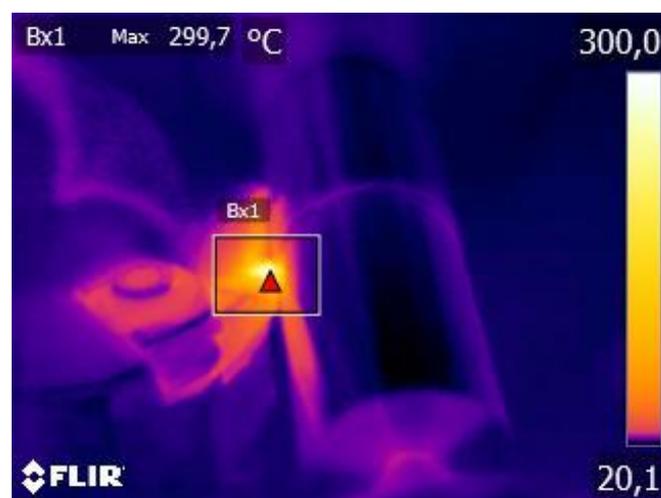
**Figura 5.** Corpo de prova 4;  $V_c=123,4$  m/min;  $f=0,100$  mm/rev;  $a_p=0,375$  mm



**Figura 6.** Corpo de prova 5;  $V_c=119,5$  m/min;  $f=0,201$  mm/rev;  $a_p=0,125$  mm



**Figura 7.** Corpo de prova 5;  $V_c=123,4$  m/min;  $f=0,201$  mm/rev;  $a_p=0,375$  mm



Nas Figuras 2 a 7 a câmera termográfica foi indicada exatamente entre a ponta da ferramenta e a peça, ou seja, na interface ferramenta peça. Nos ensaios realizados percebeu-se que os cavacos gerados atrapalharam a medição correta, porém verificou-se que com o aumento da velocidade de corte, há um aumento da temperatura, o que está de acordo com a literatura (MASEK et al, 2021), como mostrado na Figura 8.

Durante os ensaios, devido as dificuldades encontradas na tentativa de capturar com a câmera as zonas de geração de calor, a superfície de onde foram tomados os valores de temperatura não apresentou os valores esperados. Então a região de temperaturas mais elevadas, próxima a superfície de saída da ferramenta, não foi captada. Lembrando que, antes da realização dos ensaios, não se tinha a certeza de que tal região seria captada pela câmera, principalmente pelo método utilizado nos ensaios não ter disponível muitas informações acerca do uso da imagem termográfica nesse contexto. Limitações do ensaio são capazes de comprometer os resultados obtidos, de modo que, devido as condições para a realização do presente trabalho, não foi possível obter condições similares de controle de fatores externos (temperatura e atmosfera) nem a análise de uma região tão específica quanto a região abordada no estudo de Valiorgue (2013).

Com base nas imagens obtidas, e também no comportamento observado durante os ensaios, a temperatura do cavaco, quando deixa a superfície de saída da ferramenta, se mostra superior aos valores de temperaturas das superfícies próximas – peça e ferramenta, comprovando o que é observado na literatura, ou seja, que a maior parte do calor é removido pelo cavaco, uma pequena quantia pela peça e uma quantidade ainda menor pela ferramenta (MACHADO, 2015).

Na Figura 9 observa-se que com o aumento da profundidade de usinagem ( $ap$ ), há um pequeno acréscimo temperatura de corte. Já na Figura 10, com o aumento do avanço ( $f$ ) há verifica-se um pequeno decréscimo da temperatura, mas nada comparado com a velocidade de corte, podendo-se confirmar, mesmo com alguns erros na captação da temperatura pela câmera termográfica que a velocidade de corte ( $V_c$ ) é o parâmetro de corte de maior influência para o aumento da temperatura no torneamento do aço 1045 (LIMA et al, 2018).

**Figura 8.** T versus  $V_c$ , obtido através de imagem termográfica.

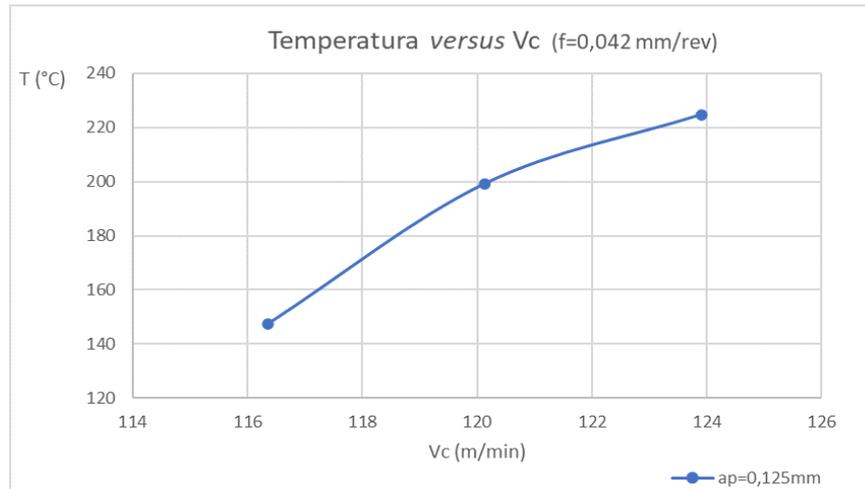


Figura 9. T versus  $a_p$  captada na imagem termográfica.

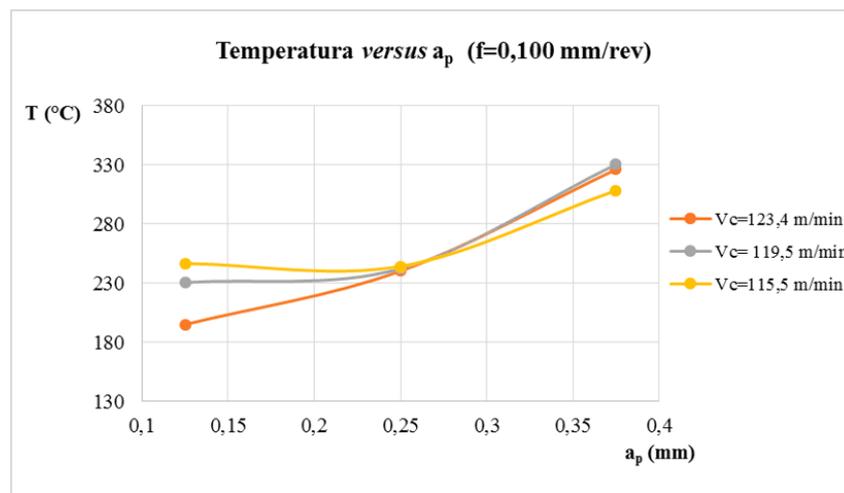
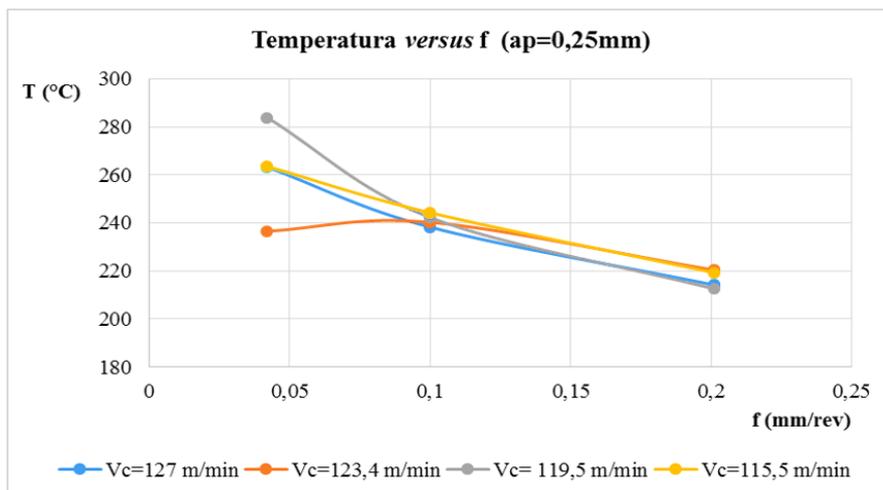


Figura 10. T versus  $f$  captada pela câmera termográfica.



### 3. CONCLUSÃO

É possível destacar, principalmente, que o comportamento da temperatura em função dos parâmetros de corte utilizados está de acordo com o observado na literatura. Com isso, há a possibilidade de se estabelecer relações e tendências do comportamento da temperatura durante o processo de usinagem e os parâmetros de corte, com base nos resultados obtidos.

Através dos gráficos obtidos e das curvas geradas, verificou-se a tendência do aumento da temperatura com o aumento da velocidade de corte. Há também a tendência de diminuição da temperatura com o aumento do avanço. Já a profundidade de corte, quando observada experimentalmente, expõe a tendência de aumento da temperatura com o aumento de seu valor.

É possível dizer que não foi mensurado nos ensaios o aumento médio da temperatura de deformação do cavaco devido ao cisalhamento e o aumento da temperatura devido ao atrito ferramenta/cavaco na superfície de saída, ou seja, nas zonas primária e secundária de corte mostradas na Figura 1, devido a erros de medição e ao cavaco que também atrapalhou as medições, mas é possível dizer que a velocidade de corte é o parâmetro de maior influência no aumento da temperatura de corte (MASEK et al., 2021; HEIGEL et al., 2017; CARPANEZ DAVID et al., 2022).

### REFERÊNCIAS

ASTAKHOV, V.; SHVETS, S. The assessment of plastic deformation in metal cutting. *Journal of Materials Processing Technology*, v.146, n. 2, p. 193-202, 2004.

BARBOSA, P.A. Estudo do comportamento mecânico na usinagem de aços inoxidáveis. Tese Doutorado, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2014.

1. BENEDICTO, E., CAROU, D., RUBIO, E.M. Technical, economic and environmental review of the lubrication/cooling systems used in machining processes. *Procedia Engineering*, Vol. 184, p. 99-116, 2017.

BOOTHROOYD, G. Fundamentals of metal machining and machine tools. 5 ed. International Student Edition, Nova York: McGraw-Hill, 1981.

CARPANEZ DAVID, J. P., PAGOTTO, C.R., MARCOMINI, R.F. Using design of experiments for machining temperature prediction by thermocouple inserted in the cutting tool technique. *Brazilian Journal of Development*, v.8, n.6, p. 48587-48608, 2022.

CHANG, C.S. Prediction of the cutting temperatures of stainless steel with chamfered main cutting edge tools. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 190, p. 332-341, 2007.

DA SILVA, M.B., WALLBANK, J. Cutting temperature: prediction and measurement methods – a review, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 88, p. 195-202, 1999.

DINIZ, A.E., MARCONDES, F.C., COPPINI, N.L. Tecnologia da usinagem dos materiais. 2 ed, São Paulo: Artiliber Editora, 248p, 2008.

FAHAD, M.; MATIVENGA, P.; SHEIKH, M. On the contribution of primary deformation zone-generate chip temperature to heat partition in machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 68, n. 1-4, p. 99-110, 2013.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Edgard Blucher, 751p., 2011.

GRZESIK, W, VAN LUTTERVELT, C.A. An investigation of thermal effects in orthogonal cutting associated with multilayer coatings. *CIRP Annals*, v.50, n.2, p. 53-56, 2001.

HEGAB, H., KISHAWY., H.A. e DARRAS, B. Sustainable cooling and lubrication Strategies in machining processes: a comparative study. *Procedia Manufacturing*, v. 33, p. 786-793, 2019.

HEIGEL, J.C. WHITENTON, E., LANE, B., DONMEZ, M.A., MADHAVAN, V., MOSCOSO-KINGSLEY, W. Infrared measurement of the temperature at the tool-chip interface while machining Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 243, p. 123-130, 2017.

KHANNA, N., AGRAWAL, C., PIMENOV, D.Y., SINGLA, A.K., MACHADO, A.R., DA SILVA, L.R.R., GUPTA, M.K., SARIKAYA, M., KROLCZYK, G.M. Review on design and development of cryogenic machining setups for heat resistant alloys and composites. *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 68, p. 398-422, 2021.

LIMA, H.V., CAMPIDELLI, A.F.V., MAIA, A.A.T. ABRÃO, A.M. Temperature assessment when milling AISI D2 cold work die steel using tool-chip thermocouple, implanted thermocouple and finite element simulation. *Applied Thermal Engineering*, v. 143, p. 532-541, 2018.

LOEWEN, E.G.; SHAW, M.C. On the analysis of cutting tool temperatures. *Transactions of ASME*, v.76, p. 217-231, 1954.

MACHADO, A. R, ABRÃO A.M., COELHO, R.T., DA SILVA, M.B. *Teoria da usinagem dos materiais*, 3 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 397 p. 2015.

MASEK, P., ZEMAN, P., KOLAR, P. Cutting temperature measurement in turning of thermoplastic composites using a tool-work thermocouple. *The International Journal of Advanced Manufacturing and Technology*, v. 116, p.3163-3178, 2021.

2. SINGH, G., AGGARWAL, V., SINGH, S. Critical review on ecological, economical and technological aspects of minimum quantity lubrication towards sustainable machining. *Journal of Cleaner Production*, v.271, p. 122185, 2020.

3.

SUTTER, G.; RANC, N. Temperature fields in a chip during high-speed orthogonal cutting- a experimental investigation. *International of Machine Tools and Manufacturing*, v.47, n.10, p. 1507-1517, 2007.

TRENT, E.M., WRIGHT, P.K. *Metal cutting*, 4 ed., USA: Butterworth-Heinemann, 446p, 2000.

VALIORGUE, F. et al. Emissivity calibration for temperatures measurement using thermography in the context of machining. *Applied Thermal Engineering*, v. 58, pp.321-326, 2013.

ZCC – CT. *Cutting Tools. Catalog*, Zhuzhou Cemented Carbide Cutting Tools Co., 735p, 2013-2014.

ZHOU, F. A new analytical tool-chip friction model in dry cutting. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 70, n.1-4, p. 309-319, 2013.