

As considerações relativas aos aspectos microestruturais, metalúrgicos e das propriedades mecânicas do VP20 ISO, que justificam o seu comportamento superior em usinagem quando comparado às duas modalidades do VP100, foram apresentadas no capítulo 2. No entanto, foram feitas algumas análises da microestrutura dos materiais utilizados nos ensaios a partir de imagens obtidas em MEV, onde foi possível observar de forma mais detalhada alguns aspectos da microestrutura que podem ter exercido alguma influência no comportamento dos materiais durante os ensaios de usinagem. A Figura 4.32 apresenta o detalhe de uma trinca em junção tríplice, possivelmente de contornos de grão, observada em uma das micrografias do VP20 ISO.

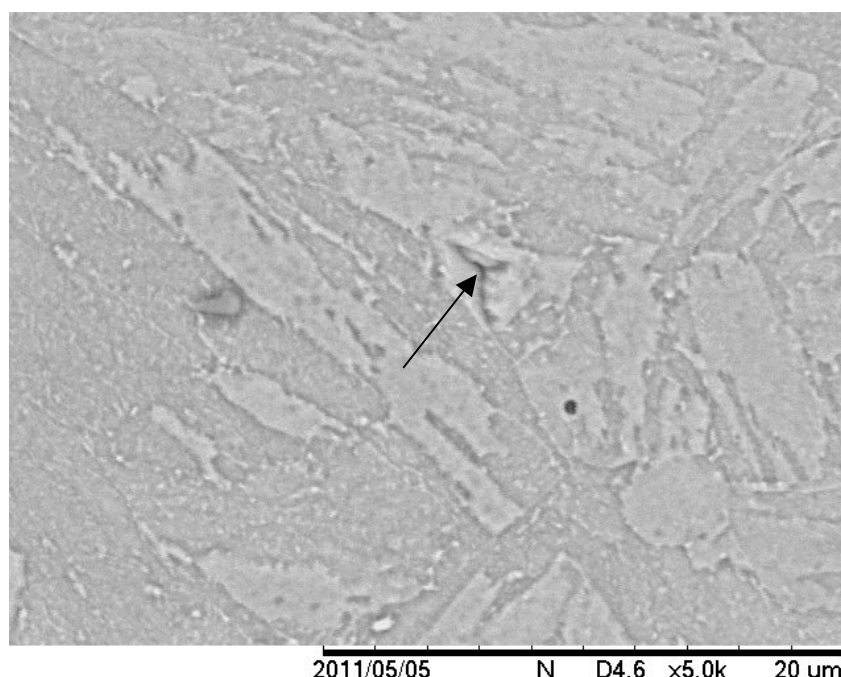


Figura 4.32 - Trinca em junção tríplice observada no VP20 ISO

A ocorrência de trincas, como a observada na Fig. 4.36, pode contribuir para uma fragilização do material o que repercute em uma diminuição das forças de usinagem melhorando a usinabilidade do material. A ocorrência de trincas entre contornos de grãos também foi observada no VP100 com 350 ppm de titânio como pode ser visto nas Fig. 4.33 e 4.34.

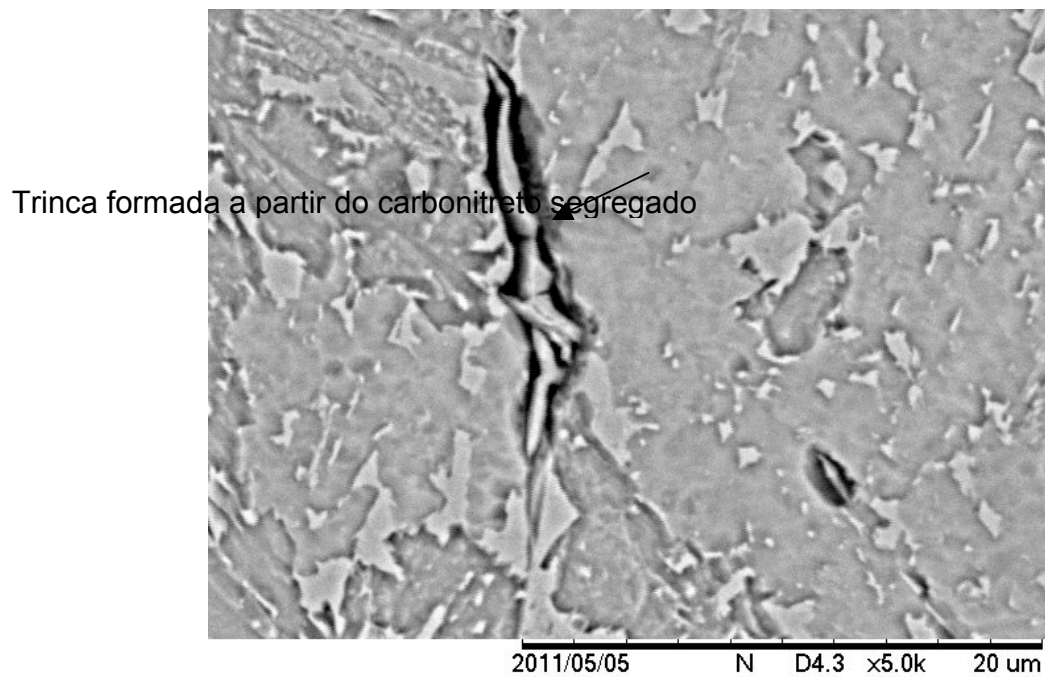


Figura 4.33 - Trinca entre contornos de grão observada no VP100 com 350 ppm de Ti

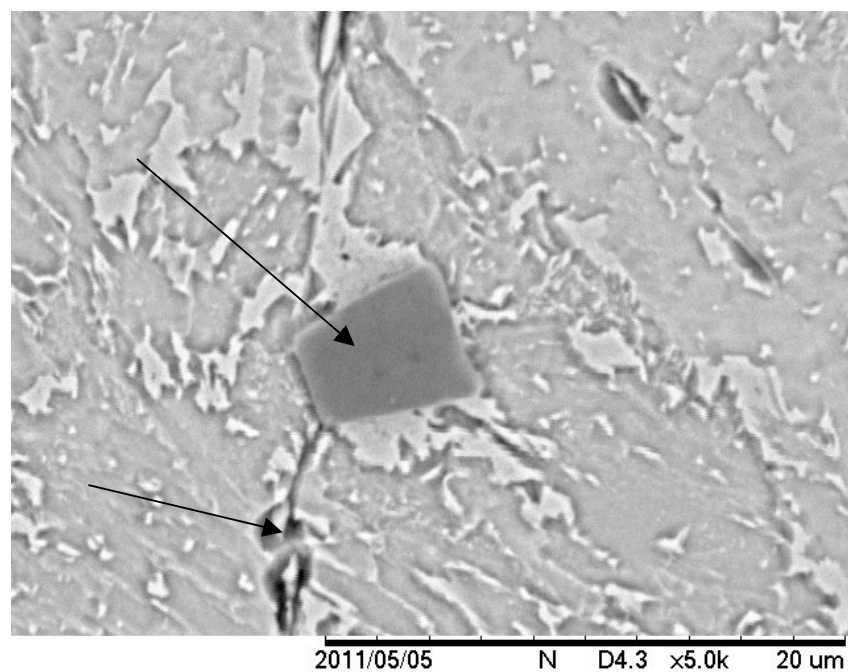


Figura 4.34 - Trinca com a presença de um carbonitreto de titânio entre contornos de grãos observada no VP100 com 350 ppm de Ti

No caso das micrografias das Fig. 4.33 e 4.34 tem-se a combinação de dois fatores que contribuem para a fragilização do material que são a presença do carbonitreto de titânio segregado para a região de contorno de grão sendo uma das prováveis fontes geradoras da trinca observada. De todas as amostras analisadas, apenas as do VP20 ISO e do VP100 com 350 ppm de Ti, apresentaram a ocorrência dessas trincas, sendo que, a ocorrência de segregação de carbonitreto de titânio para o contorno de grão foi mais freqüente no VP100 com 350 ppm de Ti, em relação ao VP100 com 270 ppm de Ti. A Figura 4.35 apresenta uma das micrografias do VP100 com 270 ppm de Ti com um padrão típico de imagem obtida para esse material, onde não foi observado a ocorrência de trinca em nenhuma das amostras analisadas.

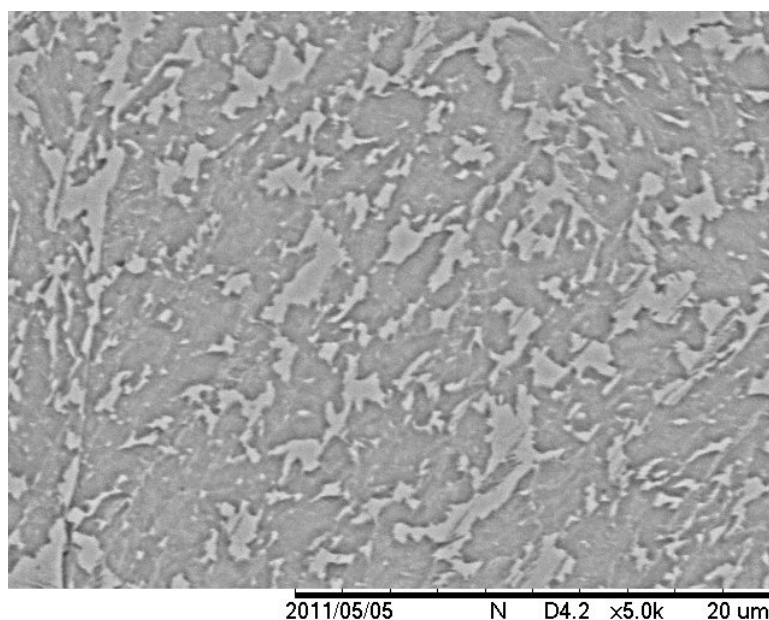


Figura 4.35 - Micrografia do VP100 com 270 ppm de Ti obtida a partir do MEV

Com o intuito de corroborar a composição química dos materiais analisados, foram realizados ensaios de Espectrometria de Energia Dispersiva de Raio X – EDX, cujos resultados são apresentados nas Fig. 4.36 a 4.38, onde é possível observar os espectros indicando a presença de alguns dos principais elementos químicos presentes nos materiais utilizados nos testes realizados.

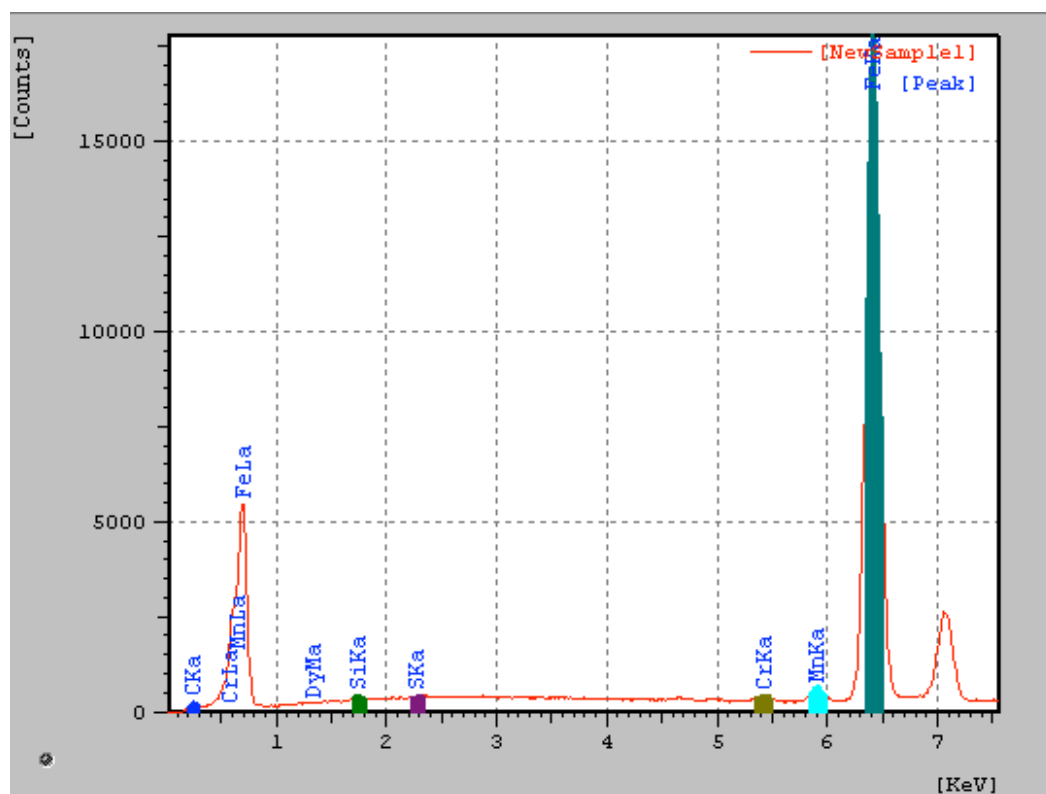


Figura 4.36 - Resultados do ensaio de EDX no VP20 ISO

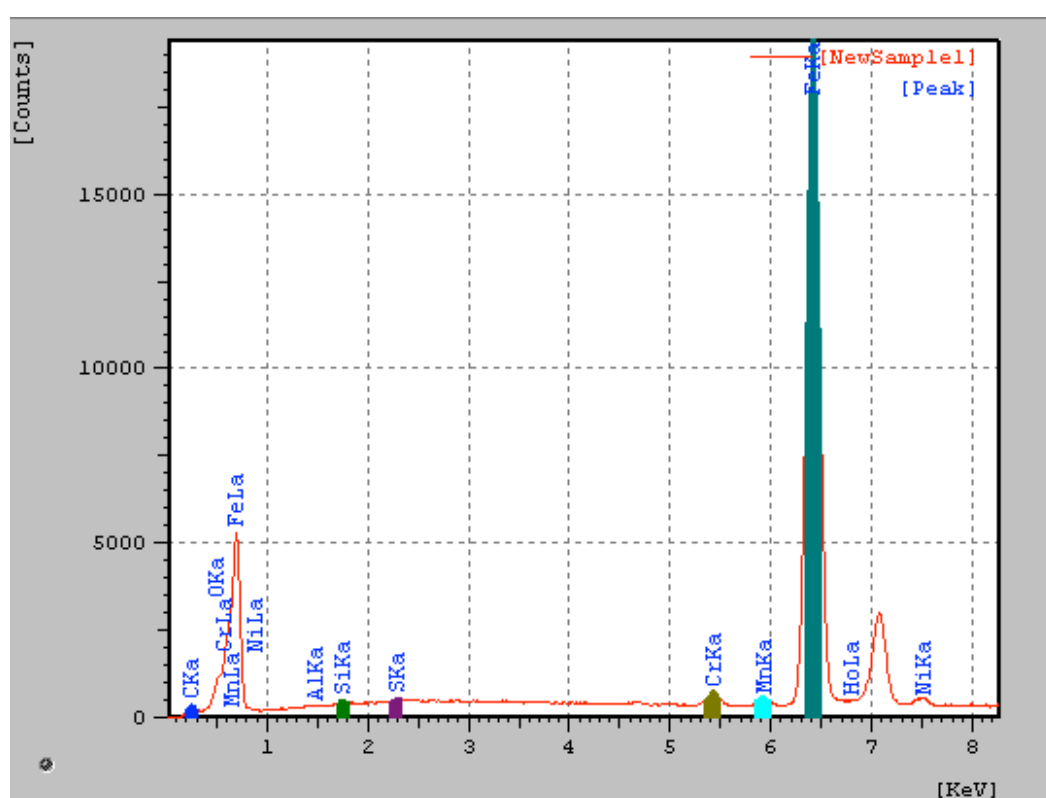


Figura 4.37 - Resultados do ensaio de EDX no VP100 com 270 ppm de Ti

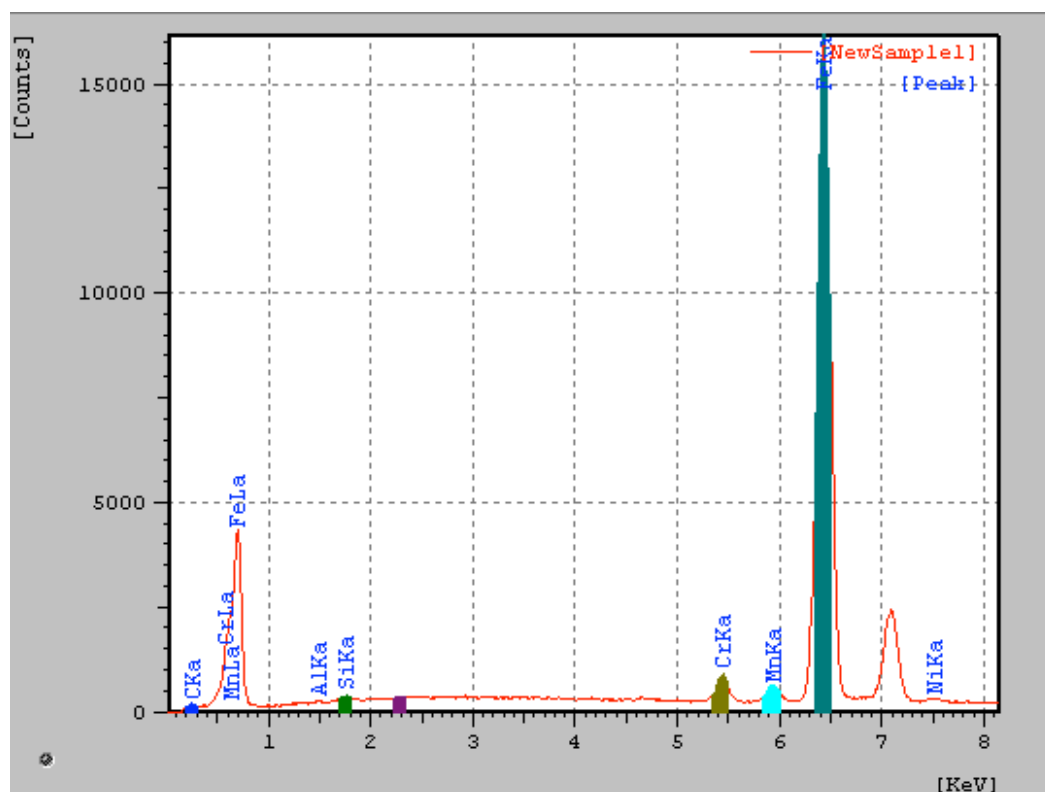


Figura 4.38 - Resultados do ensaio de EDX no VP100 com 350 ppm de Ti

A partir da análise dos espectros obtidos nos ensaios de EDX, é possível perceber que os picos indicam a presença de carbono, ferro, cromo, níquel, manganês, silício e alumínio, tanto para VP100 com 270 ppm de Ti como para VP100 com 350 ppm de Ti, confirmando a proximidade entre as composições químicas de ambos os aços. As diferenças nas quantidades desses elementos químicos (Tab. 3.1) justificam as diferenças observadas nas microestruturas reveladas e repercutem nas diferenças de usinabilidade apresentada pelos materiais. Essas diferenças, também estão relacionadas ao balanceamento das quantidades dos elementos químicos que compõe os materiais.

Os espectros relativos ao VP20 ISO, apresentam algumas diferenças em relação aos dos outros dois materiais, como por exemplo, a ausência de alumínio em seus picos em conformidade com a sua composição química, também apresentada na Tab. 3.1.

4.2.2. Resultados relativos à evolução dos valores da rugosidade média quadrática dos materiais obtidos nos testes de fresamento

No estudo comparativo da usinabilidade dos aços VP20 ISO e VP100, considerou-se, também, os resultados relativos à evolução da rugosidade média quadrática R_q em função do desgaste de flanco. A rugosidade R_q trata-se de um parâmetro que se baseia na altura dos picos do perfil num determinado comprimento de amostragem, chamado de desvio médio da raiz quadrada da linha média. Por definição matemática este parâmetro amplia os valores dos picos e vales isolados ou esporádicos, podendo assim evidenciar defeitos ou marcas em superfícies bem acabadas, como em superfícies de espelhos e lentes (MACHADO et al., 2009). O valor de R_q pode ser calculado pela equação:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h^2(x) dx} \quad (4.1)$$

Alguns dos resultados de rugosidade obtidos são apresentados nas Fig. 4.39 a 4.46 onde se estabelece um contraste entre o comportamento desse parâmetro para os três materiais nas condições testadas. Nesse caso, os valores das rugosidades variam com o aumento do desgaste da ferramenta até que esta atinja o seu fim de vida.

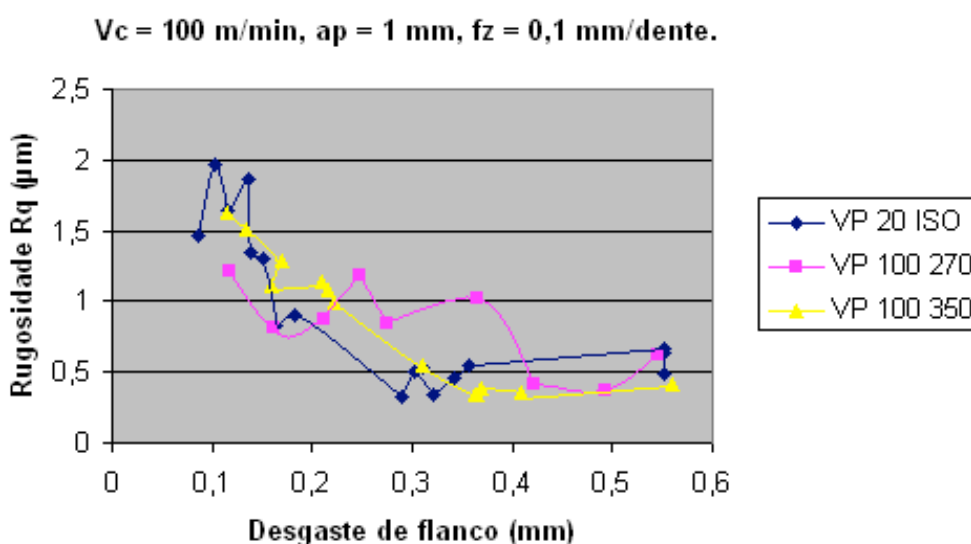


Figura 4.39 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti na condição 1 da Tab. 3.4

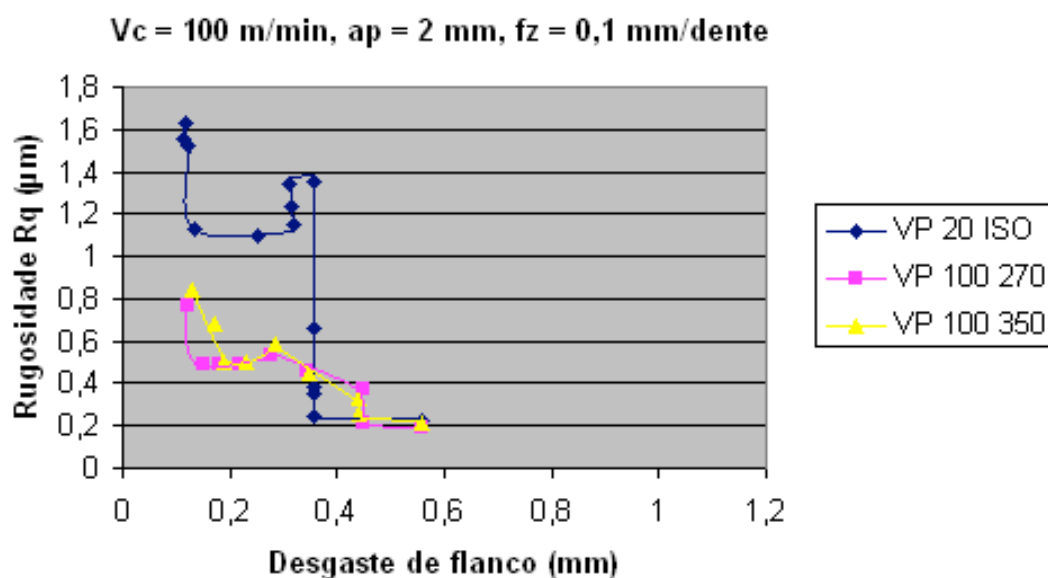


Figura 4.40 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm deTi na condição 6 da Tab. 3.4

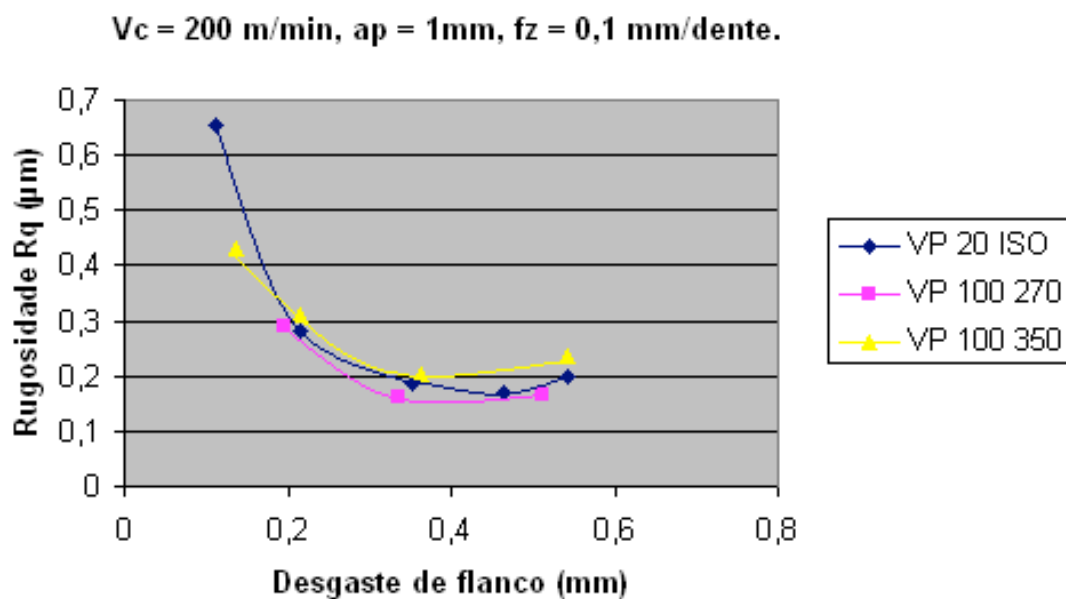


Figura 4.41 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm deTi na condição 2 da Tab. 3.4

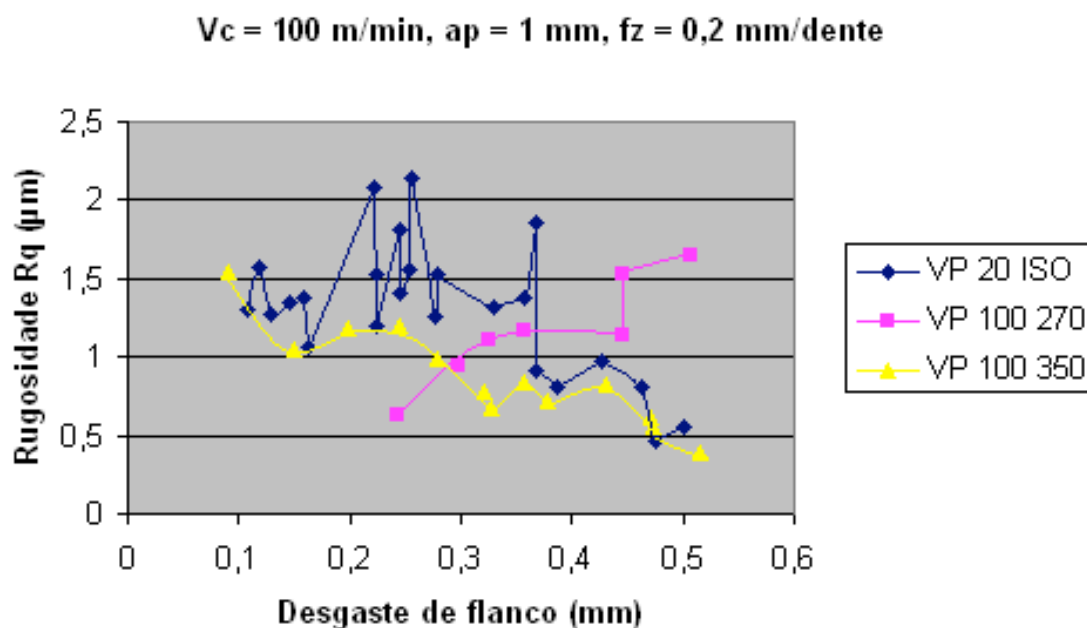


Figura 4.42 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti na condição 3 da Tab. 3.4

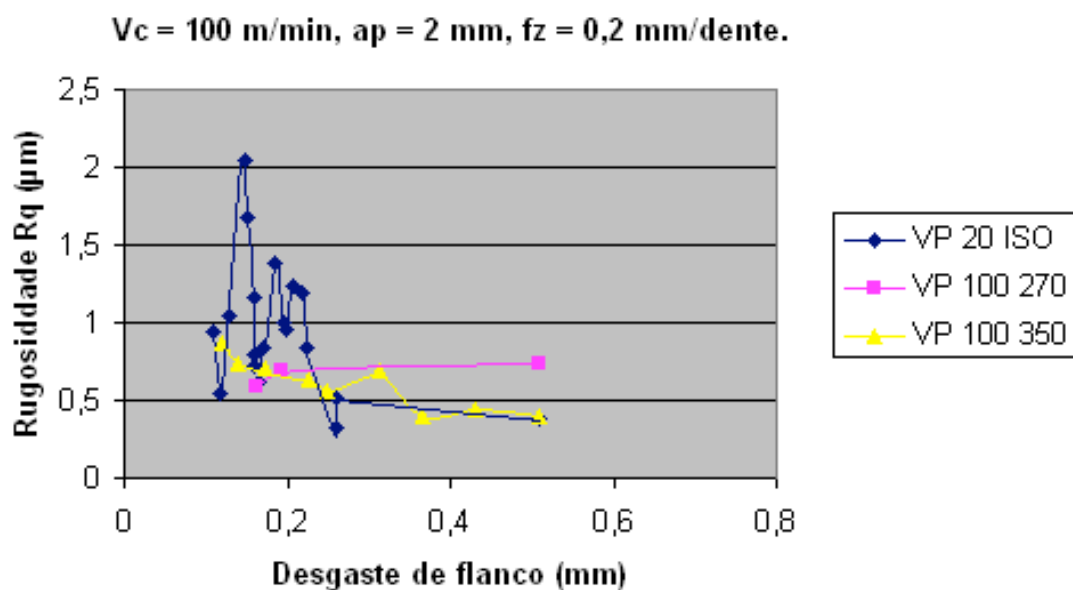


Figura 4.43 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti na condição 7 da Tab. 3.4

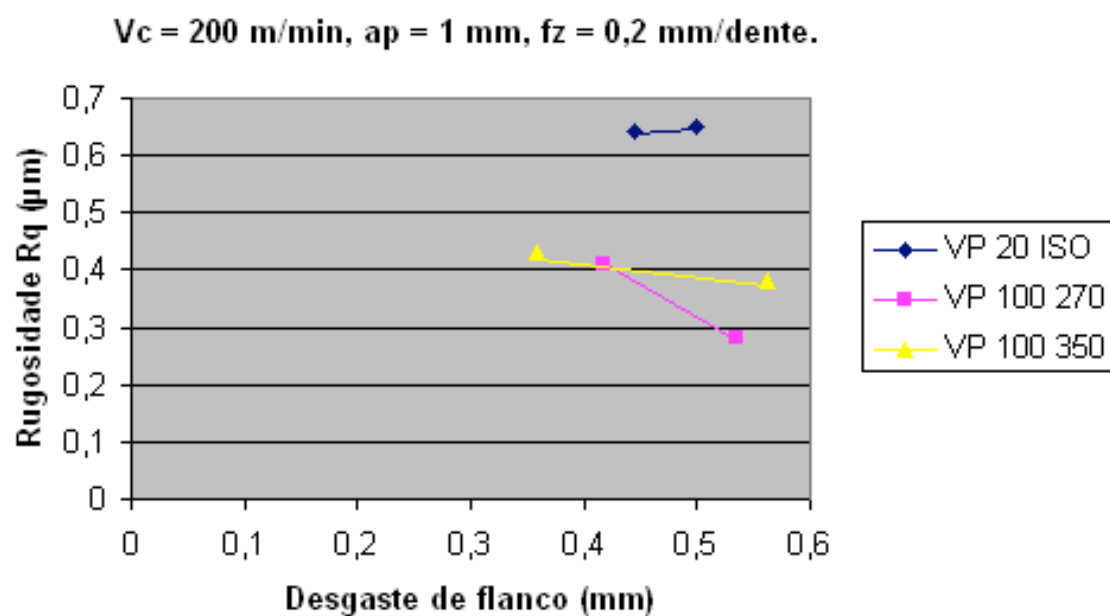


Figura 4.44 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti na condição 4 da Tab. 3.4

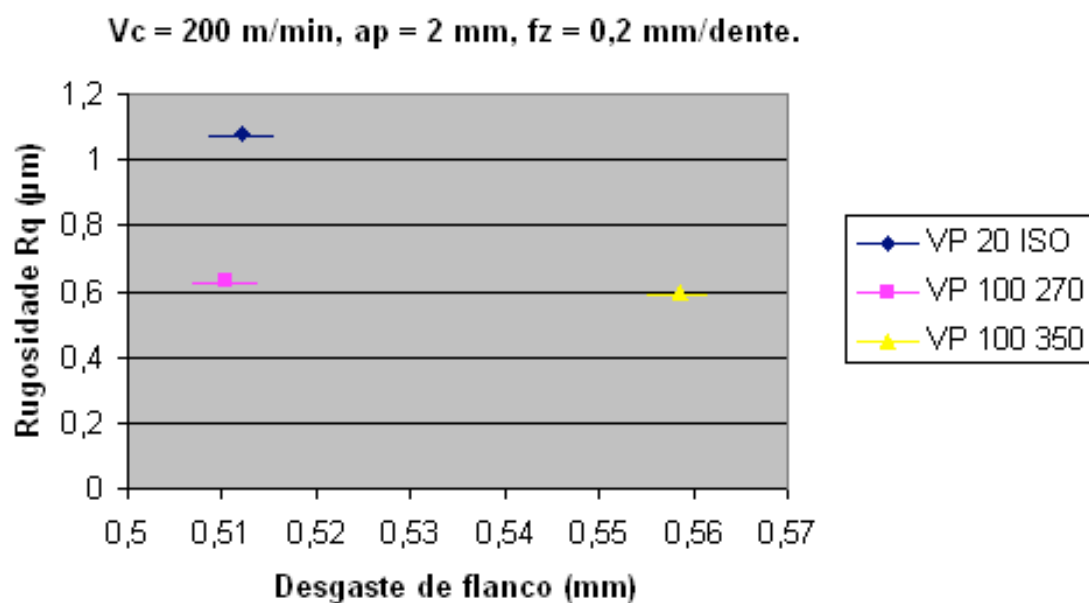


Figura 4.45 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti na condição 8 da Tab. 3.4

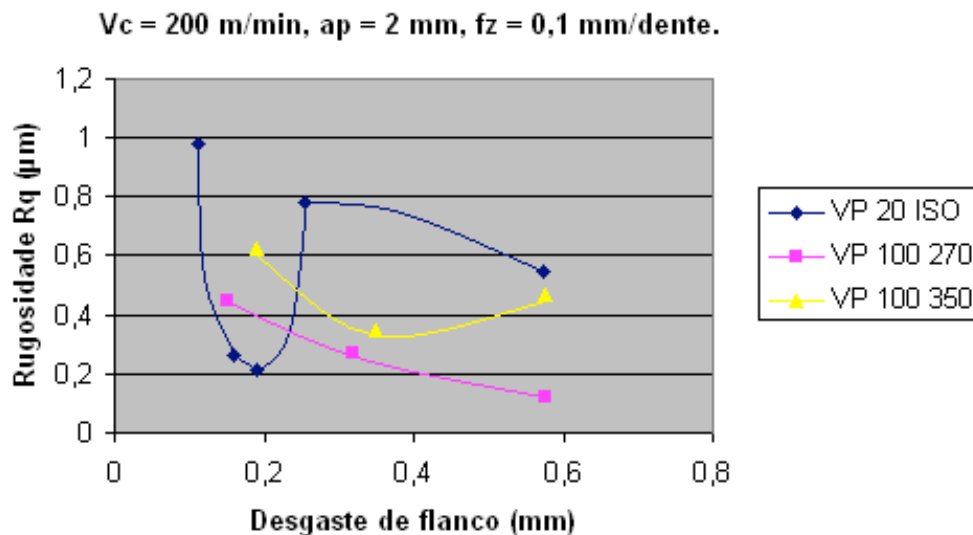


Figura 4.46 - Rugosidade R_q em função do desgaste de flanco para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti na condição 5 da Tab. 3.4

A partir da análise dos gráficos, é possível observar que, na maioria dos casos, os valores de rugosidade tendem a diminuir nos estágios iniciais do desgaste. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato do aumento do raio de ponta da ferramenta como consequência do próprio desgaste. A Figura 4.47 apresenta o desgaste de flanco ocorrido em uma das ferramentas utilizadas nos testes realizados com o VP100 350 relativos à 4ª condição em dois instantes distintos.

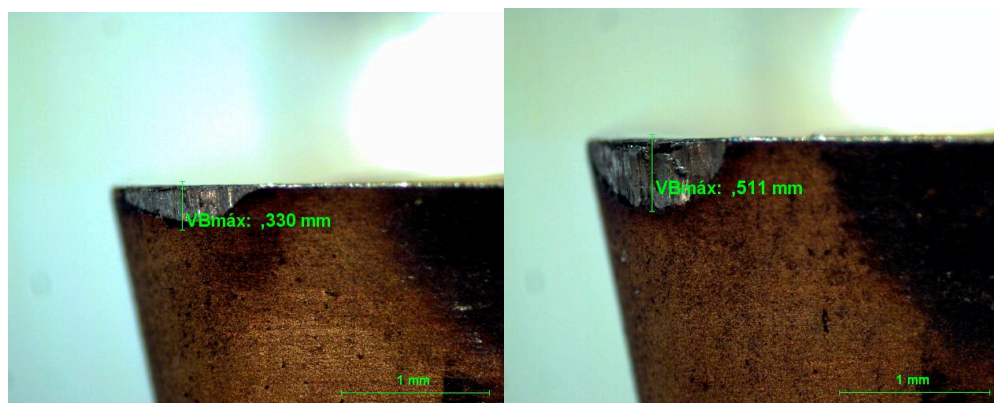


Figura 4.47 - Evolução do desgaste da ferramenta utilizada nos ensaios de fresamento do aço VP100 com 350 ppm de titânio na 4ª condição de usinagem da Tab. 3.4 com $V_c = 200 \text{ m/min}$, $a_p = 1 \text{ mm}$, $f_z = 0,2 \text{ mm/dente}$ e $a_e = 24 \text{ mm}$ a) 1ª passada b) 2ª e última passada

Nas Figuras 4.39 à 4.41, relativas à 1ª, 6ª, e 2ª condições de usinagem, respectivamente, apresentam os menores valores de avanço, onde observa-se um comportamento parecido para os três aços analisados. Nesse caso, as diferenças microestruturais e de propriedades mecânicas entre os aços não influenciou uma diferença significativa entre os valores de rugosidade dos mesmos. Nas Figuras 4.42 e 4.43 relativas à 3ª e 7ª condições e que combinam as menores velocidades com os maiores avanços, o VP100 270 apresentou maiores valores de rugosidade nos estágios finais da vida da ferramenta. Já as Fig. 4.44 e 4.45, relativas à 4ª e 8ª condições respectivamente, combinam os maiores valores do avanço e da velocidade de corte, e apresentam um contraste maior entre os valores de rugosidade. Uma maior rugosidade apresentada pelo aço VP20 ISO pode ser atribuída a uma maior ductilidade e, conseqüentemente, a um maior amaciamento térmico gerado pelo aumento da velocidade de corte nas condições descritas, o que, possivelmente, influenciou na diminuição da qualidade de sua superfície final em comparação com os outros dois aços que são microligados ao titânio e ao vanádio com dureza homogênea da superfície ao núcleo e superior à do VP20 ISO. A presença de partículas duras de carbonitreto de titânio nos aços VP100 contribui com uma maior dureza desses aços, sendo que, tais característica, podem também ter influenciado em uma melhor qualidade superficial dos mesmos.

As condições de corte exercem forte influência na rugosidade superficial. Um acabamento rugoso pode ser conseqüência de baixos valores da velocidade que pode induzir a formação da aresta postiça de corte APC, dependendo das características do material que está sendo usinado. Baixas velocidades de corte associadas a altos valores de avanço pioram ainda mais, a rugosidade. A influência negativa da APC no acabamento superficial é gerada pela aderência de partes cisalhadas da própria APC na superfície da peça. Com o aumento da velocidade de corte, este problema é minimizado gerando menores valores de rugosidade (MACHADO et al., 2009).

A altura dos picos e a profundidade dos vales gerados pelas marcas de avanço tendem a aumentar com o aumento dos valores do próprio avanço. Já profundidade de corte, aumenta as forças, as deflexões e as alturas das ondulações afetando negativamente as rugosidades (MACHADO et al., 2009).

Nas condições referentes às Fig. 4.39 e 4.40 observa-se que a rugosidade, nos estágios iniciais de desgaste, apresenta valores maiores aos das condições referentes às Fig. 4.41, 4.44, 4.45 e 4.46. Esse fato pode ser justificado considerando-se um menor valor da velocidade de corte para as condições das Fig. 4.39 e 4.40.

Em baixas velocidades de corte pode ocorrer o aparecimento da aresta postiça de corte o que diminui a qualidade superficial com um aumento da rugosidade (MACHADO et al.,2009). A velocidade crítica se situa geralmente na faixa de 90 a 150 m/min (STEMMER, 1987). A Figura 4.48 apresenta o desgaste de flanco de uma das ferramentas utilizadas para usinar o VP20 ISO com uma $V_c = 100$ m/min, dentro da faixa de valores considerado crítico para a formação da aresta postiça. Nesse caso, o desgaste apresenta aspectos característicos de material aderido indicando a possibilidade de ter ocorrido a formação de aresta postiça de corte. A Figura 4.49, apresenta o desgaste da mesma ferramenta obtida em MEV, onde é possível perceber que houve o desprendimento da porção de material aderido, possivelmente ocasionado pelo tratamento de limpeza da superfície desgastada realizado com a utilização de um banho com acetona em equipamento de limpeza ultrasônica.

Nas Figuras 4.42 e 4.43, que combinam as menores velocidades de corte com os maiores valores de avanço, é possível observar que o VP100 com 270 ppm de titânio apresentou um comportamento diferenciado em relação aos outros dois materiais, onde os valores da rugosidade são menores nos estágios iniciais, aumentando nos estágios finais do desgaste da ferramenta. Tal fenômeno pode está relacionado às diferenças microestruturais entre os materiais e que ocasionaram tal comportamento para essas condições em particular.

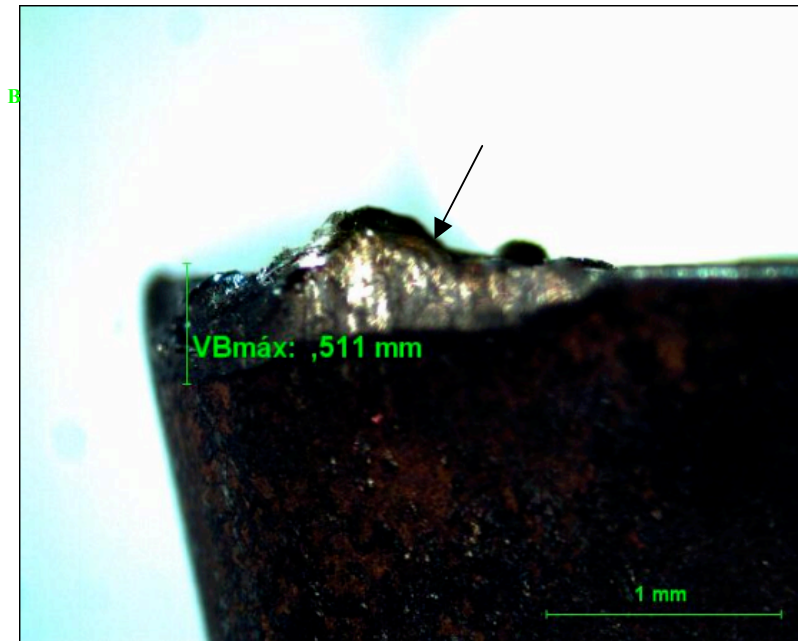


Figura 4.48 - Desgaste de flanco da ferramenta utilizada no fresamento do VP20 ISO com $V_c = 100\text{m/min}$, $a_p = 2\text{ mm}$, $f_z = 0,1\text{ mm/dente}$ com a presença de material aderido

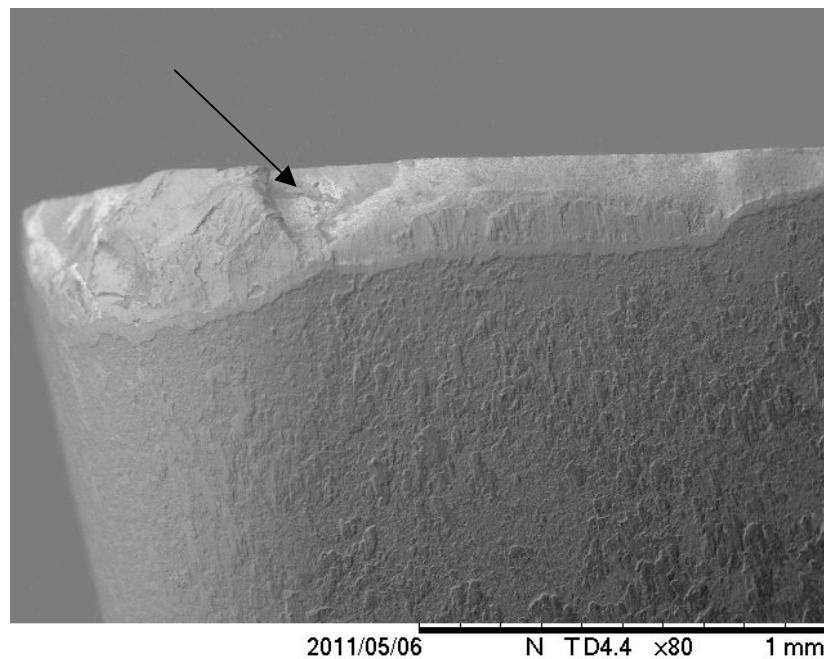


Figura 4.49 - MEV do desgaste de flanco da ferramenta utilizada no fresamento do VP20 ISO com $V_c = 100\text{m/min}$, $a_p = 2\text{ mm}$, $f_z = 0,1\text{ mm/dente}$ indicando a região onde ocorreu a aderência do material da peça

4.2.3. *Análise das formas e mecanismos de desgastes ocorridos nos ensaios de fresamento*

A forma predominante de desgaste ocorrido nos ensaios de fresamento foi o desgaste de flanco, com a ocorrência esporádica de avarias do tipo lascamento em alguns dos testes realizados. Uma análise mais detalhada de algumas das ferramentas desgastadas possibilitou a observação de características que sugerem a ocorrência de desgaste abrasivo como um dos possíveis mecanismos de desgaste predominante, além da presença de material aderido.

Um dos casos de avaria por lascamento de uma das ferramentas utilizada nos testes é apresentado na Fig. 4.50.

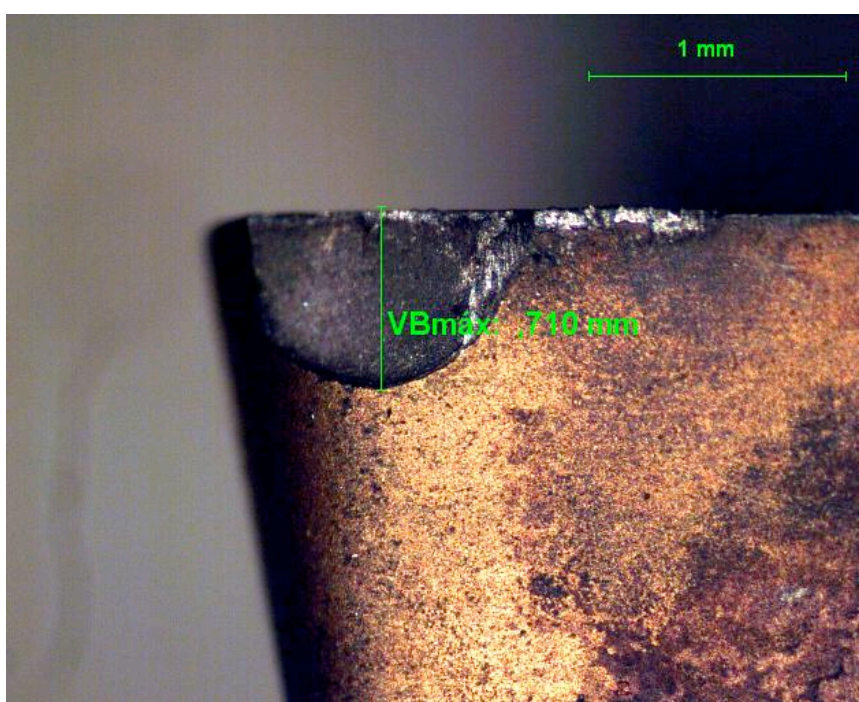


Figura 4.50 - Avaria por lascamento da ferramenta utilizada no fresamento do VP100 270 com $V_c = 100$ m/min, $a_p = 2$ mm, $f_z = 0,1$ mm/dente

A Figura 4.51 apresenta o desgaste em detalhe obtido a partir do MEV de uma das ferramentas utilizada nos testes de fresamento onde é possível observar as características típicas de desgastes adesivo e abrasivo, com a presença de alguns sulcos paralelos na direção do fluxo do material, bem como com retirada progressiva

**Material
aderido**

das camadas do revestimento até o substrato, provavelmente ocasionados por partículas duras de carbonitreto de titânio contidas no material.

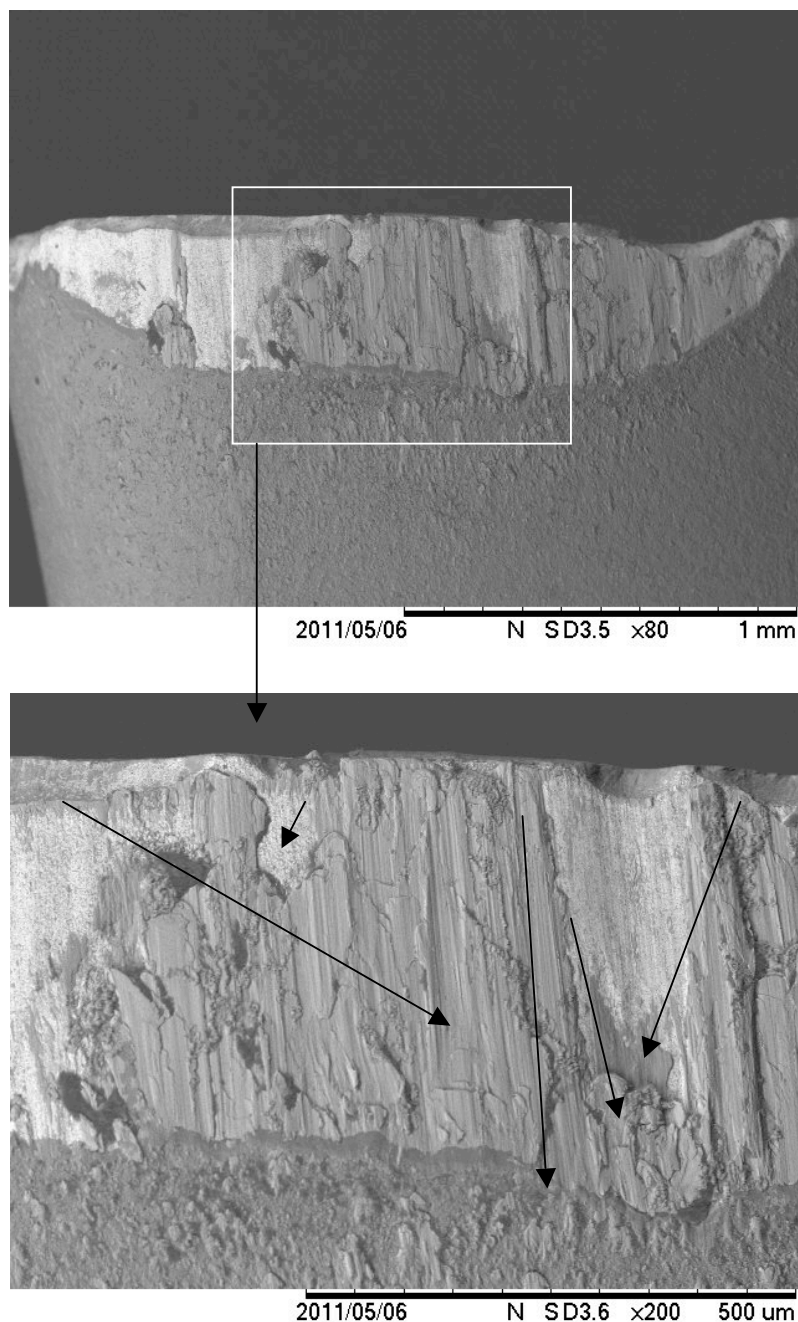


Figura 4.51 - Detalhe do desgaste de flanco da ferramenta utilizada no fresamento do VP100 350 com $V_c = 100$ m/min, $a_p = 2$ mm, $f_z = 0,1$ mm/dente obtido a partir do MEV

4.2.4. Análise estatística dos resultados obtidos nos ensaios de fresamento

A partir do tratamento estatístico realizado, foi possível determinar o nível de influência das variáveis consideradas nos teste de usinagem. As Figuras 4.52 a 4.54 apresentam os gráficos de Pareto relativos à comparação dos volumes de material removido entre os três materiais testados nos ensaios de fresamento.

O gráfico da Fig. 4.52 indica que a velocidade de corte, a diferença entre os materiais, bem como, a combinação entre estes dois fatores, foram significantes quando se comparam os volumes de material removido entre os aços VP100 com 350 ppm de Ti e o VP20 ISO. Nesse caso, os demais fatores não tiveram uma influência significativa nos resultados. Comportamento similar também foi apresentado na comparação entre os volumes removidos do VP100 com 270 ppm de Ti e do VP20 ISO. Tal comportamento pode ser explicado considerando-se as diferenças nas composições químicas dos VP100 em relação ao VP20 ISO. A velocidade de corte tem relação direta com a temperatura na zona de corte onde acontecem transformações metalúrgicas que por sua vez dependem das propriedades e, conseqüentemente, da composição química de cada material.

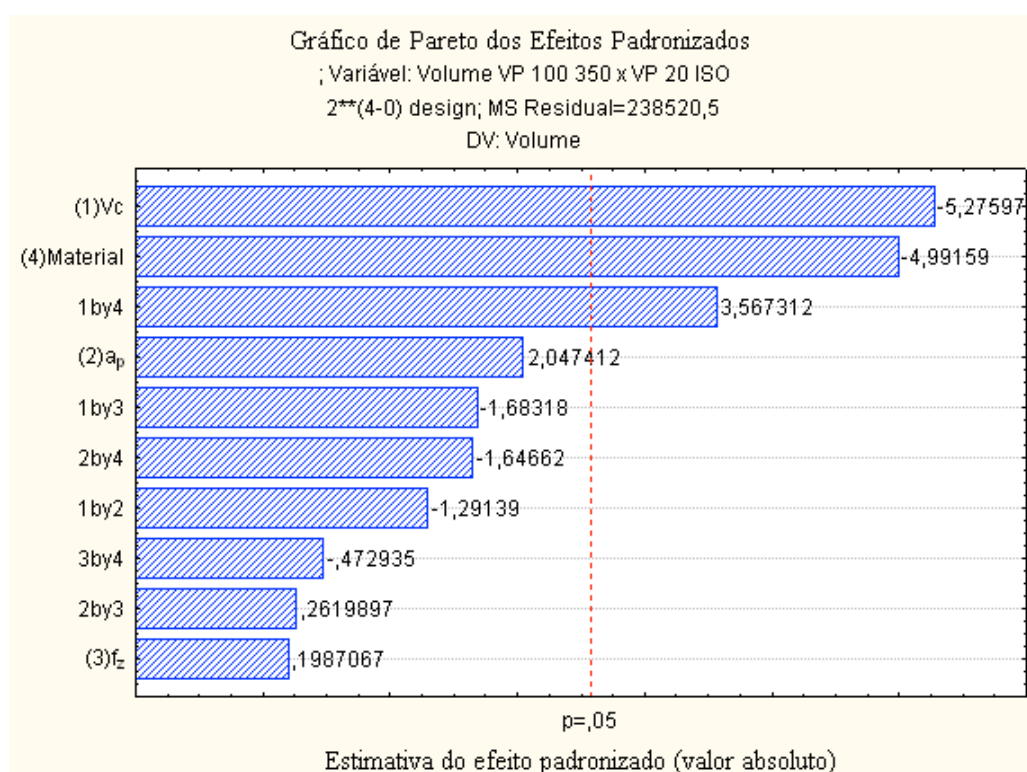


Figura 4.52 - Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos das variáveis no volume de material removido do VP100 com 350 ppm de Ti e do VP20 ISO

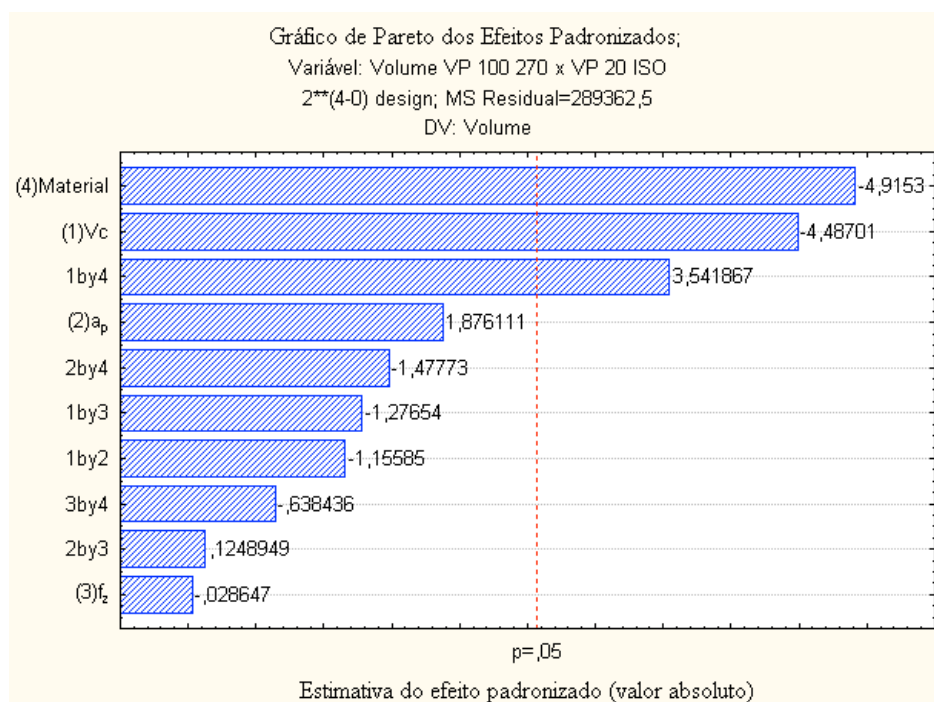


Figura 4.53 - Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos das variáveis no volume de material remoído do VP100 com 270 ppm de Ti e do VP20 ISO

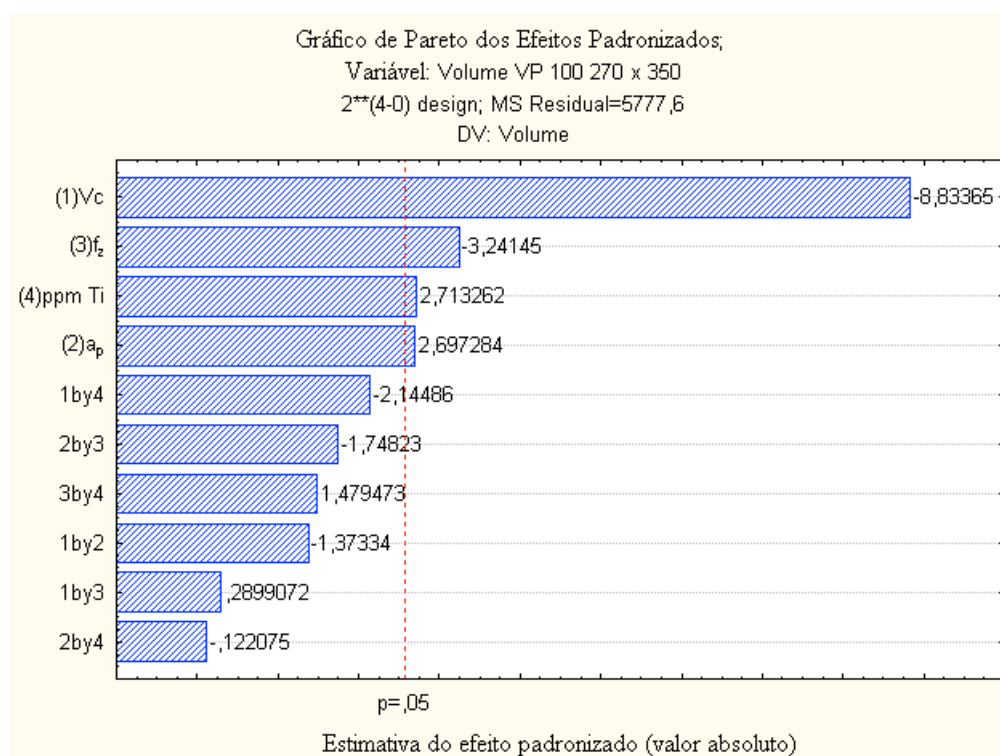


Figura 4.54 - Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos das variáveis no volume de material removido do VP100 com 270 e 350 ppm de Ti

Quando se comparam as duas modalidades do aço VP100, a influência dos fatores apresentou um comportamento diferente em relação aos outros dois casos analisados, como pode ser visto na Fig. 4.54, onde observa-se que a velocidade de corte exerceu uma influência bem maior em relação aos demais fatores que também exerceram influência sobre o fenômeno analisado. Diferente dos casos anteriores, o avanço aparece como uma variável influente seguido pela a profundidade de corte e pelas características do material relacionadas ao percentual de titânio.

Uma justificativa para tal comportamento deve considerar que as diferenças de composição química, microestrutura e propriedades entre os VP100 são bem menores do que quando se comparam esses materiais com o VP20 ISO. O que explica a pequena influência do percentual de titânio nesses resultados. A profundidade de corte também aparece como um fator influente. Esse fato reforça a tese de que as diferenças microestruturais entre as duas modalidades de VP100 apontadas no início desse tópico, exerceram influência no comportamento dos mesmos durante os processos de usinagem, considerando-se que existe uma relação direta entre a quantidade de material a ser recalcada e deformada elástica e plasticamente, com a profundidade de corte. Ou seja, as respostas dos materiais nas zonas de corte sob efeito das deformações exerceram um efeito significativo que se traduziu em melhor ou pior usinabilidade nas condições testadas.

A influência dos efeitos das variáveis de entrada na rugosidade R_q obtida a partir dos ensaios de fresamento com os materiais testados, é apresentada nas Fig. 4.55 a 4.57, através dos gráficos de Pareto. No caso da Fig. 4.55 que compara as duas modalidades do VP100, é possível perceber que a velocidade de corte foi a variável que exerceu maior influência, tanto separadamente quanto quando combinada com a profundidade de corte. Em seguida, aparece o avanço e a profundidade de corte com um menor nível de influência. A combinação de efeitos do material com o avanço também exerceu alguma influência. O efeito de todas essas variáveis citadas até aqui, é esperado e se justifica com base nos mesmos argumentos apresentados no subtópico anterior. O material foi a única variável que, isoladamente, não exerceu influencia significativa. Certamente pela proximidade dos valores de R_q obtidos para esses materiais na maioria das condições testadas, bem como pelas semelhanças em alguns aspectos metalúrgicos apresentadas por ambos.

Ao comparar o aço VP20 ISO com ambos os aços VP100, percebe-se que o material passa a ser uma variável influente juntamente com a velocidade de corte e avanço. Tal fenômeno se justifica considerando-se as diferenças relativas à composição química, microestrutura e propriedades apresentadas pelos materiais, que se refletiram em uma diferença mais acentuada nos valores de R_q nos estágios iniciais do desgaste das ferramentas. As Figuras 4.56 e 4.57 apresentam os gráficos de Pareto relativos a esses resultados cujo comportamento guarda uma certa semelhança para ambas as comparações.

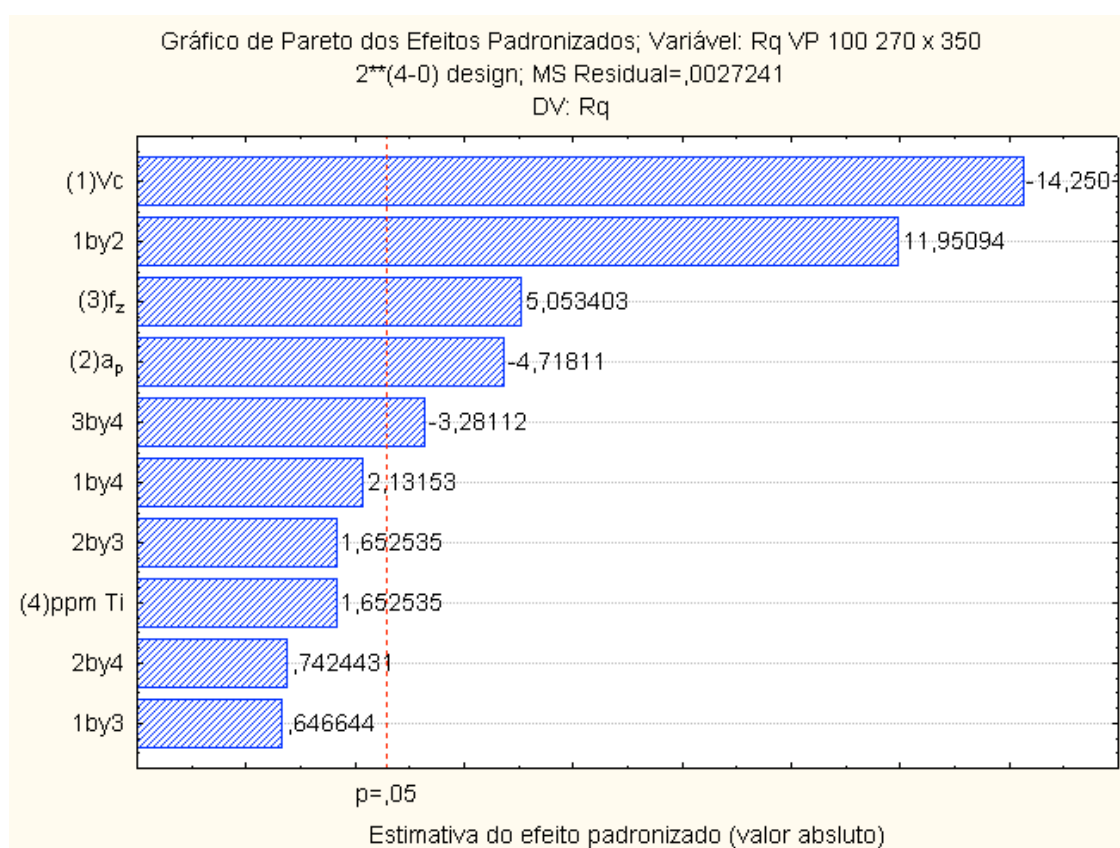


Figura 4.55 - Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos das variáveis na rugosidade média quadrática R_q do VP100 com 270 e 350 ppm de Ti

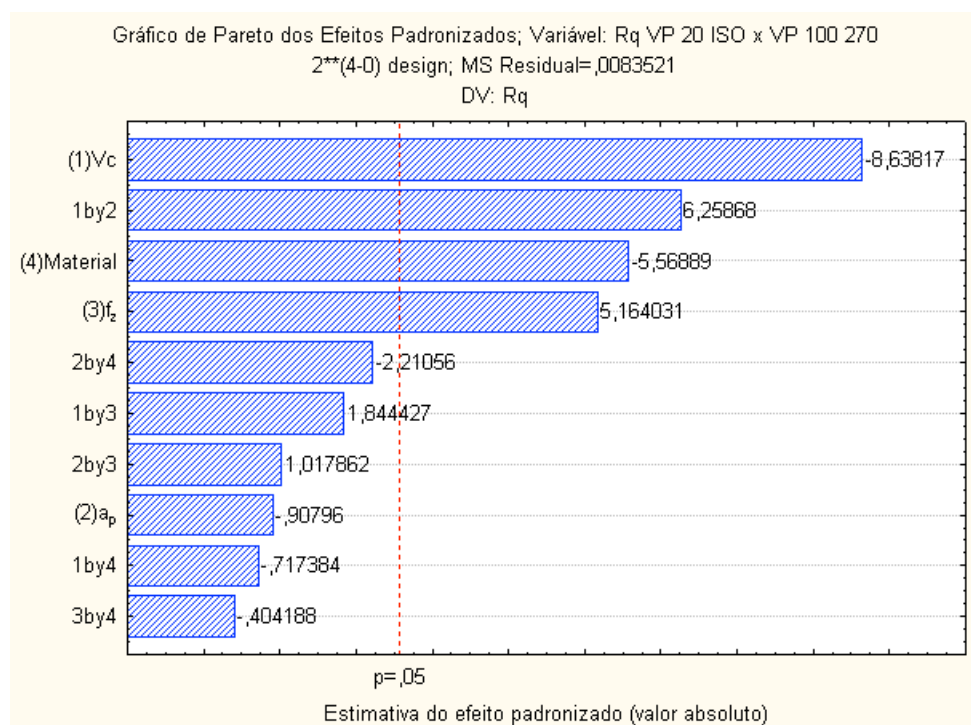


Figura 4.56 - Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos das variáveis na rugosidade média quadrática Rq do VP20 ISO com o VP100 com 270 ppm de Ti

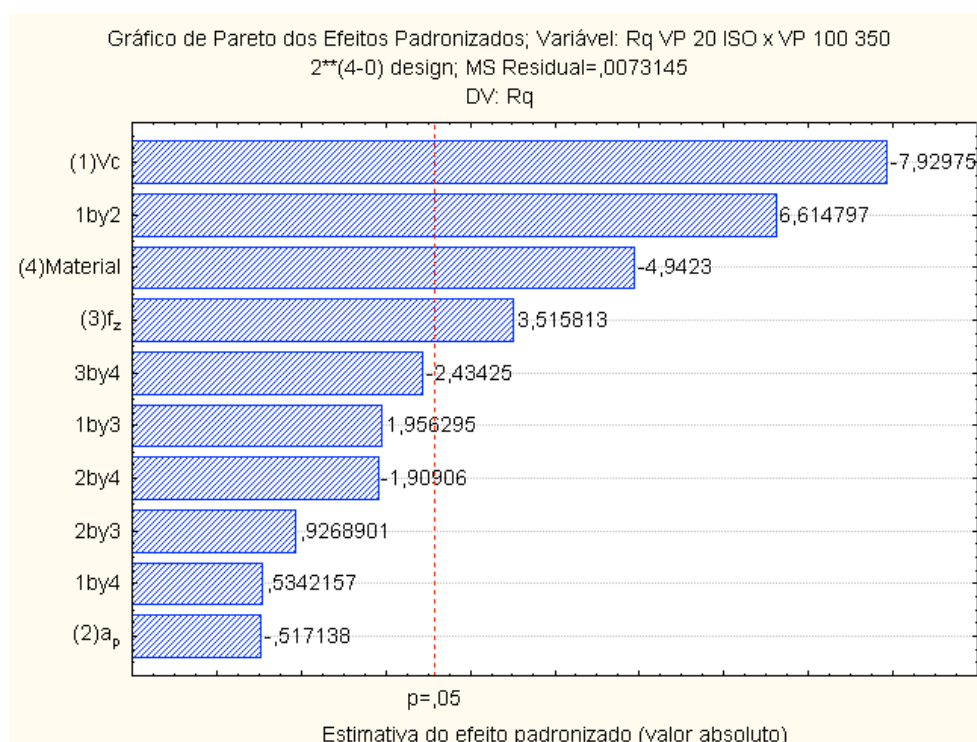


Figura 4.57 - Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos das variáveis na rugosidade média quadrática Rq do VP20 ISO com o VP100 com 350 ppm de Ti

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

- O aço VP100 com 270 ppm de Ti apresentou maiores valores de força de corte e de força passiva no torneamento quando comparado com aço VP20 ISO em sete das oito condições testadas;
- O aço VP100 com 270 ppm de Ti apresentou maiores valores de força de avanço no torneamento quando comparado com o aço VP20 ISO em todas as oito condições testadas;
- O aço VP100 com 350 ppm de Ti apresentou maiores valores de força de corte, força de avanço e força passiva no torneamento quando comparado com o aço VP20 ISO em cinco das oito condições testadas;
- Os aços VP100 com 270 e 350 ppm de Ti apresentaram menor volume de material removido em relação ao aço VP20 ISO em todas as oito condições testadas no fresamento;
- O aço VP100 com 350 ppm de Ti apresentou maior volume de material removido em relação ao aço VP100 com 270 ppm de Ti em seis das oito condições testadas no fresamento;
- O aço VP100 com 350 ppm de Ti apresentou maior quantidade e variedade de tamanho e forma das partículas de carbonitreto de titânio do que o VP100 com 270 ppm de Ti, que por sua vez apresentou uma distribuição mais homogênea dessas partículas;
- O aço VP100 com 270 ppm de Ti apresentou concentrações da fase branca, possivelmente constituída de ferrita e/ou austenita retida,

distribuídas de forma heterogênea e grosseiramente dispersa na microestrutura, ao passo que o aço VP100 com 350 ppm de Ti apresentou uma microestrutura mais homogênea quanto à distribuição destas fases;

- O melhor desempenho do VP100 com 350 ppm de Ti nos testes de usinagem, pode ser atribuído a uma distribuição mais homogênea da fase branca na microestrutura, bem como a uma possível perda de elementos microligantes induzida pelo maior teor de titânio em relação ao VP100 com 270 ppm de Ti, que, por outro lado, apresentou uma distribuição mais homogênea dos carbonitreto de titânio maiores;
- A constatação, do ponto de vista estatístico, de que a profundidade de corte e o avanço, foram fatores influentes ao se comparar a usinabilidade com base no volume removido entre as duas modalidades de VP100, reforça a tese de que as diferenças microestruturais entre esses materiais exerceram influência no comportamento dos mesmos durante os processos de usinagem, considerando-se que existe uma relação direta entre a quantidade de material a ser recalcada e deformada elástica e plasticamente, com o avanço e a profundidade de corte. Ou seja, as respostas dos materiais nas zonas de corte sob efeito das deformações exerceram um efeito significativo que se traduziu em uma melhor ou pior usinabilidade nas condições testadas;
- Os valores da rugosidade média quadrática R_q medidos nos testes de fresamento variaram de acordo com as condições de usinagem e material, sendo que para as menores velocidades e maiores avanços os materiais apresentaram maior valores de rugosidade e para as maiores velocidades e menores avanços, apresentaram melhores valores de rugosidade, como esperado;
- Na maioria dos testes realizados os valores de rugosidade tendem a diminuir nos estágios iniciais do desgaste. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato do aumento do raio de ponta da ferramenta como consequência do próprio desgaste;
- Uma maior rugosidade apresentada pelo aço VP20 ISO pode ser atribuída a uma maior ductilidade e, conseqüentemente, a um maior amaciamento

térmico gerado pelo aumento da velocidade de corte nas condições descritas;

- A presença de partículas duras de carbonitreto de titânio nos aços VP100, contribui com uma maior dureza desses aços, sendo que, tais característica influenciaram em uma melhor qualidade superficial dos mesmos em relação ao VP20 ISO;
- Foram observadas trincas geradas a partir de carbonitretos segregados entre contornos de grão no aço VP100 com 350 ppm de titânio, o que pode ter ocorrido em função do maior teor de titânio apresentado por este material, levando este a apresentar uma maior fragilidade e consequentemente uma melhor usinabilidade, mesmo tendo apresentado uma maior dureza em relação ao VP100 com 270 ppm de titânio, onde não foi observado a presença de tal fenômeno;
- A forma predominante de desgaste ocorrido nos ensaios de fresamento foi o desgaste de flanco, com a ocorrência esporádica de avarias do tipo lascamento em alguns dos testes realizados;
- Uma análise mais detalhada de algumas das ferramentas desgastadas possibilitou a observação de aspectos característicos dos desgastes adesivo e abrasivo como mecanismo predominante, bem como a presença de material aderido;
- A 6ª condição de usinagem da Tab. 3.4 foi a que apresentou os maiores valores de volume removido, bem como os melhores valores de rugosidade para os três materiais testados, com valores de forças de corte abaixo dos valores de pico e acima dos menores valores, se constituindo assim, como a condição em que os três materiais apresentaram melhor desempenho entre todos os testes realizados.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

A investigação do comportamento de um material em um processo usinagem, com base em variações relacionadas à sua composição química e consequentemente, em sua microestrutura, se constitui em uma análise complexa,

cuja abordagem pode assumir vários caminhos dentro da pesquisa, que certamente será pautada nos conhecimentos das ciências dos materiais, bem como dos processos de usinagem. E é com base nessa premissa que são sugeridos a investigação de alguns aspectos relacionados ao tema abordado neste trabalho de tese, considerando-se ser este um tema vasto e complexo, cuja completa elucidação não pode ser comportada em apenas um trabalho de tese. Sendo assim, são propostos os seguintes temas para trabalhos futuros:

- Comparar os resultados obtidos com outras modalidades do VP100 contendo outros percentuais de titânio;
- Realizar uma análise matemática das proporções das fases constituintes dos VP100 com teores de titânio variados;
- Realizar estudo da ocorrência de instabilidade plástica tais como fluxo localizado e bandas de cisalhamento na região subsuperficial à superfície usinada;
- Realizar ensaios de temperatura utilizando um modelo validado com o objetivo de comparar a influência do percentual de titânio na temperatura gerada na interface cavaco ferramenta.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFIA

6.1. Referências bibliográficas

6.1.1. *Bibliografia citada*

BARBOSA C. A.; BACALHAU J. B. **VILLARES METALS. Research and Development.** Relatório Técnico. Análise Quantitativa do aço VP100. Distribuição de Carbonitretos de Ti. Rua Alfredo Dumont Villares, Sumaré, SP. 2011. 6p. Documento interno.

BHADESHIA, H. K. D. H., The Bainite Transformations: Unresolved issues, **Materials Science and Engineering**. A, v 21, p.817-829, Abril 1999.

BRAMFITT, B.L.; SPEER, J.G., A Perspective on the Morphology of Bainite. **Metallurgical Transformations**. v. 21A, p.817-829. 1990.

CALISTER JR, W. D. **Ciências e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 7ª ed. Rio de Janeiro, RJ. LTC, 2007. (589p.).

CARVALHO, M. V. DE., FREITAS, D. F., 2005, Fim de vida das ferramentas no processo de furação do aço VP50IM – 32 e 40 HRC em relação ao aço DIN 1.2711. XII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – CREEM, Ilha Solteira – SP, 22 a 26 de agosto. Anais.

DEARNLEY, P.A., TRENT, E.M. "Wear Mechanisms of Coated Carbides Tools", **Metals Technology**, vol. 9, p.60-75. Fevereiro, 1982.

DEONISIO, CARLOS CESAR DE CASTRO, **Estudo do Fresamento do Aço D2 Endurecido em Altas Velocidades de Corte**; 2004. 214p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DING, HUI; IBRAHIM, RASIDI; CHENG, KAI; CHEN, SHI-JIN. Experimental study on machinability improvement of hardened tool steel using two dimensional vibration-assisted micro-end-milling. **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 50 (2010) 1115 – 1118.

ELISEI, C.C.A., ABDALLA A.J., HASHIMOTO T.M., PEREIRA M.S. Utilização de metalografia colorida na identificação dos microconstituintes de um aço microligado. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 3 – 10.

EVANGELISTA, LUIS N. **Usinabilidade do Aço de Corte Fácil Baixo Carbono ao Chumbo ABNT 12L14 com Diferente Níveis de Elementos Químicos Residuais (Cromo, Níquel e Cobre)**, 2007. 190p. Tese de Douorado. Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.

EVANGELISTA LUIZ, N.; MACHADO, A.R., "Development Trends and Review of Free-machining Steels", Proceedings of IMechE, Part B: **J. Engineering Manufacture**, vol . 222, N° 2, London – UK, 2008, pp 347 – 360, ISSN 0954-4054.

EZUGWU, E.O. WANG, Z.M. MACHADO, A.R. The machinability of nickel-based alloys: a review, **Journal of Materials Processing Technology** 86 (1999) 1–16.

EZUGWU E.O., PASHBY I.R. High speed milling of nickel based superalloys, **Journal of Materials Processing Technology** 33 (1992) 429–437.

EL MANSORI, M., M. NOUARIB, Dry machinability of nickel-based weld-hardfacing layers for hot tooling, **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 47 (2007) 1715–1727 Châlons-en-Champagne, France, Janeiro, 2007.

FALLBÖHMER et al. High speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 98, n. 1, p. 104-115, 2000.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, 7ª ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1988, 751p.

GALLEGO J., CAMPOS S.S., KESTENBACH H. J. Carbonitretos Eutéticos em Aços Microligados Comerciais. In: CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 9 a 13 de novembro de 2002, Natal – RN, Brasil. 1 - 5.

GALLEGO, JUNO; VENTRELLA, VICENTE AFONSO, Precipitação de Carbonitretos em Aço ARBL Laminado como Tira a Quente. In: CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 7 a 11 de agosto, 2000, Natal – RN.

GLADMAN, T., **The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels**, 1997. 363p. Tese de Doutorado - The Institute of Materials, London, England.

GOMES, JEFFERSON, ZANATTA, ANDRÉ M. **Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA /Associação de Inteligência em Manufatura – AIM**. Relatório Técnico - Projeto Villares Metals. Análise Comparativa da Usinabilidade do Aço VP100 comercial. Praça Marechal Eduardo Gomes, Vila das Acácias 12228-900 São José dos Campos, SP Novembro de 2008. Documento interno.

HERNÁNDEZ, C.A., MEDINA, S.F., MANCILLA, J.E., BLÁZQUEZ, V. Fundamentos metalúrgicos de los aceros microaleados. **Revista Metal**. Madrid. Março, 1992. p. 369-382.

HOSEINY H.; KLEMENT U.; SOTSKOVSKI P.; ANDERSSON J. Comparison of the microstructures in continuous-cooled and quench-tempered pre-hardened mould steels. **Materials and Design** 32 (2011) 21–28.

HUTCHINGS, I.M. **Tribology: friction and wear of engineering materials**. Arnold, 1995.

INTERNATIONAL STANDARD, Tool life testing milling – End milling – ISO 8688-2 pg. 14:1989(E).

ISIK, Y. Investigating the machinability of tool steels in turning operations. **Materials and Design** 28 (2007) 1417–1424.

JIAN, L. “On the Evaluation of Yield Strength for microalloyed Steels”, **Scripta Metallurgica et Materialia**, V. 24(1990), pp. 1393-1398.

KESTENBACH H.J., ITMAN A., NISHI A.M., ROCA I.B., VALENTIN C. Estudo Metalográfico de Carbonetos Eutéticos em Aços Microligados ao Nióbio. In: IV CBECIMat. - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Dezembro de 1980, Florianópolis - SC, Brasil. 615-624.

EVANGELISTA LUIZ, N., 2007, “Usinabilidade do Aço de Corte Fácil Baixo Carbono ao Chumbo ABNT 12L14 com Diferentes Níveis de Elementos Químicos Residuais (Cromo, Níquel e Cobre)”, Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, FEMEC – UFU, Uberlândia – MG, 190 pgs.

EVANGELISTA LUIZ, N.; MACHADO, A.R., “Development Trends and Review of Free-machining Steels”, Proceedings of IMechE, Part B: J. **Engineering Manufacture**, vol . 222, N° 2, London – UK, 2008, pp 347 – 360, ISSN 0954-4054, DOI: 10.1243/09544054JEM861, Available on line on:

MACHADO, Á. R.; COELHO, R. T.; ABRÃO, A. M.; SILVA, M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais**, 1ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 2009.

MEDEIROS, MAURO ARAÚJO, **Correlação Entre a Microestrutura e o Escoamento Plástico do Aço Inoxidável Duplex DIN W. Nr. 1.4462 Submetido ao Trabalho a Quente Através de Ensaios de Torção**, agosto de 2007. 113p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Mecânica e Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luis – MA.

MERCHANT, M.E. Mechanisms of the Metal Cutting Process. I: Orthogonal Cutting and Type 2 Chip. **Journal of Applied Physics**. vol. 16, nº 5, pp. 267-275. maio, 1954.

MESQUITA, R. A. BARBOSA C. A. Desenvolvimento de um Aço com Usinabilidade Melhorada e Aços Endurecíveis por Precipitação para Moldes de Plástico. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**. São Paulo, v.1, n. 4, p. 11-15, abr-jun. 2005.

MESQUITA, R. A., BARBOSA, C. A. 40 HRC Plastic Mould Steels: Manufacturing Properties Considerations. In: 18th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM, Ouro Preto – MG, Brazil, 6th to 11th November, 2005. Anais.

MESQUITA, R. A. BARBOSA C. A. Moldes de Plástico: Otimização da Usinabilidade do Aço P20. **O Mundo da Usinagem**, Publicação trimestral da Divisão Coromant da Sandvik do Brasil S.A. ISSN 1518-6091 RG.BN 217.147 4ª ed. 2003.

MESQUITA, R.A. CAPUCCIO, G.V. BARBOSA, C.A. Aço VP100 para moldes de conformação de termoplásticos. **Revista CDestaque**, Villares Metals, Sumaré, São Paulo, 33ª ed. Setembro de 2009.

METALS HANDBOOK, **Metallography, Structures and Phase Diagrams**, 8ª ed. Vol. 8. American Society for Metals, Materials Park, OH, 1973.

MILAM J. C. G.; MACHADO A. R.; BARBOSA C.A., Usinabilidade de Aços para Moldes de Injeção de Plástico Tratados com Cálcio. In: 55° Congresso da Associação Brasileira de Metais, 24 a 28 de julho de 2000.

OLIVEIRA, ADILSON JOSÉ DE. **Análise do Desgaste de Ferramentas no Fresamento com Alta Velocidade de Aços Endurecidos**, 2007. 205p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

RECH J.; LE CALVEZ C.; DESSOLY M. A new approach for the characterization of machinability application to steels for plastic injection molds. **Journal of Materials Processing Technology** 152 66 – 70, março de 2004.

RIBEIRO, JOSÉ LUIZ SILVA. **Fresamento do Aço VH SUPER nos Estados Recozido e Temperado com Metal Duro e Cermet**, agosto de 2007. 244p. Tese de Douorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

ROBERTS, G. A.; CARY, R. A. **Tool Steel**, 4. ed., Ohio: Editora ASM, 1992. 820p.

SANTOS, D. **Influência do tempo de transformação bainítica sobre a microestrutura e as propriedades mecânicas de um aço multifásico**. 2005. 101p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo.

SHARMAN A. MPhil. Thesis. School of manufacturing and mechanical engineering. University of Birmingham. UK, 1998.

SILVA, FLAVIA CRISTINA SOUSA E; MEDEIROS, MAURO A; MACHADO, ÁLISSON ROCHA; SILVA, MÁRCIO BACCI DA; BARBOSA, CELSO ANTÔNIO; FREDERICO MARIANO AGUIAR. Machinability of three different steels for plastic injection mould considering the cutting forces in turning. In: 20° COBEM, International Congress of Mechanical Engineering, 15 a 20 de Novembro de 2009. Gramado, RS, Brasil.

SILVA, FLAVIA CRISTINA SOUSA E, MEDEIROS, MAURO A; MACHADO, ÁLISSON ROCHA; SILVA, MÁRCIO BACCI DA; BARBOSA, CELSO ANTÔNIO; FREDERICO MARIANO AGUIAR. Estudo Comparativo da Usinabilidade dos Aços para Moldes VP50 IM e N2711 no Fresamento de Topo. In: 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 11 a 15 de abril de 2011. Caxias do Sul, RS, Brasil.

STEMMER, CASPAR ERICH, **Ferramentas de Corte**, 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1989, 295p.

SUGIMOTO, K., MISU, M., KOBAYAH, M. SHITASAWA, H., Effects of Second Phase Morphology on Retained Austenite Morphology and Tensile Properties in a TRIP-aided Dual-phase Steel Sheet. *ISIJ International*, vol. 33, No 7, p. 775-782, 1993.

SHAMOTO E, SUZUKI N, HINO R. Analysis of 3D elliptical vibration cutting with thin shear plane model. **Annals of the CIRP** 2008; 57; 57– 60.

TEIXEIRA FILHO, FERNANDO, **A utilização do fluido de corte no fresamento do aço inoxidável 15-5PH**, 2006. 206p. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

TRENT, E. M. **Metal Cutting**, Butterworth-Heinemann Ltd. 1991.

TITHER, G. Niobium in Steel Castings and Forgings. In: *Proceedings of the International Symposium Niobium*. Orlando, 2001. p.845 – 872.

UNGER, P. **Injection Molds 130 Proven Designs**. 4. ed. Cincinnati: Editora Hanser Gardner, 2006. 300p.

URBANSKI J.P., P. KOSHIA, U, R.C. DEWESA, D.K. ASPINWALLA, High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture. **Materials and Design**. 21 (2000). 395 - 402.

WANG Y, SUZUKI N, SHAMOTO E, ZHAO Q. Investigation of tool wear suppression in ultraprecision diamond machining of die steel, **Precision Engineering**. Maio de 2011.

ZANATTA, ANDRÉ M.; GOMES, JEFFERSON; MESQUITA, R.A.; BARBOSA C. A. Study on the Machinability of VP100 Mold Steel. In: 20° COBEM, International Congress of Mechanical Engineering, 15 a 20 de Novembro de 2009. Gramado, RS, Brasil.

6.1.2. *Bibliografia consultada*

ALTAN, T.; LILY, B. W.; KRUTH, P. J.; KÖNIG, W.; TÖNSHOFF, H. K.; VAN LUTTERVELT, C. A.; KHAIRY, A. B., 1993 - "Advanced Techniques for Die and Mold Manufacturing", Annals of CIRP, Vol 42/4, pp 707,.

BAKER, R. D. Ceramic cutting tools: Application guidelines. **Carbide Tool**, p. 28-35, 1981.

BAKER, H. Alloy Phase Diagrams. **ASM Handbook**. v. 3, p. 2-153 e p. 3- 43, 1992.

BUBANI, F., DECARLI, C.C.M., MARQUES, D.C., BARBOSA, C.A., DINIZ, A.E., MEI, P.R. **Efeitos da adição de níquel em ligas ferro-cromo - Parte I: Propriedades mecânicas**. Artigo apresentado no INOX 2006, novembro, São Paulo, 2006.

BUBANI, F. C. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60(1): 149-154, jan. mar. 2007.

W. TANG, CH. GERHARDS", J. HEISE", H. ZABEL" Thermal expansion behavior of FeNi alloy layers in Fe_{1-x}Ni_x/Cu superlattices/Department of Materials Science and Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, People's Republic of China "Institute of Experimental Physics/Solid State Physics, Ruhr University Bochum, 44780 Bochum, Germany Journal of Magnetism and Magnetic Materials 191 (1999) 45–53.

CHANDRASEKARAN, H., JOHANSSON, J. O. Chip flow and notch wear mechanisms during the machining of high austenitic stainless steels. **CIRP Annals**, v. 43, n. 1, p. 101-105, Jan. 1994.

CHOUDHURY, I.A., EL-BARADIE, M.A. Machinability of nickel-base super alloys: a general review, **J. Mat. Proc. Tech.**, p.278, 1998.

EZUGWU, E. O., MACHADO, A. R., PASHBY, I. R., WALLBANK, J. The effect of high-pressure coolant supply. **Lub. Eng.**, 47, p. 751-757, 1990.

EZUGWU, E. O., WANG, Z. M., MACHADO, A. R. The Machinability of Nickel Based Alloys: A Review. **Journal of Materials Processing Technology**, 86, p. 1 16, 1999.

EZUGWU, E.O., BONNEY, J., YAMANE, Y. An overview of the machinability of aeroengine alloys. **J. Materials Processing and Engineering**, v. 134, p. 233-253, 2003.

GÓMEZ, LUIZ ALBERTO, **Excel para Engenheiros**, 1ª ed. Florianópolis, SC: Editora Visual Books, 2009, 224p.

MCQUEEN, H. J. e JONAS, J. J., In: Arsenaut, R. V. ed., *Treatise on Materials Science and Tecnology*, New York, Academic Press, 6, 393-493 (1976).

JANG, D. Y. et al. Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel. **Wear**, v. 194, n. 1-2, p. 168-173, Jun. 1996.

KORKUT, I. et al. Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel. **Materials & Design**, v. 25, n.29, p.303-305, Jun. 2004.

MARQUES D. C. e col. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60(1): 71-74, jan. mar. 2007.

MEYERS, M. A., e CHAWLA, K. K.. *Princípios de Metalurgia Mecânica*, p. 201-243. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

LUTON, M. J. e SELLARS, C. M., *Acta Met*, 17, 1033-1043 (1969).

MONTHEILLET, F., COHEN, M., JONAS, J.J. Axial stresses and texture development during the torsion testing of Al, Cu and α -Fe. **Acta Metallurgica**, v. 32, p. 2077-2089, 1984.

N. D. RYAN e H. J. MCQUEEN, *Journal of Mechanical Working Technology*, 12, 279-296 (1986).

NETO, BENÍCIO DE BARROS, **Como Fazer Experimentos**, 3ª ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2007.

REIS, G.S., Influencia da microestrutura e das condições de deformação nas curvas de escoamento plástico de aços inoxidáveis duplex no ensaio de torção a quente. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 1999.

REIS, G.S.; MEDEIROS, M. A.; BALANCIN, O., Influência da Taxa de Deformação Sobre o Fenômeno de Fluxo Localizado Durante a Deformação a Quente do Aço Inoxidável Duplex DIN W. Nr. 1.4462 In: CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 24 a 28 de novembro de 2008, Porto de Galinhas – PE, Brasil. 1 - 11.

REIS, G.S.; MEDEIROS, M. A.; PAIVA, A. E. M.; BALANCIN, O., Influência da Microestrutura Sobre o Fenômeno de Fluxo Localizado Durante a Deformação a Quente do Aço Inoxidável Duplex DIN W. Nr. 1.4462 In: CBECIMat - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 25 a 28 de agosto de 2008, Salvador – BA, Brasil. 1 - 10.

REVISTA: O Mundo da Usinagem, Publicação trimestral da Divisão Coromant da Sandvik do Brasil S.A. ISSN 1518-6091 RG.BN 217.147 4ª Edição – 2003.

TAKATSU, S. Recent development in hard cutting tool materials. **High Temp. Mat. Proc.**, v. 9, p. 175, 1990.

TEKINER, Z., YESILYURT, S. Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. **Materials & Design**, v. 25, n. 6, p.507-513, Set. 2004.

TRENT, E.M. Metal cutting and the tribology of seizure: III temperature in metal cutting. **Wear**, v. 128, p. 65-81, 1988.

WARBURTON, P. Iron and Steel Institute Special Report, n. 94, p. 161, 1965.

WASHKO, S.D., AGGEN, G. Wrought Stainless Steels. ASM Handbook. Properties and Selection: Irons, Steels and High-performance Alloys., v. 1, p. 841, 1990.

WILLIAMS, J.A. The laboratory simulation of abrasive wear. **Tribotest Journal**, 3-3, p.267-306, 1997.

ZUM GAHR, K.H. Wear by hard particles. **Tribology International**, 31, p.587 596, 1998.