



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIELLY DE LUCENA TIBURTINO

**IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DO CAVACO NOS PROCESSOS DE USINAGEM
COM FERRAMENTAS DE GEOMETRIA DEFINIDA**

CARAÚBAS-RN

2015

GABRIELLY DE LUCENA TIBURTINO

**IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DO CAVACO NOS PROCESSOS DE USINAGEM
COM FERRAMENTAS DE GEOMETRIA DEFINIDA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Graduada em Engenharia Mecânica.

Orientador: Ramsés Otto Cunha Lima – UFERSA

CARAÚBAS-RN

2015

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus Caraúbas (BSCA)
Setor de Informação e Referência

T554i Tiburtino, Gabrielly de Lucena.

Importância do controle do cavaco nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida / Gabrielly de Lucena Tiburgo -- Caraúbas, 2015.

40f.: il.

Orientador: Ramsés Otto Cunha Lima.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Aço. 2. Ferramentas de aço. 3. Torneamento. I. Título.

RN/UFERSA/BSCA
620.17

CDD:

Bibliotecário: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

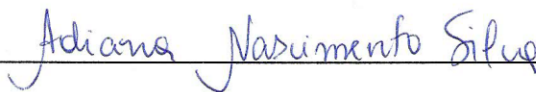
GABRIELLY DE LUCENA TIBURTINO

IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DO CAVACO NOS PROCESSOS DE USINAGEM
COM FERRAMENTAS DE GEOMETRIA DEFINIDA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido (UFERSA), como
exigência final para obtenção do título
de Graduada em Engenharia Mecânica.

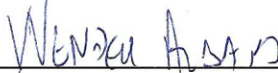
Aprovada em 04 de dezembro de 2015

Comissão examinadora:



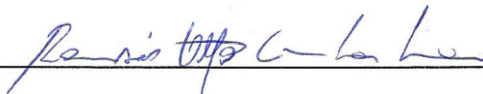
Adiana Nascimento Silva

Membro Interno – UFERSA Caraúbas



Wendell Albano

Membro Interno – UFERSA Caraúbas



Ramsés Otto Cunha Lima

Orientador – UFERSA Mossoró

DEDICO aos meus pais Francisco Tiburtino Neves Neto e Rosileide de Lucena Tiburtino, meus amigos, meus mentores. Metaforicamente falando são meus heróis, me deram a oportunidade de escolher o meu caminho e foram os meus pilotos, os comandantes que souberam me direcionar passo a passo; e mesmo longe de seus olhos eu estava embaixo de suas asas protetoras. Esse passo importante em minha vida e o caminho até aqui percorrido eu devo a eles que acreditaram, confiaram e fizeram sempre o possível no intuito de me oferecer a melhor e maior herança: A **EDUCAÇÃO!**

Amo muito vocês. Obrigada!

AGRADECIMENTOS

Certamente é a Deus que agradeço em primeiro lugar, Ele é a razão de todas as coisas. Possibilitou-me conquistar esse objetivo, esteve sempre ao meu lado e sei que muitas vezes me pôs no colo para me fortalecer, dando-me a saúde, a serenidade e a sabedoria necessárias para tão grande realização pessoal e intelectual.

Agradeço aos meus pais, pelo amor e dedicação; pela educação a mim ofertada no respeito, na justiça e na solidariedade; por todo o esforço e compromisso deles para que eu chegasse a esse momento; por estarem sempre comigo, mesmo que distantes.

A todos os meus familiares que me valorizaram pela escolha que fiz, que estiveram presentes nos almoços de domingo me incentivando e me dando forças para que eu voltasse a Caraúbas e conquistasse a minha graduação.

À Conceição Miranda, tia Ceição, que me adotou e me fez sentir sua filha, pela maneira amável e carinhosa como me tratou; por toda dedicação que teve por mim em momentos em que minha mãe não pôde se fazer presente.

A minha irmã de coração, Aparecida Oliveira, que conheci durante a graduação, mas que tornou-se especial, pois sempre me apoiando e incentivando em momentos bons ou ruins.

As minhas amigas Bruna Lívia, Fatinha Oliveira e Kalem Kanik que mesmo estando longe, me ajudaram em muitos momentos.

A equipe Acceptor Aerodesign constituída por Rodrigo Nogueira, Igor Gomes, Lucas Hanibal, Alef John, Lucas Bacatela e Vinicius Lima, pois junto a vocês o aprendizado teórico foi aplicado na prática nos levando para a melhor experiência acadêmica.

A Silvan Ferreira, Juninho, que estive do meu lado e compartilhou comigo muito dos seus conhecimentos.

A todos os amigos Narawilka Cardoso, Mara Monaliza, Adna Lúcia, Carla Mabel, Ilg Dantas, Kenned Dantas, que iniciaram comigo esse curso, mas que por optar por outras engenharias, não podemos continuar juntos os nossos estudos cotidianos.

A Igor Macedo e a Carlos Júnior, um agradecimento especial, por me incentivarem e pelas várias noites que acordados passamos em prol dos estudos.

Às famílias de Anilson (do Chaplin), de Milton (do MM lanches), de Neuma e de Fátima Barreto - meus vizinhos – que mesmo sem perceberem me ajudaram, me apoiaram nessa difícil caminhada.

A todos os professores que me acompanharam durante a graduação, me direcionando nos exercícios e pesquisas, me fazendo buscar o conhecimento para assim adquirir o aprendizado necessário para conquista dessa tão sonhada graduação.

Ao meu orientador Ramsés Otto Cunha Lima, que mesmo a distância esteve sempre disponível e empenhado a colaborar com o meu Trabalho de conclusão de curso (TCC).

A todos o meu muito obrigada!

RESUMO

Incontáveis ferramentas de corte para usinagem têm sido produzidas e comercializadas nos últimos anos, as quais possuem quebra-cavacos de variadas formas. Apesar do avanço na pesquisa por materiais para ferramentas de corte, proporcionando propriedades cada vez melhores, os aços-rápidos se mantem em uso até hoje, pois ainda possuem qualidades que mantêm sua boa relação custo/benefício. Porém, para otimização do processo de usinagem e garantia da segurança do operador das máquinas é necessário o conhecimento dos parâmetros geométricos do quebra-cavaco, bem como a faixa ideal dos parâmetros de corte para sua aplicação. O quebra-cavaco refere-se a uma área que tem função de gerar o dobramento vertical e o emprego de uma barreira na passagem do fluxo do cavaco, a fim de evitar que estes sejam longos, o que poderia prejudicar que a peça possua um melhor acabamento superficial final e uma melhor relação do operador com a máquina. Assim, mecanismos que alteram as condições de usinagem passaram a ser utilizados, para diminuir os riscos e prejuízos causados pelos cavacos considerados longos. Dessa forma foi realizado um estudo em um torno mecânico, com ferramentas de aço-rápido variando-se os ângulos de saída e a presença de quebra-cavaco nas ferramentas de corte. Os resultados mostram que a aplicação de quebra-cavaco é apropriada quando se usina com ferramentas de ângulo de saída positivo.

PALAVRAS-CHAVE: Quebra-cavaco; Aço-rápido; Torneamento.

ABSTRACT

Countless machining tools have been produced and commercialized in the last years, which have chip-breakers of varied forms. Although of advance in the research per materials for cutting tools, providing properties each time better, the high speed steels (HSS) remain in use until today, because they still have qualities that keep their good relation cost/benefit. However, for process optimization of machining and assurance of security of the operator of machinery is necessary the knowledge of geometric parameters of the chip-breakers, as well as the ideal range of cutting parameters for its application. The chip-breaker refers an area that has function of generating the vertical folding and the use of a barrier in the passage of the chip flow, in order to avoid that these being long, which could harm that the piece has a better final surface finishing and a better relationship of operator with the machine. Thus, mechanisms that change the conditions of machining passed to be used for decreasing the risks and losses caused by long chips. In this way, a study was accomplished on a mechanic lathe with HSS tools varying the rake angles and the presence of chip-breakers in the cutting tools. The results show that the application of chip-breakers is appropriate when machining with positive rake angle tools.

KEY-WORDS: Chip-breakers; high speed steel; lathing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do processo de torneamento.....	17
Figura 2: Superfícies e arestas de uma ferramenta de corte.	19
Figura 3: Planos do sistema de referência da ferramenta.	20
Figura 4: Ângulos da cunha cortante.	21
Figura 5: Desenvolvimento das ferramentas de corte.....	22
Figura 6: Evolução da velocidade de corte dos materiais usados nas ferramentas de corte.....	23
Figura 7: Cavaco sendo formado.	24
Figura 8: Cavaco contínuo.....	25
Figura 9: Cavaco cisalhado.....	25
Figura 10: Cavaco segmentado.....	26
Figura 11: Classificação segundo a forma de acordo com a norma ISO 3685.....	26
Figura 12: Tipos de quebra-cavaco: (a) tipo cratera; (b) tipo anteparo postiço; e (c) tipo anteparo integral.	28
Figura 13: Torno mecânico usado para a usinagem.	29
Figura 14: Comprimento da barra usinada.	30
Figura 15: Diâmetro da barra usinada.	30
Figura 16: Ferramentas de corte afiadas: a esquerda sem quebra-cavaco e a direita com quebra-cavaco.	30
Figura 17: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo positivo e sem quebra-cavaco.	32
Figura 18: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo positivo e com quebra-cavaco.	32
Figura 19: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo neutro e sem quebra-cavaco...	33
Figura 20: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo neutro e com quebra-cavaco. .	33
Figura 21: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo negativo e sem quebra-cavaco.	34
Figura 22: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo negativo e com quebra-cavaco.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 FABRICAÇÃO	15
2.2 USINAGEM	15
2.3 TORNEAMENTO.....	16
2.4 FERRAMENTAS DE CORTE.....	18
2.4.1 Geometria da cunha cortante.....	18
2.4.2 Materiais para ferramentas de corte	21
2.3.4 Cavaco	23
2.3.4.1 <i>Tipos de cavacos</i>	24
2.3.4.2 <i>Formas do cavaco</i>	26
2.4.4 Superfície quebra-cavaco	27
3. METODOLOGIA DA PESQUISA E MATERIAIS.....	29
3.1 TORNO MECÂNICO	29
3.2 CORPO DE PROVA	29
3.3 FERRAMENTA DE CORTE.....	30
3.4 PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DOS TESTES.....	31
4. RESULTADOS.....	31
5. CONCLUSÕES	36
6. TRABALHOS FUTUROS.....	37
7. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

Fabricar é transformar matérias-primas em produtos acabados, por uma variedade de processos (COSTA; SANTOS, 2006). A usinagem é o processo de fabricação reconhecidamente mais popular do mundo, para Ferraresi (1970) a usinagem é definida como operação que ao conferir à peça a forma, as dimensões, o acabamento, ou ainda a combinação qualquer destes itens, produzem cavacos. E por cavaco entende-se: porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar uma forma geométrica irregular. O que é transformado em cavacos durante a usinagem chega a algo em torno de 10% de toda a produção de metais (COSTA; SANTOS, 2006).

Nos últimos anos, inúmeros insertos para usinagem têm sido introduzidos no mercado, os quais apresentam diferentes especificações do formato do quebra-cavacos. Com essa grande variedade há grande modificação no processo de formação, fluxo, curvatura e quebra do cavaco, de forma que os esforços de corte gerados, qualidade superficial obtida, desgaste e vida da ferramenta podem mudar significativamente. O conhecimento dos parâmetros geométricos do quebra-cavaco, bem como a faixa ideal dos parâmetros de corte para aplicação do mesmo é essencial para a otimização do processo de usinagem (PEREIRA, 2011) e garantir a segurança do operador das máquinas.

O metal duro se destaca entre ferramentas de corte devido às suas propriedades, mas para Hui (2007) a prática vem contrariando aqueles que acham que os aços-rápidos estão ultrapassados. As qualidades deste grupo de materiais são tão grandes que, mesmo hoje, já quase um século depois de descobertos, eles ainda sobrevivem no meio de vários outros grupos com fantásticas propriedades.

A superfície quebra-cavaco tem a função de promover a curvatura vertical e a colocação de um obstáculo no caminho do fluxo do cavaco (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2008). O uso desse pode ajudar no acabamento superficial final da peça e na relação do operador com a máquina.

Quando observa os cavacos resultantes de um processo de usinagem, verifica-se que os mesmos podem apresentar diversas formas. Esses são classificados como fitas, helicoidais, espirais e em lascas ou pedaços. A forma do cavaco depende do avanço, da profundidade de corte, do material que está sendo usinado, bem como da ferramenta de corte (FERRARESI, 1970).

A forma de cavacos mais convenientes é a helicoidal, pois a remoção do material é elevada e o mesmo deixa rapidamente o espaço entre a ferramenta e a peça devido às altas velocidades de corte ocorridas (OLIVEIRA, 2015). Já os cavacos em forma de lasca ou pedaços são preferidos apenas quando não houver espaço ou quando estes forem removidos com o auxílio de um fluido refrigerante sob pressão. Enquanto que os cavacos longos ou em forma de fita são os menos desejados, pois ocupam muito espaço, além de terem difícil manuseio (DINIZ; MACONDES; COPPINI, 2013; FERRARESI, 1970) e colocarem em risco a segurança do operador. Quando estes enrolam na peça, prejudicam o seu acabamento superficial, podendo também enrolar-se na ferramenta elevando sua temperatura, assim podendo chegar a quebrar a ferramenta de corte. Outro prejuízo causado pelo cavaco longo é que quando acumulado na zona de corte, dificulta o acesso do fluido de corte, não permitindo a lubrificação e refrigeração desta região, o que contribui para o aumento da temperatura.

Os riscos e danos causados pelos cavacos longos ou em forma de fita levaram ao uso de mecanismos como a alteração das condições de usinagens, que deve ser o máximo possível evitada, pois segundo Ferraresi (1970), a velocidade de corte e o avanço devem ser fixados pelas condições econômicas de usinagem. O mecanismo mais correto a ser executado é o quebra-cavaco, que pode ser quando se molda uma forma especial na superfície de saída da ferramenta ou colocando-se elementos adicionais na superfície de saída.

As ferramentas de metal duro possuem o quebra-cavaco moldada em sua superfície devido ao método de fabricação desses insertos. Já as ferramentas de aço-rápido necessitam serem afiadas antes de serem usadas, para que se forme uma superfície de saída com menos angulação possível. Entretanto o aço-rápido não deixa de ser utilizado nos processos de usinagem, pois o seu valor econômico pode dependendo do caso sobre sair sua baixa velocidade de corte.

Apesar de os quebra-cavacos moldados na superfície de saída da ferramenta terem a desvantagem de dificultar ou impossibilitar a afiação da ferramenta, esse é o tipo de quebra-cavaco mais utilizado na grande maioria das ferramentas de usinagem de materiais que formam cavacos contínuos (DINIZ; MACONDES; COPPINI, 2013).

Os quebra-cavacos postiços exigem que o operador os coloque na posição correta sobre as superfícies de saída da ferramenta, posição esta dependente do avanço e da profundidade de usinagem utilizados. Isto nem sempre é realizado corretamente, o que faz com que algumas vezes, o cavaco não se quebre adequadamente, mesmo com a presença do quebra-cavacos postiço. Outro ponto desvantajoso para o tipo postiço é que ele também se desgasta e precisa ser substituído de tempos em tempos. Sua utilização implica mais um item de estoque e, muitas

vezes, por ser pequeno, é de difícil manipulação pelo operador (DINIZ; MACONDES; COPPINI, 2013).

Neste trabalho a finalidade é mostrar a influência do quebra-cavaco, moldado na superfície de saída das ferramentas através de um rebolo de um esmeril, na formação dos cavacos, analisando seus tipos e formas. Sendo as ferramentas de ângulo de saída positivo, negativo e neutro, para que seja possível analisar a influência da angulação dessa superfície durante os processos de torneamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo limita-se à apresentação dos principais conceitos teóricos essenciais à compreensão e desenvolvimento deste trabalho. Inicia-se com a um pequeno conceito do que se pode entender de fabricação, sua importância e a evolução desse processo, em um segundo tópico é abordado um dos tipos de processo de fabricação, que é a usinagem, em sequência é discutido o torneamento, as ferramentas de corte, o cavaco e por fim o quebra-cavaco.

2.1 FABRICAÇÃO

Para Kalpakjian (1985), fabricar consiste basicamente em alterar uma matéria-prima com o intuito de obter um produto acabado. Um terço do produto interno bruto de um país industrializado é representado pelos processos de fabricação (AMORIM, 2002).

Na pré-história um dos primeiros instrumentos a ser utilizado pelo homem foram as ferramentas, essas feitas de madeira ou de pedra. Serviam como auxílio no dia-a-dia na realização das atividades como lavrar a terra, cortar e conformar substâncias úteis à sua vida, de modo a lhe dar mais força e eficiência. E, além disso, conferia-lhe uma maior segurança contra o meio ambiente que, de modo geral, era adverso (FERRARESI, 1970).

Com o tempo os materiais usados para a fabricação dos instrumentos, começaram a ser substituídos por madeiras mais duras e pedras cada vez mais resistentes com uma afiação superior. Quando alcançou a idade dos metais, o homem começou a usar o cobre e aprendeu, quase que instintivamente, a torná-lo mais duro pelo martelamento à frio. Logo em seguida usou o bronze e por fim o ferro (SANTOS, 2006).

De acordo com Santos (2006) os processos de transformação de metais e ligas metálicas em peças para a utilização em conjuntos mecânicos são inúmeros e variados: pode-se fundir, soldar, utilizar a metalurgia em pó ou usinar o metal afim de obter a peça desejada.

2.2 USINAGEM

Operações que confere forma, dimensões e acabamento a uma peça com a geração de cavaco é chamada de usinagem, podendo ainda ser a combinação de qualquer um dos processos (FERRARESI, 1970).

Grande parte dos produtos manufaturados têm componentes que necessitam ser usinados, geralmente com uma boa precisão. Logo, este conjunto de processos é um dos mais importantes do sistema de manufatura, pois agrega valor ao produto final (SOUZA, 2004).

Quanto à usinabilidade, essa comumente é conhecida como uma característica do material a ser usinado. Então adesão, encruamento, condutividade térmica, dureza e abrasividade são as cinco principais propriedades que influenciam imensamente a usinagem.

Vos (2014), diz que quando um material tem alta tendência à adesão, devem ser usados materiais de ferramenta mais duros e revestimentos específicos. As velocidades de corte devem ser elevadas. Um material com alta tendência a encruamento (endurecimento) requer ferramentas com arestas de corte agudas. As velocidades de corte podem variar, mas os avanços devem ser aumentados. Quando o material apresenta condutividade térmica baixa, o material da ferramenta deve ter um alto nível de dureza a quente. As velocidades de corte e os avanços devem ser limitados. Um material de peça duro requer, evidentemente, um material de ferramenta mais duro. Basicamente, o avanço e a profundidade do corte precisam ser mantidos em um nível moderado. Já para um material de peça abrasivo precisa de materiais de ferramenta com alta resistência à abrasão. As condições de corte devem ser adaptadas à situação para aumentar a utilização ou a eficiência do corte.

Entendendo como essas cinco principais características do material relacionam-se com a ferramenta de corte, pode-se aperfeiçoar largamente a produtividade e a diminuição de custo. Para ter a perspectiva de usinagem certa, faz-se necessário optar por ferramentas e condições de corte de acordo com as características do material da peça (VOS, 2014).

2.3 TORNEAMENTO

O torneamento é um processo mecânico de usinagem, que normalmente, origina formas cilíndricas com o auxílio de uma ferramenta de corte que possui uma única aresta cortante e avanço linearmente em um sentido. Para tanto, na maioria dos casos, a ferramenta é estacionária e a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina.

Por ser o processo de usinagem mais largamente empregado hoje em dia o torneamento é uma operação altamente otimizada, exigindo uma cautela na avaliação dos diferentes fatores em aplicações. Exemplos são o material da peça, as condições de usinagem, exigências do produto, custos, entre outros fatores que podem influenciar na ferramenta de corte (SANTOS,2006).

Há diversos tipos básicos de operações de torneamento, que exigem tipos específicos de ferramentas para que a operação seja executada da maneira mais eficiente. Quanto à forma da trajetória, o torneamento pode ser retilíneo ou curvilíneo.

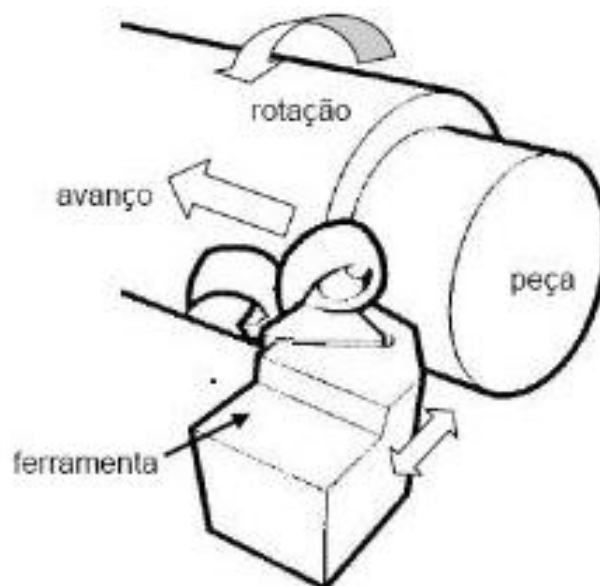
Para Ferraresi (1970) torneamento retilíneo é o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea. O torneamento retilíneo pode ser:

- Torneamento cilíndrico – Processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória paralela ao eixo principal de rotação da máquina.
- Torneamento cônico – Processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, inclinada em relação ao eixo principal de rotação da máquina.
- Torneamento radial - Processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, perpendicular ao eixo principal de rotação da máquina.
- Perfilamento – processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea radial ou axial, visando a obtenção de uma forma definida, determinada pelo perfil da ferramenta.

Torneamento curvilíneo é um processo onde a ferramenta se desloca segundo uma trajetória curvilínea.

Quanto à finalidade, as operações de torneamento (Figura 1) podem ser classificadas ainda em torneamento de desbaste e torneamento de acabamento.

Figura 1: Representação do processo de torneamento.



Fonte: Souza (2010)

2.4 FERRAMENTAS DE CORTE

2.4.1 Geometria da cunha cortante

Conforme Machado et al. (2009) diz, a geometria da ferramenta de corte exerce grande influência no desempenho da usinagem. Por melhor que seja o material da ferramenta, se a sua geometria não for preparada adequadamente, não haverá êxito na operação. A norma brasileira que trata do assunto é a NBR 3002 – Geometria da parte cortante das ferramentas de corte — Termos gerais, sistemas de referência, ângulos da ferramenta e de trabalho e quebra-cavacos.

A seguir serão apresentados alguns conceitos baseados em Machado et al. (2009) e no Ferraresi (1970).

Superfície de saída ($A\gamma$) – é a superfície da cunha de corte sobre a qual o cavaco se move.

Superfície de folga ($A\alpha$) – é a superfície que determina a folga entre a ferramenta e a superfície em usinagem.

Lembrando que existe ainda a superfície de folga secundária ($A'\alpha$).

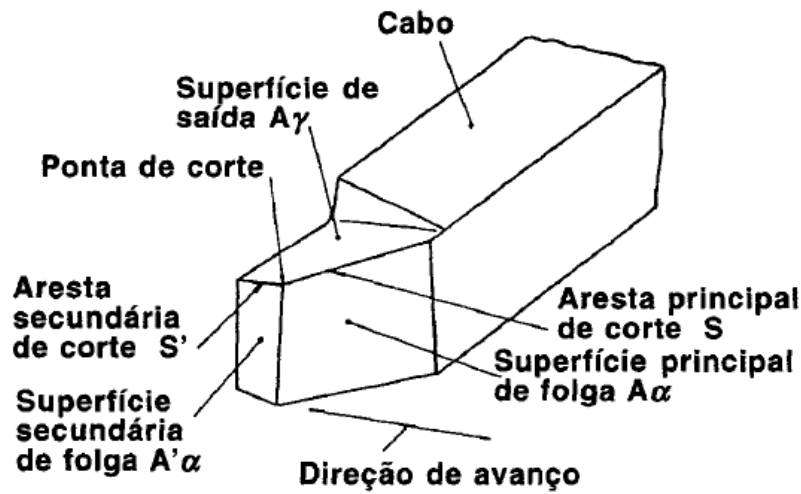
As arestas de corte são definidas pela interseção das superfícies de saída e de folga. Distinguem-se as arestas de corte principal (S) e aresta de corte secundária (S').

Aresta de corte principal (S) – é aquela cuja cunha de corte, observada no plano de trabalho, e para um ângulo de direção de avanço (ϕ) igual a 90° , indica a direção de avanço.

Aresta de corte secundária (S') – é aquela cuja cunha de corte, observada no plano de trabalho, e para um ângulo de direção de avanço (ϕ) igual a 90° , indica a direção contrária à direção de avanço.

Ponta de corte – é a interseção das arestas principal e secundária de corte. Figura 2.

Figura 2: Superfícies e arestas de uma ferramenta de corte.



Fonte: Souza (2004)

Para melhor determinação dos ângulos da ferramenta de corte, se faz necessário a definição e a localização de alguns planos do sistema de referência da ferramenta, Figura 3. A seguir, serão definidos alguns dos principais planos deste sistema de referência, que auxiliarão na definição e localização dos sete principais ângulos de uma ferramenta de barra.

Plano de referência da ferramenta (P_r) – é perpendicular à direção admitida de corte, escolhida de modo que esse plano seja o mais paralelo ou perpendicular possível à superfície ou eixo da ferramenta. Nas ferramentas de barra, o plano de referência é paralelo à superfície de apoio do cabo.

Plano de corte (P_s) – é tangente à aresta principal de corte e perpendicular ao plano de referência da ferramenta.

Plano de corte secundário ($P's$) – é tangente à aresta secundária de corte e perpendicular ao plano de referência da ferramenta.

Plano ortogonal da ferramenta (P_o) – é perpendicular aos planos de referência e de corte da ferramenta, passando pelo ponto de referência. É também conhecido como “plano de medida”.

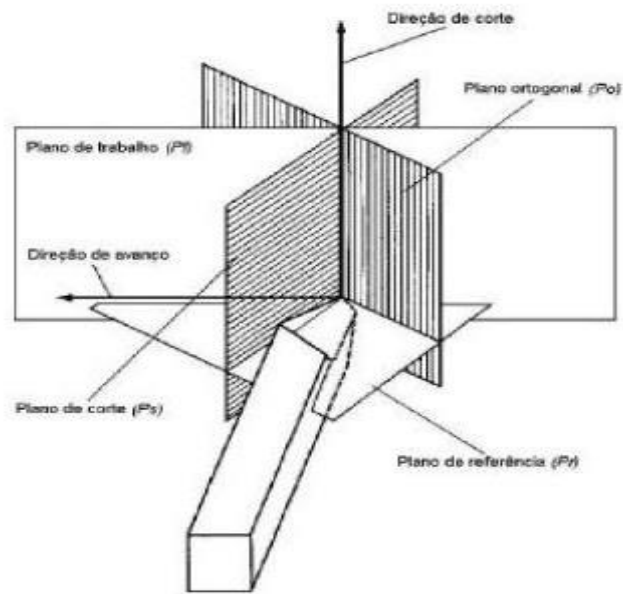
Plano admitido de trabalho (P_f) – é perpendicular ao plano de referência e paralelo à direção admitida de avanço.

Pode-se definir ainda os seguintes planos no sistema de referência da ferramenta:

Plano dorsal da ferramenta (P_p) – perpendicular aos planos de referência da ferramenta e admitido de trabalho.

Plano normal à aresta de corte (P_n) – perpendicular à aresta principal de corte.

Figura 3: Planos do sistema de referência da ferramenta.



Fonte: Wiedenhöft (2010)

Os ângulos da cunha cortante (Figura 4) destinam-se à determinação da posição e da forma da cunha de uma ferramenta. São agrupados de acordo com o plano no qual estão localizados, ou seja, em ângulos medidos no plano de referência, no plano de corte e no plano ortogonal.

No plano ortogonal estão localizados os seguintes ângulos:

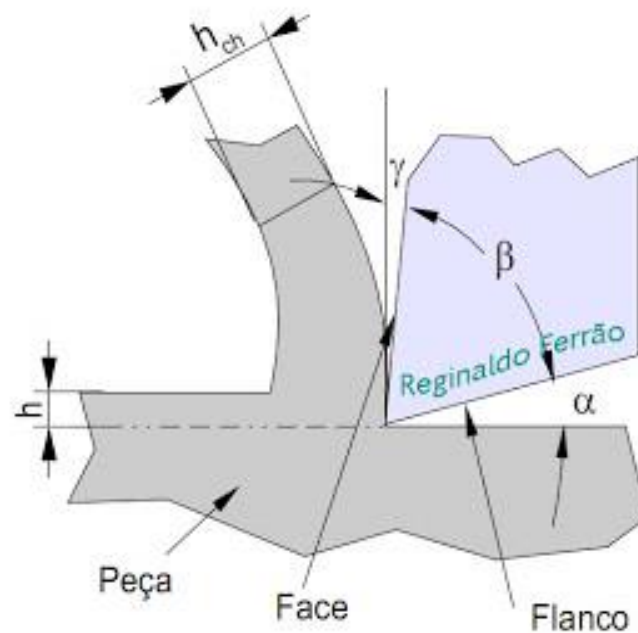
Ângulo de folga da ferramenta (α_o) – está situado entre a superfície de folga principal ($A\alpha$) e o plano de corte da ferramenta (P_s).

Ângulo de cunha da ferramenta (β_o) – é formado pelas superfícies de saída ($A\gamma$) e de folga ($A\alpha$).

Ângulo de saída (γ_o) – localiza-se entre a superfície de saída ($A\gamma$) e o plano de referência da ferramenta (P_r).

Segundo Eduardo (2011) o ângulo de saída, é formado pela superfície de saída da ferramenta e pelo plano de referência medido no plano de medida; é determinado em função do material, uma vez que tem influência sobre a formação do cavaco e sobre a força de corte. Para tornear materiais moles, $\gamma_o = 15$ a 40° ; materiais tenazes, $\gamma_o = 14^\circ$; materiais duros, $\gamma_o = 0$ a 8° . Geralmente nas ferramentas de aço-rápido, γ_o está entre 8 e 18° ; nas ferramentas de metal duro, entre -2 e 8° .

Figura 4: Ângulos da cunha cortante.



Fonte: Usinagem (2011)

2.4.2 Materiais para ferramentas de corte

Existem momentos na evolução dos materiais para ferramentas de corte que indiscutivelmente são importantes para o avanço dessas. Começando pelo modo acidental, provavelmente na Idade Média, que se conseguiu extrair o ferro carbonetado do minério de ferro através do seu aquecimento em contato com carvão, conseqüentemente o uso desse método levou à obtenção do aço. Outra importante descoberta foi a de temperar dos aços pelo seu resfriamento em água após ser aquecido a temperaturas elevadas.

Em 1903 desenvolve-se um protótipo dos modernos aços-rápidos, composto 0,70% C e pelo menos 14% W. Mais tarde, novos elementos de liga, como o vanádio e cobalto, foram introduzidos e então, em 1939, J. P. Gill desenvolveu os aços super-rápidos, com altos teores de carbono e vanádio (FERRARESI, 1970).

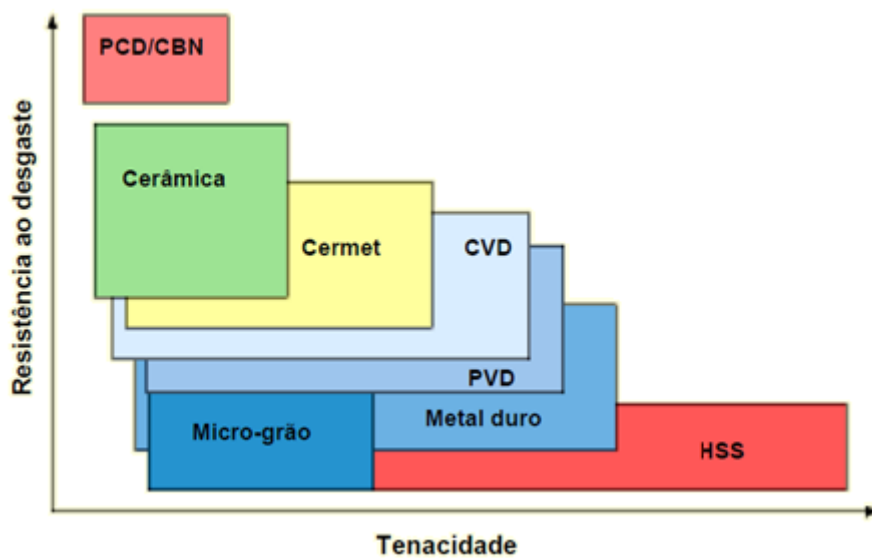
Mais ou menos na mesma época, por engano, colocou-se ferro no forno de sinterização e, percebeu-se que havia formado um novo produto. Duro, resistente ao desgaste e com uma considerável tenacidade, pois o ferro tinha ligado por solda os grãos de carbureto de tungstênio. Então surgiu o metal duro ou como conhecido, carbonetos de tungstênio sintetizados, baseado em pós de carboneto de tungstênio, carboneto de molibdênio ou mistura de ambos, comprimidos e sintetizados, empregando, pois, processos de metalurgia do pó (FERRARESI, 1970).

O metal duro causou uma revolução na indústria de materiais para ferramentas de corte, assim vários outros estudos foram feitos mudando apenas a composição das misturas originais com o intuito de aumentar a velocidade de corte.

Posteriormente outro tipo de material baseado em óxidos (essencialmente óxido de alumínio) cerâmicos para ferramentas de corte foram usados e que obtiveram resultados surpreendentes na usinagem, ultrapassando as velocidades de corte obtidas pelos metais duros, porém esses materiais tem o seu emprego restrito a aplicações muito especiais.

Outros materiais para ferramentas que poderiam ainda serem considerados são o diamante, os nitretos de boro cúbico e os cermet. Estes últimos um misto de metal e material cerâmico que foram descobertos durante a segunda Guerra Mundial quando o uso de tungstênio para recursos bélicos levou a necessidade de procurar outros materiais que estariam à disposição das indústrias para a fabricação de ferramentas de corte. Todos têm emprego limitado a casos muito especiais (FERRARESI, 1970), como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5: Desenvolvimento das ferramentas de corte.



Fonte: Souza (2004)

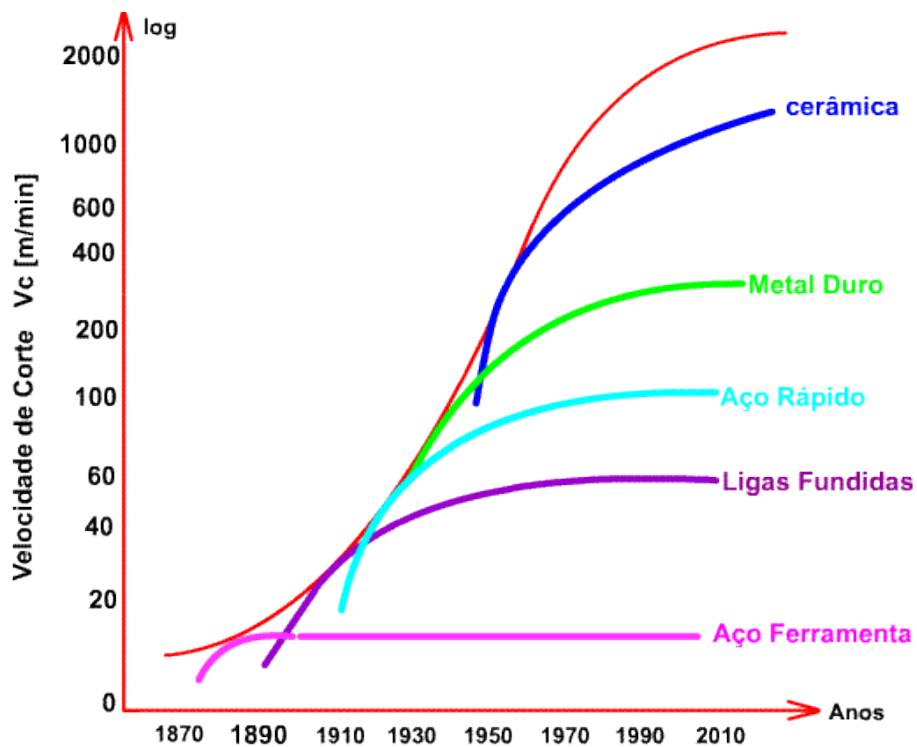
Segundo Amorim (2002) no contexto histórico, duas categorias de materiais se sobressaem, e podem ser considerados os mais importantes para usinagem, ainda que não os mais eficientes ou tecnologicamente desenvolvidos, estes materiais são os aços-rápidos e os metais duros.

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. Assim os processos de usinagem com esse tipo de material são

realizados com velocidade entre 250 m/min a 300 m/min o que corresponde a praticamente 10 vezes mais velocidade do que em processos realizados com aço-rápido. Apesar disso, estes últimos ainda são amplamente utilizados.

Espanhol (2008) diz que os aços-rápidos recebem essa definição pela sua capacidade de reter durezas (1000 HV ou 65-70HRC) mesmo quando utilizado em corte rápido de materiais. Outra importante característica é a capacidade de manter durezas elevadas se submetido a temperaturas de até 600°C. O emprego dos aços-rápidos se dá em brocas, fresas inteiriças, cossinetes, brochas, e até em ferramentas de barra para aplicações em torneamento de peças de diâmetros reduzidos, cuja velocidade de corte (Figura 6) alcançada é menor que à velocidade econômica de corte dos materiais mais resistentes (MACHADO et al., 2011).

Figura 6: Evolução da velocidade de corte dos materiais usados nas ferramentas de corte.

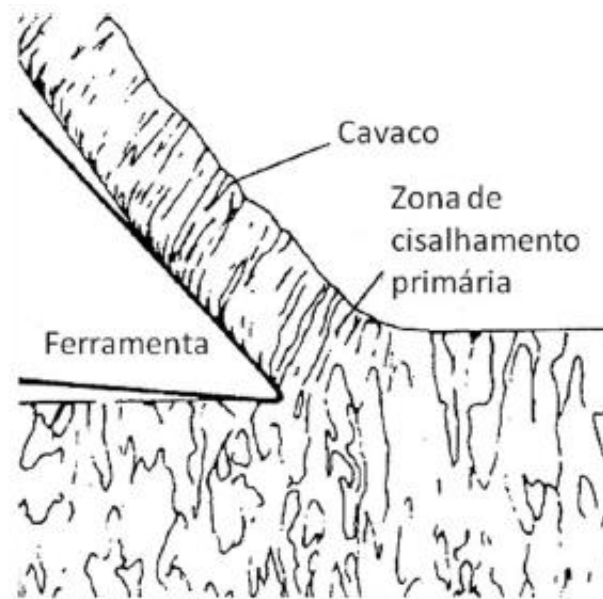


Fonte: CIMM (2012)

2.3.4 Cavaco

Durante o processo de usinagem uma porção do material sofre deformações elásticas e plásticas contra a superfície de saída da ferramenta, escorregando ao longo do plano de cisalhamento primário apresentam ruptura que desliza sobre a superfície de saída, essa porção de material é denominada cavaco, como pode ser visto na Figura 7. Cerca de 10% de toda produção dos metais usados na usinagem são cavacos.

Figura 7: Cavaco sendo formado.



Fonte: Pereira (2011)

Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2013), a formação do cavaco influencia vários fatores tais como: esforço de corte, desgaste da ferramenta, calor gerado durante a usinagem como também o acesso do fluido de corte na região de usinagem. Todos estes fatores refletem em aspectos econômicos, na qualidade do processo e na segurança operacional, o que faz do item um importante parâmetro de avaliação.

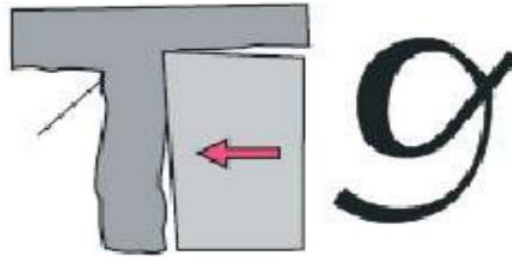
Machado et al. (2011) afirma que a formação do cavaco é dada em altíssima velocidade de deformação, seguida de ruptura do material. Na furação, a forma dos cavacos tem grande influência no processo, devido ao espaço reduzido e ao grande volume de material a ser retirado. A forma e o tipo dos cavacos são fatores que mais influencia a produtividade de uma indústria que envolve processos de usinagem.

2.3.4.1 Tipos de cavacos

Quanto a morfologia os cavacos podem ser classificados em:

- Cavaco contínuo é o tipo indesejável, pois forma-se a partir da deformação elástica e plástica da peça, mas não há uma ruptura deslizando suavemente sobre a superfície de saída, podem causar riscos ao operador e danificar a superfície usinada, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8: Cavaco contínuo.



Fonte: Usinagem (2011)

- Cavaco cisalhado é quando a pressão e temperatura de operação faz com que o cavaco que foi cisalhado da peça se una na próxima lamela de cavaco que está sendo formada através de solda, formando lamelas justaposta, como pode ser visto na Figura 9.

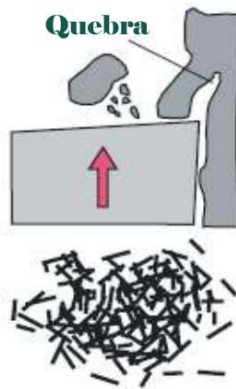
Figura 9: Cavaco cisalhado.



Fonte: Usinagem (2011)

- Cavaco segmentado são para Cavalcante (2010) cavacos formados por pequenos fragmentos arrancados do material usinado, existindo uma ruptura do material, tornando-os independentes e distintos, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: Cavaco segmentado.



Fonte: Usinagem (2011)

2.3.4.2 Formas do cavaco

Além dos tipos de cavacos descritos anteriormente, estes podem ser classificados quanto sua forma da seguinte maneira: cavaco em fita, helicoidal, em espiral e em lasca (FERRARESI, 1970; MACHADO et al., 2011). Maiores detalhes a respeito do assunto podem ser encontrados na norma ISO 3685, cuja classificação comentada, apresenta-se conforme a Figura 11.

Figura 11: Classificação segundo a forma de acordo com a norma ISO 3685.

1 - Cavaco em fita	2 - Cavaco tubular	3 - Cavaco espiral	4 - Cavaco hel. tipo arruela	5 - Cavaco hel. cônico	6 - Cavaco em arco	7 - Cavaco fragmentado	8 - Cavaco tipo agulha
1-1- Longo	2-1- Longo	3-1- Plano	4-1- Longo	5-1- Longo	6-1- Conect.		
1-2- Curto	2-2- Curto	3-2- Cônico	4-2- Curto	5-2- Curto	6-2- Solto		
1-3 - Emaranhado	2-3 - Emaranhado		4-3 - Emaranhado	5-3 - Emaranhado			

Fonte: Vanat (2014)

A seguir serão apresentados alguns conceitos baseados em Ferraresi (1970) e no Cavalcante (2010).

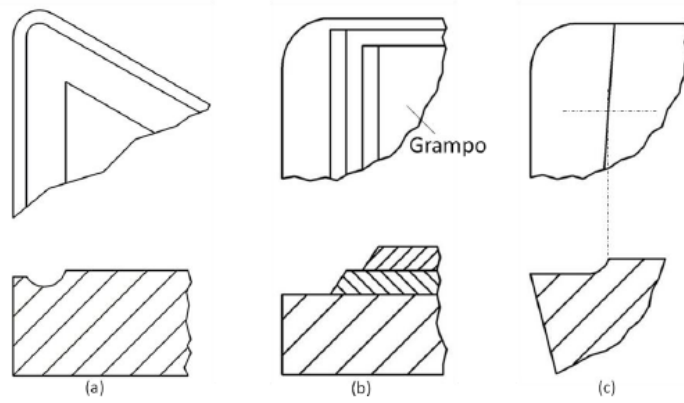
- Cavaco em fita – É a forma de cavaco que ocupa muito espaço sendo de difícil transporte, além de poder provocar acidentes. Esta forma de cavaco não é desejada, por prejudicar a qualidade superficial da peça.
- Cavaco helicoidal – É uma das formas mais convenientes para a usinagem, principalmente se apresentar a forma curta. Esta forma é considerada boa.
- Cavaco em espiral – É considerada a melhor forma, devido possibilidade de transporte facilitado além de ter pouca influência na integridade superficial da peça produzida.
- Cavaco em lasca – Este tipo é recomendado apenas quando se dispõe de pouco espaço para o escoamento ou quando o cavaco é removido através do fluido refrigerante, sendo aplicado na furação profunda.

2.4.4 Superfície quebra-cavaco

Conforme Machado et al. (2011) o quebra-cavaco consiste em uma modificação geométrica da superfície de saída do inserto de corte para controlar ou quebrar o cavaco podendo ser tanto uma cratera integral ou um anteparo postíço ou integral, ver Figura 12. Sua função é basicamente providenciar uma barreira adjacente a aresta de corte que irá guiar o cavaco de forma que esse encurve-se na direção contrária a peça já usinada e do operante da máquina. Dessa forma o momento torçor resultante provocar a curvatura vertical do cavaco levando-o a quebra (PEREIRA, 2011).

Para Pereira (2011) o controle efetivo de cavacos contínuos longos é o fator mais importante para determinar o desempenho do sistema produtivo. O método mais eficiente e amplamente aplicado para quebrar cavacos é a aplicação de ferramentas de corte com quebra-cavacos moldados de forma integral em sua superfície de saída. Esses facilitam a vida do operador e beneficia todo o conjunto produtivo, tornando prática e rápida a substituição da ferramenta no caso de quebra ou desgaste da aresta de corte.

Figura 12: Tipos de quebra-cavaco: (a) tipo cratera; (b) tipo anteparo postíço; e (c) tipo anteparo integral.



Fonte: Pereira (2011)

3. METODOLOGIA DA PESQUISA E MATERIAIS

Na parte da preparação dos corpos de prova usaram-se ferramentas novas de aço-rápido em barra para torneamento. Estas ferramentas foram afiadas adequadamente para a execução da usinagem. Durante a afiação de cada ferramenta de aço-rápido, variaram-se alguns parâmetros geométricos (ângulo de saída, presença ou não de relevo quebra-cavacos na superfície de saída), com o objetivo de se verificar a resposta em relação à forma do cavaco gerado.

Utilizou-se para os ensaios realizados um torno convencional, com a execução de desbaste longitudinal em barras de aço, respeitando percurso de avanço previamente estabelecido, para cada condição de afiação das ferramentas. Após realizada a usinagem com todas as ferramentas, analisou-se o tipo e forma de cavaco gerado.

3.1 TORNO MECÂNICO

Usou-se o torno mecânico universal (Figura 13) do fabricante Nardini, modelo Nodus 220 Gold do laboratório de usinagem da UFERSA campus Mossoró.

Figura 13: Torno mecânico usado para a usinagem.

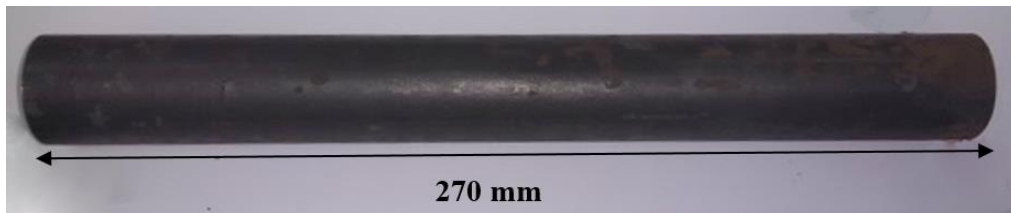


Fonte: Autor

3.2 CORPO DE PROVA

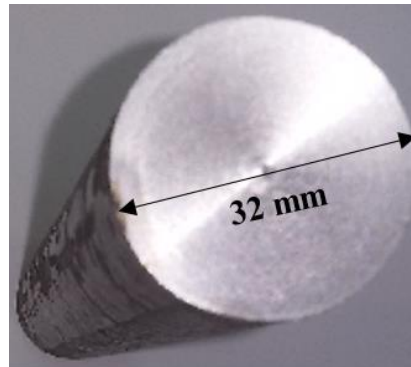
Seis barras de aço 1045 com comprimento de 270 mm (Figura 14) e 32 mm de diâmetro (Figura 15) foram utilizadas.

Figura 14: Comprimento da barra usinada.



Fonte: Autor

Figura 15: Diâmetro da barra usinada.



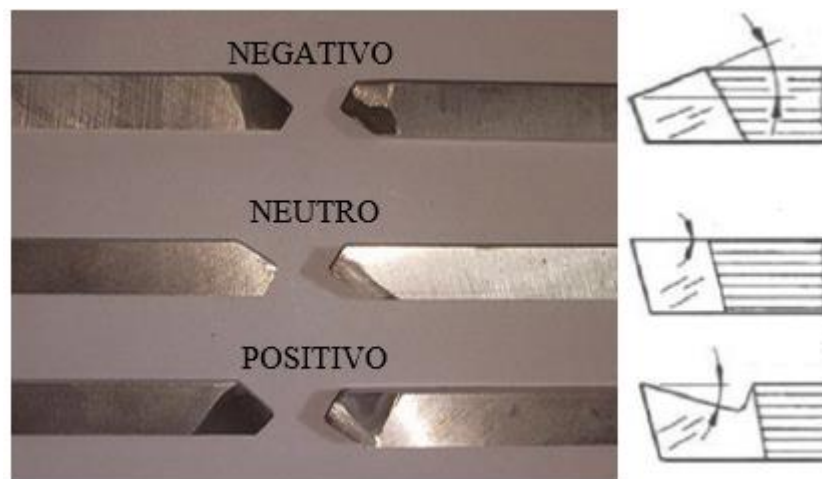
Fonte: Autor

3.3 FERRAMENTA DE CORTE

Para as seis barras usinadas utilizou-se ferramenta de aço-rápido com seção de $\frac{1}{4}$ ", comprimento de 4" e compostos 7 % tungstênio, molibdênio e vanádio, com mais de 0,60% carbono.

O que diferencia cada ferramenta é a geometria, pois usou-se ângulos de saída positivo, neutro e negativo, todas com e sem quebra-cavaco, Figura 16.

Figura 16: Ferramentas de corte afiadas: a esquerda sem quebra-cavaco e a direita com quebra-cavaco.



Fonte: Adaptado de Jardim et al. (2010)

3.4 PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DOS TESTES

Afiaram-se as ferramentas de corte com um esmeril com rebolo de grãos de carbetto de silício. Para este trabalho foi usinado o aço ABNT 1045, que possui dureza de aproximadamente 188 HV, segundo Matweb (2015) e microestrutura de um aço hipoeutetóide, como confirmado por Cunha Lima (2011). A barra de aço 1045 foi fixa no torno de forma que 200 mm ficassem para fora das castanhas usinando-se 150 mm da mesma.

Faceou-se a peça com outra ferramenta de aço-rápido, para que não houvesse o desgaste das ferramentas que estavam em estudo. Fez-se um furo de centro com uma broca de centro de aço-rápido de 5,0 mm. Após a peça estar fixada nas castanhas e na contra ponta ajustou-se cada ferramenta de forma que sua ponta de corte se encontrasse a uma distância de 2,5 cm do porta ferramentas e esse foi preso no castelo para que se iniciasse o processo.

Por estar trabalhando com aço-rápido a velocidade de corte que foi usada foi de 25 m/min, assim a rotação encontrada através da Equação 1 foi de 248,68 rpm. Por essa rotação não ser encontrada no torno convencional usou-se então a rotação menor mais próxima, que foi $n = 236$ rpm. Utilizou-se uma profundidade de usinagem de 1 mm no diâmetro da peça, para ficar com 0,5 mm de profundidade de usinagem, repetindo o processo 3 vezes. Empregou-se um avanço automático de 0,109 mm/rot. Em todos os processos gotejou-se fluido com mínimo de 60% de óleo mineral. Após todo o processo de usinagem os cavacos ainda foram pesados em uma balança analítica SHIMADZU, modelo: AUY220, Máx = 220g, Mín = 10mg, e = 1mg, d = 0,1mg.

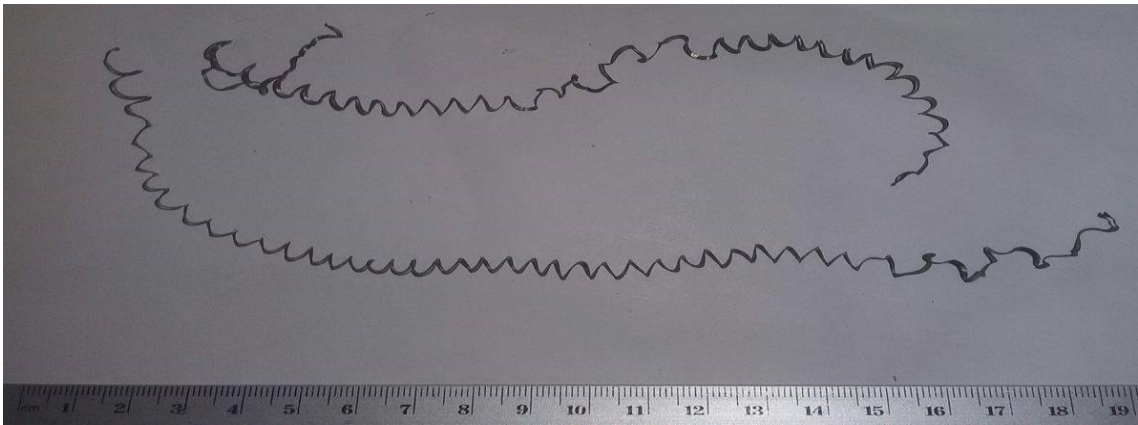
$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

4. RESULTADOS

Fazendo-se a análise dos cavacos obtidos e comparando-os com a literatura para a condição em que a ferramenta de corte possui ângulo de saída positivo e sem quebra-cavaco (Figura 17), os cavacos se apresentam em forma helicoidal arruela longo e do tipo contínuo. Durante o processo se observou um excesso de aquecimento na ferramenta, dessa forma houve um desgaste da aresta de corte e um acabamento superficial de baixa qualidade na peça usinada. Assim quando comparado a usinagem executada com a ferramenta de mesmo ângulo, porém com quebra-cavaco (Figura 18), o cavaco apresentou-se na forma arco conectado, do tipo

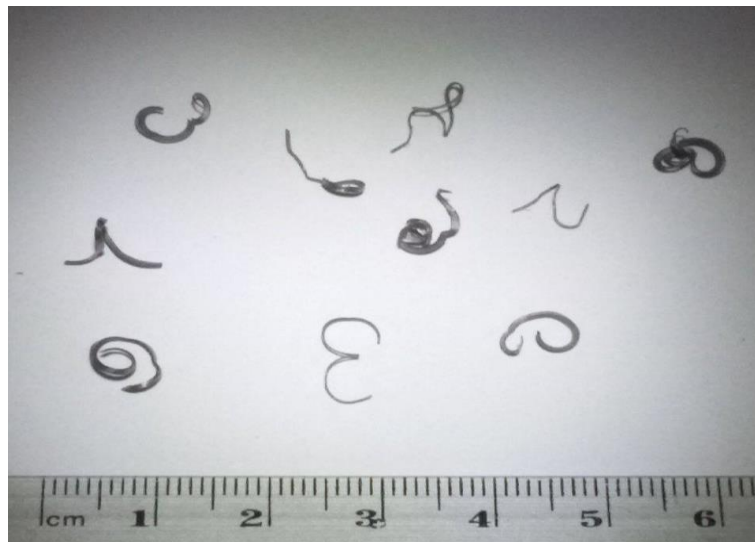
contínuo com um menor aquecimento e, conseqüentemente, a ferramenta teve um menor desgaste e a peça ficou com um melhor acabamento superficial.

Figura 17: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo positivo e sem quebra-cavaco.



Fonte: Autor

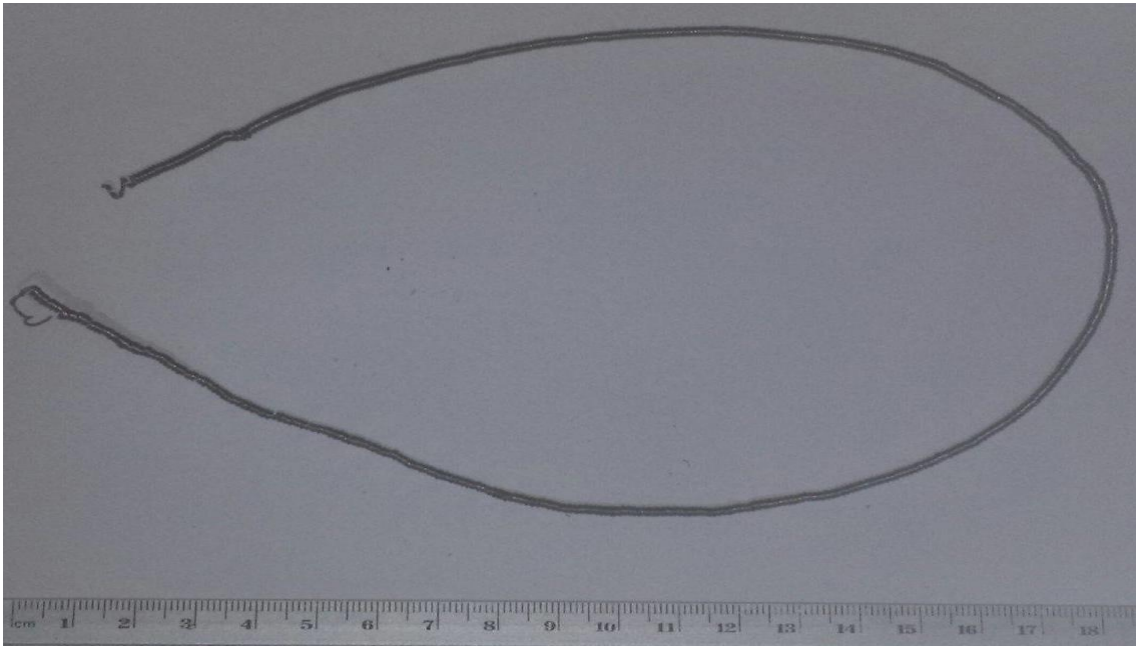
Figura 18: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo positivo e com quebra-cavaco.



Fonte: Autor

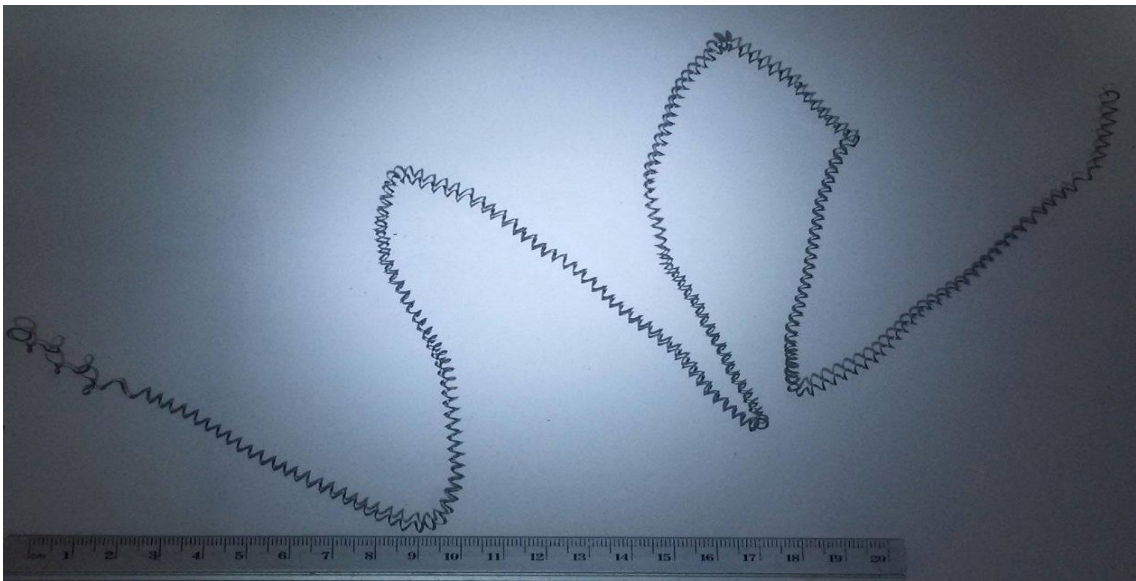
Para as ferramentas de ângulo de saída neutro, ou seja, igual a zero, quando o quebra-cavaco é ausente (Figura 19) o cavaco possui forma tubular longo, do tipo contínuo. Este se apresentou maior do que no caso em que a ferramenta possui quebra-cavaco (Figura 20), pois nessa situação o cavaco possui forma helicoidal arruela longo e tipo contínuo, entretanto é menor.

Figura 19: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo neutro e sem quebra-cavaco.



Fonte: Autor

Figura 20: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo neutro e com quebra-cavaco.



Fonte: Autor

Na última condição onde ângulo da ferramenta é negativo, quando se encontra sem quebra-cavaco (Figura 21), o cavaco produzido é em forma de arco solto e do tipo segmentado. Para as ferramentas com quebra-cavaco (Figura 22) o cavaco tem forma helicoidal arruela curto e tipo contínuo, porém se tornam mais longos, pois a retirada de material da ferramenta para que se forme o quebra-cavaco faz com que a área de contato da ferramenta com a peça seja menor. Esse fato faz com que o cavaco se torne quebradiço na ausência de quebra-cavaco, pois

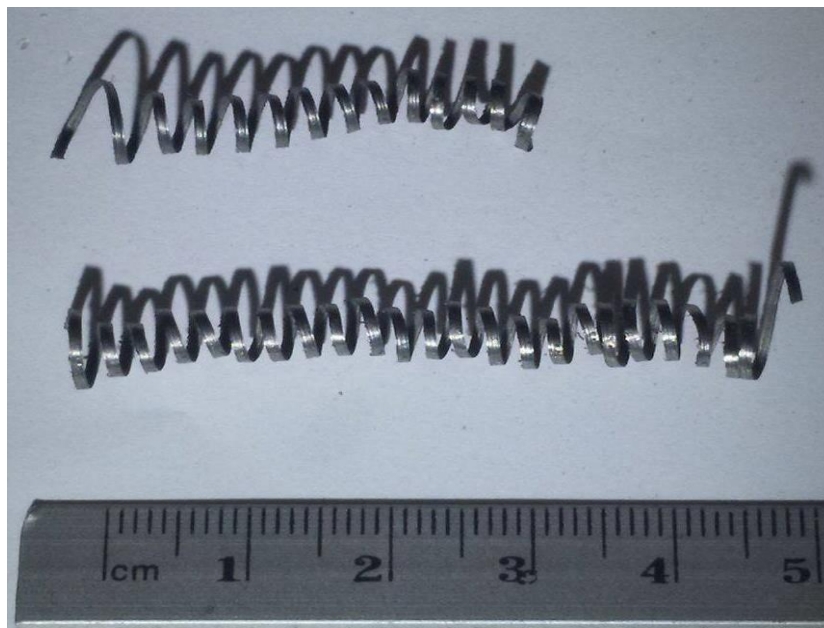
o maior contato eleva a temperatura da ferramenta causando mudanças nas propriedades do cavaco.

Figura 21: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo negativo e sem quebra-cavaco.



Fonte: Autor

Figura 22: Cavaco gerado pela ferramenta de corte de ângulo negativo e com quebra-cavaco.



Fonte: Autor

Com o auxílio da balança de precisão todos os cavacos foram pesados com o intuito de se obter a proporção de aumento ou diminuição dos cavacos quando relacionados os cavacos obtidos com as ferramentas sem quebra-cavaco e as ferramentas com quebra-cavaco. Dessa forma pode-se observar que a usinagem utilizando a ferramenta na condição de ângulo positivo, os cavacos gerados quando não havia superfície quebra-cavaco são cerca de 94,37% do tamanho dos cavacos formados com a ferramenta com mesmo ângulo de saída, porém sem a superfície quebra-cavaco. Na situação em que o ângulo de saída é neutro os cavacos gerados

pela ferramenta sem a superfície quebra-cavaco apresentaram cerca de 57,45% do tamanho dos cavacos formados com a ferramenta com mesmo ângulo de saída, porém com a superfície quebra-cavaco. E na última condição em que a superfície de saída da ferramenta de corte é negativa os cavacos gerados sem a superfície quebra-cavaco apresentaram cerca de 270,01% do tamanho dos cavacos formados com a ferramenta com mesmo ângulo de saída, porém com a superfície quebra-cavaco.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que quando que as ferramentas de ângulo de saída positivo tinham os cavacos com melhores tipos e formas para as duas situações, com e sem quebra-cavaco, comparado com as outras ferramentas de ângulo de saída neutro e negativo. E o quebra-cavaco se mostrou eficaz para essa situação, diminuindo o tamanho do cavaco.

Para o ângulo neutro a utilização do quebra-cavaco provocou melhoria também, pois o cavaco passou a ser helicoidal e que é a forma de cavacos mais conveniente, pois há uma elevada remoção do material e o mesmo deixa rapidamente o espaço entre a ferramenta e a peça.

Nas ferramentas de ângulo negativo houve um aumento do cavaco quando se usou a ferramenta que continha o quebra-cavaco. Esse aumento é explicado pelo fato da cavidade do quebra-cavaco ter diminuído o contato entre peça e ferramenta, o que deixava o processo mais frio comparado com a usinagem feita com a ferramenta sem quebra-cavaco, dessa forma o cavaco não mudava suas propriedades e não quebrava em forma de lascas cisalhadas, mas na forma helicoidal arruela curto, mas esse aumento do cavaco não é problema, pois os cavacos em forma de lascas ou pedaços são preferidos apenas quando não houver espaço, ou quando o cavaco for removido com o auxílio de um fluido refrigerante sob pressão.

6. TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros pode ser feita uma análise da qualidade da superfície usinada (em valores de rugosidade), bem como o desgaste na aresta de corte de cada ferramenta.

7. REFERÊNCIAS

AMORIM, Heraldo José de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro.** 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CAVALCANTE, Fabrício José Nóbrega. **Análise de utilização de broca escalonada de canal reto no processo de furação em uma liga de alumínio utilizada na indústria automotiva.** 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CHIAVERINI, V. **Materiais para Ferramentas.** 2. ed. São Paulo: M. ABM, 1986. 388 p.

CIMM. **Evolução das velocidades de corte.** 2012. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4826-evolucao-das-velocidades-de-corte#.VnJWsuMzbiU>. Acesso em: 17 dez. 2015.

COPPINI, Nivaldo Lemos; BAPTISTA, Elesandro Antonio. Alternativas de otimização dos parâmetros de corte para cenários de fabricação em usinagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ENEGEP, 8., 1998, Niterói – Rj. **ABEPRO.** Piracicaba: Unimep, 1998. p. 1 - 8.

COSTA, Éder Silva; SANTOS, Denis Júnio. **PROCESSOS DE USINAGEM.** Divinópolis: Cefet-mg, 2006. 85 p.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 270 p.

EDUARDO, Carlos. *“Tornearia.”* Apostila, Caruaru: Escola Técnica Senai, 2011. 31 p.

ESPANHOL, Victor. **Análise dos esforços de corte e acabamento superficial no torneamento de aço com ferramenta de superfície lisa e com quebra-cavaco.** 2008. 96 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Carlos: Edgard Blücher, 1970. 751 p.

HUI, Huang Huai. **Simulação da formação de cavacos usando FEM (FINITE ELEMENT METHOD) - Temperatura e força**. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

JARDIM, Joaquim F. N. et al. **Afição de Ferramentas**. Piracicaba: Escola de Engenharia de Piracicaba, 2010. 15 p.

KALPAKJIAN, Serope. **Manufacturing process for engineering materials**. Addison – Wesley Publishing Company, 1985.

LIMA, Ramsés Otto Cunha. **Formação de trincas térmicas em ferramentas de metal duro**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Natal, 2011.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 397 p.

OLIVEIRA, Vagner Gonçalves de. **A influência do cavaco no processo de usinagem com ferramentas de corte em torno cnc**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAamgAG/a-influencia-cavaco-no-processo-usinagem-com-ferramentas-corte-torno-cnc>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

PEREIRA, Robson Bruno Dutra. **Influência do quebra-cavaco na dinâmica do torneamento do aço ABNT 1045**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João Del-rei, São João del Rei, 2011.

SANTOS, Denis Júnio. **Processos de usinagem**. Divinópolis: Centro Federal de Educação tecnológica de Minas Gerais, 2006. 85 p.

SOUZA, Andre João de. **Aplicação de multisensores no prognóstico da vida da ferramenta de corte em torneamento.**2014. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SOUZA, Daniel Barbosa de. **Tutoria de Projeto Ferramentas em Ferramentas de Torno, Fresa e Bits.** Rio de Janeiro: Universidade Santa Úrsula, 2010.

USINAGEM. **Cavacos.** 2011. Disponível em:
<<http://superusinagem.blogspot.com.br/2011/03/cavacos.html>>. Acesso em: 28 abr. 2011.

VANAT, Karen Juliana; BRAGHINI JUNIOR, Aldo. **O uso de ferramentas de metal duro no torneamento do nylon.** Ponta Grossa: Technol. Metal. Mater. Miner, 2014.

VOS, Patrick de. **Como lidar com os materiais de difícil usinagem.** São Paulo: Usinagem Brasil, 2014. 1 p.

WIEDENHÖFT, Aldoni Gabriel. **Processos de fabricação por usinagem: Movimentos em usinagem e terminologia de ferramentas.** Alegrete: Universidade Federal do Pampa, 2010.