



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



NATHAN SOUZA MACEDO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE USINAGEM NA
TEMPERATURA DE ROSQUEAMENTO INTERNO POR MACHO DE
CORTE**

**OURO PRETO - MG
2021**

NATHAN SOUZA MACEDO

nathanuol@hotmail.com

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE USINAGEM NA
TEMPERATURA DE ROSQUEAMENTO INTERNO POR MACHO DE
CORTE**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Igor César Pereira

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M141a Macedo, Nathan Souza .
Análise da influência de parâmetros de usinagem na temperatura de rosqueamento interno por macho de corte. [manuscrito] / Nathan Souza Macedo. - 2021.
50 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Igor César Pereira.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Usinagem - Rosqueamento interno. 2. Máquinas-ferramenta - Termopar. 3. Usinagem em alta velocidade - Corte. 4. revestimentos. 5. Usinagem - Metais - Corte. I. Pereira, Igor César. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nathan Souza Macedo

Análise da influência de parâmetros de usinagem na temperatura de rosqueamento interno por macho de corte

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharelado

Aprovada em 10 de dezembro de 2021

Membros da banca

DSc - Igor Cézar Pereira - Orientador Universidade Federal de Ouro Preto
DSc - Luís Antônio Bortolaia - Universidade Federal de Ouro Preto
DSc - Diogo Antônio de Sousa - Universidade Federal de Ouro Preto

Igor Cézar Pereira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/12/2021



Documento assinado eletronicamente por **Igor Cezar Pereira, COORDENADOR(A) DE CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**, em 13/12/2021, às 20:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0257748** e o código CRC **072CA30F**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013147/2021-90

SEI nº 0257748

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Aos meus pais Múcio e Karla dedico esta conquista, sem vocês nenhum objetivo seria cumprido, nenhuma meta alcançada, nenhum obstáculo superado. Esse diploma pertence a nós três.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais Múcio Vasconcelos Macedo e Karla de Souza Andrade Macedo e minha irmã Nicolly Souza Macedo, pelo apoio e amor incondicional durante todas as etapas de minha vida. Sou eternamente grato por ter tido a oportunidade de dividir um lar com vocês. Obrigado pelos ensinamentos e princípios que hoje levo estampado no peito por onde ando. Sem vocês nada disso seria possível.

A minha namorada Paula Leão de Souza Dominguez, pelo apoio emocional, dedicação e companheirismo nos momentos em que mais necessitei.

Ao meu professor orientador e amigo Igor César Pereira, pela oportunidade, confiança e ensinamentos durante todos os anos e trabalhos desenvolvidos juntos na graduação.

A minha avó Ruth Maria de Souza, pelos ensinamentos e afeto.

Ao meu avô Vicente Macedo pelos ensinamentos.

Aos meus Tios, primos e demais familiares que sempre participaram ativamente no meu desenvolvimento pessoal.

Aos amigos de Patos de Minas, pelas inúmeras risadas que tornam a vida mais leve.

Aos amigos da Graduação em Ouro Preto pelo apoio e companheirismo.

Aos professores, técnicos e profissionais da Universidade Federal de Ouro Preto que me tornaram Engenheiro.

A Universidade Federal de Ouro Preto e a Escola de Minas pelas ferramentas e suporte ofertados ao curso de Engenharia Mecânica.

Ao Núcleo de Pesquisa e Tecnologia em Usinagem da UFOP e seus técnicos Reinaldo e Jairo.

Ao projeto de Iniciação Científica da UFOP, pela oportunidade de crescimento profissional.

A todos que participaram da minha vida pessoal e profissional aqui não citados, meus sinceros agradecimentos.

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes.”

Sir Isaac Newton

RESUMO

Os machos de corte desempenham um papel fundamental no processo de rosqueamento interno, sendo um dos processos mais expressivos e utilizados atualmente para esse fim, mas que ainda necessita de um tratamento especial no que tange à pesquisa. As diversas variáveis que influenciam a vida útil das ferramentas, a qualidade do produto final e as características de usinagem desse processo de fabricação elevam sua complexidade. Visando isso, este trabalho tem por objetivo, estudar e entender alguns dos fenômenos e condições que influenciam a temperatura de corte no processo de rosqueamento interno por macho de corte. Tendo a temperatura como indicador principal, foram variadas as condições de usinagem, neste caso, a velocidade de corte, o fluido de corte e o revestimento da ferramenta. A medição de temperatura foi feita através do método termopar ferramenta-peça e os machos utilizados foram HSS-E M10X1.5 modificados, sem revestimento, com revestimento de Nitreto de Titânio (TiN) e revestimento de Carbonitreto de Titânio (TiCN). O material da peça foi o ferro fundido cinzento GG30. As condições de fluido de corte foram uma emulsão com 7% de óleo de corte, óleo de corte integral e a seco, enquanto as velocidades de corte foram variadas em 10, 30 e 50m/min. Os resultados mostram que, no ferro fundido, a emulsão obteve temperatura ligeiramente menor do que o óleo integral, enquanto a usinagem a seco apresentou valores consideravelmente maiores. A velocidade de corte mostrou ter influência direta na temperatura. O revestimento de TiN apresentou as menores temperaturas entre os revestimentos, em contraponto a ferramenta não revestida, que apresentou os maiores valores de temperatura.

Palavras-chave: Rosqueamento interno, macho de corte, temperatura, termopar ferramenta-peça, velocidade de corte, fluido de corte, revestimento.

ABSTRACT

Cutting taps play a fundamental role in the internal threading process, being one of the most expressive processes currently used for this purpose, but which still needs special treatment in terms of research. The amount of variables involved in tool life, the quality of the final product and the machining characteristics of this manufacturing process increase its complexity. By this purpose, this paper aims to study and understand some of the phenomena and conditions that influences the cutting temperature in the internal threading process by cutting tap. With the temperature as the main indicator, the machining conditions were varied, in this case, the cutting speed, the cutting fluid and the tool coating. The temperature measurement was performed using the tool-work thermocouple method and the taps used were modified HSS-E M10X1.5, uncoated, with Titanium Nitride (TiN) coating and Titanium Carbonitride (TiCN) coating. The material was a GG30 gray cast iron. The cutting fluid conditions were an emulsion with 7% cutting oil, full cutting oil and dry cutting, while the cutting speeds were varied at 10, 30 and 50m/min. The results show that, in cast iron, the emulsion obtained a slightly lower temperature copared to integral oil, while dry machining presented considerably higher values. Cutting speed was shown to have a direct influence on cutting temperature. The TiN coating had the lowest temperatures among the coatings, in contrast to the uncoated tool, which had the highest temperature values.

Key-words: *Internal threading, cutting tap, temperature, tool-work thermocouple, cutting speed, cutting fluid, coating.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de rosqueamento	7
Figura 2 - Perfil rosca métrica	8
Figura 3 - Macho de Corte.....	9
Figura 4 - Tipos de Geometrica de Canal.....	11
Figura 5 - Chanfro Macho de Corte	13
Figura 6 - Geometria do Macho de Corte.....	14
Figura 7–Geometria da ponta helicoidal do macho.....	14
Figura 8 - Termopar Inserido na ferramenta	17
Figura 9 - Princípio dos Termopares	19
Figura 10– Montagem termopar ferramenta-peça em torno.....	19
Figura 11–Isolamento e montagem do termopar	20
Figura 12–Lei de Termopares.....	21
Figura 13–Curva calibração.....	22
Figura 14–Montagem sistema de aquisição de temperatura.....	23
Figura 15–Curva Calibração.....	23
Figura 16–Regiões de geração de calor	25
Figura 17- Temperatura em variadas velocidades de corte para diferentes materiais.....	27
Figura 18–Aquisição de temperaturas em macho de corte com 3 filetes	28
Figura 19 - Fluxograma de Metodologia.....	31
Figura 20 -Corpos de Prova de Ferro Fundido	32
Figura 21 - Macho de Corte Antes da Alteração	33
Figura 22 - Macho de Corte Depois da Alteração	33
Figura 23 - Pino de Contato.....	35
Figura 24 - Sistema de Aquisição de Temperatura	35

Figura 25 - Sistema de Aquisição de Temperatura	35
Figura 26 - Esquema de Aquisição de Temperatura.....	36
Figura 27 -Esquema de montagem da Calibração	37
Figura 28 - Unidade de Aquisição	38
Figura 29 – Curva Calibração do Ferro Fundido.....	40
Figura 30 – Temperatura de Usinagem Variando a Velocidade de Corte.....	41
Figura 31 – Temperatura de Usinagem Variando o Fluido de Corte	43
Figura 32 – Temperatura de Usinagem Variando Revestimento da Ferramenta	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Configuração dos Ensaios	34
Tabela 2 - Variáveis e Indicadores	38
Tabela 3 - Média de Temperaturas Variando a Velocidade de Corte	42
Tabela 4 - Média de Temperaturas Variando Fluido de Corte	43
Tabela 5 - Média de Temperaturas Variando Revestimento da Ferramenta	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Geral	4
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	Rosqueamento	6
2.1.1	Macho de corte	8
2.2	Métodos de medição de temperatura	15
2.2.1	Método termopar inserido	16
2.2.2	Método Termopar Ferramenta-Peça.....	18
2.3	Temperatura no Rosqueamento	24
2.4	Considerações finais do capítulo	29
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	Tipo de Pesquisa.....	30
3.2	Materiais e Métodos	31
3.2.1	Corpos de Prova	31
3.2.2	Equipamentos e Ferramentas.....	32
3.2.3	Descrição dos Ensaios	33
3.2.4	Aquisição da Temperatura.....	34
3.2.5	Calibração Termopar Ferramenta-Peça.....	36
3.3	Variáveis e Indicadores	37
3.4	Instrumento de Coleta de Dados.....	38
3.5	Tabulação de dados	39
3.6	Considerações Finais do Capítulo	39
4	RESULTADOS	40
4.1	Calibrações	40
4.1.1	Ferro fundido	40
4.2	Efeito da velocidade de corte na temperatura.....	41

4.3	Efeito do fluido de corte na temperatura	43
4.4	Efeito do revestimento da ferramenta na temperatura.....	45
5	CONCLUSÃO.....	47
5.1	Conclusões.....	47
5.2	Trabalhos futuros.....	47
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	49

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

A atividade manufatureira conhecida hoje, nada mais sendo que o processo de transformação da matéria-prima bruta ao produto acabado, data dos primórdios das civilizações clássicas humanas assim que o ser humano obteve a necessidade de elaborar e construir estruturas e equipamentos mais complexos, levando à utilização de ferramentas mais resistentes e tecnológicas. O grande fomento dessa atividade a partir da Revolução Industrial acabou por revolucionar a maneira com que o homem constrói, conforma e monta seus materiais.

Conforme explica Kalpakjian (1995), como um item manufaturado normalmente começa com matérias-primas, que são então submetidas a uma sequência de processos para criar produtos individuais, ele tem um certo valor agregado. Por exemplo, a argila tem algum valor como extraída da mineração, mas quando é transformada em um produto como painéis, cerâmica, isolante elétrico ou ferramenta de corte, valor é agregado à argila.

Já no século XX surgiram produtos feitos de materiais mais duráveis e, conseqüentemente, mais difíceis de serem usinados, com isso, o advento das ferramentas de aço rápido, e mais tarde de carboneto de tungstênio, permitiu a usinagem de aços e de outros materiais metálicos com produtividade crescente, também favorecida pelos avanços tecnológicos no campo das máquinas-ferramentas, como o desenvolvimento de máquinas automáticas e, mais tarde, de máquinas comandadas numericamente (CN) (MACHADO *et al.*, 2009).

De acordo com Trent e Wright (2000), para resumir a importância econômica, o custo da usinagem chega a mais de 15% do valor de todos os produtos manufaturados em todos os países industrializados. A *Metcut Research Associates* em Cincinnati, Ohio, estima que, nos EUA, a mão de obra anual e os custos indiretos de usinagem são de cerca de US\$ 300 bilhões de dólares por ano (isso exclui materiais de trabalho e ferramentas). O consumo de novas máquinas-ferramenta nos EUA (tornos CNC, fresadoras, etc.) é de cerca de US\$ 7,5 bilhões de dólares por ano. Os materiais consumíveis da ferramenta de corte têm vendas nos EUA de cerca de US\$ 2 a 2,5 bilhões de dólares por ano.

Segundo Machado, *et al.* (2009), a abertura de roscas é uma operação bastante diversificada e que pode ser realizada com o uso de dispositivos manuais ou por meio de máquinas-ferramentas (tornos, fresadoras, rosqueadeiras, etc.), dependendo principalmente da

taxa de produção esperada, mas também das dimensões da rosca. Roscas externas podem ser produzidas por cossinetes (conhecidos como tarraças) ou por ferramentas de perfil único ou múltiplo. Já roscas internas podem ser produzidas utilizando-se jogos de machos ou ferramentas de perfil único ou múltiplo.

A maior parte da potência consumida na usinagem dos metais é convertida em calor próximo à aresta cortante da ferramenta e muitos problemas técnicos e econômicos são causados direta ou indiretamente por conta desse aquecimento (TRENT, 1988).

Parâmetros de usinagem são usados e estudados por influenciar fortemente nas temperaturas formadas durante o processo, fatores como velocidade de corte e avanço, utilização de fluido de corte e revestimentos especiais em ferramentas são amplamente utilizados para esse fim. Segundo MACHADO *et al.* (2009), a maior parte da usinagem ocorre em aços e ferros fundidos, e, no corte destes e das ligas à base de níquel, surgem problemas técnicos e econômicos mais sérios. O corte desses metais gera um maior aquecimento da ferramenta, provocando seu colapso em curto tempo de usinagem.

Logo, tendo em conta a importância da usinagem na atividade manufatureira, neste trabalho em específico o processo de rosqueamento interno por machos de corte, e entendendo a relação das temperaturas obtidas em processos dessa natureza com o desgaste e redução da vida útil das ferramentas, propõe-se a seguinte pergunta:

Qual a influência da velocidade corte, do fluido de corte e do revestimento da ferramenta na temperatura de corte no rosqueamento por macho de corte?

1.2 Justificativa

Por muito tempo o rosqueamento interno não recebeu o mesmo tratamento em pesquisa que outros processos, como por exemplo, o torneamento e fresamento receberam, pois, o rosqueamento, comparado com os outros processos, é uma operação de curta duração, mesmo a baixas velocidades de corte. Logo, no processo global ele tinha pouca expressão, mas com a diminuição dos tempos produtivos e com o aumento da produção, este tempo, mesmo que pequeno, representa uma parcela importante do tempo total. Com isso o processo ganha uma maior importância e atenção da indústria e dos laboratórios de pesquisa (PEREIRA, 2014).

Complexas perdas à cadeia produtiva podem ser resultantes da falha de uma ferramenta de corte no processo de rosqueamento, uma vez que esse processo de usinagem normalmente é um dos últimos a ser realizado no produto, que neste caso já apresenta um alto valor agregado. Com isso tem-se a grande necessidade de estudar e tratar os principais fenômenos que levam a tais falhas nas linhas de produção.

Como pontua Ryutaro *et al.* (2012), as principais causas de quebra com a rotação reversa do fuso são o desgaste da ferramenta e a aderência. A temperatura da aresta da ferramenta influencia o desgaste da ferramenta e a adesão da peça de trabalho.

Ainda hoje, o aço rápido, conhecido como *HSS*, é responsável por uma grande parcela das ferramentas de rosqueamento, então a temperatura de corte deve ser controlada abaixo da temperatura de revenimento para fornecer um desgaste progressivo da ferramenta. Portanto, medir a temperatura da aresta da ferramenta é crucial.

Diante disso, este trabalho em questão se compromete a analisar as temperaturas envolvidas em diversos processos de rosqueamento interno por macho de corte por meio de termopares ferramenta-peça, afim de entender como os diferentes parâmetros de usinagem interferem em tal fator, podendo levar a um melhor domínio destes, visto que o rosqueamento tende a ser um processo complexo principalmente pela dificuldade de lubrificação das arestas de corte e remoção dos cavacos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar a influência da velocidade corte, do fluido de corte e do revestimento da ferramenta na temperatura de corte dos processos de rosqueamento por usinagem.

1.3.2 Específicos

- Realizar um sólido estudo bibliográfico sobre: Rosqueamento, Métodos de Medição de temperatura na Usinagem e Temperatura no rosqueamento;
- Elaborar todo o sistema de aquisição de temperatura por meio de termopares ferramenta-peça para os ensaios de rosqueamento;
- Definir a padronização do parâmetro de usinagem a fim de comparar diferentes condições de rosqueamento e realizar os ensaios em que serão variados diversos desses parâmetros, como: fluido de corte, velocidade de corte, material da peça e revestimento da ferramenta;
- Realizar a curva-calibração de cada par termoeletrico formado entre a ferramenta e a peça;
- Tratar e analisar os dados obtidos durante os experimentos.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos em conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

O primeiro capítulo faz uma introdução ao assunto e justifica os motivos para realização do trabalho, além de apresentar o objetivo geral e objetivos específicos.

O segundo capítulo traz uma revisão da bibliografia, levantando os principais assuntos que tangem ao objetivo do trabalho, dando ênfase ao rosqueamento, os métodos de medição de temperatura na usinagem e os fenômenos que influenciam na temperatura de usinagem.

O terceiro capítulo mostra a metodologia utilizada para a aferição da temperatura no rosqueamento, bem como os parâmetros de usinagem definidos para se realizar a comparação das temperaturas obtidas.

O quarto capítulo traz os resultados obtidos na aferição de temperatura de cada teste realizado e suas devidas discussões relevantes.

O quinto capítulo vem com a conclusão ao final do trabalho e visa responder à pergunta problema desse trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Rosqueamento

Vários métodos estão disponíveis para a produção de formas de rosca. Estes podem ser divididos em duas categorias principais: conformação da rosca e usinagem (ou corte) da rosca.

Segundo Santhanam e Tierney (1989), as roscas são normalmente usinadas por um de dois métodos: rosqueamento ou usinagem de ponto único utilizando um sistema de inserto/porta-ferramenta intercambiável.

O rosqueamento pode ser definido como um processo mecânico, de usinagem ou conformação, destinado à obtenção de filetes de rosca, por meio da abertura de um ou vários sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. (FERRARESI, 1995)

Zhang; Yang; Wang (2003) menciona que de todos os processos de fabricação nas indústrias modernas, o rosqueamento ainda é um dos que consome maior tempo, sendo às vezes um entrave na produção (“gargalo”), causando interrupção da linha produtiva.

Conforme pontua Machado *et al.* (2009), a abertura de roscas é uma operação bastante diversificada e que pode ser realizada com o uso de dispositivos manuais ou por meio de máquinas-ferramentas (tornos, fresadoras, rosqueadeiras, etc), como se pode ver na Figura 1. Dependendo principalmente da taxa de produção esperada, mas também das dimensões da rosca. Roscas externas podem ser produzidas por cossinetes (conhecidos como tarraxas) ou por ferramentas de perfil único ou múltiplo. Já roscas internas podem ser produzidas utilizando-se jogos de machos ou ferramentas de perfil único ou múltiplo.

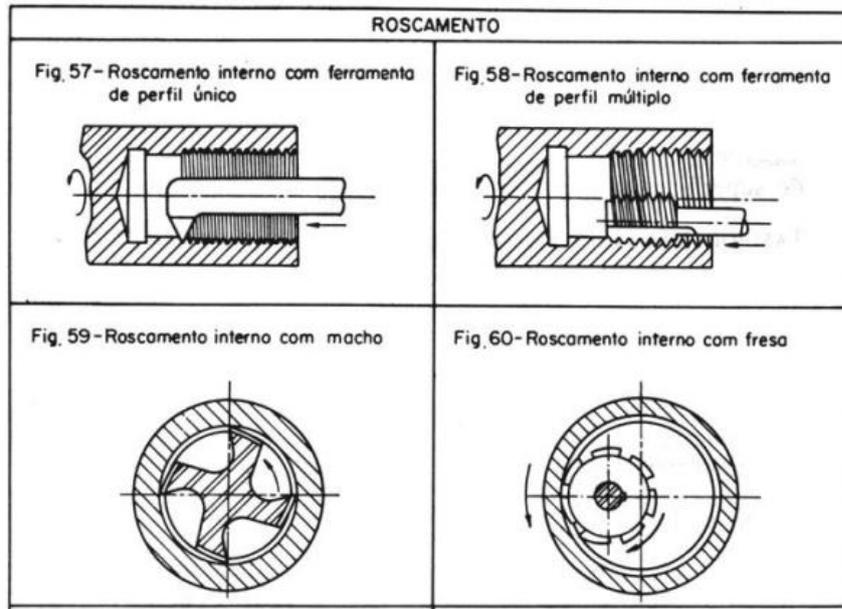


Figura 1- Tipos de rosqueamento
Fonte: Ferraresi (1969)

De acordo com Pereira (2014), o processo de rosqueamento utiliza de ferramentas muito específicas, ao contrário de processos como o torneamento que oferece um grande número de opções de geometria da ferramenta. Os fabricantes de machos, sejam eles laminadores ou de corte, em geral não fornecem informações sobre as características geométricas destas ferramentas. Características como ângulo de saída ou detalonagem não são detalhes que possam ser escolhidos para a usinagem de uma mesma classe de material.

Segundo Johnson (1989), a dimensão, o passo e a porcentagem da profundidade da rosca determinam a quantidade de metal removido em qualquer operação que se destine à obtenção de uma rosca, e tem um grande efeito sobre a eficiência e a vida da ferramenta de corte. Pode-se ver o perfil da rosca métrica na Figura 2.

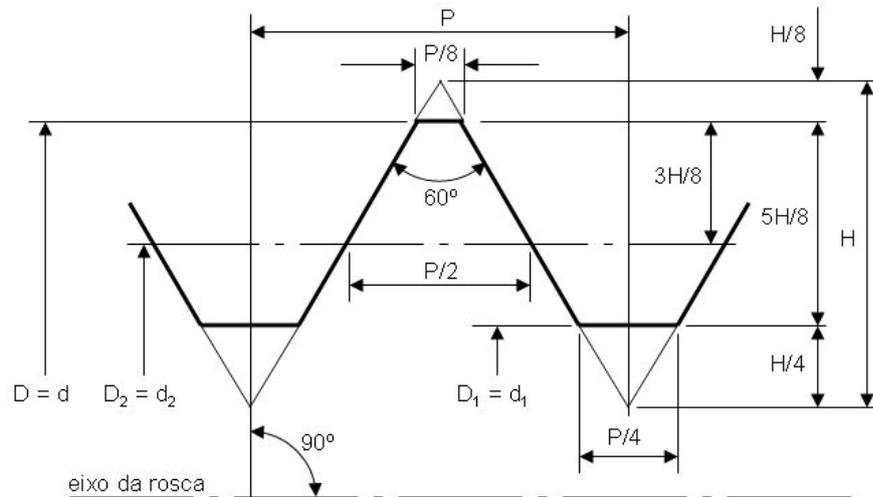


Figura 2 - Perfil rosca métrica
Fonte: ABNT (1998)

De acordo com Dormer apud Vianelo (2017), a efetividade na operação de rosqueamento, seja interno ou externo, depende de diversos fatores como: geometria correta do macho para o tipo de material e tipo de furo, fixação correta da peça e da ferramenta, dimensão da broca, velocidade de corte e uso de fluido de corte adequado. Todos os parâmetros afetam a qualidade do produto acabado.

2.1.1 Macho de corte

O procedimento para o rosqueamento interno com macho de corte envolve usinagem e retirada de material. O macho de corte é uma ferramenta de múltiplas arestas de corte que, através do movimento rotativo combinado com o axial, executa a usinagem na superfície interna de um furo, cujo diâmetro é um pouco menor que o diâmetro externo do macho de corte, para formar filetes de rosca após a remoção de cavacos (MÜLLER, 1999).

Para Tsuruda (2010), a complexidade do processo de rosqueamento pode ser explicada pelos ajustes necessários ao processo para que o erro de sincronismo entre o movimento de rotação e o movimento de avanço da ferramenta, o desalinhamento entre a ferramenta e o pré-furo devido à variação do diâmetro interno, e a quebra do macho devido ao desgaste prematuro, sejam evitados.

Segundo Stemmer (1995), o macho de corte é uma ferramenta específica para execução de roscas internas e pode ser utilizado manualmente, com o auxílio de desandadores, ou em máquinas como furadeiras, tornos, centros de usinagem e rosqueadeiras. A Figura 3 mostra a representação de um macho de roscar, onde podem ser vistos os elementos principais da ferramenta:

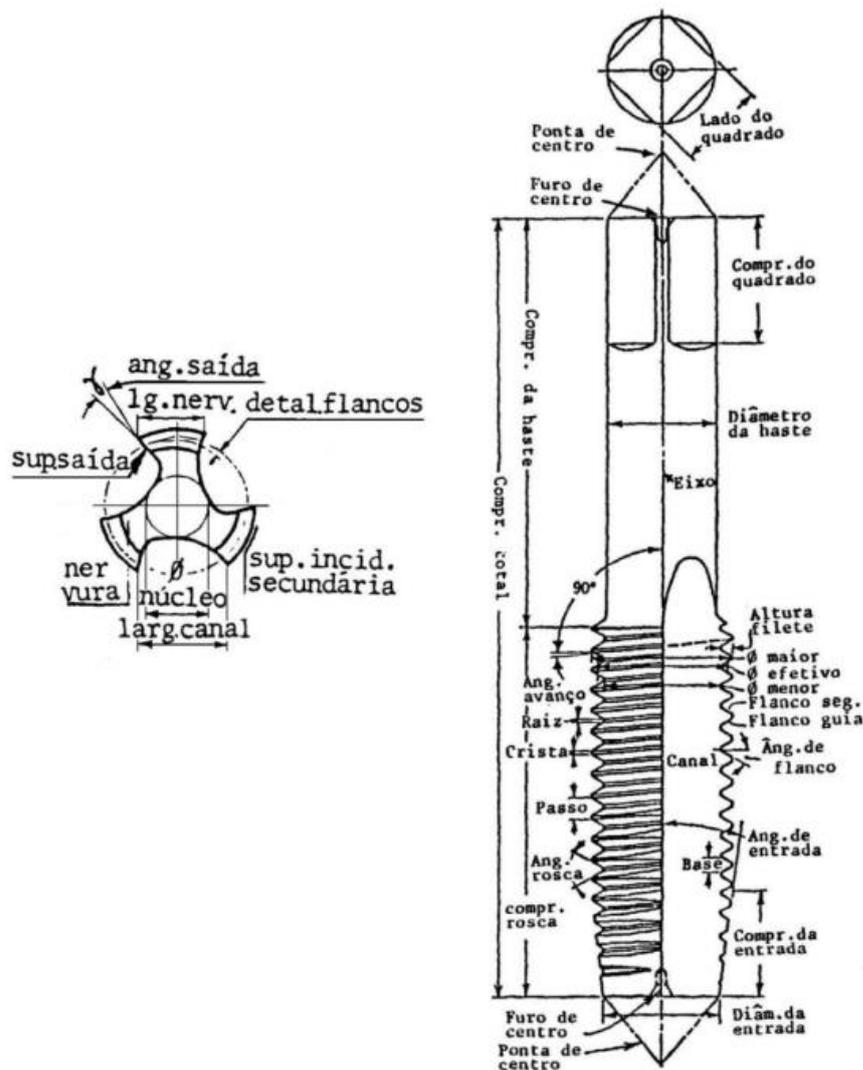


Figura 3 - Macho de Corte
Fonte: Stemmer (1995)

Segundo Stemmer (1995):

- Entrada ou chanfro: É a retificação cônica dos filetes na entrada do macho. Tem o objetivo de distribuir a ação de corte entre vários dentes;

- Ângulo de entrada ou de chanfro: É o ângulo formado entre a entrada ou chanfro e o eixo do macho;
- Ângulo de incidência no chanfro: Formado entre a tangência da superfície de incidência num ponto do gume e uma linha radial passando pelo mesmo ponto;
- Eixo: Reta imaginária que forma a linha longitudinal do centro da ferramenta;
- Crista: A parte da superfície da rosca que une os flancos da rosca e é a mais afastada do eixo do macho;
- Raiz: É a parte da superfície da rosca que une dois flancos adjacentes e coincide ou é imediatamente adjacente ao cilindro ou cone do qual sobressai a rosca;
- Flanco: Cada uma das faces laterais de um filete, que une a crista com a raiz;
- Flanco de guia: É o flanco da rosca voltado para a ponta chanfrada na entrada do macho;
- Flanco seguidor: Face do filete oposta ao flanco de guia;
- Canais: As ranhuras longitudinais executadas no macho para criar as arestas de corte e promover espaço para os cavacos e passagem para o fluido de corte. Estas ranhuras podem ser retas ou em formato de helicóide, dependendo do tipo de macho;
- Passo: Distância medida paralelamente ao eixo, entre pontos correspondentes de dois perfis adjacentes, no mesmo plano axial e do mesmo lado do eixo;
- Diâmetro de entrada: Diâmetro inicial da parte chanfrada do macho;
- Ângulo de saída: Ângulo entre a tangente a superfície de saída e uma linha radial, a partir da crista dos filetes, na aresta de corte;
- Redução de diâmetro: É a redução gradual do diâmetro da rosca após o chanfro de entrada até a haste;
- Incidência no chanfro: É o gradual decréscimo na altura da nervura, desde o gume até a o calcanhar, na parte chanfrada do macho, com o objetivo de gerar espaço livre radial.

O sucesso de qualquer operação de rosqueamento depende de diversos fatores e todos afetam a qualidade do produto acabado (DORMER *apud* PEREIRA 2014):

- Geometria correta do macho para o tipo de material e furo a ser rosqueado;
- Fixação correta;
- Dimensões das brocas;
- Velocidade de corte;
- Fluido de corte adequado;
- Nas aplicações com comando numérico, ao utilizar um dispositivo para rosquear, recomenda-se que se utilizem passos de 95 a 97% do passo da ferramenta. Para permitir que o macho produza seu próprio passo;
- Quando possível fixar o macho em um dispositivo que limite o torque. Isso protege o macho de uma possível quebra;
- Controlar a entrada suave do macho no furo, pois um avanço desigual poderá causar um alargamento da rosca.

Para Machado *et al.* (2009), 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 Figura 4 ilustra tipos de machos de corte com suas respectivas características e aplicações.

Tipo	Características	Aplicação
<p>Macho Ponta Helicoidal (POT)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ponta Helicoidal (direciona o cavaco). • Empurra o cavaco para frente com baixo torque de corte. • Canal Raso de formato único proporciona uma estrutura resistente. • Boa ação de corte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para furos passantes. • Para materiais em que o cavaco gerado é de forma espiral contínua. • Alta velocidade de rosqueamento.
<p>Macho Canal Helicoidal (SFT)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Canal Helicoidal. • Saída do cavaco em direção à haste. • Torque de rosqueamento baixo e aplicável para rosqueamento até o fundo do furo. • Boa ação de corte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para furos cegos. • Para materiais em que o cavaco gerado é de forma espiral contínua.
<p>Macho Canal Reto (MT)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Canal Reto. • Arestas de corte resistentes. • Fácil de reafiar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para ambos os tipos de furo: cego e passante. • Para materiais onde o cavaco é gerado na forma de pó ou quebradiço. • Para materiais duros.

Figura 4 - Tipos de Geometria de Canal

Fonte: OSG catálogo de produtos vol.II (2019)

No chanfro do macho, mostrado na Figura 5 é a conicidade dos filetes do macho que distribui a ação de corte em vários dentes. Geralmente, o tipo de furo a ser rosqueado com macho decide qual tipo de chanfro deve ser usado. Segundo a Sandvick (2010), há três tipos comuns de chanfros: B, C e E:

O Chanfro longo (B) 3,5 – 5 roscas tem como característica:

- Torque alto;
- Melhor acabamento superficial;
- Cavacos finos;
- Baixa pressão no chanfro;
- Vida útil da ferramenta mais longa;
- Mais comum para macho com ponta helicoidal.

O Chanfro médio (C) 2 – 3,5 roscas tem como característica:

- Torque baixo;
- Bom acabamento superficial;
- Cavacos com espessura normal;
- Pressão normal no chanfro;
- Vida útil normal;
- Desenho mais comum;
- Chanfro standard para furos cegos;
- Mais comum para macho com canal helicoidal.

Chanfro curto (E) 1,5 – 2 roscas tem como característica:

- Torque baixo;
- Bom acabamento superficial;
- Cavacos espessos;
- Alta pressão no chanfro;
- Vida útil da ferramenta mais curta;
- Desenho extremo;
- Deve ser usado quando não há muito espaço no fundo do furo.

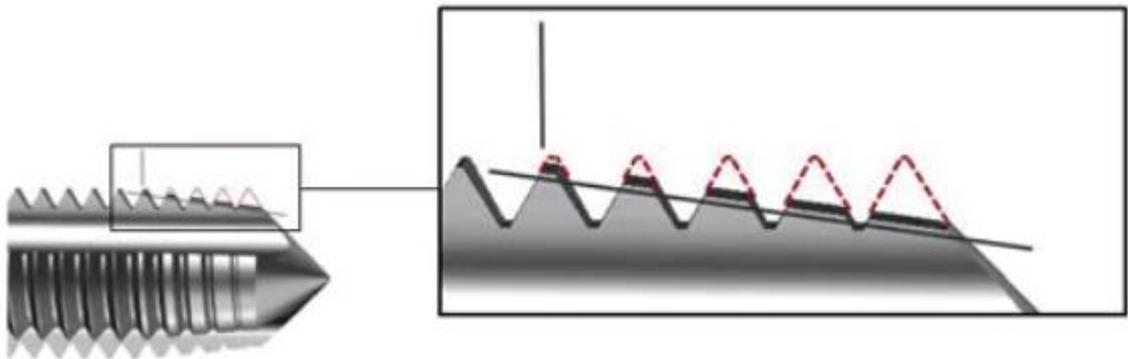


Figura 5 - Chanfro Macho de Corte
Fonte: Sandvick (2010)

Cada filete de rosca do macho na parte cônica é responsável por uma porção de cavaco retirado, um filete após o outro, em sequência forma um filete de rosca completo, ou seja, quando o macho de corte dá a primeira volta após o contato com o material da peça, o primeiro filete da parte cônica entrou totalmente na peça. Se este macho tiver três canais por exemplo, então todo o cavaco retirado pelo primeiro filete foi retirado por três dentes que este possui distribuído na circunferência da ferramenta. Assim, passarão todos os filetes da parte cônica e o primeiro da parte reta, até formar o filete de rosca completo no material da peça (PEREIRA, 2014).

A Figura 6 ilustra a composição do filete de rosca na ferramenta.

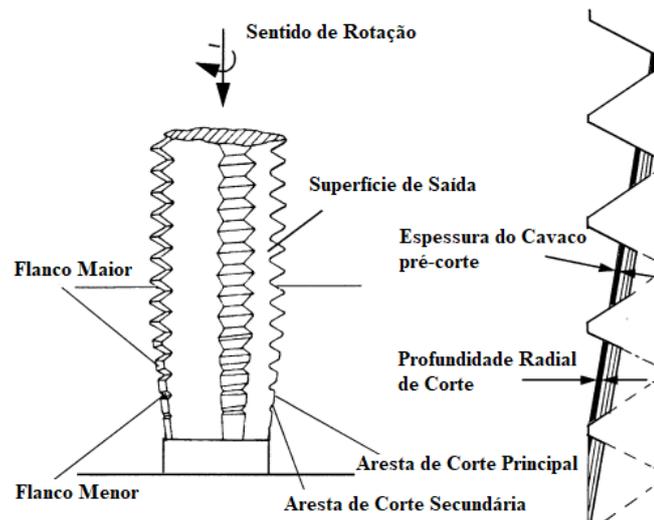


Figura 6 - Geometria do Macho de Corte
 Fonte: Adaptado de Cao e Sutherland (2002)

A característica geométrica do macho de corte, composta de vários canais e com extremidade cônica, resulta numa ação de corte praticamente realizada pelas arestas de corte da região cônica, mais a aresta de corte do primeiro filete de rosca completo. Desta forma, a velocidade de corte é variável ao longo da entrada, sendo menor nos primeiros filetes e maior no filete da região cilíndrica (BEZERRA *et al.*, 2001).

A figura 7 ilustra a geometria da ponta helicoidal de um macho de corte.

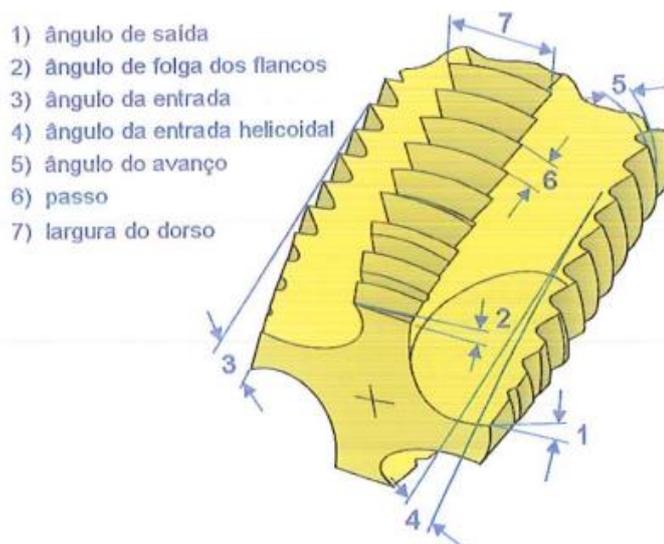


Figura 7–Geometria da ponta helicoidal do macho
 Fonte: Titex Plus (1999c)

Há diversas formas de melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e tribológicas das ferramentas de corte para uso em usinagem. Além dos tratamentos de têmpera e revenimento, comum nas ferramentas de aço ao carbono e aço-rápido, existem diversos meios e formas de endurecimento superficial, como a nitretação, a oxidação, a carbonitretação e os revestimentos sólidos duros (DA MOTA, 2006).

Em conformidade com Trent e Wright (2000), os revestimentos usados em ferramentas de usinagem podem ser classificados como endurecedores ou lubrificantes. As camadas do primeiro tipo destacam-se, sobretudo por sua dureza, frequentemente superior a 2.500 HV. Além do reduzido desgaste por abrasão, essas camadas proporcionam pequena adesão aos cavacos que se soltam do material que está sendo usinado, o que leva à redução da abrasão por adesão e força de corte.

O TiN (nitreto de titânio) foi o precursor dos revestimentos duros e é ainda muito utilizado, sendo o revestimento mais indicado para a situação em que se têm diversos materiais a serem usinados com a mesma ferramenta, pois além de alta dureza (2500 HV), possui boas propriedades físicas, químicas e mecânicas, proporcionando às ferramentas dureza, tenacidade, aderência (sobre o aço-rápido e o metal duro), estabilidade térmica e reduzindo o coeficiente de atrito, facilitando o escoamento dos cavacos (YUHARA, 2000).

2.2 Métodos de medição de temperatura

Existem hoje diversos métodos para a medição de temperatura, porém poucos traduzem fielmente os valores e comportamento da temperatura na usinagem (SOUSA e SOUSA, 2010).

O calor gerado no corte de metais foi investigado em um trabalho pioneiro desenvolvido pelo físico Benjamin Thompson em 1798. Observando a fabricação de canhões de bronze, Rumford constatou que grande quantidade de calor era gerada na operação: a peça era imersa num tanque com água, a qual aquecia a ponto de ferver. Rumford investigou como esta quantidade de calor era produzida numa operação puramente mecânica, imergindo peça, ferramenta de corte e cavacos em uma quantidade conhecida de água, ou seja, um calorímetro rudimentar (COSTA e SILVA, 2015b).

Os métodos experimentais têm sido utilizados há muito tempo para determinar a temperatura de usinagem com boa exatidão. Embora demandem maior tempo de preparação e possuam também um maior custo diante dos equipamentos e materiais utilizados, eles ainda são considerados os mais confiáveis para a determinação da temperatura de usinagem (BENABID *et al.*, 2014).

Como pontua Lima (2017), sabe-se que a temperatura na interface ferramenta/peça é muito difícil de ser medida diante das limitações de algumas técnicas e em alguns casos o que se consegue é a temperatura média da interface ferramenta/peça.

Segundo Byrne (1987), para avaliar o aumento de temperatura nas zonas de corte, várias técnicas foram desenvolvidas, e a maioria delas é empregada para medir a temperatura da ferramenta. Os métodos práticos mais utilizados para a medição da temperatura na região de formação de cavacos são, segundo Machado, *et al.* (2009):

- Medição direta por termopares inseridos;
- Medição da força termoelétrica entre a ferramenta e a peça (método do termopar ferramenta/peça);
- Medição por radiação de calor com sensores infravermelhos;
- Medição utilizando vernizes termo sensíveis;
- Medição por propriedades metalográficas;
- Medição usando pós químicos;
- Medição usando o método do filme PVD.

2.2.1 Método termopar inserido

Segundo Sutter *et al.* (2003), a grande vantagem desta técnica está na facilidade de construção dos termopares, no seu baixo custo e no seu mecanismo simples de funcionamento.

O princípio de medição de temperatura por termopar baseia-se no efeito Seebeck, no qual quando dois materiais dissimilares e condutores são ligados entre si e estas partes chamadas junções quentes e frias são mantidas a temperaturas diferentes, uma força eletromotriz (f.e.m) é produzida. A f.e.m gerada depende dos materiais utilizados, bem como da diferença de temperatura das junções. Um conjunto de termopares padrão embutido em uma ferramenta de corte ou na peça é conhecido como termopar inserido ou embutido (LIMA, 2017).

Como pontua Komanduri e Hou (2001), a localização do termopar próximo à região de corte pode fornecer uma estimativa da temperatura na superfície da ferramenta, entretanto, a grande limitação desta técnica está relacionada aos microfuros feitos no inserto, que podem alterar a condução de calor para a ferramenta, bem como enfraquecer a aresta de corte. A figura 8 mostra a montagem do termopar inserido.

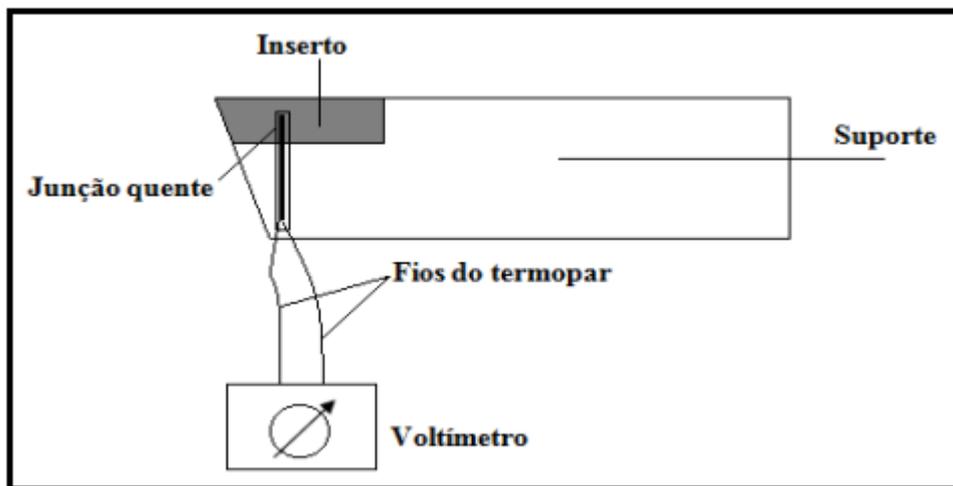


Figura 8 - Termopar Inserido na ferramenta
Fonte: Lima (2017)

De acordo com Dewes *et al.* (1999), o grande problema desta técnica é que a temperatura máxima na região de corte não pode ser determinada.

Em seus estudos Machado e da Silva (2004) pontuam que é importante que se tenha um único furo por inserto para minimizar a perturbação do fluxo de calor. Caso contrário, a determinação da distribuição de temperatura se torna uma tarefa extremamente difícil.

Devido aos pontos de fixação do termopar na ferramenta, esta técnica tende a ser limitada quando a parte rotativa do sistema compreende a ferramenta, como nos processos de furação, rosqueamento ou fresamento. Entretanto Lima (2017), apresenta em seu trabalho um apanhado de alguns autores que utilizaram sensores integrados ao suporte da ferramenta para monitorar a temperatura durante o fresamento remotamente. O sistema apresenta a possibilidade de aquisição de dados em processos de alta velocidade de corte, podendo ser usado tanto no fresamento como na furação.

Coz *et al.* (2012) utilizaram este método para estudar a temperatura de usinagem durante as operações de fresamento e furação. Diante dos resultados os autores concluíram que o sistema de medição é muito sensível a qualquer alteração nas condições de corte (velocidade de corte, avanço, geometria da ferramenta, revestimento da ferramenta) e também ao tipo de material usinado (ligas de alumínio, aços e ferro fundido). Além disso, todos os testes foram realizados três vezes e a dispersão dos resultados foi muito baixa, de tal maneira que a repetibilidade da 36ª medição pôde ser confirmada. Finalmente, verificou-se que o sistema pode ser utilizado para otimizar um processo de corte usando ferramentas rotativas e com o uso de fluidos de corte. (COZ *et al. apud* LIMA, 2012)

2.2.2 Método Termopar Ferramenta-Peça

O método do termopar ferramenta-peça, mede a temperatura média da interface cavaco-ferramenta por meio do efeito “Seebeck”. Segundo este efeito a presença de dois materiais diferentes conectados em um circuito, com suas extremidades submetidas a temperaturas diferentes, gera-se no circuito uma força eletromotriz, cuja a grandeza dependerá dos materiais e da diferença de temperatura entre as juntas (BORCHARDT e GOMES, 1979).

De acordo com Stephenson e Agapiou (2016), no método termopar ferramenta-peça, a peça e a ferramenta formarão um par termoelétrico, sendo essa junção denominada junção quente. A junção fria é formada pelas seções remotas da ferramenta e da peça de trabalho, que devem ser conectadas eletricamente e mantidas em uma temperatura de referência constante.

Ainda segundo Naves (2006), como durante a usinagem, a superfície inferior do cavaco escoia sobre a superfície da ferramenta configurando assim, uma zona de total aderência entre a ferramenta e o cavaco, existirá junta quente, caracterizando assim um termopar. Vale ressaltar que, para a utilização deste método, dois requisitos devem ser satisfeitos, isto é, ambos os materiais (ferramenta e peça) devem ser condutores e deve-se isolar a peça e a ferramenta eletricamente. A figura 9 exemplifica o princípio dos termopares genéricos.

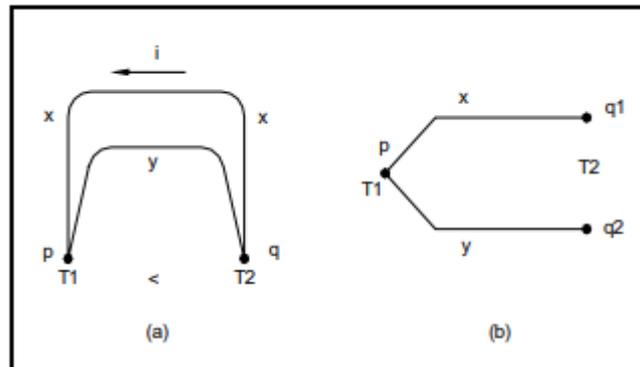


Figura 9 - Princípio dos Termopares
 Fonte: Borchardt & Gomes apud Naves (1979)

Neste método, a ferramenta é utilizada como um material do termopar enquanto a peça de trabalho é o outro. A região de corte constitui a junção quente enquanto uma parte não aquecida da peça e da ferramenta representam as junções frias. A força eletromotriz gerada entre a peça e ferramenta é então medida. No entanto, o suporte da ferramenta e a peça precisam estar eletricamente isolados da máquina ferramenta (SUTTER, 2003).

A figura 10 exemplifica o isolamento e montagem de um sistema de termopar ferramenta-peça para operações de usinagem onde o elemento dinâmico compreende a peça, enquanto a ferramenta se mantém estática, como por exemplo, no torneamento. A figura 11 exemplifica o isolamento e montagem de outro sistema termopar para processos onde a ferramenta é o elemento dinâmico, operações como o fresamento e o rosqueamento compreendem essa montagem.

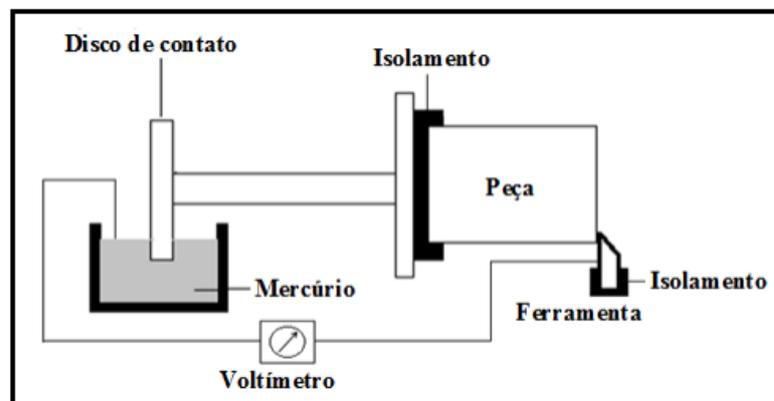


Figura 10– Montagem termopar ferramenta-peça em torno
 Fonte:Lima (2017)

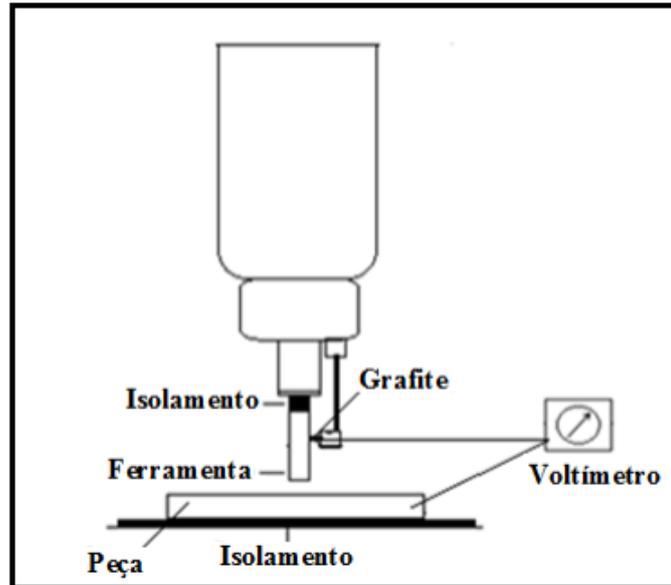


Figura 11–Isolamento e montagem do termopar
Fonte: Lima (2017)

De acordo com Lima (2017), a grande diferença entre os métodos está na maneira de realizar o isolamento. No fresamento existe uma grande dificuldade em se garantir o isolamento da fresa a partir do mandril, pois não se pode empregar materiais que venham comprometer o seu balanceamento durante a usinagem. Desta forma, algumas alternativas como vernizes ou tintas podem ser utilizadas, mas devem possuir resistência capaz de suportar ao aperto do mandril. Após o correto isolamento é necessário conectar um material condutor (grafite) à haste da fresa, assim a transferência do sinal poderá ser realizada por meio da ligação de um fio no material condutor e outro na peça.

Embora seja uma técnica muito usada, um cuidado deve ser tomado para evitar-se a geração de f.e.m. parasitas e curtos circuitos elétricos. Os estudos de Abhang e Hameedullah (2010) afirmam que a maior dificuldade no uso da técnica do termopar ferramenta-peça reside na sua calibração.

De acordo com Kaminise (2012), as principais limitações da técnica são:

- o par ferramenta-peça deve sempre ser constituído por materiais condutores de eletricidade;
- a temperatura obtida é uma média da temperatura na região do corte;
- não há estabilidade no contato da ferramenta com o cavaco;
- a calibração deve considerar todos os elementos que estão inseridos no processo de medição.

Porém, de acordo com vários estudos publicados sobre a técnica, quando aplicado de forma correta, este método fornece resultados muito confiáveis e satisfatórios.

Deve-se notar, porém que essa solda (contato ferramenta-peça) durante a usinagem é instável e desigual nos diferentes lugares de contato, visto que em escala microscópica os contatos ferramenta-cavaco e ferramenta-peça não são contínuos. As superfícies apresentam uma série de picos e vales, ocorrendo naturalmente os contatos nos picos. Em consequência da diferença de pressões nesses contatos, haverá diferentes temperaturas e diferentes forças eletromotrizes. Cada contato constitui uma junção termopar e, visto que essas junções são todas em paralelo, a f.e.m observada representa um valor médio. Por isso o indicador do galvanômetro mostrará, não a maior temperatura de contato, mas sim a média das temperaturas. Entretanto, isso não representa uma desvantagem, porque a temperatura média aqui obtida é a de maior interesse prático. As análises confirmam que as regiões de temperatura mais elevadas se concentram acentuadamente nas superfícies de contato cavaco-ferramenta e peça-ferramenta (FERRARESI, 1969).

De modo geral, as conexões elétricas entre um voltímetro e os demais elementos do sistema são feitas com fios ou cabos elétricos de cobre (STEPHENSON, 1993).

A junção de materiais pode ser garantida pela 2ª lei de termopares (lei das temperaturas sucessivas) descritas em Borchardt e Gomes (1979), onde a inserção de um terceiro metal no circuito, com suas junções mantidas em temperaturas iguais, não acarretará mudança na força eletromotriz total do circuito, a figura 12 ilustra essa lei.

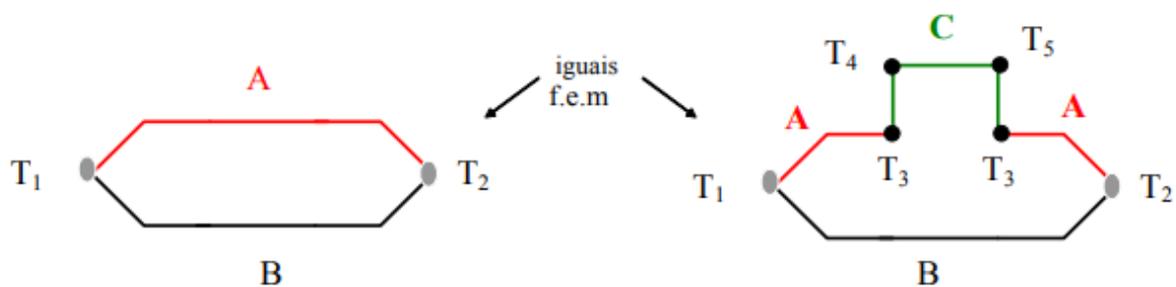


Figura 12–Lei de Termopares
Fonte: Kaminise (2012)

Além disso, é necessária uma calibração cuidadosa do par ferramenta/peça. A calibração deve ser feita para cada par de materiais e em faixas de temperaturas a que estes materiais estarão submetidos (SUTTER, 2003).

De acordo com Costa e Silva (2015a), um sistema de aquisição de dados é utilizado para medição da força eletromotriz e da temperatura gerada na junta quente, para posteriormente obter a curva de calibração.

Existem diversos meios para se realizar a calibração de um termopar ferramenta-peça, cada um com suas peculiaridades e procedimentos. Em seu trabalho Lima (2017) utiliza um forno com temperatura controlada e variável, ao mesmo tempo que colhe dados de tensão gerada, para gerar a curva calibração de seu sistema com um coeficiente de correlação de 0,9965, indicando uma alta correlação entre os dados de tensão e as temperaturas medidas, como ilustra a figura 13.

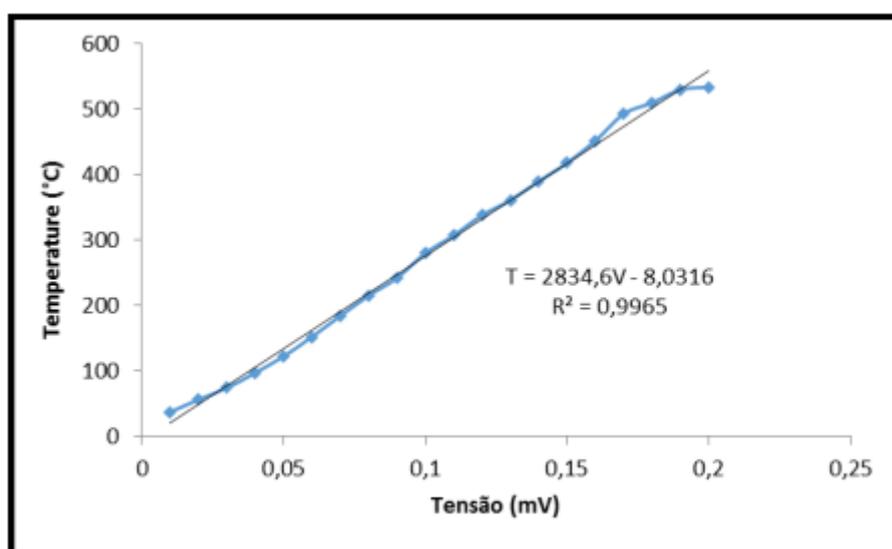


Figura 13–Curva calibração
Fonte: Lima (2017)

A calibração do sistema termopar ferramenta-peça também pode ser realizada através de um aquecimento produzido por chama de maçarico a gás oxi-acetileno (KAMINISE, 2012).

Em seu trabalho Costa e Silva (2015a) utilizaram um maçarico a gás oxi-acetileno para realizar a calibração de um termopar ferramenta-peça em um torno de usinagem. Foi utilizado um pino metálico de mesmo material da peça para realizar o contato peça-termopar, possibilitando o contato do elemento girante (peça) com o elemento de medição (termopar), a figura 14 ilustra a montagem. Segundo os autores a função do pino é receber diretamente o calor do maçarico e conduzi-lo à junta pino-ferramenta. Durante o aquecimento, a temperatura

é medida por termopares conhecidos do Tipo K, enquanto a f.e.m gerada é captada por fios de cobre em uma unidade de aquisição, possibilitando assim a criação da curva calibração com um coeficiente de correlação de 0,9136 como mostra a figura 15. O isolamento do sistema foi feito por folhas de lixas e fita isolante, sendo atestada por multímetro.

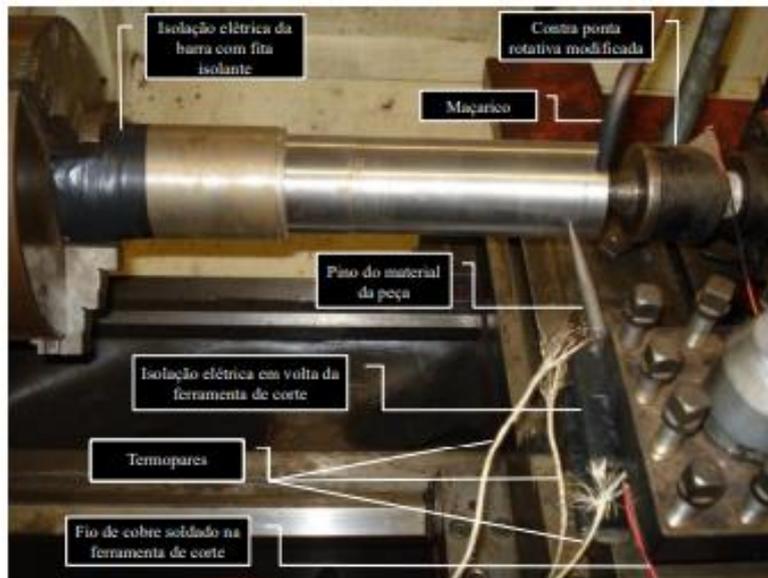


Figura 14–Montagem sistema de aquisição de temperatura
Fonte: Costa e Silva (2015)

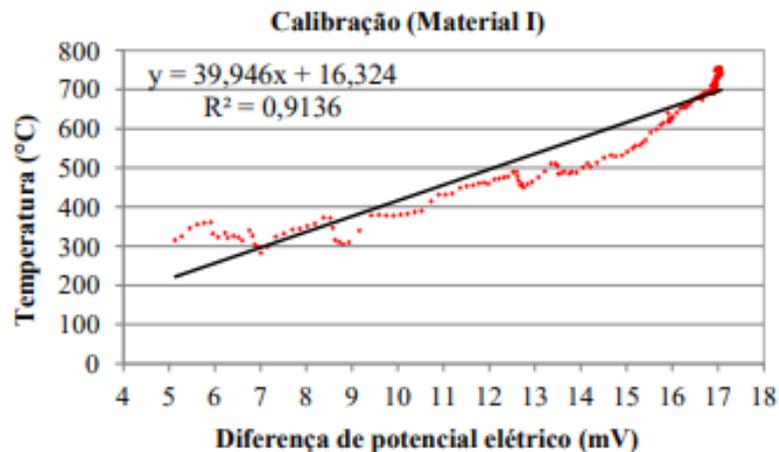


Figura 15–Curva Calibração
Fonte: Costa e Silva (2015)

Kaminise (2012) realizou um extenso estudo sobre a influência do material do porta-ferramenta sobre temperaturas de usinagem no torneamento, e utilizou o maçarico a gás oxi-

acetileno para realizar suas calibrações, realizando modificações para compensar a formação de junções secundárias no circuito, e concluindo que o método é bastante eficaz e contribui para o estudo da temperatura na interface cavaco-ferramenta de processos de usinagem.

2.3 Temperatura no Rosqueamento

A maior parte da potência consumida na usinagem dos metais é convertida em calor próximo à aresta cortante da ferramenta e muitos problemas técnicos e econômicos são causados direta ou indiretamente por conta desse aquecimento (TRENT, 1988).

A temperatura desenvolvida durante a usinagem é um parâmetro que depende, em maior ou menor escala, dos parâmetros metalúrgicos do material da peça. Por este motivo, alguns pesquisadores utilizam a temperatura de usinagem como critério de avaliação da usinabilidade (TRENT, 1991).

Segundo Ferraresi (1969), e como se pode notar na Figura 16, as principais fontes de calor no processo de formação do cavaco são devidas:

- Deformação plástica do cavaco na região de cisalhamento;
- Atrito do cavaco com a superfície de saída da ferramenta;
- Atrito da peça com a superfície de incidência da ferramenta.

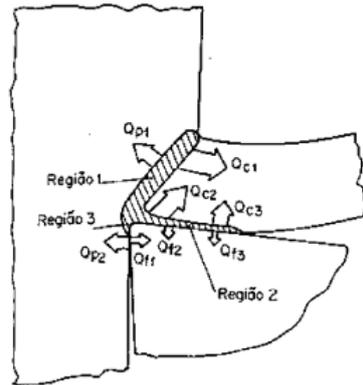


FIG. 4.52 — Representação das três regiões de geração e dissipação do calor. $Q_c = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{c3}$; $Q_p = Q_{p1} + Q_{p2}$; $Q_f = Q_{f1} + Q_{f2} + Q_{f3}$ [2].

$$Q = Q_z + Q_{a1} + Q_{a2} = Q_c + Q_p + Q_f + Q_{ma}, \quad (4.72)$$

onde:

- Q_z = quantidade de calor produzida pela deformação e pelo cisalhamento do cavaco;
- Q_{a1} = quantidade de calor produzida pelo atrito do cavaco com a ferramenta;
- Q_{a2} = quantidade de calor produzida pelo atrito entre a peça e a ferramenta;
- Q_c = quantidade de calor dissipada pelo cavaco;
- Q_p = quantidade de calor dissipada pela peça;
- Q_f = quantidade de calor dissipada pela ferramenta;
- Q_{ma} = quantidade de calor dissipada pelo meio ambiente.

Figura 16—Regiões de geração de calor
Fonte: Ferraresi (1969)

Ainda de acordo com Ferraresi (1969), os valores numéricos das grandezas de calor produzido em cada região de geração, bem como as dissipações nessas regiões e suas proporções entre si variam com o tipo de usinagem, o material da peça e da ferramenta, as condições de usinagem e a geometria da ferramenta.

A maior parte do “calor gerado” é dissipado pelo cavaco, uma pequena porcentagem é dissipada pela peça e uma outra para o meio ambiente. A outra parte vai para a ferramenta cortante, que é a utilizada para desbastar o material. Apesar de este último representar apenas pequenos percentuais (8 a 10%), o aumento da temperatura associado com este calor é significativo, podendo chegar, em certos casos, a 1100 °C, o que compromete, fortemente, a resistência da ferramenta (NAVES *et al.*, 2006).

Ainda de acordo com Naves *et al.* (2006) o calor gerado durante a usinagem pode trazer danos ou benefícios para o processo. Segundo os autores a existência das altas temperaturas durante o processo de usinagem aceleram os mecanismos de desgaste termicamente ativados e, promove a redução do limite de escoamento das ferramentas de corte. Em contrapartida existem benefícios, onde o calor gerado nos planos de cisalhamento vai reduzir a resistência do material da peça favorecendo a formação do cavaco.

Segundo Machado e Da Silva (2004), o comportamento do calor que transita para a ferramenta é fortemente influenciado pela velocidade de corte. A medida mais intuitiva para se buscar a redução da temperatura da ferramenta em uma determinada situação de usinagem é o uso de meios que possam arrefecer a região de formação do cavaco onde ocorre a geração da maior parte do calor responsável pelo aquecimento dessa ferramenta. (KAMINISI, 2012)

De acordo com Trent (1984), a distribuição de calor na interface cavaco ferramenta, pode ser mudada com a aplicação de fluidos de corte, no entanto, não haverá uma alteração significativa da temperatura máxima na região. Segundo o autor os fluidos de corte não são capazes de atingir a interface ferramenta-cavaco devido à presença da zona de aderência.

No rosqueamento interno por usinagem, o fluido de corte não influencia tanto o torque devido ao efeito sobre a força de atrito, já que a parcela de torque devido ao atrito em muitos casos é baixa, mas sim sobre a temperatura do processo e também sobre a retirada do cavaco da zona de usinagem (PEREIRA, 2014).

Segundo Diniz (2018), as dificuldades no rosqueamento interno não estão apenas relacionadas com a geometria complexa da ferramenta, as dificuldades de lubrificação e retirada dos cavacos de furos cegos também são grandes, afetando diretamente a temperatura da ferramenta.

A maioria dos materiais a ser rosqueado é imperativo o uso de fluido de corte, no entanto em alguns casos não há necessidade de utilização deste, como por exemplo, o rosqueamento do ferro fundido cinzento. Contudo, se o fluido de corte for utilizado pode haver alguns benefícios para o processo. O rosqueamento interno com machos de corte de aços é um exemplo de operação impossível de ser realizada sem fluido de corte (PEREIRA, 2014).

Novamente de acordo com Diniz (2018), em furos cegos, também denominados de não passantes, o maior problema é a saída dos cavacos gerados durante o processo de rosqueamento. Devido a esse fenômeno há também uma maior geração de calor envolvida, ou seja, maiores temperaturas são atingidas durante o processo de rosqueamento interno de furos cegos em contrapartida ao processo de rosqueamento de furos passantes.

De acordo com Bezerra (2003), em geral, a usinagem a seco dos ferros fundidos cinzentos é bem sucedida, em virtude dos seus cavacos curtos, baixas temperaturas e forças de corte como também o efeito lubrificante da grafita presente neste tipo de material.

Ainda em conformidade com Bezerra (2003), é possível analisar em seu trabalho, que em princípio as temperaturas e as forças de corte tendem a decrescer em altíssimas velocidades.

A figura 17 relaciona a temperatura de usinagem com a velocidade de corte na usinagem de diferentes materiais.

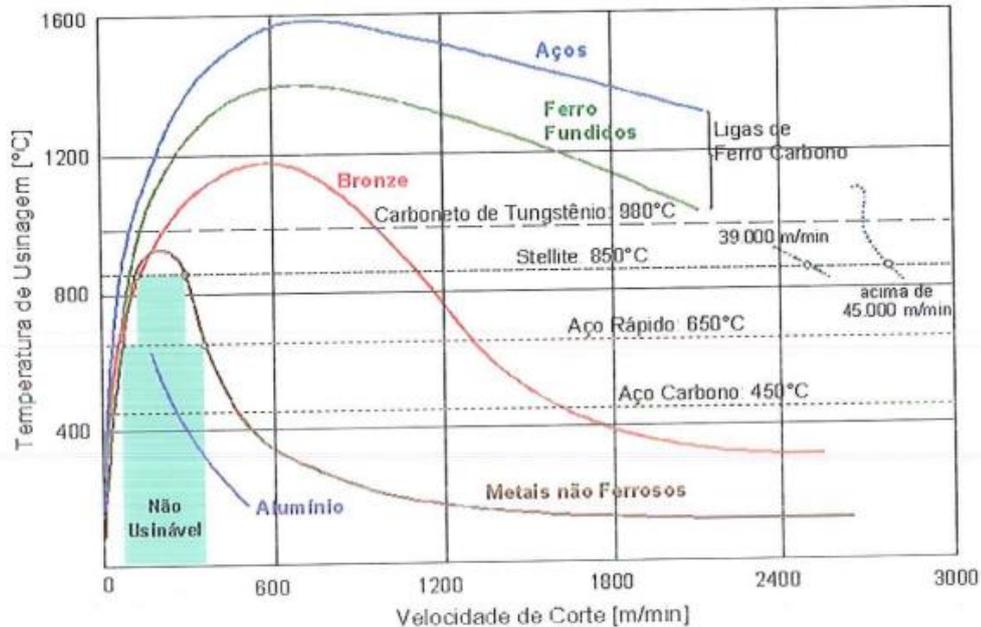


Figura 17- Temperatura em variadas velocidades de corte para diferentes materiais
Fonte: Schützezer e Schulz (2003)

Nos processos convencionais de rosqueamento geralmente se trabalha na faixa de 10m/min a 30m/min, sendo velocidades de até 100m/min dificilmente usadas e consideradas altas para o processo.

O revestimento à base de titânio e alumínio, quando trabalha com velocidades de corte altas, proporcionando altas temperaturas, formam óxidos (AlO_3). Esses óxidos podem atuar como uma camada que aumenta a lubrificação na interface e age também como uma barreira à condução do calor para o interior da ferramenta, mantendo a integridade desta, o que favorece o aumento da vida útil e, conseqüentemente, aumenta o número de roscas usinadas quando se trabalha em alta velocidade de corte (PALDEY e DEEVI, 2003).

Em seu trabalho Da Mota (2009) aferiu que o rosqueamento utilizando uma emulsão como fluido de corte contribuiu para a limpeza dos canais e filetes do macho de corte, diminuiu o atrito e atenuou a temperatura na interface cavaco-ferramenta.

O autor pode notar também que com o aumento da velocidade de corte no rosqueamento a temperatura também aumentou, reduzindo ligeiramente o torque aferido. Fenômeno que pode ser explicado devido a redução da força de corte pelas temperaturas mais altas.

Pereira (2014) descobriu em sua obra sobre processos de rosqueamento em aço SAE 1045 que o torque decaiu 17% entre processos que utilizavam velocidades de 5m/min e 30m/min, sendo esse fator explicado pelo autor como o aumento da temperatura pela maior velocidade, causando a diminuição da resistência mecânica do material.

Vianello (2017) analisou a temperatura e o torque no rosqueamento de machos de corte com quantidade de filetes modificados em corpos de prova de ferro fundido cinzento. O autor aferiu com 3 filetes uma temperatura média de 160°C a 10m/min e 260°C a 25m/min na fase de avanço e 100°C e 150°C no retorno respectivamente. Valores esperados segundo a literatura. Durante seus testes Vianello encontra por vezes, temperaturas mais altas no retorno do que na usinagem, fato este que pode ser explicado pela aderência de material na ferramenta, principalmente por se tratar de um ferro fundido cinzento. A figura 18 ilustra a aquisição de temperatura em 3 filetes.

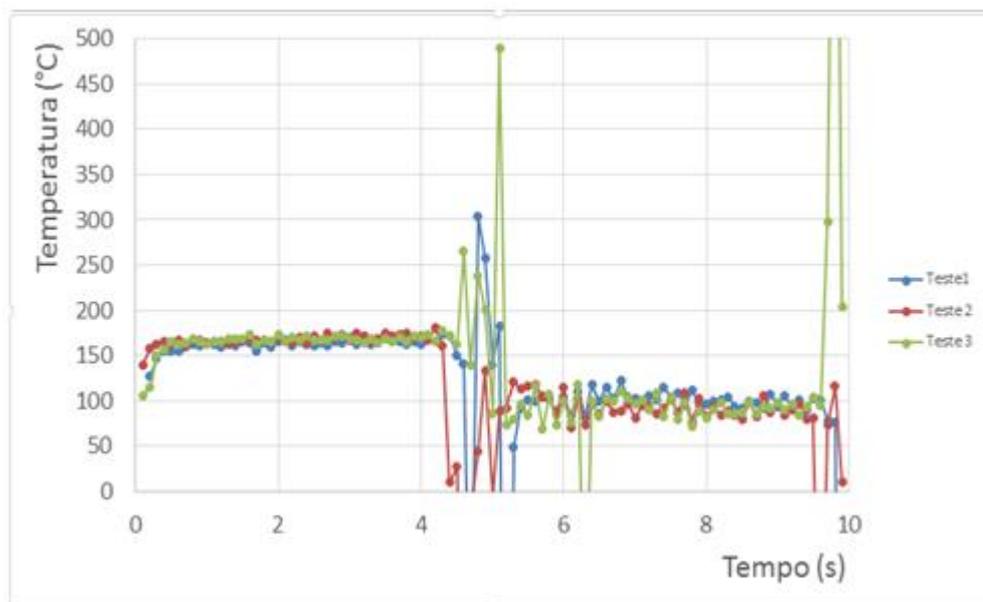


Figura 18–Aquisição de temperaturas em macho de corte com 3 filetes
Fonte: Vianello (2017)

2.4 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foram introduzidos os conceitos e base teórica sobre os assuntos que tangem a usinagem, mais especificamente o rosqueamento por macho de corte. Foram abordados temas relacionados às ferramentas utilizadas no rosqueamento interno, a aquisição de temperatura nos processos de usinagem e o estudo sobre temperatura nesses processos.

No próximo capítulo será abordada a metodologia utilizada para a realização desse trabalho, contendo o tipo de pesquisa, materiais e métodos, variáveis e indicadores, instrumentos de coleta de dados e tabulação de dados.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados, procedimentos experimentais, ferramentas, maquinários e os diversos métodos empregados para a obtenção dos resultados posteriormente apresentados.

Todos os testes e variações de parâmetros foram repetidos três vezes para uma maior representatividade dos dados. Foi adotado os mesmos padrões de montagem e execução em todo os testes, buscando assim a minimizar as variáveis externas que pudessem mascarar os resultados, impossibilitando a comparação dos parâmetros.

3.1 Tipo de Pesquisa

O trabalho em questão utiliza as pesquisas quantitativa, explicativa e experimental, uma vez que, os ensaios experimentais foram realizados e analisados em laboratório afim de analisar e explicar por meio de dados colhidos o comportamento da temperatura na usinagem com macho de corte.

Os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados, diferenciando-a da pesquisa qualitativa. Com o foco na objetividade, considera que a realidade só pode ser entendida na análise de dados numéricos recolhidos com o auxílio de instrumentos neutros e padronizados. A descrição dos fenômenos, suas relações e causas são analisados por linguagem matemática (FONSECA, 2002).

Pradanov (2013) descreve que a pesquisa explicativa procura explicar os porquês das coisas e suas causas através de registros, análises, classificações e interpretações de fenômenos observados. De acordo com o autor, este tipo de pesquisa visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Segundo Gil (2002), na pesquisa experimental o pesquisador realiza hipóteses que podem ou não explicar a relação de causa e efeito entre as variáveis. Com a vantagem de possibilidade de controle, os experimentos oferecem garantia maior que qualquer outro delineamento de que a variável independente causa efeitos nas variáveis.

3.2 Materiais e Métodos

A Figura 19 do fluxograma esquematiza os passos e definições que se fizeram presentes na elaboração da metodologia do presente trabalho.

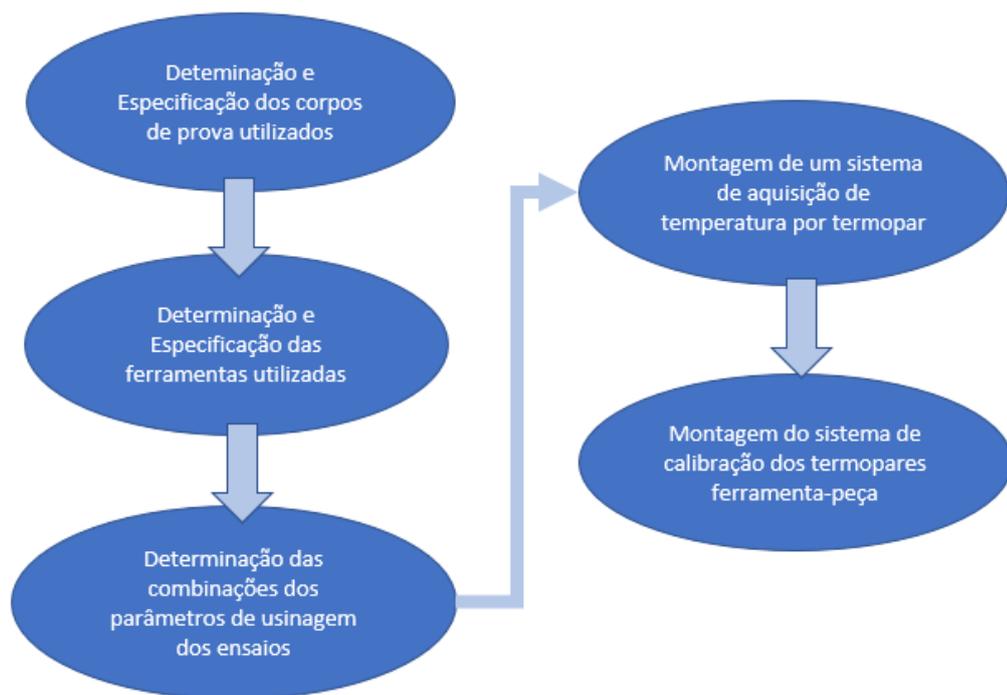


Figura 19 - Fluxograma de Metodologia
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

3.2.1 Corpos de Prova

Os corpos de prova foram preparados para receber um furo passante e em seguida o rosqueamento para aquisição de temperatura. As dimensões estipuladas foram de 30x30x30mm.

A Figura 20 mostra exemplos dos corpos de prova de ferro fundido após a sua preparação e antes da furação.

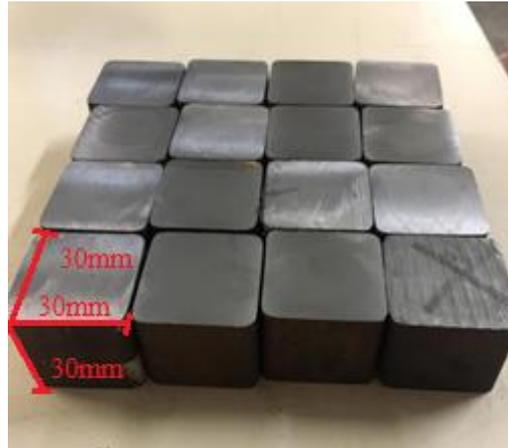


Figura 20 -Corpos de Prova de Ferro Fundido
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

3.2.2 Equipamentos e Ferramentas

Para o procedimento foram utilizados os seguintes equipamentos e ferramentas:

- Centro de usinagem *ROMI D600*;
- Base magnética para fixação do pino de contato;
- Pino de contato (mesmo material do macho de corte);
- Fios de cobre para estabelecimento do termopar;
- Unidade de aquisição *Keysight Technologies®* modelo 34970^a;
- Computador com software *AgilentBenchLink Data Logger Pro*;
- Fluido Lubrificante *Blaser SWISSLUBE VASCO 7000*.

As ferramentas utilizadas para os rosqueamentos foram machos de corte *Gühring* HSS-E M10X1.5 sem revestimento, HSS-E M10X1.5 com revestimento de Nitreto de Titânio (TiN) e HSS-E M10X1.5 com revestimento de Carbonitreto de Titânio (TiCN), todos adaptados para o teste. Uma vez que os filetes da parte reta (região de calibração do perfil de rosca) não desempenham um papel significativo na remoção de material e podem alterar os resultados adquiridos por termopar por aumentar a área de contato, apenas os filetes da parte cônica (região que realiza a usinagem de material) foram usados na

usinagem, os demais filetes foram removidos por retífica manual, como pode-se constatar nas Figuras 21 e 22.



Figura 21 - Macho de Corte Antes da Alteração
Fonte: Pesquisa Direta (2021)



Figura 22 - Macho de Corte Depois da Alteração
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

3.2.3 Descrição dos Ensaios

Os corpos de prova preparados foram primeiramente usinados com furos passantes para início das aquisições de rosqueamento. Os rosqueamentos foram feitos por todo o comprimento da peça (30mm).

Três condições de revestimentos diferentes foram utilizadas: Sem revestimento; Revestimento de Carbonitreto de Titânio (TiCN) e Revestimento de Nitreto de Titânio (TiN). Três velocidades de rosqueamento diferentes: 10; 20 e 30m/min. Três condições de fluido de corte diferente: A seco; Emulsão e Óleo Integral.

Todos os ensaios foram repetidos três vezes, garantindo assim a representatividade dos dados colhidos e minimizando interferências aleatórias. A tabela 1 esquematiza a combinação dos parâmetros de usinagem utilizados para os ensaios.

Tabela 1 -Configuração dos Ensaio

Material Usinado	Revestimento Ferramenta	Velocidade	Fluido
Ferro fundido cinzento GG30	S/	10m/min	Emulsão
		30m/min	Emulsão
			Óleo
			Seco
	50m/min	Emulsão	
	TiCN	30m/min	Seco
	TiN	30m/min	Seco

Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Na tabela 1 é possível notar que a velocidade de corte adotada para as configurações onde este parâmetro não foi variado, foi de 30m/min, velocidade comumente utilizada no processo de rosqueamento interno por macho de corte na indústria. Tal velocidade pode ser entendida como produtiva e aceitável para o desgaste da ferramenta

3.2.4 Aquisição da Temperatura

A aquisição de temperatura foi feita por meio de Termopar ferramenta-peça, obedecendo o princípio do efeito Seebeck.

Uma vez que a ferramenta possui movimento rotativo, seria impossível conectar o fio de cobre do termopar diretamente ao corpo do macho de corte. Para essa condição de contorno, e a exemplo de Costa e Silva (2015a) e Vianello (2017) usinou-se um pino de contato do mesmo material da peça, fixado de maneira estacionária por base magnética para fazer o contato entre peça-fio de cobre, conforme ilustra a Figura 23.



Figura 23 - Pino de Contato
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Toda a região externa ao circuito Termopar ferramenta-peça (compreendida entre o corpo de prova e a morsa / macho de corte e máquina) foi devidamente isolado para não existência de influência elétrica externa no experimento.

As Figuras 24 e 25 exemplificam a padronização adotada nas montagens.



Figura 24 - Sistema de Aquisição de Temperatura
Fonte: Pesquisa Direta (2021)



Figura 25 - Sistema de Aquisição de Temperatura
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Os fios de cobre do circuito Termopar ferramenta-peça foram então conectados ao pino e a peça e sua outra extremidade à unidade de aquisição de dados, respeitando o seguinte esquema da Figura 26.

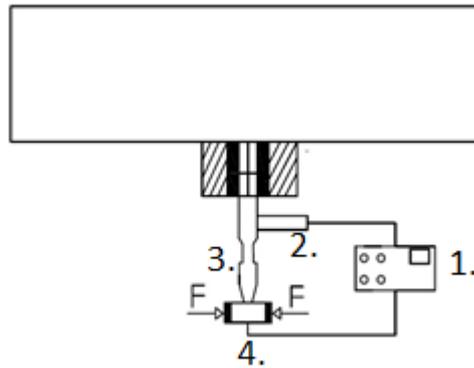


Figura 26 - Esquema de Aquisição de Temperatura
Fonte: Adaptado de Vianello (2017)

Onde na Figura 26 a numeração representa:

- 1: Unidade de Aquisição;
- 2: Pino de Contato;
- 3: Macho de Corte;
- 4: Peça.

3.2.5 Calibração Termopar Ferramenta-Peça

Para realizar a calibração do termopar ferramenta-peça optou-se por utilizar um maçarico oxiacetileno a exemplo de Kaminise (2012), Costa e Silva (2015a) e Vianello (2017) em um pino de transição entre o macho e a peça, feito do mesmo material da peça, como mostra a Figura 27.

Foram utilizados termopares conhecidos do Tipo K para fazer a aquisição da temperatura à medida que o pino foi gradativamente aquecido pelo maçarico, enquanto os

termopares ferramenta-peça adquiriam dados da tensão elétrica em DDP gerada pelo efeito Seebeck, formando assim as juntas frias e quentes do sistema.

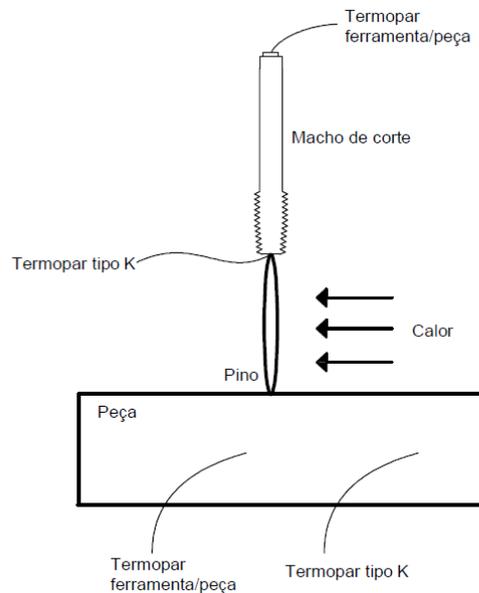


Figura 27 -Esquema de montagem da Calibração
Fonte: Vianello (2017)

Com os dados de temperatura e DDP é possível traçar uma curva de calibração, que nos possibilita transformar a tensão elétrica medida em qualquer experimento com esse conjunto, em temperatura.

3.3 Variáveis e Indicadores

Variáveis são definidas, de acordo com Gil (1999), como sendo quaisquer ocorrências que podem ser classificadas em duas ou mais categorias, ou seja, podem ser consideradas como: uma medida ou classificação, uma quantidade que varia, um conceito operacional que contém valores, propriedade, aspectos ou fatores que são identificados em um objeto de estudo e passíveis de verificação.

Ainda segundo Gil (1999) é necessária uma definição empírica da variável. Esta definição, que pode ser chamada de operacional, fará referência a seus indicadores, ou seja, aos elementos que indicam seu valor de forma prática. A partir daí, torna-se possível a medição desses indicadores, o que possibilitará conhecer o valor da variável.

A tabela 2 relaciona as Variáveis e Indicadores do projeto.

Tabela 2 - Variáveis e Indicadores

VARIÁVEIS	INDICADORES
Velocidade de corte (V_c)	Temperatura
Revestimento da ferramenta	
Fluido de corte	

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Na tabela 2 é possível ver a temperatura como indicador das variáveis velocidade de corte, revestimento da ferramenta, material da peça e fluido de corte. Tais variáveis e indicadores foram utilizados a fim de se chegar aos objetivos estipulados ao trabalho.

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Para recepção dos sinais elétricos dos termopares foi utilizada uma unidade de aquisição *Keysight Technologies®* modelo 34970^a, conforme a Figura 28, e um computador com software *Agilent BenchLink Data Logger Pro* para a interpretação e representação gráfica dos sinais.



Figura 28 - Unidade de Aquisição
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

3.5 Tabulação de dados

Para a tabulação de dados coletados foi utilizado o Microsoft Excel, uma vez que o software *Agilent BenchLink Data Logger Pro*, já faz a exportação dos dados em planilha no Excel.

A elaboração dos gráficos de temperatura e calibração também foram gerados pelas ferramentas do Microsoft Excel.

3.6 Considerações Finais do Capítulo

No presente capítulo foi apresentado a metodologia utilizada para a elaboração do projeto, com a padronização dos corpos de prova e especificação dos seus respectivos materiais. Os equipamentos e ferramentas utilizados para realização dos ensaios foram detalhados e listados com suas respectivas características, afim de trazer especificações técnicas à ferramentaria utilizada.

Todo o sistema de aquisição de temperatura montado foi detalhado, mostrando que nenhuma interferência externa prejudicou o ensaio, bem como o sistema de calibração dos termopares ferramenta-peça.

As configurações dos ensaios foram descritas de maneira a relacionar a combinação do revestimento da ferramenta, velocidade de corte e fluido de corte.

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios anteriormente descritos, de acordo com as configurações apresentadas na Tabela 1, relacionando a temperatura obtida pelo termopar ferramenta-peça já calibrado.

4 RESULTADOS

4.1 Calibrações

4.1.1 Ferro fundido

A figura 29 mostra as 3 curvas de calibração para o ferro fundido e sua respectiva equação da curva usada para os testes com macho sem revestimento no ferro fundido.

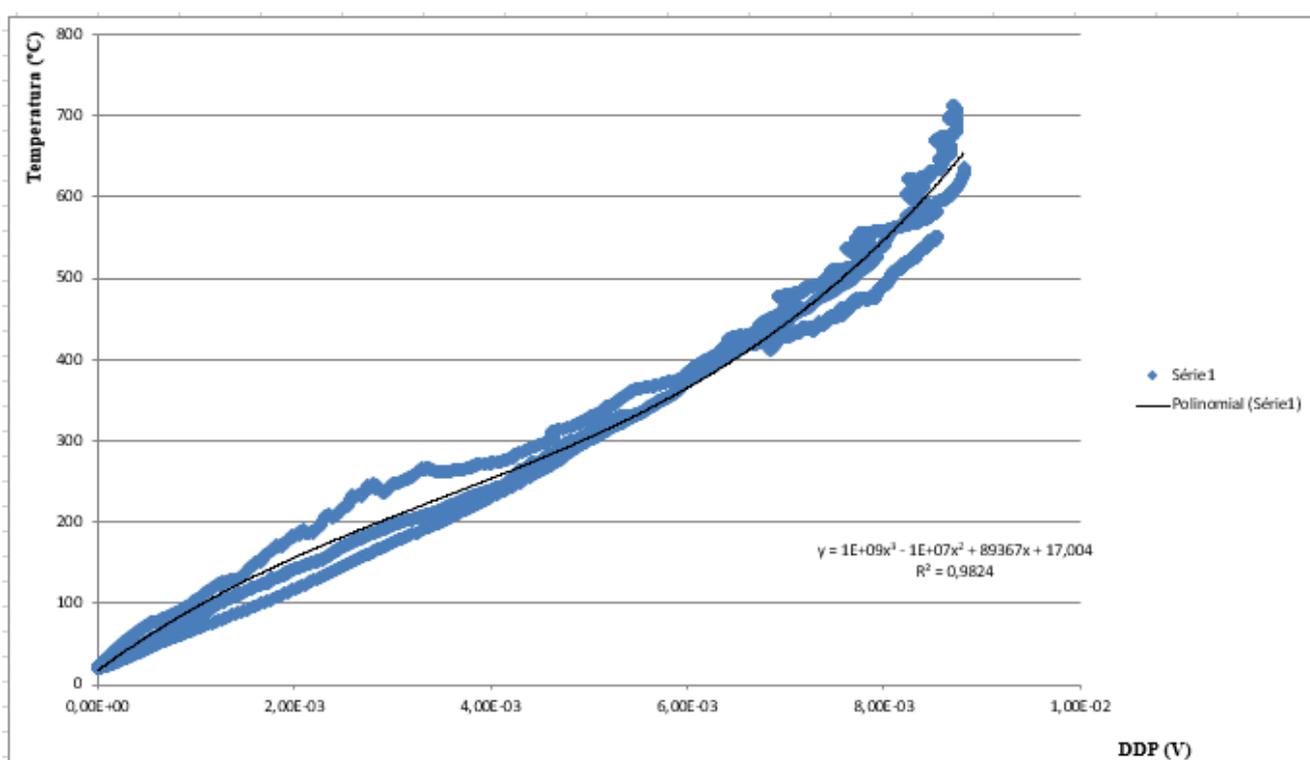


Figura 29 – Curva Calibração do Ferro Fundido
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

É possível perceber a grande representatividade do teste, uma vez que as 3 tentativas apresentaram valores bastante semelhantes e constantes, confirmadas pelo coeficiente de determinação (R^2) próximo de 1. O coeficiente de determinação é uma medida estatística da proximidade dos dados colhidos com uma linha de regressão ajustada. Um R^2 de 0,9824, como o adquirido nesse trabalho por exemplo, significa que o modelo linear explica 98,24% da variância dos dados colhidos.

Ademais, os máximos valores de temperaturas atingidos durante o experimento garantem uma representatividade durante qualquer processo de rosqueamento utilizado neste trabalho, ultrapassando os 500°C, temperatura esta, segundo a literatura, não ordinariamente aferida nesse tipo de usinagem.

4.2 Efeito da velocidade de corte na temperatura

A Figura 30 mostra o comportamento da temperatura ao longo do rosqueamento de Ferro fundido em emulsão em 3 diferentes velocidades de corte: 10m/min, 30m/min e 50m/min, com o macho Gühring HSS-E M10X1.5 sem revestimento.

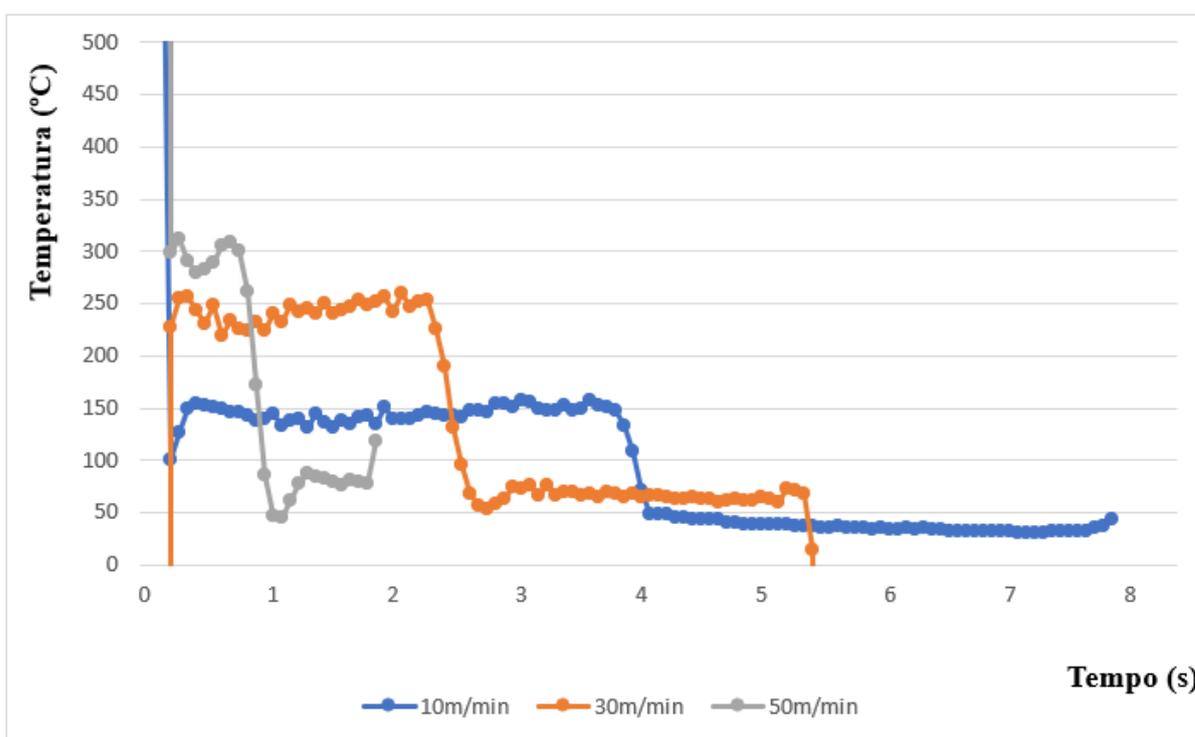


Figura 30 – Temperatura de Usinagem Variando a Velocidade de Corte
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

A tabela 3 mostra a média das temperaturas para cada velocidade de corte.

Tabela 3 - Média de Temperaturas Variando a Velocidade de Corte

Macho Gühring HSS-E M10X1.5 sem revestimento - Emulsão					
Média de Temperaturas (°C)					
10m/min		30m/min		50m/min	
Avanço	Retorno	Avanço	Retorno	Avanço	Retorno
145	37	242	66	298	80

Fonte: Pesquisa Dieta (2021)

Inicialmente é possível ver na figura 30 que, devido as diferentes velocidades de corte, o intervalo de tempo de usinagem é diferente para os três processos, velocidades mais altas resultam em tempos menores de operação.

Pode-se notar claramente que a temperatura aumenta à medida que a velocidade de corte aumenta. Durante a usinagem a 10 m/min a fase de avanço apresentou uma média de 145°C, enquanto a 30 e 50m/min as temperaturas médias foram de 242°C e 298°C respectivamente. Tal aumento da temperatura era esperado e corresponde aos observado na literatura, principalmente pela maior dificuldade de lubrificação e refrigeração e escoamento do cavaco.

É possível notar um grande salto ao aumentar a velocidade de corte de 10 para 30m/min, onde houve um aumento de 67% na temperatura. Na segunda escalada onde aumentou-se a velocidade de 30 para 50m/min o salto foi consideravelmente menor, mas ainda sim relevante, houve um aumento de 23% na temperatura.

É perceptível também uma maior variação de temperatura durante o retorno à medida que se aumenta a velocidade de corte, momento onde muitas vezes ocorre a falha na ferramenta devido à dificuldade em se escoar o cavaco pelo furo. Pelo fato de o ferro fundido cinzento apresentar cavacos descontínuos essa falha é mitigada e o período de retorno se mostrou bastante estável e coerente.

4.3 Efeito do fluido de corte na temperatura

A Figura 31 mostra o comportamento da temperatura ao longo do rosqueamento de Ferro fundido em 30m/min em 3 condições de fluidos de corte diferentes: a seco, emulsão e óleo integral. Com o macho Gühring HSS-E M10X1.5 sem revestimento.

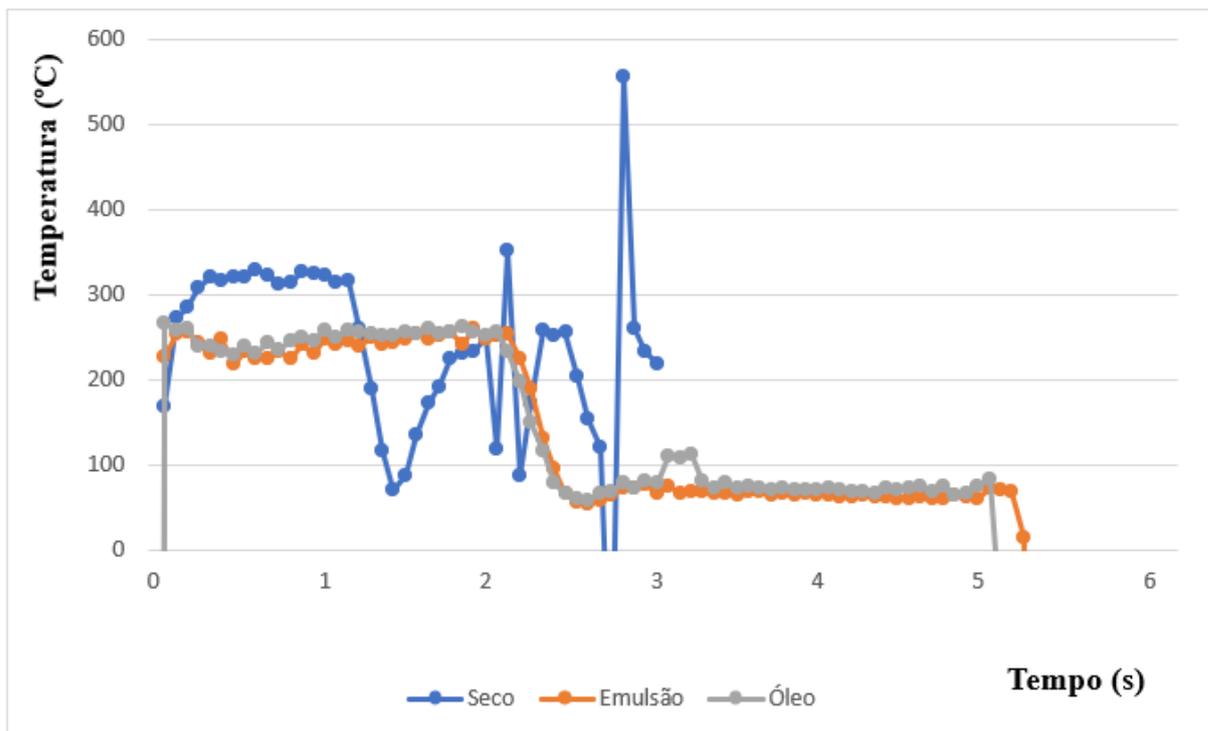


Figura 31 – Temperatura de Usinagem Variando o Fluido de Corte
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

A tabela 4 mostra a média das temperaturas para cada fluido de corte.

Tabela 4 - Média de Temperaturas Variando Fluido de Corte

Macho Gühring HSS-E M10X1.5 sem revestimento – 30m/min					
Média de Temperaturas (°C)					
Seco		Emulsão		Óleo	
Avanço	Retorno	Avanço	Retorno	Avanço	Retorno
314	196	242	66	250	76

Fonte: Pesquisa Dieta (2021)

Como é possível notar na figura 31, o processo de rosqueamento a seco se mostra bastante agressivo comparado às condições com fluidos com as mesmas condições de

usinagem. O fato de o rosqueamento ser um processo interno, e as características descontínuas do cavaco do ferro fundido, contribuem bastante para este fenômeno, levando assim a temperaturas cerca de 25% maiores em relação à utilização de fluidos.

A 30m/min os processos com emulsão e a óleo integral obtém resultados de temperatura bastante semelhantes, com uma pequena vantagem a favor do óleo, com temperaturas 3% superiores a emulsão. Esse fato não era esperado, uma vez que, pela característica lubrificante do fluido prevalecer sobre a refrigerante em processos a baixa velocidade de corte como a usada, o óleo integral, que possui maior capacidade lubrificante, era esperado de performar melhor em relação a temperatura quando comparado à emulsão, que possui características refrigerantes.

É possível notar uma instabilidade muito grande na fase de retorno do processo a seco, fato este que pode ser explicado pelo aumento do atrito devido a possível adesão de material na ferramenta e dificuldade em remoção do cavaco.

4.4 Efeito do revestimento da ferramenta na temperatura

A Figura 32 mostra o comportamento da temperatura ao longo do rosqueamento em ferro fundido em 30m/min a seco, com o macho Gühring HSS-E M10X1.5 nos seguintes revestimentos de ferramenta: sem revestimento, Nitreto de Titânio (TiN) e Carbonitreto de Titânio (TiCN).

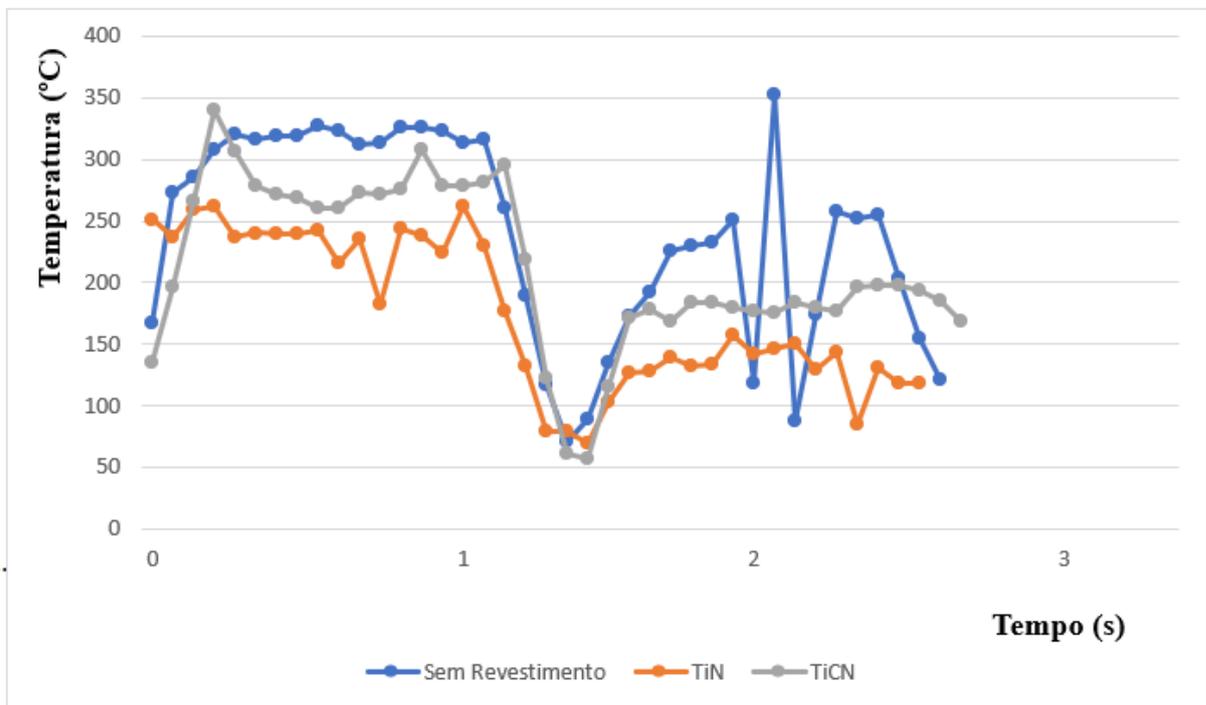


Figura 32 – Temperatura de Usinagem Variando Revestimento da Ferramenta
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

A tabela 5 mostra as médias da temperatura para cada revestimento.

Tabela 5 - Média de Temperaturas Variando Revestimento da Ferramenta

Macho Gühring HSS-E M10X1.5 – Seco – 30m/min					
Média de Temperaturas (°C)					
S/ Revestimento		TiCN		TiN	
Avanço	Retorno	Avanço	Retorno	Avanço	Retorno
314	196	267	179	238	130

Fonte: Pesquisa Direta (2021)

É possível notar na figura 32 uma clara diferença entre as temperaturas de usinagem com diferentes revestimentos. Como esperado, a ferramenta sem revestimento apresenta os maiores valores de temperatura, seguido do revestimento de TiCN e TiN. Tal diferença pode ser explicada pela redução do coeficiente de atrito com o uso dos revestimentos, proporcionando um melhor escoamento do cavaco.

Os revestimentos se mostraram bastante eficazes em estabilizar a temperatura durante o retorno da ferramenta, pode-se notar que o retorno da ferramenta sem revestimento se mostra mais instável e com variações grandes em picos e vales de temperatura. O melhor escoamento do cavaco nessas ferramentas diminui o atrito gerado durante o retorno, explicando os resultados.

As temperaturas obtidas no TiCN foram 12% superiores ao TiN durante a fase de avanço, e 15% menores que a condição sem revestimento.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusões

A partir dos resultados colhidos e análises devidamente feitas, a calibração do termopar ferramenta-peça para o ferro fundido se mostrou bastante eficaz, abrangendo temperaturas superiores às encontradas no processo de usinagem estudado, garantindo uma boa representatividade na faixa de temperatura trabalhada. O coeficiente de determinação próximo de 1 embasou a representatividade da curva.

Nos ensaios com variação da velocidade de corte conclui-se, como esperado, que a temperatura aumentou consideravelmente com o aumento da velocidade, mostrando que este parâmetro tem grande influência na variação de temperatura durante a usinagem.

Para o efeito dos fluidos de corte na temperatura, obteve-se resultados bastantes semelhantes entre a emulsão e o óleo integral, sendo os resultados com óleo ligeiramente superiores. Já a usinagem a seco se mostrou mais agressiva ao processo, apresentando temperaturas muito superiores quando comparadas aos fluidos de corte.

Os resultados referentes ao revestimento mostraram que as temperaturas em ferramentas com revestimento de TiCN são superiores as ferramentas revestidas com TiN, e estas inferiores aos resultados da ferramenta não revestida.

5.2 Trabalhos futuros

Com a pequena quantidade de estudos sobre a temperatura no processo de rosqueamento interno por macho de corte, a lacuna para novos estudos nessa área permanece aberta e com infinitas possibilidades.

Ao início desse trabalho outras variáveis foram estudadas para a implementação nesse estudo, uma vez que, as variáveis envolvidas nos processos de usinagem e suas ferramentas são extremamente amplas e permitem inúmeras possibilidades. Entretanto estas não puderam ser aqui analisadas. Portanto, para futuros trabalhos podem ser observados os seguintes pontos:

- Análise da temperatura em outros materiais, comparando os resultados ao encontrados no ferro fundido;

- Análise da temperatura em diferentes geometrias de ferramenta, comparando aos resultados encontrados na ferramenta do presente trabalho;
- Calibração dos diferentes revestimentos da ferramenta.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABHANG, L. B.; HAMEEDULLAH, M. **Chip-Tool Interface Temperature Prediction Model for Turning Process**, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(4), 382-393, 2010a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988 “**NBR 5876 – Roscas – Terminologia**”

BENABID, F. **A thermal modeling to predict and control the cutting temperature. The simulation of face-milling process**. Procedia Engineering. v.74, p37-42. 2014.

BEZERRA, A. A.; COELHO, R.T.; DA SILVA, L.R.; BRAGHINI JR, A.; SOTO, M. **Investigação do Processo de Rosqueamento com Alta Velocidade de Corte em Ferro Fundido**. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Uberlândia - MG. Proceedings of COBEM. Manufacturing Process. V. 14. p. 66-75, 2001.

BEZERRA, A. A. **Estudo do Desgaste no Roscamento com Alta Velocidade em Ferro Fundido**. 2003. 209 f. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BORCHARDT, I. G. & GOMES, A. F., 1979, **Termometria Termoelétrica – Termopares**, Ed. Sagra, Porto Alegre.

BYRNE, G. ,**Thermoelectric Signal Characteristics and Average Interfacial Temperatures in the Machining of Metals Under Geometrically Defined Conditions**, Int. J. Mach. Tools Manufact., vol.27. No.2. pp. 215-224, 1987

CAO, T., & SUTHERLAND, W. O. 2002. **Investigation of Thread Tapping Load Characteristics Through Mechanistics Modeling and Experimentation**. International Journal of Machine Tools e Manufacture, 42, pp. 1527-1538.

COSTA, I. S.; SILVA, M. B. **Medição de temperatura de usinagem em aços de corte fácil através do método do termopar ferramenta-peça**. – Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia MG, 2015.

COSTA, I. S.; SILVA, M. B. **Geração e partição de calor em usinagem através do método calorimétrico: uma revisão**. – Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia MG, 2015.

COZ, G. L. **Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys**. Applied Thermal Engineering. v.36 p.434-441, 2012.

DA MOTA, P. R.; REIS, A. M.; SILVA, M. B.; MACHADO, Á. R.; GONCALVES, R. A.; DE ANDRADE, C. L. F. . **Rosqueamento interno com machos de corte em ferro fundido vermicular**. In: V COBEF (Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação), 2009, Belo Horizonte. Anais do V COBEF, 2009.

DA MOTA, P. R. **Investigação do Comportamento de Ferramentas de Aço- Rápido no Processo de Rosqueamento Interno em Alta Velocidade de Corte**. 2006. 142 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

DEWES, R. C. **Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel**. Journal of Materials Processing Technology. v.92, p.293-301, 1999

- DINIZ, A. O. **Estudo do processo de rosqueamento interno de ferro fundido cinzento utilizando diferentes sistemas de indexação de machos de corte**. 2018. 165p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia - MG.
- DORMER, 2013 “**Catálogo Dormer**” www.dormertools.com;
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1969.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 3 ed. v.1, S.P: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995. 751p.
- FONSECA, J. J. S., 2002 “**Metodologia Da Pesquisa Científica**”;
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.
- GIL, A.C. 2002 “**Como Elaborar Projetos De Pesquisa**”
- JOHNSON, M. **Tapping**. In: American Society For Metals. Metals handbook, 9.ed. Metals Park, Ohio, USA. v.16 - Machining, p. 255-267. 1989.
- KALPAKJIAN, S. (1995) **Manufacturing Engineering and Technology**. 3rd Edition, Addison-Wesley Publishing Co., Boston.
- KAMINISE, A. K., 2012, “**Estudo da Influência do Material do Porta-ferramenta sobre as Temperaturas de Usinagem no Torneamento**”, 105 f., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- KOMANDURI, R., HOU, Z. B., 2001, “**A Review of the Experimental Techniques for the Measurement of Heat and Temperatures Generated in Some Manufacturing Processes and Tribology**”, Tribology International 34, p. 653–682.
- LIMA, H. V. **Estudo sobre a temperatura no fresamento do aço ferramenta ABNT D2 Empregando os métodos do termopar ferramenta/peça, termopar inserido e simulação numérica**. 2017.
- MACHADO, Á. R., DA SILVA, M. B. 2004, “**Usinagem dos Metais**”, Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Universidade Federal de Uberlândia, Versão 8, Abril de 2004, 257 p.
- MACHADO, A.R.; E DA SILVA, M.B. ; COELHO, R. T; ABRÃO, A. M.- “**Teoria da Usinagem dos Materiais**” 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- MÜLLER, P.; SOTO, M. **Usinagem sem refrigeração de Furos e Roscas**, 4º Seminário Internacional de Alta Velocidade, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste, São Paulo, Brasil, p. 126-133. 1999.
- NAVES, V. T. G.; LUIZ, N. E.; MACHADO, A. R.; DANTAS, N. O. **calibração de um sistema termopar ferramenta-peça para medição de temperatura de usinagem**, 2006.
- OSG. **Manual Técnico - Machos**. OSG Ferramentas de Precisão Ltda. São Paulo, 222p., 2012.
- PALDEY, S.; DEEVI, S.C. **Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti, Al)N: a review**. Materials Science and Engineering. v. 342, n. 1-2, p. 58–79, fev. 2003
- PEREIRA, I. C., 2014 “**Comparação Entre Os Processos De Rosqueamento Interno Por Usinagem e Laminação**”;
- PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

- SANDVIK COROMANT. **Ferramentas Rotativas. Suécia: Catálogo.** 2011.
- SCHÜTZER, K; SCHULZ, H. (2003). **Histórico da usinagem com altíssima velocidade até os dias atuais.** In: SANDVIK. Usinagem em altíssimas velocidades. São Paulo: Editora Erica Ltda. Cap. 1, p.13-28.
- SOUSA, J. A. C.; SOUSA, M. N, **Análise da Temperatura de Usinagem no Corte Ortogonal de Alumínio,** 2010
- STEMMER, C. E.; **Ferramentas de corte I.** 4. ed. Florianópolis, Ed. da UFSC. 1995. 249p
- STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. **Metal Cutting Theory and Practice.** 3. ed. London: [s.n.]. v. 39, 2016.
- STEPHENSON, D. A., **Tool-work thermocouple temperature measurements - theory and implementation issues,** Journal of Engineering for Industry, vol. 115, issue 4, November 1993, pp. 432-437.
- SUTTER, G. **An experimental technique for the measurement of temperature fields for the orthogonal cutting in high speed machining.** International Journal of Machine Tools and Manufacture, v.43, p.671-678, 2003.
- SANTHANAM A. T.; TIERNEY P.; HUNT J. L. **Metals Handbook, Properties and Selection,** Vol. 2, 10th edition, 1990, pp. 950–977.
- TANAKA, R.; YAMAZAKI, S.; HOSOKAWA, A.; FURUMOTO, T.; UEDA, T.; OKADA, M. **Analysis of Cutting Behavior during Tapping and Measurement of Tool Edge Temperature Measured by a Two-Color Pyrometer.** 2012 - Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing
- TITEX PLUS 1999c. **High speed tapping.** Lecture 05, Titex Specialist Lectures, Titex Plus Precision Cutting Tools.
- TRENT, E.M. “**Metal Cutting**”, 2nd Edition, Butterworths, 1984, 245 pags, ISBN - 0-408-108568.
- TRENT, E. M., 1991, **Metal Cutting,** 3a edição, Butterworths, Londres.
- TRENT, E.M.; WRIGHT, P. K., “**Metal Cutting**”, 2ª ed., Butterworth-Heinemann, Woburn, USA, 2000.
- TRENT, E. M. **Metal cutting and the tribology of seizure: II movement of work material over the tool in metal cutting.** Wear. v.128, p.41-64, 1988b.
- TSURUDA T., DA MOTA P., 2010 “**Influência Do Pré-Furo Na Resistência À Tração De Roscas Fabricadas Com Macho De Corte Em Máquina Cnc**”;
- VIANELLO, P. A. **Análise da temperatura e do torque no rosqueamento interno do ferro fundido cinzento com machos de corte.** 2017
- YUHARA, D. A. **Aplicação de revestimento PVD em ferramentas de corte.** 2000.
- ZHANG, B.; YANG, F.; WANG, J. **Fundamental aspects in vibration-assisted tapping.** J. Mater. Process. Technol. 132 (12) (2003) 345–352