

Monografia de Graduação

Construção e Análise de um Sistema de Aplicação de Ar Quente no Processo de Fresamento Frontal

José de Medeiros Leite Segundo

Natal, dezembro de 2011

JOSÉ DE MEDEIROS LEITE SEGUNDO

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE APLICAÇÃO DE AR QUENTE
NO PROCESSO DE FRESAMENTO FRONTAL**

**Trabalho de conclusão de curso 2
submetido à Universidade Federal do Rio
Grande do Norte como parte dos requisitos
para obtenção do título de Engenheiro
Mecânico.**

PROF. Dr. ANDERSON CLAYTON ALVES DE MELO

Orientador

Natal, 2011

JOSÉ DE MEDEIROS LEITE SEGUNDO

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE APLICAÇÃO DE AR QUENTE
NO PROCESSO DE FRESAMENTO FRONTAL**

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de

ENGENHEIRO MECÂNICO

sendo aprovado em sua forma final.

Data: ____/____/____

Anderson Clayton Alves de Melo - Orientador

BANCA EXAMINADORA

Anderson Clayton Alves de Melo – Presidente (UFRN)

Adilson José de Oliveira (UFRN)

Ulisses Borges Souto (UFRN)

Natal, 2011

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor.”

Johann Goethe

Dedico este trabalho aos meus pais José Medeiros e Lizete Maria, e às minhas irmãs Janine Medeiros e Jucielly Medeiros.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem ele nada seria possível.

Aos meus pais, pelo amor, dedicação, carinho e força. Sem eles não chegaria a lugar algum. Muito mais que pais, amigos com quem poderei contar em todas as fases de minha vida. Minha maior fortaleza.

A minha família, em especial minhas duas irmãs, Jucielly Medeiros e Janine Medeiros, com quem cresci e aprendi junto.

A minha namorada Mariana Azevedo, que sempre tem me dado apoio, amor e carinho, dividindo grandes momentos de minha vida.

Aos meus amigos com quem sempre posso contar para momentos bons e ruins de minha vida e estarão comigo sempre.

A minha prima Ingrid Leite e aos meus padrinhos Ilza Leite e Eudson Lacerda no grande apoio que me deram em minha vinda para Natal.

Aos meus companheiros de curso e amigos que fiz durante minha graduação, com quem vivi momentos inesquecíveis nesses últimos 5 anos.

Ao meu professor orientador Anderson Clayton Alves de Melo, pela dedicação que me proporcionou ao longo dessa jornada, pelos ensinamentos transmitidos, e pelas conversas como amigo, onde sempre estive procurando me mostrar os caminhos que irei encontrar em minha vida profissional.

Aos professores Adilson José de Oliveira e Ulisses Borges Souto, pela ajuda, incentivo e conhecimento transmitido. E também, por aceitarem o convite para participar de minha banca examinadora.

A todos os professores do departamento de Engenharia Mecânica, por toda a formação que me proporcionaram.

Ao amigo Ramsés Otto Cunha Lima pela parceria durante toda a jornada deste trabalho, sempre compartilhando ideias e conhecimentos.

Aos técnicos do Laboratório de Oficina Mecânica da UFRN, pela ajuda em diversos momentos no desenvolver do meu trabalho.

Ao Laboratório de Metrologia da UFRN, por ter me concedido serviços e equipamentos essenciais para o desenrolar do meu trabalho.

Ao Laboratório de Caracterização de Materiais da UFRN, por ter me possibilitado uso de estrutura e equipamentos.

Ao Programa de Recursos Humanos-ANP 14 pelo apoio financeiro.

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados, discussões e conclusões obtidas a partir da construção e análise de um sistema de aplicação de ar quente no processo de fresamento frontal.

O aparato foi construído com o objetivo de dar suporte ao trabalho de pesquisa do aluno do PPGEM/UFRN Ramsés Otto Cunha Lima, que teve como principal meta minimizar a formação de trincas térmicas em insertos de metal duro usados no processo de fresamento frontal. Construiu-se um bico difusor com uma geometria apropriada para soprar ar quente sobre a fase inativa da fresa. Para testar o sistema foi feita uma análise da distribuição de temperatura em três pontos distintos no bico difusor, e foram realizados ensaios de fresamento a seco, onde a temperatura do ar foi variada entre a temperatura ambiente, 100, 350 e 580 °C. Ao fim de cada bateria de ensaios foram feitas análises dos insertos em microscópio eletrônico de varredura. Durante a análise em MEV a principal variável observada foi o número de trincas térmicas geradas nos insertos.

A princípio, o sistema mostrou-se efetivo na redução das trincas térmica em questão, pois, para todas as situações onde houve aquecimento da fase inativa da fresa, houve uma diminuição na quantidade de trincas térmicas geradas.

Palavras-Chave: Fresamento frontal, Ar quente, Trincas térmicas, Metal duro.

ABSTRACT

This work presents results, discussions and conclusions obtained from the construction and analysis of a system used for application of hot air during face milling process.

The device has been designed for supporting the research developed by Ramsés Otto Cunha Lima, which had as main objective to reduce thermal cracks formation in cemented carbide tools used in milling process. In this case, a kind of “duck bill” (or diffuser nozzle) has been constructed in an appropriate design to blow hot air on the idle phase of a milling cutter. To assess the system an analysis of the temperature distribution at three different points on the “duck bill” was carried out. Besides, dry milling trials in three different temperatures from thermal blower were carried out (100, 350 e 580 °C). At the end of each series of milling trials, analysis of the inserts using a scanning electron microscope were carried out. The objective of these analysis were to determine the quantity of thermal cracks generated on the cutting tool wedge.

The system was effective in reducing the thermal cracks formation. For all situations where the hot air was applied, there was a decrease in the amount of the thermal cracks.

Keywords: Face milling, Hot air, Thermal cracks, Cemented carbide.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Processo de usinagem por fresamento	5
2.1. 2. Principais grandezas físicas e geométricas no processo de corte por fresamento ...	7
2.2. Trinca de origem térmica no fresamento	10
3. EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E METODOLOGIA	15
3.1. Materiais e metodologia.....	15
3.2. Metodologia	25
3.2.1 Pré-testes.....	25
3.2.2. Desenvolvimento de programa da máquina em código “G”	26
3.2.3. Ensaio de fresamento	27
3.2.3 Preparação dos insertos para análise no MEV	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1. Pré-testes	32
4.2. Resultados dos ensaios de fresamento e análises de MEV	35
4.2.1 Distribuição de temperatura durante os ensaios.....	35
4.2.2 Análise da quantidade de trincas térmicas.....	38
5. CONCLUSÕES	44
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46

7. REFERÊNCIAS.....	48
8. ANEXOS.....	51
8.1. Resultado dos ensaios de dureza das barras usadas no fresamento.....	51
8.2. Programa usado para limpeza das barras.	52
8.3. Programa usado para os ensaios.....	53
8.4. Certificados de calibração dos termopares.....	57

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fases ativa e inativa no processo de fresamento tangencial discordante.	6
Figura 2 - Principais operações de fresamento.	7
Figura 3 - Profundidade de corte a_p , penetração de trabalho a_e e penetração de avanço a_f no fresamento.	10
Figura 4 - Variação cíclica da temperatura de corte no processo de fresamento.	11
Figura 5 - Distribuição de temperatura e de tensões num inserto durante o processo de fresamento.	12
Figura 6 – (a) menor penetração de trabalho, (b) penetração de trabalho intermediária, (c) maior penetração de trabalho.	13
Figura 7 – Centro de Usinagem Romi D600	15
Figura 8 – Soprador térmico Bosch GHG 630 DCE	16
Figura 9 – Desenho do bico difusor e algumas de suas dimensões.	16
Figura 10 – (a) Construção e montagem do bico difusor. (b) Bico difusor pronto.	17
Figura 11 – (a) Suporte para fixar hastes que sustentam o soprador. (b) Soprador fixado à máquina e indicação de possibilidades de ajustes.	18
Figura 12 – Barra em aço ABNT 1045.	18
Figura 13 – (a) Indicação do local de retirada das amostras de aço ABNT 1045 em pedaço retirado da seção transversal da barra. (b) lixamento do aço para preparo de amostra.	19

Figura 14 – Microscópio usado para análise da micrografia do aço.	19
Figura 15 – Microestrutura do aço ABNT 1045 usado nos ensaios. (a) aumento de 1000X. (b) aumento de 200X.	20
Figura 16 – Processo de ensaio de dureza do tipo vickers.	21
Figura 17 – Ferramenta de metal duro usada para os ensaios.	21
Figura 18 – Processo de corte da ferramenta de metal duro.	22
Figura 19 – Ferramenta de metal duro embutida em resina, após o corte.	22
Figura 20 – Ferramenta cortada e embutida, preparada para análise.	23
Figura 21 – Ferramenta sendo analisada em MEV.	24
Figura 22 – Fotomicrografia da seção transversal do inserto, mostrando substrato e dupla camada de revestimento (TiCN e Al ₂ O ₃).	24
Figura 23 – Fresa usada durante os ensaios.	25
Figura 24 – Pontos de monitoramento de temperatura na saída do bico difusor, pontos P1, P2 e P3.	26
Figura 25 - (a) Indicação dos cinco pontos pré-definidos na barra. (b) Execução do ensaio com simultâneo monitoramento de temperatura.	28
Figura 26 - Monitoramento da temperatura na saída do bico.	29
Figura 27 – (a) aparelho de ultra-som. (b) Ferramentas após processo de limpeza.	30
Figura 28 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, à temperatura ambiente.	33

Figura 29 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, para temperatura ajustada no soprador de 100°C.....	34
Figura 30 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, para temperatura ajustada no soprador de 350°C.....	34
Figura 31 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, para temperatura ajustada no soprador de 580°C.....	34
Figura 32 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição a seco, em função da posição da fresa em relação à barra de teste. Soprador térmico ajustado para temperatura ambiente. .	36
Figura 33 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição de ensaio a seco, em função da posição da fresa em relação à barra de teste. Soprador térmico ajustado para temperatura de 100°C.....	36
Figura 34 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição de ensaio a seco, em função da posição da fresa em relação à barra. Soprador térmico ajustado para temperatura de 350°C.	37
Figura 35 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição de ensaio a seco, em função da posição da fresa em relação à barra de teste usinada. Soprador térmico ajustado para uma temperatura de 580°C.....	37
Figura 36 - Quantidade de trincas térmicas observada após $L_f = 1600$ mm.	39
Figura 37 - Quantidade de trincas térmicas observada após $L_f = 4800$ mm.	39
Figura 38 - Quantidade de trincas térmicas observada após $L_f = 8000$ mm.	40
Figura 39 - Quantidade de trincas térmicas observada após $L_f = 11200$ mm.....	40
Figura 40 - Análise de trincas térmicas para a condição STA, após $L_f = 8000$ mm.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições adotadas nos ensaios.....	27
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 - Velocidade de Corte	8
Equação 2.2 - Velocidade de avanço	8
Equação 2.3 - Avanço por dente.....	8
Equação 2.4 - Velocidade efetiva de corte.....	9

SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

a_e	Penetração de trabalho
a_p	Profundidade de corte ou largura de usinagem
CNC	Comando Numérico Computadorizado
f_z	Avanço por dente (mm/dente)
L_f	Percurso de avanço
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
N	Rotação da fresa (RPM)
NUPP-ER	Núcleo de Pesquisas em Petróleo e Energias Renováveis
PPGEM	Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica
RPM	Rotações por minuto
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
VB_B	Desgaste de flanco médio
V_c	Velocidade de corte (m/min)
V_f	Velocidade de avanço (mm/min)
Z	Número de dentes da fresa
ΔT	Variação de temperatura

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo introdutório apresenta uma breve contextualização do problema encontrado no processo de fresamento que motivou o desenvolvimento do presente trabalho. Após isto, é apresentado na sequência o objetivo do trabalho, a forma como o este foi desenvolvido e por fim, como o trabalho está estruturado.

Dentre os processos de usinagem aplicados na indústria, o fresamento merece destaque, devido à sua versatilidade na produção de geometrias diversas, além de garantir elevadas taxas de remoção de material.

O fresamento caracteriza-se por ser um processo de corte interrompido, ou seja, durante cada giro da fresa, cada aresta passa por uma fase ativa, onde há remoção de material e por uma fase inativa, onde não há remoção de material. Isto submete a ferramenta de corte à flutuação de cargas, tanto de origem térmica quanto de origem mecânica, o que promove a fadiga termomecânica do material da ferramenta, levando ao aparecimento de trincas. Tais trincas motivam o desenvolvimento de outras avarias e desgaste, o que reduz significativamente a vida útil da ferramenta (CUNHA LIMA, 2011).

O presente trabalho propôs a construção e análise de um sistema para aquecimento da fase inativa da fresa, através da aplicação de ar quente por meio de um soprador térmico. O objetivo foi reduzir a diferença entre as temperaturas máxima e mínima (fator ΔT) a cada ciclo de giro da ferramenta.

Estudos anteriores foram feitos na mesma linha de pesquisa, com resultados positivos, porém usando técnicas distintas, como aquecimento da ferramenta de corte através de tocha de fogo ou resistência elétrica e em torneamento interrompido.

Para os ensaios de fresamento do presente trabalho, o sistema desenvolvido foi instalado em um centro de usinagem. Foram feitas diversas baterias de testes, cada uma com uma temperatura específica. O material usado para os ensaios foram barras em aço ABNT 1045.

Após cada bateria de ensaios de fresamento, as ferramentas foram conduzidas para serem analisadas em um microscópio eletrônico de varredura. Neste caso, foi feita a contagem do número de trincas térmicas geradas em cada aresta de corte das ferramentas testadas, tendo como finalidade verificar se o aquecimento foi ou não efetivo na redução da formação dessas trincas.

Salienta-se que o conjunto de aparatos e procedimentos apresentados aqui, foram realizados com o objetivo maior de subsidiar o desenvolvimento do trabalho de mestrado do

aluno do programa de pós-graduação em engenharia mecânica da UFRN, Ramsés Otto Cunha Lima.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais temas abordados neste trabalho, ou seja, o processo de fresamento e as trincas térmicas.

No capítulo 3, são citados os equipamentos e materiais usados no trabalho, e a metodologia empregada.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões.

No capítulo 6 são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

No capítulo 7 as referências bibliográficas.

No capítulo 8 são apresentados os anexos.

CAPÍTULO 2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo se inicia com os principais conceitos, definições e características do processo de usinagem por fresamento. Em seguida, são apresentadas as principais operações de fresamento, além das grandezas físicas envolvidas no processo.

Com relação às trincas térmicas, apresenta-se um breve embasamento teórico sobre o assunto, suas causas e consequências. Além disso, são apresentados resultados de alguns estudos já realizados sobre o assunto.

2.1. Processo de usinagem por fresamento

Segundo Ferraresi (1977), o fresamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer, com o auxílio de ferramentas, geralmente multicortantes, denominadas fresas. Para tanto, a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se deslocam segundo uma trajetória qualquer.

Fresa é definida por Stemmer (2005) como sendo ferramentas rotativas de usinagem, providas usualmente de múltiplos gumes (dentes cortantes) dispostos ao redor de um eixo, com a função de remover intermitentemente material da peça.

O processo de usinagem por fresamento se destaca pela sua capacidade de remoção de cavacos, o que possibilita grande produtividade, pelo grau de acabamento possível de ser obtido, e pela sua versatilidade, o que garante a obtenção de uma grande variedade de formas. Outra vantagem do fresamento é a facilidade no controle dos cavacos gerados, que se apresentam com a forma de uma vírgula. Por ser um processo altamente versátil, o fresamento tem aplicação em diversas indústrias, desde a naval até a de implantes ortodônticos.

O fresamento é um processo de corte interrompido, ou seja, cada aresta de corte que compõe a fresa, durante um giro da mesma, passa por um ciclo ativo, onde há remoção de material, e por um ciclo inativo, onde não há remoção de material, como pode ser visto na figura 1.

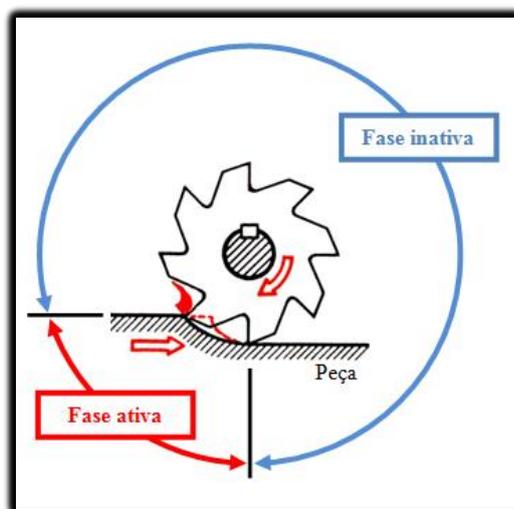


Figura 1 - Fases ativa e inativa no processo de fresamento tangencial discordante.

Fonte: Disponível em: <<http://html.rincondelvago.com/fresas-y-fresadoras.html>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

Esta característica interrompida do fresamento é apontada como a principal causa da formação das trincas térmicas nas ferramentas de corte, tema deste trabalho e que será discutida em maiores detalhes no item 2.2.

Quanto à aplicação do processo de fresamento, em muitos casos ele é utilizado na usinagem de superfícies planas – como no caso do faceamento – porém há aumento significativo de usinagem de outras formas mais complexas, principalmente nos centros de usinagem com cinco eixos e máquinas multitarefas (SANDVIK COROMANT, 2005).

Os processos de fresamento podem ser distinguidos de acordo com os seguintes fatores: tipo de superfície obtida, cinemática dos movimentos e forma da ferramenta (MACHADO et al., 2009). Na figura 2, são mostradas as principais operações de fresamento.

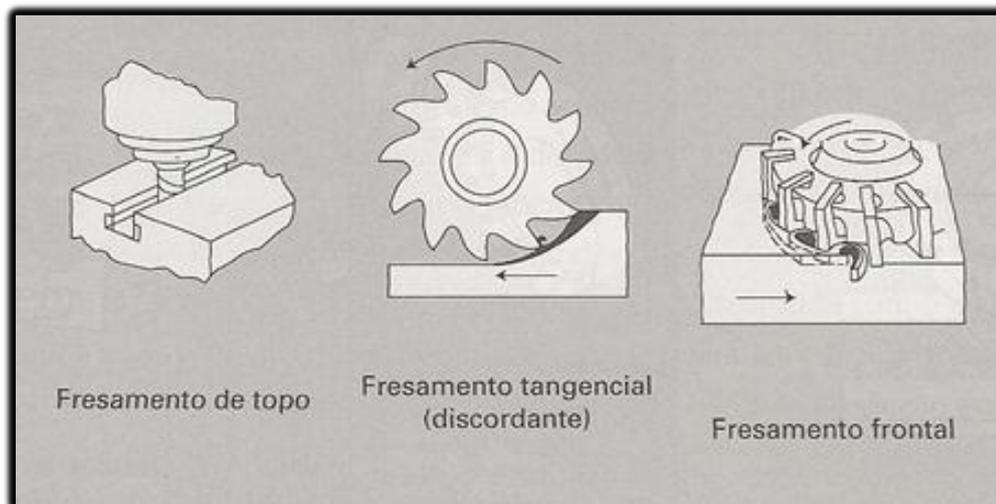


Figura 2 - Principais operações de fresamento.

Fonte: MACHADO et al., 2009.

O processo de fresamento usado no presente trabalho foi o frontal. No fresamento frontal, a superfície usinada resulta da ação combinada dos gumes localizados na periferia e na face frontal da fresa, estando esta geralmente posicionada em um ângulo reto em relação ao eixo da ferramenta. A superfície fresada é plana, sem qualquer relação com o contorno dos dentes, salvo no fresamento contra um ressalto (STEMMER, 2005). O processo de fresamento frontal proporciona elevada taxa de remoção de material, de forma que seu uso é preferível sempre que possível.

2.1. 2. Principais grandezas físicas e geométricas no processo de corte por fresamento

Tais grandezas são normalizadas pela NBR 6162 / 1989 Movimentos e Relações Geométricas na Usinagem dos Metais. A seguir são apresentadas algumas definições importantes relacionadas ao processo de fresamento.

Velocidade de corte: A velocidade de corte " V_c " é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante, segundo a direção e sentido de corte. É encontrada através da equação 2.1.

$$V_c = \frac{\pi.D.n}{1000} \quad (2.1)$$

Onde:

V_c , velocidade de corte (m/min);

D , diâmetro da fresa (mm);

n , rotação da fresa (RPM).

Avanço por rotação: O avanço por rotação “ f ” é o percurso de avanço em cada volta da fresa.

Velocidade de avanço: A velocidade de avanço “ V_f ” é a velocidade instantânea da ferramenta segundo a direção e sentido de avanço, pode ser calculada pela equação 2.2.

$$V_f = f.n \quad (2.2)$$

Onde:

V_f , velocidade de avanço (mm/min);

f , avanço (mm/rotação);

n , rotação da fresa (RPM).

Avanço por dente: O avanço por dente designado por “ f_z ” é o percurso de avanço de cada dente da fresa, medido na direção de avanço da ferramenta, e correspondente à geração de duas superfícies consecutivas em usinagem. O avanço por dente está relacionado com o avanço através equação 2.3.

$$f_z = \frac{f}{Z} \quad (2.3)$$

Onde:

f_z , avanço por dente (mm/dente);

f , avanço (mm/rotação);

z , número de dentes da fresa.

Velocidade efetiva de corte: A velocidade efetiva de corte “ v_e ” é a velocidade instantânea do ponto de referencia da aresta cortante, segundo a direção efetiva de corte. É calculada vetorialmente, conforme apresentado pela equação 2.4.

$$\vec{v}_e = \vec{v}_c + \vec{v}_f \quad (2.4)$$

Penetração de trabalho: A penetração de trabalho “ a_e ” é a penetração da ferramenta em relação à peça, medida no plano de trabalho e numa direção perpendicular à direção de avanço, como pode ser visto na figura 3.

Profundidade de corte ou largura de usinagem: Representado por “ a_p ”, é a profundidade ou largura de penetração da ferramenta na peça, medida numa direção perpendicular ao plano de trabalho (Figura 3).

Penetração de avanço: É a grandeza de penetração da ferramenta medida no plano de trabalho e na direção de avanço, é designada por “ a_f ”, como pode ser visto na figura 3.

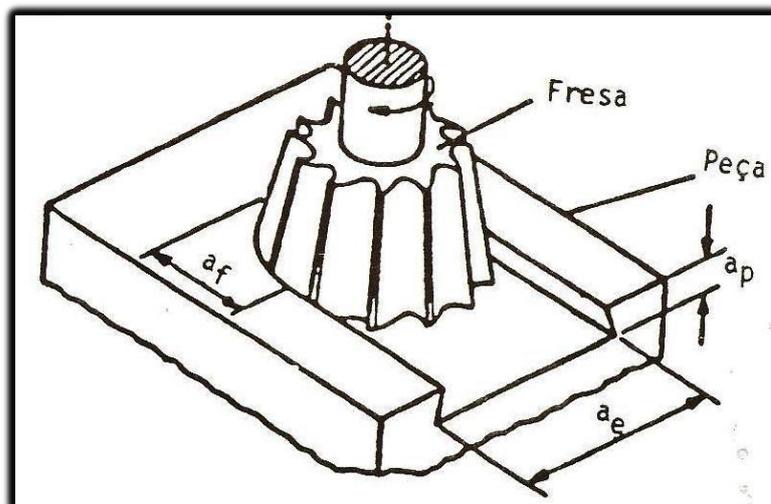


Figura 3 - Profundidade de corte a_p , penetração de trabalho a_e e penetração de avanço a_f no fresamento.

Fonte: STEMMER, 2005.

2.2. Trinca de origem térmica no fresamento

É de grande importância o estudo de fenômenos que levam a deterioração das ferramentas de corte, pois assim se tornam possíveis ações para tentar reduzir a taxa de desgaste e/ou avarias.

Apesar do custo das ferramentas de corte não ser tão alto quando comparando ao custo total de usinagem, se as ferramentas falham com uma frequência elevada, há também a necessidade de parada do processo para troca ou afiação, o que conduz a uma queda na produtividade.

A deterioração de ferramentas de corte em processos de usinagem pode ser classificada em: avaria, desgaste e deformação plástica (TRENT & WRIGHT, 2000 *apud* MACHADO, 2009).

Machado (2009) define avaria como sendo um fenômeno que ocorre de forma repentina e inesperada, causado pela quebra, lascamento ou trinca da aresta de corte.

A quebra ou lascamento conduz a uma perda considerável de material da aresta, ou até a destruição total da ferramenta. A trinca normalmente não gera uma perda imediata de

material. A formação de trincas leva como consequência ao aparecimento de sulcos relativamente profundos, o que acelera o processo de desgaste das ferramentas de corte.

O fato de no processo de usinagem por fresamento o corte se dá de forma interrompida, faz com que a aresta da ferramenta seja submetida a solicitações de origem mecânica (devido entrada e saída desta da peça) e térmica, que ocorre pela flutuação da temperatura durante cada revolução da ferramenta, provocando um aquecimento da ferramenta quando esta está removendo material e um resfriamento desta quando a mesma está passando pela fase inativa do ciclo (MACHADO, 2009).

Enquanto no corte contínuo, ao se iniciar o processo, a aresta passa por um aquecimento e a partir daí assume um valor praticamente constante de temperatura, no corte interrompido as temperaturas não assumem um comportamento constante. A temperatura cresce até um ponto máximo que representa o fim da fase ativa e decresce até uma temperatura mínima que ocorre ao fim da fase inativa, conforme mostra a figura 4, onde as curvas “a” e “b” representam o comportamento térmico para corte contínuo e para o corte interrompido, respectivamente.

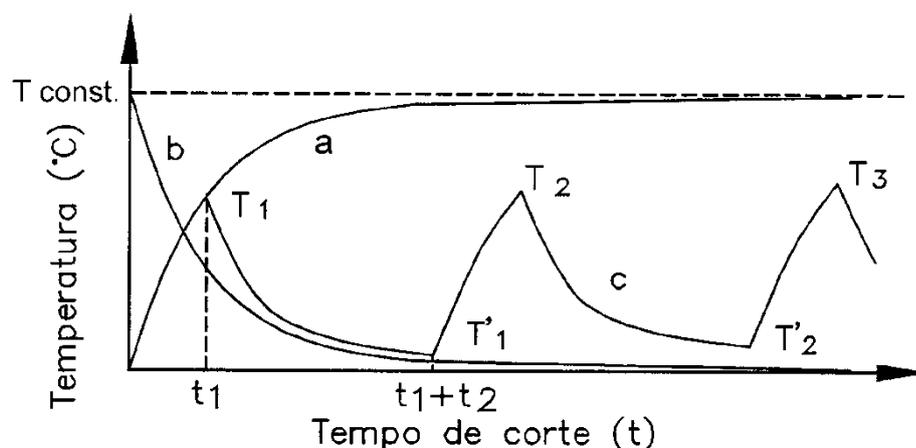


Figura 4 - Variação cíclica da temperatura de corte no processo de fresamento.

Fonte: PALMAI, 1987.

No processo de corte interrompido as flutuações cíclicas da temperatura na interface cavaco/ferramenta, levam a uma modificação também cíclica da distribuição de tensão nas camadas superficiais e subsuperficiais da ferramenta de corte, o que pode levar à formação de trincas de origem térmica. Ferraresi (1977) explica o fenômeno da seguinte maneira:

A Figura 5a apresenta a curva de distribuição da temperatura em relação à profundidade “x”, a partir do ponto de contato cavaco-ferramenta. A camada superficial, a uma temperatura bastante alta, se dilata. Porém, as camadas subsequentes, a temperaturas inferiores, terão uma dilatação bem menor. Como consequência, tais camadas impedirão o processamento de uma dilatação maior na camada superficial. Desta forma, originam-se na camada superficial (camada de contato cavaco-ferramenta) tensões de compressão (Figura 5b). Em consequência disto, haverá a determinada distância “x” da superfície de contato, tensões de tração. Num instante de tempo seguinte, com a variação da temperatura de corte, isto é, com o resfriamento da camada de contato (devido à fase inativa), essa camada estará submetida à tração (processo inverso à da fase ativa), enquanto que as camadas subsequentes passarão a ser solicitadas à compressão, e, em função do perfil da temperatura internamente, passa novamente à tensão de tração, a partir de uma determinada distância da superfície de saída (Figuras 5c e 5d) (FERRARESI, 1977, p.354).

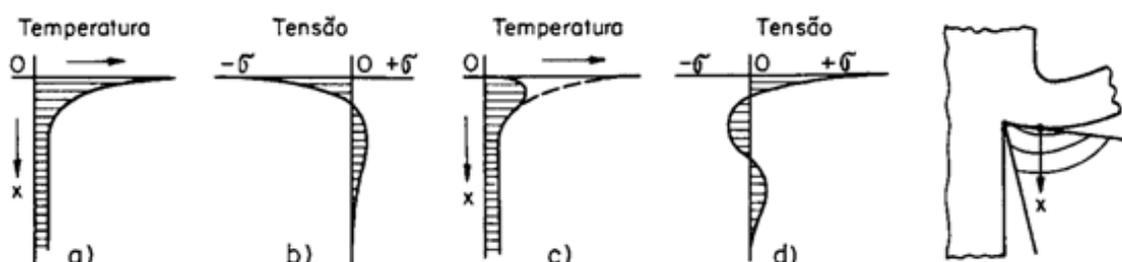


Figura 5 - Distribuição de temperatura e de tensões num inserto durante o processo de fresamento.

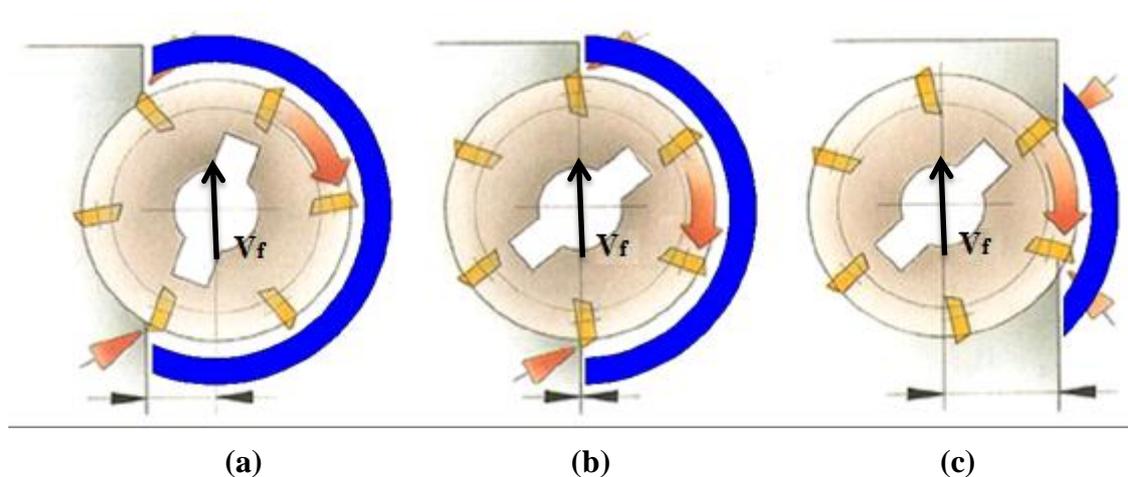
Fonte: FERRARESI, 1977

A partir da afirmação anterior fica evidenciado que o aparecimento das trincas de origem térmicas ocorre pela diferença de temperatura entre as fases ativa e inativa da fresa. Essa diferença de temperatura foi denominada por Melo (2001) como “fator ΔT ”.

Com o objetivo de verificar a influência da diferença de temperatura entre as fases ativa e inativa no processo de formação de trincas térmicas, Lehewald (1963 *apud* MELO, 2001) construiu um dispositivo em que num processo de torneamento interrompido a ferramenta de metal duro foi pré-aquecida por meio de uma resistência elétrica até as temperaturas de 300 e 400°C. Constatou-se que o número de trincas térmicas geradas diminuiu com o aumento da temperatura de pré-aquecimento.

Experimento semelhante ao realizado por Lehewald foi feito por Shinozaki (1962) e Vasilko (2007 *apud* CEP *et al.*, 2009) sendo que estes usaram tocha de fogo para aquecer a região da fase inativa no processo de corte. Melo *et al.* (2006) evidenciou também a influência do “fator ΔT ” na formação de trincas térmicas. A partir de um experimento onde num

processo de fresamento ele variou a penetração de trabalho, de forma que a relação de tempo entre as fases ativa e inativa variavam, com conseqüente variação do “fator ΔT ”. Neste caso, quanto maior a penetração de trabalho, maior o tempo ativo e menor o inativo, como se pode constatar através da figura 6. Essa redução do tempo inativo reduziria o valor do “fator ΔT ” e, conseqüentemente o número de trincas formadas para um mesmo tempo de usinagem.



■ Fase inativa no processo de fresamento

Figura 6 – (a) menor penetração de trabalho, (b) penetração de trabalho intermediária, (c) maior penetração de trabalho.

Fonte: Modificado a partir do Manual Técnico de Usinagem SANDVIK COROMANT, 2005.

O uso de fluido de corte também é um importante fator no processo de formação e evolução de trincas térmicas. Melo (2001) constatou que o uso de fluido de corte em abundância pode acelerar o processo de formação e evolução das trincas térmicas, pois a redução de temperatura provocada pelo fluido de corte ocorre de forma muito brusca e acentuada, maximizando assim o chamado “fator ΔT ”.

Baseado nos estudos anteriores o presente trabalho propôs a construção de um sistema de aplicação de ar quente na fase inativa de ferramentas de metal duro durante um processo de fresamento frontal, com o intuito de minimizar a formação das trincas térmicas.

A seguir, apresentam-se os materiais e equipamentos usados neste trabalho e a metodologia aplicada para o desenvolvimento do mesmo.

CAPÍTULO 3
EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E METODOLOGIA

3. EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E METODOLOGIA

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os equipamentos e materiais usados durante os ensaios e descrever como foi realizado todo o procedimento experimental.

3.1. Materiais e metodologia

Todos os ensaios foram realizados em um centro de usinagem, modelo D600, potência de 14,71 KW e rotação máxima de 10.000 RPM, fabricado pela ROMI (figura 7). O equipamento pertence ao Laboratório de Oficina Mecânica do Núcleo de Tecnologia Industrial da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.



Figura 7 – Centro de Usinagem Romi D600

Fonte: Registrado pelo autor.

Para fornecimento do ar quente aplicado na fresa, utilizou-se um soprador térmico modelo BOSCH GHG 630 DCE, de potência de 2000 W (220 V), com três níveis de vazão de ar, (150, 300 e 500 litros por minuto) e faixa de temperatura de 50°C a 630°C, com resolução de 5°C (ver figura 8). Salienta-se que todos os ensaios foram realizados com uma vazão fixa de 500 litros por minuto.



Figura 8 – Soprador térmico Bosch GHG 630 DCE

Fonte: Registrado pelo autor

Como pode ser visto na figura 8, o soprador térmico libera o ar através de uma saída de seção circular, de forma que o ar quente não abrange toda a fase inativa da fresa de forma adequada. Visando melhorar a distribuição do ar quente sobre as ferramentas contidas na fresa, foi desenvolvido um bico, denominado “bico difusor” (figuras 9 e 10) e este foi colocado na saída do soprador térmico.

O bico foi construído de forma artesanal, a partir de chapas em alumínio, de espessura 0,5 mm, tendo dimensões conforme figura 9 abaixo.

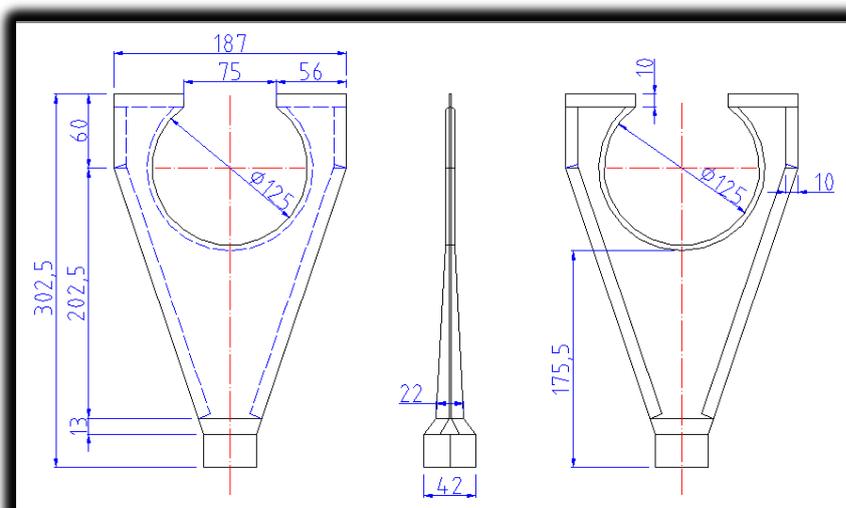


Figura 9 – Desenho do bico difusor e algumas de suas dimensões.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para um melhor encaixe na saída do soprador, o bico foi confeccionado para ser adaptado sobre outro bico, sendo este comercialmente encontrado, com comprimento de aproximadamente 60 mm.

Tendo a preocupação com possíveis cavacos que pudessem vir a entrar no soprador e gerar algum tipo de dano ao equipamento, usou-se uma tela metálica sobre o orifício do bico, conforme mostrado na figura 10a.

Para fixação do bico no soprador foi usada uma abraçadeira metálica.

Como pode ser visto na figura 10b o bico difusor possui geometria de saída, que possibilita envolver a fresa, distribuindo o ar ao longo de toda a fase inativa.

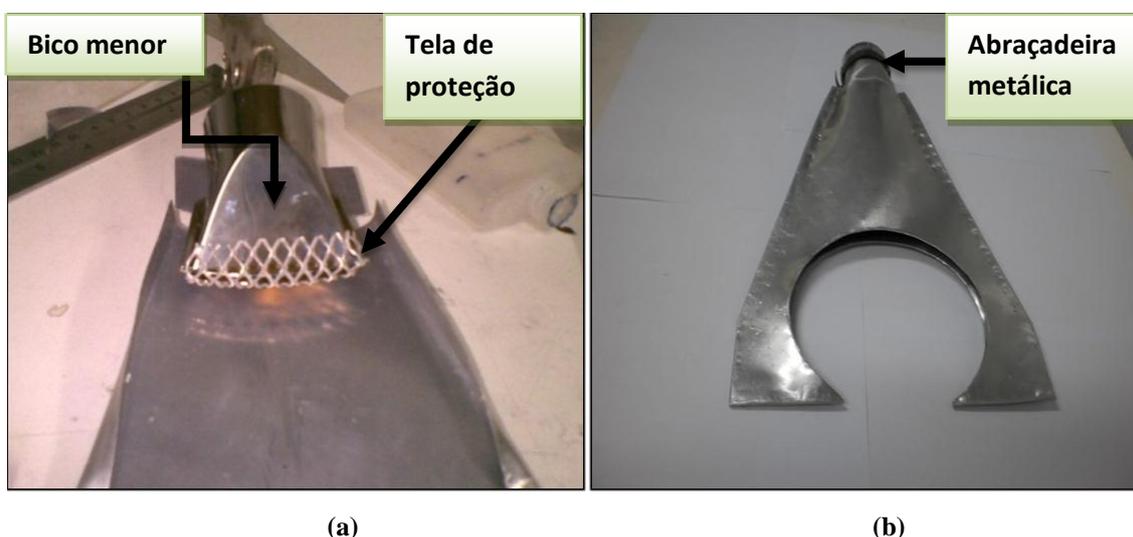


Figura 10 – (a) Construção e montagem do bico difusor. (b) Bico difusor pronto.

Fonte: Registrado pelo autor.

Para a montagem do bico difusor no centro de usinagem, confeccionou-se um dispositivo que possibilitasse a sustentação do soprador térmico, permitindo assim que o soprador pudesse se mover junto ao eixo árvore da máquina. Para isto, foi confeccionado um suporte, a partir de uma cantoneira em aço, de perfil “L”, de forma que o suporte pudesse ser preso à estrutura do cabeçote vertical da máquina, através de parafusos já presentes nesta (ver figura 11a). Para que o soprador pudesse ser preso no referido suporte, foram usinadas duas hastes em aço, sendo uma presa ao suporte e a outra presa ao soprador térmico. As duas hastes foram interligadas por meio de uma articulação. O uso de tal articulação possibilitou que o sistema pudesse ser ajustado conforme necessário, como pode ser visto na figura 11b.

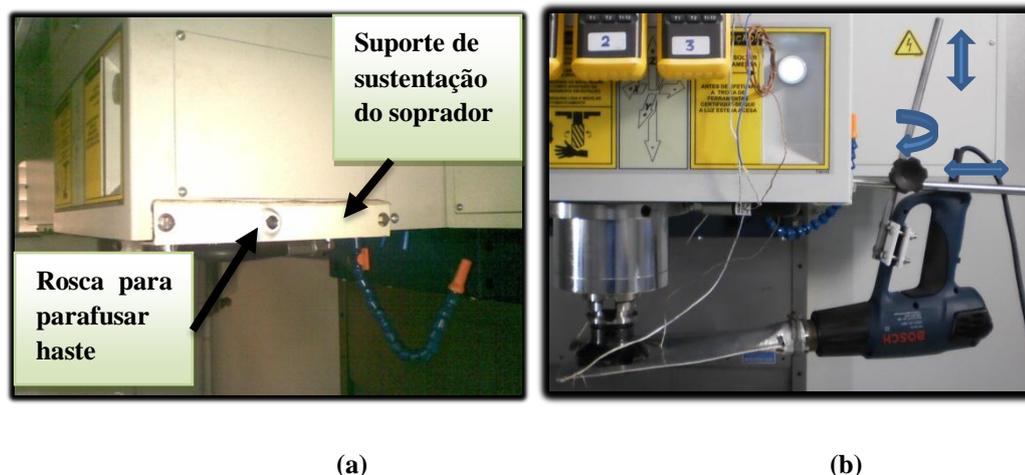


Figura 11 – (a) Suporte para fixar hastes que sustentam o soprador. (b) Soprador fixado à máquina e indicação de possibilidades de ajustes.

Fonte: Registrado pelo autor.

O material usado durante os ensaios foram barras de aço ABNT 1045 com seção transversal quadrada de 2 ½” (63,5 mm) e comprimento de 400 mm, como pode ser visto na figura 12.



Figura 12 – Barra em aço ABNT 1045.

Fonte: Registrado pelo autor.

Tendo como objetivo se certificar que o aço da barra de fato possuía as características informadas pelo fornecedor, foram feitas análises para a caracterização deste. Neste caso, foram retiradas três amostras de aproximadamente 12 x 12 mm da região central da barra, conforme figura 13a.

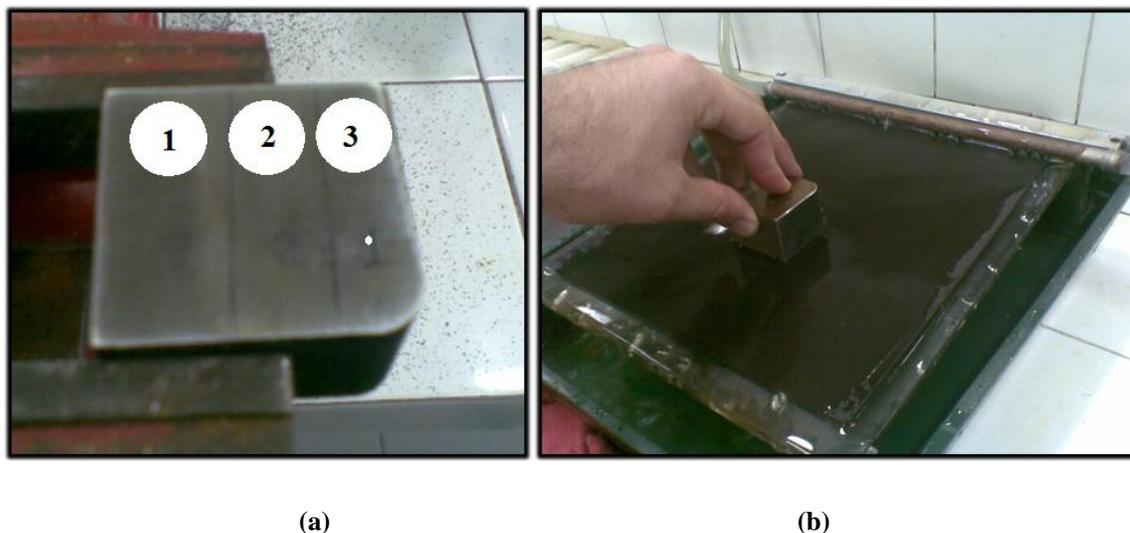


Figura 13 – (a) Indicação do local de retirada das amostras de aço ABNT 1045 em pedaço retirado da seção transversal da barra. (b) lixamento do aço para preparo de amostra.

Fonte: Registrado pelo autor.

Como as amostras retiradas eram muito pequenas para manipulação, estas foram “embutidas” em resina do tipo epóxi. Após secagem, as amostras passaram por uma sequência de lixas, desde uma de granulação 80 até uma lixa de granulação 1200. Salienta-se que todo o processo de lixamento foi realizado na presença de água corrente (figura 13b). Após o lixamento, foi feito o polimento com alumina em uma politriz. Por fim, procedeu-se o ataque químico com Nital a 5%. Em seguida as amostras foram levadas ao microscópio óptico Olympus GX51 pertencente ao Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte para análise (figura 14).



Figura 14 – Microscópio usado para análise da micrografia do aço.

Fonte: Registrado pelo autor.

Na análise em microscópio ótico foram capturadas imagens com lentes de aumento de 200 vezes e 1000 vezes, conforme figuras 15b e 15a respectivamente. Nas imagens obtidas constatou-se se tratar realmente da microestrutura de um aço hipoeutetóide como o ABNT 1045, com presença de perlita e ferrita proeutetóide. (COLPAERT, 2008).

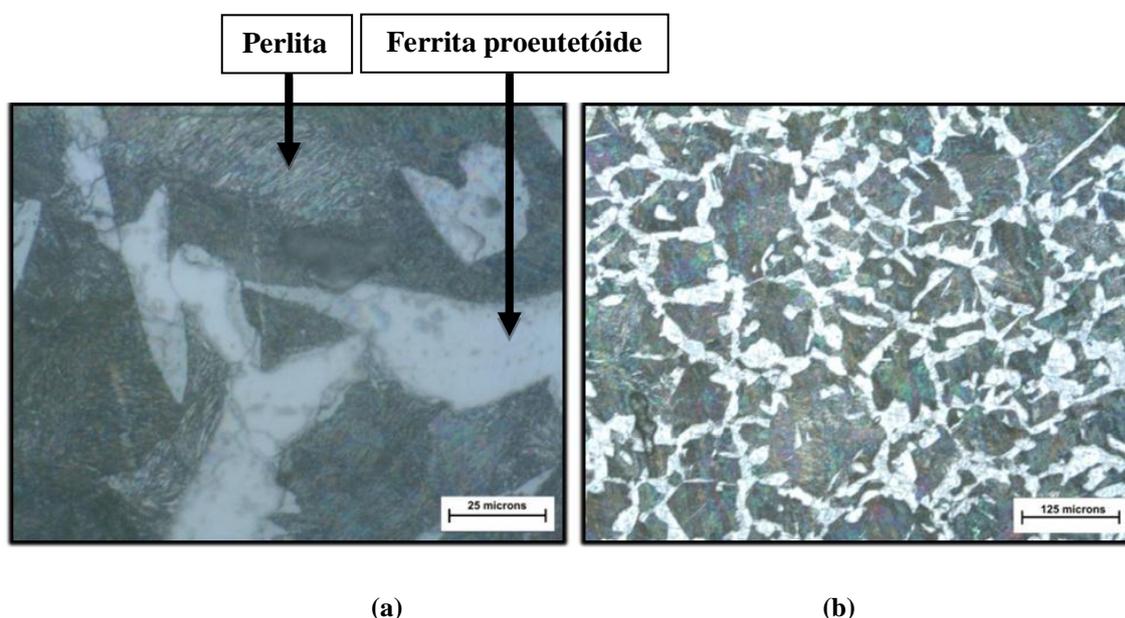


Figura 15 – Microestrutura do aço ABNT 1045 usado nos ensaios. (a) aumento de 1000X. (b) aumento de 200X.

Fonte: Registrado pelo autor.

Após análise microscópica, as amostras foram levadas até um durômetro para ensaio de dureza Vickers (figura16). Neste caso, as três amostras foram submetidas a cargas de 49,03 N e por um tempo de 15 segundos. Cada ensaio foi repetido cinco vezes, e partir daí fornecido o valor médio de dureza. Foram obtidas durezas médias de 182,17; 184,81 e 199,84 HV5 para amostras 1, 2 e 3 respectivamente conforme anexo 8.1. Fazendo uma média para os três valores encontrados, encontrou-se uma dureza de 189 HV5, o que se enquadra na faixa de dureza do ABNT 1045, que é de aproximadamente 188 HV5 (MATWEB, 2011).

Assim, as características de microestrutura e dureza encontradas nas amostras, possibilitaram afirmar que o aço trabalhado de fato se tratava de um ABNT 1045.



Figura 16 – Processo de ensaio de dureza do tipo vickers.

Fonte: Registrado pelo autor.

Os insertsos usados durante os ensaios de fresamento foram de metal duro, fabricados pela Sandvik Coromant (R245-12 T3 M-PM) da classe ISO GC 4230 (figura 17). O inserto usado possui tripla camada de revestimento de TiCN, Al_2O_3 e TiN, respectivamente da camada mais interna para a mais externa. Na superfície de saída, a camada de TiN é removida por um processo de jateamento.

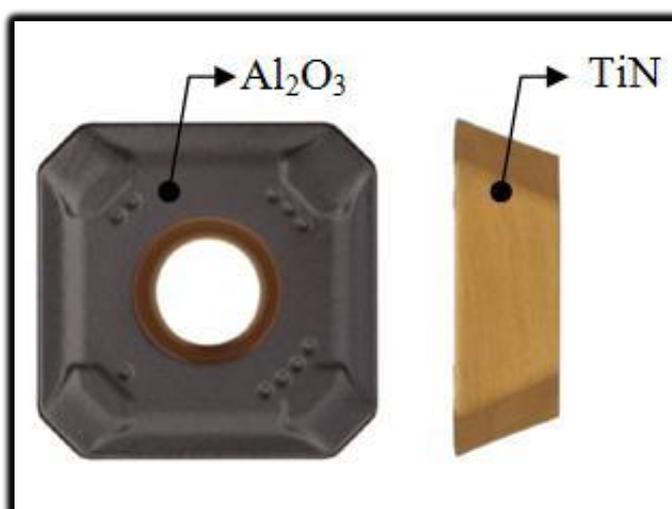


Figura 17 – Ferramenta de metal duro usada para os ensaios.

Fonte: Registrado pelo autor.

Tendo como objetivo observar a espessura das camadas de revestimento do inserto, realizou-se um corte na seção transversal da ferramenta. Para isto, um inserto novo foi embutido em resina epóxi. Após isso, este foi cortado conforme mostra a figura 18. Para tanto foi usado um aparelho Cut-Off, modelo LABCUT 1010, com disco diamantado, modelo Diamond Wafering Blade, de diâmetro 5 polegadas. O disco foi submetido a uma rotação de 195 RPM, o processo de corte demandou cerca de 5 horas e 30 minutos.

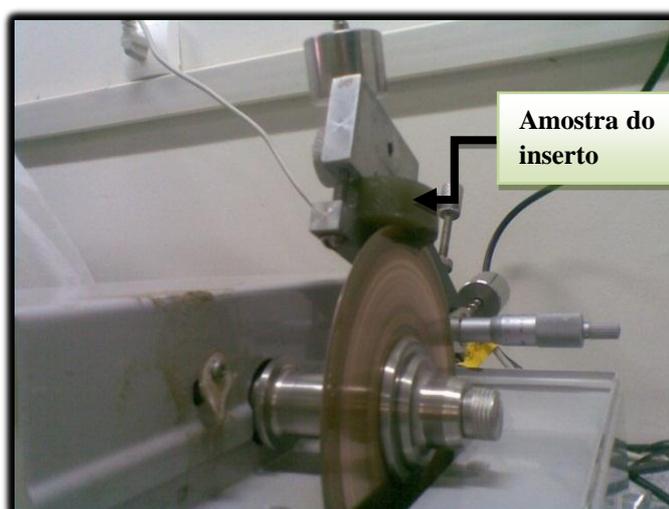


Figura 18 – Processo de corte da ferramenta de metal duro.

Fonte: Registrado pelo autor.

A figura 19 mostra o inserto após o corte.



Figura 19 – Ferramenta de metal duro embutida em resina, após o corte.

Fonte: Registrado pelo autor.

Após cortada a amostra foi lixada na presença de água e pasta de diamante.

Para o ataque químico foi usada uma solução de Murakami (10 g de ferricianeto de potássio, 10 g de hidróxido de potássio e 100 ml de água). Esta solução foi preparada no Laboratório de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Em seguida, revestiu-se a mesma com uma fina camada de ouro (figura 20), para análise no MEV.



Figura 20 – Ferramenta cortada e embutida, preparada para análise.

Fonte: Registrado pelo autor.

A medição das camadas de revestimento foi feita no microscópio eletrônico de varredura Philips XL30 ESEM pertencente ao Núcleo de Pesquisas em Petróleo e Energias Renováveis (NUPP-ER) da UFRN (figura 21).

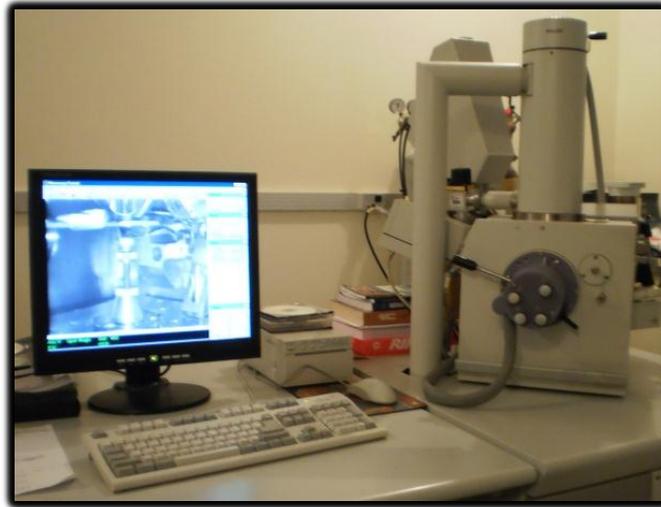


Figura 21 – Ferramenta sendo analisada em MEV.

Fonte: Registrado pelo autor.

Conforme pode ser visto figura 22, foram observadas duas camadas de revestimento na superfície de saída, TiCN e Al_2O_3 . As camadas de revestimento apresentaram espessura de aproximadamente $3\mu\text{m}$ cada.

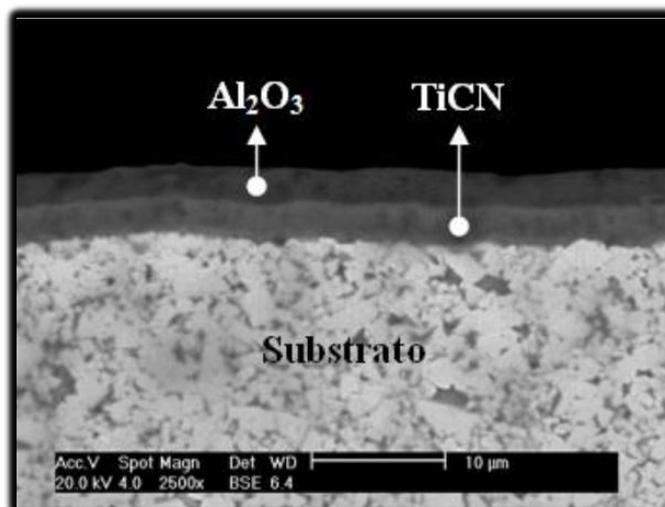


Figura 22 – Fotomicrografia da seção transversal do inserto, mostrando substrato e dupla camada de revestimento (TiCN e Al_2O_3).

Fonte: Registrado pelo autor.

A fresa usada nos ensaios foi uma modelo R245-080Q27-12M, da Sandvik Coromant, com diâmetro de 80 mm e capacidade para 6 insertos. Vale salientar que para cada ensaio foi usado somente um inserto, conforme mostrado na figura 23.



Figura 23 – Fresa usada durante os ensaios.

Fonte: Registrado pelo autor.

3.2. Metodologia

A metodologia deste trabalho foi dividida em três partes: pré-testes; ensaios de fresamento e análises microscópicas.

3.2.1 Pré-testes

Tendo como finalidade verificar o funcionamento do bico difusor, montou-se o aparato para pré-testes. Com a fresa posicionada no eixo árvore do centro de usinagem, montou-se o “bico difusor” no soprador térmico e este posicionado junto a fresa. Três termopares (do tipo “K”) foram fixados no bico difusor, conforme mostra a figura 24. Os termopares usados foram previamente calibrados no Laboratório de Metrologia da

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, conforme certificado de calibração no anexo 8.4.

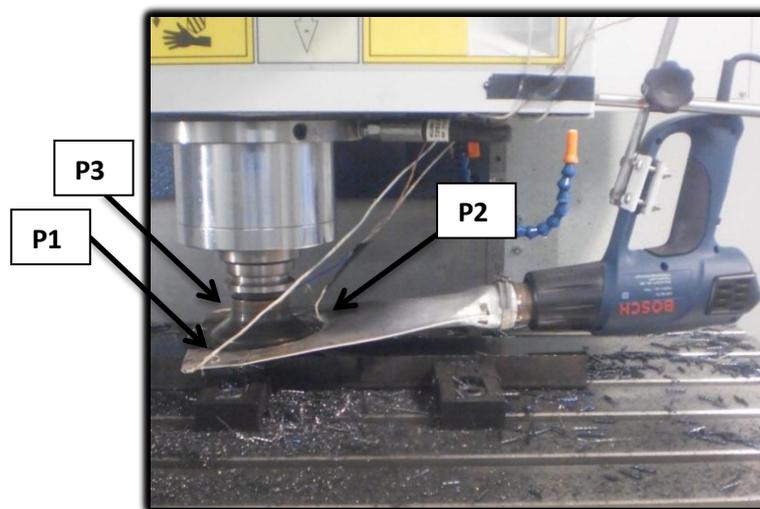


Figura 24 – Pontos de monitoramento de temperatura na saída do bico difusor, pontos P1, P2 e P3.

Fonte: Registrado pelo autor.

As temperaturas medidas pelos três termopares foram monitoradas para três diferentes temperaturas ajustadas no soprador, sendo estas a temperatura ambiente, 100, 350 e 580 °C. Além das medições para a fresa parada, foram feitas medições com a fresa girando a 995 RPM (velocidade de rotação usada durante os testes de fresamento). Vale salientar que antes do início do monitoramento das temperaturas, o sistema permanecia um tempo ligado até que esta temperatura se estabilizasse.

3.2.2. Desenvolvimento de programa da máquina em código “G”

Para limpeza das barras e realização dos ensaios, foram desenvolvidos programas em linguagem “G” conforme manual de programação da máquina. Os programas podem ser vistos no anexo 8.2 e 8.3.

3.2.3. Ensaio de fresamento

Antes dos ensaios de fresamento se iniciarem, todas as barras foram fresadas na parte superior, para remoção da primeira camada oxidada.

Após a limpeza das barras, o conjunto soprador térmico-bico difusor foi fixado no cabeçote vertical do centro de usinagem.

Os ensaios foram realizados ao longo do comprimento das barras, ou seja, 400 mm. Como os percursos de avanço desejados foram superiores a 400 mm, fez-se necessário dar passadas sucessivas até que se fosse atingido o percurso de avanço desejado.

Os seguintes parâmetros de usinagem foram adotados:

- $V_c = 250 \text{ m/min}$
- $a_p = 1,5 \text{ mm}$
- $f_z = 0,15 \text{ mm/dente}$

Lembrando que todos eles se enquadram dentro da faixa recomendada pelo fabricante dos insertos usados.

A tabela 1 mostra os ensaios realizados, junto à definição das condições adotadas.

Tabela 1 - Condições adotadas nos ensaios

		Condição de corte				
		STA	S100	S350	S580	
Bateria	1	1600	1600	1600	1600	
	2	4800	4800	4800	4800	
	3	8000	8000	8000	8000	
	4	11200	11200	11200	11200	
Descrição das condições de corte	L _f (mm)					
	STA	Seco/temperatura ambiente				
	S100	Seco/100°C (temperatura ajustada no Soprador)				
	S350	Seco/350°C (temperatura ajustada no Soprador)				
S580	Seco/580°C (temperatura ajustada no Soprador)					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da mesma forma como foi feito durante os pré-testes, durante os ensaios de fresamento, a temperatura nos três pontos do bico difusor foi monitorada e registrada através de fotografias de termômetros fixados na máquina (figura 25b). As fotografias eram realizadas no momento em que o centro da fresa passava por cada um de 5 pontos marcados na barra, distantes 100 mm um do outro, como pode ser visto na figura 25a. Essa prática foi realizada para todas as condições de corte envolvidas nos ensaios (tabela 1).

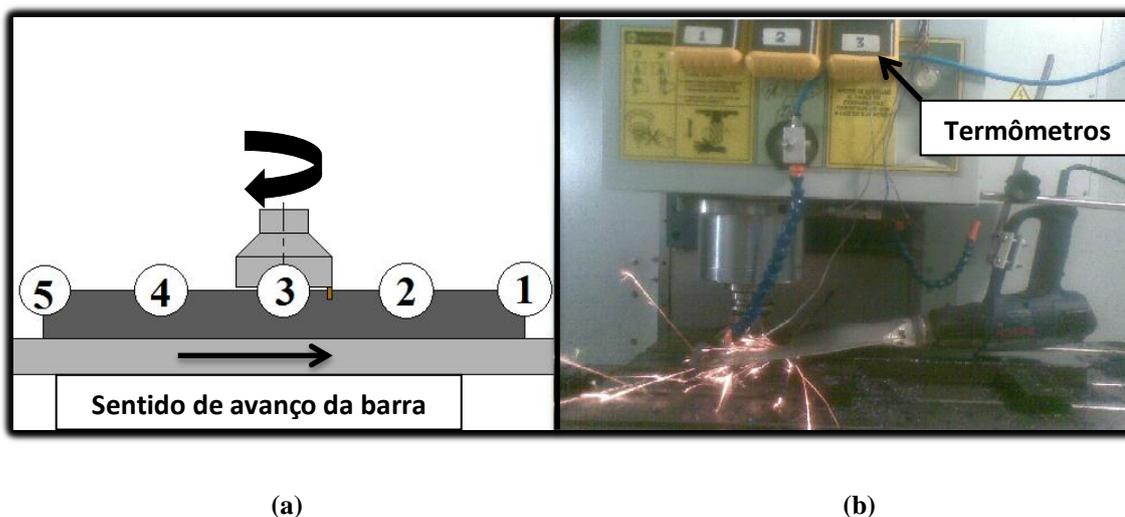


Figura 25 - (a) Indicação dos cinco pontos pré-definidos na barra. (b) Execução do ensaio com simultâneo monitoramento de temperatura.

Fonte: Registrado pelo autor

No intervalo entre as baterias, foram feitas verificações do fluxo de ar que estava chegando à região próxima à aresta da ferramenta, para isto, com a fresa parada, um termopar era posicionado manualmente nesta região, ver a figura 26. Quando o fluxo não estava sendo direcionado para a região desejada, eram feitos ajustes manuais no posicionamento do bico difusor. A verificação e o ajuste eram necessários, pois a temperatura no termopar tinha que ser a mais próxima possível da encontrada no ponto de saída do bico difusor.



Figura 26 - Monitoramento da temperatura na saída do bico.

Fonte: Registrado pelo autor.

3.2.3 Preparação dos insertos para análise no MEV

Após cada bateria de ensaios de fresamento, antes de passar para análise de MEV, as ferramentas passavam por um processo de limpeza em ultra-som. Neste caso foi usado um aparelho Thornton (figura 27a), do fabricante Inpec Eletrônica Ltda, sendo o aparelho pertencente ao Laboratório de Metrologia da UFRN (Labmetrol). Cada ferramenta foi submetida à limpeza por um tempo de aproximadamente 10 minutos. Após isto, as ferramentas foram retiradas com uma pinça e armazenadas em uma caixa limpa. Na figura 27b podem ser observadas as ferramentas após limpeza e a caixa onde elas eram armazenadas.



Figura 27 – (a) aparelho de ultra-som. (b) Ferramentas após processo de limpeza.

Fonte: Registrado pelo autor.

Após o procedimento de limpeza acima mencionado, as ferramentas foram analisadas no MEV pelo mestrando Ramsés Otto Cunha Lima, sob orientação do professor Anderson Clayton Alves de Melo.

Após a análise de MEV, quando a partir dos critérios de fim de vida da ferramenta estabelecidos ($VB_B = 0,35$ mm, conforme norma ISO 8688 – 1 de 1989) detectava-se que a ferramenta ainda não havia atingido tais critérios para o percurso de usinagem já realizado, a ferramenta passava para uma nova bateria de ensaios, conforme tabela 01 apresentada na seção 3.2.3.

A seguir são apresentados os resultados e discussões obtidos a partir dos experimentos descritos anteriormente.

CAPÍTULO 4
RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos durante os pré-testes, como a distribuição da temperatura na saída do bico difusor. Em seguida, são apresentados os resultados dos ensaios de fresamento, onde é mostrada a distribuição de temperatura durante os ensaios. Por fim, os resultados obtidos a partir das análises no MEV, onde se fez a contagem das trincas térmicas nas arestas testadas.

4.1. Pré-testes

Conforme descrito anteriormente, antes do início dos ensaios de fresamento foram feitos pré-testes. Neste caso, as temperaturas desenvolvidas em cada ponto (P1, P2 e P3) foram monitoradas (ver figura 24).

Quanto aos valores observados, como poderá ser visto nas figuras 28, 29, 30 e 31, existiu sempre uma temperatura mais alta para o ponto localizado no centro do bico difusor (ponto P2). Este fato pode ser explicado pela posição mais próxima deste em relação à saída de ar do soprador térmico.

Durante os pré-testes, foram feitos alguns ajustes na saída do bico difusor, com a ajuda de um alicate, tendo como finalidade uniformizar o fluxo de ar quente.

Como foi visto na seção 3.2.1, foram feitos pré-testes para o soprador térmico desligado (temperatura ambiente) e para cada uma das temperaturas ajustadas no soprador (100, 350 e 580°C). A temperatura desenvolvida em cada um dos três pontos foi registrada em três momentos distintos, e após isso feita uma média da temperatura para a referida situação. Por fim foram montados gráficos, onde é possível constatar a diferença da temperatura encontrada em cada ponto com relação à temperatura ajustada no soprador, e a diferença entre

a temperatura nos três pontos: P1, P2 e P3, conforme pode ser verificado nas figuras 28, 29, 30 e 31.

Para a condição da fresa girando e soprador térmico desligado (condição STA), praticamente não houve diferença de temperatura entre os três pontos de monitoramento, como pode ser visto na figura 28. Atribui-se este resultado ao fato de nenhum dos três pontos estar recebendo influência de ar quente, portanto as temperaturas se mantiveram praticamente iguais à temperatura ambiente local. A maior variação encontrada entre elas foi de 0,6 °C

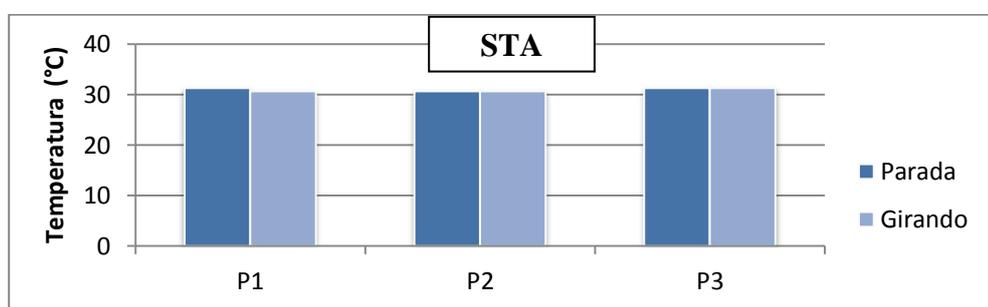


Figura 28 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, à temperatura ambiente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Para os pré-testes realizados com o soprador térmico ligado, observou-se em todos os casos uma redução entre a temperatura ajustada no soprador térmico e aquela registrada em cada um dos três pontos. Também foi observada uma significativa diferença entre a temperatura registrada nos pontos P1 e P3 com relação ao ponto P2, como pode ser visto nas figuras 29, 30 e 31. Atribui-se este resultado ao fato do ponto P2 estar mais próximo à saída de ar do soprador térmico.

Durante os pré-testes realizados quando a fresa estava girando, foi possível observar uma tendência à redução da diferença de temperatura entre os três pontos. Acredita-se que o giro da fresa tende a arrastar o ar mais quente do ponto P2 para os pontos P1 e P3.

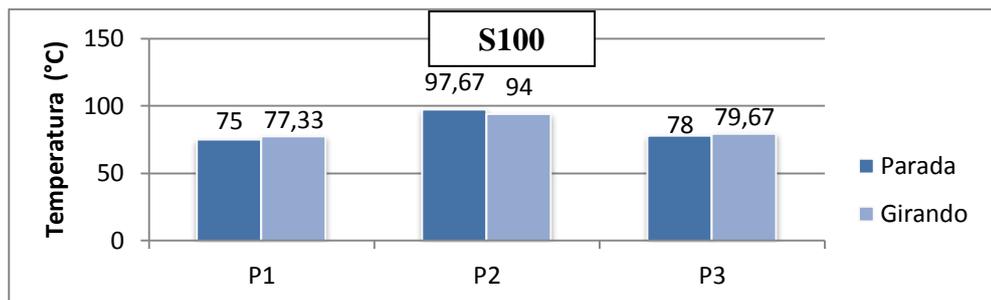


Figura 29 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, para temperatura ajustada no soprador de 100°C.

Fonte: Elaborado pelo autor

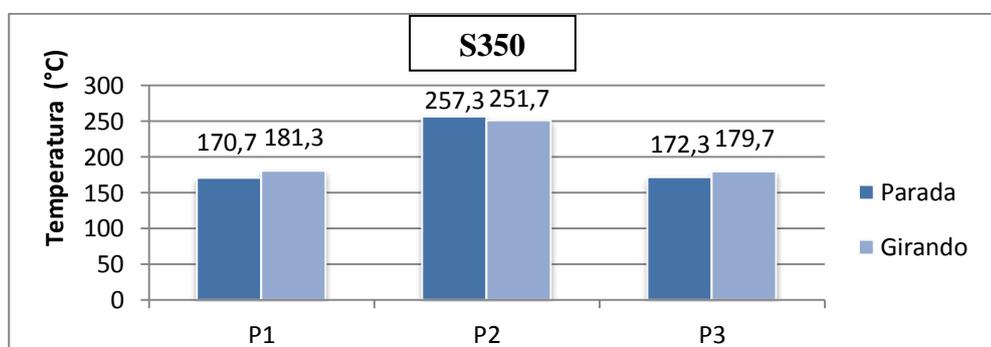


Figura 30 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, para temperatura ajustada no soprador de 350°C.

Fonte: Elaborado pelo autor

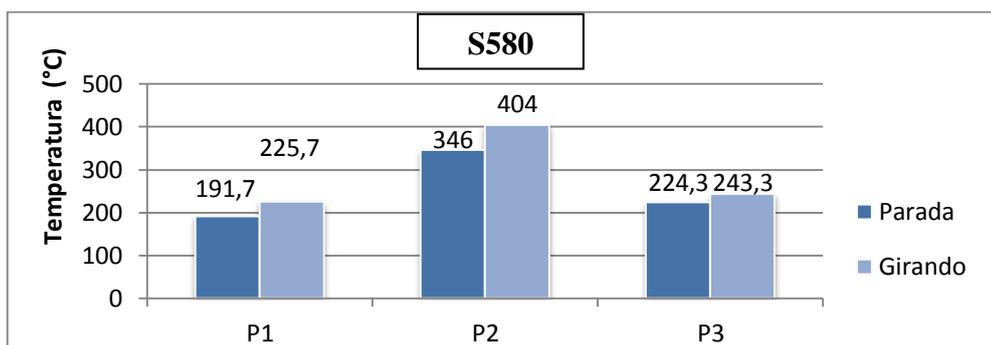


Figura 31 - Temperatura média encontrada em cada ponto para condição de ensaio a seco, para temperatura ajustada no soprador de 580°C.

Fonte: Elaborado pelo autor

O fato da queda de temperatura entre aquela ajustada no soprador e a encontrada nos termopares pode ser atribuído à troca de calor entre o ar quente e o bico difusor. Este em alumínio possui elevada condutividade térmica, e em consequência o fluxo de calor pelo material do bico é alto, portanto, a troca de calor entre o soprador e o meio externo por convecção também é alta.

Observou-se que quanto maior a temperatura ajustada no soprador térmico, maior é a diferença entre esta e as temperaturas encontradas nos pontos P1, P2 e P3. O fato se deve a questão de que com o aumento da temperatura ajustada no soprador, aumenta-se a temperatura no bico difusor, quanto maior a temperatura no interior do bico, maior é a diferença entre esta e a temperatura do meio externo, em consequência disto, aumenta-se a taxa de troca de calor por convecção entre o bico e o meio externo, portanto maior a perda de calor do bico (INCROPERA e DEWITT, 1998).

4.2. Resultados dos ensaios de fresamento e análises de MEV

4.2.1 Distribuição de temperatura durante os ensaios

Conforme foi mencionado na seção 3.2.3, durante os ensaios de fresamento a temperatura nos pontos P1, P2 e P3 (figura 24) foi monitorada e registrada através de fotografias. A seguir seguem gráficos montados a partir da temperatura encontrada em cada ponto (P1, P2 e P3) para cada posição da fresa (0, 100, 200, 300 e 400 mm) em relação à barra, e para cada diferente condição de ensaio.

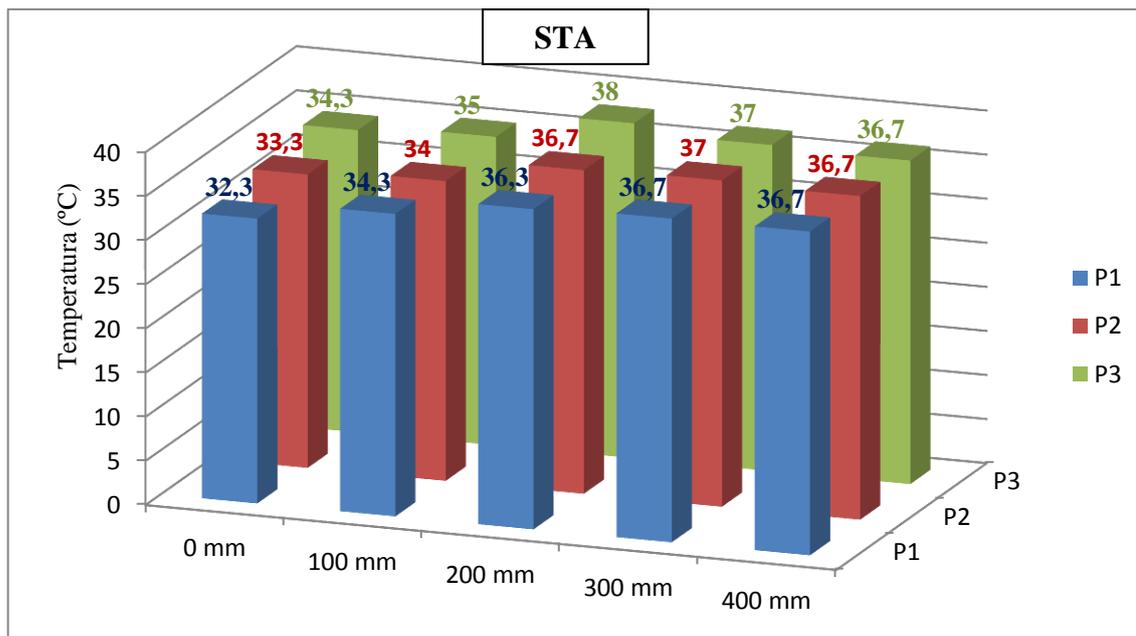


Figura 32 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição a seco, em função da posição da fresa em relação à barra de teste. Soprador térmico ajustado para temperatura ambiente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

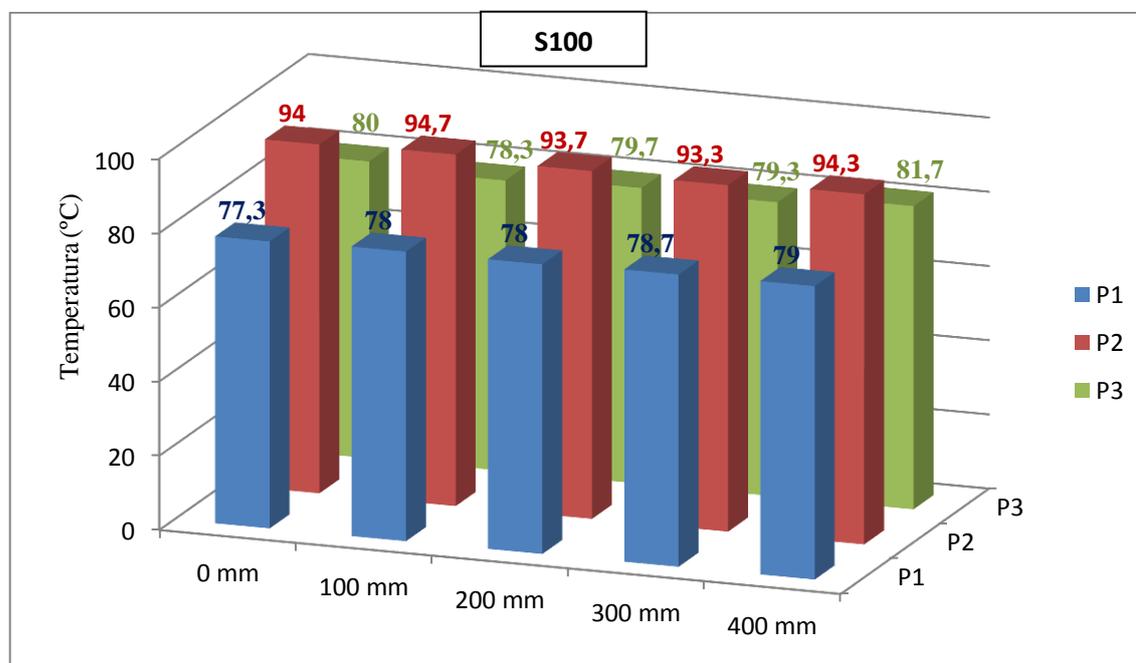


Figura 33 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição de ensaio a seco, em função da posição da fresa em relação à barra de teste. Soprador térmico ajustado para temperatura de 100°C.

Fonte: Elaborado pelo autor.

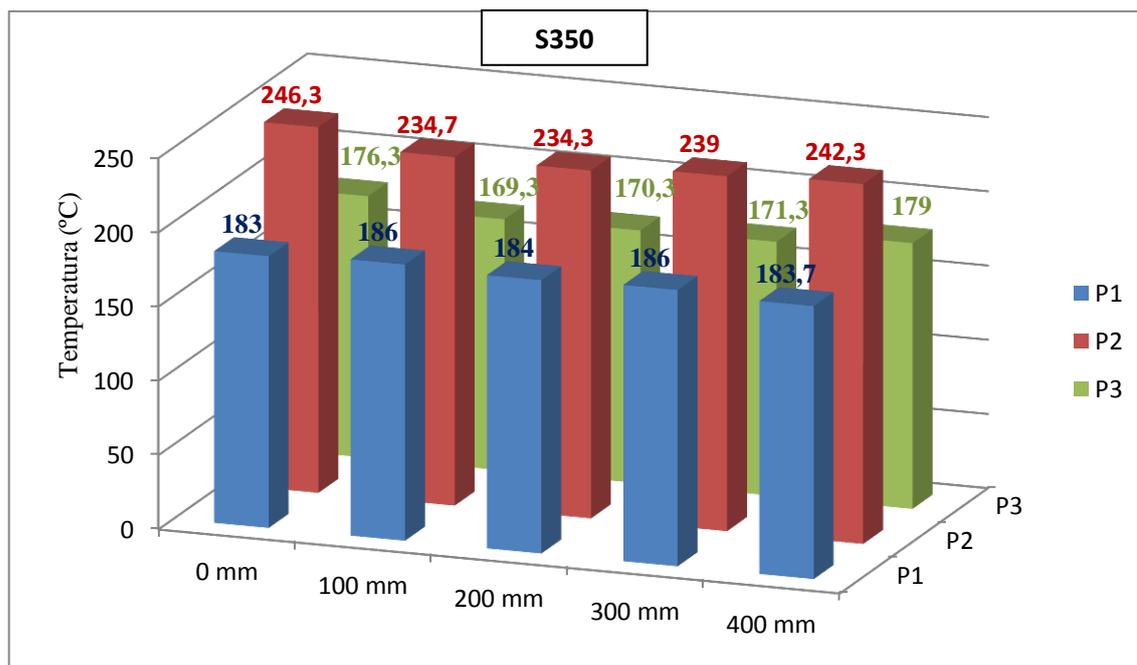


Figura 34 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição de ensaio a seco, em função da posição da fresa em relação à barra. Soprador térmico ajustado para temperatura de 350°C.

Fonte: Elaborado pelo autor.

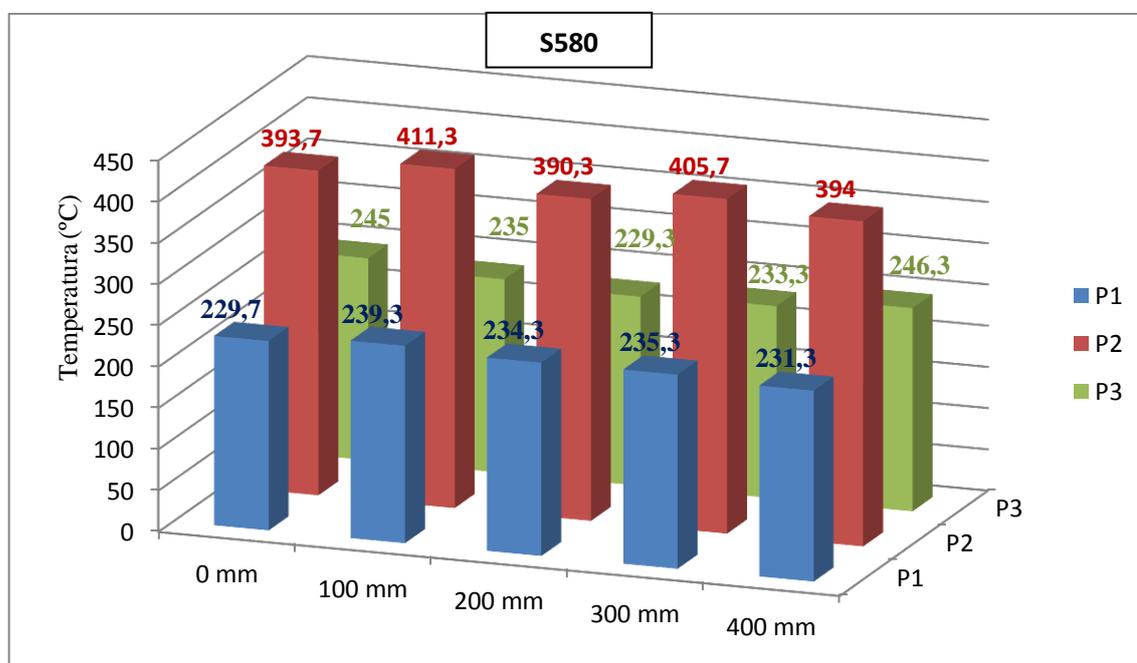


Figura 35 - Temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, para condição de ensaio a seco, em função da posição da fresa em relação à barra de teste usinada. Soprador térmico ajustado para uma temperatura de 580°C.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme pode ser observado nas figuras apresentadas anteriormente, a diferença de temperatura dos três pontos com relação à temperatura ajustada no soprador aumenta com o aumento da temperatura ajustada, pois, como já explicado anteriormente, se aumenta a diferença de temperatura entre o meio externo e o interior do bico, aumenta o fluxo de calor através do bico difusor.

A diferença de temperatura entre os três pontos, apresenta-se conforme foi observado nos pré-testes realizados, em que a temperatura no ponto P2 foi superior à temperatura nos pontos P1 e P3, por este estar mais próximo à saída do soprador.

Com relação à variação de temperatura nos pontos P1, P2 e P3 em função da posição da fresa na barra praticamente não existe, quando aparece alguma variação esta se dá de forma muito pequena. Isto se deve ao fato de que antes de todos os ensaios o soprador permaneceu um determinado tempo ligado, até que a temperatura se estabilizasse, ou seja, o sistema entrasse em regime.

4.2.2 Análise da quantidade de trincas térmicas

Após limpeza dos insertos, estes foram submetidos à análise de MEV, para contagem do número de trincas. Neste caso, foram consideradas todas as trincas perpendiculares à aresta de corte, observáveis com uma ampliação de 400 vezes.

As figuras 36 a 39 mostram a quantidade média de trincas térmicas encontradas nas arestas de corte ensaiadas, após as baterias correspondentes a $L_f = 1600, 4800, 8000$ e 11200 mm, respectivamente. Os valores extremos da linha vertical representam as quantidades máxima e mínima de trincas observadas para cada condição.

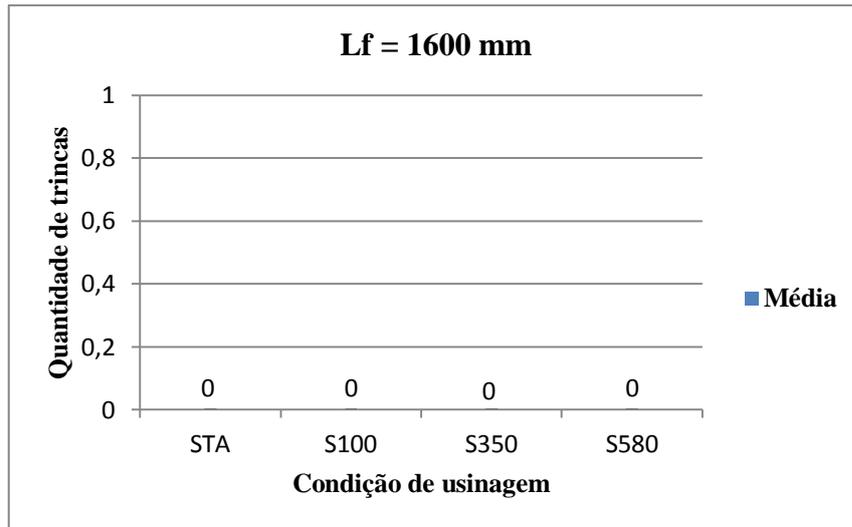


Figura 36 - Quantidade de trincas térmicas observada após Lf = 1600 mm.

Fonte: Elaborado pelo autor.

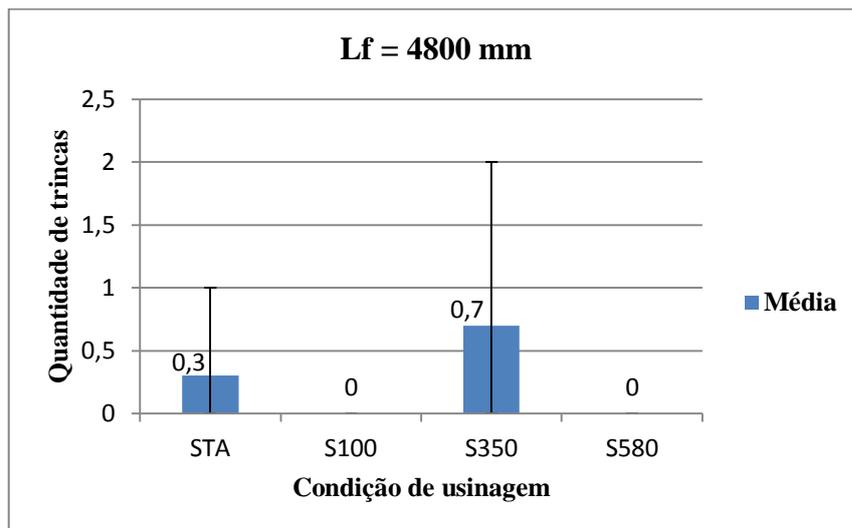


Figura 37 - Quantidade de trincas térmicas observada após Lf = 4800 mm.

Fonte: Elaborado pelo autor.

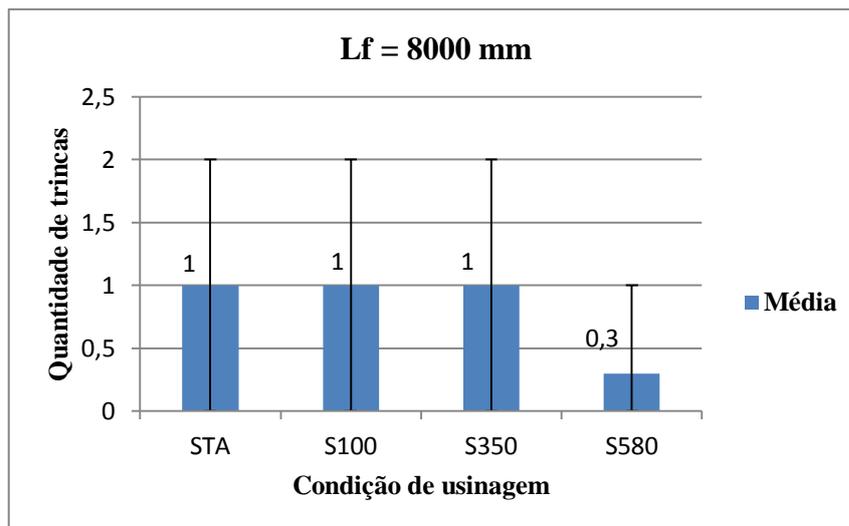


Figura 38 - Quantidade de trincas térmicas observada após $L_f = 8000$ mm.

Fonte: Elaborado pelo autor.

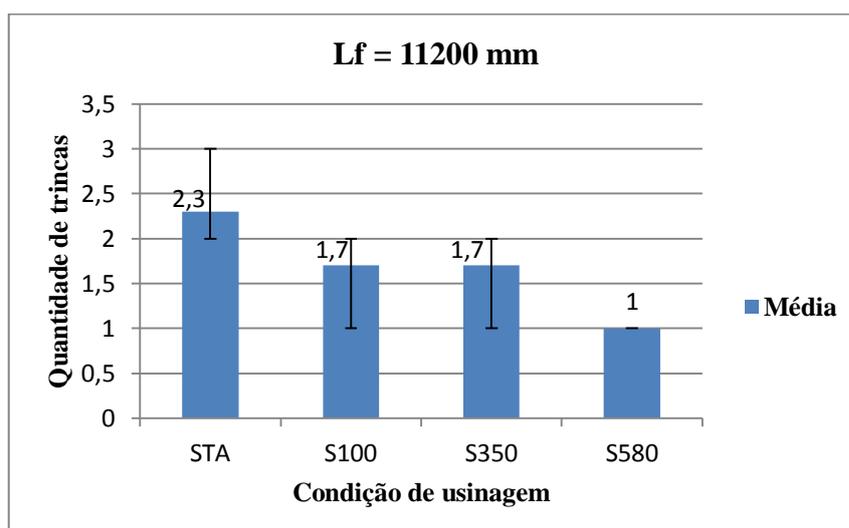


Figura 39 - Quantidade de trincas térmicas observada após $L_f = 11200$ mm.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser visto na figura 36. Após a primeira bateria de ensaios ($L_f = 1600$ mm) em nenhuma das condições ensaiadas observou-se o aparecimento de trincas (figura 36).

Ao término da segunda bateria ($L_f = 4800$ mm) já se constatou a presença de trincas para as condições STA e S350.

Após $L_f = 8000$ mm verificou-se que o número médio para as condições STA, S100 e S350 era de uma trinca, e para a condição S580 já existia uma trinca em uma das

arestas. A figura 40 mostra uma imagem obtida durante a análise das trincas geradas para a condição STA após $L_f = 8000$ mm.

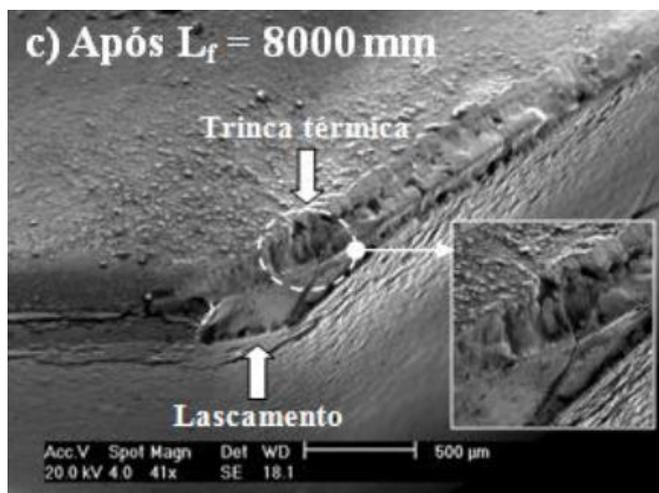


Figura 40 - Análise de trincas térmicas para a condição STA, após $L_f = 8000$ mm.

Fonte: CUNHA LIMA, 2011.

Ao fim da última bateria ($L_f = 11200$ mm) enquanto para a condição STA já existiam arestas de corte com 3 trincas, para a condição S580 foi encontrada somente uma trinca para cada aresta.

Como se pode constatar, para todas as situações onde houve aquecimento da fase inativa da fresa houve uma diminuição na quantidade de trincas térmicas. Para a condição S580 em particular, só apareceram trincas a partir de um percurso de avanço de 8000 mm, enquanto que à temperatura ambiente, após 4800 mm já foi possível constatar a presença de trincas térmicas. Este resultado está de acordo com aqueles observados por Lehewald (1963 *apud* MELO, 2001) e Vasilko (2007 *apud* CEP *et al.*, 2009).

Pelos resultados anteriores observa-se que houve redução na quantidade de trincas térmicas, com a aplicação de ar quente na fase inativa da fresa. Acredita-se que este resultado ocorreu devido e uma redução na flutuação de tensões superficiais e subsuperficiais no gume cortante da ferramenta.

Na condição S580 os resultados foram melhores que os demais. Acredita-se que este resultado, se deve ao fato de que nesta condição o fator ΔT tenha sido ainda menor.

Percebeu-se que com o aumento da temperatura ajustada no soprador, existiu uma tendência de queda no número de trincas térmicas. Atribui-se este comportamento à aproximação do sistema de uma condição quase-contínua do ponto de vista térmico, assim como é observado em processos de usinagem como o torneamento. Em consequência, menor a fadiga termo-mecânica e menor o número de trincas geradas.

Os resultados apresentados mostram que o sistema de aplicação de ar quente no processo de fresamento frontal foi eficiente na redução da quantidade de trincas térmicas nas ferramentas testadas.

A seguir, no capítulo 5 serão apresentadas as conclusões deste trabalho.

CAPÍTULO 5
CONCLUSÕES

5. CONCLUSÕES

- O bico difusor proporcionou uma maior temperatura na região mais próxima ao seu centro. O fato se deve a este ponto estar mais próximo da saída do soprador térmico;
- Existiu troca de calor do ar quente com o bico, o que gerou uma queda de temperatura entre aquela ajustada no soprador e a encontrada na região de saída do bico difusor;
- Durante os ensaios, a temperatura medida em cada ponto do bico permaneceu praticamente constante durante todo o percurso de avanço. Isto ocorreu, pois, antes do início de cada bateria de ensaios, o soprador passou um tempo ligado até que a temperatura se estabilizasse;
- Dentre as quatro condições de usinagem testadas, a que apresentou pior resultado foi a condição STA (seco, à temperatura ambiente). Atribui-se este resultado ao fato da referida condição proporcionar uma maior diferença de temperatura entre as fases ativa e inativa;
- Dentre as condições ensaiadas, a que apresentou melhores resultados na redução de trincas térmicas foi a condição S580 (seco, à temperatura de 580°C). Este fato mostra a real influência do ar quente aplicado pelo sistema desenvolvido no processo de retardamento do surgimento e propagação das trincas térmicas.

CAPÍTULO 6
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aperfeiçoar o bico difusor de ar, usando isolamento térmico, tendo como finalidade reduzir a perda de calor no bico difusor.
- Desenvolver um sistema que possibilite leitura da temperatura exatamente no inserto usado durante o ensaio e não na região próxima. Assim, a temperatura apresentada seria de fato a real temperatura na região de corte.
- Usar equipamento que possibilite chegar a uma maior temperatura. Dessa forma se conseguiria aquecer ainda mais a fase inativa da ferramenta, diminuindo ainda mais o ΔT .

CAPÍTULO 7
REFERÊNCIAS

7. REFERÊNCIAS

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4^a.

ed. São Paulo: Blucher, 2008.

CUNHA LIMA, R. O. **Fresamento com Fluido Aquecido: Uma Proposta para Minimizar a Formação de Trincas Térmicas em Ferramentas de Metal Duro**. Dissertação. Natal, 2011. 98 págs. Mestrado (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., v. 1, 1970.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro, 2008.

ISO 8688-1, 1989, “Tool Life Testing in Milling - Part 1: Face Milling”. First Edition.

LEHEWALD, W. Untersuchungen über die Entstehung von Rissen und Schneidenausbrüchen beim Stirnfräsen von Stahl mit Hartmetal. *Industrie-Anzeiger*, Essen (46), p. 981-988, junho de 1963.

MACHADO, A. R. et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Blucher, 2009.

MATWEB - Material Property Data, 1996. Disponível em: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3135b629bdee490aa25f94230424c08a>>. Acesso em: 3 jun. 2011.

MELO, A. C. A. **Estudo das Trincas de Origem Térmica Geradas em Ferramentas de Metal Duro Durante o Fresamento Frontal**. Tese. Uberlândia, 2001. 173 págs. Doutorado (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.

MELO, A. C. A. D. et al. Some Observations on Wear and Damages in Cemented Carbide Tools. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science & Engineering**, 2006. 269-277.

NBR 6162, 1989, “Movimentos e Relações Geométricas na Usinagem dos Metais”.

PALMAI, Z. Cutting Temperature in Intermittent Cutting. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 27(2), 1987. 261-274.

SANDVIK COROMANT (Org.). **Manual Técnico de Usinagem**. São Paulo, 2005.

SHINOZAKI, N. Thermal Cracks of Carbide Face Milling Cutter. **The Japan Society of Mechanical Engineers**, 1962. 753-764.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte II: Brocas, Alargadores, Ferramentas de Roscar, Fresas, Brochas, Rebolos, Abrasivos**. 3ª edição. ed. Florianópolis: Editora Da UFSC, 2005.

VASILKO, K. Analytická teória trieskového obrábania (In Slovak), 2007. 338.

CAPÍTULO 8

ANEXOS

8. ANEXOS

8.1. Resultado dos ensaios de dureza das barras usadas no fresamento.

SSOIP HMIS-C MEASURING LOG 'HV' MEAS. FORCE [N] 49.03N [HV 5] LOAD DURATION (S) 15 DATE PART-No. TESTER-No.	SSOIP HMIS-C MEASURING LOG 'HV' MEAS. FORCE [N] 49.03N [HV 5] LOAD DURATION (S) 15 DATE PART-No. TESTER-No.	SSOIP HMIS-C MEASURING LOG 'HV' MEAS. FORCE [N] 49.03N [HV 5] LOAD DURATION (S) 15 DATE PART-No. TESTER-No.
0.2190	0.2369	0.2132
0.2266	0.2345	0.2152
01 186.59	01 166.73	01 201.93
0.2271	0.2095	0.2188
0.2359	0.2238	0.2177
02 172.88	02 197.37	02 194.45
0.2222	0.2214	0.2179
0.2271	0.2213	0.2204
03 183.62	03 189.13	03 192.85
0.2144	0.2212	0.2103
0.2302	0.2251	0.2167
04 187.48	04 186.01	04 203.29
0.2260	0.2243	0.2106
0.2273	0.2235	0.2128
05 180.35	05 184.86	05 206.71
STATISTIC*	STATISTIC*	STATISTIC*
N 05	N 05	N 05
AVG 182.17	AVG 184.81	AVG 199.84
DD 0.0801	DD 0.1657	DD 0.0693
S 5.9065	S 11.230	S 5.9437

8.2. Programa usado para limpeza das barras.

%

O2025(LIMPEZA-RAMSES)

N10G17G21G90G94

N20G53G0Z-110H0

N30T1(FRESA FRONTAL 80)

N40M6

N50G54S800M3

N60G0X65Y31.75

N70G43H1D1Z50

G1Z5F1000

N80Z0

N90G1X-462F720

N100G0Z5

N110G53G0Z-110H00

G53G00Y0

G53G00X-400

N120M30

%

8.3. Programa usado para os ensaios

Programa Principal

%

O2500

G17G21G40G90G94

G01G53Z-110H0F2000

T01(FRESA 80)

M6

S995M3

G54G00X65Y31.75D01

G43G01Z10H01

Z0F500

M98P2501L1

G53G01Z-110H0F1000

M00

S995M3

G54G00X65Y31.75D01

G43G01Z10H01

Z-3F500

M98P2501L1

G53G01Z-110H0F1000

M00

S995M3

G54G00X65Y31.75D01

G43G01Z10H01

Z-6F500

M98P2501L1

G53G01Z-110H0F1000

M00

S995M3
G54G00X65Y31.75D01
G43G01Z10H01
Z-9F500
M98P2501L1
G53G01Z-110H0F1000
M00
S995M3
G54G00X65Y31.75D01
G43G01Z10H01
Z-12F500
M98P2501L1
G53G01Z-110H0F1000
M00
S995M3
G54G00X65Y31.75D01
G43G01Z10H01
Z-15F500
M98P2501L1
G53G01Z-110H0F1000
M00
S995M3
G54G00X65Y31.75D01
G43G01Z10H01
Z-18F500
M98P2501L1
G53G01Z-110H0F1000
M00
S995M3
G54G00X65Y31.75D01
G43G01Z10H01
Z-21F500
M98P2501L1
G53G01Z-110H0F1000

M00

S995M3

G54G00X65Y31.75D01

G43G01Z10H01

Z-24F500

M98P2501L1

G53G01Z-110H0F1000

M00

S995M3

G54G00X65Y31.75D01

G43G01Z10H01

Z-27F500

M98P2501L1

G53G01Z-110H0F1000

M00

S995M3

G54G00X65Y31.75D01

G43G01Z10H01

Z-30F500

M98P2501L1

G53G01Z-110H0F1000

M30

%

Subprograma

%

O2501

G91G01Z-1.5F500

G01X-530F149

Z40F500

G00X530

G01Z-40F500

Z-1.5

X-530F149

G90

M99

%

8.4. Certificados de calibração dos termopares

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 565-2011

Requerente: LABORATÓRIO DE OFICINA MECÂNICA NTI/CT/UFRN.
Endereço: Campus Universitário, s/n, Lagoa Nova - Natal/RN.
Doc. Referência: CRIECE 123-2011

CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO

Instrumento: Termopar
Fabricante: Não Consta
Modelo: Tipo "K"
Identificação: C2
Faixa Nominal: -40 A 200°C
Data da Calibração: 9/5/2011

CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO

Padrão Utilizado: Calibrador Digital de Temperatura Tipo Bloco Seco.
Nº do Certificado de Calibração: R0230.02.10 - RBC.
Validade: 01/02/2013

PROCEDIMENTO DA CALIBRAÇÃO

O termopar foi calibrado, por comparação, com o padrão do Laboratório de Metrologia a uma temperatura ambiente de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.



Data de emissão do Certificado 11/5/2011, Página 1/2

ESTE CERTIFICADO É VÁLIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.
Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufrn.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 565-2011

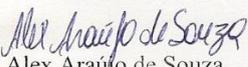
TABELA DE RESULTADOS

Indicação do Padrão (°C)	Média das Indicações do Termopar (°C)	Incerteza (°C)
50,00	49,5	± 0,2
100,00	100,7	± 0,1
150,00	151,5	± 0,1
190,00	190,8	± 0,1

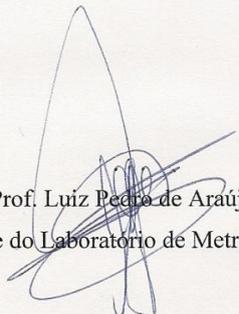
As incertezas apresentadas possuem um nível de confiança de aproximadamente 95% e fator de abrangência $k = 2,0$, segundo EA-4/02.

OBSERVAÇÕES:

- 1) A validade da calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema da qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012, parte 1.
- 2) Os valores definidos para esta calibração foram estabelecidos pelo requerente.



Alex Araújo de Souza
Técnico Responsável



Prof. Luiz Pedro de Araújo
Chefe do Laboratório de Metrologia

Data de emissão do Certificado 11/5/2011 Página 2/2

ESTE CERTIFICADO É VÁLIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.

Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufrn.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 566-2011

Requerente: LABORATÓRIO DE OFICINA MECÂNICA NTI/CT/UFRN.
Endereço: Campus Universitário, s/n, Lagoa Nova - Natal/RN.
Doc. Referência: CRIECE 123-2011

CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO

Instrumento: Termopar
Fabricante: Não Consta
Modelo: Tipo "K"
Identificação: T1
Faixa Nominal: -40 A 200°C
Data da Calibração: 9/5/2011

CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO

Padrão Utilizado: Calibrador Digital de Temperatura Tipo Bloco Seco.
Nº do Certificado de Calibração: R0230.02.10 - RBC.
Validade: 01/02/2013

PROCEDIMENTO DA CALIBRAÇÃO

O termopar foi calibrado, por comparação, com o padrão do Laboratório de Metrologia a uma temperatura ambiente de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Data de emissão do Certificado 11/5/2011 | Página 1/2

ESTE CERTIFICADO É VÁLIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.
Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufrn.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 566-2011

TABELA DE RESULTADOS

Indicação do Padrão (°C)	Média das Indicações do Termopar (°C)	Incerteza (°C)
50,00	49,5	± 0,2
100,00	100,9	± 0,2
150,00	151,4	± 0,2
190,00	190,5	± 0,2

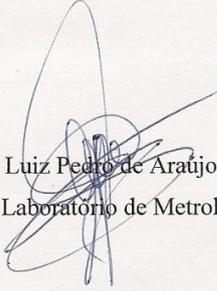
As incertezas apresentadas possuem um nível de confiança de aproximadamente 95% e fator de abrangência $k = 2,0$, segundo EA-4/02.

OBSERVAÇÕES:

- 1) A validade da calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema da qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012, parte 1.
- 2) Os valores definidos para esta calibração foram estabelecidos pelo requerente.



Alex Araújo de Souza
Técnico Responsável



Prof. Luiz Pedro de Araújo
Chefe do Laboratório de Metrologia

Data de emissão do Certificado 11/5/2011 Página 2/2

ESTE CERTIFICADO É VALIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.
Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufrn.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 567-2011

Requerente: LABORATÓRIO DE OFICINA MECÂNICA NTI/CT/UFRN.

Endereço: Campus Universitário, s/n, Lagoa Nova - Natal/RN.

Doc. Referência: CRIECE 123-2011

CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO

Instrumento: Termopar

Fabricante: Não Consta

Modelo: Tipo "K"

Identificação: C1

Faixa Nominal: -40 A 200°C

Data da Calibração: 9/5/2011

CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO

Padrão Utilizado: Calibrador Digital de Temperatura Tipo Bloco Seco.

Nº do Certificado de Calibração: R0230.02.10 - RBC.

Validade: 01/02/2013

PROCEDIMENTO DA CALIBRAÇÃO

O termopar foi calibrado, por comparação, com o padrão do Laboratório de Metrologia a uma temperatura ambiente de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Data de emissão do Certificado 11/5/2011 Página 1/2

ESTE CERTIFICADO É VÁLIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.
Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufm.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 567-2011

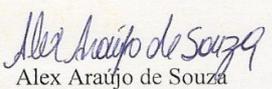
TABELA DE RESULTADOS

Indicação do Padrão (°C)	Média das Indicações do Termopar (°C)	Incerteza (°C)
50,00	49,4	± 0,2
100,00	100,5	± 0,2
150,00	151,2	± 0,2
190,00	190,5	± 0,2

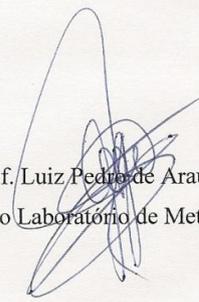
As incertezas apresentadas possuem um nível de confiança de aproximadamente 95% e fator de abrangência $k = 2,0$, segundo EA-4/02.

OBSERVAÇÕES:

- 1) A validade da calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema da qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012, parte 1.
- 2) Os valores definidos para esta calibração foram estabelecidos pelo requerente.



Alex Araújo de Souza
Técnico Responsável



Prof. Luiz Pedro de Araújo
Chefe do Laboratório de Metrologia

Data de emissão do Certificado 11/5/2011 Página 2/2

ESTE CERTIFICADO É VÁLIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.

Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufrn.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 568-2011

Requerente: LABORATÓRIO DE OFICINA MECÂNICA NTI/CT/UFRN.
Endereço: Campus Universitário, s/n, Lagoa Nova - Natal/RN.
Doc. Referência: CRIECE 123-2011

CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO

Instrumento: Termopar
Fabricante: Não Consta
Modelo: Tipo "K"
Identificação: T2
Faixa Nominal: -40 A 200°C
Data da Calibração: 9/5/2011

CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO

Padrão Utilizado: Calibrador Digital de Temperatura Tipo Bloco Seco.
Nº do Certificado de Calibração: R0230.02.10 - RBC.
Validade: 01/02/2013

PROCEDIMENTO DA CALIBRAÇÃO

O termopar foi calibrado, por comparação, com o padrão do Laboratório de Metrologia a uma temperatura ambiente de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.



Data de emissão do Certificado 11/5/2011 Página 1/2

ESTE CERTIFICADO É VALIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.
Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufrn.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA - LabMetrol



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 568-2011

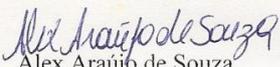
TABELA DE RESULTADOS

Indicação do Padrão (°C)	Média das Indicações do Termopar (°C)	Incerteza (°C)
50,00	49,5	± 0,2
100,00	101,0	± 0,2
150,00	151,5	± 0,2
190,00	190,5	± 0,2

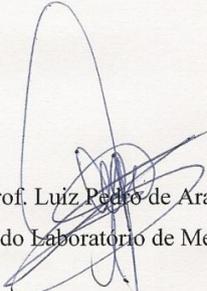
As incertezas apresentadas possuem um nível de confiança de aproximadamente 95% e fator de abrangência $k = 2,0$, segundo EA-4/02.

OBSERVAÇÕES:

- 1) A validade da calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema da qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012, parte 1.
- 2) Os valores definidos para esta calibração foram estabelecidos pelo requerente.



Alex Araújo de Souza
Técnico Responsável



Prof. Luiz Pedro de Araújo
Chefe do Laboratório de Metrologia

Data de emissão do Certificado 11/5/2011 Página 2/2

ESTE CERTIFICADO É VÁLIDO EXCLUSIVAMENTE PARA O INSTRUMENTO CALIBRADO NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS, NÃO SENDO EXTENSIVO A QUAISQUER LOTES, MESMO QUE SIMILARES. SUA REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DEPENDERÁ DA AUTORIZAÇÃO FORMAL DO ÓRGÃO METROLÓGICO EMITENTE.
Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP: 59.078-970 - Telefax: (0xx84) 3215-3742 - E-mail: labmetrol@ct.ufrn.br