

UNESP 

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

EDSON GONÇALVES

**ESTUDO COMPARATIVO DO DESGASTE DE FERRAMENTAS
CERÂMICAS DE Al_2O_3 EM RELAÇÃO ÀS DE $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$.**

Guaratinguetá
2012

EDSON GONÇALVES

**ESTUDO COMPARATIVO DO DESGASTE DE FERRAMENTAS
CERÂMICAS DE Al_2O_3 EM RELAÇÃO ÀS DE $B_4C + TiB_2$.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

Guaratinguetá

2012

G635e	<p>Gonçalves, Edson dos Santos Estudo comparativo do desgaste de ferramentas cerâmicas de Al₂O₃ em relação as de B₄C + TiB₂ / Edson dos Santos Gonçalves. - Guaratinguetá: [s.n.], 2012 50 f.: il. Bibliografia: f. 49-50</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012 Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro Co orientador: Prof. Dr. Davi Neves</p> <p>1. Usinagem 2. Ferro fundido I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.9</p>
-------	--

**ESTUDO COMPARATIVO DO DESGASTE DE FERRAMENTAS
CERÂMICAS DE Al_2O_3 , EM RELAÇÃO ÀS DE $B_4C + TiB_2$**

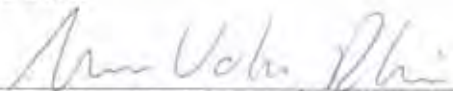
EDSON DOS SANTOS GONÇALVES


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Professor Doutor MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Orientador/UNESP - FEG


Professor Doutor MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO
UNESP - FEG


Professor Doutor PETERSON LUIZ FERRANDINI
UNESP - FEG

Dezembro de 2012

DADOS CURRICULARES

EDSON DOS SANTOS GONÇALVES

NASCIMENTO: 17.06.1980 – BELÉM / PA

FILIAÇÃO: Edilson Pereira Gonçalves
Maria de Nazaré dos Santos Gonçalves

2003 Curso de Formação de Sargentos da Aeronáutica
Escola de Especialistas de Aeronáutica

2003 Curso de Técnico em Metalurgia
Escola de Especialistas de Aeronáutica

2006/2012 Curso de Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da
Universidade Estadual Paulista

Dedico essa obra aos meus pais Edilson Pereira Gonçalves e Maria de Nazaré dos Santos Gonçalves. Pelo incentivo e por me encaminhar na estrada do conhecimento e na batalha da vida, à minha irmã Andressa que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida e por fim ao meu amado filho Lucas.

AGRADECIMENTOS

Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro e ao meu coorientador Dr. Eng. Davi Neves pela orientação realizada com dedicação, amizade e, sobretudo, perseverança. Sem o seu auxílio e paciência de ambos esta obra não existiria;

Ao Instituto de Estudos Avançados IEAv pelo fornecimento dos tubos de ferro fundido para que houvesse os ensaios; ao Dr. Getulio da Divisão de Física Aplicada do EFO por fornecer o torno Nd 250 Nodus da marca Nardini; ao Dr. Oliverio por fornecer as pastilhas de cerâmica e aos Msc. Cleber este e aquele trabalham no AMR; Agradeço ao DCTA/IEAv pelo apoio logístico e suporte técnico ao trabalho realizado;

Aos meus familiares, em especial meus avos Alayde, Armando e meus tios Maria do Carmo e Jean Carlos;

Aos colegas Anderson Satoshi, Everton Duarte de Souza, Fernando Arantes, Daniel Roos, Rodrigo Rodrigues, Anderson Diogenes, Bruno, Kleyton e a Telma Soares pelo auxílio inestimável na conclusão deste curso de engenharia;

Aos meus chefes do Instituto de Estudos Avançados: Tenente Fábio Henrique, Valéria Serrano, Davi Neves, Suboficial Lopes e Coronel Vilson;

Aos colegas de trabalho Marcelo, Golob, Guimarães, Valério, Mauro, Oséas, Antonio Carlos, Suboficial Hélcio, Fernando, Kavashima, Cavalca, Fabiano e Miranda;

Aos professores do Curso de Engenharia Mecânica da UNESP de Guaratinguetá pelo profissionalismo e competência com que transmitiram seus conhecimentos a mim ao longo desses anos de convívio.

À minha namorada Adriana Silva Cardoso por estar ao meu lado nos momentos de luta e superação de minha vida.

Ao amigo e irmão Sergio Victor por sempre me incentivar nos meus objetivos, metas e sempre boa amizade nesta jornada da vida.

Ao bom Deus, pelo dom da vida, pelas dádivas e pelas bênçãos, eu lhe agradeço Senhor.

"Até cortar os próprios defeitos pode ser perigoso. Nunca se sabe qual é o defeito que sustenta nosso edifício inteiro ."

Clarice Lispector

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original ."

Albert Einstein

GONÇALVES, E. **Estudo comparativo do desgaste de ferramentas cerâmicas de Al_2O_3 em relação às de $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$** . 2012. Monografia de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

A necessidade de crescimento e desenvolvimento mundial tornou-se imprescindível a busca por determinados tipos de ferramentas de usinagem mecânica quer seja o tipo de ferramenta de aço rápido, revestidas com nitreto de titânio, ferramentas de cerâmica branca ou cinza. O objetivo deste trabalho visa mostrar as mais variadas possibilidades de usinagem para o trabalho em questão, usinagem de ferro fundido com cerâmicas, tendo como meta alcançar melhores resultados em termos de desgaste a partir dos parâmetros escolhidos, bem como atentando para todo o critério de segurança abordado pelas normas e uso de equipamentos individuais de segurança, visando à integridade de seu operador. Estes requisitos atendem de maneira adequada as novas necessidades e por esse motivo têm desempenhado um papel mais ativo na indústria de usinagem mecânica. A ferramenta em estudo no presente trabalho foi a cerâmica branca (Al_2O_3) e a cinza (TiB_2), por seus fatores de resistência as mais altas temperaturas e o bom nível de desgaste para com certos tipos de superfícies. A superfície em estudo foi a do ferro fundido. Após feitos os ensaios pode-se concluir que as ferramentas cerâmicas brancas (Al_2O_3) obtiveram um melhor desempenho em relação às ferramenta de TiB_2 que apresentaram uma maior taxa de desgaste, na avaliação comparativa.

PALAVRAS-CHAVE: Usinagem, ferramenta cerâmica, ferro fundido, rugosidade, desgaste.

GONÇALVES, E. **Comparative study of the wear of Al_2O_3 ceramic tools in relation to the B_4C TiB_2** . 2012. Graduation Monography (Mechanical Engineering Graduation) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Univ. Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

The need for growth and development world has become imperative to search for certain types of machining tools either type of tool speed steel, coated with titanium nitride ceramic tools or white or gray. This study aims to show the most varied possibilities for machining lot of work in question, cast iron machining with ceramics, aiming to reach better results in terms of wear and roughness from the chosen parameters, as well as attending to any criterion safety standards and addressed by using individual security devices the Integrity of your operator. These requirements adequately meet the new needs and therefore have played a more active role in the industry of mechanical machining, the tool studied in this work is a ceramic white and gray that by their resistance factors higher temperatures and good wear level for certain types of surfaces. The study will be the surface of cast iron. After the tests made can conclude that the tools white ceramic (Al_2O_3) obtained a better performance than the TiB_2 tool that had a higher wear rate for the comparative assessment.

KEYWORDS: machining, ceramic tool, cast iron, roughness, wear.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Eletroerosão a Fio marca Agie Charmilles.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2 - Comando para Eletroerosão a Fio.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3 - Peça usinada por Eletroerosão a Fio.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4 - Retificadora Plana da marca Ferdimat.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5 - Corpos de prova retificados.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6 - Cavacos em lascas da carepa retirada do tubo de FoFo.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7 - Cavacos quebradiços do FoFo.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8 - Cavacos helicoidais Inoxidável.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9 - Cavacos em lascas Inoxidável</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10 - Ferro Fundido Cinzento com veios relativamente grande 190X (Colpaert, 1965)</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11- Formas de Ferramentas Cerâmica (SILVA, et. al.).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12 - Torno HBX da marca Romi preparado para realizar a preparação do corpo de prova</i>	<i>29</i>
<i>Figura 13 - TornoND 250 Nodus da marca Nardini preparado para realização do ensaio.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 14- Tubo de ferro fundido antes do ensaio com carepa de oxidação.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 15- Tubo de ferro fundido preparado para ser ensaiado</i>	<i>30</i>
<i>Figura 16- Comparação entre os tubos para o ensaio.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 17- Pastilhas cerâmica B₄C + TiB₂.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 18- Tubo de ferro fundido para o início dos ensaios.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 19- Pastilha cerâmica arestas 1 e 2</i>	<i>33</i>
<i>Figura 20- Pastilha cerâmica arestas 3 e 4</i>	<i>33</i>
<i>Figura 21- Desgaste em relação ao tempo de corte para Al₂O₃.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 22- Desgaste em relação ao tempo de corte para B₄C + TiB₂.....</i>	<i>35</i>

<i>Figura 23- Desgaste na aresta 1 ferramenta Alumina de 0,12 mm.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 24- Desgaste na aresta 2 ferramenta Alumina de 0,80 mm.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 25- Desgaste na aresta 3 ferramenta Alumina de 0,94 mm.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 26- Desgaste na aresta 4 ferramenta Alumina de 0,83 mm.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 27- Desgaste na aresta 1 ferramenta B4C + TiB2 de 0,95 mm.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 28- Desgaste na aresta 2 ferramenta B4C + TiB2 de 2,82 mm.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 29- Desgaste na aresta 3 ferramenta B4C + TiB2 de 3,04 mm.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 30- Desgaste na aresta 4 ferramenta B4C + TiB2 de 4,19 mm.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 31- Micrografia do Al2O3 Aresta 1 (ampliação 1).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 32- Micrografia do Al2O3 Aresta 1 (ampliação 2).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 33- Micrografia do Al2O3 Aresta 1 (ampliação 3).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 34- Micrografia do Al2O3 Aresta 3 (ampliação 1).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 35- Micrografia do Al2O3 Aresta 3 (ampliação 2).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 36- Micrografia do Al2O3 Aresta 3 (ampliação 3).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 37- Micrografia do B4C + TiB2 Aresta 1 (ampliação 1).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 38- Micrografia do B4C + TiB2 Aresta 1 (ampliação 2).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 39- Micrografia do B4C + TiB2 Aresta 3 (ampliação 1).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 40- Micrografia do B4C + TiB2 aresta 3 (ampliação 2).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 41- Imagem da aresta 1 da Al2O3 em MEV com a indicação do 1º ponto de análise em EDS.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 42- Espectro de análise por EDS no ponto 1 da aresta 1 da ferramenta Al2O3.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 43- Imagem da aresta 1 da Al2O3 em MEV com a indicação do 2º ponto de análise em EDS.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 44- Espectro de análise por EDS no ponto 2 da aresta 1 da ferramenta Al2O3.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 45- Imagem da aresta 3 da Al2O3 em MEV com a indicação do 1º ponto de análise em EDS.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 46- Espectro de análise por EDS no ponto 1 da aresta 3 da ferramenta Al2O3.....</i>	<i>44</i>

<i>Figura 47- Imagem da aresta 3 da Al₂O₃ em MEV com a indicação do 2º ponto de análise em EDS.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 48- Espectro de análise por EDS no ponto 2 da aresta 3 da ferramenta Al₂O₃.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 49- Imagem da aresta 1 do B₄C + TiB₂ em MEV com a indicação do 1º ponto de análise em EDS.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 50- Espectro de análise por EDS no ponto 1 da aresta 1 da ferramenta B₄C + TiB₂.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 51- Imagem da aresta 1 do B₄C + TiB₂ em MEV com a indicação do 2º ponto de análise em EDS.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 52- Espectro de análise por EDS no ponto 2 da aresta 1 da ferramenta B₄C + TiB₂.....</i>	<i>47</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Dados da realização dos ensaios para Al_2O_3	34
Tabela 2– Dados da realização dos ensaios para $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ae</i>	- penetração de trabalho (mm)
<i>af</i>	- penetração de avanço (mm)
<i>ap</i>	- profundidade ou largura de usinagem (mm)
<i>A</i>	- área da seção transversal de corte (mm ²)
<i>A_R</i>	- área de contato real entre duas superfícies em contato
<i>b</i>	- largura de corte (mm)
<i>c</i>	- calor específico dos materiais (J/Kg.K)
<i>d</i>	- diâmetro da peça (mm)
<i>ds</i>	- diâmetro do rebolo
<i>dw</i>	- diâmetro da peça sendo retificada (mm)
<i>VB</i>	- desgaste de flanco (mm)
<i>MEV</i>	- Microscópio eletrônico de varredura
<i>Dc</i>	- diâmetro do cortador em fresamento (mm)
<i>en</i>	- extensão da parte plana do quebra-cavacos (mm)
<i>ANSI</i>	- American National Standards Institute
<i>EN</i>	- European Norm
<i>ASTM</i>	- American Society for Testing and Materials
<i>AWWA</i>	- American Water Works Association
<i>ISO</i>	- International Organization for Standardization
<i>BS</i>	- British Standards
<i>EDS</i>	- Energy Dispersive x-ray Detector
<i>NBR</i>	- Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
<i>FoFo</i>	- ferro fundido
<i>f</i>	- avanço (mm/rev)
<i>fc</i>	- avanço de corte (mm)
<i>fe</i>	- avanço efetivo (mm)
<i>fz</i>	- avanço por dente (mm/dente)
<i>F</i>	- força tangencial sobre uma superfície em atrito (N)
<i>DCTA</i>	- Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
<i>IEAv</i>	- Instituto de Estudos Avançados
<i>EDM</i>	- Electrical Discharge Machining
<i>F</i>	- força tangencial sobre uma superfície em atrito(N)
<i>Fap</i>	- força de apoio (N)
<i>Fc</i>	- força de corte (N)
<i>Ff</i>	- força de avanço
<i>Fn</i>	- força de compressão
<i>Fp</i>	- força passiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivos deste Trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Operações de Usinagem	16
	2.1.1 Torneamento	16
	2.1.2 Fresamento	17
	2.1.3 Eletroerosão	18
	2.1.4 Retificação	20
2.2	Cavacos	21
2.3	Usinagem a Seco	24
2.4	Ferro Fundido Cinzento	24
2.5	Ferramentas de Corte	26
2.6	Composição da Ferramenta de Corte	27
3	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	28
	3.1 Material e Equipamentos	29
	3.2 Ensaios	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
	4.1 Análise Microscópica	37
	4.2 Análises das Arestas Realizadas no MEV	40
5	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem a finalidade de verificar e comparar duas pastilhas de cerâmica: uma usada no mercado atual e outra desenvolvida pelo DCTA. O trabalho foi feito uma comparação de desgaste com ambas as pastilhas, sendo usinadas com o torno mecânico HBX da marca Romi, para retirada da carepa e em seguida uma operação de torneamento feita para as comparações dos desgastes nos flancos das ferramentas com o torno mecânico Nd 250 Nodus da marca Nardini, a usinabilidade consistirá na aplicação de conceitos e habilidades adquiridas durante o curso e adquiridas no estágio supervisionado.

1.1 Motivação

A inovação em engenharia muitas vezes significa a utilização inteligente de um novo material, novo para uma determinada aplicação, porém não necessariamente novo, embora às vezes o seja, no sentido de desenvolvimento recente. Clipes de plásticos para papeis, e pás de turbinas de cerâmica representam tentativas para fazer o melhor, como polímeros e materiais cerâmicos, o que antes era bem feito com metais. Além disso, os desastres de engenharia costumam ser causados pela má utilização de materiais. (ASHBY, 2007).

Esta por sua vez é uma das tendências a serem trabalhadas pelas empresas com o intuito de aperfeiçoar a evolução dos materiais. A usinagem com determinados materiais é objeto de estudos por muito profissionais desde muito tempo procurasse a composição adequada para determinadas finalidades, estas mesmas finalidades até então servem de pesquisas de vários engenheiros de determinadas áreas com o intuito de melhorar cada vez mais a utilidade desses materiais.

Os materiais, bem como suas composições são muito importantes para se ter uma determinada resistência ao desgaste, a resistência mecânica entre outras propriedades. A discussão aqui será entre uma nova pastilha que está em desenvolvimento pelo Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial DCTA para usinagem com material cerâmico que o AMR, divisão de materiais que faz parte do mesmo departamento tecnológico ambos desenvolvem vários experimentos com determinados materiais.

Há um interesse muito grande por parte do departamento no desenvolvimento dessas pastilhas cerâmicas para determinados tipos de trabalho a serem executados sem contar com a economia que os institutos teriam por sua aprovação nos requisitos abrangentes.

1.2 Objetivos deste Trabalho

O presente trabalho tem a finalidade de acrescentar um novo tipo de ferramenta de cerâmica que está sendo desenvolvida pelo AMR que faz parte do DCTA para facilitar no vasto campo de trabalho o qual é o campo da usinagem mecânica e a nova descoberta de composições de materiais que servirão para os mais e diversos tipos de trabalho no campo aeronáutico, naval e até mesmo como blindagem. Este trabalho consistiu em torneiar quatro tubos de ferro fundido de 500 mm cada com o avanço de 0.19mm/rev. e com velocidade corte de aproximadamente 134m/min.

As pastilhas foram levadas para o laboratório, foram feitas as análises nas mesmas, foram tiradas fotos com o auxílio de microscópio eletrônica de varredura. Através destas foram feitas as análises necessárias em relação às pastilhas de cerâmica. O presente trabalho visa entender os desgastes avaliados na pastilha cerâmica onde esta é comercialmente mais em conta do que as outras vendidas no mercado. A capacidade de absorção de calor entre as pastilhas cerâmicas tem um melhor desempenho em relação às outras pastilhas, por ter um baixo coeficiente de calor entre as superfícies em contato com as peças a serem usinadas.

A usinagem destes tubos de ferro fundido existe uma carepa de aproximadamente 1.5mm em seu diâmetro e foi retirado de maneira que o torneamento fosse mais preciso, onde foi usada uma ferramenta de corte diferente da usada nos ensaios. A preocupação de retirar a carepa é ter uma boa preparação para o corpo de prova no momento da retirada da carepa. Houve a necessidade de se usar uma rotação maior para a preparação do CPD de modo em que ocorresse uma baixa rugosidade em sua superfície.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Operações de Usinagem

Será descrito algumas operações de usinagens usadas na tecnologia de usinagem de materiais:

2.1.1 Torneamento

É o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo. (FERRARESI, 1970).

- **Torneamento Retilíneo**

É o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea. O torneamento retilíneo pode ser:

- **Torneamento Cilíndrico**

É o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória paralela ao eixo principal de rotação da máquina. Pode ser externo ou interno.

Quando o torneamento cilíndrico visa obter na peça um entalhe circular, na parte perpendicular ao eixo perpendicular ao eixo principal de rotação da máquina, o torneamento é denominado sangramento axial.

- **Torneamento Cônico**

É o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, inclinada em relação ao eixo principal de rotação da máquina. Pode ser externo ou interno. (FERRARESI, 1970).

- **Torneamento Radial**

É o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, perpendicular ao eixo principal de rotação da máquina.

Quando o torneamento radial visa à obtenção de uma superfície plana, o torneamento é denominado torneamento de faceamento. Quando o torneamento radial visa à obtenção de um entalhe circular, o torneamento é denominado sangramento radial. (FERRARESI, 1970).

- **Perfilamento**

É o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea radial ou axial, visando à obtenção de uma forma definida, determinada pelo perfil da ferramenta.

- **Torneamento Curvilíneo**

É o processo de torneamento, no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória curvilínea.

2.1.2 Fresamento

É o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies qualquer com o auxílio de ferramentas geralmente multicortantes. Para tanto a ferramenta gira, e a peça ou a ferramenta se deslocam segundo uma trajetória qualquer. Distingue-se dois tipos básicos de fresamento. (FERRARESI, 1970).

- **Fresamento Cilíndrico Tangencial**

É o processo de fresamento destinado à obtenção de superfícies plana paralela ao eixo de rotação da ferramenta. Quando a superfície não for plana ou o eixo de rotação da ferramenta for inclinado em relação à superfície originada na peça, será considerado um processo especial de fresamento tangencial. (FERRARESI, 1970).

- **Fresamento Frontal**

É o processo de fresamento destinado à obtenção de superfícies plana perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta. (FERRARESI, 1970).

2.1.3 Eletroerosão

A eletroerosão baseia-se na destruição de partículas metálicas por meio de descargas elétricas. Este é um processo térmico de fabricação caracterizado pela remoção de material e sucessões de descargas elétricas que ocorrem entre um eletrodo e uma peça, através de um líquido dielétrico chamado por EDM = Electrical Discharge Machining.

Este processo consiste na fabricação de peças isoladas, ou seja, não é em produção em série.

- **Eletroerosão a fio**

O princípio básico desta usinagem é que, neste processo, um fio de latão ionizado é eletricamente carregado e o mesmo atravessa uma peça submersa em um fluido não ionizado conforme A (Figura 1) nos mostra uma máquina ferramenta de eletroerosão a fio, em movimentos constantes do fio que é enrolado em um carretel adaptado a um motor que gira no sentido horário e anti-horário enrolando este fio de maneira em que hora o fio sobe e hora o fio desce, provocando assim a descarga elétrica entre o fio e a peça usinada, as quais cortam o material. Para permitir a passagem do fio, é feito previamente uma pequena furação no material a ser usinado. O corte a fio é programado por computador conforme (Figura 2). O qual permitirá o corte de perfis dentre os mais variados e com exatidão através de programações feitas pelo operador.

Hoje em dia, a eletroerosão a fio é muito usada na indústria, porém este uso é bastante restrito, pois suas propriedades de máquina ferramenta não é bastante utilizada em sua produção de larga escala. na (Figura 3) é mostrada uma peça usinada por eletroerosão a fio.

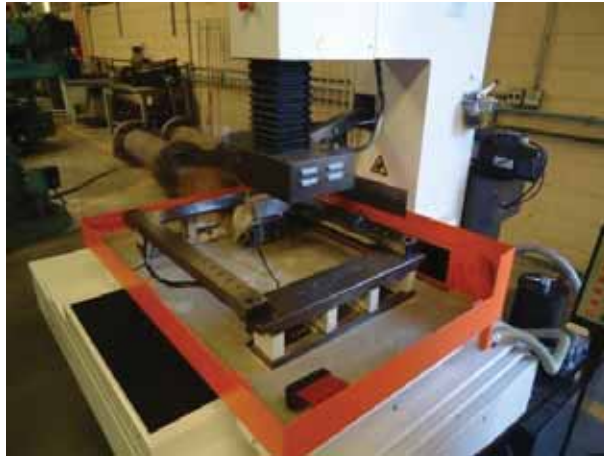


Figura 1 - Eletroerosão a Fio marca Agie Charmilles.



Figura 2 - Comando para Eletroerosão a Fio.



Figura 3 - Peça usinada por Eletroerosão a Fio.

2.1.4 Retificação

A retificação é um processo de usinagem por abrasão que retifica a superfície de uma peça. Tem por objetivo corrigir as irregularidades de superfícies das peças usinadas, Assim, a retificação tem por objetivo: reduzir as rugosidades, saliências e rebarbas da superfície usinada com máquina-ferramenta.

A máquina ferramenta usada para a retificação é a retificadora da (Figura 4) é uma máquina empregada na usinagem de peças para dar as suas superfícies uma exatidão maior e um melhor acabamento do que os feitos, trabalhados em máquinas ferramentas convencionais.



Figura 4 - Retificadora Plana da marca Ferdimat.

- **Retificadora Plana**

É um tipo de máquina ferramenta que retifica todos os tipos de superfícies planas. Na retificadora plana, a peça a ser trabalhada será presa a uma placa magnética, fixada à mesa da retificadora e conseqüente durante a usinagem, a mesa deslocar-se-á em um movimento retilíneo da esquerda para a direita e vice-versa, fazendo com que a peça mantenha contato com o rebolo em seus movimentos. Sendo assim ocorrerá um deslocamento transversal da mesa.

Este movimento transversal junto ao movimento longitudinal permitirá uma varredura da superfície usinada. Será mostrado abaixo algumas umas peças retificadas (Figura 5).



Figura 5 - Corpos de prova retificados.

- **Rebolo**

A ferramenta de corte empregada na retificação do rebolo é constituída de abrasivos e de material ligante, este chamado de aglomerante, o rebolo desse ser relativamente poroso, de modo a permitir o alojamento do fluido de corte e de cavacos, principalmente, em operações nas quais o comprimento de contato rebolo/peça é mais extenso. (MACHADO, 2009).

2.2 Cavacos

A base para um melhor entendimento de todos os processos de usinagem está no estudo científico de formação de cavacos. Esse estudo tem proporcionado grandes avanços nos processos de usinagem e contribuído para o aperfeiçoamento das arestas de corte, com quebra-cavacos cada vez mais eficientes, além de novos materiais eficazes para fabricações de novas ferramentas e a possibilidade de usinar os mais variados tipos de materiais e determinadas durezas. Sabemos que o cavaco é formado em altas velocidades de deformação, seguida de ruptura do material da peça. (MACHADO, 2009).

O estudo experimental da usinagem é de essencial importância, pois a teoria da plasticidade não permite explicar satisfatoriamente os fenômenos observados. No processo de formação do cavaco, as velocidades e as deformações que ocorrem são muito grandes, comparadas com aquelas tratadas na teoria da plasticidade. Em geral a deformação do cavaco, nas condições normais de usinagem com ferramentas de metal duro ou de aço rápido, se processa da seguinte forma:

Durante a usinagem, devido à penetração da ferramenta na peça, uma pequena porção de material, é recalcada contra a superfície de saída da ferramenta.

O material recalcado sofre uma deformação plástica, a qual aumenta progressivamente, até que as tensões de cisalhamento se tornem suficientemente grandes, de modo a se iniciar o deslizamento entre a porção de material recalcado e a peça. Este deslizamento se realiza segundo os planos de cisalhamento dos cristais da porção de material recalcado. (FERRARESI, 1970).

- **Formas de Cavacos**

Os cavacos podem ser de quatro formas: cavaco em fita, cavacos helicoidais, cavaco espiral e cavaco em lascas ou pedaços.



Figura 6 - Cavacos em lascas da carepa retirada do tubo de FoFo.



Figura 7 - Cavacos quebradiços do FoFo.

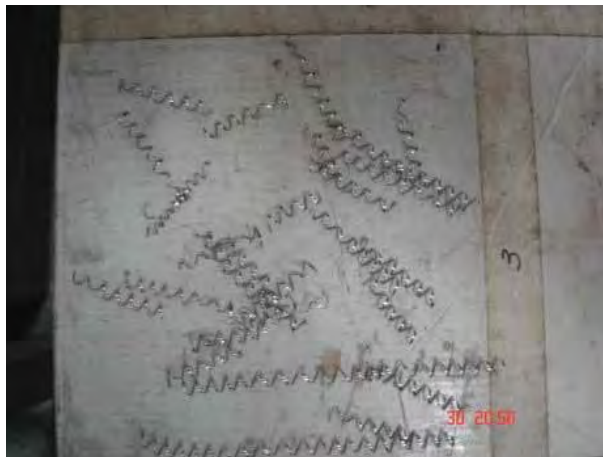


Figura 8 – Cavacos helicoidais aço inoxidável



Figura 9 – Cavacos em lascas aço inoxidável.

2.3 Usinagem a Seco

O que ocorre com a não utilização de lubrificantes na unidade de corte de uma máquina-ferramenta tem várias vantagens e desvantagens; uma vantagem é o aumento na eficiência e redução de custos. Além do mais, as condições ambientais das empresas e a qualidade do local de trabalho melhoram ao longo do tempo.

Esta usinagem fora feita no ensaio realizado com este experimento de comparação de duas ferramentas cerâmicas com a finalidade de não danificar, ou atrapalhar o experimento e sem contar que não é apropriada a usinagem com material de ferro fundido, pois o mesmo solta cavacos na forma de pó, o qual ocasiona muita sujeira na máquina-ferramenta.

A maneira de se diminuir os efeitos dos tempos improdutivos causados pelos desgastes das ferramentas pode ser alcançado com a introdução de sistemas de lubrificação e refrigeração eficientes no processo. Porém, nos últimos anos as pesquisas obtiveram como meta a restrição ao máximo do uso de fluidos refrigerantes e lubrificantes na produção metal mecânica. Os fatores importantes que justificaram a esse procedimento incluem os custos operacionais da produção, as questões ecológicas, as exigências legais de conservação do meio ambiente e a preservação da saúde do ser humano (MACHADO, 2000).

2.4 Ferro Fundido cinzento

A formação da maior parte da grafita se dá normalmente na solidificação do eutético e depois do metal solidificado, enquanto estiver acima de 700 °C. Em seção polida, ela se apresenta ao microscópio sob a forma de veios ou então partículas vermiformes agrupadas (Figura 10). Quando todo o carbono está sob a forma de grafita, o aspecto da fratura é escuro, o que deu origem à designação de ferro fundido cinzento.



Figura 10 Ferro fundido cinzento com veios relativamente grande. 190X (COLPAERT,1965).

A grafita raramente se forma entre as linhas “Liquidus” e “Solidus”, nos ferros fundidos hipoeutéticos e silício. Seu aparecimento nesse intervalo é mais frequente nos ferros hipereutéticos, apresentando-se a grafita em grandes palhetas que, em seção polida, aparecem como veios em geral bem maiores do que os do ferro fundido branco. (COLPAERT,1965).

A grafita normalmente se separa no momento de solidificação do líquido, mas também pode resultar da decomposição da cementita.



Dois são os fatos mais importantes que decidem se o ferro fundido, ao se solidificar, se tornará branco ou cinzento:

- A composição química;
- A velocidade de esfriamento.

- **Composição Química**

Os ferros fundidos contêm, além de ferro e carbono, outros elementos tais como silício, manganês, enxofre, fósforo, etc., alguns dos quais em proporções mais elevadas do que aquelas encontradas habitualmente nos aços comuns. Este elemento, em presença de teores mais altos de carbono, exerce notável influência sobre a textura e a propriedade dos ferros fundidos, porque é de suas proporções que muito depende se haverá ou não formação de grafita e, portanto, se será branco ou cinzento o produto resultante. (COLPAERT,1965).

O carbono nos produtos industriais está compreendido, geralmente entre 2,5% a 3,8%. Com teores baixos há tendência para formar-se o tipo branco; à medida, porém, que o teor de carbono cresce, melhoram as condições para o material se tornar cinzento.

Nos ferros fundidos branco, a dureza se eleva com o teor de carbono, devido o aumento da quantidade de cementita.

O silício é, depois do carbono, o elemento mais importante no ferro fundido. Ele favorece a decomposição da cementita em ferrita e grafita e, por isso, a ele se recorre quando se quer que o produto seja cinzento. Com pouco ou nenhum silício, o ferro fundido apresenta em geral fratura branca. (COLPAERT,1965).

Para obter ferro fundido cinzento com melhor resistência convém que a quantidade de silício seja suficiente para promover a grafitação até a temperatura da formação da perlita (700 °C), mas insuficiente para decompor a cementita da perlita. Se esta se decomposer também, resultará um ferro fundido menos resistente e mais mole. (COLPAERT,1965).

- **Constituição dos ferros fundidos cinzentos**

Nestes materiais o teor de silício está em geral acima de 1% e, dadas às profundas alterações que as ligas ferro-carbono sofrem com a sua presença, não se pode deixar de considerá-las como ligas ferros-carbono-silício. A estas não é aplicável o diagrama Fe-C habitual, porque suas linhas se deslocam, mudam de forma e algumas até se desdobram, à medida que o teor de silício cresce, mesmo dentro dos limites dos produtos industriais comuns. (COLPAERT,1965).

Uma das alterações é o deslocamento do eutético para a esquerda, na proporção de 0,3% de carbono para cada 1% de silício. Assim, um ferro fundido com 3% de carbono e 1,8% de silício, solidifica aproximadamente com $3\% + 0,54\% = 3,54\%$ de carbono pelo diagrama Fe-C). (COLPAERT, 1965).

2.5 Ferramentas de Corte

O aço do qual eu falarei aqui é o AISI 01, estes aços para o trabalho a frio, ligado ao manganês-cromo-tungstênio, temperável em óleo, de elevada dureza, alta resistência ao

desgaste e média tenacidade. A dureza superficial, na condição temperada e revenida, pode alcançar 64,0 HRc.

Aplicações: Este aço é destinado à fabricação de ferramentas de corte, ferramentas para trabalho em madeiras, ferramentas para conformação de aços e metais não ferrosos, etc. É utilizado também na fabricação de instrumentos de medição onde há necessidade de estabilidade dimensional, tais como réguas, calibres, padrões, etc. (OLIVEIRA. 2011).

As condições de fornecimento são as seguintes: barras laminadas redondas, quadradas e retangulares, com os formatos abaixo conforme (Figura 11).

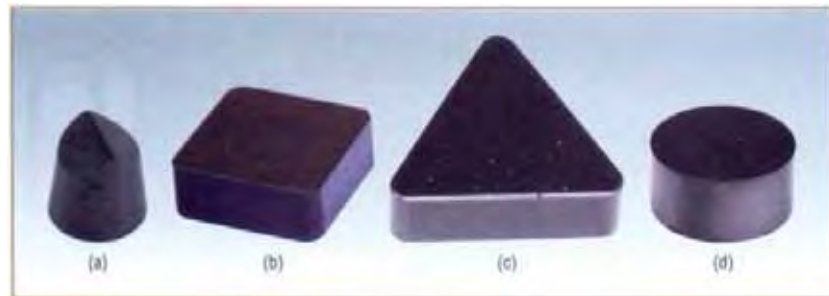


Figura 11 formas de ferramentas Cerâmica, artigo (SILVA, et al. 2008).

2.6 Composição da Ferramenta de Corte

- Composição: $B_4C + TiB_2$, sendo 80% + 20% em peso.
- Densidade: $2,724609 \text{ g/cm}^3$.
- Microdureza Vickers: Com carga de: $5723,4 \text{ kgf/mm}^2$ ou 56,11 GPa.
- Temperatura de sinterização: $T = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$, com formação de fase líquida. (OLIVEIRA, 2011).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado da seguinte forma: primeiramente foram cortados os quatro tubos de ferro fundido cinzento com diâmetros de 176 mm e seus respectivos comprimentos de 500 mm, feito isto agora ocorrerá a preparação dos corpos de prova.

Na superfície da peça existe uma carepa que se formou através da oxidação em relação ao tempo, esta carepa tem aproximadamente 1,5 mm de espessura o que iria alterar os resultados do ensaio. Este procedimento foi realizado no Instituto de Estudos Avançados no torno mecânico HBX da marca Romi com os seguintes parâmetros: velocidade de corte de aproximadamente $V_c=220\text{m/min}$, avanço de 0.30mm /rev e profundidade de 1 mm. A uma rotação de 400 rpm com pastilhas de metal duro.

Quando terminado de retirar a carepa dos quatro tubos os tubos, os mesmos estariam prontos para serem ensaiados, porém a ferramenta de cerâmica é bastante frágil a impactos e para que não houvesse nenhum tipo de empecilho no ensaio, foi feito um chanfro de 45° da esquerda para a direita devido à ferramenta fornecida para o ensaio ser esquerda, porém o ensaio de usinabilidade foi feito da esquerda para a direita e também foi ensaiado em um outro tipo de torno mecânico, pois o torno Nd 250 Nodus da marca Nardini, além de ter pouco uso, tem seu controle em alavancas que mantém mais confiabilidade no ensaio, diferente do torno anterior HBX da marca Romi que seu controle era através de alavancas móveis em controle de velocidade, por este fator foi feito a troca de torno mecânico para que se obtivesse o menor tipo de variação e se obtivesse um controle contínuo de velocidade, avanço e rotação consequentemente.

Os chanfros citados tinham uma profundidade de 3 mm com angulação de 45° para que não houvesse impactos no momento do torneamento a ser feito com a ferramenta cerâmica e o ferro fundido.

Cuidados foram tomados para que não houvesse uma retirada excessiva no material de ferro fundido, pois logo na parte interna dos tubos existe uma camada de cimento e caso a ferramenta ultrapassasse a camada de ferro fundido ocorreria alteração nos resultados, pois estas camadas de cimento são mais abrasivas.

Alguns cuidados foram tomados em relação à segurança do operador para a realização dos ensaios, pois o ferro fundido em sua usinagem de torneamento solta um tipo de cavaco em pó, por isto foi utilizado mascara para a não inalação deste pó, bem como protetor auricular e sapatos de segurança de bico de aço.

3.1 Material e Equipamentos

Os equipamentos em utilização foram os seguintes: Torno mecânico HBX da marca Romi (Figura 12) para a preparação do corpo de prova para que se retire a carepa dos tubos para o ensaio; torno Nardini Nd 250 Nodus (Figura 13) para a realização dos ensaios; quatro tubos de ferro fundido (Figura 14).



Figura 12 - Torno HBX da marca Romi preparado para realizar a preparação do corpo de prova.



Figura 13 - Torno Nd 250 Nodus da marca Nardini preparado para realização dos ensaios.



Figura 14 - Tubo de ferro fundido antes do ensaio com carepa de oxidação.



Figura 15 - Tubo de ferro fundido preparado para ser ensaiado.



Figura 16 - Comparação entre os tubos para o ensaio.

Ferramentas cerâmica do tipo branca feita a base de alumina e ferramenta cerâmica cinza (Figura 17) feita com $B_4C + TiB_2$.



Figura 17 - Pastilhas cerâmica $B_4C + TiB_2$.

3.2 Ensaio

O ensaio para a verificação dos desgastes das pastilhas mencionadas de cerâmica foi feito da maneira que foram analisados os mais variados níveis de desgastes das pastilhas de cerâmica do tipo branca e do tipo cinza com determinada velocidade de corte pré-determinada de aproximadamente $V_c \approx 134 \text{ m/min}$. E com avanço de 0.19 mm/rev .

Esses ensaios foram realizados da forma em que foram utilizadas quatro pastilhas cerâmicas, sendo duas pastilhas de Alumina Al_2O_3 e duas pastilhas de Carbonato de Boro somado a Diboreto de Titânio $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$.

Foram determinados alguns parâmetros como velocidade de corte, avanço e profundidade, conseqüentemente iniciou-se o ensaio conforme mostrado na Figura 18.



Figura 18 - Tubo de ferro fundido para o Início dos ensaios.

Conforme falado anteriormente, a ferramenta de corte seguiria da esquerda para a direita. O estudo aqui mencionado fará uma comparação entre ferramenta cerâmica de uso industrial e uma ferramenta em desenvolvimento pelo DCTA.

O tubo de ferro fundido foi preso à placa que contém 3 castanhas e logo em seguida adaptado a um dispositivo de alumínio conforme (Figura 18) que por sua vez será adaptado a um contra ponta para assegurar a segurança do operador, conseqüentemente um melhor desempenho nos ensaios de usinagem de torneamento.

Primeiramente, depois de todo o preparo para os tubos de ferro fundido, foi usada a pastilha branca, sendo assim houve um torneamento de duas passadas na mesma aresta de corte com percurso de corte de cada passada de 450 mm, sendo um total de 900 mm percorridos na aresta 1, com profundidade de corte de 0,50 mm cada passada, ficando um

total de 1 mm de profundidade alcançado na primeira aresta de corte, Logo, obtemos um determinado desgaste nesta aresta.

O ensaio da segunda aresta foi feito um ajuste o qual foi necessário virar a pastilha em 180° para que não ocorresse nenhuma interferência da primeira passada em relação a segunda, seguindo agora um total de quatro passadas de 450 mm, sendo um total de 1800 mm de percurso de corte, com profundidade alcançada de 2 mm , ao longo dos tubos ensaiados.

Agora foi feito a usinagem em uma terceira aresta, porém foi usada uma nova pastilha cerâmica branca, para que não ocorram erros na hora do ensaio. A nova pastilha ainda não foi usinada e por isso encontra-se intacta, será feita a usinagem de torneamento com esta aresta em 6 passadas de 450 mm, lembrando que cada passada ocorre uma usinagem de torneamento com profundidade de 0,50 mm, sendo um total de percurso de corte de 2700 mm, com profundidade total alcançada de 3 mm.

Finalmente a aresta 4 foi feito um giro de 180° e logo em seguida foi usinada em oito passadas de 0,50 mm de profundidade, com 450 mm de comprimento cada passada, totalizando 3600 mm de percurso de corte e 4 mm de profundidade, obtidos os desgastes de cada aresta ensaiada no torno mecânico, logo em seguida foram realizadas algumas fotos com microscópio, foram levadas as pastilhas para o MEV para que houvesse um melhor parâmetro de comparação, pois a olho nu, não é possível tal comparação de nível de desgaste com as mesmas. Nas Figuras 19 e 20 são mostradas as pastilhas antes dos ensaios de torneamento.



Figura 19 - Pastilha cerâmica aresta 1 e 2.



Figura 20 - Pastilha cerâmica aresta 3 e 4.

Os ensaios foram realizados passo a passo com as pastilhas cerâmicas que está em desenvolvimento pelo DCTA de $B_4C + TiB_2$, sendo desnecessária tal descrição, pois todos os passos descritos pela pastilha anterior, foram feitos para a pastilha $B_4C + TiB_2$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da operação de usinagem de torneamento dos corpos de prova de ferro fundido estão descritos a seguir, assim sendo, pode-se observar a progressão dos desgastes, a forma final dos mesmos, bem como os resultados das análises por EDS de algumas regiões das arestas. Para cada passe, foi necessário um tempo de corte de 19 minutos, o percurso de avanço das amostras era de 450 mm, cada aresta foi ensaiada por dois passes, ou seja, para um percurso de avanço de 900 mm, já a profundidade de usinagem foi sendo aumentada para cada nova aresta, assim cada vez o ensaio foi ficando mais severo, conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Dados da realização do ensaio para o Al_2O_3

Percurso de avanço lf(mm)	Profundidade de corte ap(mm)	Avanço f(mm/rot)	Tempo de corte (min)	Desgaste de flanco VB(mm)
900	1	0,19	38	0,12
1800	2	0,19	76	0,80
2700	3	0,19	114	0,94
3600	4	0,19	152	0,83

Os resultados obtidos para a ferramenta cerâmica $B_4C + TiB_2$, foram os mais consistentes, porém tendo um desgaste maior em relação à outra ferramenta, de fato, a segunda pastilha cerâmica obteve um pior aproveitamento em relação a primeira (Tabela 2). Contudo, vale ressaltar que esta ferramenta está em desenvolvimento.

Tabela 2: Dados da realização do ensaio para o $B_4C + TiB_2$

Percurso de avanço lf(mm)	Profundidade de corte ap(mm)	Avanço f(mm/rot)	Tempo de corte (min)	Desgaste de flanco VB(mm)
900	1	0,19	38	0,95
1800	2	0,19	76	2,82
2700	3	0,19	114	3,04
3600	4	0,19	152	4,19

No gráfico da Figura 21 são mostrados os desgastes nos flancos produzidos na usinagem por torneamento quando se utiliza ferramenta cerâmica de Al_2O_3 . Já na Figura 22 são mostrados os desgaste produzidos na ferramenta cerâmica de $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$ em relação ao tempo de corte.

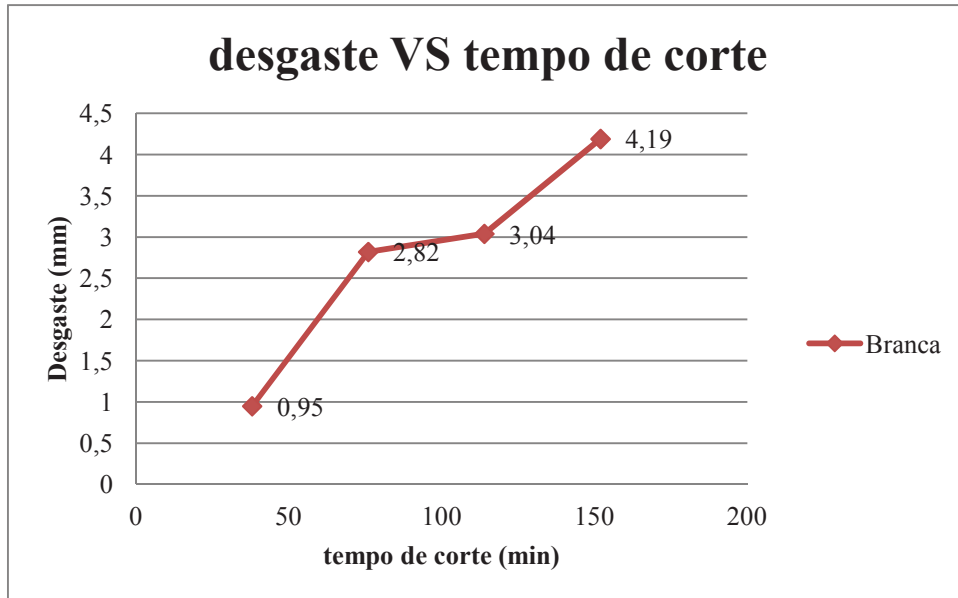


Figura 21 - Desgaste em relação ao tempo de corte para Al_2O_3 .

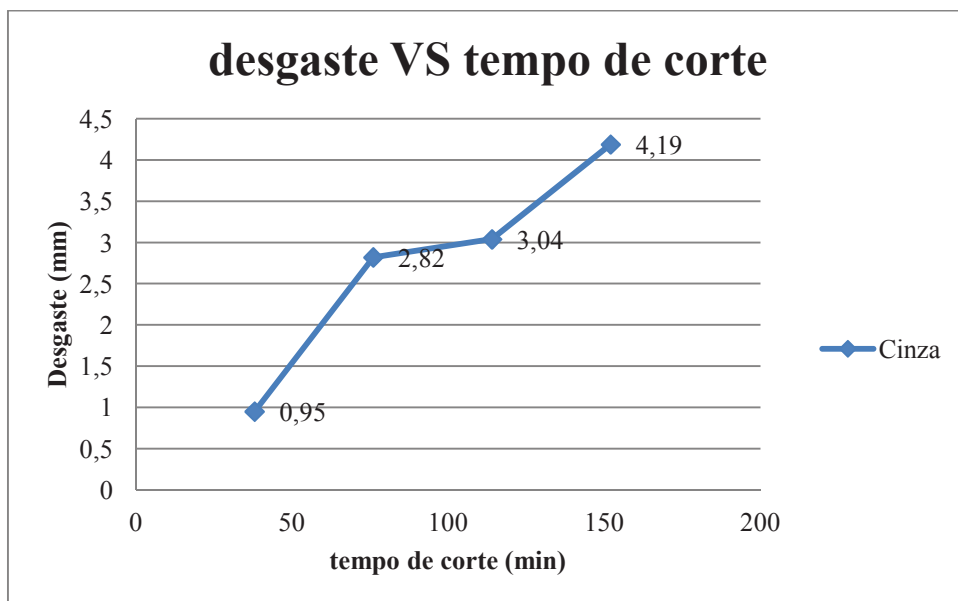


Figura 22 - Desgaste em relação ao tempo de corte para $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$.

4.1 Análise Microscópica

A análise microscópica mostra alguns parâmetros que a olho nu não será possível identificar esses níveis de desgaste das pastilhas cerâmicas de alumina “Branca”, na primeira aresta a ser trabalhada foi obtido um desgaste de 0,12 mm, já na segunda aresta foi obtido um desgaste de 0,80 mm , na terceira aresta foi obtido um desgaste de 0,94 mm e na quarta aresta o desgaste foi de 0,83 mm , sendo menor que o da terceira aresta, mesmo para um tempo de corte maior.

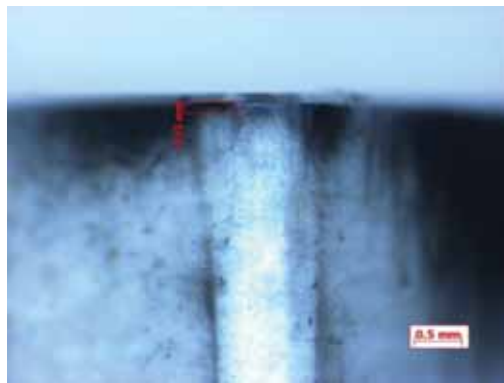


Figura 23 - Desgaste na aresta 1 ferramenta Alumina de 0,12 mm.

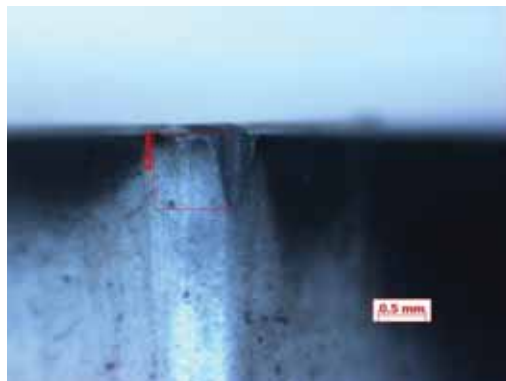


Figura 24 - Desgaste na aresta 2 ferramenta Alumina de 0,80 mm.

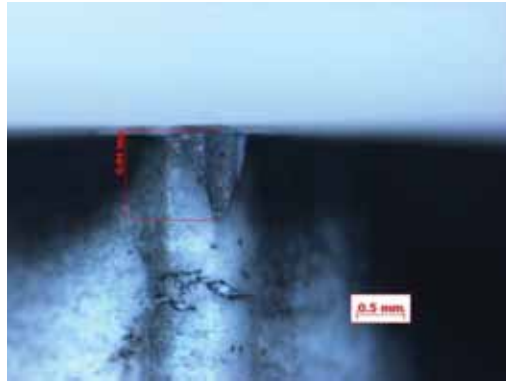


Figura 25 - Desgaste na aresta 3 ferramenta Alumina de 0,94 mm.

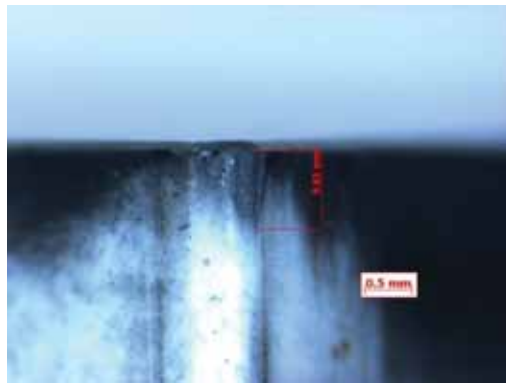


Figura 26 - Desgaste na aresta 4 ferramenta Alumina de 0,83 mm.

Pelas micrografias pode-se observar a predominância da ocorrência do desgaste de flanco nas ferramentas de Alumina, cuja intensidade foi proporcional ao aumento do tempo de corte. Devido ao caráter aleatório da ocorrência dos desgastes, observou-se um desgaste menor para a aresta 4 do que para a aresta 3, mesmo a primeira tendo sido usada por um tempo menor, conforme a Figura 21.

Nas Figuras 27 a 30 são apresentadas as micrografias dos desgastes apresentados pelas ferramentas de $B_4C + TiB_2$, pode-se notar nitidamente um aumento nos valores de desgaste apresentado pelas ferramentas, levando a conclusão de que a sua resistência à abrasão é inferior às ferramentas de alumina. Nota-se para a aresta 4, que a região de desgaste quase ocupa toda a espessura da pastilha.



Figura 27 - Desgaste na aresta 1 ferramenta $B_4C + TiB_2$ de 0,95 mm.

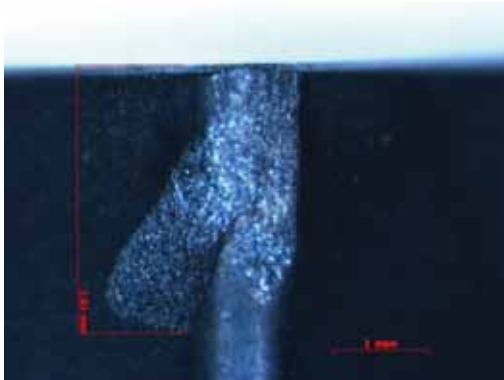


Figura 28 - Desgaste na aresta 2 ferramenta $B_4C + TiB_2$ de 2,82 mm.

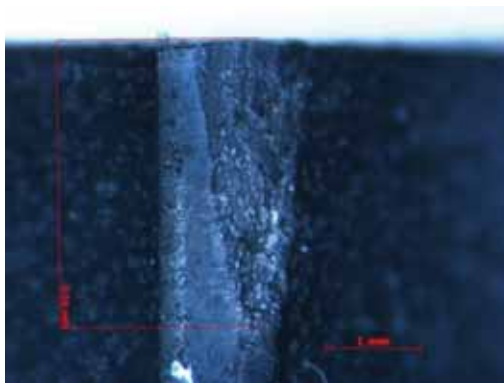


Figura 29 - Desgaste na aresta 3 ferramenta $B_4C + TiB_2$ de 3,04 mm.

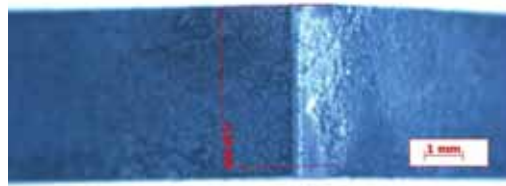


Figura 30 - Desgaste na aresta 4 ferramenta $B_4C + TiB_2$ de 4,19 mm.

4.2 Análises das arestas Realizadas no MEV

Os resultados dos desgastes produzidos na aresta 1 da ferramenta de Al_2O_3 estão disponíveis nas Figuras 31 a 33, as mesmas podem ser visualizadas com diferentes ampliações, notas-se o desgaste de flanco de pequena intensidade na aresta.

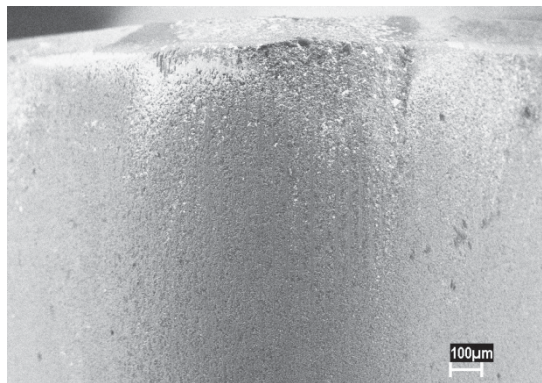


Figura 31 - Micrografia do Al_2O_3
Aresta 1 (ampliação 1).

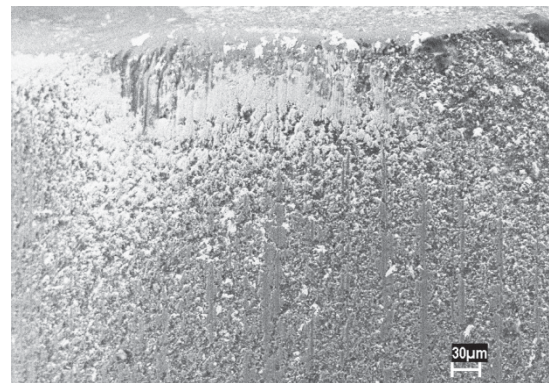


Figura 32 – Micrografia do Al_2O_3
Aresta 1 (ampliação 2).

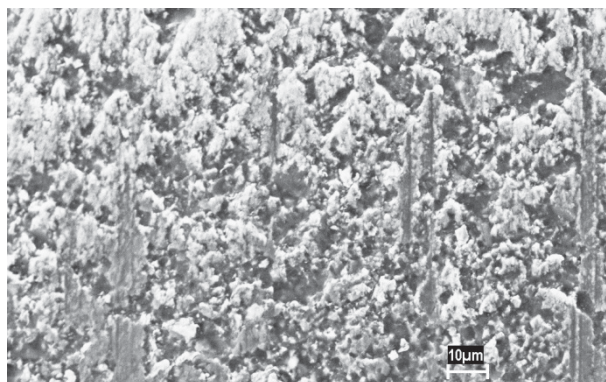


Figura 33 - Micrografia do Al_2O_3 Aresta 1 (ampliação 3).

Os resultados dos desgastes produzidos na aresta 3 da ferramenta de Al_2O_3 estão disponíveis nas Figuras 34 a 35, as mesmas podem ser visualizadas com diferentes ampliações, notas-se um desgaste de flanco de maior intensidade na aresta.

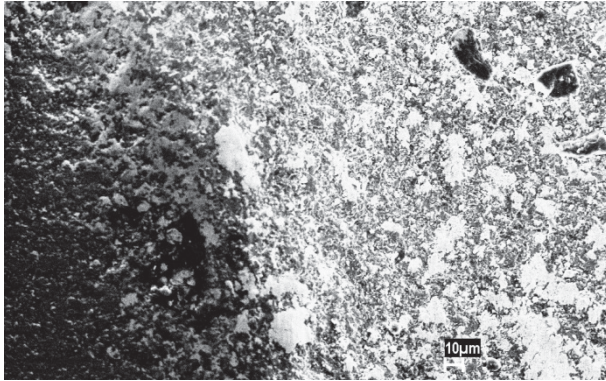


Figura 34 - Micrografia do Al_2O_3 Aresta 3 (ampliação 1).

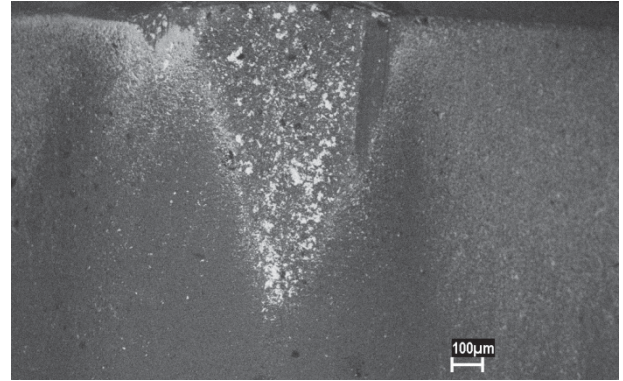


Figura 35 - Micrografia do Al_2O_3 Aresta 3 (ampliação 2).

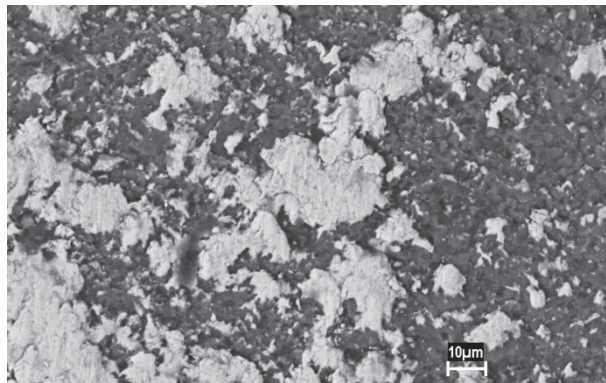


Figura 36 - Micrografia do Al_2O_3 Aresta 3 (ampliação 3).

Os resultados dos desgastes produzidos na aresta 1 da ferramenta de $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$ estão disponíveis nas Figuras 37 e 38, já nas Figuras 39 e 40 estão as micrografias da aresta 3 para duas ampliações diferentes. Pode-se notar uma maior intensidade nos desgastes apresentados quando comparados com os das ferramentas de Al_2O_3 .

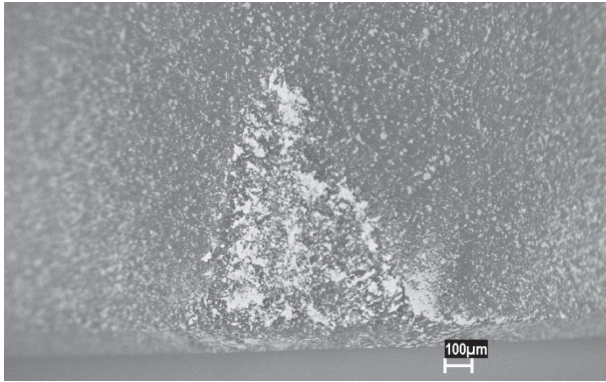


Figura 37 - Micrografia do B₄C + TiB₂
Aresta 1 (ampliação 1).

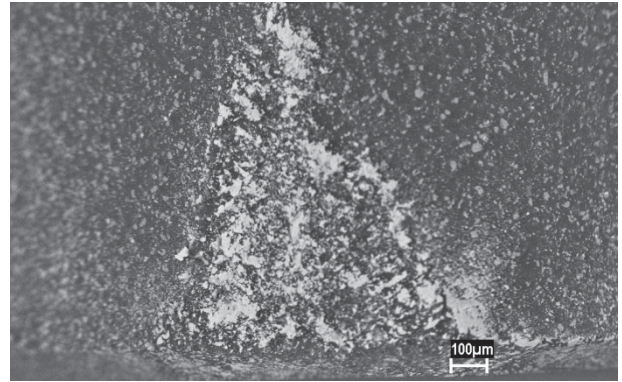


Figura 38 - Micrografia do B₄C + TiB₂ Aresta
1 (ampliação 2).

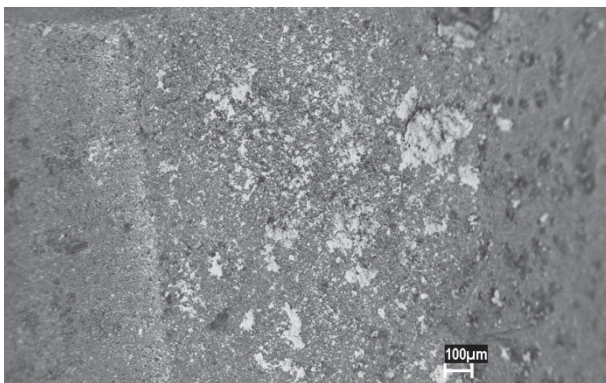


Figura 39 - Micrografia do B₄C + TiB₂
Aresta 3 (ampliação 1).

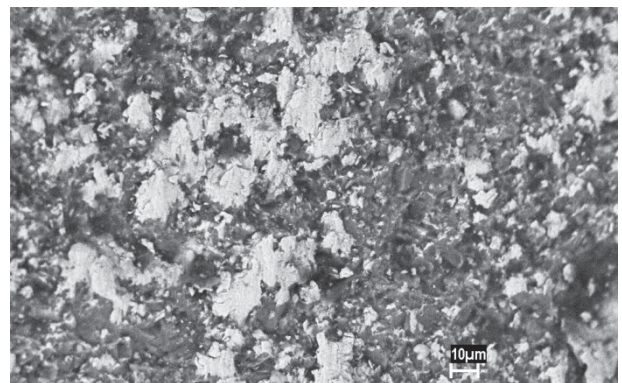


Figura 40 - Micrografia do B₄C + TiB₂ aresta
3 (ampliação 2).

Na Figura 41 pode-se visualizar a imagem obtida por MEV da aresta 1 da ferramenta de Al₂O₃, com a localização do 1º ponto de aplicação de EDS, a localização do 2º ponto está indicada na Figura 43.

Pela análise de EDS no primeiro ponto (Figura 42), pode-se observar um depósito de material da peça (Fe) na superfície da ferramenta de aresta 1. Já no segundo ponto, este depósito é bem menor como pode ser observado pelo espectro de EDS (Figura 44).

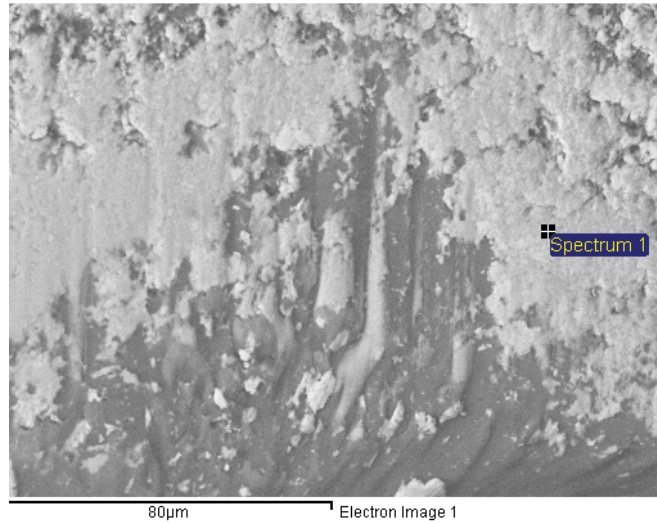


Figura 41 - Imagem da aresta 1 da Al₂O₃ em MEV com a indicação do 1º ponto de análise em EDS.

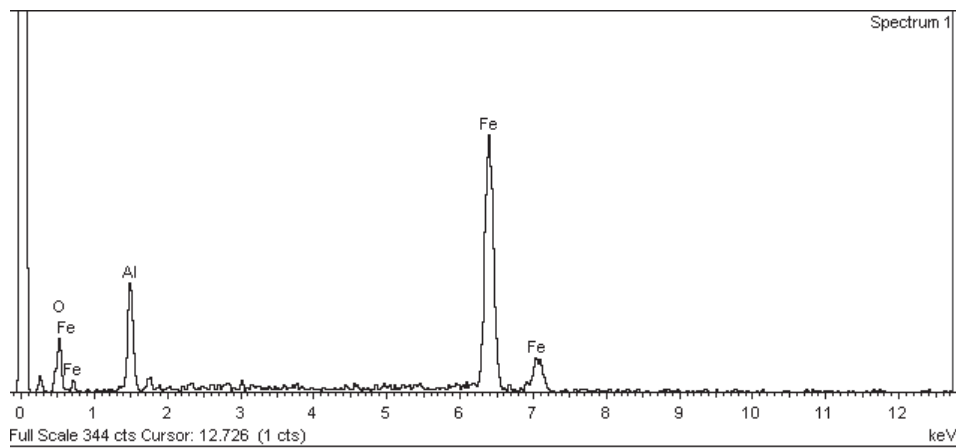


Figura 42 – Espectro de análise por EDS no ponto 1 da aresta 1 da ferramenta Al₂O₃

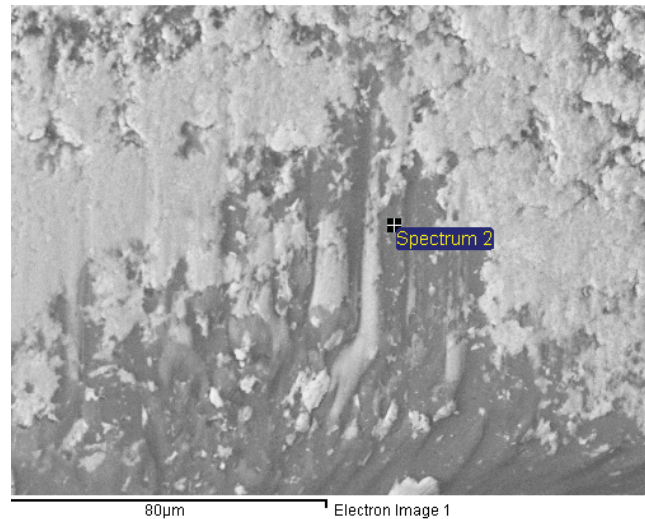


Figura 43 - Imagem da aresta 1 da Al_2O_3 em MEV com a indicação do 2º ponto de análise em EDS.

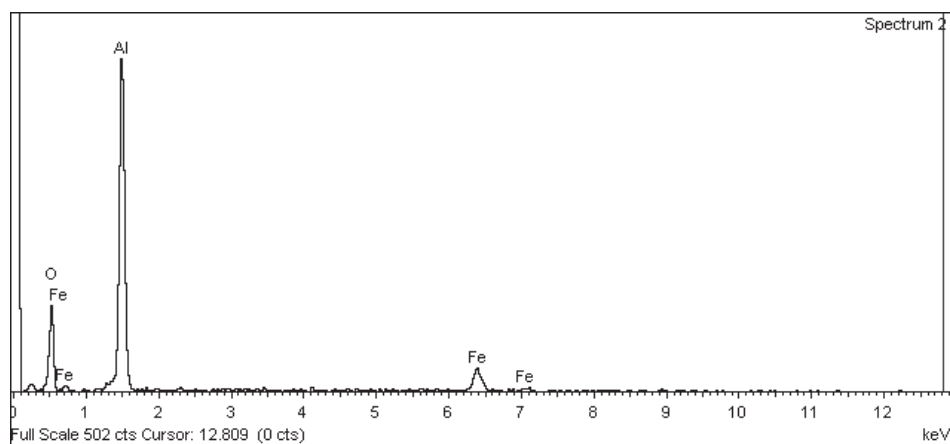


Figura 44 – Espectro de análise por EDS no ponto 2 da aresta 1 da ferramenta Al_2O_3 .

Na Figura 45 pode-se visualizar a imagem obtida por MEV da aresta 3 da ferramenta de Al_2O_3 , com a localização do 1º ponto de aplicação de EDS, a localização do 2º ponto está indicada na Figura 47.

Pode-se observar pela análise de EDS (Figura 46), que no primeiro ponto de avaliação da aresta 3 existe material da peça depositado (Fe e C). Já no segundo ponto não se observa a mesma quantidade de depósitos de material da peça na ferramenta (Figura 48).

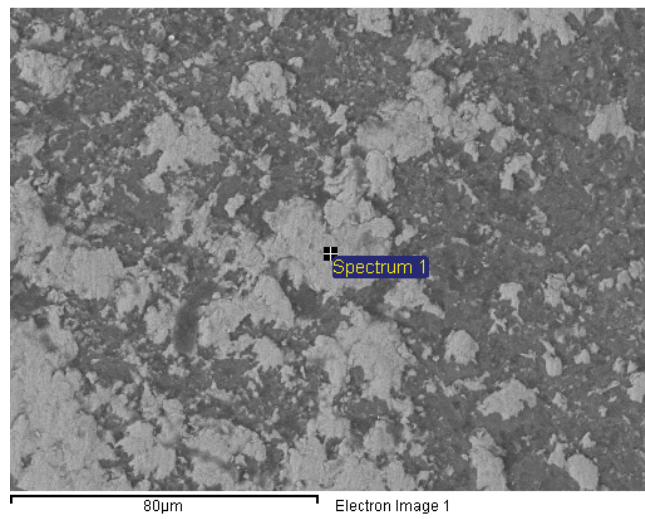


Figura 45 - Imagem da aresta 3 da Al_2O_3 em MEV com a indicação do 1º ponto de análise em EDS.

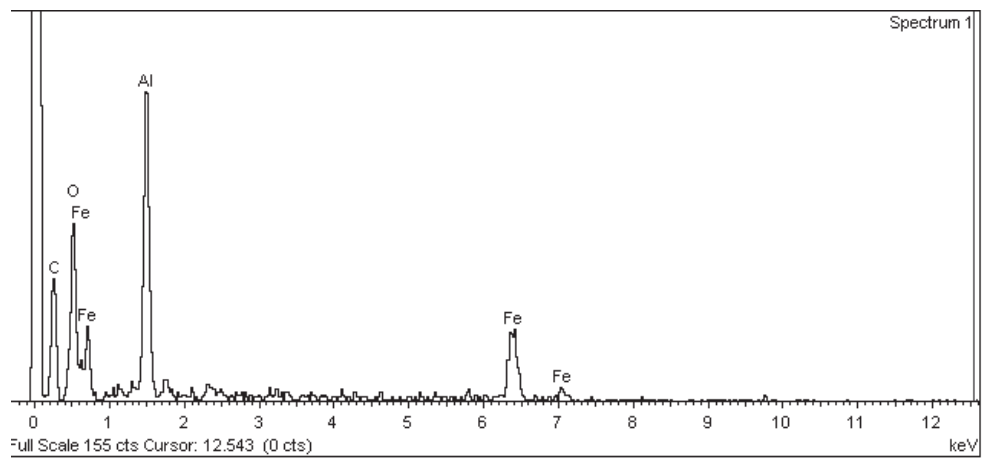


Figura 46 – Espectro de análise por EDS no ponto 1 da aresta 3 da ferramenta Al_2O_3

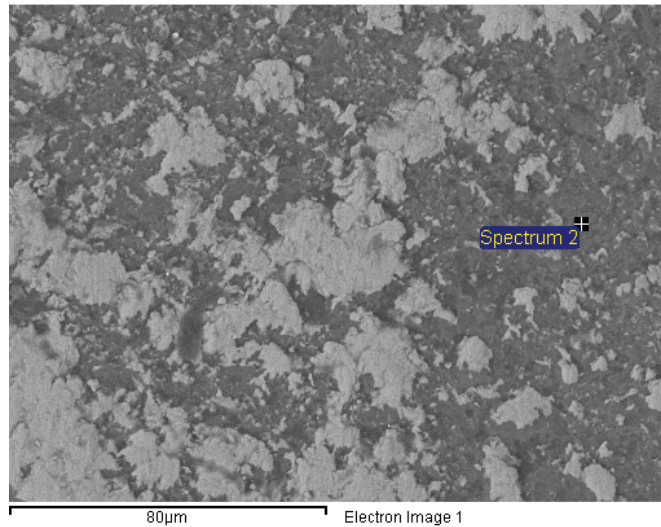


Figura 47 - Imagem da aresta 3 da Al_2O_3 em MEV com a indicação do 2º ponto de análise em EDS.

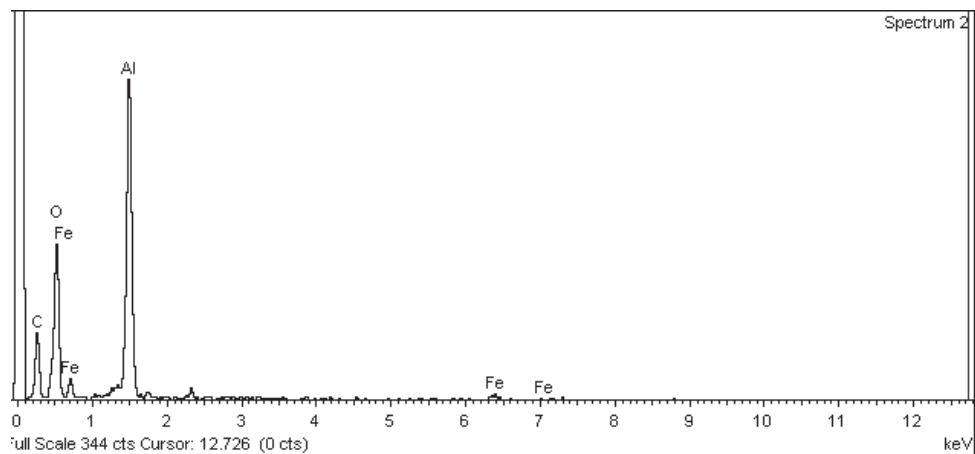


Figura 48 – Espectro de análise por EDS no ponto 2 da aresta 3 da ferramenta Al_2O_3

Na Figura 49 pode-se visualizar a imagem obtida por MEV da aresta 1 da ferramenta de $\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$, com a localização do 1º ponto de aplicação de EDS, a localização do 2º ponto está indicada na Figura 51. É possível visualizar pelo espectro de análise por EDS do primeiro ponto (Figura 50) a pouca quantidade de material depositada na superfície da ferramenta destacando-se a presença dos elementos formadores da ferramenta (B, C e Ti).

Já na análise do segundo ponto (Figura 52), observa-se a presença de material da peça depositado na ferramenta (Fe, C e Si).

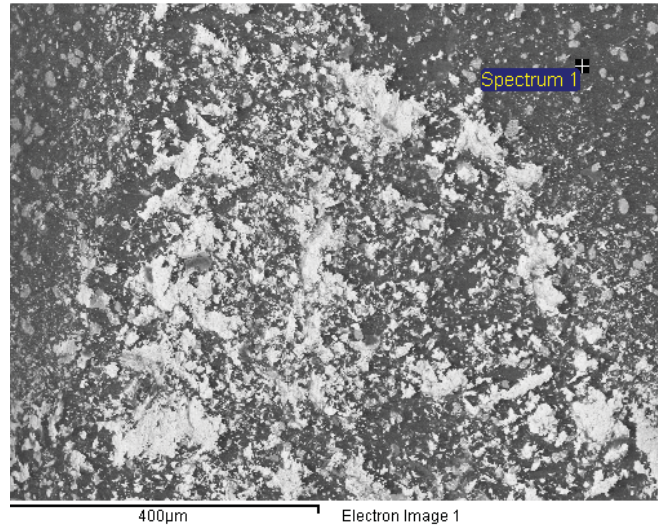


Figura 49 - Imagem da aresta 1 do $B_4C + TiB_2$ em MEV com a indicação do 1º ponto de análise em EDS.

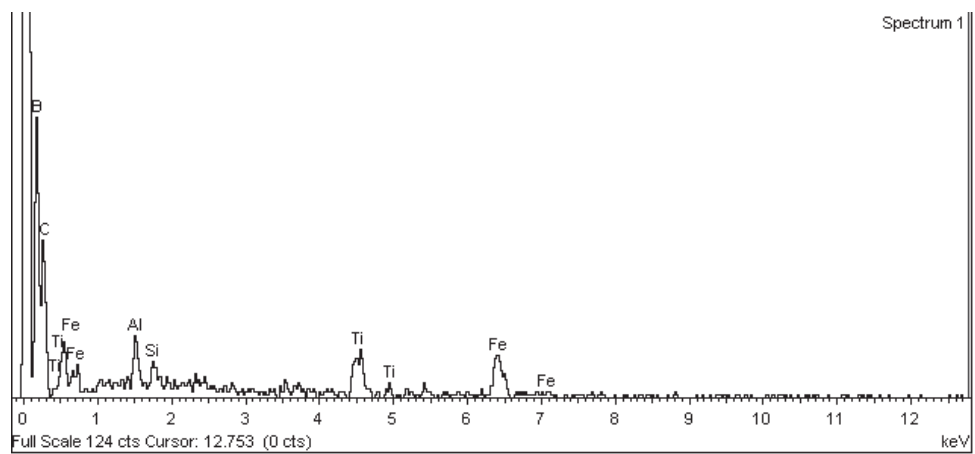


Figura 50 – Espectro de análise por EDS no ponto 1 da aresta 1 da ferramenta $B_4C + TiB_2$.

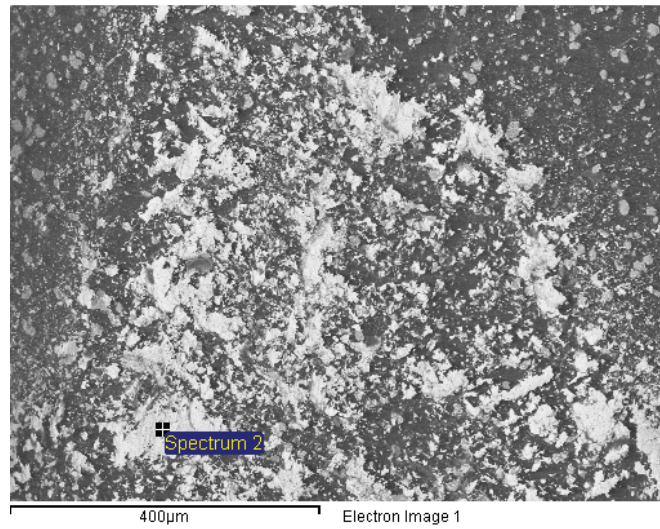


Figura 51 - Imagem da aresta 1 do $B_4C + TiB_2$ em MEV com a indicação do 2º ponto de análise em EDS.

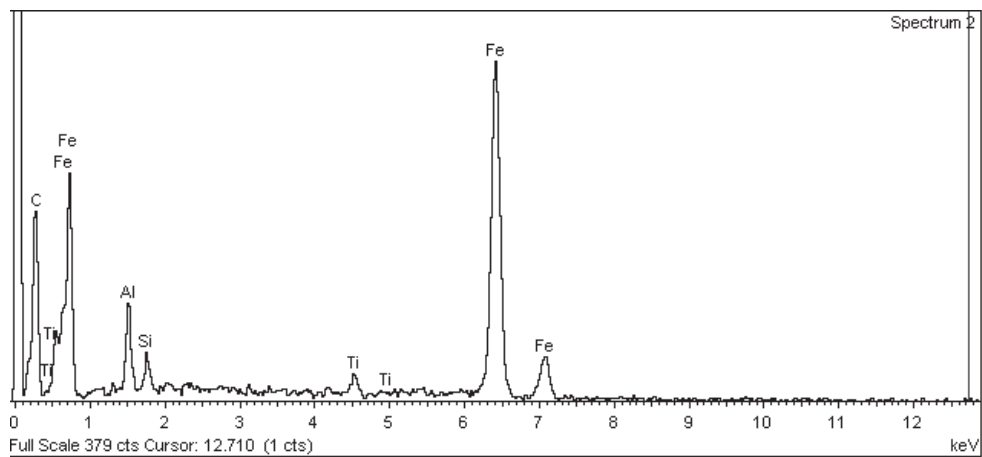


Figura 52 – Espectro de análise por EDS no ponto 2 da aresta 1 da ferramenta $B_4C + TiB_2$.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma comparação entre duas ferramentas cerâmicas, esta comparação incorre em uma pastilha de alumina (Al_2O_3) e outra de carbonato de boro adicionada a diboreto de titânio ($\text{B}_4\text{C} + \text{TiB}_2$), foi constatado que a cerâmica de alumina resistiu melhor aos desgastes, tendo uma melhor eficiência nos níveis de usinabilidade com que foi relacionada.

Os níveis de desgaste para as duas ferramentas foram fotografados com microscópio e feita a análise EDS através do MEV detalhada para cada aresta trabalhada, fato este com figuras ilustrativas já mostradas anteriormente.

Conclui-se que a ferramenta cerâmica de alumina resistiu melhor aos ensaios de usinabilidade de torneamento com as mesmas características de usinagem feitas para as duas, porém a pastilha de alumina resistiu e obteve um melhor nível de desgaste em relação à pastilha de diboreto de titânio, fato este que não seria um surpreendente resultado, pois a ferramenta cerâmica de carbonato de boro adicionada ao diboreto de titânio está em desenvolvimento e ainda precisa de um aprimoramento no seu desenvolvimento para que ocorra uma melhora em seu desempenho.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F., Engenharia de Materiais. Vol I Elsevier Editora, 2007.

CALLISTER Jr., W. D. Ciência e Engenharia de Materiais. 7º edição. 2008. Editora LTC.

COPAERT, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. Editora: Edgar Blücher LTDA, 1965, p 318-332.

DINIZ, A. E. COPPINI, N. L. E MARCONDES, F. C. Tecnologia da usinagem dos materiais. 5º edição Artliber Editora LTDA. São Paulo. 2001.

DOYLE, L. E. Processos de fabricação e materiais para engenheiros. São Paulo: Edgard Blücher , 1978, p. 358-368.

Eletroerosão Agie Charmilles do Brasil. Disponível

em: <http://www.gfac.com/br/produtos/eletroerosao-por-penetracao/index.pt.html>, consultado em 17/11/2012.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1977.

GUIMARÃES, A.S., Contribuição ao estudo da ligação metal-cerâmico por brasagem direta a vácuo com ligas reativas. Dissertação (doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1988.

MODENESI, P.J., Soldagem das ligas metálicas, 3º Ed., Belo Horizonte: UFMG, 2004.

NORTON, F.H. Introdução à Tecnologia Cerâmica. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

SOUZA et al. Uma tecnologia Viabilizadora nos Processos de Usinagem. Artigo apresentado palestra técnica no congresso de usinagem, out. 2008, São Paulo.

USINAGEM A SECO. Disponível

em:http://www.skf.com/portal/skf_lub/home/industries?contentId=874975, consultado em 20/11/12.

VLACK, V. Lawrence, H. Propriedades dos Materiais Cerâmicos. São Paulo: Editora Edgard Blücher.