

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE GESTÃO E ECONOMIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO

VANDERLEI VENTURA DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAL DE
ELETRODO DE COBRE POR GRAFITE NA USINAGEM
ATRAVÉS DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

VANDERLEI VENTURA DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAL DE
ELETRODO DE COBRE POR GRAFITE NA USINAGEM
ATRAVÉS DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção.

Orientador: Prof. M.Sc. Eng. Tiago R. Weller

CURITIBA

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAL DE ELETRODO DE COBRE POR GRAFITE NA USINAGEM ATRAVÉS DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO

Esta monografia foi apresentada no dia 04 de março de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato apresentou o trabalho para a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M.Sc. Eng. Tiago R. Weller
Orientador

Prof. Dr. Wilson Roberto Vicente Miccoli
Banca

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa
Banca

Visto da coordenação:

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

DEDICATÓRIA

A Deus, aos meus pais Antônio e Judite Ventura da Silva, a Minha esposa Ivenes
D. Ventura da Silva, a minha família e a todos meus amigos.

*“Algo só é impossível até que alguém duvide e
resolva provar ao contrário.”*

Albert Einstein.

RESUMO

SILVA, Vanderlei Ventura da. Estudo de viabilidade para substituição de material de eletrodo de cobre por grafite na usinagem através de eletroerosão por penetração. 2016. 40 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Na atualidade, produzir mais com menos, é a chave para manter o crescimento contínuo de todas as empresas, sejam elas grandes companhias ou pequenas fábricas, o foco é a maximização da lucratividade. As constantes buscas para o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitam a otimização do tempo e custos envolvidos na elaboração e construção do produto, estão se tornando cada vez mais imprescindível. A cada dia que passa novos insumos para a manufatura, estão sendo desenvolvidos e aplicados com a finalidade de atender clientes que buscam agilidade, eficiência e menor custo. Assim, o presente trabalho apresenta um estudo para avaliar a aplicabilidade do grafite, verificando sua potencialidade como eletrodo para eletroerosão por penetração. Este material possui algumas vantagens com relação ao cobre, que frequentemente é mais utilizado para o mesmo processo. Esta escolha se deve ao pouco conhecimento sobre o grafite como um todo. Conhecer quais são as suas reais vantagens e desvantagens, são pontos importantes para compreender os ganhos obtidos no momento da escolha desta matéria prima para o processamento. Neste trabalho foram elaborados testes práticos entres algumas marcas de grafites e após a seleção da que apresentou melhor desempenho, foram aplicados novos testes, desta vez comparando diretamente a utilização do grafite e do cobre como a mateira prima para o eletrodo. O resultado do estudo apontou ganhos significativos quando utilizado o grafite, vantagens como menor custo de investimento na aquisição da matéria prima, menor tempo para a confecção do eletrodo no centro de usinagem e maior velocidade durante a sua utilização na eletroerosão por penetração. Estes benefícios são repassados diretamente para o custo final do produto, possibilitando maior lucro.

Palavras-chave: Eletroerosão por penetração. Eletrodo de cobre. Eletrodo de grafite.

ABSTRACT

SILVA, Vanderlei Ventura da. Feasibility study for substitution of copper electrode material with graphite in the machining by penetration electroerosion. 2016. 40 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Nowadays, producing more with less is the key to maintaining the continued growth of all companies, whether large companies or small factories focus on maximizing profitability. The constant search for the development of new technologies that allow the optimization of the time and costs involved in the elaboration and construction of the product, are becoming more and more indispensable. With each passing day, new inputs for manufacturing are being developed and applied to serve customers seeking agility, efficiency and lower cost. The present work presents a study to evaluate the applicability of graphite, verifying its potential as an electrode for electro erosion by penetration. This material has some advantages with respect to the copper that is frequently used for the same process; this choice is due to the little knowledge about graphite as a whole. Knowing what their real advantages and disadvantages are, are important points to understand the gains obtained when choosing this raw material for processing. In this work, practical tests were developed between some graffiti brands and after the selection of the one that presented the best performance, new tests were applied, this time directly comparing the use of graphite and copper as the raw material for the electrode. The results of the study showed significant gains when using graphite, advantages such as lower cost of investment in raw material acquisition, shorter time to manufacture the electrode in the machining center and higher speed during its use in penetration electro erosion. These benefits are passed on directly to the final cost of the product, enabling greater profit.

Keywords: Penetration electrodes. Copper electrode. Graphite electrode.

LISTRA DE FIGURAS

Figura 01: Princípio da eletroerosão por penetração	14
Figura 02: Esquema representativo dos dois tipos de eletroerosão: (a) por penetração; (b) por fio.....	14
Figura 03: Partes da eletroerosão por penetração	15
Figura 04: Máquina eletroerosão a fio.....	16
Figura 05: Bitolas de cobre eletrolítico e eletrodo fabricado em cobre do mesmo material	17
Figura 06: Blocos de grafite	18
Figura 07: Eletrodo de grafite usinado	19
Figura 08: Presença de lançamento na aresta de canto vivo do eletrodo ferramenta	20
Figura 09: Fluxograma dos testes desenvolvidos através da metodologia proposta	22
Figura 10: Propriedades químicas do aço Tenax 30 IM	25
Figura 11: Sequência para o processamento de tratamento térmico do aço Tenax 300 IM	26
Figura 12: Retífica Jung utilizada para esquadrear corpo de prova	26
Figura 13: Corpo de prova utilizado para o teste	27
Figura 14: Centro de usinagem DMU 50 Deckel Maho.....	27
Figura 15: Bloco de grafite teste de comportamento das fresas com revestimento diamantado	28
Figura 16: Croqui e forma dimensões de usinagem da amostra de grafite.....	29
Figura 17: Sentido de usinagem discordante e concordante respectivamente	29
Figura 18: Máquina de eletroerosão por penetração para teste comparativo entre cobre e grafite	30
Figura 19: Eletrodos para o teste de grafite e de cobre	30
Figura 20: Eletrodos de cobre e grafite respectivamente	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais características físicas do grafite e do cobre	21
Tabela 2: Fornecedores e critérios estabelecidos	23
Tabela 3: Fornecedores e critérios estabelecidos	25
Tabela 4: Dados de corte para teste do comportamento do grafite e das fresas testadas	28
Tabela 5: Tecnologias especificadas e utilizadas para cada matéria prima.....	30
Tabela 6: Imagens para avaliação de deslocamento nas arestas de canto vivo do grafite	32
Tabela 7: Resultados obtidos durante o teste.....	33
Tabela 8: Resultados obtidos para os regimes de desbaste e acabamento nos testes de grafite	33
Tabela 9: Resultado geral dos testes aplicados para avaliação das marcas de grafite.....	33
Tabela 10: Comparativo custo de aquisição e volume por quilo de cada material testado	34
Tabela 11: Valores resultantes dos tempos de usinagem durante a fabricação dos eletrodos ferramentas de grafite e cobre	35
Tabela 12: Resultados dos comparativos entre os testes entre as matérias prima de grafite e cobre	35
Tabela 13: Resultados comparativos dos testes entre as marcas de fresas experimentado	35

LISTRA DE SIGLAS, ABREVIACOES E SÍMBOLOS

AMP - Ampere

C - Carbono

Cm - Centímetros

Cm³ - Centímetros cúbicos

Cr - Cromo

C - Graus Celsius

EDM - Electrical Discharge Machining

Mo – Rendimento médio calculado sobre oito impulsos

R – Durao do tempo de retirada das pulsaes em segundo

Si - Silício

TOFF - Tempo

TON - Tempo de impulso

U - Durao do tempo de usinagem em segundos

V - Volt

W – Tungstnio

WEDM - Wire Electrical Discharge Machining

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 PROCESSO DE ELETROEROSÃO	13
2.1.1 Eletroerosão por Penetração	15
2.1.2 Eletroerosão a Fio	16
2.2 MATERIAIS PARA ELETRODO	17
2.2.1 Cobre	17
2.2.2 Grafite	17
3 PROCECIMENTOS METODOLÓGICOS	22
3.1 DESENVOLVIMENTO DE FORNECEDOR DE GRAFITE.....	23
3.3 ESCOLHA DA MATÉRIA PRIMA PARA O CORPO DE PROVA	25
3.4 MÁQUINA FRESADORA.....	27
3.5 MÁQUINA DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO	29
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE RESULTADOS	32
4.1 ESCOLHA DA MATÉRIA PRIMA DE GRAFITE	32
4.2 TESTE COMPARATIVO ENTRE COBRE E GRAFITE.....	34
4.3 TESTES DE FERRAMENTAS	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Constantes desenvolvimentos tecnológicos na área de fabricação de peças para todos os tipos de aplicação estão intimamente relacionados à rapidez, redução de custo e a obtenção de lucro no produto final. O avanço na fabricação de novos equipamentos, ferramentais e aplicação de novos insumos, caminha continuamente a passos largos para atender o anseio partilhado por todas as empresas e organizações que almejam estar sempre evoluindo conjuntamente ao mercado.

O processo final na construção de uma peça é a fração da fabricação onde o valor agregado é mais alusivo, pois soma-se todos os processos anteriores ao montante da peça obra. O processamento através da ‘eletroerosão por penetração’, tema abordado neste estudo, também conhecida como EDM (*Electrical Discharge machining*) é comumente usada para a conclusão de peças de geometrias complexas e de aspectos diminutas, que requerem extrema precisão nas medidas acabadas.

Santos (2010), afirma que denominada como um processo de usinagem especial, a eletroerosão de penetração é comumente utilizada na fabricação de ferramentas especiais com aços tratados termicamente. Estes aços, após processados, são utilizados como cavidades de moldes e matrizes, peças de perfil geometricamente complexas, microeletrônicos e sistemas mecânicos. Comparando com os demais processos de usinagem, o procedimento por eletroerosão se torna mais caro, devido a sua forma de processamento, onde a remoção do material é realizada em pequenas partículas à base do fenômeno de descargas elétricas, o que o torna esse procedimento, prolongado.

Amorim (2002) orienta que para diminuir o custo neste processo, demanda contínuo estudos e esforços para favorecer a condição desta usinagem, salienta ainda que a utilização de novos tipos de insumos, como por exemplo, o grafite na construção do eletrodo, pode ser uma boa sugestão para viabilizar o processo. O eletrodo é um constituinte fundamental para a funcionalidade do sistema como um todo, pois é através dele que acontece a descarga elétrica e conseqüentemente a remoção do material, formando a cavidade/usinagem esperada. A utilização do grafite vem surpreendendo com significativas vantagens em relação ao cobre, principalmente quando empregada para fabricação de ferramentas, como moldes de injeção de alumínio e plástico sobre pressão que geralmente possuem detalhes complexos e são fabricados com materiais de difícil processamento para as usinagens comuns.

Para a seleção do melhor material de eletrodo, variáveis como taxa de remoção, rugosidade da superfície acabada, precisão, desgaste do eletrodo ferramenta, tempo/forma de usinabilidade e custo de aquisição do material devem ser levados em consideração para obtenção do êxito na escolha.

A partir do exposto, o objetivo principal deste estudo é avaliar a aplicabilidade do grafite, verificando sua potencialidade como eletrodo para eletroerosão por penetração, mais especificamente também objetivou-se:

- Testar algumas marcas de grafite, verificando os melhores resultados, para ser utilizado como eletrodo ferramenta no processo de eletroerosão por penetração auxiliando o cobre.
- Realizar comparativo entre o grafite e o cobre, no processo de eletroerosão por penetração.
- Apresentar as vantagens e desvantagens da aplicabilidade do grafite durante o processo de eletroerosão por penetração.

Justifica-se a realização deste estudo, porque ganhos de até 50 % na redução de tempo de fabricação do eletrodo, 60 % no tempo empregado durante o processo de desbaste, aproximadamente 63% no custo de aquisição menor desgaste resultante no eletrodo são os principais resultados considerados vantajosos na utilização do grafite.

No entanto, como todo material apresenta algumas desvantagens, este por sua vez possui fragilidade combinada com a abrasividade no seu grão, isto requer máquinas de usinagem e ferramentas de corte especiais no momento da construção do eletrodo.

Em termos de estrutura, este estudo contempla além desta introdução: Um capítulo sobre referencial teórico, onde serão apontados elementos essenciais para a redação da revisão da literatura; em seguida serão apresentadas as informações quanto aos procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa; na sequência, a apresentação e análise dos dados e, por fim, são apresentadas as considerações finais e referências dos autores pesquisados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, busca-se a realização de um levantamento do estado da arte objetivando descrever quais são os principais processos de fabricação por eletroerosão existentes, suas características de aplicação.

Posteriormente foi realizada uma pesquisa para identificar quais são os principais materiais utilizados nestes processos como eletrodos, de forma a embasar o estudo desenvolvido.

Assim sendo, neste capítulo aborda-se teoricamente a temática pertinente a este tema, que projeta a utilização do material de grafite na confecção de eletrodos-ferramentas para o processo de usinagem em eletroerosão por penetração.

2.1 PROCESSO DE ELETROEROSÃO

O processo de eletroerosão é uma usinagem com princípios físicos também conhecido como uma usinagem por remoção de partículas ao longo de descargas elétricas, onde há a transformação de energia elétrica em energia térmica. Há relatos que este processo já era utilizado no século XVIII, mas, foi somente aplicado em âmbito industrial durante a segunda guerra mundial, quando a inexistência de trabalhadores fez com que novas tecnologias fossem impulsionadas para auxiliar no aumento da manufatura, propiciando maior rapidez, precisão e minimização o desperdício de matéria prima. (USINAGEM POR ELETROEROSÃO, 2016).

Mesmo se tratando de um método especial de usinagem, a eletroerosão vem ganhando cada vez mais espaço e isso, se deve a obtenção de novos materiais que são beneficiados, denominados como superligas, cerâmicas e compósitos. Estes materiais apresentam durezas altíssimas, dificultando a sua manufatura por qualquer outro processo. Outro fator relevante é a forma de perfis e a complexidade empregada para a elaboração de peças, se não fosse através da eletroerosão, dificilmente seriam fabricados através da usinagem comum. (USINAGEM POR ELETROEROSÃO, 2016).

Para que ocorra o processo de eletroerosão, o eletrodo e a peça obra devem ser ótimos condutores de corrente elétrica. O processo físico acontece quando o eletrodo se aproxima da peça, esta particularidade um curto circuito, conhecido também como centelha ou *gap*, este fenômeno gera um aquecimento considerável, capaz de vaporizar as pequenas partículas de materiais, onde se o teve contato com a descarga,

possibilitando a retirada do material e originando o perfil esperado da peça conforme demonstra a Figura 01.

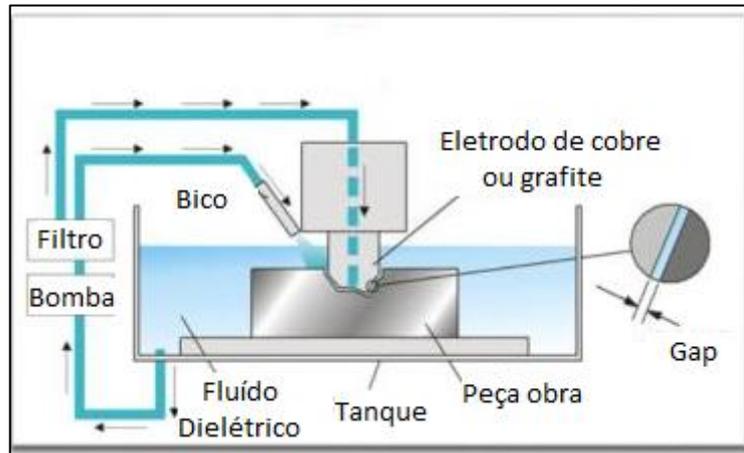


Figura 01: Princípio da eletroerosão por penetração
Fonte: MARCELINO (2015, p. 01).

Atualmente os processos mais comuns de eletroerosão é a de penetração e eletroerosão a fio. Na penetração os materiais mais utilizados para o eletrodo são cobre e o grafite, já na erosão a fio, o eletrodo passa a ser um fio, este pode ser de latão, cobre, molibdênio ou tungstênio. Para ambos os processos, qualquer material condutor de eletricidade pode ser utilizado como eletrodo, porém grande parte deles não terão bons resultados. Isto acontece devido à característica de cada material.

A Figura 02 apresenta o esquema dos dois tipos de eletroerosão.

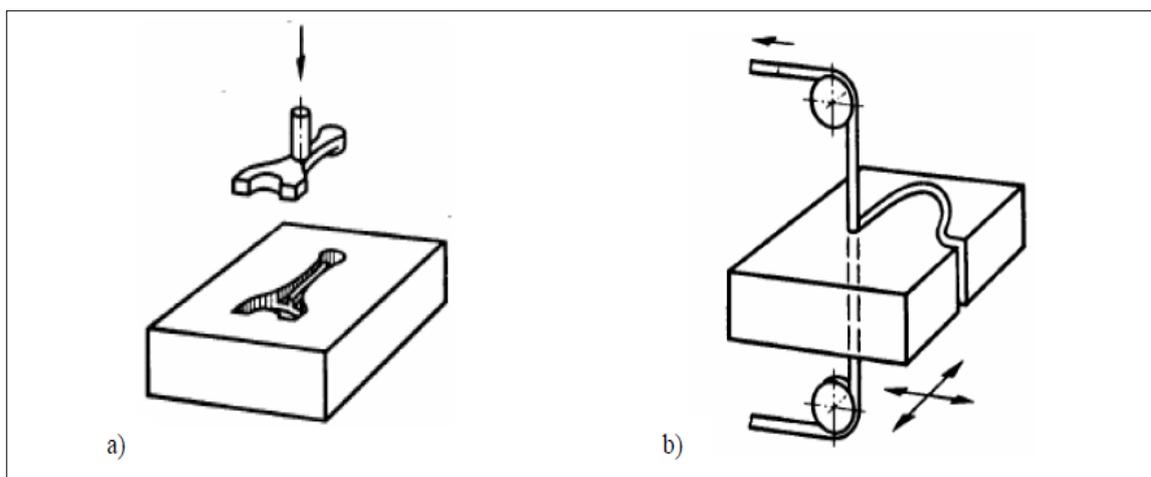


Figura 01: Esquema representativo dos dois tipos de eletroerosão: (a) por penetração; (b) por fio
Fonte: FREITAS (2016, p. 01).

Freitas (2016), comenta que o processo de eletroerosão por penetração remove o material em pequenas partículas através de um encadeamento de descargas elétricas, originada

pelo eletrodo ferramenta e a peça obra que estão diretamente ligados a um circuito elétrico. Para que não ocorra nenhum tipo de acidente, este procedimento é feito submerso ou com canos direcionadores de um fluido dielétrico, que além de diminuir a temperatura na região do *gap*, mantém a região limpa, retirando as partículas que vão se desprendendo durante o processo.

Freitas (2016), aponta também que fatores como velocidade, rendimento e desgastes estão relacionados na forma de configuração em que são conectados os cabos de polaridades. A ligação mais usual é o eletrodo no polo positivo e a peça obra no polo negativo. Esta ligação proporcionará maior desgaste na peça obra e menor no eletrodo. Nada impede que esta configuração seja invertida, porém, os resultados também se inverterão. Esta segunda opção, se dá quando a velocidade é muito mais importante do que os demais indicadores.

2.1.1 Eletroerosão por Penetração

O equipamento denominado eletroerosão por penetração e as principais partes do equipamento estão representadas na Figura 03.



Figura 03: Partes da eletroerosão por penetração
Fonte: CANTO (2016, p. 03).

Como pode-se observar na Figura 03, o equipamento é composto basicamente por uma bandeja para a retenção do dielétrico, dentro desta bandeja se localiza a mesa onde fixa a peça obra, o cabeçote em que é preso o mandril e eletrodo ferramenta, um

painel de controle, uma fonte de gerador de corrente contínua onde são conectados os cabos de polaridades positivas e negativa.

2.1.2 Eletroerosão a Fio

Os primeiros relatos da utilização do equipamento de eletroerosão a fio foram no ano de 1969. Conhecida também como WEDM (*Wire Electrical Discharge Machining*), este equipamento/processo é uma adaptação e evolução da tecnologia utilizada no equipamento de eletroerosão por penetração. Neste método, a peça é usinada através de um fio tensionado e carregada eletricamente que comandado pelo CNC (Comando numérico computadorizado) do equipamento vai cortando a peça obra e remetendo-lhe a geometria esperada.

A forma construtiva do equipamento é análoga, a eletroerosão por penetração, contendo uma bandeja e tanque para retenção do líquido refrigerante, mesa para colocação da peça obra, cabeçote para passagem do fio e painel de controle

A máquina de eletroerosão a fio está demonstrada na Figura 04 a seguir.



Figura 02: Máquina eletroerosão a fio
Fonte: USILETRO (2016, p. 01).

No processo de eletroerosão a fio, os princípios de funcionamento são similares ao da EDM, divergindo somente nos seguintes fatores, enquanto a Eletroerosão por penetração utiliza um eletrodo para o processo, a eletroerosão a fio se utiliza de um fio, porém ambos são os responsáveis pela condução do arco elétrico. Outra condição é que a eletroerosão a fio se limita a fazer orifícios passantes e eletroerosão por penetração pode fazer furos cegos ou passantes.

2.2 MATERIAIS PARA ELETRODO

2.2.1 Cobre

Amorim (2002), explica que o cobre e suas ligas são utilizados em grande escala na indústria mecânica, elétrica, construção civil e química. Em uma das aplicações na indústria mecânica, o cobre eletrolítico destaca-se como eletrodo ferramenta para o processo de eletroerosão por penetração por possuir características positivas como baixa resistividade elétrica, ponto de fusão de 1083 °C, com alta resistência a corção e ótimo condutor elétrico. Quando se deseja uma superfície polida com bom acabamento, ou de menor rugosidade, o cobre eletrolítico é a melhor escolha dentre as demais opções de material. A Figura 05 apresenta as bitolas de cobre eletrolítico e um eletrodo fabricado em cobre do mesmo material.

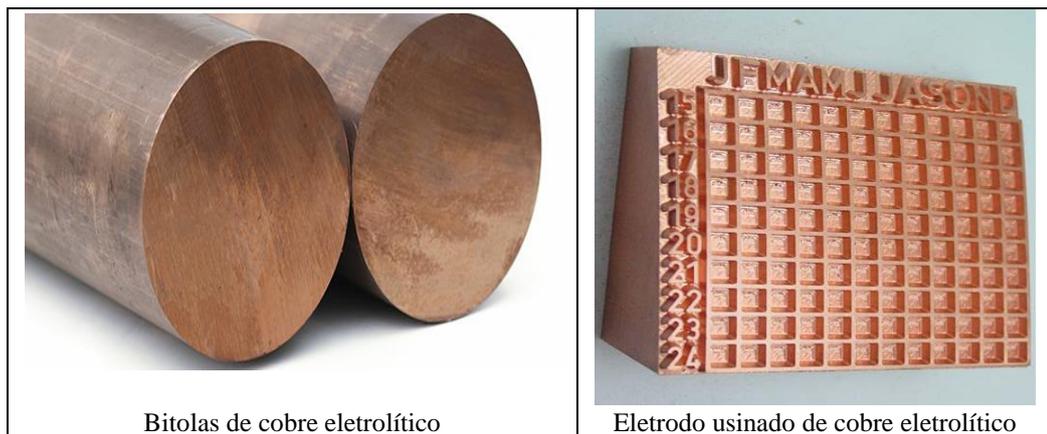


Figura 05: Bitolas de cobre eletrolítico e eletrodo fabricado em cobre do mesmo material
 Fonte: DAGER (2016, p. 01).

Ferraresi (1997), também informa que algumas desvantagens desta matéria prima utilizada para este fim está relacionada à sua ductilidade e densidade de 8,94 g/cm³. Estes fatores se tornam inconvenientes, principalmente no momento da usinabilidade de eletrodos complexos e dimensionamento destas peças em médio/grande porte.

2.2.2 Grafite

Somer e Somer (2005), comentam que o grafite utilizado para fabricação de eletrodos é obtido de materiais como grafite naturais, vários tipos de coque e negro

fumo. Após serem moídos e terem os seus grãos devidamente separados pelo tamanho de seus grãos, um ligante é adicionado para que durante a compactação do bloco, sua estrutura fique homogênea.

Existem inúmeras variáveis no processo de obtenção deste material que podem fazer com que as mesmas características técnicas não sejam idênticas, mesmo que este seja produzido pelo mesmo fabricante, podendo não ter o mesmo comportamento. A Figura 06 apresenta blocos de grafite, em que geralmente, é nestas condições que o material é comercializado.



Figura 06: Blocos de grafite
Fonte: CARBONO AMERICANA (2016, p. 01).

Santos (2010), também relaciona que grafite, grafita ou carbono mineral como também é conhecido, trata-se de um minério tenro, podendo ser facilmente trabalhada, porém, é a forma sintética do produto que tem maior utilização no mercado industrial, inclusive como uma opção para a fabricação de eletrodos para utilização na eletroerosão por penetração. Sua classificação se dá devido ao tipo de sua granulometria desigual, o que proporciona várias classes para este material.

O custo do material está ligado diretamente ao tamanho de seu grão. Amorim (2002) orienta que quanto menor o grão, mais denso será o material e conseqüentemente mais caro será o custo de aquisição e, que atualmente o mercado apresenta várias classes de material com tamanhos de grãos distintos que podem variar entre $1\mu\text{m}$ a $20\mu\text{m}$. A decisão para a escolha cabe ao tipo de usinagem que se deseja obter.

Vale ressaltar que quanto menor a granulometria, melhor acabamento, maior precisão nas medidas acabadas, menor rugosidade, já o tempo de usinagem maior será, quando for escolhido uma granulação com grãos de maior diâmetro, os resultados serão o inverso da granulação mais fina.

Santos (2010) ainda destaca que por ser tratar de um material metalóide, o grafite possui a característica de suportar altas temperaturas, podendo chegar a valores de 3500 °C, o que justifica a sua grande resistência aos danos térmicos. Outro benefício é identificado no momento da fabricação do eletrodo, por ser considerado um material de fácil usinabilidade e unido a parâmetros de cortes adequados. A resultante é um eletrodo ferramenta, com detalhes frágeis e isento de rebarbas, condição fundamental para o processo de eletroerosão. A Figura 07 demonstra um eletrodo de geometria complexa usinado em grafite.



Figura 07: Eletrodo de grafite usinado
Fonte: MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICOS (2016, p. 01).

De acordo com METHAGRAFITE (2013), as vantagens na utilização do grafite em relação ao cobre para esta finalidade, vem aumentando na medida proporcional ao conhecimento adquirido através de novos estudos e testes. As empresas fornecedoras e representantes da matéria prima deste produto fazem constantes avaliações, procurando expor as melhores opções. O tempo de confecção do eletrodo pode ser três vezes menor do que utilizado para fabricar o mesmo produto em cobre, o mesmo ainda possui alta resistência mecânica, que proporciona a fabricação de eletrodos de geometrias complexas e detalhes extremante delicados, como nervuras, ressaltos profundos e lâminas finas.

A baixa densidade deste material oportuniza a capacidade de fabricação de eletrodos com dimensões de três a cinco vezes maiores do que em cobre. A estabilidade geométrica é garantida pelo baixo coeficiente de dilatação, devido à boa condutividade

elétrica e térmica, podendo aplicar taxas de remoção maiores e com velocidades de duas a três vezes superior ao cobre, com isso, o eletrodo de grafite apresenta maior remoção em relação ao desgaste e bom acabamento superficial quando comparado ao cobre. (METHAGRAFITE, 2013).

Em contra partida este material também apresenta variantes negativas. Kratochvil (2004) aponta que algumas das principais desvantagens deste material referem-se o desempenho mecânico frágil, que necessita de cuidados essenciais durante o seu manuseio e usinagem, sendo necessário dados de cortes diferenciados e a utilização de ferramentas de corte com revestimentos diamantados. Quando estas informações não são levadas em consideração, falhas de usinagem acontecem e geralmente estão presentes nas arestas de cantos vivos dos eletrodos ferramentas, considerados inadmissíveis para se obter um perfeito acabamento superficial da peça obra. A Figura 08 demonstra precisamente as falhas que podem ocorrer no momento da usinagem.

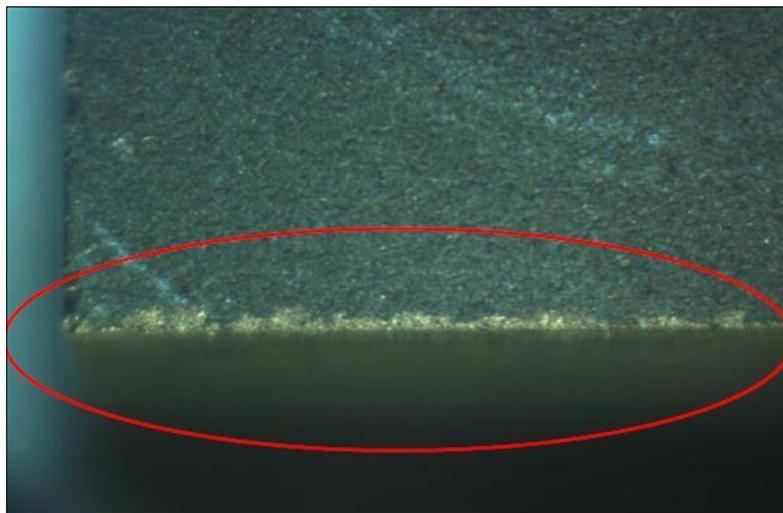


Figura 08: Presença de lançamento na aresta de canto vivo do eletrodo ferramenta
Fonte: MULLER *et al.*, (2015, p. 03).

A formação de pó com minúsculas partículas abrasiva podem danificar partes e peças do centro de usinagem durante a fabricação do eletrodo ferramenta, determinando que as máquinas devam ser preparadas para este tipo de condição. Estes e outros aspectos se tornam mais relevantes, pelo fato de ainda não ter profissionais capacitados e com conhecimento técnico para trabalhar com o grafite.

Contudo, o grafite ainda apresenta significativas vantagens para sua utilização como eletrodo ferramenta no processo de eletroerosão por penetração. A Tabela 1 a seguir apresenta de forma sucinta as principais características físicas do cobre e do grafite.

Propriedades Físicas	Grafite	Cobre
Resistividade Elétrica ($\mu\Omega/\text{cm}$)	0,12	1,96
Condutividade elétrica comparado com prata (%)	0,11	92
Condutividade Térmica (W/mK)	160	380,7
Ponto de Sublimação e Fusão ($^{\circ}\text{C}$)	3500	1083
Calor Específico (cal/g $^{\circ}\text{C}$)	0,17-0,2	0,092
Peso Específico a 20 $^{\circ}\text{C}$ (g/cm 3)	1,75	8,9
Coefficiente de expansão térmica ($\times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	7,8	6,6

Tabela 1: Principais características físicas do grafite e do cobre
 Fonte: CHE HARON *et al.*, (2007, p. 01).

Conforme o comparativo apresentado pode-se confirmar que o cobre apresenta melhores condições para o processo, porém no conjunto da obra, o grafite se destaca por aceitar descargas elétricas de maior proporção, principalmente quando se almeja grades remoção durante o processo, isso acontece devido as altas temperaturas suportadas pelo material e a fabricação de eletrodos de médio grande porte possibilitado adequando ao seu peso específico. No capítulo seguinte descreve-se a parte metodológica aplicada para o desenvolvimento dos testes.

3 PROCECIMENTOS METODOLÓGICOS

Objetivando testar diversas marcas de grafites a fim de utilizá-lo como eletrodo ferramenta no processo de eletroerosão por penetração auxiliando o cobre. Este capítulo apresenta os métodos empíricos aplicados na seção de Usinagem de Precisão do departamento de Ferramentaria da WEG motores de Jaraguá do Sul.

Os principais tópicos abordados foram os testes de usinagem do eletrodo ferramenta e o comportamento do mesmo no momento da utilização no processo de eletroerosão, avaliando o seu desgaste x remoção do material no corpo de prova. A Figura 09 apresenta o fluxograma com a sequência de métodos que foram utilizados para este trabalho.

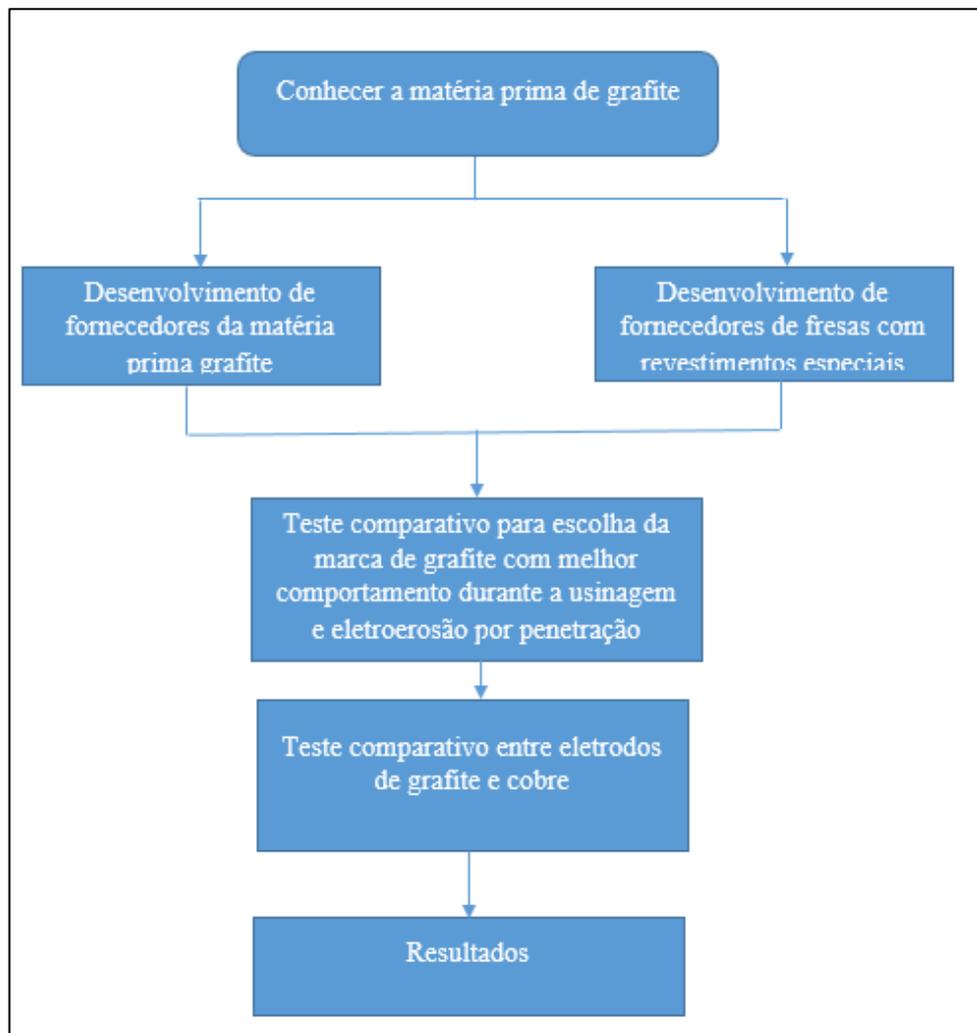


Figura 09:3 Fluxograma dos testes desenvolvidos através da metodologia proposta
Fonte: Autoria própria.

Como pode-se observar a Figura 09, o esquema tem como a finalidade de organizar e traçar parâmetros adequados para a realização do trabalho como um todo.

3.1 DESENVOLVIMENTO DE FORNECEDOR DE GRAFITE

Para obter um maior e melhor conhecimento referente à matéria prima grafite, buscou-se por meio de subsídios teóricos, uma melhor compreensão do comportamento deste material. Alguns fornecedores/representantes da matéria prima foram visitados, os quais retribuíram a visita para um melhor entendimento sobre quais seriam os tipos de grafite ideal para a aplicação. Com estas ações, foi possível conhecer as vantagens e desvantagens da aplicabilidade deste material como eletrodo para eletroerosão por penetração. Foram escolhidos quatro fornecedores e para não cometer nenhuma injustiça, não são mensurados seus nomes e marcas neste respectivo trabalho. Assim, as tratativas de identificação serão as seguintes:

- Fornecedor A com a marca de grafite A;
- Fornecedor B com a marca de grafite B;
- Fornecedor C com a marca de grafite C;
- Fornecedor D com a marca de grafite D.

Para chegar a estas escolhas destes fornecedores, foram levados em consideração os seguintes critérios:

- A utilização da marca de grafite a nível de mundo;
- Procedência da matéria prima (País de fabricação);
- Localização da empresa representante/fornecedor;
- Estoque disponível no fornecedor;
- Prazo de entrega;
- Forma de pagamento.

A Tabela 2 demonstra os critérios para desenvolvimento dos fornecedores.

Critérios avaliados	Fornecedores			
	A	B	C	D
A utilização da marca de grafite a nível de mundo	Sim	Sim	Sim	Sim
Procedência da matéria prima (País de fabricação);	Japão	Japão	Estados Unidos	Alemanha
Localização da empresa representante/fornecedor;	Joinville - SC	Jaçanã - SP	Esteio - RGS	Joinville- SC
Estoque disponível no fornecedor;	Sim	Sim	Sim	Sim
Prazo de entrega; (dias)	2	8	6	4
Forma de pagamento. (dias)	28	28	28	28

Tabela 2: Fornecedores e critérios estabelecidos
Fonte: Autoria própria.

Após o estudo, avaliação e seleção dos fornecedores e amostras dos materiais foram solicitadas, com base nos critérios dos resultados esperados como baixa rugosidade, acabamento superficial, precisão e desgaste do eletrodo ferramenta versus remoção do corpo de prova. No primeiro momento foram requisitadas para as empresas fornecedoras da matéria prima, duas amostras retangulares de 60mm x 30mm x 30 mm, uma para avaliar o desempenho durante a usinagem e outra da mesma forma para avaliar desempenho durante a utilização na eletroerosão por penetração.

3.2 DESENVOLVIMENTO DE FORNECEDORES DE FRESAS COM REVESTIMENTO ESPECIAIS

Pelo grafite ainda não ser um material muito usual no Brasil para esta finalidade, a sua usinagem ainda é um empecilho para o seu progresso. Poucas empresas fornecem ferramentas especiais para este tipo de usinagem.

Para o desenvolvimento de fornecedores de fresas especiais, foram utilizados os mesmos parâmetros da escolha da matéria prima de grafite. Materiais didáticos foram estudados, fornecedores da região foram visitados e outras visitas retribuídas à empresa, sempre com a finalidade de entender e aprender melhor sobre os ferramentais.

Da mesma forma como na escolha de fornecedor de grafite, não serão citados os nomes das empresas fornecedoras de fresas especiais sendo denominadas como:

- Fornecedor A com a marca de fresa A;
- Fornecedor B com a marca de fresa B;
- Fornecedor C com a marca de fresa C;
- Fornecedor D com a marca de fresa D.

Para chegar a estas escolhas destes fornecedores foram levadas em consideração os seguintes critérios:

- A utilização da marca de fresa a nível de mundo;
- Procedência da ferramenta (País de fabricação);
- Localização do representante/fornecedor;
- Estoque disponível no fornecedor;
- Prazo de entrega;
- Forma de pagamento.

A Tabela 3 demonstra fornecedores e critérios estabelecidos para desenvolvimento de fornecedores de fresas com revestimentos especiais.

Fornecedores	A	B	C
Critérios avaliados			
A utilização da marca de grafite a nível de mundo	Sim	Sim	Sim
Procedência da matéria prima (País de fabricação);	Japão	Tailândia	Estados Unidos
Localização da empresa representante/fornecedor;	Joinville - SC	Joinville - SC	SP
Estoque disponível no fornecedor;	Não	Sim	Não
Prazo de entrega; (dias)	123	11	86
Forma de pagamento. (dias)	28	28	28

Tabela 3: Fornecedores e critérios estabelecidos
Fonte: Autoria própria.

Após estudo, avaliação e seleção dos fornecedores, uma amostra de fresa com revestimento especial utilizado para a usinagem de grafite, foi solicitada de cada representante, com base nos critérios dos resultados esperados como, desgaste da ferramenta/tempo de utilização, acabamento superficial, dimensional e rugosidade da peça usinada.

3.3 ESCOLHA DA MATÉRIA PRIMA PARA O CORPO DE PROVA

Para avaliar o desempenho da matéria prima de grafite no processo de eletroerosão, foi utilizado um corpo de prova de aço, para trabalho a quente Tenax 300 IM fornecido pela empresa Villares Metals. As propriedades químicas do material são apresentadas na Figura 10

C	Si	Cr	Mo	V
0,36	0,30	5,00	1,40	0,40

Figura 10: Propriedades químicas do aço Tenax 30 IM
Fonte: VILLARES METALS (2016, p. 01).

O aço foi tratado termicamente na seção de tratamento térmico da própria empresa WEG. As informações da sequência do tratamento estão dispostas no diagrama

conforme Figura 11. A dureza aplicada no corpo de prova foi de 43/46 Hrc. Este resultado é análogo às características utilizadas na fabricação de moldes e ferramentais, utilizados para injeção de alumínio e muito comumente usinados na eletroerosão por penetração.

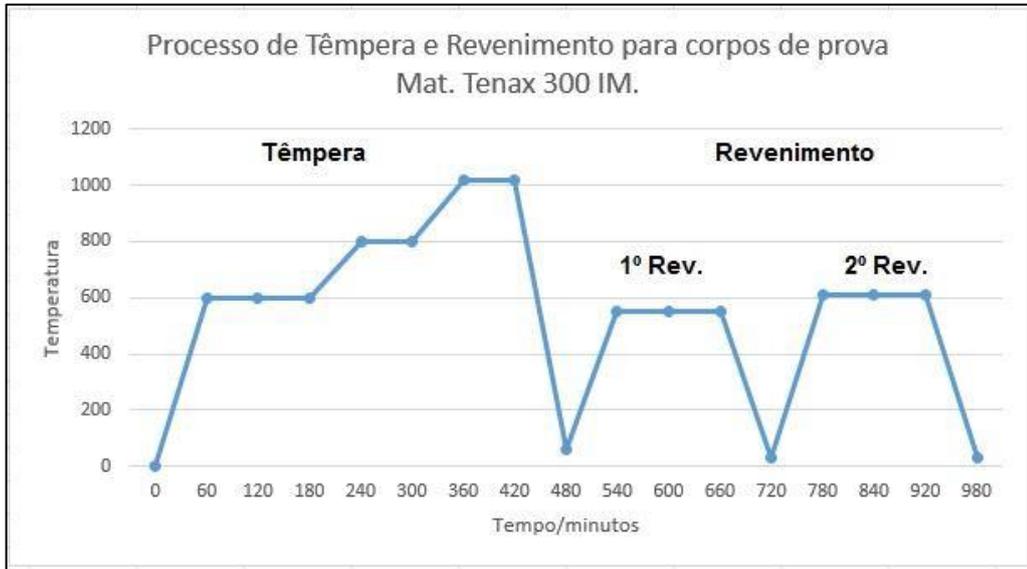


Figura 41: Sequência para o processamento de tratamento térmico do aço Tenax 300 IM
Fonte: Autoria própria.

Após o tratamento térmico o corpo de prova foi colocado em uma retificadora plana tangencial modelo Jung para acertar o dimensional na espessura e laterais, o rebolo utilizado foi o óxido de alumínio com diâmetro de 228,6mm e espessura de 15 mm. A máquina utilizada está apresentada na Figura 12.



Figura 12: Retífica Jung utilizada para esquadrear corpo de prova
Fonte: Autoria própria.

As medidas do corpo de prova conforme a Figura 13, ficou com proporções de 34,5mm na espessura, 130,0 mm de largura e 185,0 mm no comprimento.

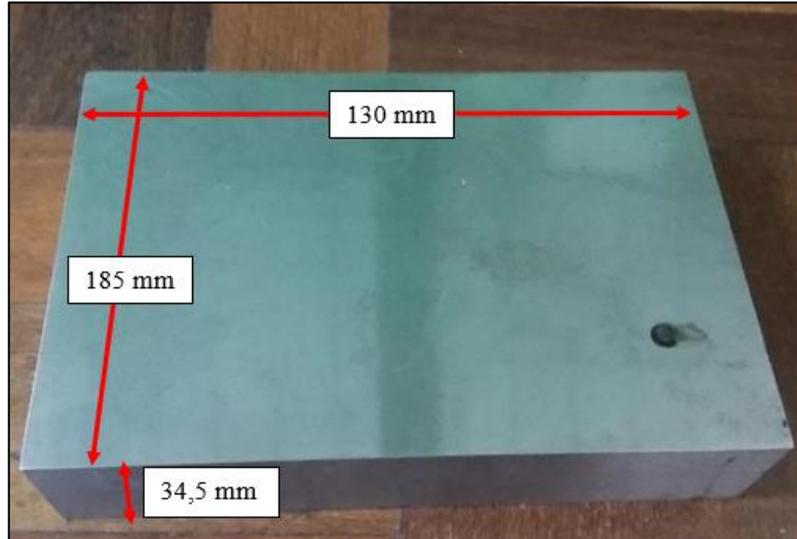


Figura 13: Corpo de prova utilizado para o teste
Fonte: Autoria própria.

Este corpo de prova foi utilizado para todos os testes aplicados durante o processo de eletroerosão, tanto para os comparativos entre os materiais em grafite, quanto para o comparativo entre o cobre e o grafite.

3.4 MÁQUINA FRESADORA

Para o teste de avaliação de usinagem do grafite e o comportamento das fresas especiais foi utilizado um centro de usinagem DMU 50 Deckel Maho com 18.000 RPM apresentado na Figura 14.



Figura 14: Centro de usinagem DMU 50 Deckel Maho
Fonte: Autoria própria.

A avaliação das ferramentas de usinagem foi realizada através de usinagem por faceamento de um bloco de grafite com dimensões 120 mm de comprimento e 100 mm de largura e 70 mm de espessura, conforme a Figura 15, com um período de tempo estipulado em 4 horas. Utilizando uma fresa toroidal com revestimento diamantado, diâmetro 6 mm e raio de canto 0,5 mm. Avaliando ruído, desgaste de ferramental e superfície acabada do bloco.

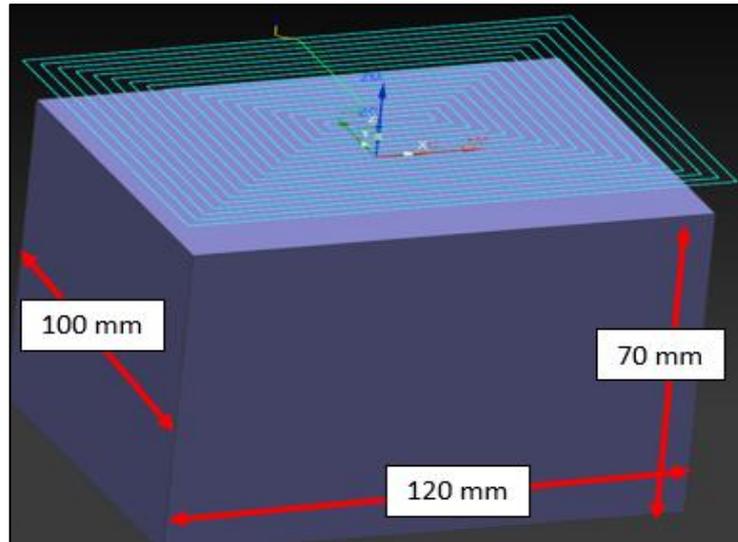


Figura 15: Bloco de grafite teste de comportamento das fresas com revestimento diamantado
Fonte: Autoria própria.

Para triagem da melhor marca de grafite foi aplicado o teste de usinagem, cujo os parâmetros utilizados estão listados na Tabela 4.

● Fresa \varnothing 5 Diamantada (3 cortes)
● Vc: 251 m/min
● Ap: 0,5 mm
● Ae: 4,5 mm
● RPM: 16000
● fz 1 avanço: 0,050 (2400)
● fz 2 avanço: 0,075 (3600)
● fz 3 avanço: 0,100 (4800)
● fz 4 avanço: 0,125 (6000)
● fz 5 avanço: 0,150 (7200)

Tabela 4: Dados de corte para teste do comportamento do grafite e das fresas testadas
Fonte: Autoria Própria (2016).

Durante os testes alguns parâmetros foram alternados, como por exemplo o avanço por faca (fz) e RPM, visando a busca de melhores resultados. Na Figura 16 apresenta-se o croqui e forma das dimensões da amostra de grafite usinado.

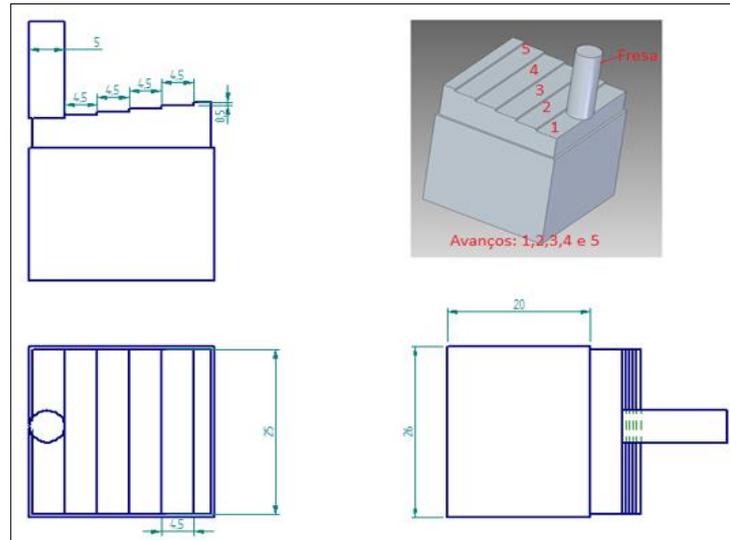


Figura 16: Croqui e forma dimensões de usinagem da amostra de grafite
 Fonte: Autoria própria.

As usinagens concordante e discordante foram as formas utilizadas para avaliação do comportamento do material pós usinagem. Analisando as principais falhas da usinagem. A Figura 17 apresenta as formas de usinagens efetuadas.

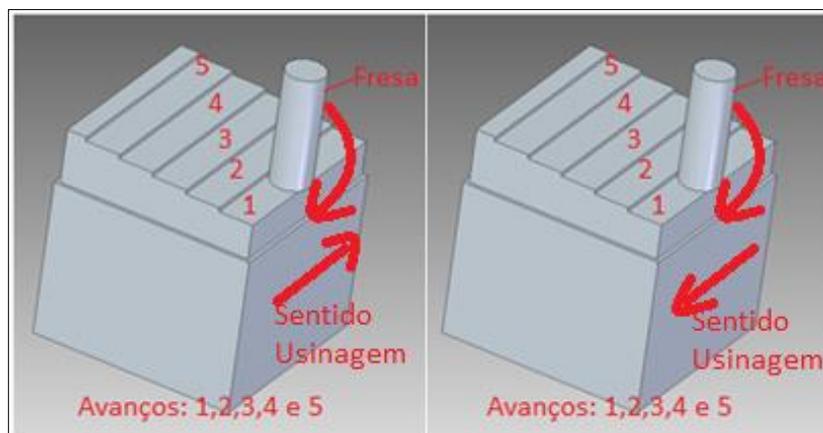


Figura 17: Sentido de usinagem discordante e concordante respectivamente
 Fonte: Autoria própria.

Os critérios técnicos para a seleção do melhor grafite durante a usinagem foram: Isonção de lascamentos nas arestas de cantos vivo nas saídas de fresas; Superfície acabada isenta de falhas devido ao processo de usinagem; Custo e Prazo de entrega.

3.5 MÁQUINA DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO

A máquina utilizada para o teste comparativo entre cobre e grafite durante o processo de eletroerosão foi a Charmilles modelo Roboform 350, conforme Figura 18.



Figura 58: Máquina de eletroerosão por penetração para teste comparativo entre cobre e grafite
Fonte: Autoria própria.

O dimensional utilizado para o eletrodo ferramenta durante os testes, tanto para a escolha da melhor opção para grafite, quanto para avaliação entre grafite e cobre, foram fabricados no formato retangular dimensionado com 30 mm de comprimento e lados com 25mm, com furo de refrigeração de diâmetro de 8 mm para que ocorra a lavagem durante o processo de penetração, conforme apresentado na Figura 19.



Figura 19: Eletrodos para o teste de grafite e de cobre
Fonte: Autoria própria.

As tecnologias utilizadas na eletroerosão por penetração Charmilles marca Roboform para o teste do grafite e do cobre estão representadas na Tabela 5.

Matéria prima	CHe	AMP.	TON	TOFF	SV	R	U	VPULS	V
COBRE	443	64	400	200	20	0,2	12,8	240	80
GRAFITE	443	64	200	25	20	0,2	12,8	480	80

Tabela 5: Tecnologias especificadas e utilizadas para cada matéria prima
 Fonte: Autoria própria.

Para avaliação do desempenho entre as matérias primas de cobre e grafite foram avaliados os seguintes aspectos: Desgaste frontal; Desgaste de canto (aresta); Quantidade de material removido e Tempo.

O teste foi estipulado em penetrar o eletrodo de cada marca de grafite a uma profundidade de 5,00 mm no corpo de prova aço Tenax 300 IM, avaliando posteriormente o desgastes obtidos na área de contato do eletrodo em relação a área removida de material do corpo de prova.

Na sequência da descrição dos procedimentos metodológicos, foram realizados os testes práticos cujos resultados, são apresentados no capítulo a seguir apresentação e análise dos resultados.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE RESULTADOS

4.1 ESCOLHA DA MATÉRIA PRIMA DE GRAFITE

Após os testes de usinagem elaborados na fresadora Deckel Maho com as marcas de grafite A, B, C e D constatou-se um melhor desempenho para o grafite da marca A, utilizado o corte de fresa no sentido concordante. A Tabela 6 demonstra as imagens dos resultados e a Tabela 7 resume os resultados obtidos durante o teste.

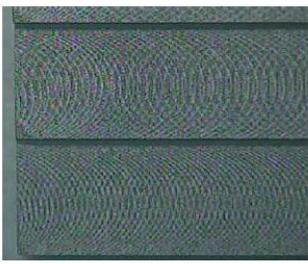
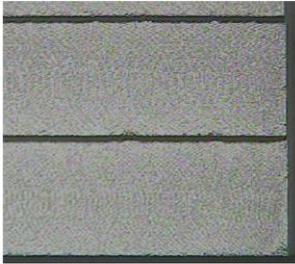
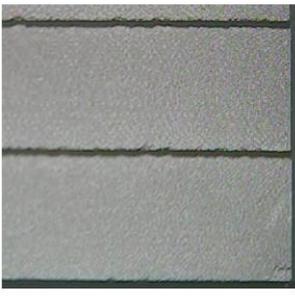
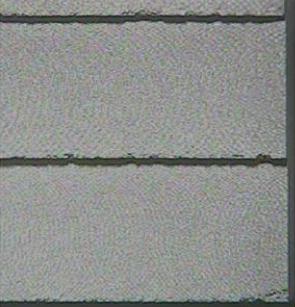
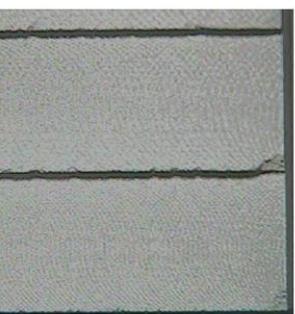
ornecedor	Grafite	Granulação	Usinagem Concordante	Usinagem Discordante	Resultados
A	A	10 μm			Menor quantidade de lascamentos nos perfis, usinagem concordante e discordante
B	B	10 μm			Presença de lascamentos nos perfis usinagem concordante e discordante
C	C	10 μm			Presença de sinais de lascamentos nos perfis usinagem concordante e discordante
D	D	10 μm			Presença de sinais de lascamentos nos perfis usinagem concordante e discordante

Tabela 6: Imagens para avaliação de deslocamento nas arestas de canto vivo do grafite
Fonte: Autoria Própria (2016).

Fornecedor	Marca	Qtde de falhas	
		Concordante	Discordante
A	A	2	3
B	B	4	3
C	C	4	3
D	D	5	5

Tabela 7: Resultados obtidos durante o teste
Fonte: Autoria própria.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos após os testes das marcas de grafite na eletroerosão por penetração. Valores conseguidos para os regimes de desbaste e acabamento, indicando a marca A como a opção com melhor desempenho.

Fornecedor	Marca	Eletroerosão por penetração					
		Desbaste				Acabamento	
		Desgaste frontal (mm)	Desgaste canto (mm)	Remoção mm ³ /min	Tempo	Média (Ra)	Tempo
A	A	0,000	0,20	294	00:14:16	0,58	00:33:44
B	B	0,000	0,20	270	00:15:35	0,63	00:38:49
C	C	0,008	0,25	267	00:15:45	0,62	00:35:57
D	D	0,010	0,20	247	00:17:01	0,60	00:36:04

Tabela 8: Resultados obtidos para os regimes de desbaste e acabamento nos testes de grafite
Fonte: Autoria própria.

A Tabela 9 demonstra o resultado geral dos testes aplicados para avaliação das marcas de grafite, apresentando a classe mais apropriada para o emprego durante a operação de usinagem e eletroerosão por penetração.

Fornecedor	Marca	Usinagem		Eletroerosão por penetração						R\$/Kg
		Qtde de falhas		Desbaste				Acabamento		
		Concordante	Discordante	Desgaste frontal (mm)	Desgaste canto (mm)	Remoção mm ³ /min	Tempo	Média (Ra)	Tempo	
A	A	2	3	0,000	0,20	294	00:14:16	0,58	00:33:44	70,00
B	B	4	3	0,000	0,20	270	00:15:35	0,63	00:38:49	69,45
C	C	4	3	0,008	0,25	267	00:15:45	0,62	00:35:57	90,54
D	D	5	5	0,010	0,20	247	00:17:01	0,60	00:36:04	96,67

Tabela 9: Resultado geral dos testes aplicados para avaliação das marcas de grafite
Fonte: Autoria própria.

Apesar da marca de grafite A apresentar o custo (R\$) de aquisição um pouco mais elevado do que a marca B, nos demais resultados a marca A, teve o melhor desempenho e relação custo benefício e pode ser comparada com a matéria prima de cobre.

4.2 TESTE COMPARATIVO ENTRE COBRE E GRAFITE

De posse destes resultados foi concluído que a marca de grafite A é a mais indicada tecnicamente para comparar com o eletrodo de cobre. Para execução deste comprobatório, foram executadas avaliações para o custo de aquisição do material e o comportamento durante o processo de erosão por penetração, com suas respectivas tecnologias.

Mesmo que o custo de aquisição do grafite ser 45% mais caro do que o custo do cobre, este valor compensa pelo volume de aproximadamente 80% maior que o cobre. Esta diferença no volume se dá pelo baixo peso específico do grafite em relação ao cobre. A Tabela 10 demonstra o peso específico, o custo por quilo e o volume de cada material.

Matéria Prima	Peso específico	R\$ (Kg)	Volume (Cm³)
Grafite	1,80	70,00	549,450
Cobre	8,92	38,00	112,107

Tabela 10: Comparativo custo de aquisição e volume por quilo de cada material testado
Fonte: Autoria própria.

Para comparativos de tempo de usinagem foi usinado um modelo de eletrodo de dois tipos materiais conforme a Figura 20.

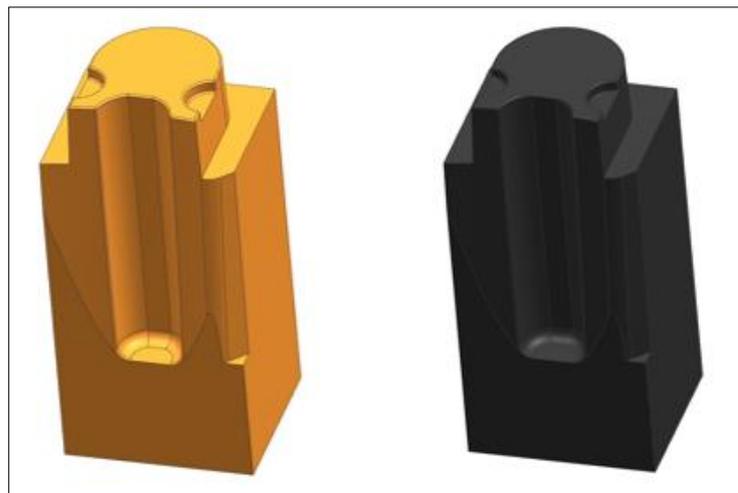


Figura 06: Eletrodos de cobre e grafite respectivamente
Fonte: Autoria própria.

O eletrodo de grafite levou aproximadamente 63% do tempo disposto para a usinagem do eletrodo em cobre. Os valores obtidos estão dispostos na Tabela 11.

Matéria Prima	Tempo de usinagem (min)
Grafite	01:45:21
Cobre	02:45:00

Tabela 11: Valores resultantes dos tempos de usinagem durante a fabricação dos eletrodos ferramentas de grafite e cobre

Fonte: Autoria própria.

No comparativo direto entre o grafite e o cobre, existem alguns aspectos a serem considerados. Durante os testes, foram apurados resultados apresentados na Tabela 12.

Materia Prima	Desbaste				Acabamento				R\$/Kg
	Desgaste frontal (mm)	Desgaste Canto (mm)	Remoção mm ³ /min	Tempo	Desgaste frontal (mm)	Desgaste Canto (mm)	Média (Ra)	Tempo	
Grafite	0,000	0,015	216	00:13:48	0,045	0,055	0,58	00:31:24	70,00
Cobre	0,720	1,000	204	00:22:35	0,010	0,030	0,30	00:42:02	38,00

Tabela 12: Resultados dos comparativos entre os testes entre as matérias prima de grafite e cobre

Fonte: Autoria própria.

Foi constatado que durante a operação de desbaste o eletrodo ferramenta de grafite, apresentou um melhor rendimento, ao passo que durante a operação de acabamento o eletrodo de cobre, apontou uma melhor condição.

4.3. TESTES DE FERRAMENTAS

O resultado comparativo dos testes de fresas está descritos na Tabela 13, sendo que o fornecedor B foi escolhido, por apresentar bons resultados nos pontos avaliados e principalmente pelo critério de prazo de entrega.

Fornecedor	A	B	C	D
Tempo de teste (Horas)	04:00	04:00	04:00	04:00
Considerações	Não apresentou ruído	Não apresentou ruído	Ruído a partir de 3:00	Não apresentou ruído
Rugosidade do bloco(RA)	1,246	2,338	8,955	1,673
Custo (R\$)	244,75	255,55	360,5	538
Prazo de entrega (dias real)	123	11	86	20

Tabela 13: Resultados comparativos dos testes entre as marcas de fresas experimentado

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos através dos testes para a escolha do melhor tipo de grafite foram fundamentais, para posteriormente compará-lo ao cobre. As resultâncias da metodologia aplicada para o desenvolvimento do ferramental para usinagem durante processo de fabricação apresentou qual a melhor marca de fresas especiais é mais viável na usinabilidade do grafite.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o término dos testes, tendo em vista os resultados, concluiu-se que o grafite possui boas condições para ser usado como eletrodo ferramenta no processo de erosão por penetração.

Durante a escolha da matéria prima de grafite e seus fornecedores, tornou-se essencial os testes práticos realizados, pois, percebeu-se que mesmo sendo um material muito parecido fisicamente entre as marcas disponibilizadas, o comportamento na usinagem durante a fabricação do eletrodo ferramenta e sua aplicação no decorrer da queima, apontou de uma forma geral qual material teve o melhor comportamento.

Vantagens são observadas nos aspectos correlativo ao tempo de usinagem durante a fabricação do eletrodo-ferramenta, tempo de desbaste durante a queima com o eletrodo, no custo de aquisição e no menor desgaste durante o processo de desbaste, garantindo economia no processo.

Todos estes aspectos elevam o grafite a um patamar de boa aceitação para o processo. Porém, algumas desvantagens foram observadas durante o período do de testes, devido à abrasividade dos grãos que compõem o grafite, esta matéria prima exige ferramentas de corte com revestimentos especiais durante a sua usinagem no exercício da fabricação do eletrodo e máquinas com o compartimento interno blindadas, para evitar que o pó originado da usinagem penetre nas partes móveis do equipamento, podendo causar sérios danos nos componentes de precisão.

Os resultados apresentam também, que para o processo de acabamento o cobre ainda é mais eficiente, isto fica evidenciado, quando é necessária uma superfície bem acabada e com baixa rugosidade.

Contudo é importante que novas pesquisas e estudos sejam feitos com relação ao assunto, pois verificou-se que ainda pouco se conhece sobre esta temática e isto ficou comprovado durante a pesquisa teórica, com poucos materiais bibliográficos.

Vale a pena ressaltar que a utilização do grafite está se tornando cada dia mais comum e a tecnologia apresentada em novos equipamentos de eletroerosão por penetração, estão cada vez mais avançada. Os resultados obtidos durante os testes podem apresentar significativas melhoras do que os que foram alcançados, uma vez que os equipamentos utilizados durante os testes, podem estar com a tecnologia obsoleta devido ao tempo de uso.

Para um bom desempenho, novos investimentos devem ser realizados no âmbito de equipamentos com novas tecnologias, apesar disso, ficou comprovado. Assim, ficou atestado que durante os teste aplicados, o grafite teve melhor desempenho ao longo da operação de desgaste enquanto o cobre apresentou melhor comportamento no processo de acabamento. Novos estudos são necessários para a continuidade do desenvolvimento do grafite, tema que serve como sugestão para trabalhos futuros, sejam para outros acadêmicos ou ainda outros interessados em dar continuidade a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMORIM, F. **Tecnologia de eletroerosão por penetração da liga de alumínio AMP 8000 e da liga de cobre CuBe para ferramentas de moldagem de materiais plásticos**. 2002. Tese Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: <http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_SantosRF_1.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2016.

CANTO, C. **Usinagem por eletroerosão**. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/76285/>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

CARBONO AMERICANA. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.carbonoamericana.com.br/produto/bloco-de-grafite>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

CHE HARON, C. H. *et al.* Copper and graphite electrodes performance in electrical-discharge machining of XW42 tool steel. In: **Journal of Materials Processing Technology**. 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14823/1/Renato.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

DAGER. **Eletrodos para molde**. Disponível em: <<http://www.dager.com.br/eletrodos-molde>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1997.

FREITAS, S. R. da S. **Estudo comparativo entre eletroerosão com fio de latão e fio de molibdênio**. Dissertação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Fev. 2016. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/83326/2/125961.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

KRATOCHVIL, R. **Fresamento de acabamento em altas velocidades de corte para eletrodos de grafita industrial**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em: <<http://www.cobef.com.br/anais/PDFS/COF-2015-0005.PDF>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

MARCELINO, E. da T. **Processo de fabricação por eletroerosão**. Universidade Federal de Campina Grande Centro de Ciência e Tecnologia – CCT. Out. 2015. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAhBlcAF/ufcg-eletroerosao>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

METHAGRAFITE, fornecedor de grafites, Catálogo. 2013.

MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICOS. **Princípios e processos da usinagem por eletroerosão.** Disponível em: <<http://www.moldesinjecao plasticos.com.br/proeletroerosao.asp>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

MÜLLER, A. *et al.* **Análise da usinagem por eletroerosão com diferentes eletrodos-ferramenta.** In: 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação 18 a 22 de maio de 2015, Salvador, Bahia. Disponível em: <<http://www.cobef.com.br/anais/PDFS/COF-2015-0005.PDF>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

SANTOS, I. **Análise dos parâmetros de entrada na eletroerosão de penetração da liga de titânio TI-6AL-4V. Dissertação.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2010. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/2010/SANTOSIrapuan.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

SOMMER, C. E.; SOMMER, S. **Complete EDM handbook.** Advance Pub. 2005. Disponível em: <<http://www.cobef.com.br/anais/PDFS/COF-2015-0005.PDF>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

USILETRO. **Usinagem por eletroerosão.** Disponível em: <<http://usiletro.com.br/>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

USINAGEM POR ELETROEROSÃO. **Aula 68.** Disponível em: <[file:///D:/Downloads/Usinagem% 20por% 20eletroeros% 20o.pdf](file:///D:/Downloads/Usinagem%20por%20eletroerosao.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2016.

VILLARES METALS. **Aços para trabalho a quente.** Catálogo. Disponível em: <<file:///D:/Downloads/TENAX 300-pt.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016