

## **DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA AFIADORA DE BROCAS COM INSERTOS DE METAL DURO APLICADAS NA EXTRAÇÃO DE CARVÃO MINERAL**

**Jorge Luiz Dutra Andrade<sup>1</sup>**

**Elvys Isaías Mercado Curi<sup>2</sup>**

**Resumo:** No ambiente industrial, uns dos maiores desafios enfrentados são a diminuição de custos e redução do tempo dos processos. Na área da mineração, um grande problema das empresas está no setor de afiação de brocas, onde é necessário um operador capacitado e um período considerável de trabalho. Existem máquinas que podem executar esta tarefa de maneira semiautomática, porém apresentam alto custo e ainda requerem um operador. Deste modo, surge a demanda de um equipamento automático, que suporte as condições ambientais extremas da indústria mineradora, aliado a um baixo custo de aquisição e manutenção. Logo, o objetivo deste trabalho é projetar uma máquina de afiar com atuação pneumática, que apresente maior rapidez e precisão que a operação manual e semiautomática. Para desenvolver um projeto de máquina de alta qualidade, se faz necessário aplicar técnicas de engenharia como Desenho Assistido por Computador (CAD), Análise de Modo de Falha (FMEA) e simulações pelo Método de Elementos Finitos (FEA). Utilizou-se de metodologias de projeto que se mostraram cruciais para obter resultados otimizados, trabalhando com as etapas de projeto conceitual, preliminar e detalhado. A ferramenta FMEA se mostrou indispensável para a realização deste trabalho, pois permitiu identificar falhas em tempo hábil de correção no projeto 3D. A aplicação de FEA com o *software* Ansys® colaborou para garantir que a estrutura suportasse os esforços estáticos e dinâmicos aos quais estará submetida. Aplicando as teorias apresentadas, foi desenvolvido um projeto prático e eficiente, deixando em aberto a possibilidade de trabalhos futuros darem andamento na sua fabricação.

**Palavras-Chave:** Broca. Afiação. Pneumática. Projeto. Simulação.

### **1 INTRODUÇÃO**

A geração de eletricidade por meio da queima do carvão mineral representa aproximadamente 26 % da matriz elétrica mundial, de acordo com dados de 2018 da Agência Internacional de Energia (IEA). O aumento da demanda energética

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica – Faculdade SATC - E-mail: jorgeld.andrade@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC - E-mail: elvys.curi@satc.edu.br

impulsionado pela tecnologia e pelo crescimento populacional torna necessário que as empresas mineradoras elevem a eficiência dos seus processos.

As oportunidades de melhoria podem ser observadas logo no início do procedimento da criação das grandes galerias subterrâneas, onde, brocas especiais abrem furos para alojar explosivos que romperão o material rochoso. Estas brocas utilizadas no processo sofrem grandes esforços devido ao método de furação percussiva, no qual, a broca em rotação é golpeada contra o material rochoso, gerando impactos que causam severos danos ao inserto. (RICARDO E CATALANI, 2007).

Para amenizar o desgaste do ferramental, Placido (2009) informa que insertos de metal duro são adicionados às brocas, no entanto, dados de 2019 da Carbonífera Metropolitana indicam que uma broca com inserto não suporta um turno de trabalho de oito horas contínuas sem manutenção. A manutenção consiste em afiar o inserto, procedimento lento e manual que exige um operador capacitado. Os registros da empresa apontam que uma broca nova possui vida útil de aproximadamente trinta dias.

O custo e o tempo despendidos com a aquisição e a manutenção das brocas impactam significativamente no financeiro das mineradoras. Desta forma, há uma demanda por métodos de afiação mais rápidos, cuja qualidade do serviço proporcione maior eficiência e vida útil à ferramenta.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho é projetar um equipamento automático para afiar brocas de teto com insertos de metal duro, que apresente maior rapidez e precisão que o processo de afiação manual e semiautomático. O projeto conceitual está direcionado para brocas de perfuração de teto, as quais tem uma geometria simples e é amplamente utilizada nas empresas mineradoras de carvão da região.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica abordará os conceitos e metodologias de projeto, fundamentos de brocas, incluindo seu desgaste e afiação, e modelos de afiadores existentes no mercado.

## 2.1 CONCEITO DE PROJETO

Segundo *Project Management Institute* (2012), um projeto é um esforço temporário desempenhado para criar um produto ou serviço, o qual pode ter resultados tangíveis ou intangíveis. Temporário não quer dizer curta duração, mas duração determinada, seja pelo cumprimento do seu objetivo ou pela incapacidade de alcançá-lo. Ou seja, um projeto abrange inúmeras possibilidades, sendo possível criar produtos, componentes de produtos, serviços, melhorias de processos existentes. Bazzo e Pereira (2006) complementam que projetar significa aplicar técnicas e processos que ao serem utilizados em conjunto, resultam em uma solução, neste caso, um projeto de máquina.

Bazzo e Pereira (2006) destacam que a primeira etapa de um projeto é a identificação de uma necessidade que se manifesta pelo descontentamento com a situação presente. Tal necessidade gera as informações preliminares que o projetista ou a equipe de projeto necessita para iniciar o seu trabalho. Na concepção de Norton (2013), o propósito de um projeto de máquinas é dimensionar a estrutura para que a máquina desenvolvida atue sem falhas.

Em relação a equipe de projeto, Shigley e Mishcke (1996), afirmam que a mesma deve possuir a habilidade de tomar decisões, inovar em soluções e ter uma ótima comunicação, tanto para seus superiores como para o público geral.

Com o atual nível de inovação das empresas e a quantidade de produtos lançados, se torna imprescindível a utilização de metodologias de projeto eficientes para garantir o desenvolvimento sustentável da sociedade.

## 2.2 METODOLOGIA DE PROJETO

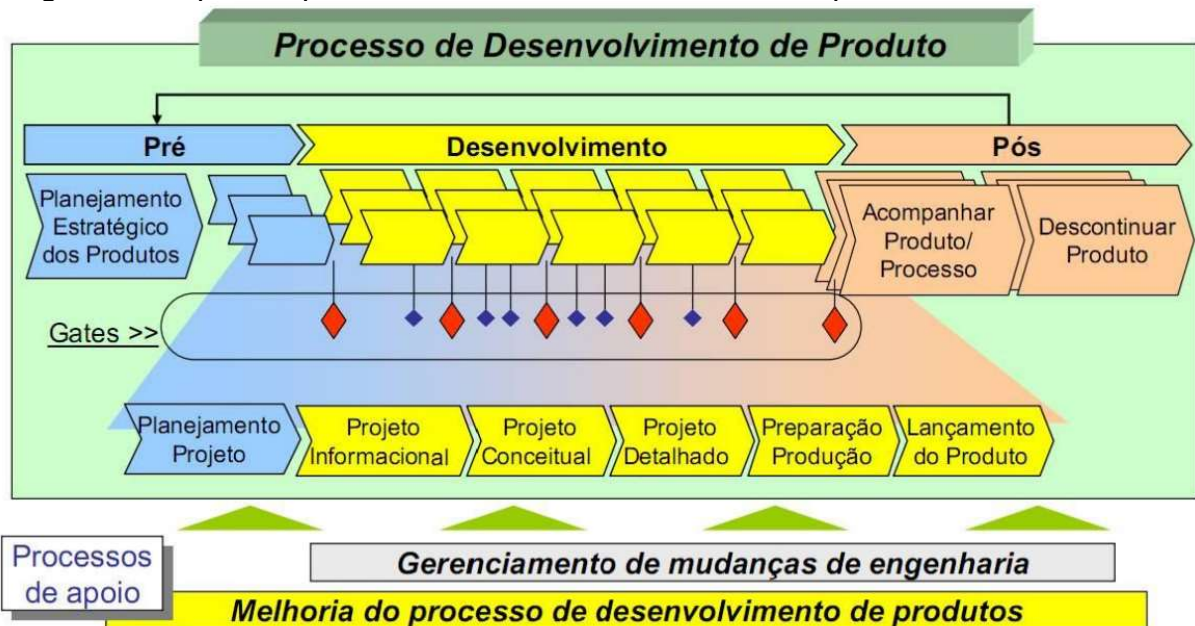
Nesta seção serão apresentados os principais conceitos de desenvolvimento e análise utilizadas no desenvolvimento de projetos.

### 2.2.1 Processo de desenvolvimento

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), as principais fases de um projeto são as apresentadas na Fig. 1. Segundo Bergamo (2014), este é um modelo que pode

ser aplicado aos mais diversos setores da indústria, pois leva em consideração a etapa de geração de ideias até o pós-venda, e ainda identifica o tipo de desenvolvimento de produtos inovativos ou originais.

Figura 1: Etapas do processo de desenvolvimento de um produto.



Fonte: ROZENFELD et. al. (2006)

A etapa de pré-desenvolvimento é definida por Rosa (2006) como a junção dos estudos de projeto e produto, onde se avalia a viabilidade do produto a ser desenvolvido juntamente com o método de projeto adotado.

Mari et al. (2017) explicam que o desenvolvimento se divide nas etapas de projeto informacional, conceitual e detalhado, acompanhado da criação do protótipo e produção. No projeto informacional, ocorre a pesquisa de informações, definição de requisitos e geração das propostas de funcionamento do produto. No projeto conceitual são definidas as ideias, formas e características do produto. Seguido pelo projeto detalhado, no qual se aplica as tecnologias necessárias para a criação do projeto, determinando com precisão todas as medidas e especificações do produto. Para finalizar, um protótipo é manufaturado e com suas funcionalidades verificadas, pode-se iniciar sua produção.

O pós-desenvolvimento também descrito por Mari e Schenatto (2017), se encarrega de acompanhar o funcionamento do produto, garantindo que cumpra sua função até o fim da sua vida útil.

### 2.2.2 Análise de falhas

A Análise do Tipo e Efeito de Falha, do inglês FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), é uma metodologia que segundo Toledo e Amaral (2006) tem como objetivo encontrar e eliminar falhas em um projeto, por meio do estudo de possíveis problemas, seguidos da sua recomendação de solução.

Com base no que é explicado por Pollock (2005) apud Aguiar e Mello (2008), o FMEA é descrito como um documento vivo que deve ser renovado sempre que seja realizada alguma modificação no projeto, de modo a garantir que não acontecerão novos problemas.

Segundo Stamatis (2003) apud Pinho et al. (2009), as principais vantagens do FMEA são: 1) melhoria na qualidade e confiabilidade do produto; 2) aumento da satisfação de clientes; 3) otimização das manutenções corretivas; e 4) prevenção de falhas por meio do diagnóstico antecipado.

De acordo com Gradela (2013), para iniciar uma análise FMEA é necessário formar um grupo de pessoas que irão verificar as falhas e efeitos que o produto ou processo estão suscetíveis. Posteriormente, será avaliado o risco de cada item por meio da criação de índices, que permitem definir o grau de risco de cada situação e, com isso, propor suas soluções.

Conforme explica Sharma e Srivastava (2018), o FMEA é um dos métodos mais poderosos para medir a confiabilidade de produtos ou processos. Sua aplicação permite determinar os tipos de falhas existentes e possibilita corrigi-las com antecedência.

### 2.3 FUNDAMENTOS DE BROCAS

De acordo com Thomas (2001) apud De Moraes (2014), uma broca é o elemento rotativo que têm a função de promover a ruptura e a desagregação das rochas durante o processo de abertura de furos no solo. O estudo das brocas, considerando eficiência, é um dos fatores importantes no processo de perfuração.

### 2.3.1 Tipos e aplicação

Existem brocas específicas para cada tipo de necessidade e sua classificação é definida de acordo com o material a ser perfurado. Na indústria de mineração, o carvão é perfurado por brocas com insertos de metal duro, presas a um corpo com outro material de base (DA GAMA BRASIL, 2020).

Candol e Corrêa (2012) explicam que a escolha dessas brocas depende de vários fatores. Entre eles podemos destacar o nível de dureza do local e a distância perfurada, pois uma broca que perfura uma distância maior, reduz custos de utilização de outras ferramentas e de manobras para trocá-las.

Para o presente trabalho, a Fig. 2 apresenta o tipo de ferramenta a ser estudado para realizar sua afiação.

Figura 2: Broca perfuradora com inserto de tungstênio. a) vista frontal, b) vista superior



a)

b)

Fonte: Do autor (2020)

Esta ferramenta é utilizada para a perfuração de tetos das minas, ela compreende um corpo principal que é acoplado na máquina de perfuração, possuindo

um inserto com determinado ângulo de ponta e raio na aresta de corte, onde este inserto é soldado a um corpo de aço de liga carbono. Suas dimensões variam de 60 mm de comprimento até 4 metros nos modelos com haste fixa. Logo é necessário um equipamento especial para comportar essa grande variação de dimensões.

### **2.3.2 Desgaste e afiação**

Geraldi (2011) reporta que após algum tempo de uso, as ferramentas de corte desgastam, apresentando deformações na sua geometria. Para Tucker (1998) o mecanismo de desgaste predominante nas brocas durante a perfuração é o abrasivo, que ocorre quando partículas duras em movimento se interpõem contra a superfície. A ação deste mecanismo acaba provocando deformações e remoção de material, que danificam seriamente a geometria do inserto.

Silva (2011) complementa que devido a esta remoção de material, as ferramentas, ao serem postas em trabalho novamente, apresentam um rendimento extremamente inferior e geram problemas como aquecimento excessivo e aumento do esforço de corte.

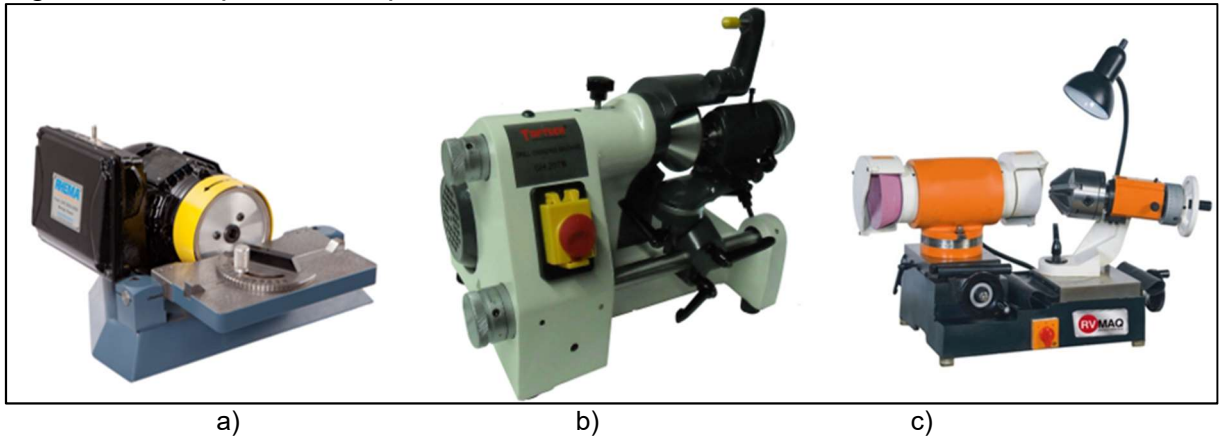
Por esses motivos, as ferramentas de corte requerem afiação. A afiação é a operação de dar forma para as ferramentas novas ou de restaurar o formato de ferramentas desgastadas pelo uso (SILVA, 2011).

## **2.4 MODELOS DE AFIADORES**

No mercado, existem diversos tipos de afiadores para brocas, com diferentes preços e tamanhos, dentre os quais podemos destacar os modelos compactos apresentados nas Fig. 3. Os quais apresentam operação manual, operam em até dois graus de liberdade, com limites de rotação de até 5000 RPM e potência de até 1 HP.



Figura 3: Exemplos de máquinas afiadoras comerciais.



Fonte: Fabricantes a) Rhema (2020), b) TopTech (2020), c) RVMAQ (2020).

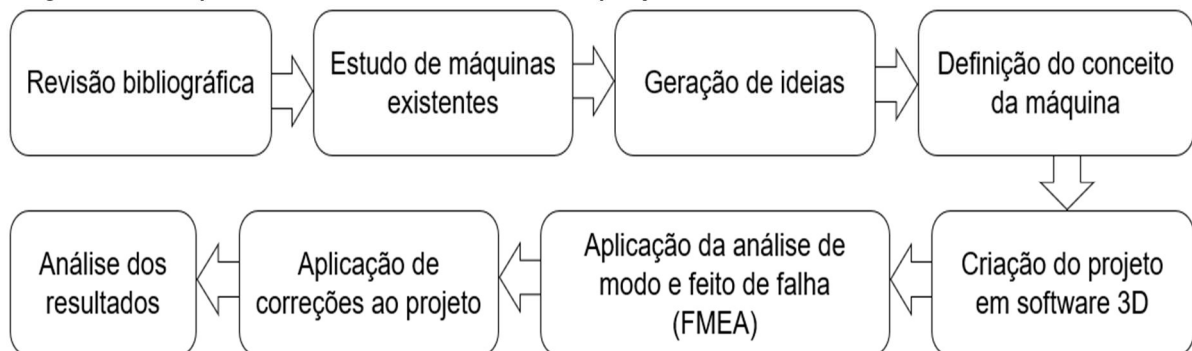
As máquinas exibidas na Fig. 3 são versáteis e podem ser adaptadas a diversos modelos de ferramentas, no entanto elas não são capazes de trabalhar a geometria da broca apresentada na Fig. 3.

### 3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os procedimentos experimentais consistiram na aplicação dos conceitos de projeto exibidos na revisão bibliográfica. Nesta etapa serão apresentados ensaios e propostas de mecanismos pertinentes ao projeto.

A Fig. 4 apresenta a sequência de processos que regem o desenvolvimento deste trabalho, partindo da revisão bibliográfica até a análise e conclusão do projeto criado.

Figura 4: Etapas de desenvolvimento do projeto.



Fonte: Do autor (2020)



### 3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Nesta etapa se analisou o funcionamento dos equipamentos encontrados no mercado. Foi verificado que todos os modelos dispõem de um mecanismo de apoio e movimentação para as brocas e rebolos abrasivos, os quais são responsáveis por prover a sua afiação. Deste modo, este conceito será aplicado no desenvolvimento da nova máquina. Com base na pesquisa realizada, foram elaboradas e selecionadas as propostas de mecanismos para o projeto, apresentadas na Tab. 2.

Quadro 1: Propostas de mecanismos para o projeto.

| Proposta 1                            |   | Proposta 2                      |   | Proposta 3                  |   |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|---|-----------------------------|---|
| Broca fixa                            |   | Rebolo fixo                     |   | Movimentação mista          | X |
| Um rebolo                             |   | Dois rebolos                    | X | Mais de dois rebolos        |   |
| Totalmente manual                     |   | Semi automática                 |   | Totalmente automática       | X |
| Atuação elétrica                      |   | Atuação pneumática              | X | Atuação hidráulica          |   |
| Broca posicionada na horizontal       | X | Broca posicionada na vertical   |   | Broca posicionada em ângulo |   |
| Esmeril incluso na bancada            | X | Esmeril externo a bancada       |   |                             |   |
| Fixação da broca por castanha         | X | Fixação da broca por parafuso   |   |                             |   |
| Ângulos de afiamento pré-determinados | X | Ângulos de afiamento ajustáveis |   |                             |   |
| Apenas broca de teto                  | X | Para diversos modelos de brocas |   |                             |   |

Fonte: Do autor (2020)

Em virtude das condições ambientais adversas presentes na operação da indústria mineradora, algumas características foram estabelecidas para minimizar falhas e aumentar a eficiência da máquina afiadora. São elas: baixo ruído; operação

simples e automática; estrutura robusta e compacta; manutenção fácil; baixo consumo de energia; operação segura e confiável.

### 3.2 GEOMETRIA 3D DA BROCA

Para viabilizar o projeto da máquina, é necessário obter o modelo geométrico em *software* 3D da broca, deste modo, com o auxílio de um paquímetro e um goniômetro, criou-se o desenho apresentado na Fig. 5 em SolidWorks®. Essa ferramenta se acopla a uma haste que se conecta com a perfuratriz. O modelo geométrico permite visualizar os ângulos de afiação além do perfil da curva da aresta.

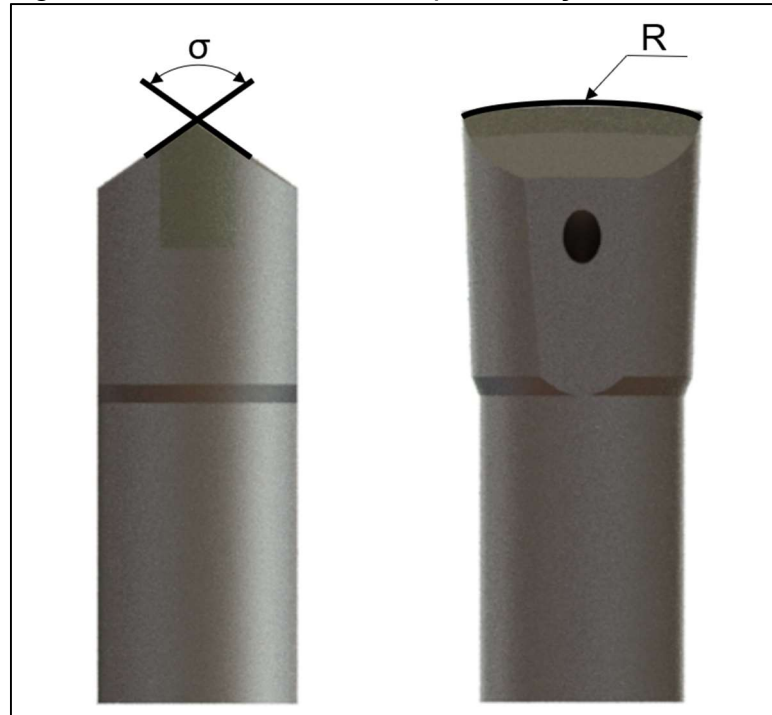
Figura 5: Comparação do desenho criado com o modelo real.



Fonte: Do autor (2020)

Com a geometria definida, analisou-se os pontos de afiação que ela requer, sendo estes apresentados na Fig 6.

Figura 6: Pontos de interesse para afiação da broca.



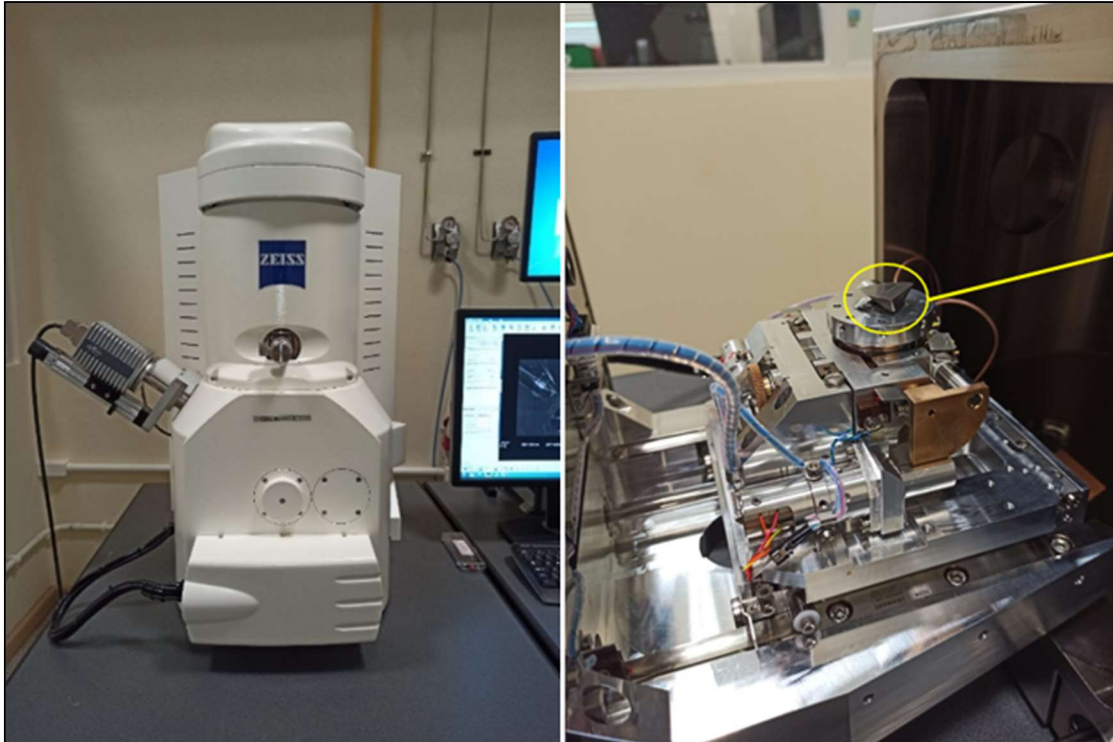
Fonte: Do autor (2020)

Com base nos dados do fabricante, o valor do ângulo de ponta  $\sigma$  foi definido em  $110^\circ$  e o valor do raio da aresta  $R$  em 124 mm, portanto a afiação respeitará estes parâmetros.

### 3.3 PROPRIEDADES DO MATERIAL

Um fator determinante na escolha do rebolo afiador é a dureza do material a ser afiado. Foi realizado um ensaio EDS (Espectroscopia de energia dispersiva) no MEV (Microscópio eletrônico de varredura) da fabricante ZEISS, modelo EVO MA10 no Centro Tecnológico da SATC, para descobrir a composição química da ferramenta e adquirir sua dureza a partir de materiais bibliográficos.

Figura 7: Posicionamento da amostra no MEV.



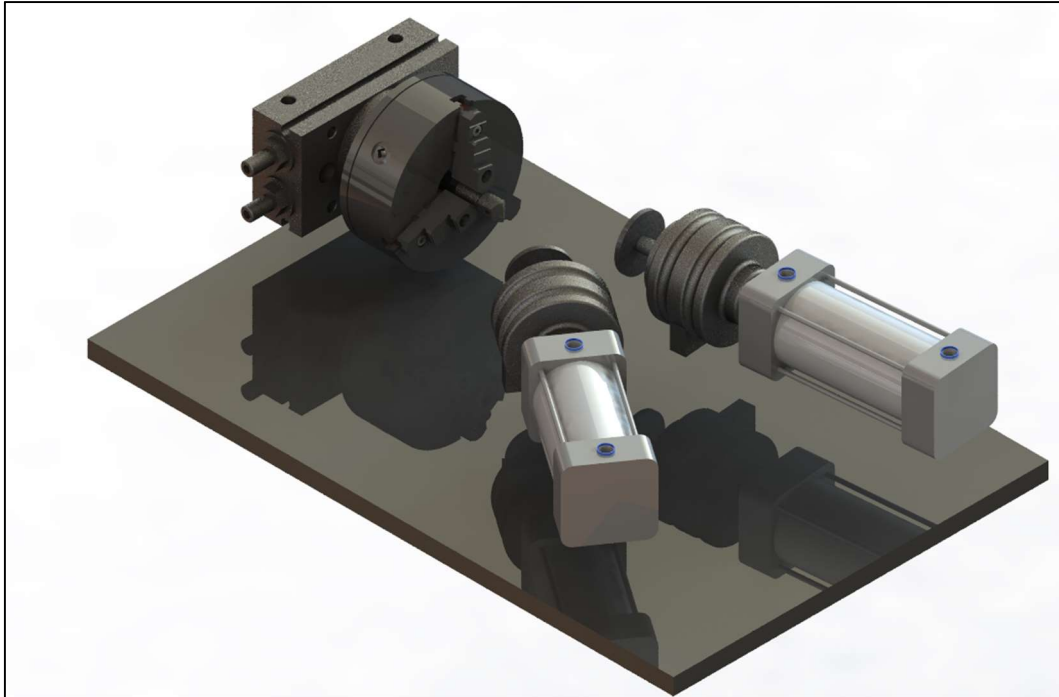
Fonte: Do autor (2020)

O ensaio EDS consiste em disparar elétrons contra a superfície do material, em uma câmara de vácuo para minimizar a dispersão do feixe. Próximo da amostra, há um detector de elétrons, que capta a resposta do material ao estímulo e compara com os dados de energia específicos de cada material, com isso, é possível determinar com precisão a composição química da amostra.

### 3.4 PROJETO CONCEITUAL

O conceito do projeto foi definido em dois atuadores lineares que irão avançar motores com os rebolos para afiar a broca, que estará presa a uma castanha fixada a um atuador rotativo, sendo toda a atuação pneumática. Um atuador linear será responsável por definir o raio da broca, juntamente com o movimento do atuador rotativo, e o segundo atuador linear irá prover o ângulo de ponta. O projeto pode ser visualizado na Fig. 8.

Figura 8: Proposta conceitual da máquina de afiar.



Fonte: Do autor (2020)

Utilizando a ferramenta FMEA, foi possível verificar os problemas que o equipamento poderia estar submetido, e com isso corrigi-los antes do projeto final. Os possíveis casos e suas soluções estão dispostos na Tab. 1.

Tabela 1: Situações identificadas pelo FMEA.

| Problema                        | Solução 1                                     | Solução 2                                         |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Alta vibração da estrutura      | Aumentar rigidez da geometria                 | Alterar a rotação do motor                        |
| Risco de ferimentos ao operador | Enclausuramento com policarbonato             | Enclausuramento com grade de proteção             |
| Ativamento acidental da máquina | Botão de acionamento duplo                    | Acionamento liberado apenas com a máquina fechada |
| Folga na fixação da broca       | Utilizar castanha pneumática                  |                                                   |
| Assimetria da afiação           | Fixação robusta para os sensores fim de curso |                                                   |
| Fixação desalinhada da broca    | Gabarito para posicionamento                  |                                                   |

Fonte: Do autor (2020)

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as estruturas foram projetadas em Aço SAE 1020, devido à sua alta disponibilidade, baixo custo, facilidade de usinagem e devido as baixas demandas estruturais do projeto.

A Tab. 2 apresenta o percentual de massa dos elementos presentes na amostra.

Tabela 2: Composição química do inserto.

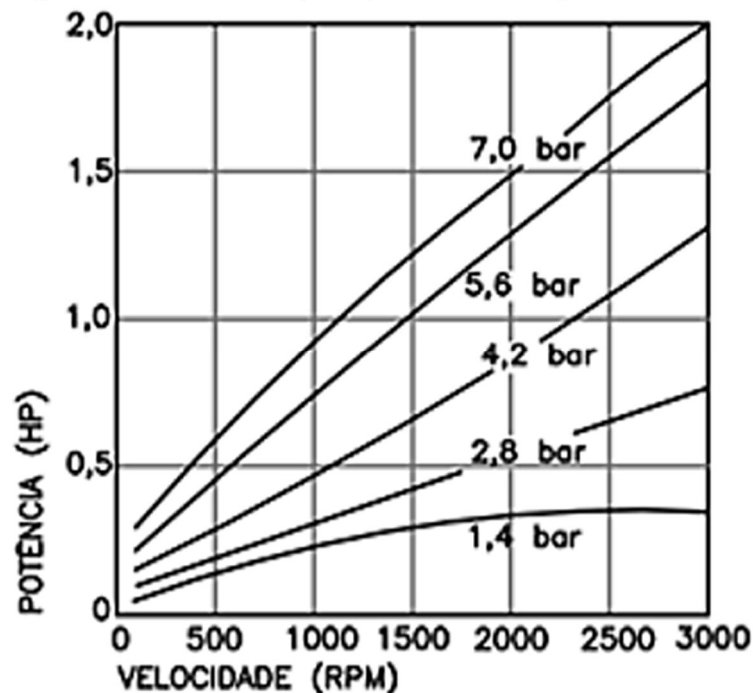
| Elemento   | Percentual presente na amostra |
|------------|--------------------------------|
| Tungstênio | 71,22 %                        |
| Carbono    | 10,75 %                        |
| Cobalto    | 5,22 %                         |
| Oxigênio   | 3,82 %                         |
| Ferro      | 0,29 %                         |
| Alumínio   | 0,27 %                         |
| Fósforo    | 0,08 %                         |

Fonte: Do autor (2020)

É possível observar que o elemento mais abundante é o tungstênio, com uma composição que se assemelha a classe de metal duro P15, que por sua vez requer rebolos diamantados para prover sua afiação.

Na Fig 9, podemos observar a curva de potência do motor Artécni MA200.

Figura 9: Curva de operação do motor pneumático.

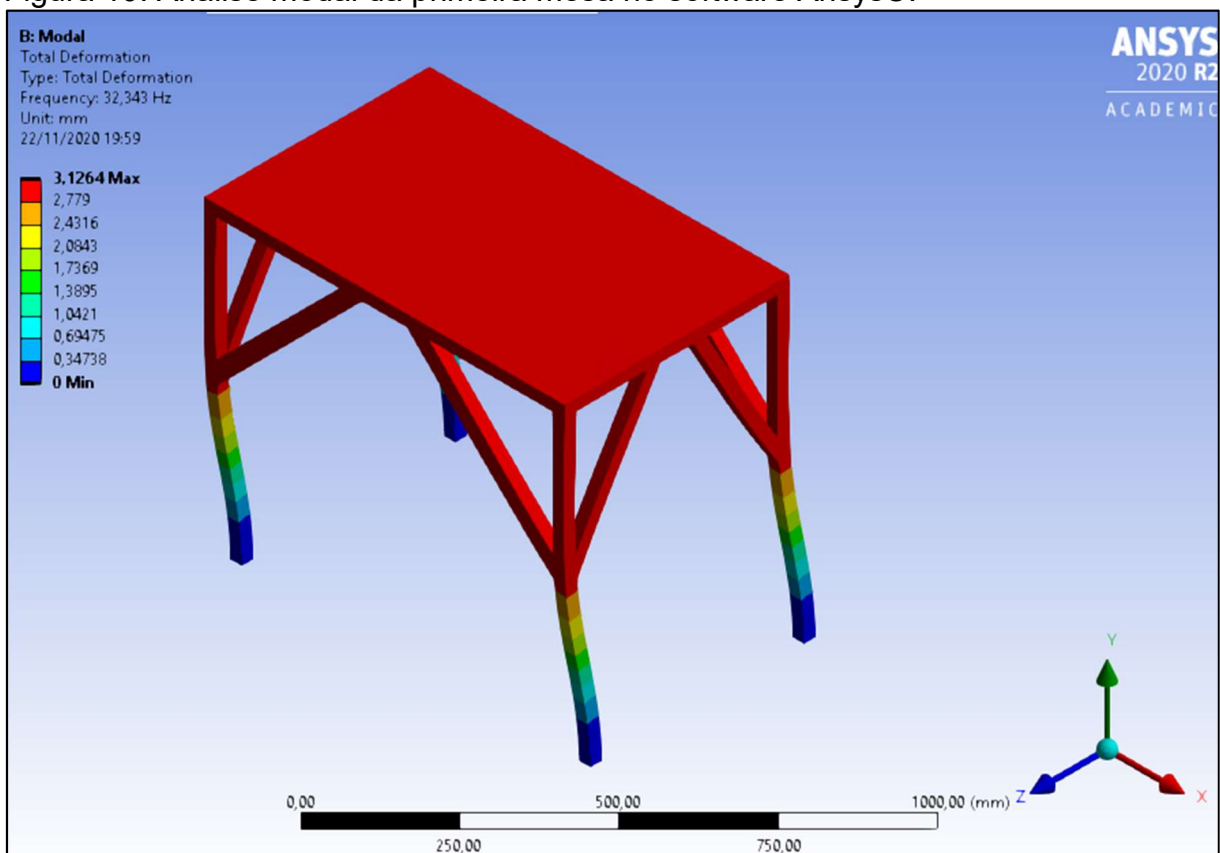


Fonte: Artécni (2020)

Estimou-se os dados de operação com uma pressão de 5,6 bar e rotação de 3000 rpm, que por sua vez produzem uma potência de aproximadamente 1,7 HP, valor considerado aceitável, quando comparados com os equipamentos utilizados atualmente.

Foram realizadas análises modais para encontrar as frequências naturais da mesa conforme a Fig. 10, onde é possível identificar o ponto de maior amplitude na parte superior da mesa.

Figura 10: Análise modal da primeira mesa no software Ansys®.

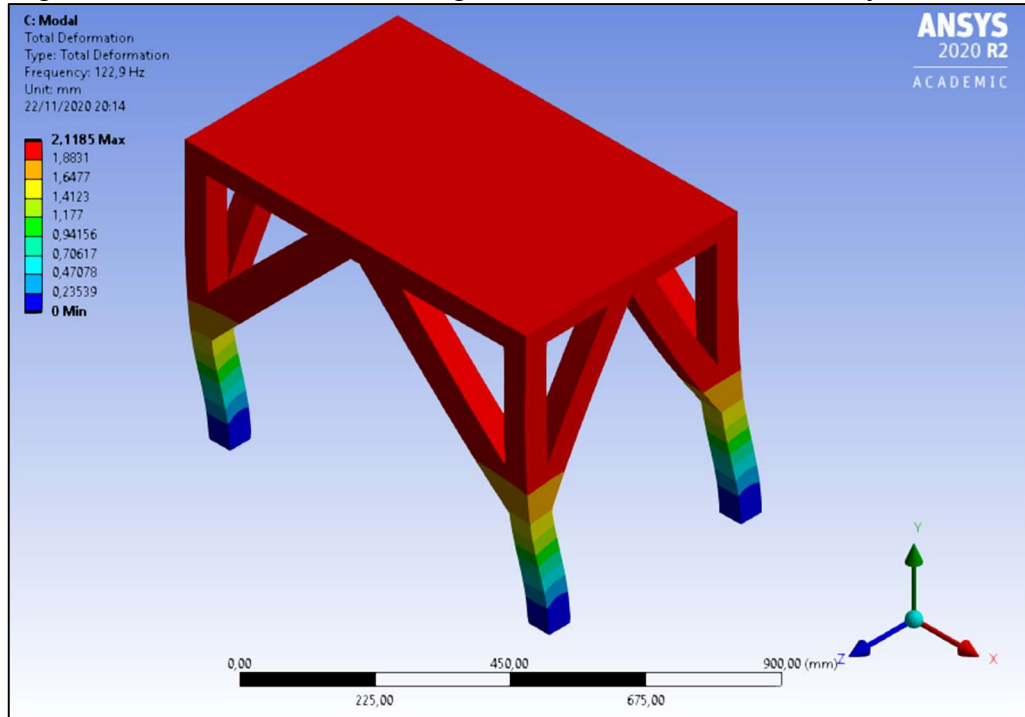


Fonte: Do autor (2020)

A frequência de operação da máquina é de aproximadamente 50 Hz, logo com a frequência natural da mesa estando em 32,34 Hz, se torna necessário realizar alterações na sua estrutura para que a frequência natural fique fora do intervalo de operação. A Fig. 11 apresenta a estrutura corrigida.



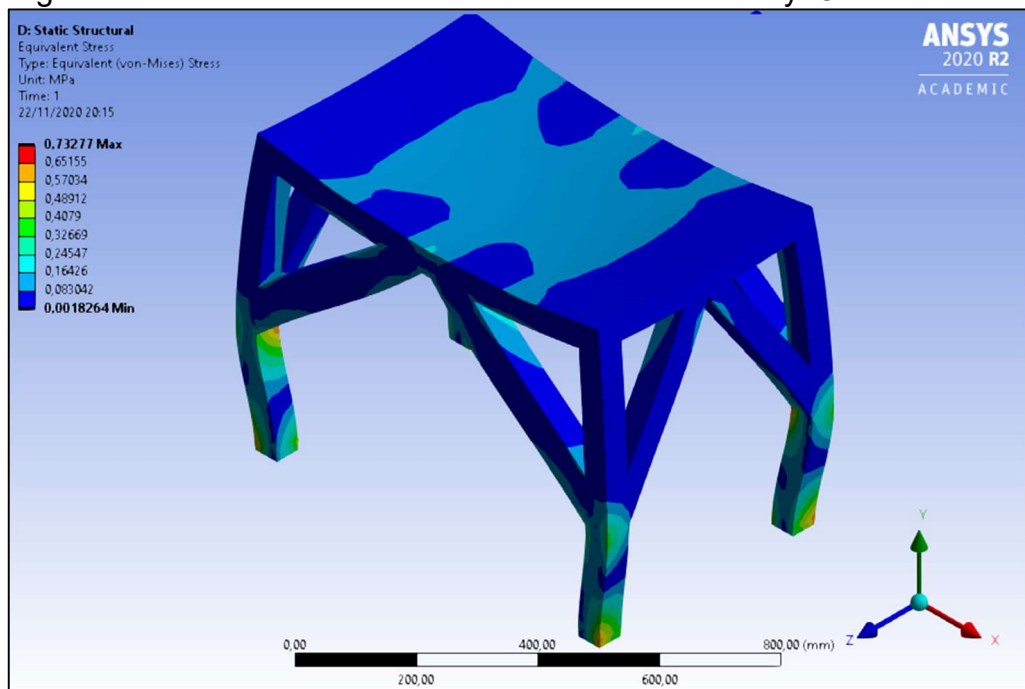
Figura 11: Análise modal da segunda mesa no software Ansys®.



Fonte: Do autor (2020)

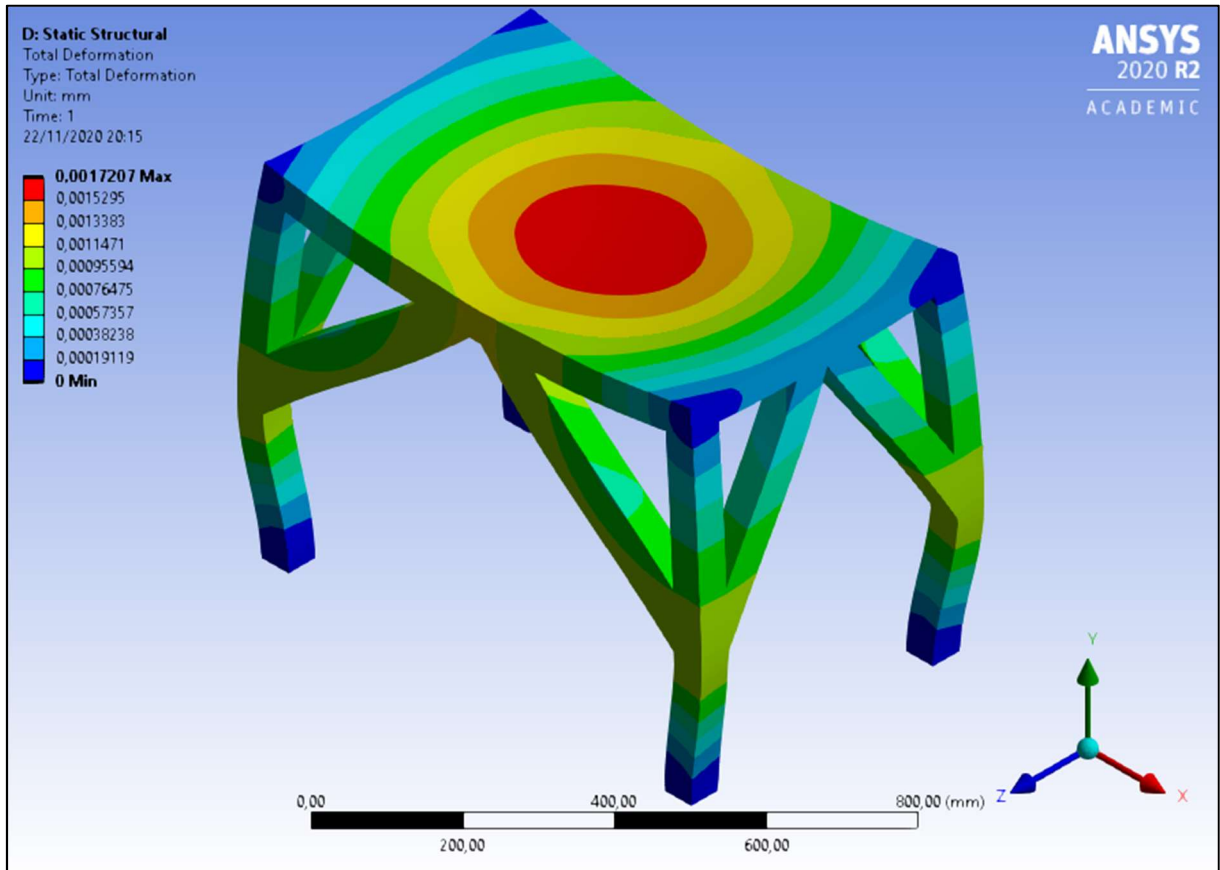
Também foi realizada a análise estática da mesa, com a carga sobre ela sendo a soma do peso dos componentes, totalizando 867,10 N. Na fig. 12 se mostra o análises estática de tensão e na fig. 13 a análises estática de deformação.

Figura 12: Análise estática de tensão no software Ansys®.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 13: análise estática de deformação no software Ansys®.

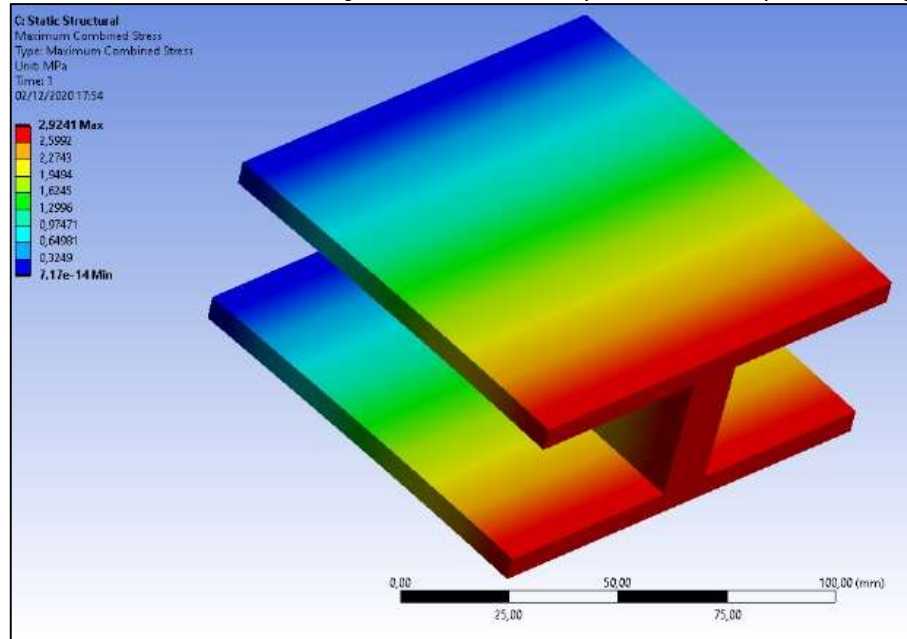


Fonte: Do autor (2020)

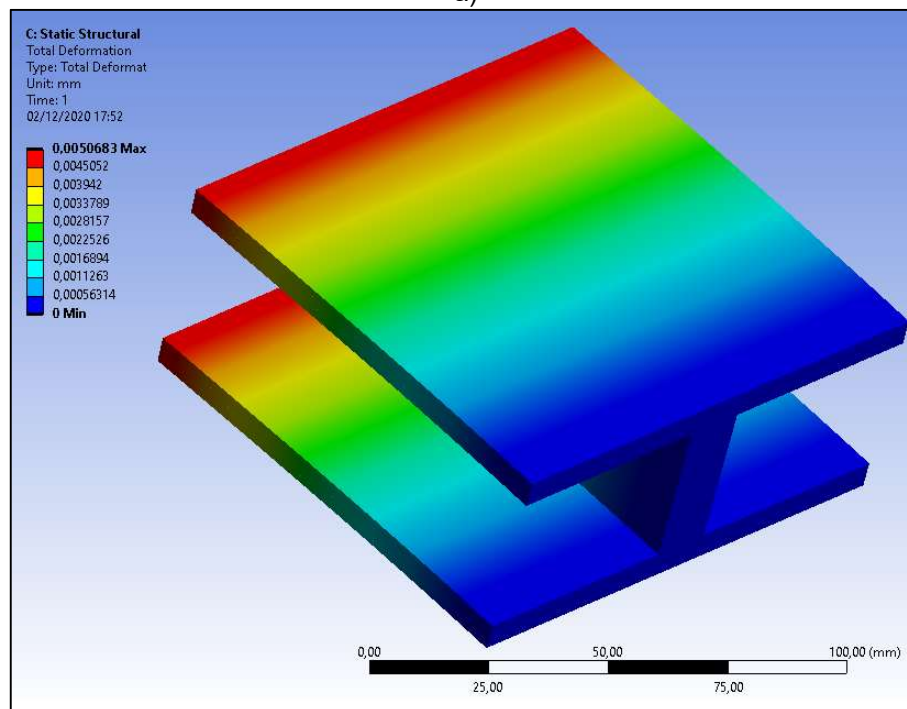
A tensão atuante encontrada na mesa foi excessivamente abaixo da admissível do material, porém também é necessário avaliar sua deformação que atingiu o valor satisfatório de aproximadamente 0,002 mm, pois grandes deformações podem prejudicar a precisão da máquina, além desta geometria ser necessária para evitar a sua ressonância.

Do mesmo modo, foi realizada a simulação da estrutura de fixação dos atuadores, onde foi selecionado uma viga de seção I, devido a seu alto momento de inércia de área aliado a uma baixa massa. Na Fig. 14 se apresenta as simulações da estrutura de fixação dos atuadores.

Figura 14: Análise estática da fixação do cilindro. a) Tensão e b) deformação



a)



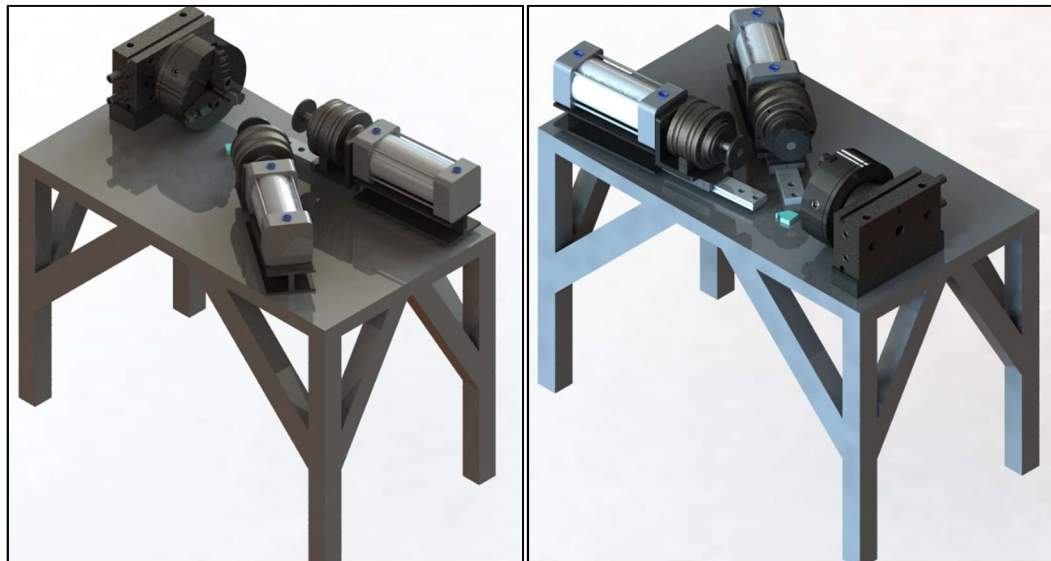
b)

Fonte: Do autor (2020)

Novamente os resultados de tensão se mostraram bem abaixo do limite, porém, a sua deformação foi considerada satisfatória.

Após os ajustes viabilizados por meio do FMEA e do FEA, a Fig. 15 apresenta o projeto final, com todos os componentes necessários para o seu funcionamento.

Figura 15: Proposta final da máquina afiadora. a) Vista isométrica 1  
b) Vista isométrica 2



a)

b)

Fonte: Do autor (2020)

Para finalizar, realizou-se o orçamento do projeto, apresentado na Tab. 3.

Tabela 3: Orçamento dos componentes e do projeto.

| <b>Componente</b>        | <b>Preço</b>         |
|--------------------------|----------------------|
| Matéria-prima de aço     | R\$ 1.200,00         |
| Placa pneumática         | R\$ 4.000,00         |
| Cilindro 40x150mm        | R\$ 230,00           |
| Cilindro 40x180mm        | R\$ 320,00           |
| Guia linear 250mm        | R\$ 300,00           |
| Atuador rotativo         | R\$ 600,00           |
| Cobertura                | R\$ 750,00           |
| 2x Rebolos 3"            | R\$ 270,00           |
| 2x sensores fim de curso | R\$ 60,00            |
| 2x Motores pneumáticos   | R\$ 2.000,00         |
| Botões                   | R\$ 100,00           |
| Mangueiras               | R\$ 40,00            |
| Válvulas                 | R\$ 300,00           |
| Conexões                 | R\$ 90,00            |
| Projeto                  | R\$ 3.000,00         |
| Usinagem                 | R\$ 1.000,00         |
| Montagem                 | R\$ 500,00           |
| <b>Total</b>             | <b>R\$ 14.760,00</b> |

Fonte: Do autor (2020)

Foram utilizadas as funções do SolidWorks® para detectar interferências de montagem e simular os seus movimentos, garantindo que nenhuma colisão aconteça na sua operação.

## **5 CONCLUSÕES**

O objetivo de projetar um conceito de uma máquina afiadora simples e segura foi concluído, utilizando de ferramentas de engenharia e garantindo a viabilidade de sua construção e operação. Ela foi desenvolvida para um tipo específico de brocas, as chamadas brocas de teto que possuem alta demanda na indústria mineradora.

Seu modo de operação totalmente pneumático contribui para a segurança e praticidade da operação, devido ao fato de que já existem linhas de ar comprimido instaladas nas indústrias e estas não possuem o risco de propagar choques elétricos.

O desenvolvimento de um projeto de máquina requer conhecimentos de inúmeras áreas do conhecimento, onde podemos destacar algumas delas como o Desenho Assistido por Computador (CAD), Análise de Modo de Falha (FMEA) e simulações pelo Método de Elementos Finitos (FEA).

A ferramenta FMEA foi importante para este trabalho, pois permitiu identificar problemas no projeto antes de sua construção. A aplicação FEA comprovou que o projeto atende as necessidades estruturais que será submetida.

A automação do processo de afiação deve contribuir para aumentar a eficiência das perfurações e reduzir o tempo investido no processo, permitindo o aperfeiçoamento da produção das empresas.

Aplicando as teorias apresentadas, foi desenvolvido um conceito de projeto prático e eficiente, deixando em aberto a possibilidade de trabalhos futuros darem andamento na sua fabricação, sendo necessário definir seus componentes, criar a programação lógica e definir os métodos de manufatura.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar, Dimas; Mello, Carlos. (2008). **FMEA de processo: uma proposta de aplicação baseada nos conceitos da ISO 9001:2000**. 15 p.
- Bazzo, Antonio Walter; Pereira, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução a engenharia: conceitos ferramentas e comportamentos**. UFSC, 2006. 270 p.
- Bergamo, Renato Luis. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas para empresas de pequeno e médio porte**. Dissertação de mestrado, UFSM. 2014. 303 p.
- Candol, Felipe S.; Corrêa, Leonardo L. Britto. **Análise estatística do custo métrico de perfuração de poços de petróleo**. Projeto de graduação, UFRJ. 2012. 93 p.
- Casa do Mecânico. **Afiador TopTech GH20T**. <https://www.casadomecanico.com.br/afiadora-de-ferramentas-universal-eletrica-gh20t-toptech-p5717>. Acesso em 01/06/2020.
- Da Gama Brasil. **Ferramentas em tungstênio**. 2020. 3 p.
- Dutra Máquinas. **Afiador RVMAQ**. <https://m.dutramaquinas.com.br/p/afiadora-de-ferramentas-multi-funcao>. Acesso em 01/06/2020.
- Geraldi, José Lúcio Pinheiro. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 284 p.
- Gradela, Fabíola Bailão. **Identificação das falhas utilizando FMEA no sistema de freios de carros de competição on-road - Fórmula SAE**. Trabalho de conclusão de curso, EESC-USP. 2013. 94 p.
- Guia PMBOK - 5ª Edição (Org.). **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**. 5. ed. São Paulo: Global Standard, 2013. 567 p.
- IEA, **OECD gross electricity production by source, 1974-2018 provisional**, IEA, Paris. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/oecd-gross-electricity-production-by-source-1974-2018-provisional>.
- Lira, Belarmino Barbosa. **Métodos de perfuração**. UFPB. 2013. 28 p.
- Mari, Fernando Alievi; Schenatto, Fernando Jose Avancini. **Análise do processo de desenvolvimento de produtos como estratégia para inovação em uma empresa do setor eletroeletrônico**. UTFPR, 2017. 20 p.
- Morais, Danilo Fagundes Pascoal de. **Estudos dos principais tipos de brocas de perfuração de poços de petróleo e suas demandas tribológicas**. Monografia de graduação, UFRN. 2014. 57 p.



Norton, Robert. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2013. 1055 p.

Pinho, Lorena de Andrade et al. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA): Uma ferramenta para promoção da qualidade no Setor Fiscal das Empresas de Serviços Contábeis**. SEGeT. 2009. 15 p.

Placido, João Carlos Ribeiro. **Brocas de perfuração de poços de petróleo**. Rio de Janeiro, 2009. 63 p.

Rhema. **Afiador Rhema RH60**. <http://www.rhema.com.br/afiador-de-ferramentas-para-retifica-universal-rh-60>. Acesso em 01/06/2020.

Ricardo, Hélio de Souza; Catalani, Guilherme. **Manual Prático de Escavação**. 2007. 653 p.

Rosa, Edison da. **Introdução ao Projeto Aeronáutico: uma contribuição à Competição SAE AeroDesign**. 2006. 285 p.

Rozenfeld, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. 577 p.

Sharma, Kapil; Srivastava, Shobhit. (2018). **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review**. 18 p.

Shigley, Joseph E.; Mischke, Charles R. **Standard handbook of machine design**. New York: Mcgraw-hill, 1996.

Silva, Carlos Eduardo. **Processos de fabricação: afiação de ferramentas**. 2011. 7 p.

Toledo, José Carlos de; Amaral, Daniel Capaldo. **FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha**. UFSCar, 2006. 12 p.

Tucker, R. C., 1998. **An overview of alternative coatings for wear and corrosion resistance**. Proceedings of the 15th ITSC-, May 25-29, Nice, France, vol. 1, pp. 103-107.