

Revista Brasileira de Engenharias

Data de aceite: 22/10/2025

PROJETO DE UMA ROSCADEIRA AUTOMÁTICA

José Henrique Schaefer

UNIFEDE – Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque

Andrei Buse

UNIFEDE – Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque

Julio Cesar Frantz

UNIFEDE – Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque

Ricardo Siewerdt

UNIFEDE – Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque

Luciano Pinotti

UNIFEDE – Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque

Milton Augusto Pinotti

UNIFEDE – Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque

Todo o conteúdo desta revista está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).



Resumo: No âmbito da melhoria contínua e tecnológica de uma organização, a automação se mostra como uma das principais alternativas para o desenvolvimento dos processos produtivos e melhoria de resultados para a indústria. Na busca por melhoria no processo de fabricação industrial, esse projeto de construção de uma roscadeira automática demonstra o desenvolvimento e fabricação do equipamento de automação dentro de uma indústria metalúrgica. Através do emprego de ferramentas do processo de desenvolvimento de produtos, este artigo detalha e demonstra as etapas de desenvolvimento do projeto, até sua conclusão. O projeto busca melhorar o processo de fabricação da indústria assim como diminuir *lead time* e *setup*. Além dos ganhos de produtividade, também há a adequação às normas de segurança, como a NR-12, que influencia na seleção dos componentes mecânicos e dos conjuntos que são inseridos no projeto. O projeto atende seus objetivos como melhoria de 63,5% no tempo de fabricação e atendimento a normas de segurança, porém apresenta ganhos secundários, com a mudança na forma de realizar o processo, economia de fluido de corte, menor tempo de *setup*, de 20 para 5 minutos, e aumento da qualidade do processo.

Palavras-chave: Automação de processo; Roscamento; Projeto Mecânico.

INTRODUÇÃO

De acordo com Rosário (2009, p.15) “desde os tempos mais remotos, o homem vem tentando fazer com que utensílios e ferramentas o substituam no trabalho, sendo o seu maior sonho criar um autômato que realize todas as suas funções operárias”.

Ainda de acordo com Rosário (2009, p.15):

(..) no fim da Idade média, que é um período em que vemos grandes avanços nas áreas da mecânica, da física e da química, é também a época em que se deu início ao pensamento

da máquina para substituir o homem. Nos últimos anos, com a globalização, as indústrias passaram por grandes transformações com o intuito de se tornarem mais competitivas. Foi necessária a modernização de seus parques industriais, visando à competitividade de seus produtos, por meio de aumentos da qualidade, redução de custos e preços mais acessíveis, dando origem a um conjunto de técnicas e procedimentos designados de automação.

Para Teixeira (2016), foi apenas com a inserção de indústrias internacionais no mercado nacional, com a abertura do mercado na década de 90, que popularizou a automação dentro do parque industrial brasileiro. Essa inserção gerou uma forte concorrência para a indústria local que, consequentemente, necessitou buscar pela sua própria forma de vencer a nova concorrência.

A indústria brasileira continua com a busca por ser mais competitiva, visando se manter no mercado e superar as adversidades advindas da modernização industrial. Uma das principais adversidades, da indústria, é a busca por processos mais eficientes e, consequentemente, mais baratos, tanto para aumentar sua margem de lucro, quanto para apresentar produtos melhores e com menores custos, visando atender as demandas de seus clientes.

Uma das principais alternativas, para solucionar os problemas e melhorar os processos de manufatura é a automação do processo de fabricação. Assim procedendo, gestores buscam aumentar a produção, reduzir erros e adequar às normas de segurança exigidas pelos órgãos normativos.

Segundo Santos *et al.* (2017, p. 2):

(...) o principal objetivo da automação é elaborar mecanismos que sejam capazes de produzir o melhor produto com menos custos beneficiando-se através de uma linha de produção cada vez mais acelerada com o nível de erro no processo cada vez menor. No entanto, voltando para o impacto social, a automação em si trouxe outros fatores afetando a empregabilidade humana, fazendo com que a intervenção do homem no ambiente fabril diminuisse.

Esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de uma melhoria de automação do processo de roscamento para a empresa Unifap. O processo de roscamento, anterior à automação, utilizava uma furadeira de bancada adaptada, com um modelo de cabeçote da empresa Longer, que possibilita utilizar simultaneamente até 3 ferramentas, possibilitando fazer uma peça com apenas um passe, pois cada peça possui 2 rosas.

Realizava-se o abastecimento das peças através de um de gabinete, onde o operador posicionava a peça e o empurrava sobre um trilho até a posição de operação, sob a ferramenta, faz a rosca e troca a peça sobre o gabinete. Além do mais, havia a aplicação do fluido de corte, de forma manual, através de um pincel.

O objetivo da melhoria busca projetar e fabricar um equipamento que realize movimento de subida e descida do cabeçote, sincronizado com o roscamento, sem a necessidade da intervenção do operador. Outrossim, para atender esse objetivo, também se fez necessário um sistema novo de abastecimento de peças e retirada, assim como aplicação do fluido de corte sobre as ferramentas para atender as normas de segurança, diminuir a quantidade de movimentos do operador e possibilitar a redução de tempo de ciclo.

Para esclarecer o processo de roscamento, Ribeiro (2013 *apud* Lamarca *et. al.*, 2017, p.1) destaca que:

O processo de roscamento é largamente utilizado na indústria, seja para a transmissão de movimento e principalmente para a fixação de componentes mecânicos. Com isso, é importante que as rosas geradas pelos processos de fabricação apresentem uma boa resistência mecânica. Atualmente, dois tipos de processos e ferramentas que são usados para se obter dois perfis rosqueados internos básicos e com fenomenologia de formação do filete de rosca diferentes, tais como: a usinagem e a conformação. Esses processos se diferenciam, no caso de rosas internas pela

formação de cavacos a partir de um macho de corte e pela deformação do material rosqueado pelo uso do macho laminador, respectivamente.

Os objetivos primordiais do projeto são solucionar os problemas apresentados pelo modelo antigo de equipamento, como tempo de produção, absenteísmo no trabalho, devido a lesões por esforços repetitivos (LER), não conformidades geradas pelo processo, devido à falta de sincronia do tempo de descida com a velocidade de giro da ferramenta e menor tempo de *setup*.

As características principais para o novo equipamento serão: descida automática da máquina, controle de velocidade da descida e de giro da ferramenta de rosca, sistema de abastecimento de peças com novos gabinetes de posicionamento, sistema de retirada de peças e sistema de aplicação de fluido de corte.

O projeto foi dividido em duas etapas, sendo a primeira etapa o projeto e fabricação do equipamento responsável pela realização das rosas e aplicação do fluido de corte, que será testado junto a produção antes da fabricação dos outros componentes.

A segunda etapa é a fabricação do conjunto de abastecimento de peças para o roscamento e retirada de peças prontas, incorporando com os componentes testados anteriormente formando, assim, o projeto completo. O sistema completo fará com que o operador apenas precise posicionar peças novas sobre os novos modelos de gabinete e o equipamento fará o processo, após finalizar o processo colocará a peça pronta dentro da caixa utilizada para separar as peças na produção.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento da indústria, e aumento da competitividade, motivou as empresas a buscarem formas de melhorar sua manufatura, procurando diminuir a quantidade de produtos não conformes e os custos de produção.

Para esse fim, uma das estratégias mais utilizadas é a automação dos processos de fabricação. A automação dos processos é possível, principalmente, através do uso de equipamentos eletroeletrônicos, tais como controladores lógico programáveis e motores que possuem o controle de posição, como motores de passo ou servo motores.

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

O termo automação deriva do Latim e em tradução direta significa mover-se por si, ou seja, um sistema automatizado é um sistema com capacidade de atuar sem a interferência humana. A fim de tornar possível realizar a automação de um processo faz-se necessário aplicar o conhecimento de diferentes áreas, incorporando informações ao processo com vistas a redução de custos, aumento da produtividade e redução de mão de obra envolvida na fabricação.

Segundo Gongora *et. al.* (2014 *apud* COSMO; GALERANI, 2022, p.181) sistemas automatizados podem apresentar maior ou menor grau de complexidade, indo desde a participação do homem como parte do sistema, até sistemas que dispensam totalmente a participação humana, destinando essa apenas ao gerenciamento da atividade.

Segundo Costa *et. al.* (2003, p. 1), a automação também pode ser descrita como a utilização de potência elétrica ou mecânica, para acionar uma máquina que possua algum tipo de inteligência ou controle, que execute sua tarefa da melhor forma possível com segurança e economia. Esse sistema deve se comportar como o operador humano na execução de suas tarefas, adquirindo informações através de seus sensores para determinar a melhor resposta para cada situação encontrada.

Para justificar a adoção da automação dentro de uma indústria, Santos *et. al.* (2017, p. 5) citam alguns benefícios:

- Melhoria de qualidade: com o processo

automatizado, a máquina tem a capacidade de trazer resultados mais padronizados, evitando o incômodo do controle de qualidade e diminuindo a quantidade de refugos e retrabalho.

- Segurança: com a cobrança mais acentuada dos órgãos competentes, sobre a aplicação das normas de segurança, a exemplo da NR-12. Portanto para evitar acidentes de trabalho, assim como multas devido a não adequação das normas. Muitas empresas se viram obrigadas a modificar seus processos. Porém muitas vezes a simples adequação à norma custaria um valor alto, provocando muitas empresas a analisarem a possibilidade de automatizar os processos.-
- Competitividade: essa é uma das principais razões pela qual a indústria busca se modernizar, pois, para esta se manter competitiva necessita, constantemente, melhorar os processos e produtos.
- Controle e monitoramento remoto: a chegada do *Internet of Things* (IoT) possibilita a integração dos processos industriais, permitindo o controle e monitoramento a distância. Desta forma, com a aplicação do IoT no chão de fábrica será possível controlar e analisar as informações adquiridas por sensores, mesmo afastado do equipamento, possibilitando mais controle para seus gestores.

CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS

Para possibilitar a automação de um mecanismo existem componentes que são essenciais, como por exemplo os controladores programáveis lógicos (CLP), e os microcontroladores. O CLP, ilustrado na Fig. 1, é um dispositivo com memória programável que

possibilita o controle dos instrumentos do processo, sendo possível programar os comandos que deverão ser executados pela máquina (GOEKING, 2010 *apud* COSMO; GALERIANI, 2022).



Figura 1. CLP Clic02

Fonte: Manual do usuário – Clic 02 Weg

O CLP foi apresentado em 1968, e rapidamente ganhou espaço devido as vantagens em comparação aos relés eletromecânicos, utilizados até então. Esta nova tecnologia poderia fazer todas as funções de seus antecessores eletromecânicos ocupando, porém, menor espaço e gerando menos custos, por não necessitar de uma grande estrutura física. Esses dispositivos utilizam linguagem de fácil compreensão e são programados através de um computador (COSMO; GALERIANI, p.184, 2022).

De acordo com a citação de Stevan Júnior e Silva (2015, *apud* COSMO e GALERIANI, 2022, p. 184):

(...) os CLPs podem ser compreendidos como microprocessadores que desempenham a função de controle de outros componentes, enquanto isso, os microcontroladores são circuitos programáveis completos, apresentando todos os componentes de um computador, ou seja, em comparação com os CLPs, o microcontrolador apresenta circuitos de controle, portas de entrada e saída, conversores e etc., enquanto o CLP é o circuito de controle propriamente dito.

O PROCESSO DE ROSCAMENTO

Buscando produzir filetes com perfil constante desenvolvidos em trajetórias helicoidais, foi empregado o processo de roscamento. As rosas podem ser utilizadas para fixação ou transmissão de movimento, dependendo do tipo de perfil. Elas podem ser internas, externas, cilíndricas ou cônicas (BEZERRA *et. al.*, 2000, p.3).

Segundo Ferraresi (1977, *apud* BEZERRA *et. al.*, 2000, p.3):

O processo de roscamento interno pode ser realizado com: ferramenta de perfil único; ferramenta de perfil múltiplo; macho; e fresa. O roscamento externo é realizado com: ferramenta de perfil único; ferramenta de perfil múltiplo; cossinete; jogo de pentes; fresa de perfil múltiplo; fresa de perfil único.

O Macho de corte possui múltiplas arestas de corte, essa ferramenta realiza o processo de usinagem e remoção do material. Através do movimento rotativo combinado ao axial, realiza deformação plástica sobre a superfície do material onde está a furação, para formar filetes de rosca após a remoção do cavaco (BEZERRA, 2003, p.48).

O Processo de roscamento interno por macho de corte é considerado uma operação complexa pois pode apresentar diversas falhas, como, quebra do macho de corte, erro de sincronia entre o movimento vertical e de rotação, desgaste do macho e desalinhamento. Uma ferramenta inadequada, condições de corte críticas ou uma lubrificação inadequada podem gerar rosas fora de tolerância, quebra da ferramenta e sucateamento da peça (SHA *et. al.*, 1990, *apud* BEZERRA, 2003, p.49).

Para esclarecer as características da ferramenta utilizada nesse trabalho e apresentada na Fig. 2, JOHNSON (1989, *apud* BEZERRA, 2003, p.49) destaca que:

Os machos de corte utilizados em máquinas-ferramenta são ferramentas inteiriças, geralmente fabricados de aço rápido ou de

metal duro. Suas rosas são de dois tipos: reta ou cônica. Machos de corte com rosca reta fabricam filetes de rosca que não variam o diâmetro com o passo, enquanto os com rosca cônica produzem filetes de rosca com uma redução uniforme do diâmetro com o passo. Possuem canais e entrada, ou chanfro, e são basicamente de três tipos: canais retos, canais retos com ponta helicoidal e canais helicoidais.

SISTEMA MECÂNICO DE MOVIMENTAÇÃO

Um sistema de movimentação típico possui alguns componentes específicos para proporcionar seu funcionamento, que serão explicitados abaixo.

Fuso de Esferas

Para automatizar mecanismos, em muitos casos, é necessário a aplicação de sistemas de conversão do movimento de rotação, no eixo dos motores elétricos, em movimento linear, a fim de possibilitar a movimentação linear do equipamento e ferramentas. Para essa finalidade, um dos dispositivos mais utilizados são os fusos de esferas.

O fuso de esferas, exemplificado na Fig. 3, é um conjunto que converte movimento rotativo em movimento linear. Consiste em um parafuso de potência de rosca redonda, uma castanha e um conjunto de esferas. A interface entre o parafuso redondo e a castanha é feita por esferas. Com elementos rolantes, o fuso de esferas tem um coeficiente de atrito muito baixo e a eficiência superior a 90%. As forças transmitidas são distribuídas por um grande número de esferas, proporcionando uma carga relativa baixa por unidade. O sistema de fuso de esferas é um dos componentes críticos na fabricação avançada com requisitos de alta precisão, como sistemas Controle Numérico Computadorizado (CNC) (DHAWARE *et. al.*, 2019, p.770).

Servo Motor

Com a finalidade de proporcionar o correto funcionamento do sistema e operação automática, o sistema precisa de um motor capaz de realizar seu acionamento, conforme comandos de posição e velocidade vindos do CLP. Para realizar essa tarefa, podem ser utilizados servo motores ou motores de passo, devido a sua capacidade de controlar seu avanço com precisão, curva de aceleração e velocidade de atuação, que combinados com o fuso de esferas e um elemento deslizante, permite a movimentação do sistema de movimentação linear.

Gill (2016, p.4) cita algumas diferenças entre motores de passo e servo motores:

Os servo motores, Fig. 4, têm várias vantagens distintas sobre os motores de passo. Eles podem gerar alto torque em uma ampla faixa de velocidade sob demanda e estão disponíveis em faixas de torque mais amplas e tensões mais altas, até 480 VCA. Estes respondem a perturbações com um torque muito maior que sua capacidade contínua e usam apenas a potência necessária para realizar o movimento comandado e são compactos.

Rolamento Linear

A fim de permitir o movimento linear, na maioria das vezes são utilizados elementos rolantes, a exemplo dos rolamentos lineares, Fig. 5, ou rolamentos pressurizados. Motores elétricos são frequentemente usados, mas podem causar carga excessiva e falha prematura dos rolamentos, devido a seu torque instantâneo. Portanto, os rolamentos lineares normalmente têm que lidar com dois tipos de carga, vertical e horizontal, embora o torque também possa ser exercido sobre os rolamentos. Dependendo de onde o rolamento é usado, ele pode receber toda a força da gravidade (vertical), toda a força de impulso (horizontal) ou uma combinação dessas forças (PAULIDEZ *et. al.*, 2009, p.1084).

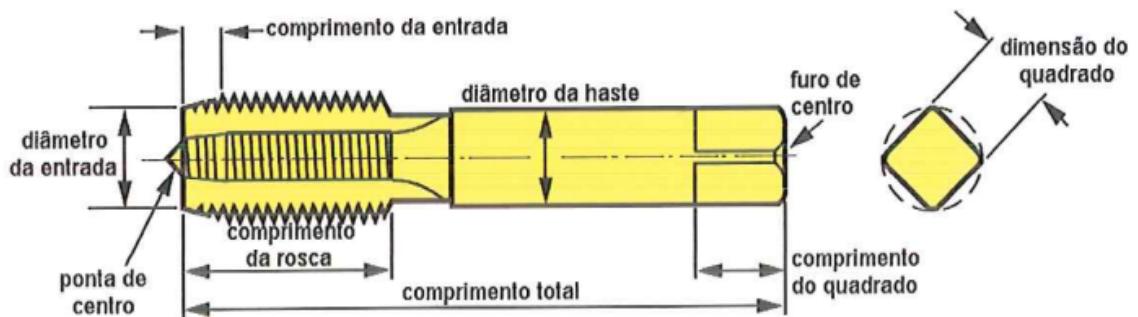


Figura 2. Macho de corte de canais retos

Fonte: BEZERRA (2003).

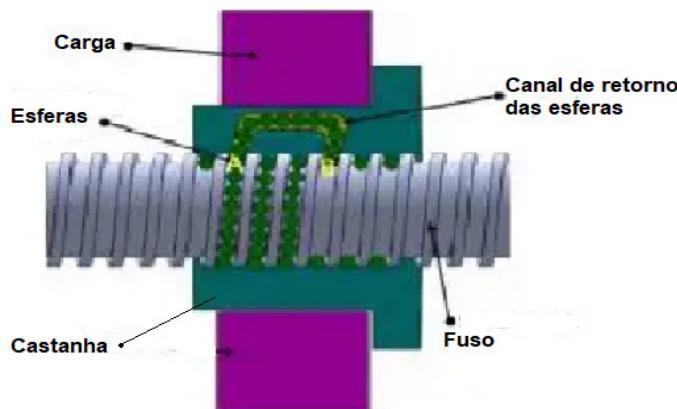


Figura 3. Fuso de esferas

Fonte: Adaptado de Dhaware *et. al.* (2019).



Figura 4. AKM Servo motor

Fonte: GILL (2016)



Figura 5. Rolamento linear modelo SMA

Fonte: Kalatec Automação

Atuadores Pneumáticos

Existem outros dispositivos, além dos citados anteriormente, utilizados na movimentação de peças ou partes de máquinas no âmbito da automação. Levando em consideração que nem todos os casos precisam de posicionamento preciso ou linear, deve-se destacar os sistemas de mesas rotativas e a utilização de atuadores pneumáticos. Esses dispositivos são utilizados para casos de automação onde o sistema de fusos de esferas não se faz necessário ou útil, como por exemplo casos de movimento rotativo ou casos de atuação simples com apenas duas posições.

Normalmente os atuadores pneumáticos são utilizados para movimentação e atuação em casos com baixa precisão na movimentação. Existem diversos tipos de atuadores, como por exemplo atuadores lineares, giratórios e sem haste. Cada tipo de atuador apresenta uma possibilidade de aplicação, sendo o princípio básico de todos eles a conversão do trabalho do fluido pneumático em trabalho mecânico (KUMAR *et al.*, 2017).

Mesa Indexadora

As mesas rotativas são usadas principalmente para indexar peças em incrementos angulares definidos. As mesas rotativas possuem ângulos de indexação fixos ou ajustáveis. A

mesa interrompe o giro por um período de tempo especificado para que uma operação possa ser executada em cada estação durante cada revolução.

Os rolamentos de suporte das mesas rotativas determinam a capacidade de carga e a precisão. Os rolamentos de esferas de contato radial possuem menor custo que os rolamentos de contato angular. Os rolamentos de contato angular fornecem melhor capacidade de carga e rigidez axial quando comparados aos de contato radial. Rolamentos de rolos transversais também são usados. Para uma mesa de grande porte e alta capacidade de carga, também são utilizados os mancais hidrostáticos.

A seleção de mesas rotativas requer uma análise de especificações e características, como por exemplo o incremento de indexação máximo, velocidade de rotação, torque obtido no tampo da mesa, carga axial máxima, força máxima aplicada na mesa, carga radial máxima, diâmetro da mesa de trabalho (VASANTRAOKADAM; N. V. HARGUDE, 2015, p.22).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto do equipamento foi subdividido em 2 projetos sendo um o projeto da estrutura que será responsável por fazer as rosas e, o outro, a estrutura responsável por abastecer a rosadeira e retirar as peças do interior do local de trabalho. Ambos os projetos seguem o fluxograma apresentado pela Fig. 6, porém o segundo projeto será iniciado após a fabricação do primeiro.

Com a utilização dos componentes descritos na fundamentação teórica, foram criados os primeiros esboços para a matriz morfológica. Os esboços apresentam opções para o conjunto de movimentação responsável pela criação da rosca. Na Figura 7 é apresentado o projeto com motor fixo, que possui um eixo estriado para a passagem de torque ao cabe-

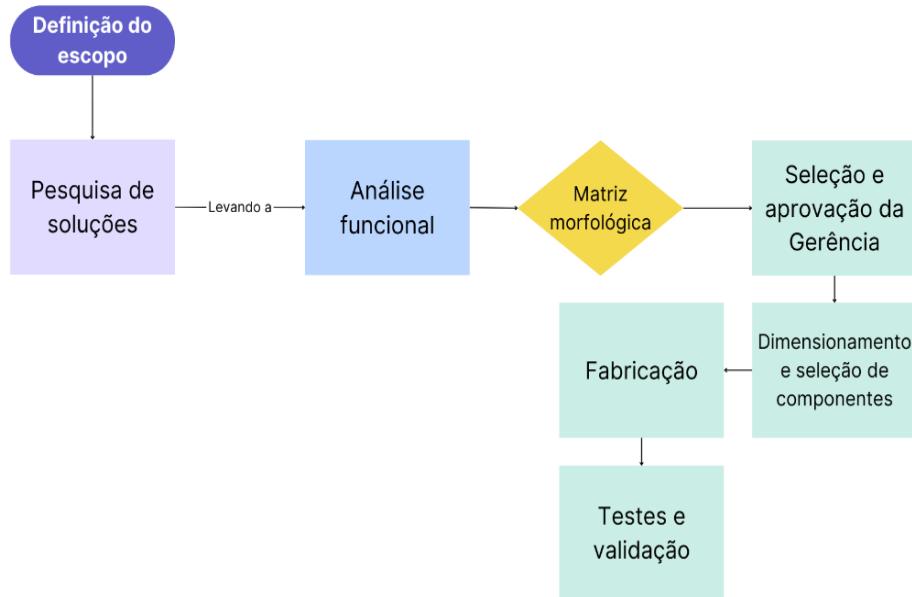


Figura 6. Fluxograma de atividades

Fonte: Autor (2023).

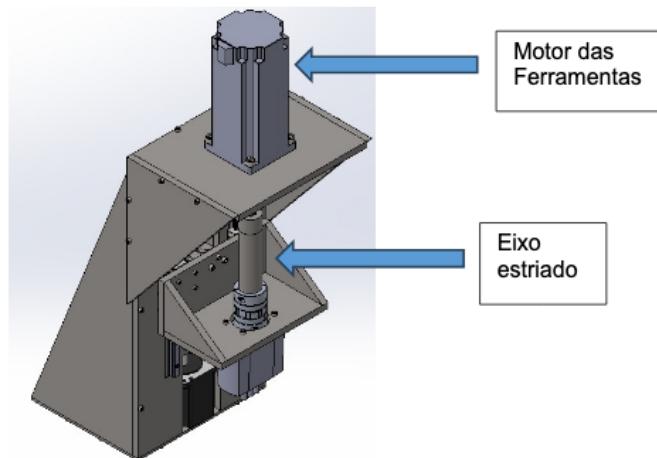


Figura 7. Roscadeira com motor fixo

Fonte: Autor (2023).

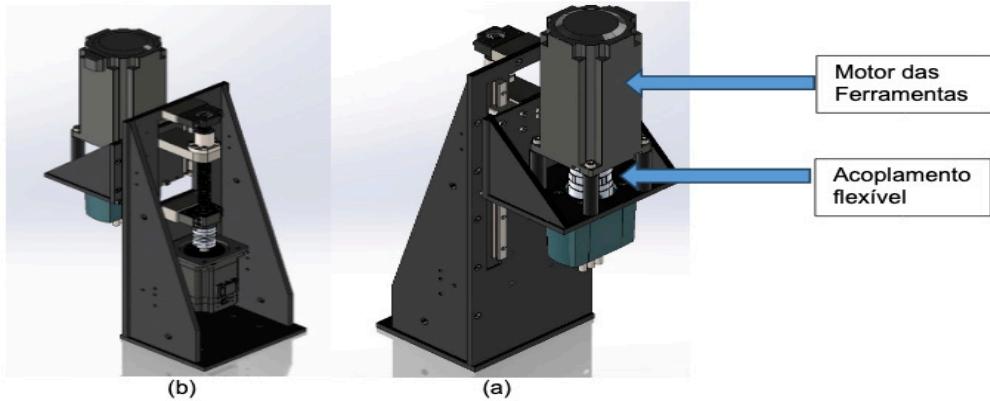


Figura 8. Roscadeira com motor movendo e guia linear. (a) vista frontal (b) vista traseira

Fonte: Autor (2023).

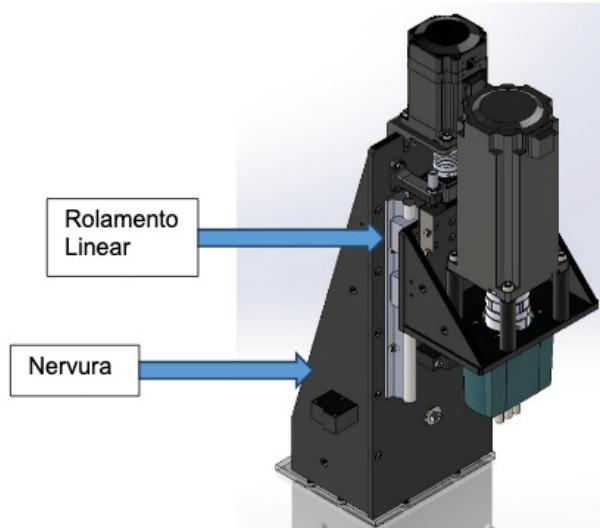


Figura 9. Roscadeira com motor movendo e rolamento linear

Fonte: Autor (2023).

cote de roscamento, com fuso de esferas para a movimentação e guia linear para restringir a movimentação a apenas um eixo.

A segunda opção, apresentada na Fig. 8, apresenta uma estrutura com o motor de giro da rosca em movimento junto a estrutura. Esse modelo também apresenta fuso de esferas e guia linear no seu conjunto de movimentação. Com a mudança na estrutura que comporta o motor não se fez necessário a utilização de eixo estriado, mantendo-se apenas o acoplamento flexível como forma de conexão entre motor e cabeçote.

A terceira opção, ilustrada na Fig. 9, apresenta um conjunto semelhante à segunda opção sendo, a única diferença, a troca dos guias lineares por rolamentos lineares.

Após a análise de viabilidade econômica das opções de projeto, apresentadas na matriz morfológica (Apêndice A), selecionou-se a terceira opção para dar prosseguimento ao desenvolvimento do projeto e dimensionamento, visto que este projeto apresentava tolerâncias aceitáveis para a operação e um menor custo de fabricação.

Tendo sido selecionado o projeto, iniciou-se o dimensionamento dos componentes a serem utilizados na fabricação deste.

A seleção do fuso e seu motor são derivados dos valores de torque necessário para a movimentação do conjunto. De acordo com Kalatec (2019), o dimensionamento se dará através das Eq. (1) e (2) sendo, a Eq. (1) responsável pelo cálculo do torque necessário para movimentar a carga e, a Eq. (2) por sua vez, calcula o torque para realizar a aceleração da castanha e o torque total é representado pela soma dos dois, representado pela Eq. (3). O motor utilizado para o fuso foi adquirido de previamente pela fábrica. Portanto, o cálculo realizado neste artigo será para verificar a possibilidade de utilização do motor.

$$T_p = \frac{P \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot n_1} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

$$T_p = \text{Torque de carga (N.m)}$$

$$P = \text{Peso da estrutura levantada (N)}$$

$$l = \text{Passo do fuso (m)}$$

$$n_1 = \text{Eficiência positiva}$$

$$T_g = J \cdot \alpha_a \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

$$T_g = \text{Torque de aceleração (N.m)}$$

$$J = \text{Momento de inércia (N.m.s}^2\text{)}$$

$$\alpha_a = \text{Aceleração angular (rad/s}^2\text{)}$$

O torque total, por sua vez, será.

$$T_t = T_g + T_p \quad \text{Eq. (3)}$$

Após o dimensionamento do torque de movimentação do fuso, será feita uma análise sobre as tensões aplicadas no fuso utilizando-se as equações apresentadas por Budynas (2016, p.399 a p.405) sendo, a Eq. (4), responsável por determinar a torção sobre o corpo do fuso, a Eq. (5), calcula a tensão axial, a Eq. (6) determina a tensão sobre a rosca e a Eq. (7) a tensão de flexão sobre a base da rosca.

$$\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d_r^3} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

$$\tau = \text{Torção máxima sobre o fuso (Pa)}$$

$$T = \text{Torque (N.m)}$$

$$d_r = \text{Diâmetro na raiz da rosca (m)}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_r^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

σ = Tensão axial (**Pa**)

F = Peso da carga (**N**)

d_r = Diâmetro na raiz da rosca (**m**)

$$\sigma_B = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d_m \cdot n_t \cdot p} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

σ_B = Tensão sobre a rosca (**Pa**)

F = Peso da carga (**N**)

d_m = Diâmetro médio (**m**)

n_t = Número de rosca engajadas

p = Passo (**m**)

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot F}{\pi \cdot d_r \cdot n_t \cdot p} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

σ_b = Tensão de flexão sobre a base rosca (**Pa**)

F = Peso da carga (**N**)

d_r = Diâmetro na raiz da rosca (**m**)

n_t = Número de rosca engajadas

p = Passo (**m**)

Com essa etapa finalizada, a seleção do rolamento linear será de acordo com a compatibilidade de tamanho dos modelos comerciais. A compatibilidade se deve ao fato de esse modelo montar junto ao fuso de esferas sem a necessidade de peças intermediárias para permitir a montagem.

O modelo de cabeçote será o modelo com 3 saídas de ferramenta, solicitado pela companhia, e sua motorização será adequada a um modelo de motor previamente adquirido pela empresa. Posto isso, passa-se ao dimensionamento da estrutura que suportará o peso dos componentes, sendo definido como 2 nervuras que serão posicionadas na parte traseira da estrutura mecânica. Portanto, serão calcu-

ladas as tensões de flexão e cisalhamento aplicadas sobre esses dois corpos através da Eq. (8) e Eq. (9), respectivamente, apresentadas por Budynas (2016, p.102 a p.106).

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

σ = Tensão de flexão (**Pa**)

M = Momento de força (**N.m**)

y = Distância ao eixo neutro (**m**)

I = Momento de Inercia de seção (**m⁴**)

$$\tau_n = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

τ_n = Torção (**Pa**)

V = Força cisalhante (**N**)

Q = Momento da área em relação ao eixo neutro (**m³**)

b = Espessura (**m**)

A segunda etapa do projeto é composta por um sistema de abastecimento de peças para a roscadeira sendo, esse sistema, constituído por um dispositivo para movimentar as peças e outro para retirar da máquina. Visando atingir uma movimentação precisa e ocupando pouco espaço, optou-se por uma mesa indexadora para tal finalidade. Para a etapa de retirada de peças foram selecionados atuadores pneumáticos, visto que apresentavam melhores custo-benefício e simplicidade do que atuadores elétricos.

A mesa indexadora funciona através de movimentos precisos, acionados por um servo motor, o posicionamento das peças é realizado sobre gabaritos, feitos em impressão 3D, sendo 3 gabaritos para cada modelo de peça, devido as 3 posições de trabalho simultâneo. Com o abastecimento manual, a mesa

indexadora deve movimentar a peça em 120° para deixá-la alinhada com a rosca de rosca, com a operação de rosca realizada, a mesa se movimenta novamente fazendo com que a peça rosada vá para a estação de retirada de peças e uma nova peça pare de baixo da rosca de rosca.

Para a seleção do acionamento da mesa indexadora deve-se calcular o torque total de movimentação, sendo este, a soma do torque de carga com o torque de aceleração. Através da ferramenta de cálculo de torque oferecida pela Orientalmotor (2023), destaca-se a Eq. (10) para o cálculo do torque de aceleração, a Eq. (11) para o cálculo do torque de carga e a soma dos dois representa o torque total que o motor demanda, mostrado pela Eq. (12).

$$T_a = (J_0 \cdot i^2 + J_L) \cdot \left(\frac{V_m}{9,55 \cdot t_1} \right) \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde:

T_a = Torque de aceleração

J_0 = Inercia do rotor

i = redução

J_L = Somatória de inercia do conjunto em movimento

V_m = Velocidade média

t_1 = Tempo para realização da aceleração

$$T_L = \left(9,8 \cdot (m_t + m_1) \cdot \mu \cdot (l \cdot 10^{-3}) \right) \cdot \left(\frac{1}{n \cdot 0,01} \right) \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde:

T_L = Torque de carga

m_t = Massa do disco da mesa

m_1 = Massa da peça mais gabarito multiplicado pela quantidade

μ = Coeficiente de fricção

l = Distância do centro da mesa até o mecanismo de suporte

n = Eficiência do sistema

$$T_{tm} = T_a + T_L$$

Eq. (12)

Onde:

T_{tm} = Somatória dos torques ()

O sistema de retirada de peças é responsável por retirar as peças de seus gabaritos, movê-las até uma abertura na estrutura fazendo com que as peças escorreguem para uma caixa na área externa do equipamento. A escolha dos atuadores é realizada de acordo com o limite de momento de força em seu ícone, indicado pelo fabricante, e a força possível de ser realizada pelo atuador para a retirada da peça, calculado pela equação de cálculo de pressão, Eq. (13).

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (13)}$$

Onde:

P = Pressão (Pa)

F = Força (N)

A = Área (m^2)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de tornar possível realizar-se os cálculos, utilizando-se as equações do item anterior, será necessário considerar algumas condições de contorno.

A primeira condição de contorno está relacionada ao motor dos machos. O motor para comandar os machos, adquirido antes da conclusão do projeto, é o modelo Easy servo ES-MH342200 da fabricante Leadshine, com velocidade máxima de 2.000 rpm.

Para criar a rosca nas peças é preciso que os motores do fuso e macho estejam sincronizados de forma que, para cada giro do macho, a estrutura deve descer o valor de seu passo de rosca. Assim sendo, como segunda condição de contorno, assumindo a pior situação de

roscamento que será com machos de M5 com passo de 0,8 mm e considerando um fuso de esferas com passo de 5 mm. Definiu-se que, para cada volta do motor dos machos, o motor do fuso deve girar 0,16 voltas, portanto, admitir-se-á velocidade máxima do motor do fuso como sendo 320 rpm. Além do mais, esse sistema será responsável por movimentar uma estrutura com peso estimado em 225,2 N.

DIMENSIONAMENTO DO FUSO

Fazendo-se uso das equações apresentadas na seção de Procedimentos Metodológicos, será realizado o dimensionamento dos componentes e sua seleção dentro modelos comerciais.

Por primeiro, calcular-se-á o torque necessário para o motor do fuso através das Eq. (1), Eq. (2) e Eq. (3).

$$T_p = \frac{225,2 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,9} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$T_p = 0,2 \text{ N.m}$$

$$T_g = 0,0002 \cdot 67,02 \quad \text{Eq. (2)}$$

$$T_g = 0,01 \text{ N.m}$$

$$T_t = 0,01 + 0,2 \quad \text{Eq. (3)}$$

$$T_t = 0,21 \text{ N.m}$$

Analizando os resultados dos cálculos e a curva de torque, ilustrada pela Fig. 10, apresentada pelo motor de movimentação do fuso Easy Servo ES-M23440, pode-se verificar, dividindo o torque disponível pelo torque calculado na Eq. (3), que o motor apresenta um coeficiente de segurança de aproximadamente 16 vezes o valor do torque necessário para a operação.

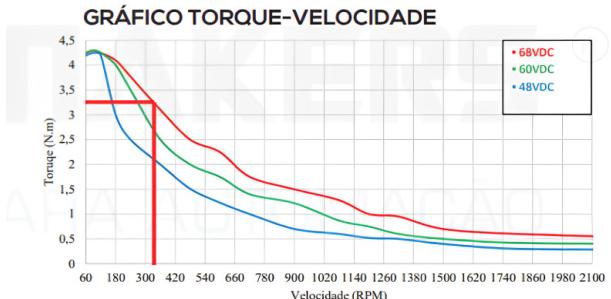


Figura 10. Curva de torque por velocidade do modelo Easy Servo ES-M23440

Fonte: Adaptado de Techmakers (2023).

Calculando-se as tensões geradas sobre o fuso de esferas, será selecionado o modelo SFNU-1605 da Kalatec, e os cálculos serão feitos partindo das medidas desse fuso de esferas. O cálculo de tensões sobre a estrutura mecânica será realizado através das equações Eq. (4), Eq. (5), Eq. (6) e Eq. (7).

$$\tau = \frac{16 \cdot 4}{\pi \cdot 0,01342^3} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\tau = 8,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot 225,21}{\pi \cdot 0,01342^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$\sigma = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_B = \frac{2 \cdot 225,21}{\pi \cdot 0,01471 \cdot 6 \cdot 0,005} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\sigma_B = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot 225,21}{\pi \cdot 0,01342 \cdot 6 \cdot 0,005} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\sigma_b = 1,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

O fuso de esferas é fabricado com o material CrMo SCM450 com tensão de escoamento de aproximadamente 483 MPa (Matweb, 2023). Comparando-se o valor da tensão de escoamento com o resultado da Eq. (4), é possível perceber que o coeficiente de seguran-

ça no caso do torque máximo do motor é de aproximadamente 57. Logo, os componentes selecionados para o conjunto de movimentação se mostram capazes de realizar suas tarefas.

DIMENSIONAMENTO DA NERVURA

Na sequência, será realizado o dimensionamento da estrutura responsável por sustentar o conjunto de movimentação. A escolha da espessura da chapa se dará em função da necessidade de embutir os parafusos M6.

A fim de possibilitar a análise das tensões resultantes na nervura, ilustrada na Fig. 11, seccionou-se essa peça em 4 partes, permitindo o cálculo das tensões de flexão, com a Eq. (8), e cisalhamento, com a Eq. (9), em cada secção. Utilizado para analisar as reações nas diferentes secções. Outrossim, o momento gerado sobre a peça é considerado como igualmente distribuído pela estrutura para facilitar o cálculo.

Através do *software* Solidworks foi estimado que o centro de massa da estrutura que permite movimento está a aproximadamente 85 mm do seu ponto de apoio. Essa estrutura pesa um total de 225,2 N e gera um momento total de 1,95 N.m.

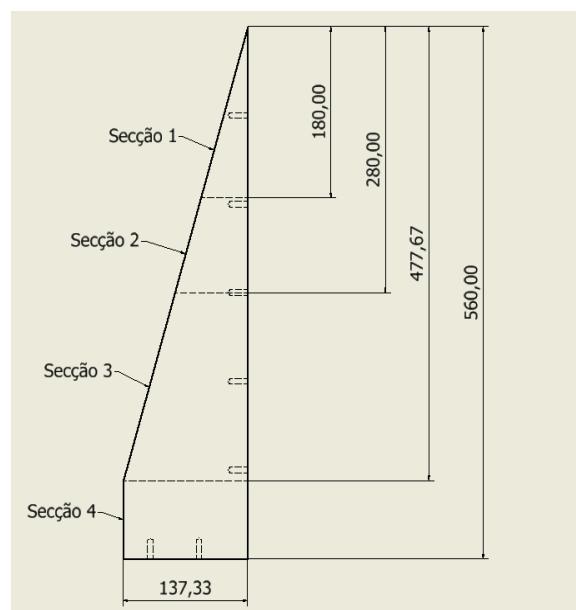


Figura 11. Divisão de secções da nervura

Fonte: Autor (2023).

Secção 1:

$$\sigma_1 = \frac{0,49 \cdot 0,03987}{1,58 \cdot 10^{-8}} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$\sigma_1 = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{n1} = \frac{6,96 \cdot 1,78 \cdot 10^{-6}}{1,58 \cdot 10^{-8} \cdot 0,009} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\tau_{n1} = 0,08 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Secção 2:

$$\sigma_2 = \frac{0,97 \cdot 0,09333}{3,91 \cdot 10^{-7}} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$\sigma_2 = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{n2} = \frac{6,96 \cdot 7,29 \cdot 10^{-6}}{3,91 \cdot 10^{-8} \cdot 0,009} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\tau_{n2} = 0,01 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Secção 3:

$$\sigma_3 = \frac{1,66 \cdot 0,15922}{6,47 \cdot 10^{-7}} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$\sigma_3 = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{n3} = \frac{6,96 \cdot 2,56 \cdot 10^{-4}}{6,47 \cdot 10^{-7} \cdot 0,009} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\tau_{n3} = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Secção 4:

$$\sigma_4 = \frac{1,66 \cdot 0,18666}{6,47 \cdot 10^{-7}} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$\sigma_4 = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{n4} = \frac{6,96 \cdot 2,56 \cdot 10^{-4}}{6,47 \cdot 10^{-8} \cdot 0,009} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\tau_{n4} = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

As nervuras foram fabricadas com material ABNT 1020, que possui uma tensão de escoamento de 350 MPa (Matweb, 2023). Verificando-se os valores acima calculados, pode-se observar que o cálculo de flexão da secção 1 foi o que apresentou o maior valor. Comparando-se este valor com o da tensão de escoamento do material, percebe-se que o coeficiente de segurança é de aproximadamente 500, pois há 2 nervuras no projeto. Esse valor de coeficiente atende aos esforços mecânicos e garante uma estrutura rígida, necessária para uma aplicação que necessita de precisão.

Com o resultado do dimensionamento mecânico, iniciou-se a fase de fabricação do primeiro projeto, ou seja, o conjunto responsável por fazer as rosas nas peças apresentado na Fig. 9.

A aplicação do fluido de corte também teve que se automatizada para possibilitar compatibilidade com o processo automatizado e segurança ao operador. Para realizar a aplicação do fluido foi adquirido dois pulverizadores pneumáticos, por serem mais simples

e baratos de aplicar se comparados as opções de bombeamento hidráulico com rotor. Esse sistema utiliza a pressão do vím do sistema pneumático para sugar o fluido de corte do reservatório e borrifa-lo sobre a peça junto ao ar comprimido.

Após a montagem do equipamento, foi adaptado um sistema de alimentação através de um atuador pneumático de giro de 180°. Com esse alimentador, o equipamento, ilustrado na Fig. 12, foi instalado dentro do ambiente de produção para realizar testes junto à produção da fábrica. Enquanto o primeiro projeto é testado e validado, é iniciado o desenvolvimento do segundo projeto que compõe o equipamento total.



Figura 12. Protótipo de testes da rosadeira automática

Fonte: Autor (2023).

Tendo concluída a primeira etapa do projeto, se inicia a segunda etapa com a seleção e cálculo da mesa indexadora e seu acionamento. Dentre as opções de mesa indexadora encontradas no mercado, selecionou-se um modelo do tipo atuador giratório vazado, com redução 1:10, visto menor custo quando comparado com outras opções disponíveis. Essa mesa indexadora foi adaptada para fixar carapaça modelo NEMA, utilizada pelos modelos de motor Easy Servo. No intuito de selecionar a potência correta de motor, far-se-á uso das

Eq. (10) e Eq. (11) para calcular o torque de carga e aceleração e, em seguida, a Eq. (12) para determinar o torque total.

$$T_a = (0,00005 \cdot 10^2 + 4,63 \cdot 10^{-2}) \cdot \left(\frac{40}{9,55,0,5} \right) \quad \text{Eq. (10)}$$

$$T_a = 0,43 \text{ N.m}$$

$$T_L = (9,8 \cdot (3,89 + 0,42) \cdot 0,05 \cdot (130 \cdot 10^{-3})) \cdot \left(\frac{1}{90,0,01} \right) \quad \text{Eq. (11)}$$

$$T_L = 0,3 \text{ N.m}$$

$$T_{tm} = 0,43 + 0,3 \quad \text{Eq. (12)}$$

$$T_{tm} = 0,73 \text{ N.m}$$

Tendo como referência o resultado da Eq. (12), foi selecionado o motor modelo Easy Servo ES-M32320 da fabricante Leadshine. Esse modelo possui um torque máximo de 2 N.m, conforme Fig. 13, que está disponível durante a utilização por causa da baixa velocidade na operação. Dividindo-se o torque máximo pelo torque calculado pela Eq. (12) é possível verificar um coeficiente de segurança de 2,7 para a operação.

O posicionamento das peças em operação sobre a mesa indexadora será feito sobre gabaritos com o formato negativo da peça, folga de 0,5 mm e geometria com chanfros e filetes que possibilitem a peça deslizar para a sua posição quando é solta sobre o gabarito. Sua produção será feita através de impressão 3D com filamento de ABS.

Para o sistema de retirada de peças, foi criado um conjunto com 2 atuadores pneumáticos, sendo um responsável pelo movimento horizontal e o outro pela movimentação vertical. O sistema funciona junto a um eletroímã colocado na ponta do atuador vertical. Esse ímã junto ao atuador vertical será responsável por retirar a peça do gabarito. O atuador horizontal move o atuador com a peça até a calha de saída e o eletroímã é desenergizado, soltando a peça na calha que a direcionará até

a caixa de peças prontas.

O tamanho do atuador vertical é selecionado de acordo com a Eq. (13) para adequar a força necessária à pressão disponível para a máquina. O atuador horizontal será selecionado como um modelo de atuador sem haste, devido ao espaço utilizado ser menor que os modelos padrões de mercado. O modelo sem haste deve ser selecionado de acordo com os limites de carga e momento de força sugeridos pelo fabricante e ilustrado pela Fig. 14.

$$P = \frac{1,02}{8,48 \cdot 10^{-5}} \quad \text{Eq. (13)}$$

$$P = 0,01 \text{ MPa}$$

O modelo de atuador vertical selecionado foi CDQ2K12-25DCZ, da fabricante SMC, sendo esse o menor modelo de atuador linear que a fabricante tem disponível para venda no Brasil. O equipamento terá 0,1 MPa de pressão de ar comprimido disponibilizado pelo compressor para a operação. Esse valor é 10 vezes maior que o necessário para a operação. Foi designado o modelo MY3B16-200L também da SMC, para ser o atuador horizontal. Esse modelo possui 16 mm de diâmetro do pistão e 200 mm de percurso. A carga máxima que ele receberá será de 228 g. Com a utilização do software Solidworks, foi determinado que o momento M2 será de 0,04 N.m e M3 será 0,02 N.m, abaixo do valor máximo permitido. Conforme informações fornecidas no catálogo do fabricante, o momento M1 não se aplica para esse caso de aplicação, pois o atuador terá uma montagem do tipo montagem de parede.

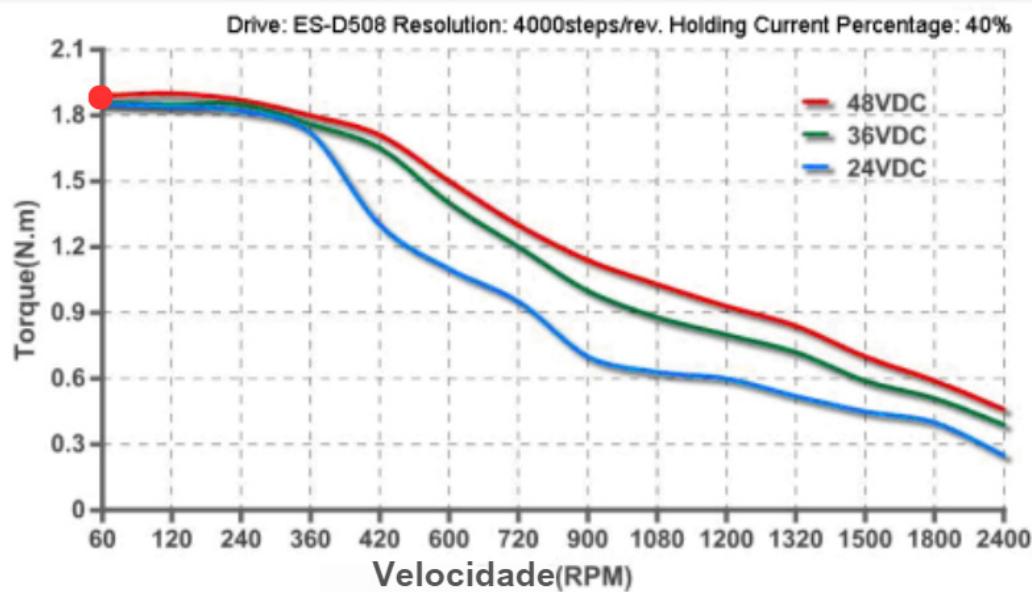


Figura 13. Curva de torque por velocidade do modelo Easy Servo ES-M32320

Fonte: Adaptado de Leadshine (2023).

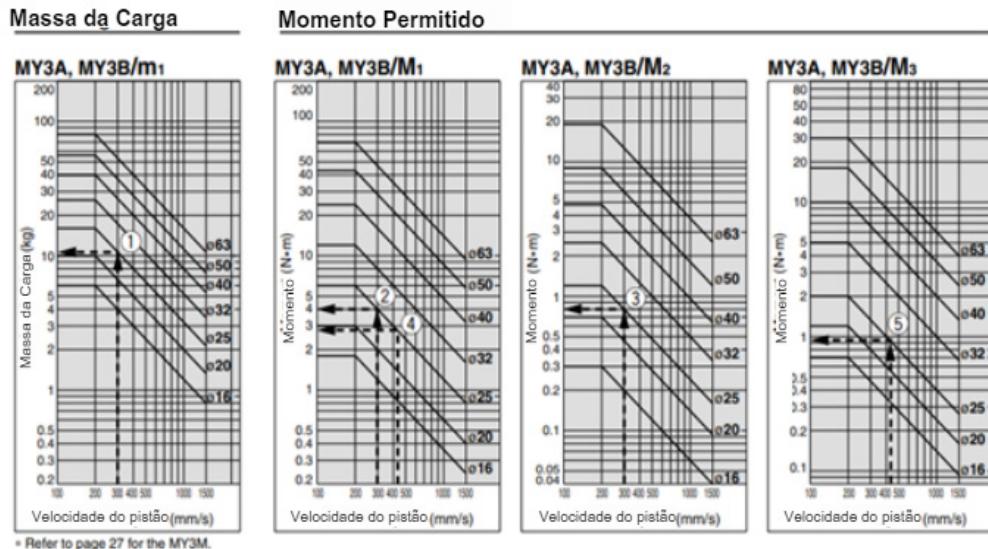


Figura 14. Momento e carga permitível para o atuador sem haste

Fonte: Adaptado de SMC COORPORATION (2023).



Figura 15. Conjuntos mecânicos

Fonte: Autor (2023).

Para fixação dos atuadores foi fabricada uma estrutura com nervuras, que ficará sobre a mesa. Essa estrutura terá um oblongo que permitirá pequenos ajustes de posicionamento. A mesa, que será responsável por suportar toda a estrutura, foi fabricada usando tubos 50 mm x 50 mm quadrados, conforme padrão já usado pela empresa.

Após o dimensionamento e seleção de componentes, desenvolveu-se a estrutura de proteção que atende as normas NR-12. A estrutura é montada usando perfil de alumínio 30 mm x 30 mm com 4 canais e fechada com a introdução de chapas de policarbonato entre os perfis, limitando o acesso do operador apenas a área de operação.

O projeto e montagem do painel elétrico, interface de controle e programação do CLP foram realizados por outros profissionais, que atuam na empresa e são especializados nessa área. Esses componentes foram selecionados de acordo com as especificações do projeto definidas pelo projeto mecânico.

Após a instalação do equipamento e utilização pela produção, foi instalado uma bandeja na parte frontal da máquina, com o objetivo de proporcionar um local para o operador organizar as peças, tornando mais fácil abastecer o equipamento.

Além do mais, também foram instaladas 2 novas luminárias, sendo uma instalada na parte superior da máquina para iluminar a parte interna, e a outra na posição de trabalho do operador. A luminária que fica no local de trabalho do operador pode mudar de cor, sendo essas cores usadas para indicar o estado da máquina, como por exemplo, verde quando está em operação e azul quando o operador deve pegar uma peça e verificar a qualidade da rosca.



Figura 16. Projeto finalizado

Fonte: Autor (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equipamento foi posto em funcionamento junto a equipe de produção para teste e validação do projeto. De imediato, o equipamento ocasionou um aumento de 63,5% da produtividade da etapa de roscamento, cons-

tatado pela gerencia. Baseado nesse aumento, foi calculado um retorno do valor investido, estimado em 18,6 meses. Esse retorno é baseado em um custo de fabricação de R\$52.000,00, com uma economia mensal de R\$2.798,09 gerada pelo aumento na produtividade.

O novo equipamento também apresenta outras vantagens em relação ao utilizado anteriormente, como por exemplo completa adequação à norma NR-12, redução de fadiga do operador, redução de lesões por esforço repetitivo nesse posto de trabalho, redução do consumo de fluido de corte, devido a nova forma de aplicação com controle de vazão, redução do tempo para realizar *setup* de 20 para 5 minutos e aumento na qualidade do processo, que se atribuem as pausas realizadas pelo

equipamento após a fabricação de um numero pré-definido de peças, por conseguinte, a peça retorna a posição inicial para o operador verificar as roscas com o gabarito de roscas.

Baseado no parágrafo anterior, pode-se observar, que o equipamento mostrou mais vantagens do que apenas um aumento na produtividade. Porém, foi detectado uma possibilidade de melhoria na produtividade com a troca do motor responsável pelo acionamento dos machos. A possibilidade de melhoria, ocorre devido a esse motor estar limitado a uma velocidade máxima de 2.000 rpm e poderia ser substituído por um motor com maior potência.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Daniel C.; SILVA, Sérgio Luís da; SCALICE, Regis K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para Melhoria do Processo, 1ª edição**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006. E-book. ISBN 9788502111868. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502111868/>. Acesso em: 05 set. 2023.

BEZERRA, Alexandre Araújo e COELHO, Reginaldo Teixeira e SILVA, Leonardo Roberto. Monitoração dos processos de roscamento: revisão da literatura. 2000, Anais. Natal: UFRN/SBCM, 2000. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/7595087b-8782-4877-8691-27795e0d3015/prod_000816_sysno_1137760%20%282%29.pdf. Acesso em: 04 jan. 2024.

BEZERRA, Alexandre Araújo. **Estudo do desgaste no roscamento com alta velocidade em ferro fundido**. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-07022017-102750/>. Acesso em: 05 jan. 2024.

BUDYNAS, Richard; NISBETT, J K. **Elementos de máquinas de Shigley**. Porto Alegre: Grupo A, 2016. E-book. ISBN 9788580555554. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555554/>. Acesso em: 29 ago. 2023.

COSMO, Bruno Marcos Nunes; GALERIANI, Tatiani Mayara. INTRODUÇÃO A AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA: automação nos sistemas de irrigação em tempo real. **Revista Desafios**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 179-193, 06 maio 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360431330_INTRODUCAO_A_AUTOMACAO_AGRICOLA_AUTOMACAO_NOS_SISTEMAS_DE_IRRIGACAO_EM_TEMPO_REAL. Acesso em: 10 ago. 2023.

COSTA, Isabele Morais; LISBOA, Stella Neves Duarte; SANTOS, Talita Pitanga. Automação industrial. **Natal: Dca447-Departamento de Engenharia de Computação e Automação-Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 2003. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_15_doc.doc. Acesso em: 24 ago. 2023.

DHAWARE, Yashashri *et al.* Review on Comparative Analysis of Ball Screw & Lead Screw. **International Research Journal Of Engineering And Technology**. India, p. 769-772. Jun. 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/40151350/IRJET_Review_on_Comparative_Analysis_of_Ball_Screw_and_Lead_Screw. Acesso em: 29 ago. 2023.

GILL, Hurley. **Stepper Motor or Servo Motor**: which should it be?. Radford: Kollmorgen, 2016. 8 p. Disponível em: https://www.academia.edu/82588659/Stepper_Motor_or_Servo_Motor_Which_should_it_be_. Acesso em: 31 ago. 2023.

KALATEC AUTOMAÇÃO. Catálogo de Fuso de Esferas. Disponível em: <https://www.kalatec.com.br/wp-content/uploads/2019/08/catalogo-fuso-de-esferas-kalatec.pdf>. Acesso em: 08 set. 2023.

KUMAR, Deepak *et al.* AUTOMATION OF LATHE USING PNEUMATIC ACTUATORS. **International Journal Of Mechanical Engineering And Technology**, Chennai, v. 8, n. 3, p. 419-425, mar. 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/32471199/AUTOMATION_OF_LATHE_USING_PNEUMATIC_ACTUATORS. Acesso em: 05 set. 2023.

LAMARCA, Luiz Felipe Vieira Dominato *et al.* ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ROSCAS USINADAS ECONFORMADAS COM A VARIAÇÃO DO NÚMERO DE FILETES. Ouro Preto: XXI Colóquio de Usinagem, 2017. 5 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328760974_ESTUDO_COMPARATIVO_ENTRE_ROSCAS_USINADAS_E_CONFORMADAS_COM_A_VARIACAO_DO_NUMERO_DE_FILETES. Acesso em: 09 ago. 2023.

MATWEB. AISI 1020 Steel, cold rolled. Disponível em: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbb>. Acesso em: 25 set. 2023.

MATWEB. 434 Stainless Steel annealed and cold drawn bar, 25 mm diameter. Disponível em: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=9dbb64fd080644619c6e66b24ef6d57a>. Acesso em: 25 set. 2023.

PAULIDES, J.J.H.; JANSSEN, J.L.G.; LOMONOVA, E.A. Bearing lifetime of linear PM machines. **2009 Ieee Energy Conversion Congress And Exposition**, San Jose, p. 1083-1090, set. 2009. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ecce.2009.5316359>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5316359>. Acesso em: 01 set. 2023.

ROSÁRIO, João Mauricio. **AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**. São Paulo: Barauna, 2009. 516 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=YsUHLcHdbh4C&oi=fnd&pg=PA9&dq=automa%C3%A7%C3%A3o+industrial&ots=3llSCmP_7k&sig=pkN0qRw3iri1Rahw1iu0Mpz1Vbs&redir_esc=y#v=onepage&q=automa%C3%A7%C3%A3o%20industrial&f=false. Acesso em: 24 ago. 2023

SANTOS, Wesley dos *et al.* **BANEFICIOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NO PROCESSO DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA**: consequências no trabalho humano. Ircet: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, 2017. 8 p. Disponível em: https://www.academia.edu/35778796/BANEFICIOS_DA_AUTOMA%C3%87%C3%83O_INDUSTRIAL_NO_PROCESSO_DE_PRODU%C3%87%C3%83O_NA_IND%C3%99ASTRIA_CONSEQU%C3%8ANCIAS_NO_TRABALHO_HUMANO_Wesley_dos_santos. Acesso em: 07 ago. 2023.

SMC CORPORATION. Mechanically Jointes Rodless Cylinders. Disponivel em: https://ca01.smctrworld.com/catalog/en/actuator/MY3-E/7-4-3-p1119-1167-MY3_en/index.html#target/page_no=1. Acesso em: 27 set. 2023.

TEIXEIRA, Ana Flávia Serpa; VISOTO, Nayanne Antunes Ribeiro; PAULISTA, Paulo Henrique. **AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**: seus desafios e perspectivas. **XII Congresso de Iniciação Científica da Fepi**, Itajubá, v.3, p. 1-5, 01 jan. 2016. Anual. Disponível em: <http://revista.fepi.br/revista/index.php/revista/article/viewFile/404/278>. Acesso em: 24 ago. 2023.

VASANTRAOKADAM, Pradip; N.V.HARGUDE. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 6, Issue 3, March (2015), pp. 21-24© IAEME 21 A REVIEW ON OPTIMIZATION OF ROTARY TABLE PALLETS. International Journal Of Mechanical Engineering And Technology (Ijmet), Budhgaon, v. 6, n. 3, p. 21-24, mar. 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/24799555/A REVIEW_ON_OPTIMIZATION_OF_ROTARY_TABLE_PALLETS. Acesso em: 01 set. 2023.

APÊNDICE A – MATRIZ MORFOLÓGICA

Funções básicas	Princípios de Solução		
	1	2	3
1 Movimentação Vertical	 A11 - Fuso de esferas e rolamento linear	 A12 - Fuso de esferas e guia linear	 A13 - Polia sincronizada e rolamento linear
2 Acionamento da ferramenta	 B21 - Motor elétrico	 B22 - Motor de passo	 B23 - Servo motor
3 Alimentação de peças	 C31 - Esteira	 C32 - Mesa indexadora	 C33 - Abastecimento manual através de trilho guia
4 Retirada de Peças	 D41 - Atuador elétrico	 D42 - Atuador pneumático	 D43 - Atuador pneumático sem haste
5 Transmissão de torque	 E51 - Acoplamento Flexível	 E52 - Eixo estriado e acoplamento	 E53 - Acoplamento rígido

APÊNDICE B – VALORES UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO DO FUSO

Dados	Símbolo	Valores	Unidade
Peso da estrutura	(P)	225,2	N
Passo do fuso	(l)	0,005	m
Eficiência positiva	(n_1)	0,9	
Momento de inercia	(J)	0,0002	N.m.s ²
Aceleração angular	(α_a)	67,02	rad/s ²
Torção máxima sobre o fuso	(T)	4	N.m
Diâmetro na raiz da rosca	(d_r)	0,01342	m
Peso da carga	(F)	225,21	N
Diâmetro médio	(d_m)	0,01471	m
Número de roscas engajadas	(n_t)	6	
Passo	(p)	0,005	m

APÊNDICE C – VALORES UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO DA NERVURA

Dados da Secção 1	Símbolo	Valores	Unidade
Momento de inercia de secção	(I)	$1,58 \cdot 10^{-8}$	m^4
Distância do eixo neutro	(y)	0,03987	m
Momento de força	(M)	0,49	N.m
Força cisalhante	(V)	6,96	N
Momento de área em relação ao eixo neutro	(Q)	$1,78 \cdot 10^{-6}$	m^3
Espessura	(b)	0,009	m

Dados da Secção 2	Símbolo	Valores	Unidade
Momento de inercia de secção	(I)	$3,91 \cdot 10^{-7}$	m^4
Distância do eixo neutro	(y)	0,09333	m
Momento de força	(M)	0,97	N.m
Força cisalhante	(V)	6,96	N
Momento de área em relação ao eixo neutro	(Q)	$7,29 \cdot 10^{-6}$	m^3
Espessura	(b)	0,009	m

Dados da Secção 3	Símbolo	Valores	Unidade
Momento de inercia de secção	(I)	$6,47 \cdot 10^{-7}$	m^4
Distância do eixo neutro	(y)	0,15922	m
Momento de força	(M)	1,66	N.m
Força cisalhante	(V)	6,96	N
Momento de área em relação ao eixo neutro	(Q)	$2,56 \cdot 10^{-4}$	m^3
Espessura	(b)	0,009	m

Dados da Secção 4	Símbolo	Valores	Unidade
Momento de inercia de secção	(I)	$6,47 \cdot 10^{-7}$	m^4
Distância do eixo neutro	(y)	0,18666	m
Momento de força	(M)	1,66	N.m
Força cisalhante	(V)	6,96	N
Momento de área em relação ao eixo neutro	(Q)	$2,56 \cdot 10^{-4}$	m^3
Espessura	(b)	0,009	m

APÊNDICE D – VALORES UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO DA MESA INDEXADORA

Dados	Símbolo	Valores	Unidade
Inercia do rotor	J_0	0,00005	$kg \cdot m^2$
Redução	i	10	$kg \cdot m^2$
Somatória de inercia do conjunto em movimento	J_L	$4,63 \cdot 10^{-2}$	$kg \cdot m^2$
Velocidade média	J_L	40	rpm
Tempo de aceleração	t_1	0,5	s
Massa do disco da mesa	m_t	3,89	kg
Massa da peça mais gabarito multiplicado pela quantidade	m_1	0,42	kg
Coeficiente de fricção	μ	0,05	
Distância do centro da mesa até o mecanismo de suporte	l	0,13	m
Eficiência do sistema	n	0,9	