



PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA EXTRUSORA AUTOMATIZADA

Breno P. Pires¹, Caique M. P. Coelho¹, Dalila O. S. Vieira^{1*}, André F. Oliveira¹ e Sara S. F. Dafé¹

1 -Departamento de Engenharia de Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Belo Horizonte, MG.

saradafe@pucminas.br

RESUMO

Os termoplásticos são polímeros que apresentam a capacidade de amolecer e fluir quando estão sujeitos a um aumento de temperatura e pressão, podendo ser moldados nestas condições. Um possível processamento para os termoplásticos é a extrusão, que consiste em introduzir o material em uma câmara e submetê-lo a um trabalho termomecânico, através de aquecedores e uma rosca giratória, comprimindo-o contra uma matriz. Este processamento possibilita manufatura de blendas, compósitos, matéria-prima, semiacabados e produtos acabados. As máquinas extrusoras, basicamente, são constituídas de um acionador mecânico, aquecedores, canhão, rosca, matriz, mancais e sensores, podendo também necessitar de resfriadores. Utilizar automação garante melhor controle de variáveis e aquisição de dados, para isso foi utilizado Arduino e sensores. Neste sentido, este trabalho teve como intuito projetar e construir uma extrusora automatizada, que atenda as atividades de pesquisa da universidade. Conhecendo as propriedades de acionamento, potência de 0,5 cv, rotação nominal de 1700 rpm e redução de 1:50 foi possível calcular a rotação máxima teórica de saída do redutor e rosca, mensurar o torque máximo teórico disponível e a força tangencial no eixo. Os fixadores do motoredutor e da extrusora foram dimensionados, estudos de frequências modais avaliando o comportamento da rosca e da máquina inteira foram desenvolvidos. Utilizando o polipropileno (PP) como base, foram calculadas as vazões volumétrica e mássica máximas teóricas.

Palavras-chave: *Termoplásticos; polímeros; extrusão; extrusora; automação.*

INTRODUÇÃO

Tendo em vista a crescente demanda de peças fabricadas em termoplásticos e compósitos, que vem sendo aplicadas desde o setor de embalagens alimentícias ao automotivo, estes materiais tem sido foco do ramo de pesquisa e desenvolvimento. Estudos como desenvolvimento de blendas e compósitos com características específicas, como acréscimo de resistência mecânica ou à temperatura e reciclagem destes materiais estão se tornando comuns, inclusive dentro das universidades. A PUC Minas possui a linha de pesquisa nesta área e, para isso, maneiras de processar estes materiais são necessárias, como o processo de extrusão, que requer uma máquina extrusora⁽¹⁻⁴⁾.

As máquinas extrusoras consistem em um motor acionador, canhão, rosca girante e matriz de saída ou bico. Durante o processo, os materiais a serem trabalhados são introduzidos no canhão através de um funil na zona de alimentação em forma de grãos ou pó, onde entram

em contato com a rosca girante, que aplica um trabalho mecânico e arrasta a mistura através das zonas de compressão e controle de vazão, onde este material também sofre trabalho térmico disponibilizado por um aquecedor externo e, finalmente, é pressurizado contra o bico^(2-3,5).

O controle e automação é uma adequação cada vez mais requerida nos processos atualmente, já que possibilita através de instrumentação, coletar dados em tempo real, construir gráficos, tabelas e fazer leitura de resultados, podendo assim melhor controlar atuadores presentes em dispositivos. O uso de microcontroladores possibilita uma instrumentação muitas vezes acessível e de fácil interação⁽⁶⁻⁷⁾.

O trabalho tem como objetivo projetar e construir uma máquina extrusora de bancada automatizada capaz suprir as demandas de pesquisa da área de materiais compósitos e termoplásticos da PUC Minas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais e Componentes

Para elaboração do trabalho foi utilizado aço inox AISI 304, aço ABNT 1020, alumínio e madeira, fornecidos pela universidade. Além disso, o sistema de controle e automação da máquina extrusora foi constituído por: Resistência 500W/220V; Motoredutor WEG trifásico AC2/3C, 4 polos, potência de 0,5 cv, rotação de 1700 rpm e redução de 1:50; Inversor de frequência WEG CFW08; Arduino Uno R3; Módulo Relé 4 Canais; Enconder 5mm; Módulo Dimmer Pic MC-8A; Módulo Leitor Temperatura Max6675.

Métodos

Projeto e construção foram as duas etapas de metodologia do trabalho. O projeto foi constituído de desenho mecânico, cálculos analíticos incluindo dimensionamento, análise modal e o projeto eletrônico da extrusora. O projeto mecânico foi realizado no software SolidWorks e com as características de desenho e de acionamento. Dessa forma, foi possível calcular utilizando as equações de (A) à (E), respectivamente, a rotação de saída, potência útil, torque de saída, força tangencial na rosca e, por fim, o diâmetro mínimo admissível dos fixadores e demais componentes pelos critérios de ruptura por carregamento normal e cisalhante⁽⁵⁾.

$$n_{smr} = \frac{n_{sm}}{\text{redução}} \quad (\text{A})$$

$$P_{us} = P_m n_m n_e \quad (\text{B})$$

$$T_{smr} = \frac{30P_{us}}{\pi n_{smr}} \quad (\text{C})$$

$$F = \frac{T_{smr}}{r} \quad (\text{D})$$

$$D_p \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi\sigma}} \quad (\text{E})$$

Tomando o PP (polipropileno) como base, foram calculados por meio das equações de (F) à (I), a vazão volumétrica e mássica máximas teóricas que a extrusora pode disponibilizar^(1,8).

$$Q_d = \frac{\pi 2 D_r 2 \text{sen}(\theta) \cos(\theta) H n_{sm}}{2} \quad (\text{F})$$

$$P = 6\pi D_r n_{sm} H - 2L_r \mu \cot g(\theta) \quad (\text{G})$$

$$Q_p = \frac{\pi H 3 D_r \text{sen} 2(\theta) \Delta P}{12\pi \mu L} \quad (\text{H})$$

$$Q_{Total} = Q_d \pm Q_p \pm Q_e \quad (\text{I})$$

Além disso, as dilatações térmicas das peças acopladas ao canhão, do canhão e da rosca foram calculadas utilizando a equação (J). O foco principal disso é garantir que a folga entre canhão e rosca não seja prejudicada com o aquecimento. A expansão térmica linear pode ser aplicada a diâmetros, como simplificação⁽⁵⁾. O coeficiente de dilatação térmica utilizado foi equivalente a $17,1 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T \quad (\text{J})$$

Com a resistência mecânica conferida foi possível realizar uma análise modal utilizando o SolidWorks Simulation e o SimSolid, com intuito de certificar que as frequências de trabalho não coincidiriam com as naturais de nenhum dos componentes. As simulações realizadas iniciaram no SimSolid e, posteriormente, recalculadas com o SolidWorks. Um estudo de convergência de malha foi realizado finalizando com o tamanho máximo de elemento de 1,25 mm e mínimo de 0,32 mm para a rosca. Para a análise de projeto inteiro tamanho máximo de 3 mm e mínimo de 1 mm.

O projeto eletrônico foi realizado utilizando dois arduínos, dois sensores para aquisição de dados, um módulo chave ótica para encoder, um termopar e uma resistência elétrica do tipo coleira. Uma interface interativa foi desenvolvida para leitura e controle da rotação e temperatura. Os dados coletados são lidos em tempo real e uma curva de temperatura no tempo é construída, além da emissão de temperatura e rotação cronológica em uma lista.

A segunda etapa do trabalho foi constituída de fabricação, montagem e testes. Todas as peças foram fabricadas dentro dos laboratórios da universidade. Os componentes que fazem contato direto com o extrudado foram fabricadas em aço inox AISI 304 e os demais componentes que eram exigidos somente mecanicamente em aço SAE 1020.

O projeto mecânico foi desenvolvido com intuito de garantir segurança e fácil manutenção. A montagem foi realizada formando um pacote fixado com porca e parafuso entre extrusora, chapa de alumínio, placa de madeira e arruelas. Suportes de EVA foram fixados à face inferior da madeira para evitar deslizamento e atenuar possíveis vibrações.

Quatro modalidades de testes foram realizadas. Um teste dinâmico e puramente mecânico com a máquina trabalhando em vazio e a frio. Posteriormente, calibração dos sensores sendo, banho de calibração com o termopar, comparando-o com um segundo termopar e um “PTC” com leitores calibrados; calibração do encoder utilizando tacômetro calibrado. Ambas as calibrações foram feitas utilizando a interface desenvolvida. Funcionamento da máquina em vazio e a quente. Por fim, o teste da extrusora em condições reais de trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1, o projeto 3D é apresentado em modo padrão e explodido.

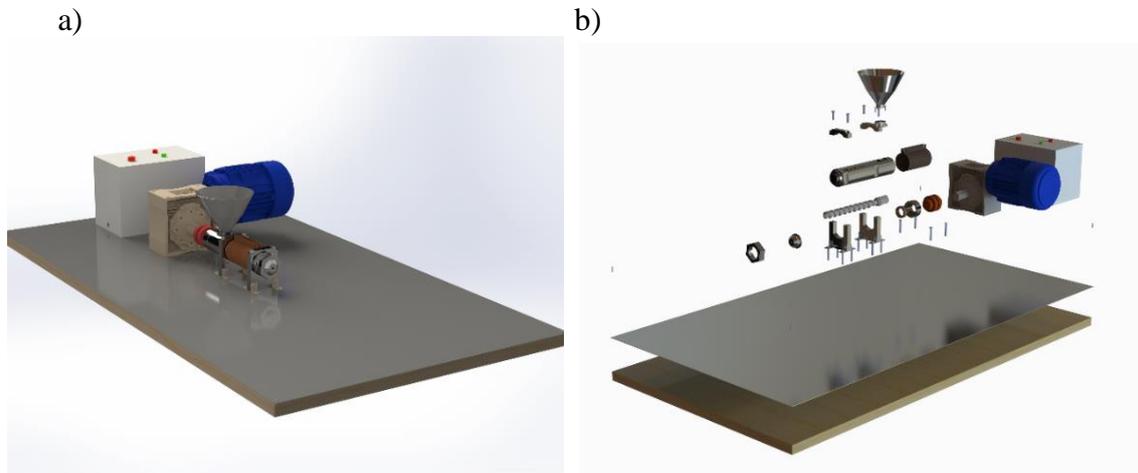


Figura 1: Renderização do projeto (a) e da vista explodida (b) da montagem da extrusora.

A rotação máxima teórica do motor, torque de saída no eixo e força tangencial no eixo foram calculadas a partir dos dados de acionamento e são equivalentes a 34 rpm, 100,14 N.m e 8kN, respectivamente.

Considerando as colocações feitas na metodologia^(2,3-5), 330 MPa de tensão de escoamento do aço ABNT 1020, o diâmetro mínimo admissível é 5,55 milímetros, logo, o parafuso métrico M6 foi escolhido. Nenhuma margem de segurança foi aplicada neste cálculo, já que, o fato da consideração de um único parafuso estar suportando toda carga promovida pelo motor é irreal, a segurança foi posta como fator crucial. Caso todos os oito parafusos que fixam a extrusora na bancada recebessem igualmente os 8kN de força, a diâmetro mínimo admissível para cada, com a mesma consideração de escoamento seria possível utilizar parafusos M2. Esse dimensionamento foi feito com o mesmo princípio de cálculo do parafuso e a margem de segurança oferecida com base na carga máxima atuante e a que o levaria ao escoamento é 198%.

A vazão volumétrica máxima teórica e a mássica, tomando PP como base, também foram calculadas e equivaleram a 1,15cm³/s e 0,88 g/s, respectivamente.

Os cálculos de dilatação linear foram usados avaliando as variações dos diâmetros, por se tratar de uma medida linear. As dilatações calculadas mostram que a folga tende a ser mantida com o aquecimento. A variação esperada é de aproximadamente 0,1mm para ambos os diâmetros.

Nos estudos de análise modal desenvolvidos no software SolidWorks, as frequências naturais calculadas tanto para a rosca, quanto para o projeto inteiro estão apresentadas na tabela 1 e não se aproximam das frequências de trabalho da máquina e rosca, que são respectivamente 28,33 Hz e 0,57 Hz.

Tabela 1: Frequências naturais das análises modais da rosca e da extrusora

	Frequência 1 (Hertz)	Frequência 2 (Hertz)	Frequência 3 (Hertz)
Rosca	192,83	195,11	1219,7
Extrusora	128,61	229,26	248,15

Após o processo de fabricação a extrusora foi devidamente montada e fixada na bancada, seguindo todos os parâmetros estabelecidos no projeto, como demonstrado na figura 2a. Em sequência, o sistema de controle e automação, como apresentado no diagrama da figura 2b, também foi montado e conectado a extrusora.

Após a montagem foi realizado um teste dinâmico da máquina trabalhando em vazio, com sucesso. Por meio da interface desenvolvida foi possível comandar e supervisionar o sistema, acompanhar o comportamento da temperatura do canhão e controlar a rotação da rosca.

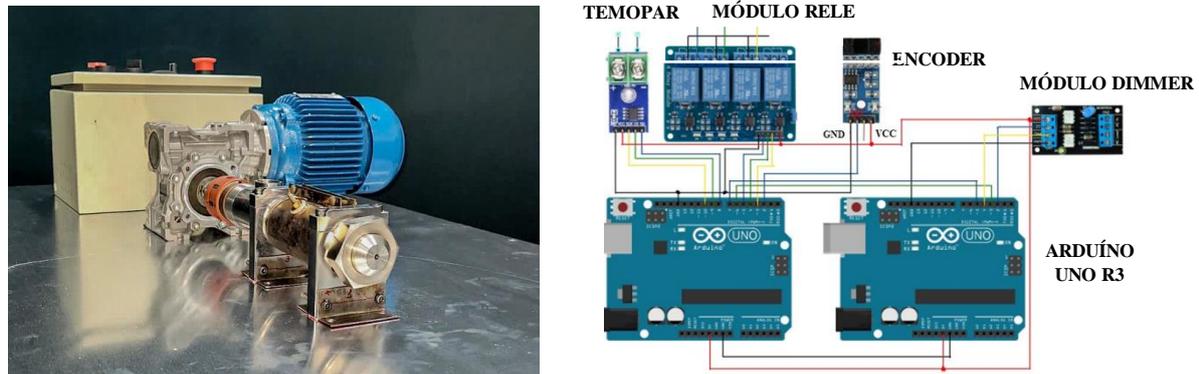


Figura 2: Montagem final (a) e diagrama do sistema de controle e automação da extrusora (b)

Foi realizado o teste do controle de rotação e temperatura, onde o comando de controle e leitura da resistência foi testado, depois, o comando e controle de rotação e por fim, ambos os controles simultaneamente. O acionamento físico mútuo de temperatura e rotação foi realizado, atingindo sucesso.

Por fim, foi realizado um teste da extrusora em condições reais de trabalho, que revelou bom funcionamento e atendimento aos objetivos planejados. O teste foi realizado com variação da temperatura de ambiente a 215°C e rotação de 0 à máxima. A máquina suportou o trabalho requerido de extrusão e os componentes eletrônicos foram capazes de garantir a leitura e controle de parâmetros.

CONCLUSÕES

O trabalho permitiu colocar em prática métodos de cálculo, dimensionamento, simulações virtuais, análise de dados e resultados, projetos mecânicos em software de modelagem, fabricação, calibração de sensores e leitores, programação de microcontroladores com uso de dispositivos de entrada e saída de informação. O dispositivo construído mostrou segurança e bom desempenho de trabalho e controle, sendo capaz de atender as demandas de pesquisas. A interface desenvolvida se mostrou capaz de suportar as exigências de trabalho (leitura e controle de informações), além de facilitar a interpretação das leituras por parte do operador.

AGRADECIMENTOS

Ao corpo técnico e docente do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC Minas, pelo auxílio na realização e desenvolvimento deste trabalho. Ao Projeto FIP 2019/22471-1S, que disponibilizou a verba utilizada para financiar parte dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

1. CANEVAROLO JR, Sebastião. Ciência dos polímeros. Um texto básico para tecnólogos e engenheiros.
2. GILES, Harold F.; WAGNER, John R.; MOUNT, Eldridge M. Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook. Norwich: William Andrew, 2005. 539 p.
3. MANRICH, Silvio. Processamento de Termoplásticos: Rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes. São Paulo: Artliber, 2013. 481 p.
4. SOUSA, Weslei Patrick Teodósio. Caracterização morfológica, térmica e do desempenho mecânico de compósitos com matriz de polipropileno microestruturada com SiC. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
5. BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 1084 p.
6. IBRAHIM, D. A New Approach for Teaching Microcontroller Courses to Undergraduate Students, Procedia - Social and Behavioral Sciences, V. 131, pp. 411-414. 2014
7. PESSOA, M. S. P. & SPINOLA, M. M. Introdução a automação para cursos de Engenharia e Gestão - 1ªed. 2014.
8. INNOVA. Manual de extrusão. Disponível em < <https://innova.com.br/artigos-tecnicos/> Acesso em 13 de novembro de 2021.

PROJECT AND CONSTRUCTION OF AN AUTOMATED EXTRUDER

ABSTRACT

Thermoplastics are polymers that have the ability to soften and flow when subjected to an increase in temperature and pressure, and can be molded under these conditions. A possible processing for thermoplastics is extrusion, which consists of introducing the material into a chamber and subjecting it to thermomechanical work, through heaters and a rotating screw, compressing it against a die. This processing enables the manufacture of blends, composites, raw materials, semi-finished products and finished products. Extruder machines basically consist of a mechanical drive, heaters, barrel, screw, die, bearings and sensors, and may also require coolers. Using automation guarantees better control of variables and data acquisition, for that Arduino and sensors were used. In this sense, this work aimed to design and build an automated extruder, which meets the university's research activities. Knowing the drive properties, power of 0.5 hp, nominal speed of 1700 rpm and reduction of 1:50, it was possible to calculate the theoretical maximum output speed of the gearbox and screw, measure the maximum theoretical torque available and the tangential force on the shaft. The gearmotor and extruder fasteners were dimensioned, modal frequency studies evaluating the behavior of the screw and the entire machine were developed. Using polypropylene (PP) as a base, the theoretical maximum volumetric and mass flow rates were calculated.

Keywords: *Thermoplastics; polymers; extrusion, extruder; automation.*