



**Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES | |
| <i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.4631905041 | |
| CAPÍTULO 2 | 18 |
| DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL | |
| <i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.4631905042 | |
| CAPÍTULO 3 | 29 |
| DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO | |
| <i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.4631905043 | |
| CAPÍTULO 4 | 38 |
| MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D | |
| <i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.4631905044 | |
| CAPÍTULO 5 | 53 |
| ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA | |
| <i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.4631905045 | |
| CAPÍTULO 6 | 67 |
| DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS | |
| <i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i> | |

CAPÍTULO 7 80

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

Bruno Barbieri
Vinicius Segalla
Marcio Catapan
Maria Lúcia Okimoto
Isabella Sierra

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

CAPÍTULO 8 91

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

Silas Fernandes Caze
Lucas de Sousa Camelo
Wictor Gomes de Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

CAPÍTULO 9 96

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

Marcos José Mannala
Marlon Elias Marchi
Marcio Tonetti

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

CAPÍTULO 10 103

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

Carlos Henrique da Silva
Felipe Martins Silva
Fernando Luiz Alhem dos Santos
Jardson da Silva David
Juliana Lopes Cardoso
Milton Zanotti Junior

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

CAPÍTULO 11 114

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

Walter dos Santos Sousa
Caroline Moura da Silva
Érika Cristina de Melo Lopes
Gilton Carlos de Andrade Furtado
Lana Ritiele Lopes da Silva
Michele da Costa Baía

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 12 | 127 |
| CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23 | |
| <i>Luís Henrique da Silva Ignacio</i> | |
| <i>Fernando Costa Malheiros</i> | |
| <i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i> | |
| <i>Henrique Coelho Fernandes</i> | |
| <i>Gilmar Guimarães</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050412 | |
| CAPÍTULO 13 | 135 |
| TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA | |
| <i>Murilo Antunes Alves Lucindo</i> | |
| <i>Breno Dantas Santos</i> | |
| <i>Juliana Sanches da Silva</i> | |
| <i>Marcos Bruno Santana</i> | |
| <i>Deovaldo de Moraes Júnior</i> | |
| <i>Vitor da Silva Rosa</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050413 | |
| CAPÍTULO 14 | 147 |
| A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS | |
| <i>Daniel Alves Ferreira Lemes</i> | |
| <i>Kennedy Carlos Tolentino Trindade</i> | |
| <i>Anna Paula Bechepeche</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050414 | |
| CAPÍTULO 15 | 169 |
| VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO | |
| <i>Luriane Pamplona dos Santos Barbosa</i> | |
| <i>Rodrigo de Cássio Vieira da Silva</i> | |
| <i>Thiago Eymar da Silva Oliveira</i> | |
| <i>Arielly Assunção Pereira</i> | |
| <i>Roger Barros da Cruz</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050415 | |
| CAPÍTULO 16 | 185 |
| MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS | |
| <i>Isabella Fenner Rondon</i> | |
| <i>Josivaldo Godoy da Silva</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050416 | |
| CAPÍTULO 17 | 196 |
| ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS | |
| <i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i> | |
| <i>Vicente Severino Neto</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050417 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 18 | 209 |
| APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS | |
| <i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i> | |
| <i>Edmar Antônio Onofre</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050418 | |
| CAPÍTULO 19 | 221 |
| ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE | |
| <i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i> | |
| <i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i> | |
| <i>Luís Felipe Furtado Pontes</i> | |
| <i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i> | |
| <i>Lucas Silva Soares</i> | |
| <i>Marcos Erike Silva Santos</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050419 | |
| CAPÍTULO 20 | 236 |
| ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL | |
| <i>Estevão Fuzaro de Almeida</i> | |
| <i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i> | |
| <i>Fábio Roberto Chavarette</i> | |
| <i>Roberto Outa</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050420 | |
| CAPÍTULO 21 | 245 |
| DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR | |
| <i>Wictor Gomes De Oliveira</i> | |
| <i>João Paulo Correia Teixeira</i> | |
| <i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i> | |
| <i>Tulio Rosine Martins De Souza</i> | |
| <i>Bruno De Oliveira Carvalho</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.46319050421 | |
| SOBRE OS ORGANIZADORES | 247 |

MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D

Marcelo Santos Damas

Tiago Zaquia Pereira

Ueliton Cleiton Oliveira

Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica
– Centro de Universitário de Anápolis -
UniEVANGÉLICA
Anápolis – Goiás

Sérgio Mateus Brandão

Professor Mestre – Centro de Universitário de
Anápolis - UniEVANGÉLICA
Anápolis – Goiás

RESUMO: A extrusão de polímeros é um dos métodos mais utilizados para a transformação de um tipo de material polimérico em outro consumível, esse processo utiliza a extrusora como maquinário de processamento. Esse mecanismo possui complexidades concentradas em seu parafuso de transporte, material a ser extrudado e sistema de monitoramento de temperatura, além da parametrização do processo e consumo de energia. Os polímeros aplicados na impressão 3D precisam possuir características que os tornam “moldáveis” para o processo, tais como termoplasticidade e maleabilidade. Os materiais mais solicitados para moldagem de peças 3D são o ABS (Acronitrilo Butadieno Estireno) e o PLA (Ácido Polilático). A construção de itens através da impressão 3D demandou uma crescente

tecnologia no ramo e por insumos que atendam às necessidades de construção e que possam ser reciclados. Este estudo tem por finalidade a obtenção de uma mini extrusora didática capaz de reciclar o copolímero ABS e/ou o polímero PLA com o formato de filamento de 3 mm de diâmetro, que podem ser utilizados em impressoras 3D. Suas composições mecânicas e eletroeletrônicas essenciais ao seu funcionamento foram construídas, montadas e adquiridas pelo centro de custo do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA. Após a obtenção do protótipo, obteve-se como resultado um maquinário capaz de atender com eficiência os objetivos propostos.

PALAVRAS-CHAVE: Mini extrusora. Polímeros. Impressora 3D.

ABSTRACT: Extrusion of polymers is a most widely used methods for transforming one type of polymeric material into another consumable, which process uses the extruder as processing machinery. This mechanism has complexities concentrated in its transport screw, material to be extruded and temperature monitoring system, in addition to process parameterization and power consumption. The polymers applied in 3D printing need to have characteristics that make them “moldable” for the process, such as thermoplasticity and malleability. The most requested materials for molding 3D parts are

ABS (Acronitrile Butadiene Styrene) and PLA (Polylactic Acid). The construction of items through 3D printing has demanded a growing technology in the field and for supplies that meet the needs of construction and that can be recycled. The aim of this study was to obtain a miniature didactic extruder capable of recycling ABS copolymer and / or PLA polymer with a 3 mm diameter filament shape, which can be used in 3D printers. Its mechanical and electrical components essential to its operation were built, assembled and acquired by the cost center of the UniEVANGÉLICA Technological Center. After obtaining the prototype, obtained as a result a machine capable of efficiently meeting the proposed objectives.

KEYWORDS: Mini extruder. Polymers. 3d printer.

1 | INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda global por energia elétrica se torna notória a necessidade de se desenvolver materiais com propriedades especiais, a fim de substituir outros mais escassos ou que demandam um custo energético muito elevado para se processar.

A utilização de polímeros (macromoléculas obtidas a partir da polimerização formadas a partir de unidades estruturais menores, os monômeros que são unidos entre si por reações químicas que podem ser divididas em três grupos principais: os termofixos, os termoplásticos e os elastômeros [9]) vem crescendo de forma considerável por conta de sua versatilidade e propriedades mecânicas, químicas, entre outras, que podem substituir diversos outros materiais tais como aço, madeira e vidro [9] nas construções em geral, na medicina, na eletrônica entre outros por um custo monetário e energético inferior [5]”ISSN” : “09670661”, “abstract” : “Polymer extrusion is usually a complex process, particularly due to the coupled nature of process parameters, and hence highly prone to fluctuations. Although a number of different approaches have been attempted in research/industry over the last few decades for extrusion control, it is still experiencing some problems in achieving consistent product quality. Presently, most of the polymer processing extruders are equipped with PID controllers mainly for the control of the screw speed and barrel temperatures in their set limits. It seems that only both of these controllers are commonly used as the major aids of process control to achieve the required melt quality. Although, the quality of the melt output (i.e., a thermally homogeneous melt output which is constant in quantity and quality over the time.

Esse crescimento (em conjunto com diversos outros materiais sintéticos) acaba por gerar um volume cada vez maior de resíduos, que ocasionou em medidas governamentais através da Política Nacional de Resíduos Sólidos da lei 12.305/2010 [3] e do Artigo 5º do Decreto 7.404 de 23 de Dezembro de 2010 [8] onde obriga todos os fabricantes, importadores, distribuidores, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a se responsabilizarem

pelo ciclo de vida do produto perfazendo a logística reversa, ou seja, deve ser feito o reaproveitamento, reciclagem dos resíduos gerados nas indústrias ou um correto descarte ambiental.

Segundo a Associação Brasileira da indústria do Plástico [2] [1], o setor de polímeros, no ano de 2017 alcançou 2,5% de crescimento a mais em relação ao ano de 2016 e pode alcançar 3% em 2018. Em 2017 houve a criação de 4.496 postos de trabalho totalizando 322.679 funcionários divididos em 12.539 empresas de transformação e reciclagem de materiais plásticos. Outro dado a ser considerado é o aumento do consumo de insumos que foi de 3,9% em relação a 2016. Em 2017 também houve crescimento significativo de empresas recicladoras de plástico, ou seja, 10,5% ao ano desde 2007.

A indústria de plásticos tem como principal meio de transformação a extrusão de polímeros que representa 55% dos métodos utilizados vindo em seguida a injeção com 36% [1].

1.1 Extrusão de polímeros

A extrusão é um dos métodos mais utilizados para a transformação de material polimérico em outro. Trata-se de um processo aparentemente simples, porém possui significativas variáveis que o torna um método bastante complexo, por conta dos parâmetros necessários para moldagem: temperatura de fusão, temperatura atingida pela matriz, o tempo de transporte e a pressão de extrusão [19], itens intimamente ligados às exigências construtivas da extrusora. A extrusão de polímeros está envolvida na produção final de diversos produtos, tais como tubos, hastes, filamentos, perfis, etc. Também pode consistir num processo intermediário na injeção moldada, termoformação e sopro [4] where product quality is dependent upon the level of melt homogeneity achieved by the extruder screw. Extrusion is an energy intensive process and optimisation of process energy usage while maintaining melt stability is necessary in order to produce good quality product at low unit cost. Optimisation of process energy usage is timely as world energy prices have increased rapidly over the last few years. In the first part of this study, a general discussion was made on the efficiency of an extruder. Then, an attempt was made to explore correlations between melt thermal stability and energy demand in polymer extrusion under different process settings and screw geometries. A commodity grade of polystyrene was extruded using a highly instrumented single screw extruder, equipped with energy consumption and melt temperature field measurement. Moreover, the melt viscosity of the experimental material was observed by using an off-line rheometer. Results showed that specific energy demand of the extruder (i.e. energy for processing of unit mass of polymer). O processo em si é a fusão por condução térmica e cisalhamento viscoso progressivo de um material polimérico em estado sólido num processo energético intenso.

O processo de extrusão é totalmente submetido às fricções térmicas e reológicas,

propriedades inerentes ao polímero. Como existem diversas variáveis na geometria dos parafusos e no processo de extrusão, todos os componentes da extrusora devem ser construídos de forma a atender as demandas exigidas para cada polímero individualmente. Todavia, na maioria das vezes ocorre adaptações, pois o projeto de uma extrusora serve para aplicação de vários tipos de polímeros, por isso podem ser utilizadas técnicas de monitoramento durante o processo para viabilizar a melhor forma possível de caracterizar a dinâmica térmica da extrusão. Como é inviável alterações no *layout* do maquinário, para cada tipo de polímero é feito o refinamento das margens térmicas, aproximando das temperaturas ideais para cada polímero a fim de se obter o melhor resultado. Além disso, a energia envolvida no processo de extrusão de polímeros é bem inferior àquela utilizada para processo em outros materiais de uso convencional, vidro e aço [4] where product quality is dependent upon the level of melt homogeneity achieved by the extruder screw. Extrusion is an energy intensive process and optimisation of process energy usage while maintaining melt stability is necessary in order to produce good quality product at low unit cost. Optimisation of process energy usage is timely as world energy prices have increased rapidly over the last few years. In the first part of this study, a general discussion was made on the efficiency of an extruder. Then, an attempt was made to explore correlations between melt thermal stability and energy demand in polymer extrusion under different process settings and screw geometries. A commodity grade of polystyrene was extruded using a highly instrumented single screw extruder, equipped with energy consumption and melt temperature field measurement. Moreover, the melt viscosity of the experimental material was observed by using an off-line rheometer. Results showed that specific energy demand of the extruder (i.e. energy for processing of unit mass of polymer).

1.2 A extrusora

A extrusora (Figura 1) é a máquina que processa o material polimérico transportado-o entre um parafuso rotativo e uma camisa / barril / canhão / cilindro (existem outros tipos de extrusão tal como o método que se utiliza de pistão), ela possui um bico extrusor com uma matriz de perfil cilíndrico e composto por um sistema de isolamento térmico.

O sistema de aquecimento da extrusora possui um controlador térmico, a fim de manter temperatura constante e ideal para o processo de extrusão [14], Na medida em que o material avança no interior da camisa em direção à saída, ele é aquecido normalmente em níveis diferentes de temperatura formando uma massa pastosa, que é forçada a uma determinada pressão através de uma passagem localizada no cabeçote e o polímero fundido é expelido pelo orifício do bico extrusor. Se for produção final consiste numa matriz, produzindo perfis com seções não necessariamente simétricas, porém em forma desejada [15]. O mecanismo de aquecimento da mini extrusora possui a capacidade de atingir temperaturas superiores ao do ponto de fusão do polímero

extrudado no processo de extrusão [14].

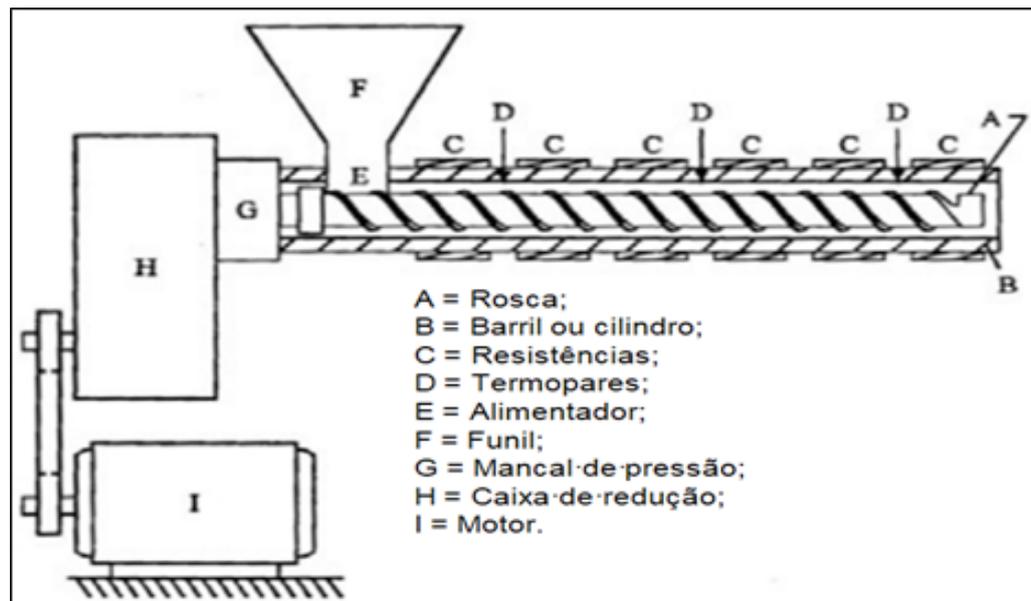


Figura 1 - Esquema de uma extrusora e seus componentes básicos.

Fonte: WEG.

Toda a complexidade construtiva contida na extrusora se concentra em seu parafuso de transporte, no material a ser extrudado e no sistema de monitoramento de temperatura, pois um controle preciso só é alcançado através de um monitoramento preciso [13].

1.2.1 Principais componentes de uma extrusora

A extrusora possui um *design* básico e, dessa forma, poucas diferenças há entre uma máquina e outra. As principais inovações nesse tipo de tecnologia estão concentrados no parafuso transportador e em seu sistema de controle de pressão e temperatura. Existem inúmeros projetos no mercado voltado para o parafuso, componente que pode ser duplo ou unitário, voltado para o controle de temperatura (termopares e sensores infra-vermelhos) e na obtenção de novos materiais com melhores propriedades. Os demais componentes, tais como, motor, caixa de velocidades, funil de alimentação, camisa, cabeçote e matriz servem apenas para dar suporte necessário para o funcionamento do parafuso, [6]. Um esquema básico do funcionamento de uma extrusora é descrito na figura 2.

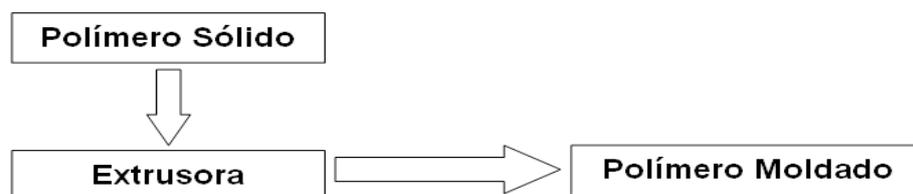


Figura 2 - Esquema da sequência de funcionamento da extrusora

Fonte: Dos autores.

1.2.11 Parafuso Transportador

O parafuso transportador é a peça fundamental em uma extrusora e é dividido em três funções principais/zonas geométricas: (1) ele transporta o material polimérico, (2) auxilia na fusão do mesmo e (3) cria uma pressão de bombeamento no material, sendo essas denominadas como funções primárias. O parafuso transportador também executa a mistura distributiva, que é o rearranjo de diferentes componentes, e dispersiva, que é a redução do tamanho dos grãos, além da homogeneização através do cisalhamento no material [7] sendo essa uma função secundária (Tabela 1).

A resina termoplástica é abastecida na máquina através da tremonha ou funil alimentador na forma de grãos ou pó e transportado ao longo do parafuso enquanto absorve o calor fornecido por resistências elétricas [7].

| Funções básicas do parafuso: | Funções secundárias do parafuso: |
|------------------------------|----------------------------------|
| Transporte de sólidos | Mistura |
| Derretimento e fusão | Refino por cisalhamento |

Tabela 1 – Funções básicas e secundárias do parafuso transportador

Fonte: Dos autores

1.2.1.2 Termopares, sensores e controladores

A principal função da extrusora é fornecer um polímero homogêneo, bem misturado e derretido em temperatura e pressão especificadas, desta forma, para se cumprir esses requisitos é necessário que a extrusora seja equipada com um eficiente número de dispositivos para monitoramento e controle do sistema além de sensores de temperatura e pressão [17].

Mesmo com o desenvolvimento de tecnologias que auxiliaram na melhoria do processo de extrusão, o controle térmico continua sendo um desafio bastante complexo. O controle do processo viabiliza de forma eficiente a fabricação de produtos com boa qualidade, pois traz o uso eficaz do material, energia e tempo necessários no transcurso produtivo [5]”ISSN” : “09670661”, “abstract” : “Polymer extrusion is usually a complex process, particularly due to the coupled nature of process parameters, and hence highly prone to fluctuations. Although a number of different approaches have been attempted in research/industry over the last few decades for extrusion control, it is still experiencing some problems in achieving consistent product quality. Presently, most of the polymer processing extruders are equipped with PID controllers mainly for the control of the screw speed and barrel temperatures in their set limits. It seems that only both of these controllers are commonly used as the major aids of process control to achieve the required melt quality. Although, the quality of the melt output (i.e., a thermally homogeneous melt output which is constant in quantity and quality over the time.

Sensores termopares são amplamente utilizados na mensuração dos campos térmicos encontrados no interior da camisa de extrusão enquanto o polímero derretido flui em seu interior, além desses, podem ser agregados termômetros infravermelhos e softwares para controle de processo e quantificação do consumo de energia. A geometria e velocidade de rotação do parafuso além das temperaturas envolvidas podem impactar de forma significativa o resultado final [4] where product quality is dependent upon the level of melt homogeneity achieved by the extruder screw. Extrusion is an energy intensive process and optimisation of process energy usage while maintaining melt stability is necessary in order to produce good quality product at low unit cost. Optimisation of process energy usage is timely as world energy prices have increased rapidly over the last few years. In the first part of this study, a general discussion was made on the efficiency of an extruder. Then, an attempt was made to explore correlations between melt thermal stability and energy demand in polymer extrusion under different process settings and screw geometries. A commodity grade of polystyrene was extruded using a highly instrumented single screw extruder, equipped with energy consumption and melt temperature field measurement. Moreover, the melt viscosity of the experimental material was observed by using an off-line rheometer. Results showed that specific energy demand of the extruder (i.e. energy for processing of unit mass of polymer).

O controle da temperatura de fusão do material evita variações de viscosidade e degradação do produto através de uma alimentação consistente e contínua. Com o controle da pressão de aplicação é possível uma taxa consistente de fluxo [5] "ISSN" : "09670661", "abstract" : "Polymer extrusion is usually a complex process, particularly due to the coupled nature of process parameters, and hence highly prone to fluctuations. Although a number of different approaches have been attempted in research/industry over the last few decades for extrusion control, it is still experiencing some problems in achieving consistent product quality. Presently, most of the polymer processing extruders are equipped with PID controllers mainly for the control of the screw speed and barrel temperatures in their set limits. It seems that only both of these controllers are commonly used as the major aids of process control to achieve the required melt quality. Although, the quality of the melt output (i.e., a thermally homogeneous melt output which is constant in quantity and quality over the time).

Além desses componentes mencionados, diversos outros acompanham a fabricação de uma extrusora, motor, caixa de engrenagens, tela de peneiramento, sistemas auxiliares de aquecimento/resfriamento, entre outros. Esses não serão detalhados neste trabalho devido a seu uso ser mais empregado em extrusora de grande porte não sendo agregado ao objetivo aqui mencionado.

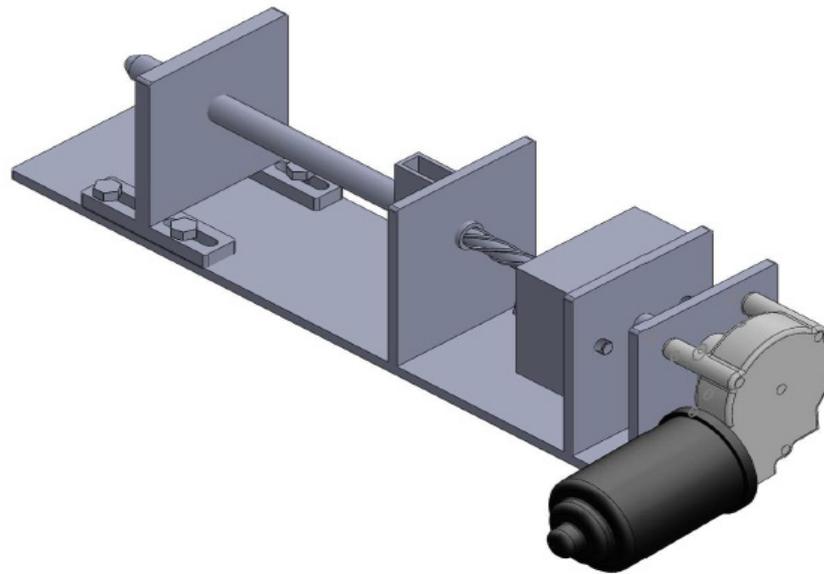


Figura 3 – Modelo de extrusora idealizado – vista ortogonal

Fonte: Acervo próprio

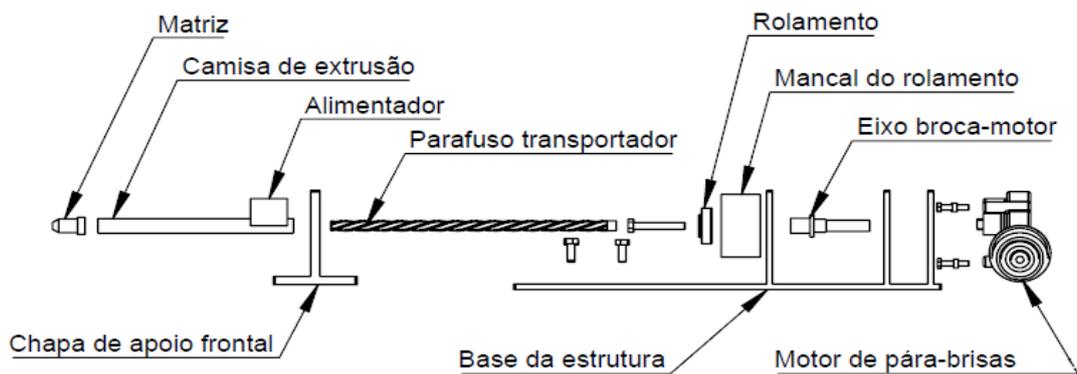


Figura 4 – Modelo de extrusora idealizado – vista explodida com nomenclatura

Fonte: Acervo próprio

1.3 Os polímeros e a impressora 3D

A crescente tecnologia no ramo de impressão 3D com a utilização de polímeros exige a necessidade de se adequar, desenvolver, aplicar e reciclar os materiais utilizados no processo, pois, os polímeros aplicados na impressão 3D precisam possuir características que os tornam “moldáveis” para o processo de impressão, tal como termoplaticidade [12].

Os materiais mais solicitados para moldagem de peças em 3D são o ABS (Acronitrilo Butadieno Estireno) e o PLA (Ácido Polilático). O termoplástico ABS possui boas características mecânicas, tais como resistência ao impacto, resistência à tração, flexibilidade além de leveza, resistência química, elétrica e térmica (até 80°C), resistência à oxidação e preço moderado. Sua utilização é bastante extensa e pode ser

encontrado em autopeças, eletrodomésticos, eletroeletrônicos e brinquedos. O PLA é um termoplástico biodegradável proveniente do ácido láctico fermentado utilizando-se fontes renováveis como o amido de milho e raízes de mandioca. Esse material possui como principais características a rigidez e a resistência. Por sua alta fluidez e baixa contração durante o processo de extrusão é capaz de produzir peças mais precisas em seu dimensionamento, com detalhes mais apurados e melhor acabamento [11].

A impressão 3D tem sido utilizada na construção de peças complexas e que exigem detalhes e acabamentos dificilmente alcançados por outros métodos de fabricação, além disso, esse método possui uma ampla diversidade de construção, ou seja, ao se projetar a impressora, com suas dimensões e limites de materiais que a mesma irá fabricar é possível programar n tipos diferentes de peças que pode ser feita numa única máquina de impressão. Esse método passou de uma ferramenta utilizada somente na fabricação de protótipos para ser utilizada na fabricação de peças e objetos permanentes e isso abrange a indústria de polímeros, metal mecânica, aeroespacial, áreas médicas e muitas outras [16].

Este estudo tem a finalidade de se obter uma síntese e montagem de uma mini extrusora capaz de reciclar o copolímero ABS e/ou o polímero PLA com o formato de filamento de 3 mm de diâmetro após esses serem utilizados em projetos demonstrativos ou gerarem rejeitos durante o processo de impressão focando em suas partes mecânicas e eletroeletrônicas essenciais ao seu funcionamento e obtenção das melhores características no material produzido, o parafuso transportador, termopares, sensores, controladores.

2 | METODOLOGIA

2.1 Materiais

Os materiais utilizados na construção da mini extrusora foram adquiridos no Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA conforme Tabela 1 além do apoio necessário para a sua concepção.

| Material | Aplicação | Dimensão (mm) | Quantidade |
|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------|
| Chapa de aço 1020 | Base da máquina | 500 x 100 x 10 | 01 |
| Chapa de aço 1020 | Apoio do motor | 110 x 100 x 10 | 01 |
| Chapa de aço 1020 | Apoio do mancal | 110 x 100 x 10 | 01 |
| Chapa de aço 1020 | Apoio da camisa | 110 x 100 x 10 | 01 |
| Chapa de aço 1020 | Apoio do molde | 110 x 100 x 10 | 01 |
| Tubo de aço galvanizado | Camisa de extrusão | Ø 16 x 2 espessura x 227 comprimento | 01 |
| Broca de pua | Parafuso transportador | Ø 12 x 300 comprimento | 01 |

| | | | |
|--|------------------------------|--------------|----|
| Motor de para-brisas 24 v | Acionamento motriz | - | 01 |
| Controlador NOVUS N1030 | Controle de temperatura | - | 01 |
| Contator | | - | 01 |
| Mini resistência tipo coleira 350 W, 220 V | | - | 01 |
| Termômetro laser Minipa Modelo MT-350 | Monitoramento de temperatura | - | 01 |
| Rolamento W6302-2Z | Apoio do eixo | - | 01 |
| Chapa de alumínio | Mancal de rolamento | 66 x 50 x 13 | 01 |
| Barra de alumínio | Molde | Ø 30x40 | 01 |

Tabela 2 – Relação dos materiais utilizados na construção da mini extrusora

Fonte: Dos autores

2.2 Método

A primeira etapa da construção da mini extrusora deu-se a partir do corte de chapas de aço para a montagem das paredes de apoio, entre as quais foram instalados todos os componentes da máquina, da chapa de base e corte da camisa de extrusão. Nesta etapa também foram feitas soldagens das chapas de “parede” e na chapa base. Desse modo, foi possível a montagem do conjunto (motor, camisa de extrusão, molde, resistências, acoplamento, funil de alimentação, rolamento, mancal do rolamento e broca de pua). Para a montagem da broca de pua foi necessária a usinagem de seu cabo no perfil quadrado (9,5 x 9,5 mm), em adequação ao acoplamento que faz a conexão ao motor.

Com as chapas cortadas, conforme dimensões citadas, iniciou-se a perfuração para a passagem da camisa da extrusora, instalação do motor e suporte para o molde. A segunda etapa da construção foi a agregação de componentes elétricos, a fim de se obter o controle de temperatura e manter os demais parâmetros (velocidade de extrusão e pressão) constantes, além de sistema de segurança elétrico de sobrecorrente. O principal componente do sistema elétrico é o controlador de temperatura sendo este programável conforme estado que se deseja alcançar.

A partir da instalação de todos os componentes mecânicos e elétricos pôde-se realizar os primeiros testes de operação da mini extrusora.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros testes na mini extrusora, realizados em dezembro de 2017, com o objetivo de avaliar seu desempenho, não foram satisfatórios, devido apresentar

problemas com o controle preciso de temperatura, gerando material muito fluido e degradado na camisa de extrusão, obstruindo o canal de passagem, nesse teste foi utilizado o ABS. O controle da temperatura era realizado manualmente no contator e com auxílio de um termômetro, assim verificou-se a necessidade de um controle automático de temperatura.

Após a aquisição de um controlador de temperatura, foram realizados testes em diversas faixas de temperatura para definição do ponto de fusão ideal para os polímeros utilizados, todavia, por não haver disponibilidade dos pellets nem do ABS nem do PLA optou-se em utilizar o Polipropileno (PP) como material de testes, este devido a suas características físicas (fácil moldagem, alta resistência à fratura por flexão ou fadiga e boa estabilidade térmica) e químicas possibilitou a execução de testes satisfatórios. O PP tem temperatura de fusão em torno de 160°C [10], porém, para a extrusão, a temperatura precisa estar bem abaixo disso, pois se ultrapassar a faixa de temperatura de trabalho acarreta numa fusão fora do parâmetro de moldagem gerando material com baixa viscosidade gerando escórias no interior da camisa vindo a ser de difícil remoção na câmara de extrusão e se estiver abaixo da temperatura de trabalho o material estará em estado sólido, tornando impossível sua extrusão por este método.

Para a execução da modelagem do polímero foi necessário inicialmente conduzir as etapas de pré-aquecimento para a homogeneização térmica na região de moldagem e sobreaquecimento para acelerar o processo de homogeneização para então rebaixar a temperatura até a faixa de trabalho conforme tabela 3 e gráfico 1 a seguir.

| Pré-aquecimento | | |
|---|---------------------------------|---------------------------|
| Tempo (min.) | Temperatura da Resistência (°C) | Temperatura no Molde (°C) |
| 04:23 | 65 | 60 |
| 07:33 | 78 | 61 |
| 10:25 | 89 | 68 |
| Sobreaquecimento a partir da temperatura de pré-aquecimento | | |
| 19:05 | 106 | 91,5 |
| Rebaixamento da temperatura até a temperatura de trabalho | | |
| 31:37 | 87,5 | 81,0 |

Tabela 3 – Relação de Tempo x Temperatura de pré-aquecimento, sobreaquecimento e temperatura de trabalho

Fonte: Dos autores

Após alterações da temperatura de trabalho, verificou-se a faixa ideal para a moldagem do polímero situada em 82 ± 5 °C, para a resistência e molde na temperatura

ambiente de 24°C.

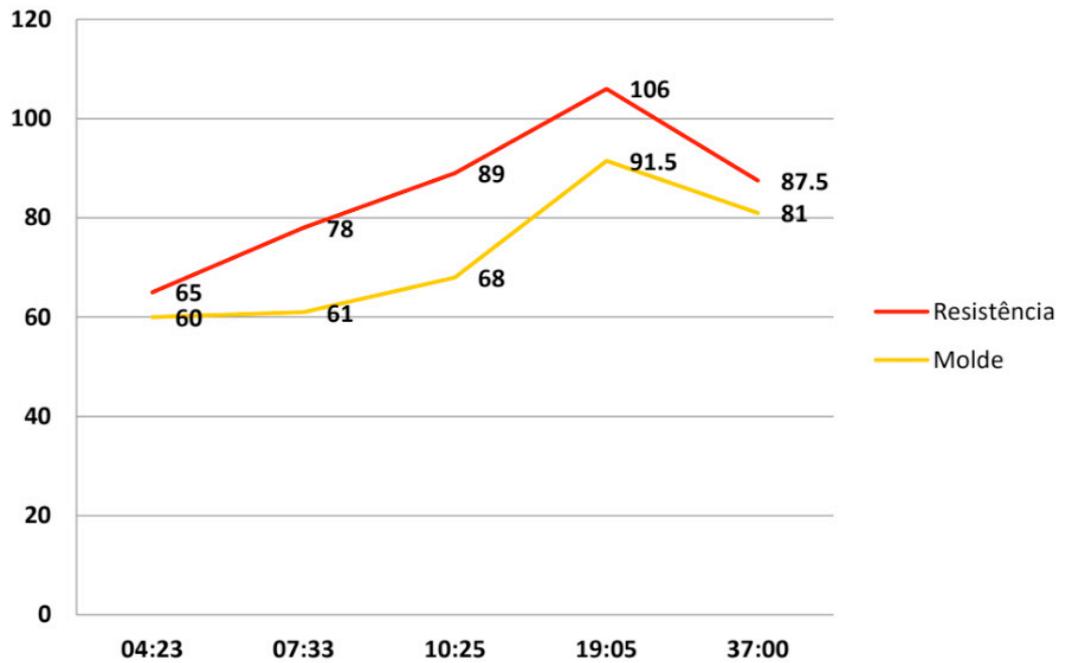


Gráfico 1 – Relação de Tempo x Temperatura de pré-aquecimento, sobreaquecimento e temperatura de trabalho

Fonte: Dos autores

Para a taxa de extrusão foi utilizado 57 gramas de PP em 13:35 minutos (815 segundos), em temperatura ambiente de 24 °C, partindo de 87°C na resistência e molde, resultando em 0,07 g/s com o motor a velocidade constante de 78 rpm.

Outra particularidade observada foi o distanciamento entre o molde e o parafuso transportador. Se essa distância for muito grande, ocorre um acúmulo de material não-extrudado no espaço parafuso-molde e, quando resfriado e posteriormente aquecido até o ponto de fusão, se transforma em material degradado, podendo obstruir o bico extrusor e impedir o funcionamento adequado do equipamento.

Como a velocidade e pressão são considerados constantes nesse experimento a temperatura e o distanciamento parafuso-molde exerceu toda a influência de qualidade no produto final. Após as alterações realizadas, a nova configuração do equipamento e a fase de testes concluída, percebe-se a adequada seleção dos materiais, com resultados satisfatórios no que se refere ao funcionamento da mini extrusora didática e do produto final após a extrusão do polímero. Neste trabalho, foi possível colocar em prática todos os conceitos teóricos envolvidos nas disciplinas do curso de Engenharia Mecânica.

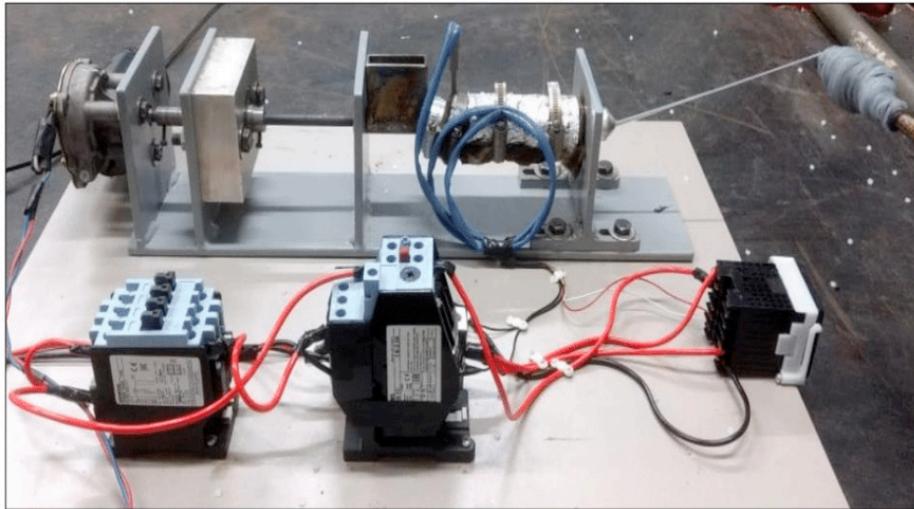


Figura 5 – Vista lateral da mini extrusora finalizada e em operação

Fonte: Acervo próprio

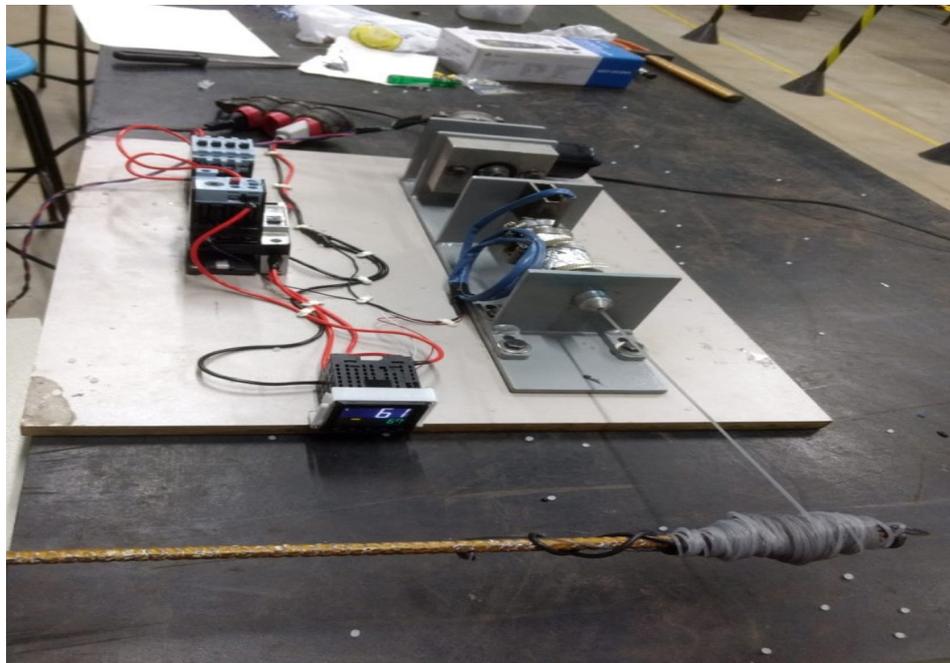


Figura 6 – Vista frontal da mini extrusora finalizada e em operação

Fonte: Acervo próprio

4 | CONCLUSÕES

Pelos dados obtidos neste trabalho conclui-se que a síntese e montagem de uma mini extrusora capaz de reciclar o copolímero ABS e/ou o polímero PLA com o formato de filamento de 3 mm de diâmetro foi bem sucedido. O equipamento em questão demonstrou a capacidade de fundir os grânulos dos polímeros PLA e ABS, transformando-os em filamentos de 3 mm, diâmetro utilizado na impressora 3D do Centro Tecnológico da UniEVANGELICA. Além disso, a mini extrusora servirá para fins de demonstração em aulas práticas dos cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica.

Este trabalho possibilitou colocar em prática todos os conceitos teóricos envol-

vidos nas disciplinas do curso de Engenharia Mecânica e preparar os discentes para o mercado de trabalho, através dos percalços encontrados até a finalização do projeto e das dificuldades de trabalho em equipe.

5 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Mestre Sérgio Mateus Brandão pelo apoio prestado nesse projeto, facilitando as pesquisas e a aquisição dos materiais necessários para a montagem do maquinário.

Agradecemos aos técnicos do centro tecnológico da UniEVANGÉLICA pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST, “NOTÍCIAS ABIPLAST,” 2018. [Online]. Available: http://abiplast.org.br/noticias/industria-do-plastico-cresce-25-em-2017-e-espera-chegar-a-3-esse-ano/20180207113931_G_727. [Accessed: 09-Aug-2018]. [6]

ABIPLAST, “Perfil 2017 - Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico,” *Perf. 2017*, 2017. [5]

Brasil, *Lei 12.305/2010*. 2010, p. 21. [3]

C. Abeykoon *et al.*, “Process efficiency in polymer extrusion: Correlation between the energy demand and melt thermal stability,” *Appl. Energy*, vol. 135, pp. 560–571, 2014. [8]

C. Abeykoon, “Single screw extrusion control: A comprehensive review and directions for improvements,” *Control Eng. Pract.*, vol. 51, pp. 69–80, 2016. [2]

C. I. Chung, *Extrusion of Polymers*, 2nd Editio. Cincinnati, United States: Hanser Gardner, 2011. [13]

D. Stratiychuk-Dear, K. Looney, P. Oliver, S. Blackburn, and M. Simmons, “Investigating the impact of operating conditions on the extent of additive mixing during thermoplastic polymer extrusion,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1914, 2017. [14]

“Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010,” no. 12, pp. 1–53, 2010. [4]

Dr. Chris Rauwendaal, *Polymer Extrusion*, 5th Editio. Auburn, United States, 2014. [1]

H. H. S. Corporation, “DSC Measurement of Polypropylene,” no. 86, pp. 1–2, 2008. [19]

J. M. J. M. Pearce *et al.*, “Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under unrealistic environmental conditions,” *Mater. Des.*, vol. 58, pp. 242–246, 2014. [17]

M. D. Symes *et al.*, “Integrated 3D-printed reactionware for chemical synthesis and analysis,” *Nat. Chem.*, vol. 4, no. 5, pp. 349–354, 2012. [16]

P. D. Coates, “In-Line Rheological Measurements for Extrusion Process-Control,” *Meas. Control*, vol. 28, no. 1, pp. 10–16, 1995. [12]

P. G. Lafleur and B. Vergnes, *Polymer Extrusion*. 2014. [9]

R. A. S. Ferreira, “Conformação Plástica Fundamentos Metalúrgicos e Mecânicos,” p. 245, 2010. [10]

S. Hwang, E. I. Reyes, K. sik Moon, R. C. Rumpf, and N. S. Kim, “Thermo-mechanical Characterization of Metal/Polymer Composite Filaments and Printing Parameter Study for Fused Deposition Modeling in the 3D Printing Process,” *J. Electron. Mater.*, vol. 44, no. 3, pp. 771–777, 2015. [18]

V. Pistor, A. Chiesa, and A. J. Zattera, “Estudo do reprocessamento de polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado do processamento de extrusão de filmes tubulares,” *Polímeros*, vol. 20, no. 4, pp. 269–274, 2010. [15]

WEG, “Eficiência energética em extrusoras de plástico,” pp. 4–5. [11]

X. P. Dang, “General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 41, pp. 15–27, 2014. [7]

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-246-3

