



**CONEM 2016**  
CONGRESSO NACIONAL DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

**21-25**  
**AGOSTO DE 2016**  
**FORTALEZA - CEARÁ**

## **DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO E MOLDES PARA EXTRUSÃO DE POLÍMERO RECICLADO VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA DE CAMAS BOX E ESTOFADOS**

Dalmir dos Santos Matos, [dalmir.matos.s@gmail.com](mailto:dalmir.matos.s@gmail.com)<sup>1</sup>

Bruno de Alencar Carneiro, [brunoalnk@hotmail.com](mailto:brunoalnk@hotmail.com)<sup>1</sup>

Rômulo Diêgo Marinho Siqueira, [romulodiegoms@hotmail.com](mailto:romulodiegoms@hotmail.com)<sup>1</sup>

Ricardo Medeiros Rodrigues, [ricardo.medeiros@engmecanico.com](mailto:ricardo.medeiros@engmecanico.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Av. Getúlio Vargas, 4 - Monte Castelo, São Luís - MA, 65030-005, Brasil.

**Resumo:** O Presente trabalho descreve as etapas e métodos adotados para o desenvolvimento de equipamentos de moldes para a extrusão de polímero reciclado visando a substituição de estruturas de camas box e estofados e a consequente reutilização do Poliuretano de Alta Densidade (PEAD) como matéria prima. Estudo em desenvolvimento pelo departamento de Mecânica e Materiais – DMM do Instituto Federal do Maranhão.

**Palavras-chave:** Extrusão, Madeira Plástica, Extrusora, Matriz de Extrusão.

### **1. INTRODUÇÃO**

No Brasil, e principalmente na região Norte e Nordeste, a madeira é utilizada em diversos sistemas construtivos de forma temporária e de forma definitiva. A utilização de forma temporária pode-se citar a confecção de fôrmas para concretos, andaimes, escoramentos, embalagens etc. De forma definitiva, são utilizadas em estruturas de cobertura, esquadrias (portas e janelas), móveis, camas, sofás, forros e pisos, etc. Os produtos de madeira utilizados na construção variam desde peças com nenhum ou pouco grau de beneficiamento (madeira roliça) até peças com vários graus de beneficiamento, tais como madeira serrada e beneficiada, lâminas, painéis de madeira e madeira tratada com produtos preservativos (IPT, 2003).

Atualmente, a reciclagem da madeira consumida é apresentada como uma das áreas mais vitais para a preservação de mais e melhores condições de vida do nosso planeta. Neste sentido, um fato que se deve ter em mente é que o Brasil é auto-suficiente neste tipo de produto, para a reciclagem e utilização torna-se um importante fator para o declínio da exploração madeireira de florestas.

Um grande problema da utilização de madeiras recicladas em escala industrial na região Norte/Nordeste é a falta de grandes áreas de reflorestamentos que seja capaz de suprir a demanda dessas regiões. A maioria dessas áreas de reflorestamento está concentrada nas regiões Sul e Sudeste, o que inviabiliza a utilização de madeiras recicladas em função do alto custo do frete. O que se utiliza na grande maioria na nossa região e principalmente no Estado do Maranhão é o refugo das madeireiras provenientes na sua grande maioria da região do Estado do Pará.

Diversos estudos estão sendo desenvolvidos com resíduos de plásticos para as mais diversas aplicações. O lixo brasileiro contém de 5 a 10% de plásticos, conforme o local. São materiais que, como o vidro, ocupam um considerável espaço no meio ambiente. O ideal: serem recuperados e reciclados. Plásticos são derivados do petróleo, produto importado (60% do total no Brasil). A reciclagem do plástico exige cerca de 10% da energia utilizada no processo primário.

A solução criativa para o aproveitamento inteligente do plástico reciclado é um dos fatores que aumentam a credibilidade do material no mercado e gera ainda mais confiança às empresas que utilizam o plástico como solução na produção de peças, instrumentos, ferramentas, máquinas, gabinetes, etc.

Plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros, que, por sua vez, são formadas por moléculas menores, chamadas monômeros. Os plásticos são produzidos através de um processo químico chamado polimerização, que proporciona a união química de monômeros para formar polímeros. O tamanho e estrutura da molécula do polímero determinam as propriedades do material plástico.

## 2. OBJETIVO

### 2.1. Geral

Introduzir na região uma nova metodologia de fabricação de camas Box e sofás por meio da substituição de madeira por resíduos de polímeros reciclados, utilizando um dispositivo de moldagem por extrusão.

### 2.2. Objetivos Específicos

Para entender a proposta geral faz-se necessários que possamos alcançar os seguintes objetivos específicos.

- Desenvolver um novo tipo de produto a partir das peças poliméricas moldadas por extrusão a ser utilizado na produção de camas Box e sofás;
- Inserir no mercado regional uma nova metodologia de fabricação de camas Box e sofás com maior valor agregado;
- Incentivar as empresas da região a reduzirem cada vez mais a utilização de madeiras em seus produtos oferecendo para isso uma alternativa acessível.
- Reduzir os custos de produção com a utilização da tecnologia de extrusão de polímeros a partir de materiais reciclados;
- Produzir camas Box e sofás de maior qualidade, conforto e menor custo para a sociedade.

## 3. DESENVOLVIMENTO

O equipamento a ser desenvolvido é composto basicamente por um funil de alimentação, uma rosca sem fim alojada dentro do cilindro (canhão) e de um molde (matriz de extrusão). Na rosca sem fim, será adaptado um anel de bloqueio que tem por finalidade permitir passagem do material fundido no momento da dosagem e impedir o retorno deste material quando da aplicação da pressão de injeção. O termoplástico a base de polímero reciclado de garrafas pet e de embalagens em material Poliuretano de Alta Densidade (PEAD) será utilizado no equipamento em forma de grãos, e será alimentado através do funil. O cilindro será equipado com resistências elétricas para promover a condução de calor, e combinadas com o atrito gerado pela rotação da rosca sem fim no interior do cilindro promoverá a fusão do plástico, permitindo que ele seja extrudado através da matriz de extrusão, conferindo forma final ao perfil extrudado.

Começaremos o estudo partindo da análise da estrutura para qual o perfil será projetado, com isso poderemos analisar com melhor precisão o desenvolvimento da matriz e o dimensionamento/seleção.

### 3.1. Análise da Estrutura das Camas Box Atualmente Fabricadas

Realizamos a análise dos perfis atualmente produzidos na região com o auxílio de um software de análise por elementos finitos, assim reduzimos consideravelmente o tempo disponibilizado para esta etapa, foram simuladas diversas formas de aplicação de cargas para as características mecânicas do Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HPED) Tab. 1.

**Tabela 1. Propriedades gerais do PEAD.  
(Solvay Polietileno do Brasil)**

| <b>Propriedades</b>            | <b>PEAD-A<br/>Solvay<br/>A2080 N1540</b> |
|--------------------------------|------------------------------------------|
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,959                                    |
| Índice de Fluidez<br>(g/10min) | 7,30                                     |
| Alongamento à<br>Ruptura (%)   | 300                                      |
| Tração à Ruptura<br>(MPa)      | 12,40                                    |
| Temperatura de<br>Fusão (°C)   | 130                                      |

Na Figura 1 é possível visualizar a estrutura atualmente produzida assim como o resultado de uma das análises realizadas através do método dos elementos finitos (MEF).

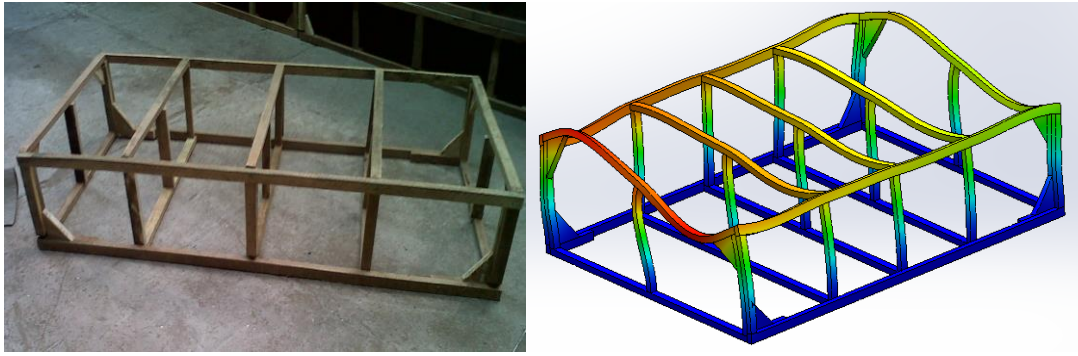


Figura 1. Simulação da estrutura pelo método dos elementos finitos. (Fonte: Autor)

A partir destas análises selecionamos perfil com 30mm x 20mm que apresenta as seguintes características geométricas Fig. 2.

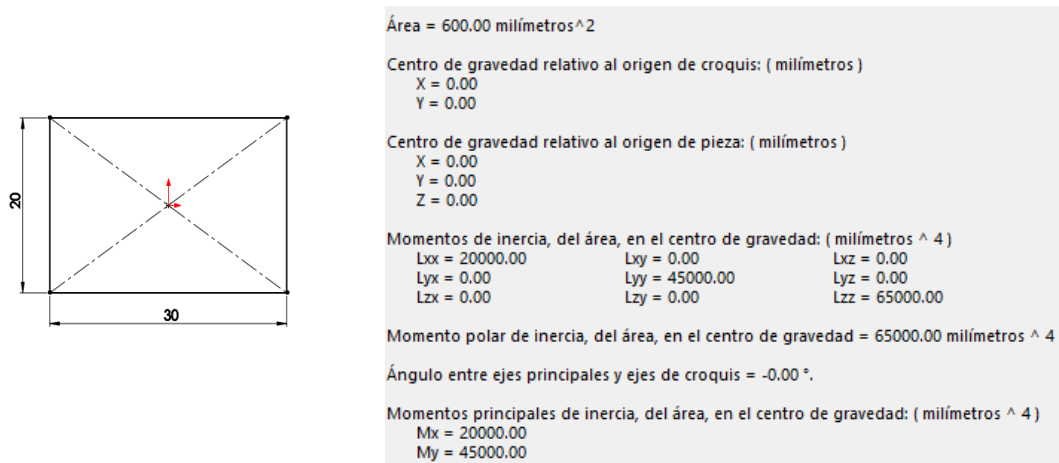


Figura 2. Perfil selecionado e suas respectivas propriedades geométricas. (Fonte: Autor)

### 3.2. Extrusora de Rosca Única

Uma extrusora de rosca única é constituída por um parafuso ou de um cilindro de metal e de um barril Fig. 3. Uma extremidade do barril é ligada ao canal de alimentação enquanto que a outra extremidade está aberta. Uma tremonha está situada por cima do bocal de alimentação e o barril está rodeado por elementos de aquecimento e arrefecimento. A rosca em si está ligada a uma caixa de velocidades, ou redutor, através de um rolamento de impulso (do tipo axial) a um motor de acionamento que gira o parafuso no interior do barril. A matriz é fixada à extremidade "aberta" da extrusora com uma placa de rotura e tela pacote (ou trocador de tela), formando uma vedação entre a extrusora e a matriz Fig. 4.

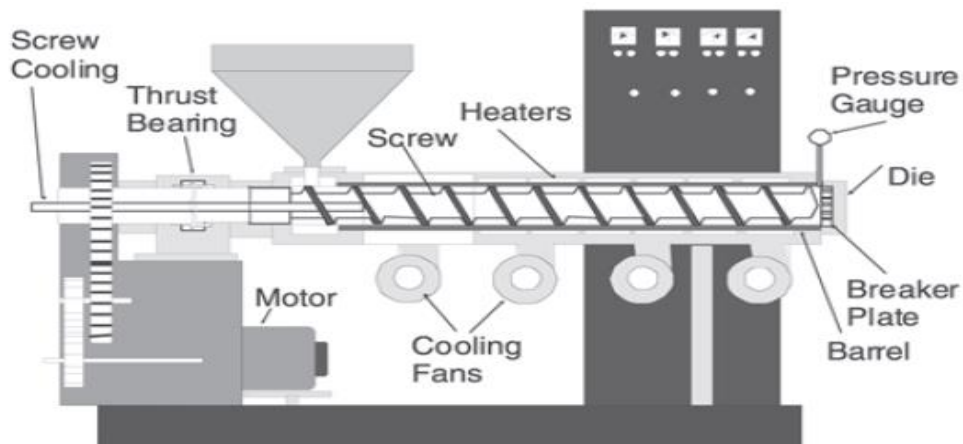
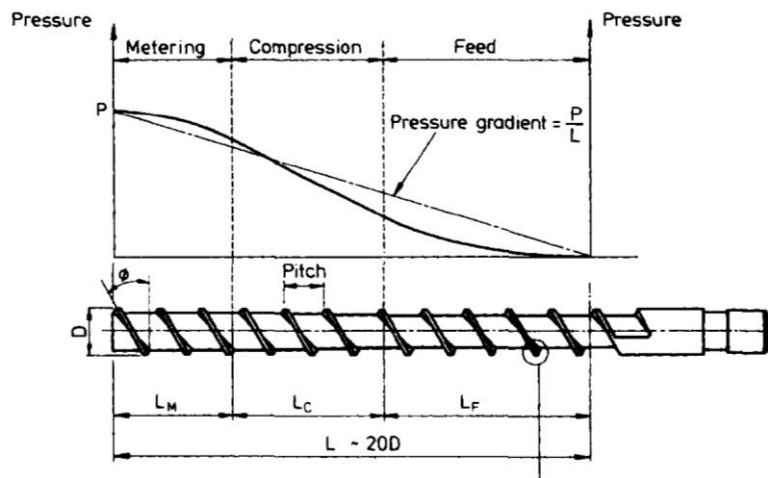


Figura 3. Vista esquemática de uma extrusora de rosca única Apresentando seus Principais componentes (Harold F. at all).

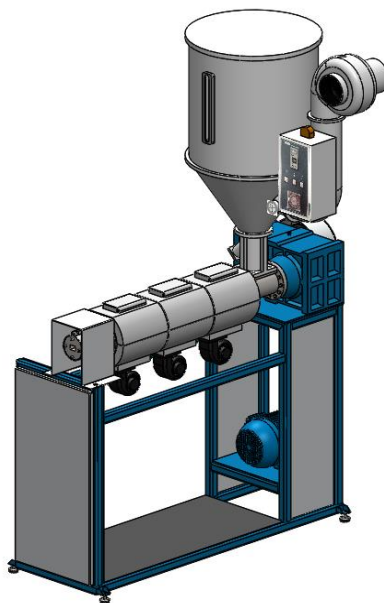
Basicamente um parafuso de extrusora tem três zonas diferentes Fig. 4:

- Zona de alimentação: A função desta zona é pré-aquecer o plástico e transmiti-lo para as zonas subsequentes. O design desta seção é importante uma vez que a profundidade de inserção constante deve fornecer material suficiente para a zona de compressão de forma que não falte material, mas por outro lado não fornecer mais material que a zona de compressão possa suportar. A concepção ótima está relacionada com a natureza e forma da matéria-prima, a geometria do parafuso e as propriedades de fricção do parafuso e do tambor em relação ao plástico. O comportamento de atrito do material de alimentação tem uma influência considerável sobre a taxa de derretimento que pode ser conseguida.
- Zona de compressão - Nesta zona a profundidade de rosca diminui gradualmente, de modo a compactar o plástico. Esta compactação tem a dupla função, a de expulsar quaisquer bolsa de ar presa de volta para a zona de alimentação e melhorar a transferência de calor através da diminuição das dimensões do material.
- Zona de medição: Nesta seção, a profundidade de rosca é constante, porém menor que na zona de alimentação. Na zona de medida o material fundido é homogeneizado de modo a fornecer a uma taxa constante, o material de temperatura e pressão uniforme para a matriz. Esta zona é a mais simples e direta para analisar uma vez que envolve uma massa fundida viscosa que flui ao longo de um canal uniforme.



**Figura 4. Zonas típicas em uma extrusora monorosca onde é possível visualizar a variação de pressão ao longo da rosca.**

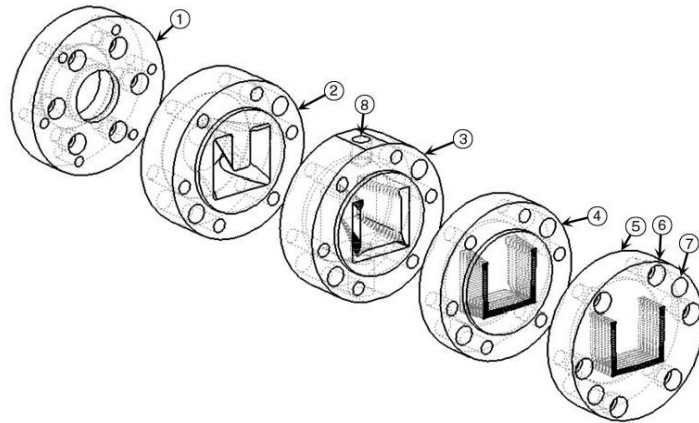
Na Figura 5 temos uma visão previa da extrusora desenvolvida pelo projeto.



**Figura 5. Extrusora desenvolvida pelo projeto (Autor).**

### 3.3. Matriz de Extrusão

A extrusão é um processo contínuo em que os materiais poliméricos sólidos (quer em forma de pastilhas ou pós) são cortados e aquecidos à medida que são transportadas por meio de um de parafuso para se tornar uma massa fundida pressurizada. O produto fundido pressurizado flui através de um orifício em forma adequada, ou molde de extrusão (conhecido como Matriz de Extrusão), sendo em seguida arrefecida e moldada para um produto final chamado “extrudado”. A concepção adequada de um molde de extrusão é extremamente importante para conseguir a forma desejada e dimensões exatas do produto extrudado. A função de uma matriz de extrusão Fig. 6 é dar a forma final que o plástico fundido, formando assim a secção transversal desejada, dependendo do produto a ser feito (Milivoje M. Kostic & Louis G. Reifschneider).

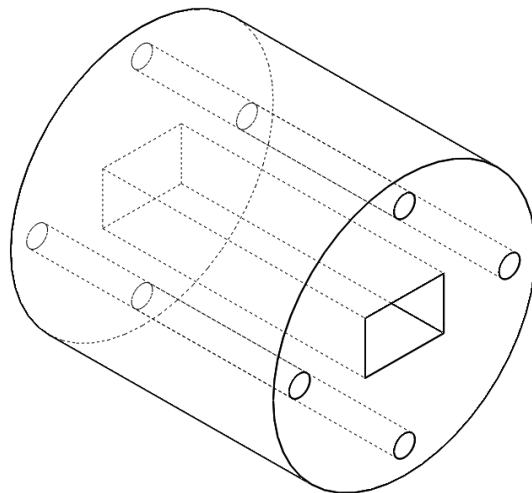


**Figura 6. Matriz para um perfil U mostrando as etapas de criação do perfil.  
(Milivoje M. Kostic & Louis G. Reifschneider)**

O processo de extrusão cria produtos de secção transversal uniforme, de uma forma contínua. Um desenho ideal de uma matriz de extrusão deveria apresentar as seguintes características:

- Equilibrar o fluxo de fusão, proporcionando uma velocidade uniforme ao longo de toda a saída da matriz.
- Alcançar este equilíbrio de fluxo com uma pressão mínima.
- Dinamizar o fluxo para evitar mudanças bruscas na passagem do polímero, que podem causar áreas de estagnação. A estagnação do fluxo pode levar à degradação térmica do plástico derretido como a massa fundida é exposta a alta temperatura e aquece por longos períodos.

Seguindo estas recomendações e dispondo das dimensões já calculadas, chegamos ao a geometria final da matriz Fig. 7.



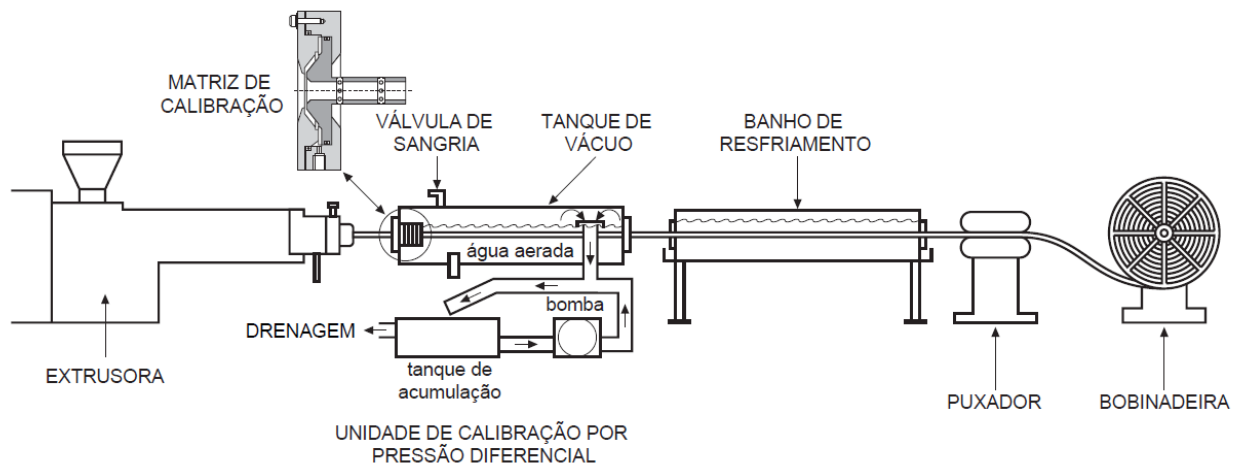
**Figura 7. Matriz desenvolvida pelo projeto (Fonte: Autor).**

### 3.4. Unidade de Extrusão

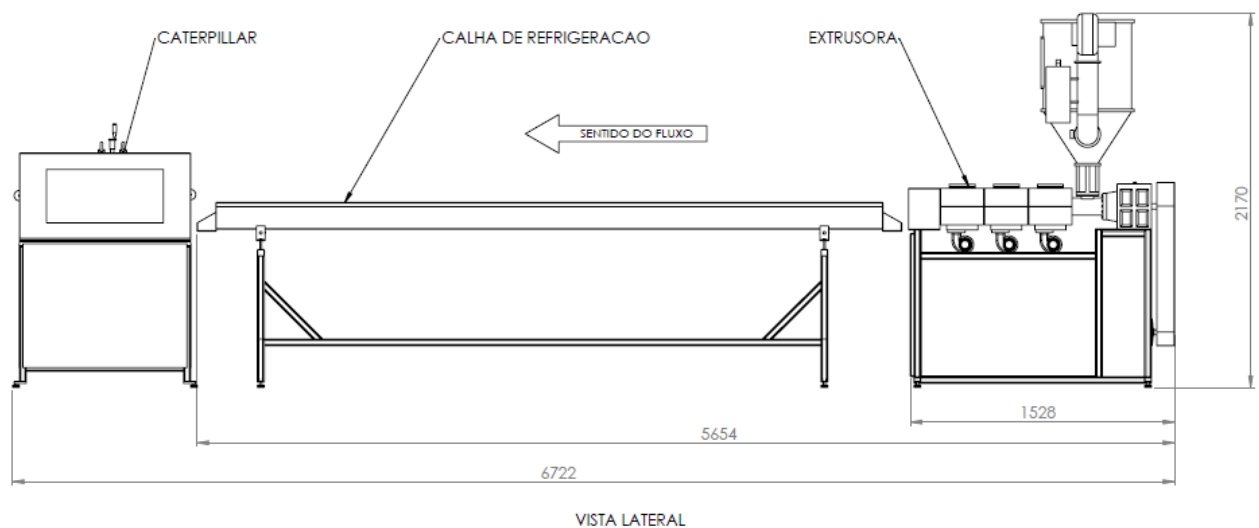
A aqui chamada unidade de extrusão de polímero corresponde a todo o conjunto composto pelos equipamentos de processamento do termoplástico que tem como finalidade produzir o perfil extrudado Fig. 8. Ela esta composta pelos seguintes elementos:

1. Silo de alimentação
2. Extrusora.
3. Calibrador a vácuo.
4. Calha de refrigeração.
5. Puxador do tipo Caterpillar.
6. Painéis de comando.
7. Equipamentos auxiliares (bombas, tubulações e torre de refrigeração de água).

Na Tabela 2 temos a descrição de alguns dos componentes para o sistema desenvolvido no projeto. Na Figura 9 e 10 temos a unidade de extrusão projetada destacando a extrusora, a calha de refrigeração e o puxador (Caterpillar).



**Figura 8. Típica unidade de extrusão de polímero para fabricação de tubos (Fonte: DuPont Hytrel).**



**Figura 9. Unidade de extrusão desenvolvida no projeto mostrando os principais componentes e suas respectivas dimensões (dimensões em mm) (Fonte: Autor).**

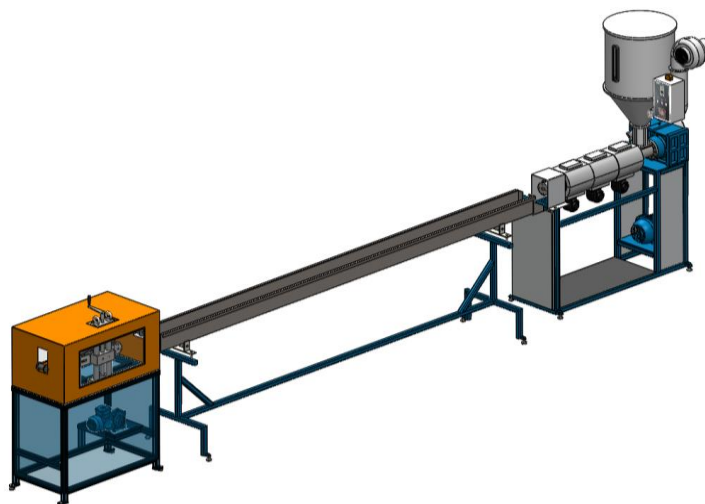


Figura 10. Vista isométrica do projeto da unidade de extrusão. (Fonte: Autores).

Tabela 2. Descrição dos elementos que constituem o projeto (Fonte: Autor).

| ELEMENTOS                                               | DESCRIÇÃO                                                              |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Unidade de acionamento principal (motor e redutor)      | Motor Elétrico Weg - c/ refrigeração forçada e redutor cestari.        |
| Cilindro (Canhão) e Rosca                               | Rosca e Canhão aço 8550 e rosca cromada                                |
| Sistema elétrico (quadro de comando, painéis, etc.)     | Rele Térmico/fusível ultrarrápido 02 para cada zona de temperatura     |
| Servo Motor/ Servo conversor elétrico/inversor          | Acionados por Inversor de Frequência                                   |
| Unidade de controle de temperatura                      | Composta por Pirômetro Digital 48x48 2 saídas SSR/rele-alarme TC4S-24R |
| G) Sistema de aquecimento (resistências, etc)           | Resistência e Capa Térmica de Porcelana                                |
| Temporizador, outros dispositivos elétricos/eletrônicos | Temporizador Eletrônico no funil de aquecimento                        |
| Moldes/ Ferramentas/ Calibradores                       | Ferramentas em aço 420 inox com calibrador à vácuo                     |

#### 4. RESULTADOS

Após as etapas de seleção e dimensionamento dos elementos constituintes da unidade de extrusão serão analisadas as respostas mecânicas da madeira plástica produzida, assim como demais características pertinentes ao material extrudado, também será possível a obtenção dos diferentes requisitos e características do processo de extrusão. Na Tabela 3 é apresentada uma visão geral do status do projeto e na Figura CC temos a unidade de extrusão em fase de montagem.

Tabela 3. Etapas de desenvolvimento do projeto (Fonte: Autor).

| Etapas do Projeto                                            | Status       |
|--------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 Análise do Perfil ótimo para o Projeto                     | Concluída    |
| 2 Dimensionamento da matriz de Extrusão                      | Concluída    |
| 3 Seleção/Dimensionamento da Extrusora                       | Concluída    |
| 4 Determinação dos demais componentes da unidade de extrusão | Concluída    |
| 5 Início da Operação da Unidade                              | Em andamento |
| 6 Início dos Testes com Madeira Plástica                     | Em conclusão |
| 7 Análise Mecânica do Perfil Extrudado                       | Em conclusão |



**Figura 11. Unidade de Extrusão em fase de montagem no Departamento de Mecânica e Materiais – DMM do IFMA (Fonte: Autor).**

## **5. CONCLUSÕES**

O projeto de um sistema de extrusão envolve uma série de premissas e limitações, sejam elas técnicas, econômicas ou ambientais, esta ultima influenciando as razões para o desenvolvimento de este projeto. No decorrer deste trabalho é possível visualizar a multidisciplinariedade do assunto e da técnica de extrusão de polímeros com extrusora de rosca única (monorosca).

Esperamos com a continuidade do trabalho a obtenção de um perfil extrudado que atenda as necessidades da indústria moveleira local, colaborando assim para o desenvolvimento técnico científico, redução de resíduos plásticos lançados no meio ambiente e suprimento de uma demanda comercial para o produto final (madeira plástica). Ficam evidentes as vantagens ecológicas apresentadas pela reciclagem e reaproveitamento do Poliuretano de Alta Densidade (PEAD ou HPED) como matéria prima na confecção de perfis extrudados, porém há a necessidade de se analisar todas as limitações técnicas de tal aplicação, com este fim o projeto continua a se desenvolver.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Aos professores Prof. Dr. Mauro Araújo Medeiros e Prof. Dr. Antônio Ernandes Macêdo Paiva pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa e ao Departamento de Mecânica e Materiais – DMM do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

## **7. REFERÊNCIAS**

- Norton, Robert L. Projeto de máquinas [recurso eletrônico] : Uma abordagem integrada / Robert L. Norton– 4. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2013.
- Juvinall, Robert C. Fundamentos do projeto de componentes de máquinas I Robert C. Juvinall, Kart M. Marshek; tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva.- [Reimpr.]. -Rio de Janeiro : LTC, 2013.
- Joseph E., Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas , Projeto de engenharia mecânica: tradução João Batista de Aguiar, Jose' Manoel de Aguiar. - 7. ed. - Porto Alegre : Bookman, 2005.
- DuPont Hytrel – Manual de Extrusão.
- Walter Michaeli. Extrusion Dies for Plastics and Rubbers, Design and Engineering Computations 3. Ed. Hansen Publications.
- Rauwendaal, Chris. Polymer extrusion / Chris Rauwendaal. -- 5th edition. Hansen Publications.
- Lontra, Beatriz Gordin da Fonseca. Reciclagem Mecânica de Polietileno de Alta Densidade obtido a partir de Sacolas Plásticas/Lontra, Beatriz Gordin da Fonseca Lontra – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2011.
- Giles, Harold F. Extrusion : the definitive processing guide and handbook / by Harold F. Giles, Jr., John R. Wagner, Jr., Eldridge M. Mount, III.

## **8. RESPONSABILIDADE AUTURAL**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## **EQUIPMENT DEVELOPMENT AND MOULD FOR POLYMER EXTRUSION RECYCLED AIMED AT WOODEN STRUCTURES OF REPLACEMENT BOX BEDS AND UPHOLSTERY**

**Dalmir dos Santos Matos, dalmir.matos.s@gmail.com<sup>1</sup>**

**Bruno de Alencar Carneiro, brunoalnk@hotmail.com<sup>1</sup>**

**Rômulo Diêgo Marinho Siqueira, romulodiegoms@hotmail.com<sup>1</sup>**

**Ricardo Medeiros Rodrigues, ricardo.medeiros@engmecanico.com<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão, Av. Getúlio Vargas, 4 - Monte Castelo, São Luís - MA, 65030-005, Brazil.

**Abstract.** *The present work describes the steps and methods adopted for the development of mold equipment for the recycled polymer extrusion to substitute the litter box structures and upholstery and the subsequent reuse of High Density Polyurethane as raw material. Study developing the Mechanical and Materials department - DMM Federal Institute of Maranhão.*

**Keywords:** *Extrusion, Plastic Wood, Extruders, Extrusion Die.*