

## Protótipo de extrusora para a produção de filamentos de plástico PET, utilizados na impressão 3D, para reciclagem em ambientes domésticos e acadêmicos

Jorge Henrique e Silva Júnior <sup>1a</sup>, Fernando Castelo Branco Goncalves Santana <sup>1b</sup>, Francisco Jose Borges dos Santos <sup>1c</sup>, Vicente Galber Freitas Viana <sup>1d</sup>, Etevaldo Macedo Valadao <sup>1e</sup>, Fabiano dos Santos Sousa <sup>1f</sup>, Roger de Carvalho Araújo <sup>1g</sup>, Phelype Matheus Silva da Costa <sup>1h</sup>, Luiz Araújo da Conceição Júnior <sup>1i</sup>, Abraao Lima Sousa <sup>1j</sup>, João Felipe dos Santos Sousa <sup>1k</sup>, Silvio Nogueira Sampaio Lima <sup>1l</sup>, André Luís Portela Neves <sup>1m</sup>, Deuzuíta dos Santos Freitas Viana <sup>2</sup>, Antônia Paula Araújo Damasceno <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI Campus Teresina Central, Teresina, Piauí, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Campus Caxias, Caxias, Maranhão, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Piauí - UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Teresina, Piauí, Brasil.

### RESUMO

**Introdução.** O grande acúmulo de resíduos sólidos, gerados em larga escala pela sociedade moderna, vem causando sérios danos ao meio ambiente. Entre os principais problemas, está o descarte inadequado de enormes quantidades de garrafas de plástico do tipo PET. O descarte incorreto e descontrolado do PET pode causar diversos problemas aos seres vivos. **Objetivo.** O objetivo desse trabalho foi desenvolver um protótipo de extrusora de filamentos de plástico PET, para produzir filamentos de plástico PET a partir de garrafas PET recicladas e utilizá-los na impressão de objetos educativos. **Metodologia.** A metodologia constou da montagem de uma extrusora artesanal para produção de filamentos com garrafas PET, sendo realizados testes de produção de filamento. **Resultados e discussão.** O protótipo de extrusora foi composto por 4 módulos sobre uma superfície de madeira reaproveitada. O módulo 1 (controle) O módulo 2 (filetagem) O módulo 3 (extrusão) O módulo 4 (armazenamento). A extrusora artesanal construída com material reciclado foi de fácil montagem, baixo custo e com potencial de produzir filamentos com o plástico de garrafas PET. **Considerações finais.** Foram produzidos filamentos a partir de garrafas PET recicladas e também foram produzidos objetos didáticos a partir dos filamentos obtidos com a utilização da extrusora artesanal produzida.

**PALAVRAS-CHAVE:** PET. Extrusora. Impressão 3D. Reutilização. Reciclagem.

### Correspondência do Autor

<sup>1a</sup>ORCID: [0009-0002-7859-0605](https://orcid.org/0009-0002-7859-0605). Email: [jorge.henrique@ifpi.edu.br](mailto:jorge.henrique@ifpi.edu.br) (Autor correspondente)

<sup>1b</sup>ORCID: [0000-0003-2967-444X](https://orcid.org/0000-0003-2967-444X). Email: [fernandosantana@ifpi.edu.br](mailto:fernandosantana@ifpi.edu.br)

<sup>1c</sup>ORCID: [0000-0003-4929-3740](https://orcid.org/0000-0003-4929-3740). Email: [borgissantos@ifpi.edu.br](mailto:borgissantos@ifpi.edu.br)

<sup>1d</sup>ORCID: [0000-0002-3863-6974](https://orcid.org/0000-0002-3863-6974). Email: [galber@ifpi.edu.br](mailto:galber@ifpi.edu.br)

<sup>1e</sup>ORCID: [0009-0009-3821-4542](https://orcid.org/0009-0009-3821-4542). Email: [etvaldao@ifpi.edu.br](mailto:etvaldao@ifpi.edu.br)

<sup>1f</sup>ORCID: [0009-0000-4526-4876](https://orcid.org/0009-0000-4526-4876). Email: [catce.2022111fis0338@aluno.ifpi.edu.br](mailto:catce.2022111fis0338@aluno.ifpi.edu.br)

<sup>1g</sup>ORCID: [0009-0006-1458-7510](https://orcid.org/0009-0006-1458-7510). Email: [alternativasecundaria1@gmail.com](mailto:alternativasecundaria1@gmail.com)

<sup>1h</sup>ORCID: [0009-0005-6903-0763](https://orcid.org/0009-0005-6903-0763). Email: [catce.20191ads0231@aluno.ifpi.edu.br](mailto:catce.20191ads0231@aluno.ifpi.edu.br)

<sup>1i</sup>ORCID: [0009-0006-4145-5476](https://orcid.org/0009-0006-4145-5476). Email: [catce.20191ads0207@aluno.ifpi.edu.br](mailto:catce.20191ads0207@aluno.ifpi.edu.br)

<sup>1j</sup>ORCID: [0009-0009-8752-8812](https://orcid.org/0009-0009-8752-8812). Email: [catce.2022211mtds0034@aluno.ifpi.edu.br](mailto:catce.2022211mtds0034@aluno.ifpi.edu.br)

<sup>1k</sup>ORCID: [0009-0005-2417-1474](https://orcid.org/0009-0005-2417-1474). Email: [catce.2020111mtds0204@aluno.ifpi.edu.br](mailto:catce.2020111mtds0204@aluno.ifpi.edu.br)

<sup>1l</sup>ORCID: [0009-0002-4337-630X](https://orcid.org/0009-0002-4337-630X). Email: [catce.20131qui0100@aluno.ifpi.edu.br](mailto:catce.20131qui0100@aluno.ifpi.edu.br)

<sup>2</sup>ORCID: [0000-0002-1902-6505](https://orcid.org/0000-0002-1902-6505). Email: [dezuistasfv@gmail.com](mailto:dezuistasfv@gmail.com)

<sup>3</sup>ORCID: [0009-0004-9648-9046](https://orcid.org/0009-0004-9648-9046). Email: [paulaufpicn@gmail.com](mailto:paulaufpicn@gmail.com)

Submetido 15/05/2023 – Aceito 24/06/2024 – Publicado 29/10/2025



## Extruder prototype for the production of PET plastic filaments, used in 3D printing, for recycling in domestic and academic environments

### ABSTRACT

**Introduction.** The massive accumulation of solid waste, generated on a large scale by modern society, has been causing serious damage to the environment. Among the main problems is the inappropriate disposal of enormous quantities of PET plastic bottles. Incorrect and uncontrolled disposal of PET can cause various problems for living beings. **Objective.** The objective of this work was to develop a prototype PET plastic filament extruder to produce PET plastic filaments from recycled PET bottles and use them in printing educational objects. **Methodology.** The methodology consisted of assembling a homemade extruder to produce filaments from PET bottles, and then conducting filament production tests. **Results and discussion.** The prototype extruder consisted of four modules on a reclaimed wood surface: Module 1 (control), Module 2 (threading), Module 3 (extrusion), and Module 4 (storage). The homemade extruder, built with recycled material, was easy to assemble, low cost, and had the potential to produce filaments from PET bottle plastic. **Final considerations:** Filaments were produced from recycled PET bottles, and educational objects were also produced from the filaments obtained using the homemade extruder.

**KEYWORDS:** PET. Extruder. 3D Printing. Reuse. Recycling.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de utensílios com material plástico revolucionou e facilitou diversas tarefas do dia a dia da população. É um material derivado do petróleo, versátil, resistente, de baixo custo que está presente nos utensílios domésticos, em equipamentos e brinquedos, na construção civil e nos transportes, em nossas roupas e em quase todo tipo de embalagem que acomoda produtos de higiene e alimentação. No entanto os resíduos de plásticos se acumulam cada vez mais nos ambientes naturais, causando riscos à saúde dos animais e dos seres humanos (Fagundes; Missio, 2019).

O PET (tereftalato de polietileno) é um tipo de plástico, da categoria dos termoplásticos<sup>1</sup>, mais produzidos no mundo e deve-se à sua excelente relação entre as propriedades mecânicas, térmicas, custo de produção e possui grande utilidade para o mercado, proporcionando conservação e proteção aos alimentos e objetos (Romão; Spinacé; Paoli, 2009; Macedo *et al.*, 2020; Miguel; Cruz, 2020). O consumo do PET material tem aumentado em larga escala e o seu crescente volume e descarte incorreto têm contribuído para o aumento desenfreado de lixões, aterros sanitários e poluição dos recursos naturais (Romão; Spinacé; Paoli, 2009; Macedo *et al.*, 2020; Miguel; Cruz, 2020).

De acordo com Santos *et al.* (2018), o maior consumo de PET reciclado é na fabricação de fibras para roupas e tapetes, ficando em segundo lugar, o PET reciclado é usado na produção de garrafas para alimentos e bebidas e, em terceiro lugar, na fabricação de cordas, faixas, tiras, correias, alças e em recipientes para produtos não alimentares (embalagens para xampu por exemplo). Os resíduos de PET podem ser reciclados, reaproveitados e empregados para fazer diversos materiais, a exemplo disto o PET poderia ser empregados para a produção de filamentos de impressoras 3D, que são insumos

<sup>1</sup> Termoplástico: é um plástico (polímero artificial) que, a uma dada temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser conformado e moldado.

empregados para fazer diversos objetos nas áreas de informática, robótica, mecânica arquitetura, saúde entre outros (Pereira, 2020).

Neste sentido as tecnologias de impressão 3D, que utilizam plásticos, poderiam ser empregadas para incentivar a reciclagem do PET. A tecnologia de impressão 3D é um método de fabricação de produto por meio de adição de material a partir de desenhos auxiliados por computador (CAD), onde o processo de impressão gera objetos tridimensionais (3D), através de processo de adição de material camada por camada (Fadel; Goulart, 2019). A impressão 3D é um processo produtivo ainda em amadurecimento, mas tem como princípios básicos a versatilidade da manufatura, a possibilidade de customização e flexibilidade sem limites, a liberdade para explorar formas complexas e redução de custos inerentes a processos produtivos de montagem, contudo esse processo possui diversas barreiras que afastam a grande massa de utilizar o processo de impressão 3D em ambientes domésticos, dentre elas os custos do filamento para o processo FDM (Modelagem por Deposição Fundida, do inglês, Fused Deposition Modeling - FDM) (Souza; Hupples, 2017).

O mercado de impressão 3D vem crescendo rapidamente, entretanto, a matéria prima que abastece as impressoras 3D (filamentos) tem pouca variabilidade no mercado, dentre eles os mais utilizados são: poliacido láctico (PLA) que é um polímero biodegradável, Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), outro polímero leve e rígido, e PETG que é uma versão modificada do Politereftalato de etileno (PET), sendo que o G significa que foi modificado com Glycol (Costa; Terence, 2020). Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de extrusora de filamentos de plástico PET para ambiente doméstico e/ou acadêmico, com a finalidade de produzir filamentos para impressora 3D a partir de garrafas PET recicláveis, para a construção de materiais educativos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Aspectos gerais sobre os Resíduos Sólidos, legislação e impactos ambientais dos plásticos.

Apesar de várias iniciativas do poder público, grande parte do lixo produzido pela sociedade continua não recebendo o tratamento adequado e entre os motivos que levam à continuidade desse problema, destaca-se a falta de conhecimento, por parte da maioria da população, dos riscos do despejo inadequado de produtos e materiais, sejam eles de origem doméstica ou industrial (Miguel; Cruz, 2020; Szigethy; Antenor, 2021).

A gestão de resíduos sólidos é uma questão primordial no mundo todo, no entanto, apresenta dificuldades em países em desenvolvimento, devido a insuficiência/falta de recursos, tecnologias obsoletas e falta de apoio institucionais, o que gera entre outras coisas o despejo descontrolado a céu aberto e queima de resíduos, representam sérios riscos ambientais e à saúde (Szigethy; Antenor, 2021; Mahajan, 2023). Assim, a má gestão dos resíduos sólidos resulta na produção exagerada e na destinação incorreta desses resíduos (Miguel; Cruz, 2020). O relatório da *International Solid Waste Association* – ISWA (2024) traz uma previsão de que a geração de resíduos sólidos global cresça de 2,3 bilhões de toneladas em 2023 para 3,8 bilhões de toneladas em 2050.

Um dos graves problemas ambientais das cidades é a geração excessiva de resíduos sólidos, tais como os restos orgânicos das cozinhas, as embalagens que envolvem os produtos consumidos diariamente, o desperdício, os pneus, as garrafas de vidro e plástico, as latas de refrigerante, o papel, as

toneladas de resíduos gerados pelas milhões de pessoas nas grandes cidades (Oliveira; Pereira; Pereira, 2018; Miguel; Cruz, 2020; Mahajan; 2023). O Brasil é um dos países que mais gera resíduos sólidos, cuja destinação final, deveria fornecer tratamento adequado com soluções economicamente viáveis e tecnologias atualmente disponíveis (de acordo com a legislação), mas ainda boa parte dos resíduos, acabam sendo despejados a céu aberto, lançados na rede pública de esgotos ou até queimados (Szigethy; Antenor, 2021).

A lei 12.305 de 2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Art 3º, define estes resíduos como:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010, p. 1);

A mesma Lei 12.305/2010, também estabelece os termos “reaproveitamento/reutilização” e “reciclagem” de resíduos sólidos (Art. 3º, XIV e XVIII), sendo “reaproveitamento/reutilização” o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química; e a “reciclagem” é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. Se cumpridas as determinações previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, o problema representado pelos materiais descartados poderá se transformar em solução econômica e social, gerando empregos e recursos, mas são necessários investimentos, em todos os níveis (Szigethy; Antenor, 2021).

A maior preocupação em relação ao meio ambiente tem incentivado a destinação correta dos materiais recicláveis, com o surgimento inclusive de leis municipais que determinam a coleta seletiva em edifícios, indústrias e estabelecimentos comerciais, de tal forma que é possível encontrar com maior frequência nas ruas e estabelecimentos os coletores na cor verde (vidros), amarelo (metais), vermelho (plásticos) e azul (papéis) (Oliveira; Pereira; Pereira, 2018). O Relatório da ISWA (2024) também traz a reciclagem como uma alternativa para combater os problemas ambientais causados pelos resíduos, e informa dados sobre os resíduos no Brasil e no mundo, sendo que, a reciclagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil varia em torno de 3 a 4% (no continente Sul-americano de 6% e a média global de reciclagem é de 19%).

A reciclagem de resíduos de polímeros sintéticos vem evoluindo alinhado com tecnologias disponíveis, deixando de ser apenas uma opção de redução de custos de matéria prima e energia e passando a assumir a responsabilidade social e ambiental compartilhada, em projetos de sustentabilidade das grandes empresas, tornando a reciclagem um eixo importante na economia circular (Macedo *et al.*, 2020). As embalagens plásticas são os primeiros materiais descartados no ato do consumo e muitas vezes não são vistas como um perigo iminente, contudo, estes materiais são os principais causadores da grande quantidade de resíduos sólidos descartados no meio ambiente na atualidade (Fagundes *et al.*, 2019).

Dentre os resíduos de plástico, destaca-se o PET (utilizado em embalagens, garrafas plásticas, tampas, brinquedos, entre outros), classificados como resíduos sólidos, resultantes de várias atividades humanas, e devido à suas propriedades, tornam inviável o seu lançamento direto no meio ambiente, exigindo assim soluções técnica ou economicamente viáveis para sua reciclagem/reaproveitamento (Santos *et al.*, 2018; Costa; Terence, 2020). A capacidade de produção anual de PET em todo o mundo foi de cerca de 30,5 milhões de toneladas em 2019 e espera-se que esse número aumente para aproximadamente 35,3 milhões de toneladas até 2024 (Jaganmohan, 2024).

## 2.2. As relações entre os plásticos, o PET, a sociedade e o meio ambiente

Os plásticos são polímeros formados pela união em cadeia de diversas moléculas com carbono, cuja principal matéria prima é a fração nafta do petróleo, que é encaminhada para as indústrias petroquímicas, onde será separada em diversos compostos dentre esses plásticos (PROPEQ, 2022). A capacidade do plástico de ser moldado em diversos formatos e tamanhos, o tornou matéria prima para confecção de embalagens de vários tipos como sacos, engradados, envelopes, películas filme, embalagens, caixas, frascos, garrafas e muitos outros produtos que acabam sendo descartados no meio ambiente (Fagundes; Missio, 2019; Jones, 2019; Fortuna, 2020; PROPEQ, 2022).

Os plásticos são polímeros não biodegradáveis, o que contribuem para o seu acúmulo, causando impactos tanto nas cidades, quanto no meio ambiente natural, pelo fato de possuírem elevada resistência a degradação demorando anos para se decompor (Fortuna, 2020; Oliveira *et al.*, 2022; Cusano *et al.*, 2023;). A garrafa de plástico PET, por exemplo, pode demorar cerca de 400 anos para se decompor de forma natural no meio ambiente, sem interferência humana, por isso a importância da reciclagem da garrafa PET, pois evita que ela seja descartada de forma inadequada no meio ambiente, causando diversos impactos ambientais, dentre eles poluindo rios e demais corpos hídricos, além de minimizar o consumo da água (Santos; Medeiros; Melo Fiori, 2014; Fortuna, 2020; Oliveira *et al.*, 2022).

Nas cidades o lixo plástico tem causado uma sobrecarga nos aterros e lixões, onde são depositados, ao invés de serem reciclados, podendo levar entre 100 e 400 anos para se degradarem. Além disso, o plástico jogado de forma inadequada diretamente nas ruas causa poluição visual e pode ocasionar alagamentos, decorrentes do entupimento dos bueiros e redes de esgoto, causando transtornos, danos materiais e disseminação de doenças (Oliveira *et al.*, 2022). No ambiente natural esses resíduos acabam por causar a contaminação e morte, de vários animais, que consomem esses produtos durante sua alimentação, devido a semelhança com os alimentos comuns que fazem parte da sua dieta. Esses plásticos não são digeridos e acabam por provocar abrasão ou obstrução do aparelho digestivo, que levam a óbito dos animais. O plástico após sofrer a ação do sol se transforma em partículas menores chamadas microplásticos que são também facilmente confundidos com alimento pelos animais e podem ser ingeridos. A deficiência na gestão dos resíduos plásticos tem causado a morte de animais marinhos, provocada pelo emaranhamento em redes de pesca e a ingestão desses resíduos (Jones; 2019; Fagundes; Missio, 2019; Oliveira *et al.*, 2022).

Os trabalhos de Seibert *et al.* (2022) e Mutiva, Byiringiro e Muchiri (2018) tratam de pesquisas em laboratórios onde apontam o PET reciclado como uma alternativa ambiental e economicamente viável, as quais apenas diferem na forma de aplicação do material e formas de extrusão (variando na forma de flocos, temperatura, entre outros aspectos), em especial para fabricação de filamentos para impressoras 3D. Os filamentos de plásticos usados na impressão 3D, comumente são acrilonitrila

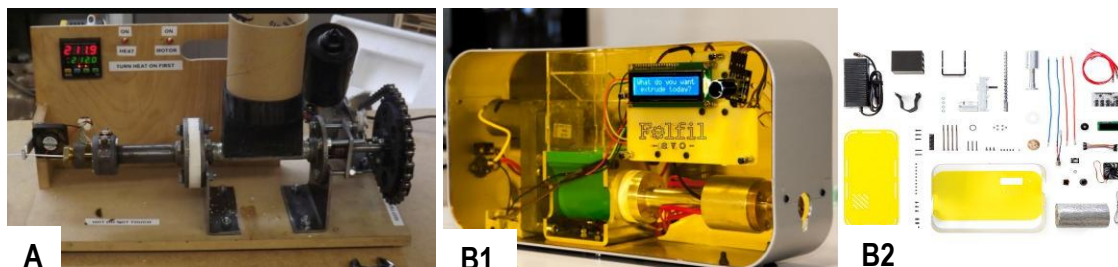
butadieno estireno (ABS) e ácido polilático (PLA), que são muito caros e não são ecologicamente corretos, portanto, a utilização de plástico reciclável como o PET, é uma alternativa mais sustentável e economicamente viável (Mutiva; Byiringiro; Muchiri, 2018).

### 2.3. Modelos de extrusoras de plástico

Extrusão é um processo que consiste em forçar um material moldável a passar por uma matriz com a seção transversal da peça a ser obtida. A extrusão é um processo de fabricação comumente utilizado em muitos setores industriais. Recentemente, com o desenvolvimento de métodos de fabricação digital, especialmente impressão 3D, as técnicas de extrusão têm ganhado um maior interesse (Perrot *et al.*, 2018). A utilização do método de extrusão de material (MEX) utilizado por impressoras 3D, aumentou rapidamente nos últimos anos devido ao seu baixo custo e fácil uso, sendo que esse processo envolve principalmente o processamento de novos plásticos, mas a utilização de materiais recicláveis em MEX como o PET, não é apenas uma opção de reciclagem, mas também uma opção atraente, que pode levar à produção de peças complexas e funcionais (Seibert, 2022).

Existem vários modelos de extrusoras de plástico, variando em escala e material. Dentre os modelos de extrusora de plástico para utilização em ambiente doméstico, podemos citar o modelo de Lyman e Mulier v5. (2014) ou modelo *Lyman Filament Extruder*, e o modelo de Felfil (2023). O Modelo de Lyan é um dos mais antigos, com baixo custo sendo um projeto livre que pode ser compartilhado, copiado e distribuído em qualquer formato, físico ou digital. Já o modelo Felfit, nasceu como um trabalho de conclusão de curso, se trata de uma extrusora no qual os kits (componentes) são adquiridos e a montagem é feita em casa (Figura 1). Ambos os modelos foram baseados em “modelos livres” e estão disponíveis para melhoria/compartilhamentos de seu projeto, desde que explicada as devidas modificações, citando o autor original (Adafruit, 2014; Lyman; Mulier, 2014; Silva, 2018; Felfit, 2023). Ambos fazem o tritramento e reciclagem dos resíduos plásticos (peças defeituosas, bordas, farelos, quebrados, etc.) de peças das impressoras 3D (sendo o plástico PLA e ABS mais comuns), mas não citam a utilização do PET, provavelmente, porque o PET é um termoplástico e possui maior ponto de fusão (280°C), maior do que o plástico ABS (105°C) e o PLA (145 ° C), o que dificulta sua extrusão (Adafruit, 2014; Lyman; Mulier, 2014; Pereira, 2020; Silva, 2018; Felfit, 2023).

**Figura 1:** Modelos de extrusora artesanal, DIY, modelo de Lyman (A), modelo FELFIL (B1) e seus componentes (B2).

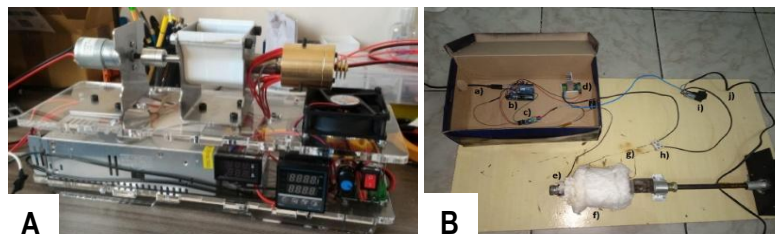


Fonte: Adafruit, 2014 (A); Felfit, 2023 (B1 e B2).

Outros modelos nacionais estão citados nos estudos de Silva (2018) e Pereira (2020), que trabalham com protótipos de extrusora de plástico PET (Figura 2). O modelo de Silva (2018) é mais complexo para montagem, contudo possibilita a adição do Glicol, para formação do PETG. Já o modelo de Pereira (2020) buscou focar num sistema de aquecimento robusto para extrusão do plástico PET e

produzir filamentos. Ambos os modelos obtiveram resultados parcialmente satisfatórios, pois produziram os filamentos, mas a qualidade e o processo ainda precisam de melhorias.

**Figura 2:** Modelos de extrusora artesanal, Silva (A) e Pereira (B).



Fonte: Pereira, 2020; Silva, 2018.

Para atingir o controle fino do processo de extrusão, esforços futuros de pesquisa devem ser concentrados na avaliação de mudanças na distribuição de peso molecular e arquitetura que ocorrem durante a extensão da cadeia. Tal tarefa requer uma combinação de conhecimento fornecido por diferentes métodos analíticos envolvendo síntese, reologia experimental e modelagem (Cusano *et al.*, 2023)

### 3 METODOLOGIA

O protótipo foi construído no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Estado do Piauí - IFPI, *Campus* Teresina Central, Piauí, com material reciclado. O procedimento metodológico utilizado constou de três etapas: Etapa 1 - ocorreu o desenvolvimento de um protótipo de extrusora, barato e de fácil reprodução em ambiente doméstico; Etapa 2 - foram feitos testes do funcionamento da extrusora para análise e para relacionar os possíveis efeitos, erros, ajustes, entre outros, sobre a aplicação desse protótipo pela população; Etapa 3 - foram feitos testes de impressão com o material produzido.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

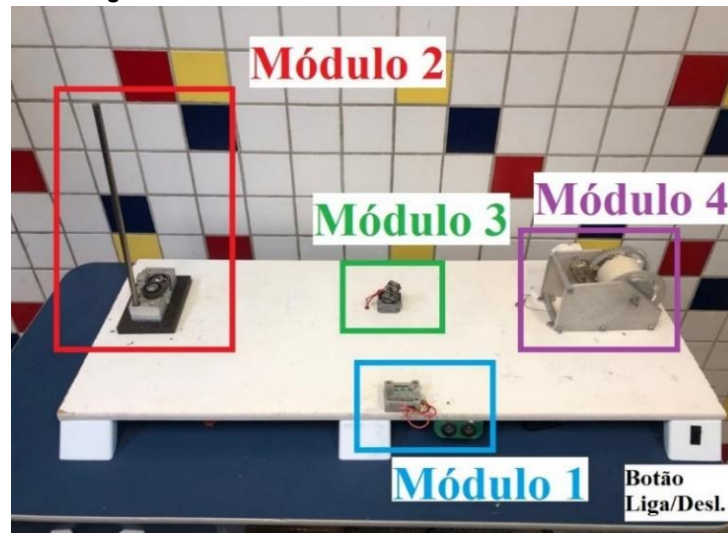
#### 4.1. Descrição do protótipo de extrusora artesanal

A extrusora artesanal produzida é composta por 4 módulos sobre uma superfície de madeira reaproveitada (Figura 3). O módulo 1 (controle) é voltado para controle da temperatura da extrusora e velocidade de saída. O módulo 2 (filetagem/corte) é voltado para o posicionamento e corte da PET. O módulo 3 (extrusão) é o módulo que vai esquentar o material, torná-lo maleável, e a partir deste material sairá o filamento 3D. O módulo 4 (armazenamento) vai puxar o fio pronto e enrolá-lo para armazenagem e transporte (Figura 3).

O protótipo de extrusora foi produzido sobre uma base de madeira, sendo o módulo 1 (módulo de controle) composto por um sensor térmico, um visor LCD, uma placa W1209 (termostato) e botões liga e desliga; o módulo 2 (módulo de filetagem/corte) compõe-se de um sistema roldanas, uma haste de metal, um contrapeso, uma base de suporte, duas roldanas e uma lâmina de estilete. O módulo 3 (módulo de extrusão e aquecimento) é composto por uma base de ferro articulada e um bico de impressora 3D. O módulo 4 (resfriamento e armazenagem) é composto por um motor de rotação contínua e uma base

impressa com PET), duas engrenagens e um cabo fixador (do tipo prensa cabo de aço). É uma extrusora artesanal para produção de filamentos com garrafas PET, de forma barata, segura e eficiente, com base na metodologia proposta. A extrusora artesanal foi pensada como uma forma barata e de fácil reprodução em ambientes domésticos/escolares no modelo “faça você mesmo” ou “Do It Yourself” (DIY).

**Figura 3:** extrusora artesanal de PET e seus módulos.

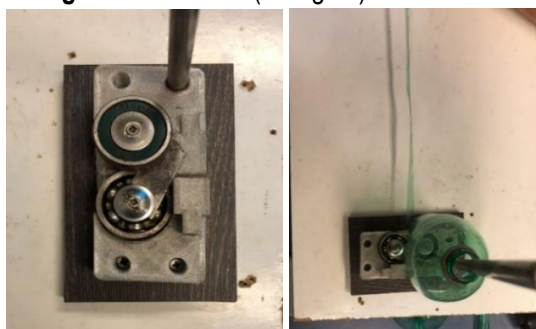


Fonte: Autoria própria, 2023.

O termo DIY traduzido como “faça você mesmo”, mostra a ideia de que você mesmo pode construir bens e recursos, baseado em conhecimentos prévios e facilmente disponíveis para consulta, o que seria um reflexo da democratização de tecnologias para fabricação pessoal, o que reflete também na Tecnologia 3D que se beneficiou desse processo de aumento ao acesso dessas tecnologias DIY (Silva, 2018).

O módulo 1, o módulo de controle, serve para controlar a energia do sistema, a inicialização do bico (módulo 3) verificar/ajustar sua temperatura e o rolamento do carretel (Módulo 4). O módulo 2 (Figura 4) serve para fixar e cortar a garrafa PET. As roldanas foram desgastadas (afiadas) um na parte superior e outra na parte inferior, para o corte da garrafa, além da utilização de uma lâmina de estilete entre elas, para reforçar o corte. Duas roldanas seriam suficientes para cortar a garrafa PET, contudo, com o uso constante e a tensão do material, a roldana pode quebrar na base, portanto, a lâmina foi acrescentada para distribuir a tensão do material e ser substituída à medida que for gasta, pois é mais fácil e barato substituir a lâmina do que afiar e/ou substituir as roldanas.

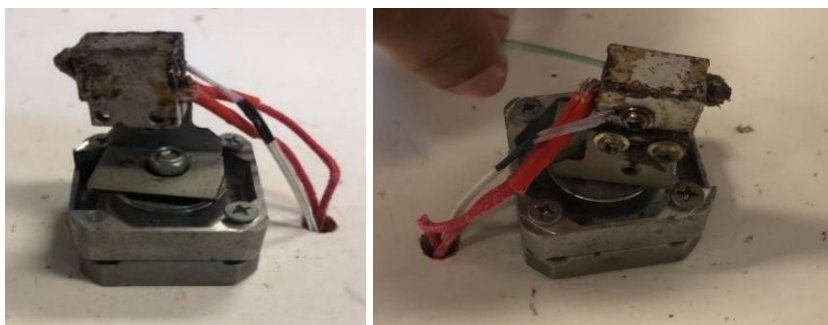
**Figura 4:** Módulo 2 (filetagem) da extrusora.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O módulo 3 (Figura 5) e em especial o bico de extrusão, possuem as partes mais caras, em torno de 50 a 100 reais. Vale ressaltar que o bico exposto apresenta risco de acidentes, pois aquece a altas temperaturas e pode queimar a pele se em contato direto, exigindo para o seu manuseio cuidados especiais.

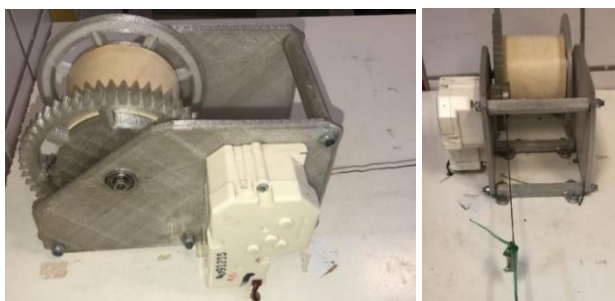
**Figura 5:** Módulo 3 (extrusão) da extrusora.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O módulo 4 (Figura 6) é composto por um motor de rotação contínua, uma base impressa com PET, duas engrenagens (sendo uma delas fixada a um carretel) e um cabo fixador. Na segunda engrenagem é fixado um cabo de aço em uma das extremidades e na outra extremidade um fixador (prensa cabo de aço). Essa estrutura, do módulo 4, será utilizada para enrolar o filamento recém produzido no carretel, de uma ponta a outra, à medida que ele vai esfriando e moldando o filamento na forma final.

**Figura 6:** Módulo 4 (armazenamento) da extrusora.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O custo total do equipamento (extrusora) não ultrapassou 200 reais, pois boa parte das peças foram feitas com materiais reaproveitados, a fim de diminuir custos e promover o reaproveitamento de resíduos sólidos. A base de madeira foi reaproveitada de um guarda-roupa velho, o bico de impressora 3D (gasto) foi reaproveitado e as roldanas eram de um skate velho. Foram comprados os motores, o termostato e o visor de led. As partes feitas de PET (base do módulo 2, as engrenagens e carretel) foram adquiridas por encomendas. Sem o reaproveitamento dos materiais, o custo final do equipamento não deve ultrapassar os 600 reais, isto se deve em virtude da variedade de preços, frete e acabamento.

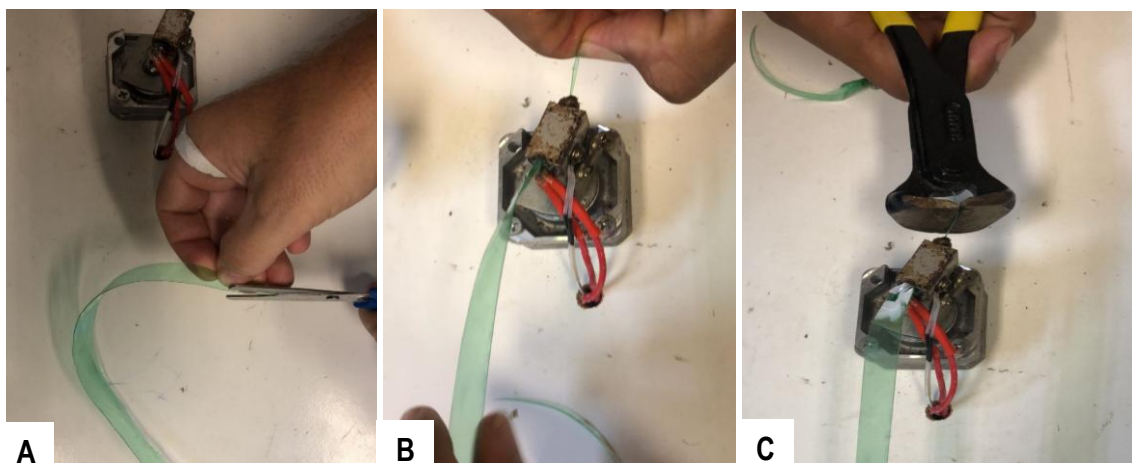
Vale ressaltar que este protótipo de impressora foi adaptado para viabilizar a reciclagem do plástico PET e sua utilização para impressora 3D existente no IFPI. Contudo, a extrusora artesanal de plástico PET, pode ser feita com outras modificações para serem adaptadas a outros tipos de impressoras 3D ou de acordo com a disponibilidade de materiais e componentes.

#### 4.2. Funcionamento e operação da extrusora artesanal

Inicialmente a garrafa de PET foi preparada, limpa e sua base foi retirada. Em seguida a garrafa foi colocada na haste de metal (mostrada no módulo 2, Figuras 3 e 4), usando-se de um contrapeso para fixá-la. Com auxílio das roldanas e da lâmina (módulo 2), a garrafa foi inicialmente filetada manualmente (corte de um filete com espessura de 10 cm) e este filete foi levado até o alcançar o bico de impressora 3D (módulo 3) onde foi fixado. Para a fixação, a parte filetada foi cortada manualmente, na ponta, para ser encaixada no bico da extrusora (Figura 7A). O filamento é levemente aquecido no bico de impressora 3D. O plástico entra filetado e sai extrusado (Figura 7B). O plástico filetado entra com espessura de 10 cm e após passar pelo bico aquecido (extrusão), dobra-se, e passa a ter uma espessura de 1 cm. Esse filete aquecido e extrusado é o filamento de impressora 3D. O filamento extrusado é puxado com um alicate (Figura 7C) até alcançar o fixador do tipo prensa cabo de aço (módulo 4, Figuras 3 e 6). Após a fixação do filamento no fixador, é acionado o motor de rotação contínua (módulo 4, Figura 6), que irá automatizar o processo de produção do filamento. No final, quando a garrafa foi quase toda filetada, as roldanas e a lâmina (módulo 2) cortam a ponta final do filamento de PET.

O processo de fixação do filete é a parte mais complexa e que precisa de mais atenção, pois se colocada de forma incorreta, o fio pode quebrar ou ficar com sua qualidade prejudicada. Vale ressaltar que a ponta cortada (Figura 7A), deve passar pelo bico extrusor inicialmente frio, sendo posteriormente levemente aquecido, para começar a extrusão do PET (Figura 7B). Sugere-se utilizar um alicate para puxar manualmente a ponta do filamento extrusado, para evitar contato com o bico quente de extrusão (Figura 7C), até fixar a ponta no fixador prensa cabo de aço. Recomenda-se também cortar a ponta mais fina, antes de prender no fixador para evitar que se rompa com a tensão inicial.

**Figura 7:** processo de fixação da PET: corte da ponta filetada (A); Passagem da ponta pelo bico (B); aquecimento gradativo e extrusão da ponta (C).



Fonte: Autoria própria, 2023.

No processo automático, o bico da extrusora aquece o plástico até a temperatura máxima de 75,5°C, no qual o plástico vai ser moldado e a parte filetada vai dobrar-se sobre si e formará um filamento com espessura de 1 cm (módulo 3). O filamento recém produzido vai ser puxado, enrolado, moldado e armazenado no carretel (módulo 4), pronto para ser utilizado nas impressões 3D. No final do processo, pode ocorrer alguns estalos e a ponta se solte bruscamente, isso ocorre pela liberação da tensão, porém,

os testes de segurança demonstraram que a tensão não foi suficiente para quebrar a máquina, arrancar pedaços ou fazer voar algum fragmento.

Ainda sobre a segurança do sistema, verificou-se que a temperatura não é suficiente para derreter o PET, pois este possui ponto de fusão em torno de 230°C, portanto, o risco de o material pegar fogo é baixo, mesmo com temperaturas externas elevadas. A ponta de extrusão (módulo 3) não pode ser tocada enquanto o material estiver sendo moldado/extrusado. Caso ocorra algum rompimento do fio de PET, a extrusora deve ser desligada e reiniciada apenas depois que a ponta esfriar (em torno de 5 a 20 min dependendo da temperatura ambiente). No final do processo ocorre a liberação da tensão e sugere-se afastar os olhos/rosto do módulo 4 ou desligar o equipamento antes que a ponta saia completamente pelo bico, para evitar acidentes com a ponta quente ou com a saída brusca do fio. Em todo caso, deve-se fazer a retirada do material com o equipamento desligado e frio (pelo menos 5 min) com auxílio de luvas, tesoura e alicate. Assim recomenda-se o uso de proteção (óculos de proteção, luvas e alicate) quando manusear a extrusora.

#### 4.3. Teste dos materiais produzidos na extrusora e na impressora 3D

A extrusora desenvolvida consegue produzir tiras de PET tanto filetadas com (espessura de 10 cm) quanto extrusadas (espessura de 1 cm) (Figura 8). Para produzir apenas tiras filetadas basta conectar módulo 2 diretamente no módulo 4. Estes diferentes formatos podem também ser empregados em outras atividades além da impressão 3D, como por exemplo, em artesanato com PET.

**Figura 8:** Material filetado e extrusado de espessura de 1 cm (esquerda), material apenas filetado de espessura de 10 cm (direita).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Uma garrafa PET de 1 L pode produzir um filamento de dois metros com aproximadamente 100g de PET. Esta quantidade de filamento é suficiente para produzir diversos materiais pequenos na impressora 3D, tais como, dados, chaveiros e brinquedos pequenos (Figura 9). Para objetos maiores é necessário juntar mais filamentos.

Ao utilizar o PET na impressão é necessário observar alguns detalhes na etapa de modelagem 3D (desenho feito em CAD no computador) e durante a impressão. Na modelagem 3D, sugere-se colocar mais camadas/cortes (*layers*) no desenho e quando houver estrutura de suporte (colunas destacáveis) fazer mais espaçadas para não danificar a peça na hora do corte. Sobre a impressão dos objetos, é necessário ter um maior cuidado com a temperatura externa, pois o PET pode esfriar mais rápido se houver uma saída de ar direto no equipamento, bem como descolar da mesa de impressão. Vale ressaltar que o filamento com PET é mais liso do que o de ABS convencional além de ser oco, o que pode gerar algumas falhas na impressão 3D, no caso da impressora 3D da marca Ender foi adaptado uma borracha no mecanismo de captura do filamento, para que o mesmo não escorregasse e saísse da máquina.

Outras adaptações foram feitas durante a modelagem do objeto no Tinkercad<sup>2</sup> a fim de evitar erros e problemas na impressão, tais como, derretimento da peça, camadas separadas, *warping* (empenamento), bico entupido, bolhas, entre outros.

**Figura 9:** Objetos impressos com filamento de PET em Impressora 3D.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Os filamentos convencionais de impressão 3D utilizam ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e PLA (ácido polilático) que são muito caros, a utilização de plástico reciclável como o PET, seria uma alternativa mais sustentável e economicamente viável (Mutiva; Byiringiro; Muchiri, 2018). A impressora 3D apresenta como principal vantagem a possibilidade de imprimir diversos objetos, de forma personalizados para diversas funções, sejam elas educativas, ilustrativas, usando a reciclagem do PET contribuindo para evitar seu descarte no meio ambiente.

## 5 CONCLUSÃO

A extrusora artesanal de PET, montada e descrita neste trabalho, possibilita a reciclagem de garrafas PET, produzindo filamentos para impressora 3D, em ambientes domésticos, empresarial e escolares, contribuindo para evitar o descarte das garrafas PET no meio ambiente. A impressora 3D é uma nova tecnologia que possibilita realizar a impressão de diversos objetos 3D, de forma personalizada para diversas funções, sejam elas educativas, ilustrativas, entre outras finalidades. Vale ressaltar o potencial educacional que esta ferramenta pode ser utilizada, pois diversas disciplinas da base comum (física, química, biologia, informática, etc.), bem como disciplinas da base técnica (mecânica, eletrônica, reciclagem, reaproveitamento de resíduos sólidos, engenharia de materiais, etc.), podem utilizar tanto a extrusora, como os filamentos e objetos impressos na impressora 3D como objetos de seus respectivos estudos, tornando o processo de ensino e aprendizado mais dinâmico e interativo, além de promover a Educação Ambiental e o reaproveitamento do PET. O filamento de PET produzido com a extrusora é muito mais barato do que o filamento convencional (plásticos ABS e PLA), com a vantagem de reciclar um resíduo que, se descartado de forma incorreta, causaria danos ao meio ambiente.

<sup>2</sup> Tinkercad: é um programa de modelagem tridimensional online, gratuito, simples e fácil de usar que roda diretamente em navegador da web.

**AGRADECIMENTOS.** Ao IFPI e ao laboratório do IFPI, o LIMS (Laboratory of Innovation on Multimedia Systems) pelo espaço para realização dos experimentos.

**CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES.** JHSJ, FCBGS, FJBS, VGFV, EMV, DSFV: Conceituação, Metodologia; JHSJ: Hardware, Curadoria de dados, Análise formal, Redação – revisão e edição; FCBGS, FJBS, VGFV, EMV, DSFV: Visualização, Investigação, Validação; Aquisição de financiamento, Administração do projeto, Recursos, Supervisão; FSS, RCA, PMSC, LACJ, ALS, JFSS, SNS, ALPN APAD: Metodologia, Redação – rascunho original.

**CONFLITO DE INTERESSE.** Os autores declaram que não têm interesse comercial ou associativo que represente um conflito de interesses em relação ao manuscrito.

**APROVAÇÃO ÉTICA.** Não se aplica.

## REFERÊNCIAS

- ADAFRUIT. **DIY 3D Filament – Lyman Filament Extruder**. Disponível em: <https://blog.adafruit.com/2014/08/21/lyman-filament-extruder/>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 12 abr. 2023.
- MUTIVA, B. L.; BYIRINGIRO, J. B.; MUCHIRIA, P. N. A study on suitability of recycled polyethylene terephthalate for 3D printing filament. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering** (IOSR-JMCE), v. 15, n. 2, p. 4-9, 2018. Doi: 10.9790/1684-1502030409. Disponível em: <https://repository.dkut.ac.ke:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/691/A%20Study%20on%20Suitability%20of%20Recycled%20Polyethylene%20Terephthalate%20for%203D%20Printing%20Filament.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- COSTA, I.; TERENCE, M. C. Viabilidade técnico-econômica de filamento para impressoras 3D. In: XV Jornada de Iniciação Científica e IX Mostra de Iniciação Tecnológica - 2019. **Anais [...]**. [S.l.]: [s.n.], São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2020. Disponível em: <http://eventoscopq.mackenzie.br/index.php/jornada/xvjornada/paper/viewPaper/1776>. Acesso em: 15 out. 2025.
- CUSANO, I.; CAMPAGNOLO, L.; AURÍLIA, M.; COSTANZO, S.; GUIZZUTI, N. Rheology of recycled PET. **Materials**, v. 16, n. 9, p. 3358, 2023. Doi: 10.3390/ma16093358. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/9/3358>. Acesso em: 15 out. 2025.
- FADEL, A. S.; GOULART, A. S. Impressão 3d – o impacto da popularização e acesso no varejo brasileiro. **G&P Revista de Gestão e Práxis**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2019. Doi: 10.22295/rgp.v1n1a1. Disponível em: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-gestao-praxis/pdf/v1n1-2019/1-ART-v.1-n.1-jan.jun.2019.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2022.

FAGUNDES, L. M.; MISSIO, E. Resíduos plásticos nos oceanos: ameaça à fauna marinha. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 3, p. 2396-2401, 2019. Doi: 10.34117/bjdv5n3-052. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/2157>. Acesso em: 15 out. 2025.

FELFIT. **Make your own 3D printing filament with Felfil filament maker system**. 2022. Disponível em: <https://felfil.com/?v=5ea34fa833a1>. Acesso em: 10 nov. 2022.

FORTUNA, A. L. L. **Impactos ambientais dos plásticos: biopolímeros como alternativa para a redução do acúmulo de embalagens flexíveis de polipropileno no meio ambiente**. 2020, 124f. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ. 2020.

ISWA - International Solid Waste Association. **Global waste management outlook 2024: beyond an age of waste, turning rubbish into a resource**. United Nations Environment Programme. 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/panorama-global-do-manejo-de-residuos-em-2024>. Acesso em: 4 jul. 2024.

JAGANMOHAN, M. **Global production capacity of polyethylene terephthalate 2014-2024**. Statista Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/242764/global-polyethylene-terephthalate-production-capacity/#statisticContainer>. Acesso em: 4 jul. 2024.

JONES, F. A ameaça dos microplásticos. **Revista Pesquisa Fapesp**, n. 281, p. 25-28, 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ameaca-dos-microplasticos>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LYMAN, H.; MULIER, F. **Lyman/Mulier Filament Extruder v5**. 2014. Disponível em: <http://www.thingiverse.com/thing:380987>. Acesso em: 5 fev. 2024.

MACEDO, I. M. E.; SOUZA, M. D. L. C.; SHINOHARA, N. K. S.; SANTOS, C. S.; SILVA, M. K. G. Reciclagem do Polietileno Tereftalato (PET) no Fomento da Economia Circular. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 57704-57723, 2020. Doi: 10.34117/bjdv6n8-252. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/14939> . Acesso em: 16 oct. 2025.

MAHAJAN, R. Environment and health impact of solid waste management in developing countries: A review. **Current World Environment**, v. 18, p. 18-29, 2023. Doi: 10.12944/CWE.18.1.3. Disponível em: <https://www.cwejournal.org/vol18no1/environment-and-health-impact-of-solid-waste-management-in-developing-countries-a-review/> . Acesso em: 15 out. 2025.

MIGUEL, V.; CRUZ, J. A. Educação ambiental aplicada na reutilização de garrafas PET. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 3, p. 265-273, 2020. Doi: 10.36551/rsn.v4i3.641. Disponível em: <https://sitionovo.iftu.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/641>. Acesso em: 2 abr. 2022.

- OLIVEIRA, T. C. A.; MOTA, I. O.; MONTORO, S. R.; BANDEIRA, C. F. Plásticos no meio ambiente: impacto do descarte inadequado. *In: Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares*, 1., 2022, Volta Redonda, RJ. **Anais** [...]. Volta Redonda, RJ: UNIFOA, 2022. p. 1-8. Doi: 10.47385/tudoeciencia.62.2022. Disponível em: <https://conferencias.unifoa.edu.br/tc/article/view/62>. Acesso em: 15 out. 2025.
- OLIVEIRA, G. S.; PEREIRA, S. G.; PEREIRA, W. A. Reciclagem de garrafa PET como suporte na educação ambiental no contexto escolar. **Educação Ambiental em Ação**, v. 14, n. 55, p. 1-15, 2018. Disponível em: <http://revista.uea.org/artigo.php?idartigo=2284>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- PEREIRA, P. V. S. **Extrusora de termoplástico PET para produção de filamentos para impressão 3d: sistema de aquecimento**. 2020, 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, 2020.
- PERROT, A. RANGEARD, D.; NERELLA, V. N.; MECHTCHERINE, V. Extrusion of cement-based materials-an overview. **RILEM Technical Letters**, v. 3, p. 91-97, 2018. Doi: 10.21809/RILEMTECHLETT.2018.75. Disponível em: <https://letters.rilem.net/index.php/rilem/article/view/75>. Acesso em: 15 out. 2025.
- PROPEQ - Projeto e Pesquisa em Engenharia Química. **Tipos de plástico, suas características e aplicações**. 2022. Disponível em: <https://propeq.com/tipos-de-plasticos-e-suas-aplicacoes>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Poli (tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros**, v. 19, p. 121-132, 2009. Doi: 10.1590/S0104-14282009000200009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/M977rShFktsw4DpHbqk6KYN/>. Acesso em: 15 out. 2025.
- SANTOS, C. M. A.; GONÇALVES, A. C. R.; CINTRA, A. C.; SILVA, L. A.; ROSSI, A.; OLIVEIRA, H. P.; ALVES, V. A. Processo de reciclagem química de PET em meio alcalino: efeito da concentração do íon hidróxido, da cor do PET e do tempo de reação. **Matéria**, v. 23, p. 1-13, 2018. Doi: 10.1590/S1517-707620180004.0537. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/3sjdqpsF87PzJcgL48tDx8F/>. Acesso em: 15 out. 2025.
- SANTOS, R. M.; MEDEIROS, E. R. A.; MELO FIORI, A. P. S. Reutilização da garrafa PET como alternativa de educação ambiental para crianças do ensino fundamental I: Estudo de caso. **EXTIFAL**, v. 2, n. 1, p. 102-108. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ifal.edu.br/extifal/article/view/179/132>. Acesso em: 15 out. 2025.
- SEIBERT, M. B.; MAZZEI CAPOTE, G. A.; SCHNEEVOGT, H.; OSSWALD, T. Manufacturing of a PET filament from recycled material for material extrusion (MEX). **Recycling**, v. 7, n. 5, p. 69, 2022. Doi: 10.3390/recycling7050069. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/7/5/69>. Acesso em: 15 out. 2025.

SILVA, F. M. R. **Projeto de extrusora de filamento para impressora 3D**. 2018, 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25690>. Acesso em: 15 out. 2025.

SOUZA, D. V. D.; HUPPES, F. S. Projeto de protótipo de extrusora para produção de filamento de impressora 3D. 2017. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10482>. Acesso em: 15 out. 2025.

SZIGETHY, L.; ANTENOR, S. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade, Brasília, DF, 1 out. 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso: 14 jun. 2024.