

## ANÁLISE DE EQUIPAMENTO “DIY” DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIA

Mariana Leite de Araújo – [l.mariana.leite@gmail.com](mailto:l.mariana.leite@gmail.com)

Dianne Magalhães Viana – [diannemv@unb.br](mailto:diannemv@unb.br)

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia – Depto. de Engenharia Mecânica

Campus Darcy Ribeiro, L3 Norte

70910-900 – Brasília – DF

**Resumo:** Este trabalho aborda a implementação do conceito por trás do projeto *Precious Plastic*, em ambiente acadêmico. No âmbito da “cultura maker” de criação colaborativa e interdisciplinaridade de projetos, o projeto *Precious Plastic*, criado pelo holandês Dave Hakkens, propõe a construção de quatro máquinas de processamento para reciclagem de termoplásticos comuns - são estas: uma trituradora, uma injetora, uma compressora e extrusora. Considerando os preceitos sobre criação colaborativa e sustentabilidade, o presente trabalho propõe a análise de uma dessas máquinas, no caso, a injetora, no aproveitamento de resíduos de polímeros termoplásticos. Também propõe a aplicação do equipamento em atividades de ensino e extensão, de maneira a proporcionar experiências de uma aprendizagem ativa e criativa.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, Aprendizagem ativa, *Precious Plastic*.

### 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia presente nos meios de fabricação de produtos para consumo em massa, embora eficiente, é a mesma que potencializa a transformação de produtos plásticos em resíduos poluentes. É bem sabido, que o descarte de plástico se constitui em grave ameaça aos ecossistemas marinhos, aos lençóis freáticos e à saúde de seres humanos e animais. Por outro lado, tal situação pode ser minimizada usando-se o alto potencial de reciclagem dos plásticos.

Nessa perspectiva, e considerando-se as constantes inovações que aceleram a democratização de alguns dos processos produtivos no campo da fabricação, espaços conhecidos como *makerspaces* têm apresentado expressiva difusão, tanto em meio acadêmico, quanto comercial e comunitário. Tal fenômeno ocorre, pois esses espaços são viáveis ao público que os frequenta no que se refere a custos, e, ainda, conferem poder e autonomia a seus usuários quando alcançada a fusão entre conhecimento científico e técnicas de fabricação digital. De outro modo, associada à popularização, nos espaços que dispõem de impressoras 3D do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*), cria-se uma demanda para lidar com o resíduo plástico gerado pelos descartes de impressão.

Desse modo, diante do pensamento sobre como lidar com a crescente poluição por plásticos e aproveitando a popularidade dos *makerspaces*, surge o projeto *Precious Plastic*, (2020), de código aberto, concebido pelo designer Dave Hakkens para capacitar pessoas na gestão sustentável de seus resíduos plásticos. Nessa proposta, quatro máquinas desenvolvidas essencialmente para serem montadas e aplicadas na forma de atividades *DIY*<sup>1</sup> (*Do It Yourself*), a saber: uma injetora, uma extrusora, uma compressora e uma trituradora, têm seus projetos

<sup>1</sup> “Faça você mesmo” se aplica a atividades de criação, montagem ou reparação sem o apoio de profissionais.

compartilhados e explicados abertamente, para que cada vez mais pessoas possam implementar processos de reciclagem, tanto em sua vida cotidiana, quanto profissional.

O objetivo geral do presente trabalho consiste em analisar a injetora, construída a partir do projeto *Precious Plastic*, para a produção de injetados com material reciclado - polímeros termoplásticos - visando a possibilidade de aplicação deste equipamento em atividades de ensino e extensão.

Nesse contexto, o presente trabalho aborda a possibilidade de aproveitamento de resíduos termoplásticos de impressão 3D produzidos em *makerspaces*, principalmente laboratórios de fabricação digital de instituições de ensino e, ainda, motiva os estudantes usuários desses ambientes a adquirirem e criarem conhecimentos para reciclar os materiais de maneira eficiente, educativa e abrangente.

No âmbito da Universidade de Brasília, este estudo teve o apoio da Faculdade de Tecnologia por meio do Laboratório Aberto de Brasília - LAB, espaço dedicado para inovação tecnológica e fabricação digital, do qual foram obtidos os resíduos termoplásticos utilizados no desenvolvimento dos testes apresentados no trabalho.

A pesquisa tecnológica desenvolvida é qualitativa e a metodologia envolve a construção do equipamento, teste, análise dos resultados do produto injetado e avaliação quanto ao aproveitamento do equipamento nas atividades de ensino e extensão. Aspectos quanto aos seguintes pontos serão discutidos: 1) quanto ao uso: individual, trabalho em grupo ou demanda de produção em espaços de criação digital; 2) quanto à integração nos espaços de criação e ensino-aprendizagem; 3) quanto à relevância nas atividades de ensino e extensão.

Espera-se que os resultados obtidos e as propostas aqui apresentadas contribuam para a implementação de políticas de sustentabilidade nos laboratórios, seja para reduzir o descarte de plásticos na natureza, ou seja para uma melhor formação dos estudantes, ao despertá-los para questões sustentáveis e inteligentes, tendo em vista a proteção ambiental e as novas tendências de produção e design de produtos em aplicações do projeto de engenharia.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

O desenvolvimento deste estudo tem como base os trabalhos de Gershenfeld (2012) do MIT<sup>2</sup>, que relacionou pesquisa e ensino em uma proposta de laboratório digital em ambiente acadêmico como instrumento de aprendizagem, o que deu origem aos *FabLabs*; Blikstein (2013), da Universidade de Stanford que defende a instalação de laboratórios de fabricação digital em escolas, fundamentado nos trabalhos de John Dewey, Seymour Papert e Paulo Freire; e Hakkens (2018) que traz a discussão de sustentabilidade e propõe soluções para a reciclagem de termoplásticos.

### 2.1 Os FabLabs como instrumentos de aprendizado em meio acadêmico

No início dos anos 2000, o CBA - MIT<sup>3</sup> promoveu, sob o comando de Neil Gershenfeld, a disciplina intitulada "*How to create (almost) anything*", sob o pretexto de se estudar os limites entre ciência da computação e ciência física. Em princípio, a disciplina foi concebida para ensinar um pequeno grupo de estudantes e pesquisadores a usar as ferramentas – máquinas de comando numérico (CNCs) - desenvolvidas pelo CBA. Entretanto, e para surpresa do departamento, essa expectativa foi superada diante da demanda crescente entre os estudantes, que simplesmente queriam construir coisas (GERSHENFELD, 2012).

Assim, aqueles que simplesmente queriam construir coisas, passaram a ser chamados de fabricantes individuais, ou simplesmente *makers*, cuja principal motivação consiste em

<sup>2</sup> Massachusetts Institute of Technology.

<sup>3</sup> Center for Bits and Atoms of Massachusetts Institute of Technology.



fabricar, tendo em vista que cada item produzido por uma máquina digital pode ser customizado de acordo com as preferências do usuário, a partir de um computador convencional.

Em virtude do sucesso da disciplina do ponto de vista prático e educacional, o CBA passou a contar com financiamento da *National Science Foundation*, para lançar um projeto que ultrapassasse os limites do meio acadêmico. Nele, além de descrever o trabalho desenvolvido com estudantes e máquinas de fabricação digital, os pesquisadores do CBA, com a intenção de proporcionar o acesso às máquinas-ferramentas, desenvolveram um conjunto de máquinas, que inclui uma cortadora à laser CNC, uma impressora 3D e duas fresadoras, também CNCs de grande e pequeno porte. Todas as máquinas foram conectadas por um software, dando origem portanto, aos *FabLabs*, Laboratórios de Fabricação.

Por meio da replicação crescente destes *FabLabs* em espaços tanto comerciais quanto comunitários, Gershenfeld (2012) relata a inclusão destes em um plano maior designado movimento *maker*, ou movimento do “faça você mesmo”, de alta tecnologia, que acaba por democratizar o acesso aos modernos meios de fabricar coisas, e orienta cada vez mais pessoas a ingressarem em carreiras de ciência e tecnologia. Além disso, grande parte do sucesso dessa iniciativa está vinculado à capacidade de compartilhar projetos com outros laboratórios.

Para promover inovação no modo como as pessoas aprendem nos *FabLabs*, Gershenfeld (2012) relata que a rede *FabLab* lançou o programa *Fab Academy*. O *Fab Academy* conectou *FabLabs* locais, para formarem uma espécie de rede. Através do acesso às máquinas e ferramentas, os estudantes e *makers*, que lá frequentam, são cercados de colegas e mentores para guiá-los. Eles participam de aulas interativas, vídeoaulas e compartilham entre si os materiais e instruções *online*.

## 2.2 A aprendizagem ativa nos espaços de fabricação digital

De acordo com Blikstein (2013), com a popularização dos espaços *maker*, especialmente por volta de ano de 2012, escolas, museus, bibliotecas e centros comunitários ao redor do mundo, aderiram ao movimento *maker* abrindo espaços dedicados para a fabricação digital. As facilidades de se criar e editar projetos por meio do computador, e carregá-los no *software* de comando das máquinas de fabricação digital, tornou a prática pedagógica por trás da cultura *maker* aplicável tanto a setores formais como informais da tecnologia.

Embora as ideias difundidas por este movimento tenham seus precursores no século passado, as novas tecnologias digitais, cada vez mais acessíveis em termos de custo e utilização, promovem os três pilares pedagógicos da cultura *maker*: educação experimental, construtivismo, e pedagogia crítica.

Ainda segundo Blikstein (2013, p. 4 e p.5), em termos da necessidade de educação experimental, teóricos como John Dewey, defendem que a educação deve ser mais “prática” e “experimental”, diretamente conectada com objetos do mundo real; aliadas a esta filosofia, as ideias defendidas por Freire (1974), na consolidação e no desenvolvimento das capacidades e autonomia dos indivíduos por meio da educação, têm seu foco voltado para uma construção curricular significativa, onde esses indivíduos tenham inspiração em elementos de sua cultura local, para a solução de problemas. Assim, devem passar com facilidade pelos estados de “consciência do real”, para “consciência do possível”, transpondo as situações limitantes na busca de novas alternativas. Todo esse processo se torna tanto educativo como capacitador para o aprendiz, quando este se encontra fortemente conectado com problemas significativos de sua realidade. Já na construção do conhecimento, os resultados são extremamente positivos quando os estudantes constroem e publicam seus objetos de estudo.



Dentro do ensino nas faculdades de engenharia, essas ideias encontraram mais difusão com a criação dos laboratórios de fabricação digital, onde os estudantes passam a ter maior contato com abordagens de aprendizagem criativa, e contar com a liberdade de desenvolver autonomia na criação e execução de projetos individuais. Também é possível notar, que disciplinas como resistência dos materiais, desenho técnico assistido por computador, que são básicas na formação em engenharia, além das disciplinas mais específicas que envolvem construção de protótipos, podem utilizar os espaços *maker* para motivar a aprendizagem dos conteúdos. Com o auxílio de máquinas como impressoras 3D e as injetoras de plástico, por exemplo, a produção peças, modelos em escala, corpos-de-prova, e a matéria prima necessária para o trabalho, pode ser produzida a partir de material plástico de descarte.

### 2.3 O projeto *Precious Plastic* e o combate à poluição por plástico

Ao ser confrontado com o fato de que menos de 10% de todos os plásticos produzidos chega a ser reciclado, Hakkens (2018), percebeu que o problema poderia ser combatido mais efetivamente, se as pessoas atuassem de maneira conjunta, e adaptou processos industriais para uso em uma escala menor e à realidade doméstica. Uma vez que os processos mecânicos não são de alta complexidade e podem ser executados com materiais de baixo custo.

Porém, não se pode repensar as aplicações de plástico reciclado sem antes conhecer suas propriedades e características de processamento. Em virtude disso, grande parte da motivação de Hakkens está, também, na investigação e ampla divulgação de como trabalhar, usar e administrar plásticos, sobretudo os descartados.

O projeto *Precious Plastic* (2020) foi criado em 2013 pelo designer Dave Hakkens e tem como meta envolver a maior quantidade de pessoas possível no combate à poluição por plásticos. Sendo assim, tornou-se uma comunidade global de centenas de milhares de pessoas, que trabalham em torno de uma solução para reduzir esse tipo de poluição, onde conhecimento, ferramentas e técnicas são compartilhados gratuitamente *online*.

No intuito de tornar o projeto o mais simples possível e compartilhado de maneira gratuita e customizável, Hakkens (2018) defende viabilizar o acesso, potencializar a criação de soluções e adaptações por parte do usuário para introduzir melhorias no processo que se adeque melhor à sua realidade. Com o conjunto de máquinas composto por uma trituradora e máquinas de extrudar, prensar e injetar, é possível moldar o plástico descartado e produzir desde objetos pequenos, até vigas, chapas e filamentos para impressão 3D, alterando-se basicamente, o tipo de conformação mecânica, após o processo de derretimento do plástico.

A ideia não está somente em reproduzir objetos, mas ao produzi-los, pensar em como torná-los mais apropriados para serem reciclados novamente no futuro, além de como coletar, separar e armazenar os plásticos para transformá-los em matéria-prima.

## 3 METODOLOGIA

Para analisar a injetora visando a possibilidade de aplicação deste equipamento em atividades de ensino e extensão, foram consideradas as seguintes etapas: (i) Construção e montagem do equipamento a partir do projeto *Precious Plastic*, adaptando-o para os materiais e processos disponíveis no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília; (ii) Projeto e fabricação dos moldes; (iii) Realização de testes de funcionamento; (iv) Avaliação da qualidade do injetado com material reciclado, ABS e PLA.

### 3.1 Processo de construção e montagem da injetora

A Figura 1 indica os principais elementos constituintes da máquina injetora. Todas as informações necessárias para a fabricação dos componentes, bem como os esquemas de

ligação elétrica dos controladores de temperatura, estão disponíveis na plataforma *Precious Plastic*. Estudado o projeto procedeu-se a fabricação das partes.

Os materiais necessários para construção da máquina injetora são: tubo de aço sem costura interna, barra de aço para servir como pistão, e tubos de aço de seção quadrada 30x30mm. É necessário ainda adquirir os componentes eletrônicos, que são basicamente, dois controladores do tipo PID, 4 resistências para aquecimento de tubos, dois termopares e dois relés de estado sólido (SSR).

A fabricação inicia-se com o corte, dobra e soldagem do funil, o corte do tubo de aço que constituirá o cilindro de fusão característico de máquinas injetoras, e o corte das barras que serão usadas para montagem da estrutura.

Na etapa de montagem, o funil é acoplado ao tubo de aço, nele, são inseridas resistências elétricas para o aquecimento da massa plástica em seu interior, e um pistão, feito por uma barra de aço maciça, e acionado por alavanca manual, a qual atuará empurrando a massa plástica derretida para dentro de um molde.

Figura 1 – Elementos constituintes da máquina injetora.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2 Projeto e fabricação dos moldes

O molde deve ser acoplado ao cilindro de fusão por meio de conexões hidráulicas padrões, que funcionarão como o bico de injeção. Idealmente, o molde é fabricado em aço ou alumínio usinado, mas também podem ser utilizados moldes de madeira, silicone, gesso, e em até mesmo polímeros.

Para a escolha dos materiais a serem utilizados no projeto dos moldes pode ser utilizado como referência o trabalho de Kriesi, Bjelland e Steinert (2018) que, construíram uma injetora *DIY* para realizar operações fora da escala industrial e testaram diversos materiais de moldes em seus estudos de prototipagem de peças injetadas. Os testes foram feitos de diferentes materiais de baixo custo e seus produtos injetados resultantes, testados e analisados quanto a aparência e resistência à flexão, juntamente com simulação por elementos finitos de seu comportamento mecânico. Os resultados mostraram que moldes feitos de madeira revestida com epóxi; espuma HDPU revestida com epóxi; alumínio (AA 6082-T6); polímero fotossensível (VeroBlackPlus); e até mesmo papel compactado, podem produzir moldes para objetos injetados de boa qualidade, uma vez que os parâmetros da máquina e características do material sejam ajustados e calculados corretamente.

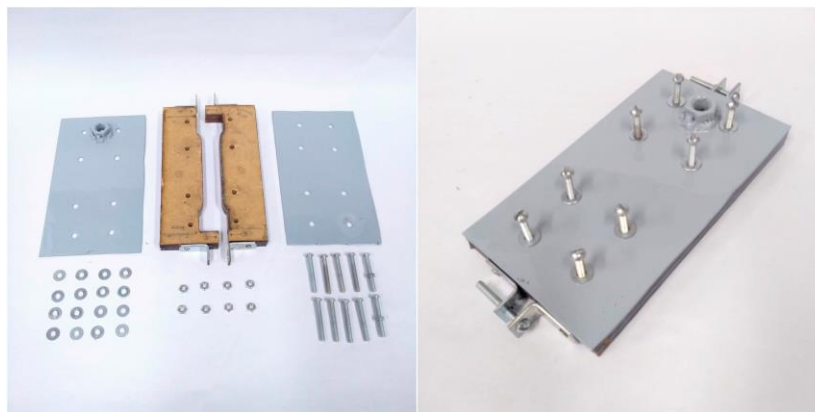
Com base no trabalho de Kriesi, Bjelland e Steinert (2018), o molde para a injetora foi feito de MDF revestido com resina epóxi, e a cavidade a ser preenchida por plástico, fabricada por corte a laser.

Embora as técnicas de fabricação para esta tarefa permeiem tanto o campo artesanal quanto o técnico, o método de avaliação do funcionamento da injetora, e da qualidade do material reciclado, consiste em um primeiro momento, na análise visual das peças injetadas quanto à textura, brilho e suavidade da superfície. A partir desse resultado, é possível realizar uma análise qualitativa do processo proposto.

A geometria escolhida para gerar os produtos injetados, foi a do corpo de prova para a norma ASTM D638 (2014). Embora não sejam abordados aqui os testes mecânicos, o intuito nessa escolha de geometria, esteve voltado para a possível aplicação desses injetados em atividades pedagógicas futuras referentes à disciplinas como mecânica dos materiais, mecânica aplicada, entre outras.

Os resultados considerados bem-sucedidos serão aqueles que gerarem o objeto com melhor aparência visual e resistência mecânica nos ensaios. A Figura 2 apresenta o molde com todos os seus componentes e montagem final.

Figura 2 – Molde de placas de MDF.



Fonte: Autoria própria.

### 3.3 Realização de testes de funcionamento do equipamento de injeção

Inicialmente, o planejamento para os testes do equipamento teve como intuito avaliar suas capacidades de operação/injeção, manutenção, e limpeza, para por fim, avaliar suas capacidades de aplicação em espaços de ensino e criação digital.

Os polímeros escolhidos para os testes de injeção, foram ABS e PLA, provenientes dos descartes de impressão 3D do Laboratório Aberto de Brasília – LAB, aplicados ao molde de MDF e chapas de aço, como consta na Figura 3.

Os testes de injeção foram feitos dentro das dependências da Faculdade de Tecnologia da UNB, no período de agosto a novembro de 2019, à temperatura e umidade relativa ambientes.

### 3.4 Avaliação do equipamento para uso em atividades de ensino e extensão

Quanto às necessidades do equipamento para seu completo aproveitamento em atividades de ensino e extensão, espera-se que este possa ser operado dentro de salas de aula e laboratórios, desmontado e limpo por qualquer pessoa que esteja fazendo seu uso, e que apresente facilidade no controle eletrônico de temperatura. Essas características são importantes do ponto de vista de aplicação em oficinas, trabalhos em grupos e workshops, pois a praticidade de uso, potencializa o aprendizado, especialmente quando mais de uma





pessoa é capaz de ter contato com o material/equipamento. Entender todas as etapas do processo, e poder modificar componentes, é o ingrediente transformador, para motivar a pesquisa e o aprendizado dentro de áreas como: projeto de sistemas mecânicos, desenho técnico de componentes, planejamento sustentável de processos e etc.

Para tanto, serão avaliados os tempos de cada ação de operação do equipamento ( tempo de ajuste de temperatura, tempo de injeção e tempo de desmoldagem, por exemplo), bem como o aspecto visual e qualidade dos corpos injetados. Pois, quanto menor o tempo de preparação e utilização do equipamento, mais pessoas podem utilizá-lo; e quanto melhor a qualidade das peças injetadas, maiores são as chances de sucesso em prototipagem de moldes, ou elementos de máquina.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

### 4.1 Resultados da construção da máquina e testes de funcionamento

A Figura 3 (a) apresenta o resultado final da injetora construída no Laboratório de Fabricação da Faculdade de Tecnologia da UnB. Uma vez em posse de todos os materiais, componentes e ferramentas, o tempo para montagem e acabamento completo da injetora fica em torno de 3 dias de trabalho, com jornadas de 4 a 6 horas. As ferramentas necessárias para a construção foram esmerilhadeira, cegueta, lima, solda do tipo MIG, e furadeira de bancada.

As características do equipamento construído são: Volume máximo =  $2,3 \times 10^{-4} m^3$ ; Pressão de injeção = 868kPa, Dimensões gerais = 830mm x 1000mm x 1830mm e aproximadamente 30 kg.

Com base nos testes realizados, algumas considerações quanto à segurança das operações da máquina devem ser observadas. Como as temperaturas do cilindro de fusão atingem aproximadamente 200°C, os EPIs (como luvas de borracha resistentes ao calor, máscara e óculos) são necessários, pois durante o processo de fusão de termoplásticos, como o ABS, ocorre a liberação de toxinas prejudiciais à saúde. E, portanto, o local onde a máquina será utilizada deve ter ventilação natural ou forçada para garantir condições saudáveis.

As temperaturas das resistências, devem ser testadas individualmente para cada tipo de termoplástico, e seu controle é feito por controladores do tipo PID.

Quanto à manutenção, a máquina de injeção precisa de um procedimento frequente de limpeza do cilindro de derretimento antes de iniciar o processo de injeção, a fim de evitar a contaminação de diferentes termoplásticos. O operador deve usar EPI, devido à possível necessidade de desmontagem dos módulos enquanto eles estão quentes para facilitar a limpeza. Deve-se, ainda, providenciar uma proteção isolante para o cilindro de injeção para evitar queimaduras durante o processo de limpeza e também de operação.

Outro ponto que deve ser considerado consiste na necessidade dos resíduos de impressão por FDM ser triturado previamente, o que requer uma tritura disponível para este fim.

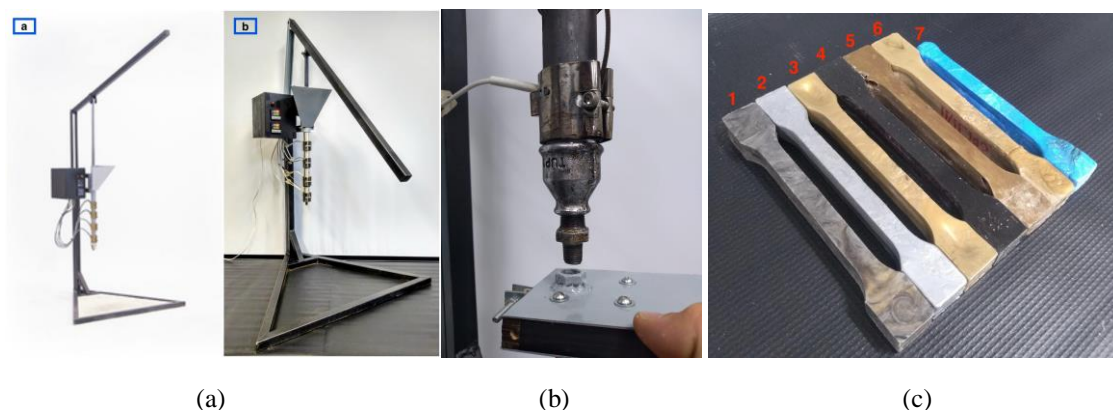
### 4.2 Resultados de injeção para o molde de MDF

Entre os polímeros PLA e ABS, o que apresentou melhores resultados de injeção foi o PLA. Motivos como baixa viscosidade, alta pressão de injeção, e emissão de gases tóxicos fizeram do ABS uma opção não viável para se trabalhar em sala de aula ou laboratório de fabricação. Contudo, foi possível verificar que os resultados de injeção se assemelharam com os descritos no trabalho desenvolvido por Kriesi, Bjelland e Steinert (2018), para o molde de madeira revestido com resina. Embora a aparência das superfícies dos injetados tenha preservado o brilho característico do material plástico, estes apresentaram pequenas cavidades em seu interior, além de marcas de injeção, ou "cicatrices" características do processo de injeção em si. Em função da contração de cada polímero ao solidificar-se, alguns corpos de

prova apresentaram na cicatriz de injeção, a formação de uma cavidade profunda, que se deve também ao fato de a injeção ter sido interrompida após a constatação de preenchimento do molde. Para superar este problema, indica-se a aplicação contínua de pressão do material injetado, até que o molde se resfrie completamente. A Figura 3 (b), ilustra o engate do molde ao bico injetor.

A Figura 3 (c) por sua vez, apresenta os resultados de injeção com PLA e ABS para diferentes cores de filamento e diferentes temperaturas. Nota-se que o corpo de prova injetado em ABS foi o único que não apresentou a geometria completa. Isso se deve à baixa viscosidade do ABS e também, à pouca pressão desenvolvida pelo equipamento manual.

Figura 3 – (a) Injetora; (b) Engate do molde; (c) Testes de injeção: PLA ( 1,2,3,4,5,6) e ABS (7).

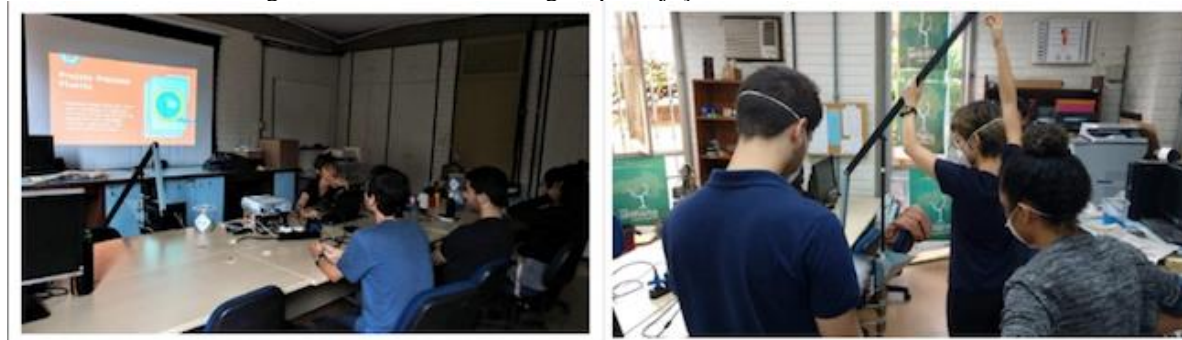


Fonte: Autoria própria.

### 4.3 Resultados quanto ao uso do equipamento em atividades de ensino e extensão

Após a conclusão dos testes do equipamento e do molde de MDF foi proposta uma oficina sobre moldagem por injeção na Semana Universitária da UnB de 2019, Figura 4. Nela, um grupo de estudantes assistiu a uma demonstração de injeção, com o mesmo molde de placas de MDF, e praticaram até duas vezes todo o processo de carregamento, injeção e desmoldagem. Ao final da oficina foram propostas reflexões sobre a quantidade de material reutilizável que é descartada de forma incorreta e nociva ao meio ambiente, bem como as práticas de projeto para diminuir a poluição por plásticos.

Figura 4 – Oficina de moldagem por injeção na SemUni UnB/2019.



Fonte: Autoria própria.

Esta, foi apenas a primeira experiência de utilização do equipamento em atividade de extensão. Uma proposta de inserção da injetora no contexto das disciplinas de engenharia,





contará com o desenvolvimento de moldes e geometrias adaptadas aos parâmetros da máquina, como pressão de injeção e volume máximo de material.

Em uma disciplina de desenho técnico grupos de alunos podem desenhar moldes para produzir uma geometria proposta pelo professor, os quais podem ser produzidos no laboratório de fabricação digital utilizando materiais alternativos (como por exemplo, MDF revestido com resina), fabricados na fresadora CNC; e os resultados dos projetos, serão validados por meio da análise dos objetos plásticos injetados produzidos e do processo de desmoldagem. Com esta atividade, os alunos podem desenvolver noções sobre desenhos técnicos, tolerâncias geométricas, tempo de execução de projetos, prática de fabricação e comparar os resultados obtidos com o previsto no projeto. Aspectos sobre acabamentos de superfície e possíveis defeitos recorrentes também podem ser abordados.

## 5 CONCLUSÕES

A injetora proposta no projeto *Precious Plastic* para a produção de injetados com material reciclado foi fabricada, montada e testada com polímeros termoplásticos ABS e PLA, resíduos de impressão por FDM obtidos do Laboratório Aberto de Brasília da Faculdade de Tecnologia da UnB.

Os testes realizados quanto ao funcionamento do equipamento e qualidade do injetado permitiram realizar a avaliação quanto ao aproveitamento do equipamento nas atividades de ensino e extensão. Os seguintes aspectos foram observados:

(1) Quanto ao uso: individual, trabalho em grupo ou demanda de produção em espaços de fabricação digital. O equipamento se mostra mais adequado para as duas primeiras formas de uso, tomando-se precauções como o uso de EPI por parte do operador. Em espaços de fabricação deve-se prever a automatização do equipamento para suportar maiores demandas.

(2) Quanto à integração nos espaços de criação e ensino-aprendizagem: O equipamento tem potencial para ser aplicado em atividades de ensino e extensão integradas ao uso do laboratório de fabricação digital, desde que sejam seguidas as recomendações acerca do espaço de trabalho e tempo disponível. Apesar de ser de fácil manutenção, deve ser usado em ambiente ventilado ou com sistema de exaustão por causa dos gases liberados no processo.

Deve-se levar em conta que a qualidade dos protótipos injetados é difícil de controlar com o acionamento manual da injetora, e os tempos de preparação, operação e manutenção do equipamento são consideravelmente altos (mais de 30 minutos).

(3) Quanto à relevância nas atividades de ensino e extensão: A possibilidade de criar moldes de injeção é interessante de ser aplicada em disciplinas de modelagem e em desenho assistido por computador com integração CAD/CAE, envolvendo disciplinas de ciência dos materiais e também tecnologias de comando numérico. Assim, é possível integrar o projeto em CAD dos moldes, a fabricação em máquinas CNC, e ensaios mecânicos dos corpos injetados em polímeros termoplásticos, por exemplo.

Por fim, quando teoria e prática se encontram na mesma medida durante o processo de ensino-aprendizagem, muda a percepção do estudante sobre a importância do seu aprendizado, o quanto pode ser feito com o que ele já sabe, proporcionando motivação para a busca de mais conhecimento.

## REFERÊNCIAS

ASTM D638. **ASTM D638-14 - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.** AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2014.

BLIKSTEIN, Paulo. **Digital Fabrication and “Making” in Education: The Democratization of Invention.** In FabLabs: of Machines, Makers and Inventors , J. Walter-Herrmann and Büching. C., Transcript Publishers, Bielefeld, 2013.

FREIRE, Paulo. **Education for Critical Consciousness,** Continuum, Londres, 1974.

GERSHENFELD, N. How to make (almost) anything. **Foreign Affairs**, v.91, no. 6, 2012.

HAKKENS, Dave. Dave Hakkens about Precious Plastic – What Design can do 2018. Youtube.

KRIESI, C.; BJELLAND, Ø.; STEINERT, M. Fast and Iterative Prototyping for Injection Molding – a case study of rapidly prototyping. **Procedia Manufacturing**, v.21, no.1, p. 205-212, 2018.

PRECIOUS PLASTIC. **The alternative plastic recycling system run by (brilliant) people around the planet.** Disponível em: <<https://preciousplastic.com>>. Acessado em 20/09/2020.

## ANALYSIS OF "DIY" INJECTION MOLDING EQUIPMENT IN ENGINEERING EDUCATION

**Abstract:** *This work deals with the implementation of the concept behind the Precious Plastic project, in the academic environment of the Mechanical Engineering course at UnB. Within the scope of the “maker culture” of collaborative creation and multidisciplinary projects, the Precious Plastic project, created by Dave Hakkens, proposes the construction of four recycling machines for common thermoplastics, each with their respective construction manuals, shared online, and for free through virtual platforms. In view of this scenario, and practicing the precepts on collaborative creation, and sustainability, the present work proposes the analysis of one of these machines (in this case, the injection machine), in the use of thermoplastic (polymer) residues, and also, options for applying the equipment in pedagogical activities, to promote greater student access to manufacturing processes, addressing active / creative learning techniques.*

**Keywords:** *Sustainability, Active learning, Precious Plastic.*