

CONSTRUÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D DE BAIXO CUSTO COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

BATISTA, Ivanildo¹

SARTORI, Rodrigo Vinícius²

RESUMO

Este trabalho aborda sobre a manufatura aditiva, ou impressão 3D, uma tecnologia em franca expansão e que pode ser utilizada em praticamente todos os ramos do conhecimento, desde a confecção de brinquedos ou objetos para decoração até a biofabricação de tecidos humanos. Apesar de nos últimos anos o custo de acesso a esta tecnologia vir caindo gradativamente, esses equipamentos ainda possuem preços bastante elevados. Sendo assim, este trabalho buscou na revisão bibliográfica, por meio de uma pesquisa científica e sistematizada, conhecimentos sobre as técnicas mais utilizadas a fim de realizar a montagem de uma impressora 3D de baixo custo, utilizando-se materiais alternativos e de descarte, e fazendo uso de *softwares* e *firmwares* livres e gratuitos. Durante as pesquisas percebeu-se também o importante papel dos movimentos *Makers* na consolidação dessa tecnologia, por meio da criação de *hardwares* e *softwares* mais acessíveis e de menor custo. Por fim, acredita-se que o objetivo de tornar essa notável tecnologia mais acessível, e disponibilizar um primeiro contato a todos que por ela se interessarem, foi alcançado.

Palavras chave: Manufatura aditiva, impressão 3D, prototipagem, *Makers*.

¹ Técnico em Eletrônica e em Informática pelo CEEP Pedro Boaretto Neto de Cascavel, Assistente Administrativo pelo Colégio Estadual Wilson Joffre de Cascavel, graduando no curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica – Habilitação Eletrônica pelo Centro Universitário UNINTER.

² Professor, Doutor em Administração.

1 INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica sempre traz vantagens e facilidades para a sociedade. Ao longo da história já ocorreram quatro importantes revoluções industriais que provocaram significativas mudanças econômicas, sociais e culturais (RIBEIRO, 2020). A primeira revolução industrial foi marcada pelas máquinas a vapor. A segunda, pela utilização da eletricidade. A terceira trouxe a eletrônica e a tecnologia da informação. A quarta e atual revolução, também conhecida como indústria 4.0, está sendo marcada pela internet das coisas (IoT), inteligência artificial (AI), impressão 3D, computação em nuvem, entre outras tecnologias emergentes (RIBEIRO, 2020). Uma das tecnologias emergentes, que já originou muitos empreendimentos, e que cada vez mais vem chamando a atenção, tanto nas indústrias, nas pesquisas científicas, e até na cultura *Maker*, é a impressão 3D. Esta tecnologia está transformando radicalmente o modo como os produtos podem ser criados ou reproduzidos.

Atualmente a acirrada concorrência comercial e os novos conceitos da administração exigem que os sistemas produtivos sejam cada vez mais eficientes, desperdiçando cada vez menos matérias-primas, melhorando a qualidade, aumentando o valor agregado e a velocidade de desenvolvimento de novos produtos (RIBEIRO, 2020). A manufatura aditiva ou impressão 3D possibilita tanto a produção em massa de um produto na indústria quanto uma produção individual na garagem de casa. Mas esta tecnologia tornasse ainda mais promissora e interessante quando percebe-se que o seu uso pode ser estendido para inúmeros ramos do conhecimento, como na área da saúde, na confecção de próteses médicas e dentárias e no estudo de patologias, na produção de novos medicamentos e cosméticos e na biofabricação de tecidos e órgãos humanos (ZAPAROLLI, 2019). A impressão 3D também pode ser utilizada no setor aeroespacial, na construção de motores mais leves e com menos peças; na construção civil, na confecção de maquetes e futuramente na construção de casas e edifícios; no setor alimentício e artístico, dentre muito outros (ZAPAROLLI, 2019). Na indústria a impressão 3D pode reduzir em muito o tempo de desenvolvimento de um novo produto em relação aos métodos tradicionais, gerando uma grande economia de tempo e recursos.

Paralelo ao surgimento das tecnologias emergentes percebe-se o crescimento de um movimento ou cultura denominado “Faça Você Mesmo” (FVM), advindo do termo em inglês *Do It Yourself (DIY)*. Esse movimento, que também pode ser chamado de *Maker*, incentiva as pessoas a darem vida as suas próprias ideias, estimulando a criatividade e a inovação. A partir da cultura *Maker* já surgiram muitas *startups* que deram origem a grandes e rentáveis empresas (ANDERSON, 2012). Além disso, a cultura *Maker* permite o compartilhamento de milhares de arquivos para impressão 3D de forma direta, não necessitando que o usuário conheça a fundo os *softwares* de edição, o que facilita, em muito, o primeiro contato com esta tecnologia. (Impressão 3D: imaginar, planejar e materializar, 2018).

Não se pode negar que a impressão 3D está alavancando a democratização da tecnologia. Ela possibilita a materialização do pensamento. Pode-se hoje, utilizando-se *softwares* de edição de desenhos 3D, criar ou customizar um produto e imprimir na sua própria impressora ou utilizar um serviço de impressão 3D on-line.

Contudo percebe-se que a tecnologia das impressoras 3D ainda não está acessível para todas as pessoas, pois o seu custo ainda é relativamente alto. Desta forma realizou-se o estudo dos principais processos utilizados pela impressão 3D, por meio de revisão da literatura relacionada e, a partir desse conhecimento teórico adquirido, foi realizada a montagem de uma impressora 3D *open source*, modelo FDM básica, baseando-se no estilo *RepRap*, com o menor custo possível, utilizando-se, sempre que permitido, materiais reaproveitados de sucata ou alternativos. Desta forma o custo de confecção do dispositivo foi reduzido em muito, provando ser esta mais uma possibilidade de baixo custo, tornando esta importante tecnologia mais acessível a estudantes, instituições de ensino e demais interessados. No entanto, além do baixo custo, procurou-se também uma certa facilidade de montagem para quem ainda não possui experiência neste tipo de trabalho. Com isso, o objetivo de montagem de uma impressora 3D totalmente básica, porém funcional, que possa ser usada na produção de diversas peças, utilizando-se inclusive o conceito de replicação, e que permita a montagem de outra impressora 3D mais aperfeiçoada, foi alcançado com êxito.

2 IMPRESSÃO 3D OU MANUFATURA ADITIVA

Ao contrário do que se possa imaginar o princípio da técnica de impressão 3D já é bastante antigo, pois as pirâmides do Egito já utilizavam um modelo de construção em forma de camadas (VOLPATO et al, 2017). No entanto foi em 1972 que Matsubara desenvolveu um modelo de fundição muito parecido com o que existe hoje nas impressoras 3D de estereolitografia. Uma lâmpada de mercúrio projetava o desenho do objeto desejado sobre uma resina fotopolimerizável. Os pontos da resina que eram atingidos pela luz endureciam e esse processo era realizado sequencialmente em finas camadas até se alcançar a forma final do objeto (VOLPATO et al, 2017).

Existem hoje inúmeras técnicas e processos para fabricação de peças, dentre eles pode-se citar a usinagem, fundição, eletroerosão, injeção, moldagem, fresagem, forjamento, extrusão, laminação, soldagem, etc. Mas foi na década de 1980 que o novo princípio de fabricação, a AM (*additive manufacturing*) ou impressão 3D ganhou corpo (VOLPATO et al, 2017). Há basicamente três técnicas para a impressão 3D, a estereolitografia (SLA), a sinterização seletiva a *laser* (SLS) e a deposição de Material fundido (FDM). Na estereolitografia são usados feixes de luz ultravioleta ou *laser* para provocar a solidificação de uma resina líquida em um recipiente. A técnica SLS utiliza o *laser* para prover aquecimento instantâneo e provocar a sinterização, ou aglutinação, das partículas de um pó metálico, polimérico ou cerâmico. Já na técnica FDM um filamento de material termoplástico é derretido, extrudado e depositado sobre uma base de impressão. Observa-se que nas três técnicas o objeto é produzido sequencialmente camada por camada. (ZAPAROLLI, 2019).

A impressão 3D ganhou mesmo notoriedade a partir de 1987 quando surgiu o primeiro equipamento comercial chamado SLA-1 da empresa americana 3D Systems. Outro marco muito importante foi o lançamento da primeira impressora 3D desktop, totalmente gratuita e de código aberto, modelo *RepRap*, em 2007. O termo *RepRap* teria o significado de autorreplicar, ou seja, a impressora poderia imprimir peças para a construção de outras impressoras iguais a ela. (RepRap, 2020).

Há alguns anos atrás as impressoras 3D eram extremamente caras e só eram utilizadas por grandes empresas e por profissionais. Mas, graças ao surgimento dos

projetos de *hardware* e código aberto e da filosofia *Maker*, o custo de compra ou fabricação dessas impressoras tem caído bastante (ANDERSON, 2012).

2.1 O PROCESSO DE IMPRESSÃO

Diferentes tipos de materiais podem ser utilizados como matéria prima em uma impressora de manufatura aditiva. Para as impressoras de estereolitografia (SLA) são usados produtos líquidos, como o plástico epóxi líquido. Uma base móvel é mergulhada em um recipiente contendo resina líquida de forma que fique apenas uma fina camada, geralmente em torno de 0,1 mm, da resina entre a base e a superfície. Acima da superfície da resina há o sistema de impressão que gera um feixe de *laser* ou luz ultravioleta. Este feixe de luz desenha sobre a resina o objeto a ser impresso. As partes da resina fotossensível que recebem a luz instantaneamente endurecem. A cada camada impressa a base desce para que outra camada seja impressa sobre a anterior. E assim o processo se repete até que todo o objeto seja impresso. Ao final a peça é retirada do tanque, lavada e colocada em um forno com luz ultravioleta para a cura final da resina. (EngiPrinters, 2020). *Makers* estão usando, experimentalmente, projetores multimídia (*Datashow*) modificados como sistema de impressão ultravioleta em suas impressoras.

Para o método de sinterização a *laser* (SLS) são utilizados pós especiais ultrafinos, que podem ser plásticos, metálicos, fibra de carbono, gesso ou cerâmica. Este processo de impressão tem bastante semelhança com o SLA, com a diferença que agora a matéria prima está na forma de pó. Por meio de um mecanismo uma fina camada de pó é depositada sobre uma base que se movimenta para cima e para baixo. Acima da base há um sistema que gera um feixe de *laser* de alta potência provocando o derretimento do pó e a sinterização do material na forma da peça desejada. Para cada camada impressa uma nova camada de pó é depositada sobre a anterior. A potência do *laser* é ajustada de acordo com o tipo de matéria-prima utilizada. As partes não atingidas pelo feixe de luz permanecem na forma de pó. O ciclo se repete até que a impressão total do objeto seja realizada. (ZAPAROLLI, 2019).

Para as impressoras que usam a técnica de deposição de material (FDM) os materiais mais utilizados são os polímeros, comercializados na forma de fios enrolados em carretéis. Porém a impressora FDM também pode trabalhar com diversos outros materiais pastosos como argila, cimento, gesso, chocolate, coberturas de bolo, etc. Os polímeros mais comuns usados na técnica FDM são o ABS, o PLA, o PETG, *Nylon*, ASA ou plástico de engenharia, o TPU, fibra de carbono, tritan e poliacetal (MUV. 3D PRINT, 2021). O sistema de funcionamento é parecido com o de uma máquina CNC, que utiliza as coordenadas XYZ do sistema cartesiano. O polímero é empurrado para dentro de um bico de extrusão e aquecido a uma temperatura suficiente para provocar o seu derretimento. O bico aquecido é então movimentado horizontalmente sobre uma base na qual é depositado o material. A cada camada realizada o bico é movimentado para cima e uma nova camada é impressa sobre a anterior (3DLAB, 2021).

Todos os movimentos, sensores, motores e atuadores dessas impressoras, independente da técnica de impressão utilizada, são controlados por um programa computacional ou *firmware* embarcado na eletrônica da impressora.

Para que as impressoras de manufatura aditiva possam funcionar adequadamente alguns programas de computador e arquivos precisam ser manipulados antes da impressão. Basicamente o que precisa ser feito é a modelagem ou a aquisição do arquivo do objeto no formato 3D, um arquivo digital geralmente com extensão STL (*Stereolithography*). Em seguida usa-se um *software* para realizar o “fatiamento” deste arquivo STL, ou seja, transformar o arquivo do objeto 3D em camadas de impressão de modo que a impressora possa receber os comandos adequados. O processo de fatiamento resulta em um outro arquivo digital, com extensão *GCODE*, que é o tipo de arquivo final reconhecido pela impressora (Impressão 3D: Imaginar, planejar e materializar, 2018). O código *G-code* é um arquivo do tipo CNC (Comando Numérico Computadorizado) bastante usado também nas indústrias, em máquinas de fresagem, soldagem, corte, furação, etc.

2.2 IMPRESSORA 3D FDM

Uma impressora de manufatura aditiva do modelo FDM é composta por *hardware* e *software*. Para os modelos mais simples o *hardware* é composto de um sistema mecânico, quatro ou cinco motores elétricos de passo e de um sistema eletrônico. A parte mecânica é composta basicamente por três conjuntos de guias lineares, um conjunto para cada eixo XYZ do plano cartesiano. Um motor de passo é responsável pelo movimento no eixo X, ou para direita e esquerda. Outro motor realiza a movimentação no eixo Y, ou para frente e para trás. O terceiro motor faz a movimentação do sistema na vertical, ou no eixo Z, subindo e descendo a base ou a cabeça de impressão (extrusora) (ANDERSON, 2012). Existem basicamente duas variantes para a movimentação do sistema mecânico, uma onde a base é responsável pelos movimentos do eixo Z, de subida e descida, e o extrusor realiza movimentos nos eixos X e Y, e outra onde a base realiza apenas movimentos no eixo Y e o extrusor se desloca tanto no eixo X quanto no eixo Z. Algumas vezes o movimento do eixo Z pode ser realizado por dois motores acionados simultaneamente. Há ainda um motor responsável pelo tracionamento e alimentação do filamento na cabeça extrusora. Na maioria das vezes a base de impressão também é aquecida, porém isto não é obrigatório em uma impressora básica. Uma base aquecida melhora a qualidade da peça devido o resfriamento da mesma acontecer de forma mais lenta, evitando rachaduras e empenamentos e proporcionando uma melhor aderência entre as camadas. O acoplamento dos motores pode ser feito por sistemas de correias ou fusos trapezoidais ou de esfera. Ainda na parte de *hardware* tem-se o sistema eletrônico, composto por um ou mais microcontroladores, pelos circuitos que acionam e controlam os motores, o aquecimento e a temperatura da cabeça de extrusão, sensores de início e fim de curso, fonte de alimentação e, opcionalmente, leitor de cartão de memória ou de *pen drive*.

Na parte de *software* tem-se um *firmware*, ou seja, um programa embarcado no(s) microcontrolador(res), que faz todo o gerenciamento do *hardware* e que também pode possuir uma forma de comunicação com um computador ou outro dispositivo. A impressora pode realizar a impressão do objeto recebendo os códigos em tempo real deste dispositivo ou fazendo a leitura do código de um cartão de memória ou *pen drive*.

3 METODOLOGIA

Visto que a tecnologia de manufatura aditiva está em franco desenvolvimento, e já possui aplicações em diversas áreas do conhecimento, entende-se ser de grande importância a busca de conhecimento dos conceitos envolvidos nesta técnica.

A revisão da literatura proporciona o embasamento teórico para o tratamento adequado do problema e do tema adotado em uma pesquisa (MATIAS-PEREIRA, 2019). A racionalidade humana direciona a aquisição do conhecimento a uma certa classificação, possibilitando assim uma melhor organização e entendimento das informações obtidas na pesquisa (GIL, 2018).

Sendo assim, por meio de um desenho qualitativo foi realizada uma pesquisa exploratória e aplicada (MATIAS-PEREIRA, 2019), de forma a entender-se melhor os conceitos envolvidos nos processos de manufatura aditiva e os *hardwares* e *softwares* mais utilizados neste tipo de tecnologia. Foi realizado o fichamento das obras mais relevantes sobre o assunto de forma a organizar os dados obtidos. Realizou-se uma revisão bibliográfica em livros, revistas, artigos, teses, dissertações, sítios da internet e sites de fabricantes de impressoras 3D. Foram verificados os principais modelos de impressoras 3D FDM presentes no mercado, seus detalhes construtivos e quais as configurações mais utilizadas. Com base nos dados levantados tornou-se possível a montagem de uma impressora 3D, de baixo custo, utilizando-se materiais alternativos e de sucata, e com uma construção relativamente simples. Como *software* embarcado foi utilizado um *firmware RepRap* livre e gratuito chamado *Teacup*. Para o tratamento dos arquivos STL e *G-code* também foram utilizados programas computacionais livres e gratuitos, como o *Pronterface*, para a impressão, e o *Slic3r*, para o fatiamento e geração do *G-code*, de forma a reduzir ainda mais os custos de utilização do dispositivo.

4 MONTAGEM DA IMPRESSORA 3D

Para a implementação da impressora 3D proposta foram utilizados, em grande parte, materiais oriundos de descarte e “lixo eletrônico”. Na parte estrutural da impressora

foram utilizadas diversas peças retiradas de impressoras matriciais antigas e de outros equipamentos obsoletos, materiais de descarte, como tubos plásticos, pedaços de cantoneiras de alumínio, sobras de MDF de uma marcenaria e outros materiais diversos, como barras roscadas, cola quente, parafusos e abraçadeiras plásticas. Na parte eletrônica, para controle e acionamentos, também foram utilizados alguns itens provenientes de descarte, como uma fonte chaveada de computador, cinco motores de passo, retirados de impressoras fora de uso, e alguns componentes eletrônicos. Além disso, visando uma maior facilidade na montagem, foi adquirido um kit contendo um Arduino Uno, uma *Shield* CNC e um bico extrusor (*hotend V6 Bowden*). Na tabela 1 pode-se visualizar a relação de todos os itens utilizados na construção da impressora e os seus respectivos custos. Percebe-se que o custo final para a montagem do dispositivo ficou bastante baixo devido ao uso dos diversos materiais alternativos.

Quant.	Item	Origem	Custo em R\$
01	Peça de MDF 15mm 34x41cm (base de montagem)	Descarte	0,00
02	Peça de MDF 15mm 49x7cm (laterais verticais)	Descarte	0,00
01	Peça de MDF 20x17cm (mesa de impressão)	Descarte	0,00
01	Peça MDF 15mm 34x9cm (fixação superior)	Descarte	0,00
02	Peça MDF 15mm 13x12cm (apoio laterais verticais)	Descarte	0,00
01	Cantoneira de alumínio 25x25mm 33cm (fixação guias verticais eixo Z)	Descarte	0,00
01	Cantoneira de alumínio 40x40mm 24cm (Fixação motores eixo Z e eixo Y)	Descarte	0,00
02	Cantoneira alumínio 25x25mm 8cm (fixação guias e motor eixo X)	Descarte	0,00
02	Motores de passo Minebea PM35L-048-HP04 (eixo Z)	Descarte	0,00
01	Motor de passo TEC TOY 22 SP-42HD-054S (eixo X)	Descarte	0,00
01	Motor de passo EM-181 Minebea 17PM-H005-P2V (eixo Y)	Descarte	0,00
04	Barras de aço 44cm de comp. X 9,5mm diâmetro (guias eixos X, Y, Z)	Descarte	0,00
10	Peças tubo plástico 5cm x 10mm diâmetro (guias e acoplamento dos motores)	Descarte	0,00

02	Barra roscada ¼" x 1m (Fusos)	Compra	7,00
04	Porcas sextavadas (fusos eixos Z e Y)	Compra	2,00
01	KIT Arduino Uno + CNC <i>Shield</i> + Extrusor	Compra	97,16
01	Fonte chaveada de computador (para alimentação de 12v)	Descarte	0,00
-	Fios diversos para as ligações elétricas	Descarte	
47	Parafusos diversos para madeira e metal	Descarte	0,00
01	Rolamento 608ZZ (para o alimentador da extrusora)	Descarte	0,00
02	Bastão de cola quente	Compra	2,00
01	Pacote de abraçadeiras plásticas (<i>nylon</i>)	Compra	5,50
01	Vidro de um refletor de led (base de impressão)	Descarte	0,00
Custo Final			113,66

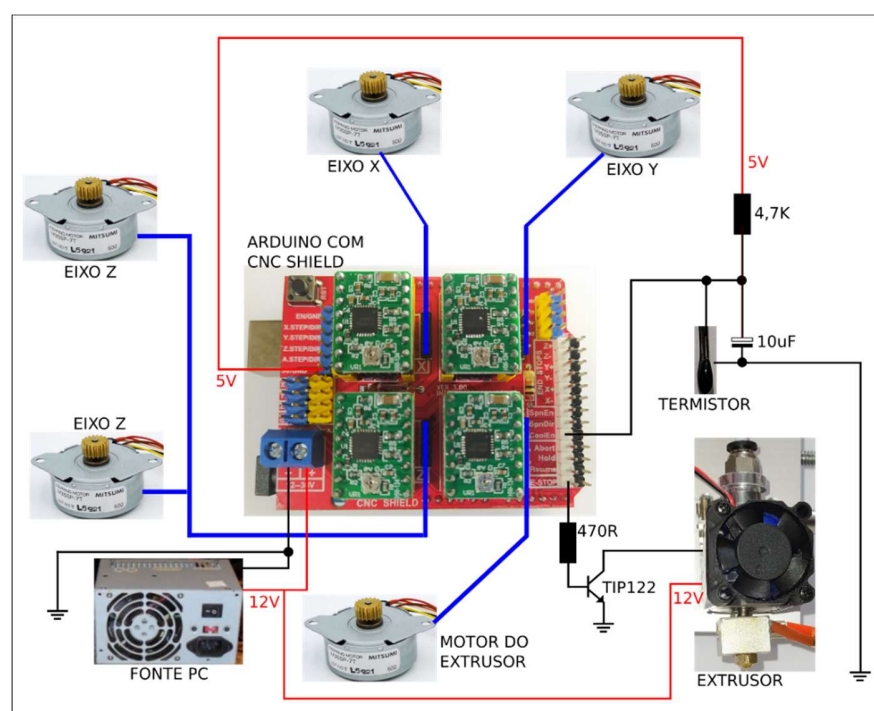
Tabela 1. Custos parciais e final da impressora 3D.

Na quase totalidade das impressoras experimentais atuais utiliza-se o Arduino Mega 2560 em conjunto com uma placa *shield Ramps V1.4* ou *1.6*. No entanto o Arduino Uno foi escolhido em função do seu menor custo de aquisição. O Arduino é uma plataforma composta por *hardware* e *software*, de código aberto, e que possibilita uma infinidade de projetos, inclusive por quem ainda não possui conhecimentos de programação ou eletrônica (ARDUINO, 2021). O Arduino Uno utiliza um microcontrolador *Atmega328P* de 8 *bits*, de 40 pinos SPDIP, pertencente à família de microcontroladores AVR e conta com uma arquitetura *RISC* de alto desempenho (MICROCHIP, 2020).

Para o programa embarcado do Arduino foi utilizado o *Teacup firmware*, um *firmware RepRap*, gratuito e de código aberto, que preza por um código mais simples, com bom desempenho e estabilidade (TEACUP FIRMWARE, 2017). Porém este *firmware*, apesar de ser ainda muito útil, está sendo substituído com vantagens pelo *Marlin firmware*. No entanto, descobriu-se posteriormente, que o Arduino Uno não é compatível com o *Marlin*, por isso a escolha pelo *Teacup*. Apesar de tudo o *Teacup* ainda continua sendo uma boa opção para *hardwares* mais modestos, já que pode funcionar até em um *Atmega168* (TEACUP FIRMWARE, 2017).

O Arduino possui uma vasta documentação, bem como placas e módulos auxiliares, também chamados de *Shields*. Na montagem da impressora 3D foi utilizada a *shield CNC V3*, uma placa desenvolvida para máquinas CNC e impressoras 3D. Esta

shield é encaixada sobre a placa do Arduino Uno e possui soquetes para encaixe de quatro controladores baseados nos circuitos integrados A4988 que fazem o acionamento dos motores de passo. No entanto essa *shield* não possui alguns componentes eletrônicos necessários ao controle de temperatura do extrusor de uma impressora 3D, já que inicialmente foi desenvolvida para máquinas CNC. Esses poucos componentes responsáveis pela alimentação da resistência e leitura da temperatura do bico extrusor (*hotend*) foram montados em uma placa universal em separado. A alimentação dos motores e da resistência do bico extrusor foi realizada com 12V provenientes de uma fonte de computador, como já mencionado. A alimentação de 5V para o Arduino é provida diretamente da porta *USB* de um computador, porta esta que também estabelece a comunicação entre o *software* de controle de impressão e o dispositivo. Um diagrama representativo das ligações elétricas, incluindo os componentes adicionais, pode ser visto na figura 1.



Fonte: O autor.

Figura 1. Diagrama de ligações elétricas da impressora 3D.

Para o eixo Z (vertical) foram utilizados dois motores de passo ligados em paralelo, um em cada extremidade do sistema do eixo X, para aumentar o torque devido ao peso

do sistema. Além disso, um único motor provocaria um efeito de travamento do guia do eixo. Desta forma, foi necessário ajustar os dois lados exatamente na mesma altura para que o bico extrusor mantivesse sempre a mesma distância da mesa durante as impressões.

Para o eixo Y, responsável pela movimentação da mesa de impressão, foi utilizado apenas um motor. Da mesma forma um único motor também foi suficiente para a movimentação horizontal do sistema do bico extrusor, ou eixo X. No sistema de alimentação de filamento para o extrusor foi utilizada a configuração *bowden*, onde o motor de tracionamento do filamento fica distante do bico de extrusão. Isto possibilita o uso de uma estrutura menos robusta, menos vibrações e maior velocidade no movimento do extrusor. Foi utilizado um bico extrusor com 0,4 mm de orifício de extrusão. O alimentador *bowden* foi montado com peças de alumínio e com um motor de passo, a uma distância aproximada de 58cm da cabeça de impressão, e conectado a ela por meio de um tubo de *Politetrafluoretileno (PTFE)* ou *Teflon*. Este tubo tem a função de conduzir o filamento até o bico extrusor e prover uma certa pressão interna para que o material seja ejetado pelo orifício do bico quando aquecido.

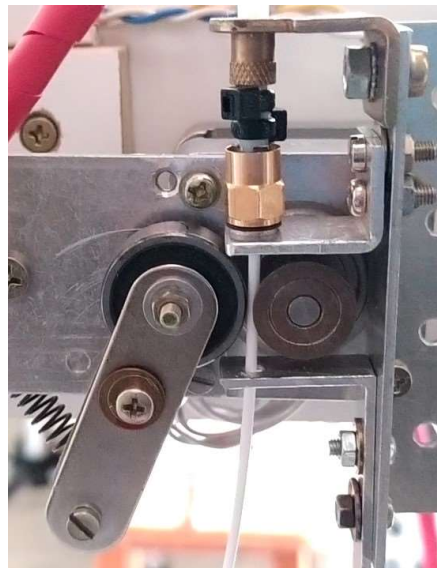
Para as buchas, que desempenham o papel de rolamentos, dos eixos XYZ foram utilizados, para redução de custos, tubos plásticos com diâmetros internos muito próximos dos diâmetros externos das guias de aço utilizadas. Com o artifício de manter o par de guias paralelas de cada eixo o mais distantes possível, mas sem travar o sistema, foi conseguido minimizar o efeito das folgas, muito prejudiciais neste tipo de equipamento. Algumas buchas foram coladas nas estruturas com cola quente e outras fixadas com abraçadeiras plásticas (*nylon*).

A transferência de movimento dos motores de passo para os eixos foi realizada por meio de barras roscadas, de uso geral de um quarto de polegada, fixadas ao eixo dos motores também por tubos plásticos e cola quente. Para isso foram utilizadas duas barras galvanizadas de um metro de comprimento.

Para a compilação e gravação do *firmware Teacup* no Arduino foi utilizada a interface gráfica de usuário (*GUI*) própria do *Teacup* chamada *Configtool.py*. Esta ferramenta facilita muito as configurações da máquina, como a função dos pinos utilizados pelo microcontrolador, a velocidade máxima dos motores, o tipo de termistor

utilizado, o passo da barra roscada utilizada, a direção de movimento dos eixos, entre outras. Esta *GUI* foi configurada para utilizar a própria *IDE* (ambiente de desenvolvimento integrado) do Arduino para a gravação.

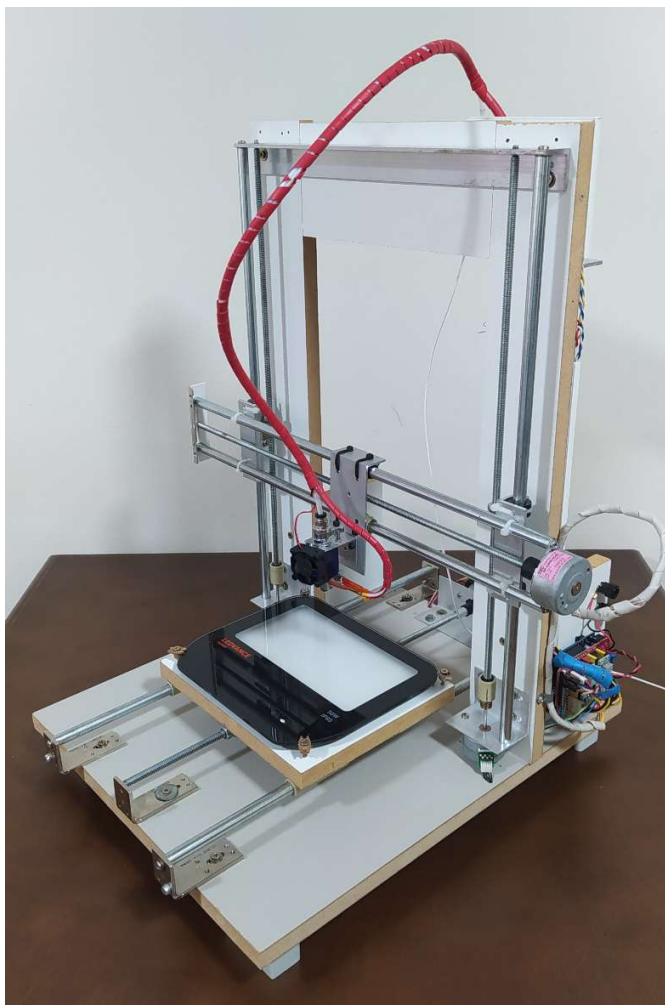
Embora não faça parte da montagem da impressora foi necessário a aquisição de um carretel de filamento, com o custo de R\$ 90,57, para que a máquina pudesse ser testada e utilizada. O sistema tracionador de filamento (alimentador do extrusor), a princípio, também seria adquirido no comércio mas, depois de estudar-se os modelos comerciais mais simples, foi aceito o desafio de confeccionar-se um com as peças disponíveis. Para isso foi usado um motor de passo de impressora matricial, que possuía em seu eixo uma polia para correia dentada, e um rolamento 608ZZ. O rolamento, por meio de uma mola, faz pressão sobre a polia dentada do motor. Entre o rolamento e a polia é inserido o filamento, que então é tracionado e empurrado em direção a cabeça extrusora por meio do tubo *PTFE*. O sistema do tracionador pode ser visto na figura 2.



Fonte: O autor.

Figura 2. Alimentador/tracionador de filamento.

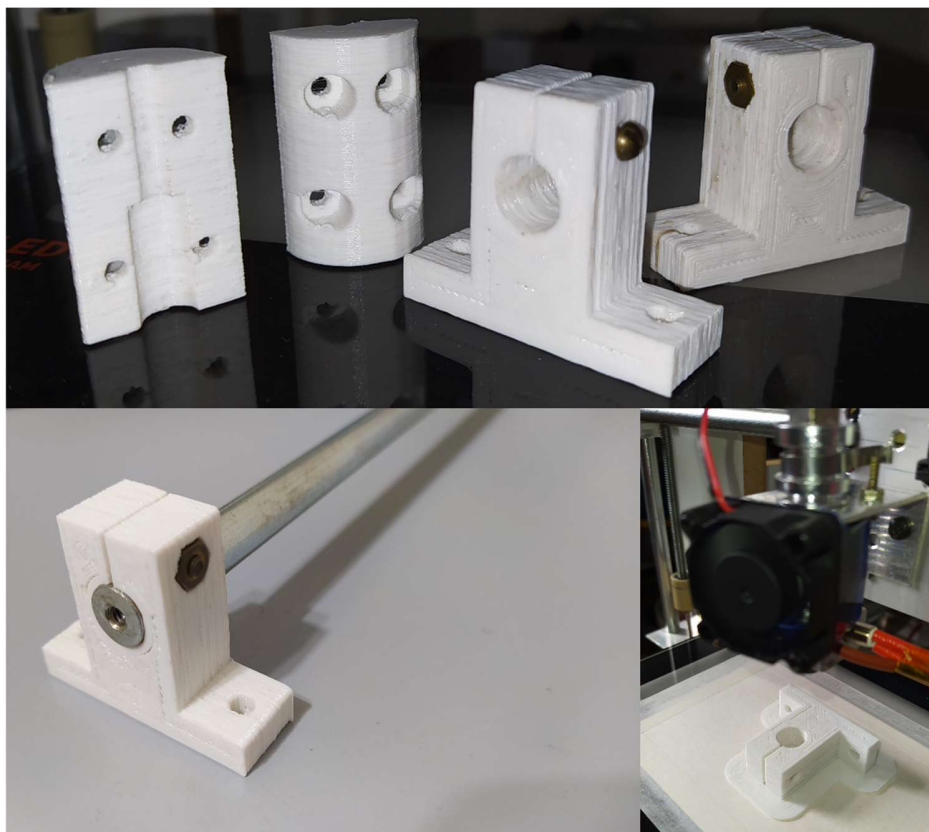
Na figura 3 pode-se verificar o resultado final da montagem da impressora. Na figura 4 pode-se observar algumas peças impressas, já possibilitando serem substituídas na própria máquina ou ainda serem utilizadas para a montagem de outra similar.



Fonte: O autor.

Figura 3. Impressora 3D montada e funcional.

Para a impressão e o fatiamento do arquivo foi utilizado o pacote livre, de código aberto e multiplataforma, *Printrun*. Este pacote de *softwares*, dedicado a máquinas *RepRap*, inclui o *Pronterface*, um remetente de *G-code* com interface gráfica, e o *Slic3r*, um fatiador e gerador de código G integrado à *suite* (PRINTRUN, 2014). A base da mesa de impressão não é aquecida e foi utilizado um vidro, retirado de uma refletor de led danificado, fixado sobre uma peça de MDF.



Fonte: O autor.

Figura 4. Peças produzidas pela impressora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A construção de uma impressora 3D envolve várias áreas do conhecimento, pois requer uma montagem estrutural, elétrica e o uso de *softwares* computacionais. Por isso requer uma pesquisa organizada, disciplina e paciência na obtenção desses conhecimentos a fim de alcançar os resultados esperados. Várias dificuldades surgiram durante a montagem e utilização da impressora proposta. Uma delas foi o excesso de folga entre as buchas plásticas e os guias lineares, o que dificultava alcançar a precisão necessária. Inicialmente a ideia era utilizar, para os eixos X e Y, apenas um guia linear por eixo e utilizar a barra roscada de movimentação como segundo guia. Porém já nos primeiros testes percebeu-se que isso não seria possível, pois qualquer sinuosidade da barra, por menor que fosse, provocaria uma perda inadmissível na precisão do movimento. Utilizando-se duas guias lineares paralelas o problema foi resolvido.

Outro problema que afetava a precisão dos eixos X e Y era a folga existente entre a porca, que desempenhava a função de castanha, e a barra roscada. Como os materiais utilizados não são fabricados para terem a precisão requerida neste projeto, foi necessário usar o artifício de manter uma leve inclinação da porca em relação a barra para que a folga fosse minimizada. Essa folga acarretaria a deposição do material extrudido em posições diferentes em cada camada da peça. Para o eixo Z esse problema não ocorreu já que movimentando-se na vertical o próprio peso do sistema evitava o surgimento dessa folga. Os quatro motores usados nos eixos XYZ possuíam originalmente em seus eixos uma peça em forma de parafuso de rosca sem fim. Isso facilitou o acoplamento entre os motores e as barras roscadas usando-se tubos plásticos e cola quente.

Um detalhe percebido nesta impressora, e em muitas outras similares de baixo custo, é que não existe um sistema de controle apurado para a velocidade de entrada de filamento na extrusora. O que acontece é que ajusta-se de uma forma aproximada, por meio de experimentos, qual a melhor velocidade em face dos resultados obtidos na impressão. Na impressora proposta percebeu-se que com uma maior velocidade do alimentador ocorria também um maior deslizamento da polia do motor sobre o filamento. No entanto isto não demonstrou ser um problema, pois, aparentemente, a pressão do material no interior do bico extrusor mantinha-se constante devido ao deslizamento da polia do motor.

A não utilização de uma mesa aquecida pode ter sido percebida pela baixa aderência das peças no vidro da mesa de impressão. Nos testes iniciais uma peça se soltou da mesa, horas de trabalho e material foram perdidos. Um outro problema ocorrido, provavelmente também pela baixa aderência da peça à mesa, foi o efeito chamado *warping*, ou empenamento, da peça. Com isso, percebeu-se ser uma boa prática utilizar-se na primeira camada de impressão uma técnica conhecida como *brim* (borda). Essa técnica consiste em configurar no *software* fatiador uma borda externa em forma de anel em torno da peça na sua primeira camada de impressão (3DLAB, 2021). Com a técnica aumenta-se a área de fixação da peça com a mesa, evitando os efeitos de empenamento e deslocamento. Uma solução barata que se mostrou eficaz foi a fixação de uma folha de papel sulfite sobre o vidro da mesa. Isso aumentou bastante a aderência e não

comprometeu a qualidade da peça. Apesar de não ser uma solução definitiva a folha de papel pode ser usada para várias impressões e trocada sempre que necessário sem maiores custos.

O *software* de fatiamento *Slic3r* se mostrou bastante fácil de utilizar, embora seu ajuste requereu uma boa leitura para correta configuração inicial. Também foi necessário um breve estudo do código *G-code* afim de entender os comandos iniciais e finais do arquivo gerado. Esta parte, referente ao fatiamento da peça, é bastante importante para o sucesso da impressão 3D. No *Slic3r* carrega-se o arquivo com a extensão *STL*, baixado de algum site da internet ou editado em um *software* como o *FreeCad* ou *OpenSCAD*, escolhe-se as configurações desejadas e exporta-se o arquivo em *G-code*. Neste trabalho foi usado o *Pronterface* como *software* de envio do arquivo *G-code* para a impressora 3D. O programa *Pronterface* também exigiu algumas configurações iniciais, referentes aos parâmetros de *hardware* da impressora, como dimensões máximas dos eixos XYZ, quantidade de extrusores, pontos de zero da máquina, porta e velocidade de comunicação com o Arduino, entre outros. A partir disto, por meio do *Pronterface*, ajusta-se a cabeça de impressão no ponto zero da máquina, ou de acordo com as configurações utilizadas na exportação do *G-code*, carrega-se o arquivo gerado pelo *Slic3r* e efetua-se a impressão da peça.

Por motivo de simplificação não foram utilizadas chaves de fim de curso para que a máquina encontrasse automaticamente o ponto zero dos eixos. No entanto isto não prejudicou em nada o funcionamento do dispositivo, apenas exigindo um cuidado maior do operador em não extrapolar os limites de *hardware* do equipamento. Por isso, em todos os arquivos *G-code* gerados para impressão, o ponto zero foi configurado para a posição central dos eixos X e Y e com o bico extrusor (eixo Z) encostado na mesa de impressão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das limitações propositais impostas para a montagem desta impressora 3D, como baixo custo e relativa facilidade de montagem, o dispositivo mostrou-se

totalmente funcional e útil. Claro que não pode-se esperar muito de um equipamento experimental e construído de forma artesanal com materiais alternativos. Porém acredita-se que o presente trabalho mostrou sim ser possível, com um baixo investimento e com ferramentas comuns, construir-se uma impressora 3D totalmente funcional e satisfatória para um primeiro contato com esta importante tecnologia. A partir das experiências alcançadas com este equipamento pode-se pensar em utilizá-las para a construção de outras similares, exatamente como explicita o conceito *RepRap* e a comunidade *Maker* ou *DIY*. Com certeza o autor isso o fará, aumentando ainda mais o grau de satisfação pessoal e técnico em poder produzir seus próprios utensílios e afins que este tipo de tecnologia possibilita.

No entanto é necessário ressaltar que este tipo de trabalho requer um certo grau de habilidade com ferramentas básicas, aptidão para trabalhos artesanais e bastante paciência, características estas que geralmente um adepto do conceito FVM ou *Maker* possui.

É certo que alcançando maiores níveis de experiência pode-se também desenvolver novas e melhores soluções para os diversos problemas encontrados nesta montagem, como a utilização de uma mesa aquecida para melhorar a aderência das peças e evitar perdas de tempo e materiais, utilizar fusos de esfera e guias lineares profissionais, afim de melhorar a exatidão dos movimentos, utilizar uma estrutura física mais robusta, reduzindo a dilatação dos materiais usados e com isso melhorando os ajustes. Também pode-se utilizar motores mais adequados e mais fortes que possibilitem impressões mais rápidas e de mais qualidade.

Pode-se perceber também que os *softwares* computacionais e *firmwares* de códigos abertos e gratuitos, desenvolvidos em colaboração de uma comunidade, podem ser tão bons ou até melhores que *softwares* proprietários e comerciais.

O conceito *Maker* ou FVM ficou bem definido e caracterizado pela existência dos diversos sites de compartilhamento e tutoriais encontrados na internet, com destaque para o *Thingiverse* onde milhares de usuários compartilham suas ideias e arquivos digitais de forma totalmente gratuita e espontânea. Com certeza é em virtude desses movimentos que hoje pode-se construir uma impressora 3D de baixo custo de forma experimental como aqui foi demonstrado. Isto também demonstra a enorme importância

da democratização e compartilhamento do conhecimento e da experiência adquirida, alavancando o crescimento da sociedade, trazendo novas soluções e fomentando o crescimento tecnológico.

REFERÊNCIAS

3DLAB SOLUÇÕES EM IMPRESSÃO 3D. **Afinal, como funciona uma impressora 3D FDM?** Disponível em: <<https://3dlab.com.br/afinal-como-funciona-uma-impressora-3d-fdm/>>. Acesso em: 17 jan. 2021.

Anderson, C. **Makers: a nova revolução industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

Arduino. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 04 mai. 2021.

DOMINGOS ZAPAROLLI. **O avanço da impressão 3D**. Revista Pesquisa Fapesp. Tecnologia Engenharia. Vol. 276, p. 60-65, Fev. 2019.

EngiPrinters. **O que é e como funciona a impressão SLA?** Disponível em: <<https://engiprinters.com.br/o-que-e-e-como-funciona-a-impressao-sla-d90/>>. Acesso em: 21 jan. 2021.

Gil, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2018.

Impressão 3D: imaginar, planejar e materializar. Secretaria de Estado da Educação do Paraná – Superintendência da Educação. Departamento de Políticas e Tecnologias Educacionais. Governo do Paraná: 2018. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/seed_lab/caderno_impressao_3d.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2021.

Matias-Pereira, J. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

Microchip. **Datasheet ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P**. Disponível em: <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061B.pdf>>.pdf. Acesso em: 28 mai. 2021.

MUV. 3D PRINT. **Quais são as vantagens da impressora 3D na fabricação industrial?** Disponível em: <<https://muv3dprint.com.br/vantagens-da-impressora-3d/>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

Pinheiro, C. M. P.; Mota, G. E; Steinhaus, C.; Souza, M. **Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo**. Signos do Consumo. São Paulo, p. 15-22, jan./jun. 2018.

Printrun. **Printrun: 3D printing host suite.** Disponível em: <<https://www.pronterface.com/>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

RepRap. **Welcome to RepRap.org.** Disponível em: <<https://reprap.org/wiki/RepRap>>. Acesso em: 21 jan. 2021.

Ribeiro, R. E. M.; Abreu, C. R. S. **Inovação em Sistemas de Produção na Era da Indústria 4.0.** 1ª ed. Teresina: Kindle Direct Publishing, 2020.

Teacup Firmware. Disponível em: <https://reprap.org/wiki/Teacup_Firmware>. Acesso em: 14 jun. 2021.

Volpato, N. et al. **Manufatura Aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D.** São Paulo: Edgard Blücher, 2017.