

# DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D DE BAIXO CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS

## DEVELOPMENT OF A LOW COST 3D PRINTER FOR DIDACTIC PURPOSES

CHRISTIAN DE SÁ BARBOSA<sup>1</sup>, RAFAEL CARVALHO NATAL<sup>1</sup>, GEOVANI NUNES DORNELAS<sup>2\*</sup>

1. Discente do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica. Centro Universitário Geraldo di Biase; 2. Docente Orientador. Mestre em Modelagem Matemática e Estatística Aplicada – UNINCOR, Especialista em Matemática e Estatística – UFLA – Docente: Centro Federal de Educação Tecnológico Celso Suckow da Fonseca – CEFET.

\* Geovani Nunes Dornelas – Rua Vereador Hugo Paes Gomes – 146 – Parque Sucena - Vassouras / RJ – Brasil- CEP. 27.700-000  
Email. [gndornelas@gmail.com](mailto:gndornelas@gmail.com)

Recebido em 25/10/2017. Aceito para publicação em 03/11/2017

### RESUMO

As impressoras 3D são máquinas de prototipagem rápida, são de grande utilidade nos dias de hoje, pois peças que possuem uma geometria de difícil fabricação por outros tipos de processos, como torno mecânico e fresa, podem ser produzidas. Com a ajuda da impressora 3D, podem ser fabricados objetos para serem utilizados em atividades didáticas, ajudando na compreensão melhor do assunto que está sendo estudado. No mercado atual o custo de uma impressora 3D é bem elevado, portanto o objetivo do trabalho foi o de construir uma máquina com tecnologia de impressão 3D, visando minimizar os gastos utilizando materiais de fácil obtenção, levando a redução do custo tornando fácil o seu desenvolvimento. Com o término do estudo, a impressora 3D estará disponível para fabricar uma réplica de um motor V8 utilizado para ensino.

**PALAVRAS-CHAVE:** Baixo custo, impressão 3D, inovação, prototipagem rápida.

### ABSTRACT

3D printers are fast prototyping machines, they are very useful nowadays, since parts that have a geometry of difficult manufacture by other types of processes, like lathe and milling machine, can be produced. With the help of the 3D printer, objects can be made to be used in didactic activities, helping to better understand the subject being studied. In the current market the cost of a 3D printer is very high, so the objective of the work was to build a machine with 3D printing technology, aiming to minimize costs using materials easily obtainable, leading to cost reduction making development easy. Upon completion of the study, the 3D printer will be available to manufacture a replica of a V8 engine used for teaching.

**KEYWORDS:** Low cost, 3D printing, innovation, rapid prototyping.

### 1. INTRODUÇÃO

As Impressoras 3D invadiram indústrias de pequeno a grande porte, podendo ser utilizadas em diversas áreas de atuação tanto na medicina, quanto na culinária. A tecnologia da impressão 3D, também é conhecida como um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos, a partir de fontes de dados gerados por programas computacionais CAD (*Computer Aided Design*) / CAM (*Computer Aided Manufacturing*).

Outro grande destaque está no fato de que essa tecnologia também pode ser usada para prototipagem rápida, com grandes vantagens de custo, já que não há desperdício de material. As matérias primas mais utilizadas na fabricação de peças e protótipos e o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), este material é feito a partir do petróleo, eles possuem uma resistência muito elevada e uma boa durabilidade, e o PLA derivado do amido de milho e proporciona a peça um melhor acabamento, melhorando sua estética. O ABS é indicado para construção de peças que tendem a sofrer impactos mecânicos, e prototipagem industriais.

Essa fabricação é devida a um dispositivo de extrusão que derrete as matérias primas e empurra-os através de um pequeno orifício, (chamado bico extrusor, podendo obter diversos diâmetros), para construir camada por camada do objeto, até que ele seja formado por completo. Estas máquinas funcionam normalmente para construir protótipos de 20 – 30 cm<sup>3</sup> de volume, ainda assim não é muito complicado imprimir objetos maiores, mais terá que levar em considerações alguns problemas que possam ser ocasionados durante o processo de impressão de objetos ou equipamentos maiores, como por exemplo: retração térmica, ela tende a deformar os objetos maiores, e também o tempo de impressão, neste caso levariam horas e até dias para que sejam totalmente impressos, que seria um risco, pelo motivo de quaisquer

falhas ocorridas levaria a reiniciar o processo de impressão.

Vendo que no mercado atual a impressora 3D possui um alto custo, e ainda no Brasil é uma coisa que está começando a ganhar popularidade, decidiu-se então começar a pesquisar, sobre as impressoras 3D e o processo de prototipagem rápida. Foi descoberta uma impressora de baixo custo e que também é *Opensource* (projeto aberto). Sabendo-se que no Brasil tudo que é uma novidade, se torna monopólio, decidiu-se realizar a compra da impressora de uma forma diferente e também por em prática tudo que foi aprendido durante as pesquisas. A compra das peças foi realizada separadamente, para que fosse possível atingir os objetivos.

Durante as pesquisas encontrou-se uma impressora 3D do modelo RepRap GraberI3. Este projeto por ser comunitário está disponível na internet ([www.reprap.org](http://www.reprap.org)), tanto sua parte de montagem estrutural, como a sua parte de programação eletrônica, para que se possa ter a oportunidade de desenvolver protótipos e maquetes de forma simples e barata. Na qual nos forneceu informações necessárias para o seu desenvolvimento.

O uso da impressão 3D no meio da educação irá inovar o aprendizado, trazendo assim um melhor método de ensino, tornando mais participativo a comunicação e desenvolvimentos de projetos entre os professores e os novos programadores, estimulando também o trabalho em equipe e a determinação de se alcançar um resultado na conclusão do projeto, estes sendo apresentados no ambiente de trabalho na carreira profissional.

Este trabalho tem como objetivo principal, desenvolver uma impressora 3D, com baixo custo e voltada para fins didáticos. Diante disso, é importante enfatizar que a prototipagem rápida em impressão 3D merece ser estudada porque pode oferecer ao desenvolvimento confiabilidade, maior qualidade aos produtos desenvolvidos e otimização de tempos e custos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Estrutura da impressora 3D

Fez-se uma pesquisa em qual material seria melhor utilizar na montagem da estrutura da impressora e optou-se, utilizar a estrutura em acrílico que por ser mais rígida, podendo suportar as vibrações no momento da impressão e a mesma não sofrer dilatação térmica, comparada com outros materiais, essa dilatação ocorreria no processo da impressão, pois é gerado calor para derretimento da matéria prima.

### Motor de passo Nema 17

Foi usado para fazer a movimentação dos eixos (X,Y e Z) o motor de passo Nema 17, que possui 4,0 Kgf de

torque e corrente de trabalho de 1.5 A, conforme mostra na Figura 1, a grande vantagem é que sendo um dispositivo simples, são baratos e muito eficientes em várias aplicações.

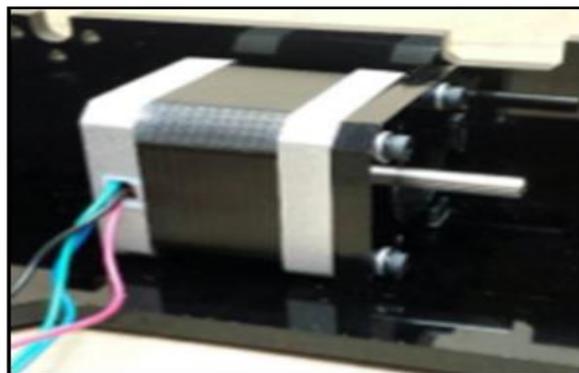


Figura 1. Motor de passo Nema 17. Fonte: Os autores.

### Arduino Mega 2560 e Placa Ramps 1.4

Foi utilizada a placa Arduino Mega 2560 (Figura 2).

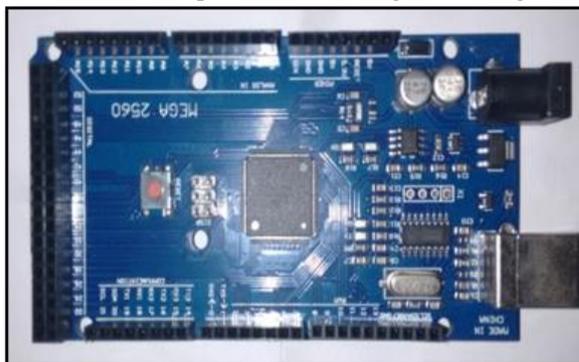


Figura 2. Arduino Mega 2560. Fonte: Os autores.

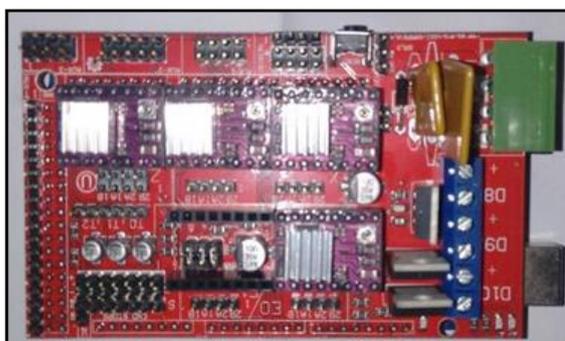


Figura 3. Placa Ramps 1.4. Fonte: Os autores.

Devido ao seu custo benefício, nela são salvas as programações da impressora, e ela é responsável por interpretar os comandos vindos do computador e enviar os comandos de ações para Ramps 1.4 (Figura 3), que é um módulo eletrônico projetado para ser usada juntamente ao Arduino Mega, é nele que se encontram os

dispositivos de liberação de corrente para o funcionamento da impressora 3D, tais como mosfet, controladores de voltagem, controladores de PWM (A modulação por largura de pulso).

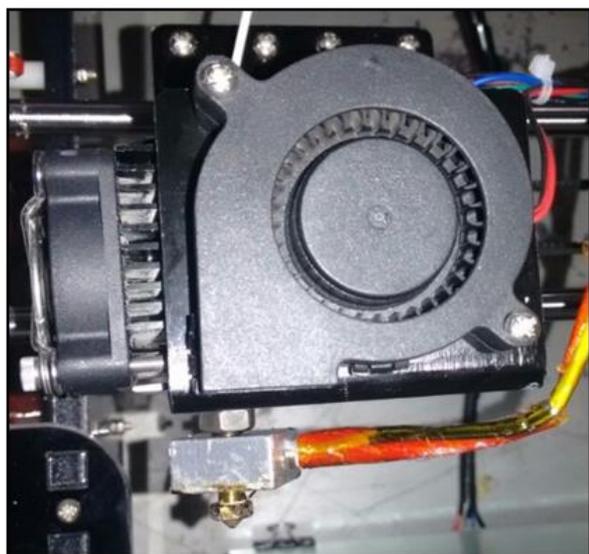
### Mesa aquecida de impressão

A mesa aquecida (Figura 4) é utilizada para depositar o material que vai ser impresso pelo bico extrusor, ela necessita ser utilizada, pois algumas dessas matérias primas não conseguem uma aderência boa na mesa e acaba se desprendendo, havendo assim a perda total da peça. O ABS, por exemplo, é um material que necessita de uma mesa aquecida, pois se tem uma obtém uma melhor fixação no vidro durante a impressão, fazendo com que a peça não se desprenda.



**Figura 4.** Mesa aquecida para deposição de material. **Fonte:** Os autores.

### Extrusora Impressora 3D (Hotend)



**Figura 5.** Extrusora impressora 3D. **Fonte:** Os autores.

O *Hotend* (Figura 5) é o coração da impressora 3D, pois nela que a matéria prima vai ser extrusada, a mes-

ma irá ser aquecida na temperatura correta e depositará sobre a mesa o filamento derretido. Também se encontra o bico (*nozzle*) que pode ser trocado, caso queira mudar para certa precisão.

### Fonte de alimentação

Foi utilizada uma fonte de 12V, no qual esta estabiliza a alimentação dos componentes eletrônicos (motores, *cooler*, *drives* e outros), controlando a corrente afim de estabilizar a tensão de saída.

### Comunidade virtual

Por ser um projeto *OpenSource* (projeto aberto), possui diversas comunidades virtuais, para acesso como a “Comunidade RepRap”: (<http://reprap.org/wiki/RepRap/pt>)<sup>1</sup>, em que o programador amador, poderá tirar suas dúvidas referente ao projeto e melhorias a serem feitas no mesmo, podendo assim ser mais fácil e incentivador o desenvolvimento do projeto.

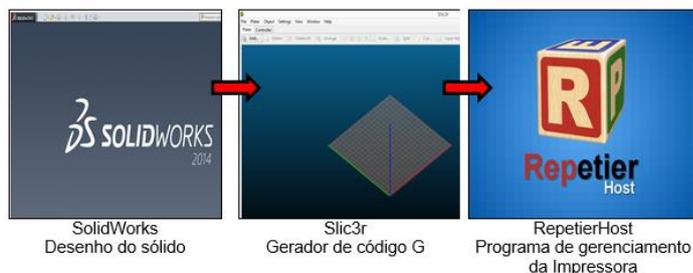
### Software SolidWorks

Neste caso será utilizado o SolidWorks na versão Trial, software que nos proporciona o desenho em 2D e 3D do objeto a ser projetado, podendo ter uma análise das medidas e detalhes de como será o protótipo feito. É preciso escolher softwares que sejam compatíveis com os sistemas operacionais dos computadores utilizados para desenvolver o desenho e com a impressora 3D.

### Software Slic3r

Logo depois que o desenho do protótipo é feito no SolidWorks, utilizamos o programa Slic3r que pode converter um sólido digital em instruções de impressão para a impressora 3D. Na prática corta-se o modelo 3D em fatias horizontais, obtendo assim as coordenadas gerando o *G-code*, que por sua vez desenvolve códigos que fazem a comunicação do computador com as impressoras.

### Software Repetier Host



**Figura 6.** Fluxograma dos softwares. **Fonte:** Os Autores.

Neste programa podem-se obter informações, como temperatura de aquecimento da mesa, temperatura do bico, controlar velocidade de impressão e outros co-

mandos, da impressora 3D.

O fluxograma abaixo (Figura 6) obedece a uma sequência dos softwares utilizados para se iniciar um desenho a ser impresso, são etapas necessárias e obrigatórias, para desenvolvimentos de protótipos.

## Métodos

### Montagem da estrutura

A aquisição dos materiais para montagem da estrutura da impressora (Figura 7) foi baseada em comparação de preço existente no mercado atual, tanto nacional como internacional. Diante das comparações de preço e acessibilidade, foram feitas as compras dos materiais necessários para realização da montagem por completa. As guias lineares, porcas, fusos, parafusos, rolamentos e fios, foram comprados em lojas da cidade em que os autores residem, minimizando assim os custos adicionais como frete e demais tarifas.

As guias lineares são o suporte para deslizamento dos motores, que fazem os movimentos no eixo X (movimentação da mesa), eixo Y (movimentação do bico extrusor) e no eixo Z (movimentação na subida e descida).



Figura 7. Estrutura da impressora. Fonte: Os autores

### Montagem eletrônica

Com a montagem da estrutura feita, foram adicionadas as partes eletrônicas na impressora, como a ligação dos fios nos motores, na placa, na mesa, na fonte e outros componentes. A ligação foi feita para que pudesse realizar a programação do Arduino e ajustar os demais componentes que necessitam de calibração.

## Cálculos utilizados

Para qualquer tipo de projeto que esteja sendo construído e/ou analisado, é necessário fazer cálculos, para determinados objetos a serem utilizados. No caso da criação da impressora 3D, não foi diferente, realizamos cálculos para saber qual o tipo de motor seria necessário para aguentar a rotação do fuso de acordo com a correia, calcular os passos para que não aja desalinhamento e sincronia entre as peças com as partes ligadas aos componentes eletrônicos. Através da tabela 1, mostra-se a utilização dos 3 jumpers (MS1, MS2 e MS3) da placa Ramps 1.4, utilizados para determinar a micro passos.

Tabela 1. Resolução do micro passos

MS1	MS2	MS3	Resolução do micro passos
Off	Off	Off	1
On	Off	Off	1/2
Off	On	Off	1/4
On	On	Off	1/8
Off	Off	On	1/16
On	On	On	1/32

Revolução do Motor- A revolução do motor pode ser encontrada no seu *datasheet*.

*Pitch* da Correia (Figura 8) – No projeto foi usado a correia GT2 com *Pitch* de 2mm (Figura 9).

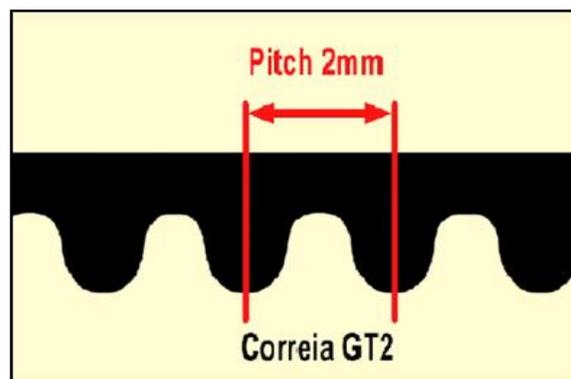


Figura 8. *Pitch* da Correia. Fonte: <http://atividademaker.com.br/>



Figura 9. Correia GT2. Fonte: Os Autores.

Número de dentes da polia (Figura 10): foi utilizada uma Polia de 20 dentes no projeto:

- Calculando passo /mm para correias

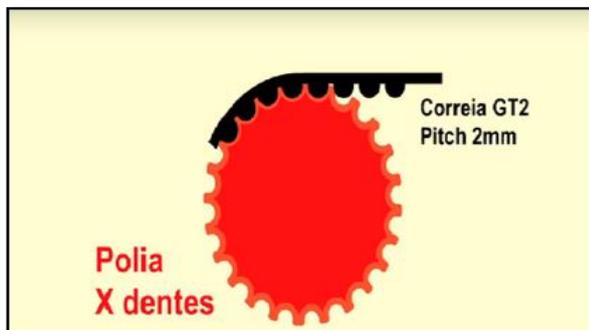


Figura 10. Polia de 20 dentes. Fonte: <http://atividademaker.com.br/>

$$\frac{\text{Micropassos} \times 1 \text{ Revolução do motor}}{\text{Passo da correia} \times \text{Número de dentes da Polia}} = \frac{32 \times 200}{2 \times 20} = \frac{6400}{40} = 160 \text{ Passos/mm}$$

- Calculando passo/mm para fusos em Milímetros

Passo do fuso – Foi usado um fuso de 5mm com passo de 2mm.

$$\frac{\text{Micropassos} \times 1 \text{ Revolução do motor}}{\text{Passo do Fuso}} = \frac{32 \times 200}{5} = \frac{6400}{5} = 1280 \text{ Passos/7}$$

### 3. DESENVOLVIMENTO

A Primeira Impressora 3D foi criada em 1984 por Chuck Hull. Porém foi apenas em torno de 2008 com a queda dramática de preço das impressoras, (que antes podiam custar até \$200.000,00 agora sendo compradas por até \$2.000,00) houve uma difusão e aumento de mercado para elas. Também surgiram diversas iniciativas para compartilhamento de tecnologia de replicação, ou seja, de máquinas capazes de construir a si mesmas, onde as impressoras 3D estrelaram como principais formas de replicadores<sup>2</sup>.

#### Desenvolvimento e construção de Impressora 3D

Segundo Azevedo (2013)<sup>2</sup>, na sua construção de impressora 3D, é composta basicamente dos seguintes elementos:

Estrutura: Composta por partes de plástico (impresas por outra impressora 3D, remetendo a replicabilidade das mesmas) e também peças de aço como parafusos, porcas, chapas e tirantes.

Parte eletrônica: composta por um circuito controlador, motores de passo, fonte, termistores, resistências e

detectores de fim de curso.

Firmware: Programa executado pelo controlador responsável por interpretar os códigos e comandar a máquina.

Software: Dois softwares, um responsável pelo fatiamento, e outro pela interface PC-Impressora. Alguns softwares possuem essas duas funcionalidades integradas. Porém software dedicado a fatiamento costuma apresentar melhores resultados além de serem mais flexíveis.

#### Inovação Tecnológica

O mercado existente hoje para esta tecnologia é amplo e o padrão de difusão observado é distinto com base no segmento de mercado. Por um lado, as impressoras 3d industriais influenciam a estrutura básica de manufatura ao reduzir custos, encurtar prazos, aprimorar e modificar processos existentes. Por outro lado, as impressoras 3d de uso pessoal se difundem tardiamente em relação à esta tecnologia como um todo devido ao desenvolvimento, na última década, de tecnologias complementares como a microeletrônica e as redes sociais. Além disso, a impressora 3d pessoal possui um padrão de difusão intimamente ligado à aprendizagem interativa, dando origem a plataformas online de troca de conhecimento e de compartilhamento de softwares e hardwares de código aberto para o aperfeiçoamento conjunto. A combinação de todos estes fatores gera um início de formação de um novo sistema tecnológico em fabricação aditiva, com consequências interessantes para o dinamismo da fabricação tradicional<sup>3</sup>.

#### Baixo Custo

O projeto RepRap propõe uma maneira de contornar essas restrições e popularizar a tecnologia, através de uma impressora 3D capaz de replicar-se e ser montada com produtos relativamente acessíveis. Dessa forma, torna-se possível sua rápida proliferação e uma base para comercialização a baixo custo, mantendo a qualidade satisfatória<sup>4</sup>.

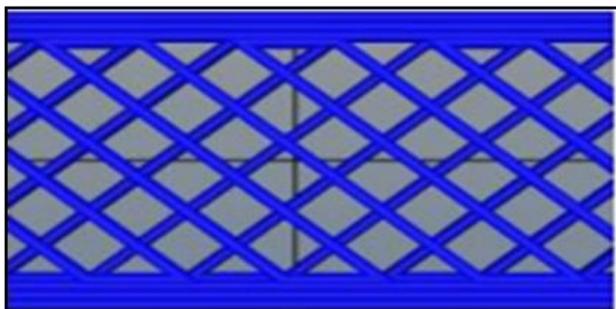
#### Aplicação Didática usando a impressora 3D

A construção de um instrumento didático inicia-se pela identificação do que se deseja alcançar com a utilização, será: demonstrar e facilitar a compreensão de algum conceito; causar um conflito nas concepções dos estudantes devido a um comportamento inesperado; gerar curiosidade nos estudantes; etc. Uma vez definido o objetivo, é preciso elaborar um plano de construção. Nesta etapa analisam-se as características materiais do objeto, sua geometria, medidas e como elas influem no funcionamento, afinal, se o objetivo é construir uma hélice para auxiliar no ensino de empuxo, não se pode desenhar cada pá com qualquer tamanho e ângulos, pois o resultado não deverá ser exatamente o desejado<sup>5</sup>.

## Tipos de Infill

Infill denomina-se o preenchimento intensivo da peça, são destinados a escolhê-los, no momento antes a se mandar o comando para poder imprimir o objeto desejado. Cada tipo de preenchimento tem suas propriedades, ou seja, quanto mais distantes forem essas camadas depositadas, menor será sua resistência a impactos (Figura 11 (a)), este caso é muito utilizado para desenvolvimento de maquetes, peças e protótipos para exposição, pois estes não necessitam de esforços excessivos, logo, quanto mais próximos forem essas camadas a ser preenchida, mais resistência à peça terá (Figura 11 (b)), podendo ser aplicada em situações que necessitam de esforços ou forças aplicadas.

Atualmente possuem diversas variedades de matérias primas que podem ser utilizadas na impressora 3D para imprimir os protótipos, podendo ser elas: cera, papel, PVC, policarbonato, nylon e até mesmo alguns metais podem ser utilizados na prototipagem rápida, dependendo da tecnologia utilizada na prototipagem. Avelino (2013)<sup>6</sup> afirma que, o material termoplástico mais comum é o ABS, foi utilizado na impressora 3D o *Filamento ABS - 1,75mm*, pois este é um polímero derivado do petróleo por ser bastante rígido e leve, apresentando assim um bom equilíbrio entre resistência e flexibilidade, além deste material ser compatível com impressoras de filamento fundido, e são utilizados em impressões para fins educativos, projetos arquitetônicos, automobilísticos e eletrônicos



**Figura 11 (a).** Preenchimento com 20% de material. **Fonte:** Dos Autores.



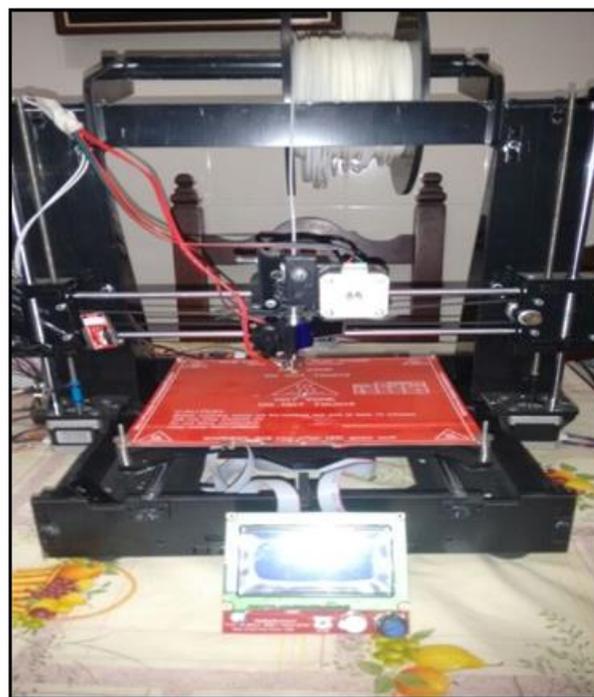
**Figura 11 (b).** Preenchimento com 100% de material. **Fonte:** Dos Autores.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados Impressora

A Impressora foi criada obedecendo a estudos e pesquisas para manter o mínimo possível de gasto sem comprometer sua eficiência e sua qualidade de impressão. Assuntos específicos voltados para o desenvolvimento da impressora tiveram que ser estudados para se obter um conhecimento para programação dos componentes eletrônicos, softwares não vistos, tiveram que ser estudados para se aprender a desenhar e transportar os arquivos de uma plataforma para outra.

Foi um grande desafio desenvolver a impressora 3D, pois no início não se conseguia obter uma peça de boa qualidade, foram feitos testes exaustivos na impressora, pois o nivelamento se alterava após a impressão de objetos, foi feita então uma peça na própria impressora, que serviu de nivelamento nos quatro cantos da mesa, resolvendo assim este problema. Dependendo do material utilizado, deve-se mudar grande parte das configurações, como temperatura, velocidade, preenchimento e outras. Na Figura 12 mostra o resultado final e conclusão do projeto sem afetar nenhum parâmetro que compromettesse o desenvolvimento do mesmo.



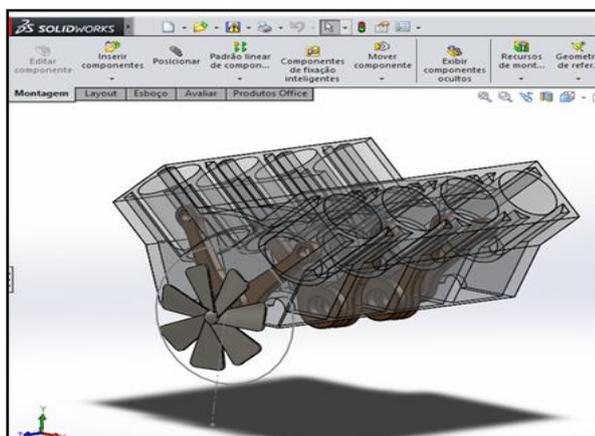
**Figura 12.** Impressora 3D montada. **Fonte:** Os autores.

### Resultados do protótipo

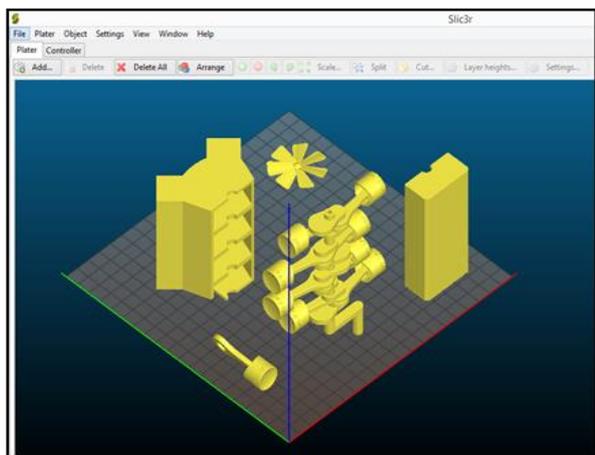
A construção de um instrumento didático inicia-se pela identificação do que se deseja alcançar com a utilização dele. Demonstrar e facilitar a compreensão de algum conceito; causar um conflito nas concepções dos

estudantes devido a um comportamento inesperado; gerar curiosidade nos estudantes; etc<sup>7</sup>. Com a criação da máquina RepRapGraber I3 CR, está apta à fabricados objetos e protótipos para serem estudados e analisados. Com a ajuda da Impressora 3D pode-se confeccionar o objeto, trazendo assim uma réplica realista, e em questão de horas o protótipo está feito e já poderá ser posto para estudo e análise podendo o mesmo ser explicado sobre seu funcionamento e seus demais componentes em tempo real.

Segundo Volpato (2007)<sup>8</sup> o desenvolvimento da impressora 3D é semelhante às impressoras comuns, no qual o cabeçote deposita a tinta sobre o papel, linha por linha. No sistema de impressão 3D, o produto é desenvolvido graficamente em 3D no software SolidWorks (Figura 13) e em seguida o modelo é convertido em coordenadas pelo software Slic3r (Figura 14), que são transferidos para a impressora em linguagem de máquina (gcode). O material presente no bico extrusor da impressora é depositado de acordo com o desenho final, formando o protótipo.



**Figura 13.** Protótipo desenhado no software SolidWorks. **Fonte:** Os Autores.



**Figura 14.** Protótipo representado em partes no software Slic3r. **Fonte:** Os Autores.

## Aplicação Didática

Foi escolhido um mini motor V8 (Figura 15), para ser fabricado, o mesmo será utilizado como material de estudo, pois somente a parte teórica é apresentada aos alunos, podendo está, não ser tão compreendida como se estivessem sendo analisado uma replica do motor. O protótipo facilita aos alunos que não tem um conhecimento muito aprofundado sobre o funcionamento em si e seus componentes, podendo usar para estudo uma réplica, só que em tamanho reduzido, mostrando assim como ocorre o seu acionamento e as demais funcionalidades.



**Figura 15.** Motor impresso pronto. **Fonte:** Os autores.

A Tabela 2 abaixo mostra a diferença entre a impressora RepRap comum e as demais impressoras já existentes para venda no mercado atual.

**Tabela 2.** Características de três modelos de impressoras 3D segundo critérios que devem ser levados em conta na hora da escolha de uma delas

	RepRap <sup>3</sup>	Cleiver <sup>4</sup>	Cube 2 <sup>5</sup>
Facilidade de uso	Média	Alta	Alta
Custo da impressora	Baixo (R\$ 2360,00)	Baixo/médio (R\$ 4659,00)	Baixo/médio (R\$ 3998,00)
Custo dos suprimentos	Baixo (R\$ 180/kg)	Baixo (R\$ 180/kg)	Médio/Alto (R\$ 590,63/kg)
Assistência técnica no Brasil	Não, mas há uma grande e ativa comunidade virtual para ajudar.	Sim	Sim
Compatibilidade com sistemas operacionais	Windows e Linux	Apenas Windows	Apenas Windows
Interface de comunicação	Normalmente USB, mas pode ser customizada	USB	USB, wifi e Pendrive

Fonte: Construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D (Aguiar et al, 2014).

A tabela de Demonstração das vantagens da RepRapGraber I3 CR (tabela 3) foi criada para demonstrar suas vantagens em relação a outras já existentes, à facilidade de uso, é considerada média pois deve-se obter um pequeno conhecimento de linguagem de computador, conhecimento em elétrica para instalação dos compo-

nentes eletrônicos. Custo apropriado para venda é relativamente baixo, facilitando assim a sua compra, e o custo das matérias primas também é considerado baixo, facilitando assim a acessibilidade para todos. Assistência técnica no Brasil está relacionada a dúvidas e reparos gerados pelas impressoras, com essa comunidade virtual RepRap ativa, pode-se sanar todos os problemas gerados por elas, através de pessoas que já tiveram problemas semelhantes. A compatibilidade com os tipos de sistemas operacionais, optando para as versões do Windows e Linux aumentando assim sua disponibilidade para usuários, e a interface de comunicação, este caso seria a entrada e a saída dos equipamentos terminais de dados, neste caso poderá ser usado USB ou pode ser customizado.

**Tabela 3.** Demonstração das vantagens da RepRapGraber I3 CR

	<b>RepRapGraber I3 CR</b>
Facilidade de uso	Média
Custo da impressora	Baixo (R\$ 920,00)
Custo de suprimentos	Baixo (R\$ 90,00 kg)
Assistência técnica no Brasil	Não há, porem possui uma comunidade virtual para ajudar.
Compatibilidade com sistemas operacionais	Windows e Linux
Interface de comunicação	Normalmente USB, mas pode ser customizada

**Fonte:** Os Autores

Diante das tabelas apresentadas (tabela 2 e tabela 3), pode-se observar que na tabela 3 o custo da fabricação da Impressora RepRapGraber I3 CR, é bem inferior ao próprio modelo apresentado por Aguiar, (2014)<sup>7</sup>, pois na montagem dos componentes da Impressora, alguns materiais de fácil acesso como parafusos, porca, arruelas, fios, cabos, guias lineares, rosca sem fim, rolamentos, adaptadores, e outros utensílios, foram comprados avulsos, na própria cidade em que os autores residem, ocasionando assim nenhuma tarifa adicional (frete ou algum meio de cobrança referente as peças), com esse método de compras foi utilizado para se obter um custo ainda mais baixo.

## 5. CONCLUSÃO

Com os estudos apresentados anteriormente, pode-se concluir que a impressora ReprapGraber I3 CR, está apta para à construção de materiais didáticos, ou qualquer outro tipo de protótipo. Esta inovação veio para mudar o dia a dia dos estudantes em universidades e escolas, que tem como objetivo alterar a dinâmica de ensino. Com

isso, os novos programadores também poderão criar protótipos e ferramentas que auxiliem no processo de aprendizagem, levando assim o desenvolvimento e habilidades de cada estudante além ajudá-los a compreender melhor sobre o que estão aprendendo.

Com pesquisas e estudos, podem-se minimizar os custos de compra dessas máquinas, podendo substituir peças, por outras similares e bem mais em conta em relação ao custo, do que as que seriam enviadas pelos fornecedores onde seriam compradas, sem claro, afetar o desenvolvimento da estrutura e a precisão das peças.

## REFERÊNCIAS

- [01] Comunidade Virtual: <http://reprap.org/wiki/RepRap/pt>
- [02] Azevedo FM de *et al.* Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [03] Dabague LAM. O processo de inovação no segmento de impressoras 3D. 2014.
- [04] Raulino BR. Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). 2017.
- [05] Aguiar L De CD, *et al.* Construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D. 2016.
- [06] Avelino SR. Desenvolvimento e avaliação de um sistema baseado em impressora 3d para confecção de blocos compensadores em radioterapia de intensidade modulada-IMRT. 2013.
- [07] AGUIAR, Leonardo de Conti Dias et al. Construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D. Disponível em: <http://sinect.com.br/anais2014/anais2014/artigos/tic-no-ensino-aprendizagem-de-ciencia-e-tecnologia/01409583389>.
- [08] Volpato N, *et al.* Prototipagem rápida - tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgar Blücher, 2007.
- [09] Barbosa C, *et al.* Desenvolvimento De Uma Impressora 3d De Baixo Custo Para Fins Didáticos. 2017.
- [10] Revista Inovação Tecnológica, São Paulo. 2012; 2(2):28-40. 2012 ISSN 2179-2895, p-28
- [11] Takagaki LK. Tecnologia de impressão 3D. Rit-Revista Inovação Tecnológica. 2013; 2(2).