



## CONTRIBUIÇÕES DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE IMPRESSÃO 3D NA EDUCAÇÃO

Alexandre Cabral Bedeschi<sup>1</sup> - [alexandre.cabral@engenharia.ufjf.br](mailto:alexandre.cabral@engenharia.ufjf.br)

Danilo Pereira Pinto<sup>2</sup> - [danilo.pinto@ufjf.edu.br](mailto:danilo.pinto@ufjf.edu.br)

Eiza Ashley Carvalho<sup>1</sup> - [eiza.carvalho@engenharia.ufjf.br](mailto:eiza.carvalho@engenharia.ufjf.br)

Emanoel Flávio de Almeida<sup>3</sup> - [emanoel.almeida@engenharia.ufjf.br](mailto:emanoel.almeida@engenharia.ufjf.br)

Felipe Bravo Lechitz<sup>3</sup> - [felipe.bravo@engenharia.ufjf.br](mailto:felipe.bravo@engenharia.ufjf.br)

Gabriela Frizoni Carneiro<sup>1</sup> - [gabriela.frizoni@engenharia.ufjf.br](mailto:gabriela.frizoni@engenharia.ufjf.br)

José Guilherme Ribeiro Yung<sup>3</sup> - [jose.guilherme@engenharia.ufjf.br](mailto:jose.guilherme@engenharia.ufjf.br)

Samuel Cravo<sup>3</sup> - [samuel.cravo@engenharia.ufjf.br](mailto:samuel.cravo@engenharia.ufjf.br)

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia

Rua José Lourenço Kelmer s/n – Campus Universitário, Bairro São Pedro.

36036-900 – Juiz de Fora - MG

**Resumo:** O projeto, desenvolvido por alunos de graduação do Programa de Educação Tutorial da Engenharia Elétrica (PET-Elétrica) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), tem como objetivo o estudo e desenvolvimento de impressoras 3D e suas aplicações através do uso da metodologia PjBL (Project-Based Learning) na organização do grupo e execução de tarefas. O artigo descreve as principais estruturas desses equipamentos, bem como o processo de montagem e melhorias implementadas, apresenta uma explanação acerca do funcionamento geral e relação com métodos de produção industriais, além de destacar o uso de conhecimentos adquiridos durante o curso de graduação, aplicações dessa tecnologia em outros projetos desenvolvidos no PET-Elétrica e parcerias com outros cursos e segmentos da UFJF. Destaca-se a relação com a educação por meio dos minicursos e palestras ministrados na universidade e instituições de ensino médio e curso técnico. Ao final será apresentado uma avaliação da importância dos conhecimentos e competências transversais adquiridos.

**Palavras-chave:** PjBL, Impressora 3D, Competências Transversais, Minicursos e Palestras, Educação.

### 1. INTRODUÇÃO

Os processos produtivos apresentaram uma acentuada evolução no decorrer dos últimos séculos. Iniciou-se através do artesanato, por meio da confecção de poucas unidades de uma quantidade limitada de produtos e intensificou-se através de métodos mecânicos e

<sup>1</sup> Discente bolsista do Programa de Educação Tutorial - Engenharia Elétrica da UFJF

<sup>2</sup> Tutor do Programa de Educação Tutorial - Engenharia Elétrica da UFJF

<sup>3</sup> Discente do curso de Engenharia Elétrica da UFJF



ambientados nas conhecidas fábricas. As linhas de montagem, criadas por Henry Ford durante o século XX se espalharam através das indústrias, assim como as condições subumanas de trabalho, e solidificaram-se devido a Segunda Grande Guerra. O principal foco do Fordismo, como ficou conhecido, era a produção em massa, em números, muitas vezes, excessivos.

Também durante o século XX, já em meados da década de 70, começa a se difundir o Toyotismo, um método de produção já focado na qualidade do produto e em atender a demanda, evitando o desperdício, simbolizado pelo famoso sistema *Just-in-time*.

Mas em todos os casos, o processo industrial depende de toda uma cadeia de empregados e empregadores, além de um maquinário caro que demanda espaços enormes para manufatura de produtos padronizados. Assim, o consumidor está atrelado às ofertas e prazos da indústria para ter acesso ao seu bem de consumo. Mas, e se fosse possível que qualquer indivíduo tivesse esse poder de criação e produção? Foi exatamente esse sonho que motivou o surgimento de uma das maiores revoluções de todos os tempos: a “Impressão 3D”.

Utilizando métodos de produção já consolidados, a manufatura aditiva e a modelagem por depósito de material fundido, pessoas comuns podem utilizar essa tecnologia graças ao seu criador: Chuck Hull. Em plena década de 80, na Califórnia, ele deu o primeiro passo em direção à tecnologia atual, por meio da estereolitografia (tecnologia precursora da impressão 3D). Também conhecida como foto-solidificação ou fabricação sólida, a estereolitografia consiste na solidificação de uma resina especial por meio da incidência de um laser que causa uma reação química, a polimerização. Ainda na década de 80, o processo conhecido como *fused deposition modeling* foi inventado por Scott Crump, além de ter começado os primeiros estudos sobre uma das principais matérias primas da impressão 3D, o plástico ABS. A partir desse ponto, a confecção de peças plásticas começou a despontar, pois era um método mais rápido e preciso que o tradicional.

Essa revolução culminou em diversas aplicações, não só para a produção caseira de peças, mas também com consequências sociais, como a manufatura de próteses de baixo custo e órgãos. É possível a construção de casas inteiras por meio de versões adaptadas em grande escala dessas máquinas. A engenharia nunca mais será a mesma.

O PET-Elétrica decidiu apostar, 3 anos atrás, nessa promessa e, desde então, é um dos projetos com maior visibilidade do grupo, sendo essencial para o desenvolvimento das demais áreas. Aplicando a metodologia PjBL, os estudantes que têm contato com a Impressora 3D desenvolvem habilidades técnicas, como programação, eletrônica e mecânica e competências transversais, como a fala em público, didática, preparação de apresentações e organização. Um dos principais fatores desse projeto é o fato de ele não ter um fim previsto. Dado que essa é uma tecnologia relativamente recente, ainda há muito a ser descoberto e explorado pelos estudantes que têm de evoluir seus conhecimentos juntamente com a evolução das técnicas de impressão.

O artigo se estrutura da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a metodologia adotada durante o desenvolvimento do projeto, na seção 3 detalhamos o projeto e suas aplicações e, por fim, na seção 4, concluímos sobre os resultados na formação dos estudantes envolvidos.

## 2. METODOLOGIA

O perfil de um graduando em engenharia do século XXI deve ser moldado utilizando novas técnicas de aprendizado que se adequem às necessidades atuais, para um mercado cada vez mais exigente, onde somente a formação técnica não satisfaz. Nos dias de hoje, o foco



está no estudante que deve exercitar e desenvolver, além dos conhecimentos técnicos, outras habilidades e competências como trabalho em grupo, liderança, comunicação, iniciativa, autodidatismo, adaptabilidade, efetividade, profissionalismo, capacidade de gerenciamento e habilidades cognitivas (COSTA et al., 2010).

Nesse contexto, a metodologia ativa de aprendizagem PjBL, cujo foco é o estudante, é empregada em todos os trabalhos do PET-Elétrica. Consiste em reunir um grupo de alunos com o objetivo de elaborar um projeto, desde sua concepção até sua concretização. Desta forma, o estudante, além de ter contato com gestão financeira e administrativa, desenvolve competências necessárias a todo engenheiro, tais como: boa comunicação, espírito de coletividade, proatividade, cumprimento de prazos e metas, disciplina, organização, auto avaliação e liderança.

A atual equipe que compõe o projeto da Impressora 3D é formada por 10 petianos, divididos em 3 grupos que realizam atividades independentes e que se reportam a coordenação. Além disso, são feitas também atividades com o envolvimento de toda a equipe. É importante destacar que a integração entre os grupos é primordial para que haja uma difusão do conhecimento. O primeiro grupo cuida da implantação do auto nivelamento da mesa, demonstrando que há uma preocupação não somente com o funcionamento da impressora em si como em seu aperfeiçoamento, pois esta é uma nova funcionalidade que está sendo implementada. O segundo aborda novas técnicas relacionadas ao aquecimento da mesa com questões como: diminuição do tempo para se atingir a temperatura adequada para impressão, uniformidade na distribuição de calor, redução das perdas por efeito Joule. O terceiro grupo quer tornar a impressão independente do uso de um computador através da implementação de um display LCD e entrada de cartão SD, além do uso de uma câmera e conexão remota para permitir o controle a distância e monitoramento das impressões. Há também tarefas gerais do grupo como: impressões de peças, manutenção da estrutura da impressora, organização e catalogação do acervo.

Percebe-se a eficácia do método PjBL experimentalmente, afinal é uma ferramenta inovadora que quebra os paradigmas da educação em engenharia tradicional e que permite aos estudantes uma reflexão sobre suas próprias ideias e opiniões, dar voz à própria palavra, escutar e ser escutado e fazer suas próprias escolhas que afetarão positivamente o resultado e o processo de aprendizado em geral. (BLUMENFELD et al., 1991).

### 3. PROJETO

#### 3.1. Descrição da Impressora 3D

O nosso formato atual de impressora 3D, que pode ser visto na Figura 1, é do tipo *Prusa Mendel V2* que, como todos os modelos *RepRap* (*RepRap*, 2017), é *open source*, ou seja, sua estrutura, manuais de montagem, programação e aprimoramentos apresentam um licenciamento livre.

Seu funcionamento é definido basicamente através da comunicação de duas placas acopladas: uma placa micro controladora e uma extensora, apropriadas para impressoras 3D, que possibilitarão o controle de motores e sensores. Todo este conjunto receberá comandos específicos de um programa embarcado em um computador. O intuito é mover o bico de extrusão de filamento (extrusora) em três eixos espaciais cartesianos através dos motores, enquanto o filamento de material plástico derrete e, quase que instantaneamente, resfria num



processo contínuo, fazendo com que este se molde na estrutura requisitada até que a peça seja completamente formada.

O programa principal é o *Repetier Host*, que gerencia as funções de impressão e trabalha enviando e recebendo comandos da placa micro controladora. Suas funções primordiais envolvem a transmissão das linhas de código *G-Code* para os controladores, englobando as funções de: controle de temperatura dos componentes, movimentação dos motores de passo, intensidade do *cooler* e taxa de extrusão de filamento.

A placa micro controladora utilizada é o *Arduino Mega 2560*, que associada a uma placa extensora *RAMPS 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield)* comanda e interpreta as partes eletrônicas e mecânicas da máquina. Basicamente, faz-se a leitura dos sensores e o envio dos sinais lidos para o programa, que os interpreta e gera comandos *G-Code* para manipular motores e circuitos de aquecimento. As trocas em duas vias de informações perpetuam até o fim da impressão.

Parte fundamental é o desenho de peças a serem impressas, através de um programa de *CAD (Computer Aided Design)* que faz desenho assistido por computador. Utiliza-se o *software SolidWorks*. Desenhada ou feito o *download* de uma peça, a importamos no programa *Repetier Host* para que seja realizado o processo denominado fatiamento, este divide a peça em camadas e define os caminhos a serem percorridos pela extrusora através da geração da linguagem de programação *G-code*.

O programa de fatiamento em questão está embarcado no *Repetier Host* e denomina-se *Slic3r*, este possui configurações ajustáveis para diferentes tipos de impressão, como: altura de camadas, velocidade de movimentação dos eixos e temperatura.

As partes fundamentais para o funcionamento da impressora, além das já citadas placas, destacam-se os motores de passo, a *heatbed* (mesa aquecedora), os sensores termistores e a extrusora.

Figura 1 - Impressora 3D do PET-Elétrica

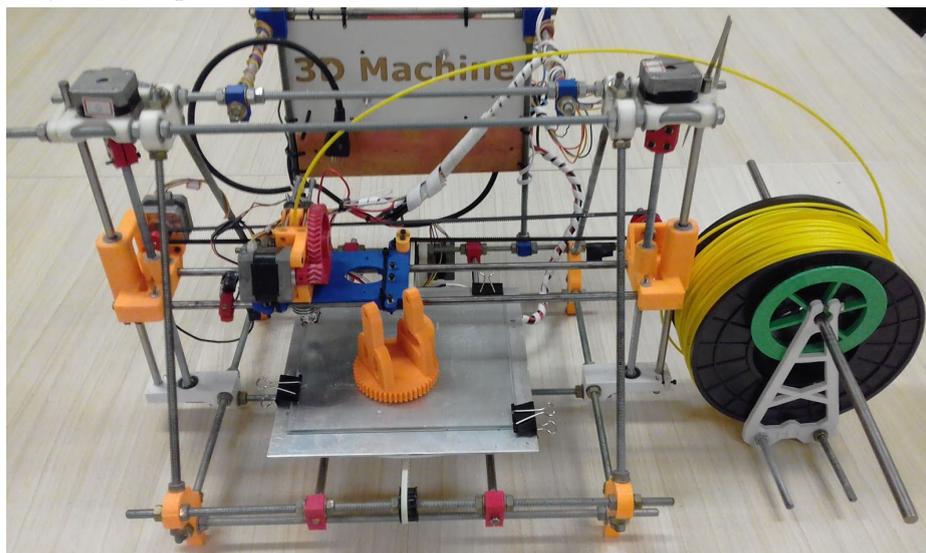




Tabela 1 - Peças e suas aplicações

Peças	Aplicações
Motores de Passo	Movimentam com precisão as correias através dos eixos e a extrusora.
Heatbed (mesa aquecedora)	Uma chapa de alumínio com resistores na parte inferior, que com a passagem de corrente dissipa calor para esquentar a superfície e possibilitar a adesão da peça durante toda a impressão
Termistores	Sensores responsáveis pelo reconhecimento de temperatura da extrusora e <i>heatbed</i>
Extrusora	Componente responsável pelo contínuo derretimento do plástico, por onde o filamento entra na parte superior e funde na parte inferior
Correias	Fitas dentadas que guiam os diversos eixos, através da rotação dos motores
Módulos dos motores de passo	Dividem mais os números de passos do motor, aumentando a precisão de seu movimento
<i>End-stops</i>	Marcam a origem dos eixos ao serem pressionados
<i>Coolers</i>	Resfriam as placas e a extrusora, evitando até que partes estruturais derretam
Fonte	Alimenta as placas e os circuitos de aquecimento da extrusora e <i>heatbed</i>
Partes estruturais	Peças impressas em 3D, barras roscadas, eixos retificados, rolamentos lineares, polias e engrenagens sustentam e estabilizam a estrutura

### 3.2. Capacitação:

Tendo em mente que o PET-Elétrica tem como um dos seus pilares a aplicação do PjBL, o período de capacitação dos novos integrantes do projeto Impressora 3D é importante para a ambientação e motivação destes. Esse período de capacitação consiste em, basicamente, 3 etapas.

A primeira envolve a adaptação e aprendizado com o *Repetier Host*, onde os novatos aprendem a utilizar o *software* e realizar impressões. A segunda etapa consiste em um curso básico da ferramenta *SolidWorks*, que permite a modelagem de peças tridimensionais. Finalmente, aborda-se a interação entre software e hardware através da introdução ao estudo das partes físicas que compõem a impressora, seu funcionamento e como proceder em caso de eventualidades.

Como forma de difusão do conhecimento apropriado no decorrer dos estudos e utilização da impressora 3D, são realizados minicursos também para diversas instituições e estudantes interessados em aprender sobre a plataforma utilizada para projetar as peças a serem impressas, o programa *SolidWorks*, e sobre o próprio funcionamento das impressoras 3D.



Os minicursos acontecem através de parcerias ou eventos, em que os participantes do PET-Elétrica organizam o conteúdo a ser abordado com os alunos através do PjBL. Assim, os objetivos são: discutir os conteúdos e difundir a metodologia ativa de aprendizagem. Dentre os minicursos e palestras realizados, destacam-se:

**Minicursos de capacitação dos petianos:** ocorrem sempre quando há demanda, ou seja, petianos interessados em iniciar atividades utilizando o software e iniciando sua participação em projetos (novos ou em andamento) que utilizam a impressora 3D para produzir peças, como pode ser visto na Figura 2. Nesses em especial, abordam-se mais profundamente todos os componentes da impressora e os softwares utilizados. O conteúdo é sempre trabalhado de forma prática, visando à construção do conhecimento e a realização de atividades práticas.

**Minicursos para escolas:** graduandos da UFJF e alunos de outras escolas da cidade e região - durante eventos realizados na Faculdade de Engenharia da UFJF (Semana da Engenharia, comemoração dos 25 anos do PET-Elétrica, dentre outros) são oferecidos minicursos e palestras que abordam o *software SolidWorks*; realização de palestras em escolas (por exemplo, Colégio Militar de Juiz de Fora, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais Campus Santos Dumont) para demonstração da impressora 3D, como forma de divulgação e de motivação para as áreas de engenharia e tecnologia.

Sendo assim, pode-se perceber que a realização de minicursos e palestras é uma maneira eficaz na disseminação das experiências e dos conhecimentos adquiridos pelo grupo de petianos envolvidos com este projeto. Assim, os membros do PET-Elétrica e estudantes envolvidos desenvolvem habilidades e competências e podem difundir os conhecimentos já adquiridos, criando um ciclo essencial na qualificação de outros alunos.

Figura 2 - Peça impressa no PET-Elétrica



### 3.3. Aplicação no PET-Elétrica:

A impressora 3D foi adquirida para o PET com o intuito de facilitar a criação de peças que antes eram dificilmente localizáveis no mercado regional ou até mesmo na *internet*.

Organização



Promoção





Trouxe com ela um dos maiores artifícios: permitir que peças fossem desenvolvidas pelos próprios membros do grupo.

A complexidade de peças em três dimensões, com comprimentos variados e de diferentes formas e tamanhos, fez com que a impressora 3D pudesse ser inserida nos seguintes projetos presentes no PET:

**Drone:** Toda a estrutura envolvida para a construção do drone, foi desenvolvida pelos membros da equipe através da impressora, tais como: encaixe dos motores, plataforma base para suportar componentes, pés para estabilização e até o encaixe de sustentação das fibras de carbono.

**Linusbot:** Este projeto consiste em uma competição de robôs seguidores de linha muito tradicional no PET-Elétrica. Foi desenvolvida na Impressora 3D a base para suportar os componentes integrados, assim como os motores fixados. Acoplado a esta base, foi inserido um suporte impresso para o sensor infravermelho.

**Replicação da Impressora 3D:** Com o modelo atual de impressora foi possível criar novas peças para um segundo modelo, muito mais robusto e avançado - como por exemplo, a adição de um segundo bico extrusor. Com esse projeto foi possível atender ao dobro da demanda dos projetos, diminuindo pela metade do tempo gasto para a confecção de objetos.

Outro fator relevante é a diminuição da necessidade de laboratórios externos para a impressão de peças, com redução de custos, burocracia e tempo.

**SPA Tecnológico:** O projeto consiste na realização de um evento com duração de um mês, em que os membros do grupo PET-Elétrica são nivelados em conhecimento técnico através de minicursos.

Durante o SPA foram desenvolvidos pequenos cursos de como se utilizar a impressora para com o desenvolvimento de peças. O intuito era elaborar um projeto, aplicá-lo ao programa *SolidWorks* e, após todo o aprendizado, criar pequenos protótipos. Os desenvolvidos foram: Sistema-Girassol Detector de Energia Solar, Janela Automática e um Comedouro Inteligente para Animais.

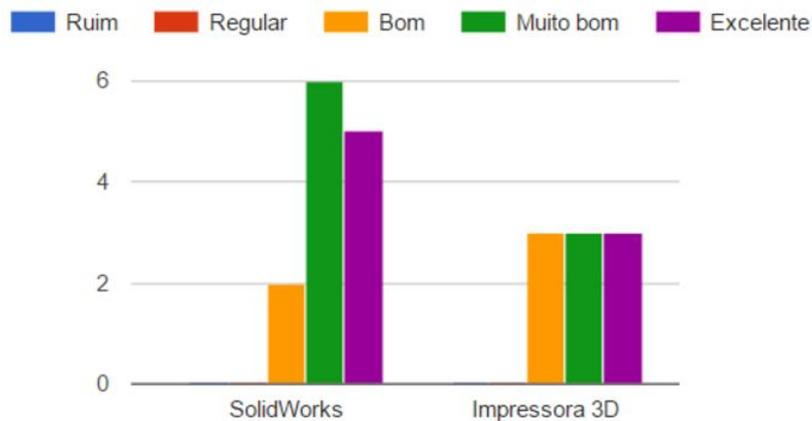
Além de todos os projetos que utilizam diretamente peças impressas, foram resolvidos diversos problemas dentro do PET através de pequenas confecções, como: suporte para ferramentas fixadas ao quadro, *cases* para microcontroladores, suporte para câmeras de segurança, e proteção para conectores de componentes.

#### 4. RESULTADOS

Através de formulários preenchidos pela equipe podemos perceber a eficácia do projeto no desenvolvimento de competências transversais e habilidades extracurriculares como: trabalho em grupo, proatividade, cumprimento de prazos e metas, organização, liderança, criatividade. Na Figura 3 podemos verificar a importância dos minicursos para os participantes:



Figura 3 - Gráfico Avaliação Minicursos



A partir de todas as competências desenvolvidas, percebemos a efetividade do contato dos estudantes com o funcionamento de um processo produtivo como uma experiência que simula diversas necessidades da indústria. Através das tarefas desenvolvidas, modelagem e peças impressas, o grupo pode experienciar um contato direto com a prática da profissão, o que estimula os estudantes durante a graduação e permite que se diferenciem do padrão de formação, pois não somente adquirem o conhecimento teórico, como o aplicam para a resolução de problemas e implementação de inovações

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto segue em desenvolvimento e, cada vez, mais percebe-se a necessidade de projetos como esse por parte dos estudantes durante a graduação, pois devido a essa possibilidade, eles se aproximam da Engenharia. A “Impressora 3D” é uma tecnologia tão atual quanto a necessidade por metodologias ativas no ensino e consegue abranger a aplicação dos conhecimentos teóricos de sala de aula, bem como desenvolver competências transversais. Além disso, possibilita a parceria entre diferentes ramos e cursos da universidade, um contato necessário, pois reflete a interdependência entre áreas distintas do conhecimento.

### *Agradecimentos*

Ao Programa de Educação Tutorial PET/MEC e à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora pelo suporte para realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLUMENFELD, P.; SOLOWAY, E.; MARX, R.; KRAJCIK, J.; GUZDIAL, M.; PALINCSAR, A. Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26 (3 & 4), 369-398, 1991.  
COSTA, A. L. M.; RIFFEL, D.B.; BEZERRA, E.C. Um currículo de engenharia para o século. *Anais XXXVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*. Fortaleza, 2010.a  
HICKEY, Shane no *The Guardian*. Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology. Disponível em:

Organização



Promoção





<<https://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>> Acesso em: 03 jun. 2017.  
REPRAP. Prusa Mendel/pt. Disponível em: <[http://reprap.org/wiki/Prusa\\_Mendel/pt](http://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel/pt)> Acesso em: 03 jun. 2017.

## CONTRIBUTIONS OF THE DEVELOPMENT OF 3D PRINTING SYSTEMS IN EDUCATION

**Abstract:** *The project, developed by graduate students of the Programa de Educação Tutorial da Engenharia Elétrica of the Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), aims to study and develop 3D printers and their applications through the use of the methodology PjBL (Project-Based Learning) in group organization and task execution. The article describes the main structures of these equipments, as well as the assembly process and improvements implemented, presents an explanation about the general operation and relation with industrial production methods, besides highlighting the use of knowledge acquired during the graduation course, applications of this technology in other projects developed in PET-Elétrica and partnerships with other courses and segments of the UFJF. The relationship with education through the mini courses and lectures given in the university and institutions of secondary education and technical course stands out. At the end, an evaluation of the importance of the transversal knowledge and skills acquired will be presented.*

**Key-words:** *PjBL, 3D Printer, Transversal Competences, Mini courses and Speeches, Education.*