

# AUTOMAÇÃO DA CABINE DE LIMPEZA DE IMPRESSÃO 3D *BINDER JETTING*

ROGÉRIO SPAGNOLO SILVA <sup>1</sup>

**Resumo:** Atualmente, para limpeza dos modelos ortodônticos por impressoras em 3D (*Binder Jetting*), os equipamentos comerciais oferecem o jateamento em grande escala de peças que exigem intervenção manual de operadores. A limpeza eficiente em pequenas escalas de peças ocorre através de um processo de limpeza manual e repetitivo que até atingir a eficiência total na limpeza, podem ocorrer perdas das peças pelo manuseio do operador. A tecnologia apresentada é um modelo para otimização da etapa de limpeza dos modelos ortodônticos com foco na análise de eficiência da limpeza total dos modelos em pequenas escalas sem intervenção de operadores. A pesquisa acadêmica deste projeto tem como objetivo buscar conhecimento nas áreas de estudo da impressão em 3D, estudo e construção de placas de construção, aplicação de sistema de jateamento, montagem e elaboração de dispositivos, dimensionamento da estrutura, projeto teórico e aplicação prática.

**Palavras-chave:** Automação, Impressão 3D, Jateamento.

## AUTOMATION OF 3D PRINTING CLEANING BOOTH BINDER JETTING

**Abstract:** Nowadays, for cleaning of orthodontic models by 3D printers (*Binder Jetting*), commercial equipment offers the large-scale blasting of parts requiring manual intervention of operators. Efficient cleaning of small scales of parts occurs through a manual and repetitive cleaning process until the total cleaning efficiency can lead to loss of parts by operator handling. The presented technology is a model for optimization of the cleaning stage of the orthodontic models with focus on the analysis of the efficiency of the total cleaning of the models in small scales without operator intervention. The academic research of this project aims to seek knowledge in the areas of study of 3D printing, study and construction of building boards, application of blasting system, assembly and elaboration of devices, structure design, theoretical design and practical application.

**Keywords:** Automation, 3D Printing, Blasting.

<sup>1</sup> Professor da Escola de Arquitetura, Engenharias e Tecnologia da Informação – FMU. E-mail: [rogério.spagnolo@fmu.br](mailto:rogério.spagnolo@fmu.br)

## 1. INTRODUÇÃO

Para o processo de confecção de modelos ortodônticos na empresa que foi aplicado o projeto, utiliza-se a tecnologia denominada *Binder Jetting*. A tecnologia *Binder Jetting* consiste no uso de dois materiais: material de base em pó (metal ou pó de gesso) e um agente líquido. Segundo Godoy (2018), a tecnologia *binder* foi desenvolvida no Instituto de Tecnologia de Massachusetts em 1993 e em 1995 a AZ Corporation obteve uma licença exclusiva.

A linha de produção estudada nesse artigo consiste de uma impressora em 3D que deposita uma camada de pó de gesso na placa de construção e a cabeça de impressão a jato de tinta jorra o *binder* que é o agente de ligação, para unir as camadas formando os modelos ortodônticos.

A vantagem desse processo é que permite que as impressoras trabalhem com impressão 3D em grandes lotes, desde que estejam dentro da área placa de construção. Em média, são impressos 16 modelos ortodônticos em uma impressão de quatro horas, totalizando 8 pares de modelos ortodônticos (maxilar e mandíbula), porém, a desvantagem é o grande excesso de pó de gesso que fica ao redor destes modelos.

A partir disto, vários outros objetivos foram surgindo: minimizar o tempo do processo de limpeza, reduzir a quebra de modelos, aumentar a produtividade da linha de produção, evitar o comprometimento da saúde do operador durante o processo e melhorar a qualidade final do produto.

Em função do aumento da demanda por modelos ortodônticos, constatou-se que o processo de limpeza é demorado e que também haviam perdas de peças pelo manuseio do operador. Assim, iniciou-se um estudo de viabilidade do projeto para automatizar este processo de limpeza com impressora em 3D e tecnologia *Binder Jetting*.

## 2. A EVOLUÇÃO DA IMPRESSÃO 3D

Segundo WISHBOX (2018), a primeira impressora 3D surgiu em 1980 e, apesar dos diferentes tipos de impressão, todas se baseiam no mesmo princípio de deposição de camadas. Portanto, a diferença entre os tipos é caracterizada pela maneira que ocorre a distribuição da matéria prima.

A **Tabela 1** apresenta a evolução da impressora 3D:

Ano	Fato
1984	Criado por Chuck Hull o primeiro método de impressão por prototipagem rápida, (estereolitografia), ou seja, uma fabricação aditiva que utiliza recipiente de foto polímeros líquidos de resina que é solidificada através da exposição de raios ultravioleta.
1988	Após quatro anos da criação é feita a comercialização da impressora SLA – 250, com método FDM ( <i>Fused Deposition Modeling</i> ) modelagem por fusão e deposição, este é o método mais utilizado de fabricação aditiva por sobreposição apesar de ser mais lento que a esterolitografia, a empresa Scott Scrumpp foi a desenvolvedora.
2005	Lançamento de impressoras mais compactas como a Spectrum Z510, da corporação Z, que evoluiu também a resolução e melhor qualidade em cores.
2014	A iBox Nano inova na produção de objetos pequenos gerando custo benefício para projetos de produtos menores, até hoje é a menor impressora e mais leve no mercado.
2016	A empresa HP lançou a 3D Multi Jet Fusion, não utiliza laser, funciona com uma técnica em aplicar camada de pó seguido por uma matriz térmica de tinta que introduz um agente químico e funde o material, com este equipamento é possível utilizar até três materiais diferentes simultaneamente.
2018	pode considerar a “inovação da inovação”, uma impressora dez vezes mais rápida foi desenvolvida por engenheiros do instituto de tecnologia de Massachusetts – MIT. Enquanto as impressões tradicionais levam uma hora para imprimir uma peça Lego, a inovadora faz em questão de minutos, fato que ocorre devido o cabeçote compacto e duas ferramentas que aceleram o processo de “derreter” o material através de laser proporcionando maior rapidez.

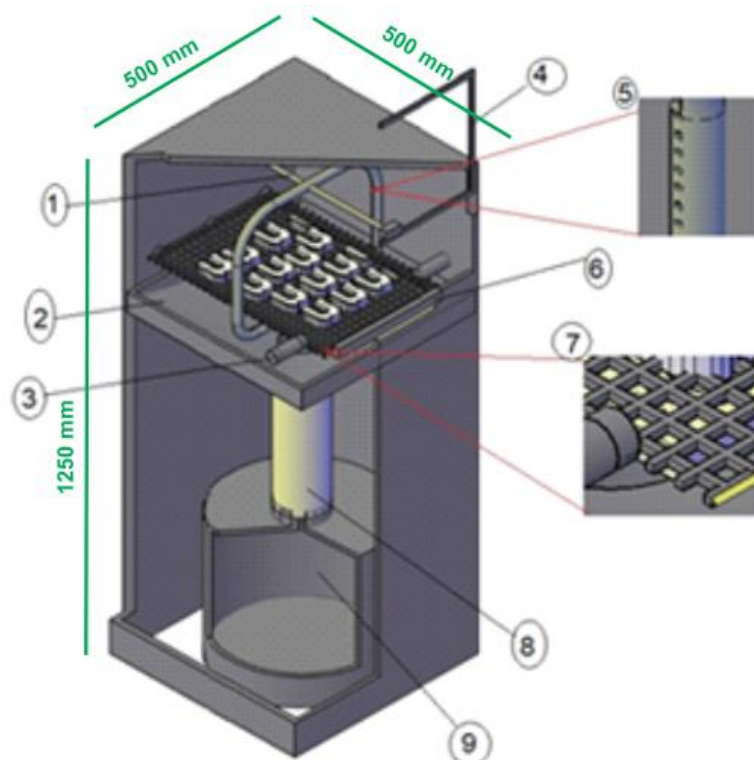
**Tabela 1** – Evolução da impressora 3D.

**Fonte:** DANTAS, *et al.*, 2018.

### 3. DESENHO TÉCNICO INICIAL

Devido a fragilidade dos modelos ortodônticos, todas as partes mecânicas do sistema foram projetadas especificamente para uma limpeza mais suave, para que não venha quebrar ou apresentar fissuras no gesso.

O esboço do protótipo inicial mostrado é ilustrado na **Figura 1**:



**Figura 1** – Desenho do Protótipo Inicial.

**Fonte:** próprio autor.

Onde:

1. Eixo Giratório (Fuso) de Locomoção, que inicial foi cogitado para o protótipo, porém em uma análise decidiu-se o uso de correia para locomoção, já que o fuso poderia pegar impurezas do pó e travar.
2. Base para tubulação de sucção;
3. Suporte de fixação;
4. Porta;
5. Arco para jateamento;
6. Suporte para remoção de placa de construção;

7. Placa perfurada de perfil quadrado;
8. Tubulação para o motor de sucção;
9. Recipiente para armazenamento de pó com resíduos;

#### 4. FABRICAÇÃO DA PLACA DE CONSTRUÇÃO

A área de impressão dos modelos é denominada placa de construção. Sendo assim, além dos modelos que são formados na área onde estão os desenhos em 3D, ao redor e no interior da base destes é gerado um grande excesso de pó de gesso em função da impressora empurrar o material para toda área da placa de construção. Entretanto, somente na área que se encontram os desenhos em 3D, através de um reagente, os desenhos são realizados pelo software da impressora.

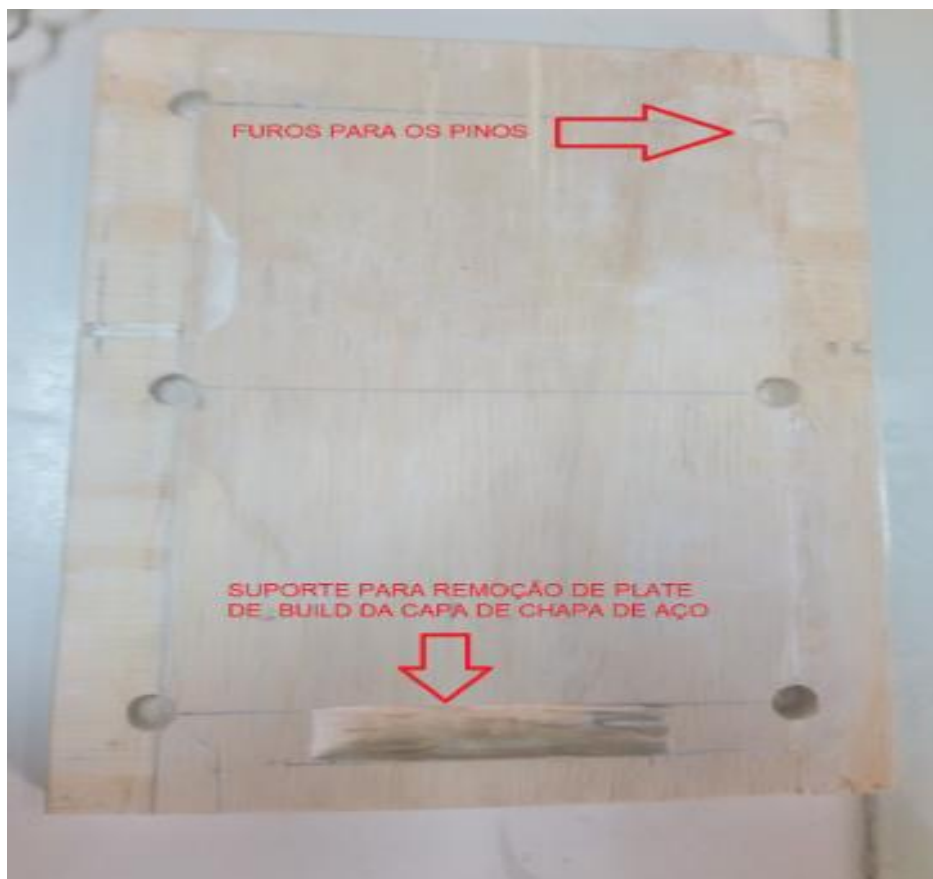
Para remoção do pó de gesso acumulado entre os modelos e dentro das bases, uma nova placa de construção foi fabricada, composta por dois componentes: uma chapa de aço inox de tipo moeda e placa de construção (que para prototipagem usou-se madeira, substituindo a placa de construção original de metal), como ilustra a **Figura 2**:



**Figura 2** – Vista Frontal da nova Placa de construção com a capa de aço inox.

**Fonte:** próprio autor.

Na parte inferior desta base de placa de construção foi necessário fazer furos para encaixar nos pinos dentro da impressora e ficar corretamente posicionada para não influenciar na hora da impressão, como ilustrado na **Figura 3**:



**Figura 3** – Vista Inferior da nova placa de construção

**Fonte:** próprio autor.

#### **4.1 TESTE PLACA CONSTRUÇÃO NA CABINE**

A cabine possui um sistema que trava a capa de aço inox para que o operador consiga puxar a placa de construção para fora da máquina, diminuindo o acúmulo de pó de gesso e, para a remoção pelo operador, foi construído um suporte na parte inferior da placa de construção.

A placa de construção encaixou perfeitamente na impressora e realizou a impressão corretamente conforme ilustra a **Figura 4**:



**Figura 4** – Teste da nova placa de construção na impressora.

**Fonte:** próprio autor

A **Figura 5** ilustra, como comparativo, o acúmulo de pó de gesso na placa de construção original após finalizar o ciclo de confecção dos modelos ortodônticos:



**Figura 5** – Resultado da impressão com a placa de construção original.

**Fonte:** próprio autor.



A **Figura 6** ilustra o resultado da impressão nos modelos ortodônticos com a nova placa de construção na impressora:



**Figura 6** – Resultado da impressão com a placa de construção original.

**Fonte:** próprio autor.

Como pode ser observado na **Figura 6**, no teste com a nova placa de construção, o pó de gesso da lateral esquerda onde não foram desenhados os modelos e no interior da base dos modelos, foram removidos, como esperado.

## 5. MONTAGEM ESTRUTURA DA CABINE

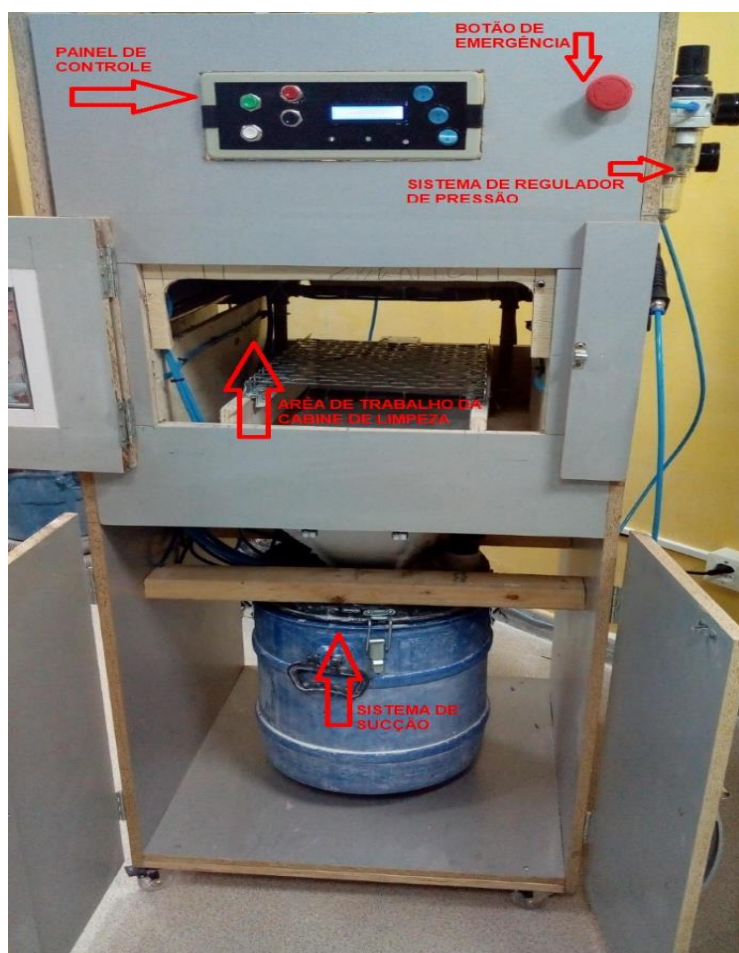
Para facilitar a montagem e desmontagem da cabine, a cabine foi construída em três partes (inferior, central e superior).

Na parte inferior está o sistema de sucção; na parte central ocorre o processo de limpeza dos modelos e na parte superior os sistemas de eletrônicos e de controle da cabine de limpeza juntamente com o painel para comunicação do operador com a cabine.

Para agilizar o acesso à manutenção e para que não ocorra contaminação com o pó de gesso, os sistemas eletrônicos e de controle foram instalados somente na parte superior.

A **Figura 7**, ilustra a vista frontal da cabine:





**Figura 7** – Vista frontal da cabine.

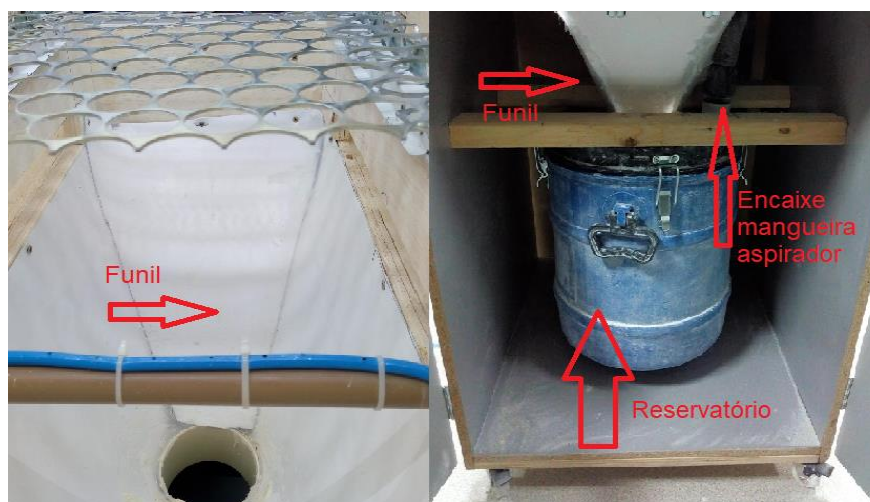
**Fonte:** próprio autor.

## 6. SISTEMA DE SUCÇÃO

Para o projeto foi utilizado um sistema reservatório de aspiração ciclone, que consiste de um separador de pó e ar usando a física da força centrípeta. Segundo Junior (2014), os ciclones são equipamento classificados como separadores ciclônicos e são utilizados na remoção de partículas sólidas contidas em um gás.

A partir da definição acima, verifica-se que a mistura de pó e ar entra em alta velocidade dentro de um recipiente, gerando um ciclone dentro deste, o que faz com que o pó (a parte mais densa da mistura) se deposite nas paredes e o ar (por ser menos denso) permaneça no centro separando-os.

A **Figura 8** ilustra o sistema de sucção tipo ciclone:

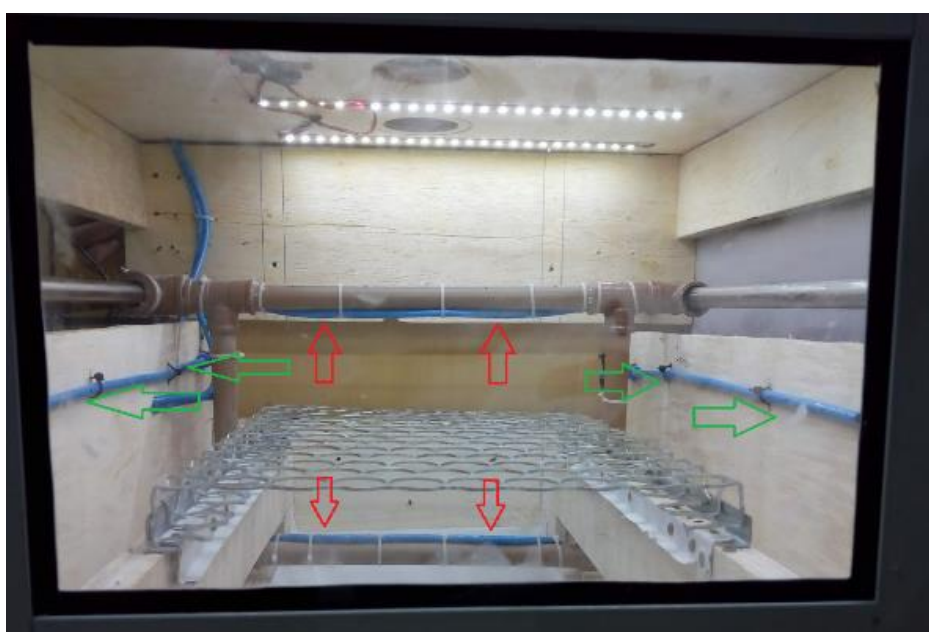


**Figura 8** - Sistema de sucção tipo ciclone.

**Fonte:** próprio autor.

## 7. SISTEMA DE JATEAMENTO

Para exemplificar a estrutura do jateamento, fez-se em duas partes o sistema de jateamento da cabine de limpeza: a primeira que acompanha um mesmo movimento linear horizontal e a segunda fixa nas laterais acompanhando o suporte da placa de construção. A **Figura 9** ilustra esta estrutura do jateamento:



**Figura 9** – Estrutura do jateamento.

**Fonte:** próprio autor.

Como pode ser observado na **Figura 9** nas flechas vermelhas, o suporte que está envolvendo os modelos sob a chapa de aço inox em forma de um arco foi fixado à mangueira pneumática para realizar o jateamento na parte superior e inferior.

A parte inferior do arco trabalha com jatos verticais de baixo para cima diretamente na parte inferior dos modelos. Já a parte superior do arco, trabalha com jatos verticais de cima para baixo diretamente na parte superior dos modelos.

Nas laterais, as mangueiras representadas pelas flechas verdes, foram fixadas na própria lateral da cabine de limpeza com jatos laterais nos modelos simultaneamente.

Durante os testes foi observado que na saída de pressão para a limpeza nas etapas do ciclo houve pressões diferentes, sendo a superior e inferior com 50psi e as laterais com 15psi. A alternância de pressão se justifica pela diferença de excesso de acúmulo de pó de gesso nos modelos.

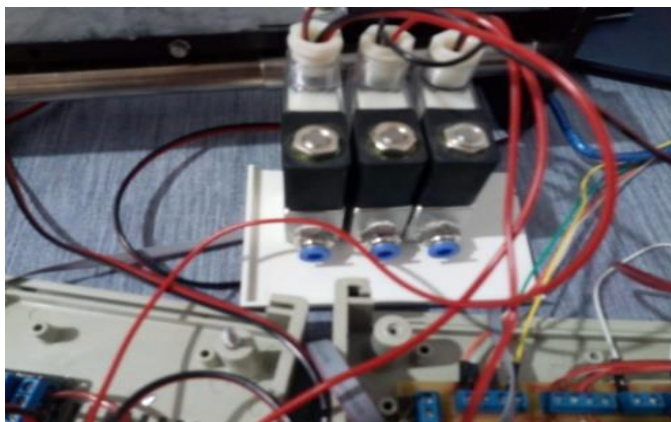
Um ciclo de limpeza é composto por uma repetição de jateamento na parte inferior dos modelos, no qual o arco percorre toda a extensão da placa de construção. Ao terminar o jateamento inferior será iniciado o jateamento superior fazendo novamente o arco percorrer toda a extensão da placa de construção com uma repetição de jateamento e quando finalizado vem os dois últimos jateamentos laterais que ocorre de forma simultânea.

## 8. ACIONAMENTO DOS SISTEMAS

O motor e as válvulas são acionados através de relés, que por sua vez são acionados pela plataforma Arduino®. As válvulas são ligadas com polo **GND** diretamente na fonte de 12V AC/DC e o seu polo **VCC** é ligado no relé em seu terminal normalmente aberto.

O motor por sua vez é ligado ao polo **GND** e o polo **VCC** é ligado em outro rele ambos na posição comum e ambos os relés estão ligados numa ligação **X**, assim possibilita quando o sistema ative N/A de um dos relés e N/F do outro e vice-versa é possível alterar o sentido de rotação do motor.

A **Figura 10** ilustra o esquema de ligações descrito para o acionamento dos sistemas:

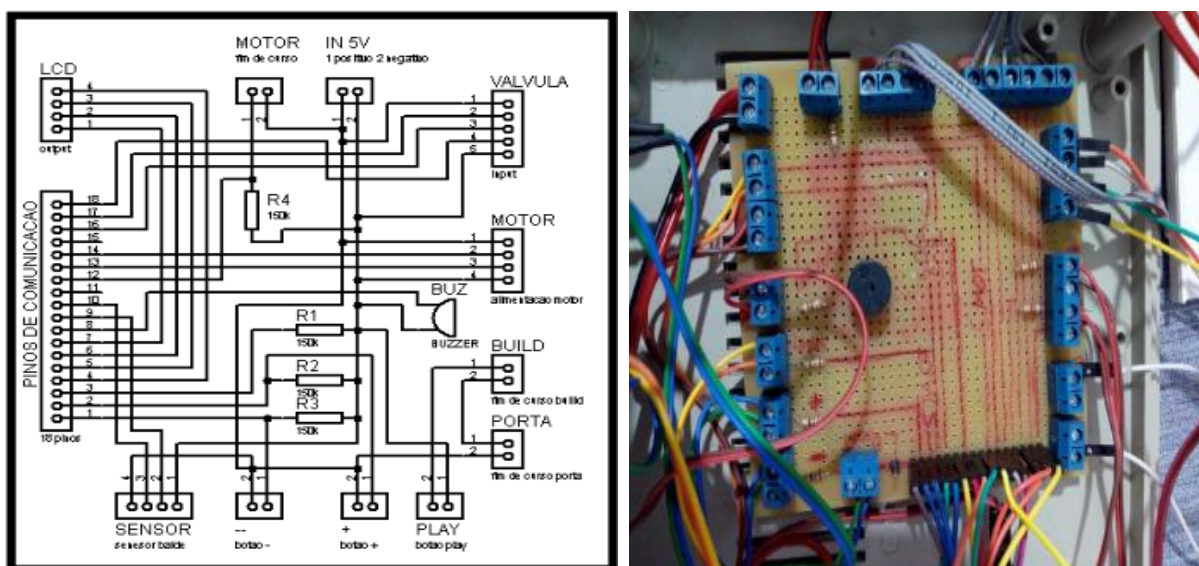


**Figura 10** – Válvulas Solenoides

Fonte: próprio autor.

## 9. PLACA DE INTERFACE

Para facilitar a acomodação dos cabos e a ligação dos mesmos nos demais periféricos foi projetada e desenvolvida uma placa de interface com borneiras para conexão rápida de seus cabos, facilitando também na manutenção do sistema. Na placa, estão instalados resistores para leitura dos sinais que os botões e sensores transmitem para a plataforma do Arduino® conforme ilustra a **Figura 11**:



**Figura 11**– Placa de Interface projetada e conexões.

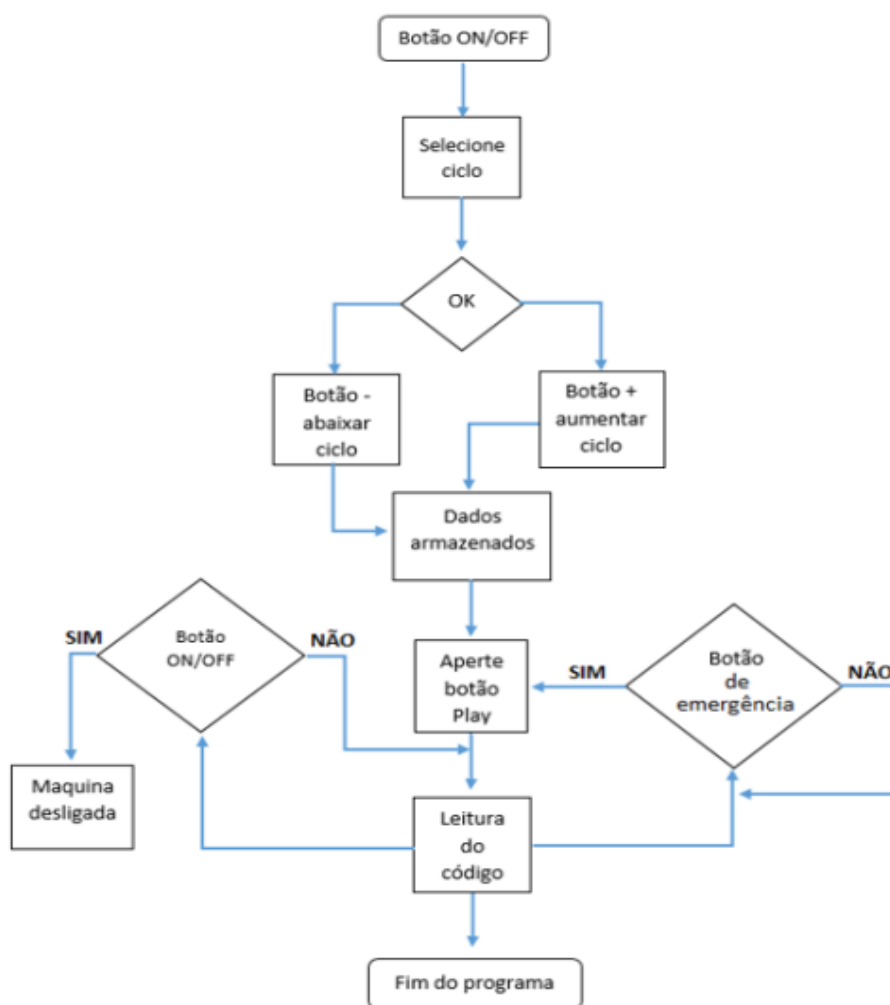
Fonte: próprio autor.

## 10. INTERFACE DE COMUNICAÇÃO

A fim de proporcionar uma interface de comunicação bem intuitiva entre o operador e a cabine de limpeza, foi implementado uma LCD 16x2, onde o usuário pode observar quantos ciclos foram determinados para que os modelos ortodônticos estejam limpos e quantos ciclos ainda faltam para completar.

Os botões são usados para definir as funções do processo tais como o acionamento geral da cabine, ascender e apagar a iluminação interna, ligar e desligar o sistema, quantidade de ciclos e início do processo. Foi implementando também um botão de emergência com a finalidade de paralisar o procedimento realizado e proteger a qualquer imprevisto existente no processo.

A **Figura 13** ilustra o fluxograma de funcionamento da máquina:



**Figura 12** – Fluxograma do Processo de Trabalho da Máquina.

**Fonte:** próprio autor.

Na **Figura 12** observa-se que ao ligar a cabine de limpeza será solicitado ao operador selecionar um valor de ciclos, através disso, o controlador irá armazenar os dados e preparar para início, assim que os dados forem armazenados o usuário poderá dar início ao processo apertando ao botão **PLAY**, ao ler o código de programação o sistema sempre estará atento caso ocorra um imprevisto e seja acionado o botão **RESET** ou o próprio botão designado para emergência. Ao finalizar o código de programação o operador será informado do fim e será acionado o alarme de sinalização de fim de processo e conseqüentemente poderá retirar os modelos limpos da estação de limpeza.

## 11. CONCLUSÃO

Neste processo de fabricação e testes, concluiu-se ser possível e viável a automação do processo de limpeza dos modelos ortodônticos. Os resultados apresentaram alta taxa de limpeza das peças, já que até a fase atual, estas obtiveram uma limpeza total de até 90%, com margem de melhora dependendo da dimensão e quantidade de peça. Entretanto, devido ao projeto encontrar-se em fase de prototipagem, pode-se rever alternativas para garantir uma melhor eficácia na limpeza.

A redução de danos e quebras demonstrou uma excelência ótima no processo de produção, já que a pressão de jateamento e as características físicas da máquina foram calculadas e projetadas para evitar ao máximo a quebra do modelo.

Tais características podem ser assim consideradas como aumento na produtividade com um fator determinante pela decisão de automatizar o processo de limpeza: maior garantia nos modelos ortodônticos e maior correspondência com a impressão original, atenuando as ocorrências de desvios e falhas.

Observou-se também, uma organização no processo de produção mais clara e definida, gerando uma estimativa de tempo para término da limpeza em grande escala, desatrelando o tempo a subjetiva qualidade de cada operador.

Por fim, este projeto proporcionou também maior segurança de trabalho, com a presença de um sistema de segurança mais eficaz com um botão especialmente destinado para qualquer emergência que possa ocorrer com a máquina.



## 12. BIBLIOGRAFIA

JUNIOR J. C., **Avaliação do desempenho de um ciclone *Stairmand* adaptado com bicos injetores de água**, 2014. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. Disponível em:

<<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4144/6116.pdf?sequence=1>>.

Acesso em: 13.02.2018.

GODOY, A., **Quais são os tipos de impressão 3D**, 2018. Disponível em:

<<https://blog.escoladeimpressao3d.com.br/quais-sao-os-tipos-de-impressao-3d+227476>>. Acesso em: 13.02.2018.

**WISHBOX TECHNOLOGIES**, Evolução das impressoras 3D, 2016. Disponível em:

<<http://blog.wishbox.net.br/2016/03/31/a-evolucao-das-impressoras-3d/>>. Acesso em: 13.02.2018.

DANTAS, I.M., PACHECO, L.N., SILVA, R.F., SANTOS, S.L., BOTELHO, W.C.. **Implantação de impressão 3D: melhoria no processo de projetos no grupo aço tubo.**

Disponível em: <[https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/impressora\\_3d-artigo\\_final225-5-18.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/impressora_3d-artigo_final225-5-18.pdf)>. Acesso em: 13.02.2018.