

# Guia do Usuário

## ALTPRINT

2022

# Algoritmo: AltPrint

## Autores:

Eng. MSc Henrique Takashi Idogava - Linha de pesquisa e experimentos.

Daniel Marcos Souza do Couto - Desenvolvimento do algoritmo e ensaios.

Eng. Dr. Leonardo Santana - Orientação da validação do material.

Profa. Dra. Zilda de Castro Silveira - Orientação no Brasil.

Prof. Dr. Jorge Lino Alves - Orientação em Portugal.

Link de acesso: <https://github.com/couto0/altprint>

## Referência:

COUTO, D. M. S. do; IDOGAVA, H. T. AltPrint: alternative 3d printing. Publicado em 20 de janeiro de 2020. Disponível em: <<https://github.com/couto0/altprint>>.

# Resumo

Este guia básico para utilização do algoritmo AltPrint busca mostrar ao usuário as novas possibilidades na impressão 3D quando alteramos certos parâmetros do processo. Sabemos que hoje no mercado encontramos a cada dia novos materiais e equipamentos que trazem melhorias significativas às peças impressas; mas o que ocorre quando alteramos parâmetros intrínsecos do código?

Com o AltPrint você irá observar que imprimir peças diferentes, com novas funções não depende exclusivamente do material ou da impressora que está sendo usada. Não existe um fatiador universal para todos os casos da impressão 3D, sendo que cada software traz opções diferentes para serem aplicadas em condições diferentes. O AltPrint não é diferente nesse aspecto e para que ele funcione bem é necessário que o seu usuário saiba de algumas características básicas e em que condições pode aplicar o código. Para tanto se faz necessário a redação deste pequeno GUIA DO USUÁRIO ALTPRINT. Os tópicos apresentados neste guia buscam mostrar:

- Operação do algoritmo;
- Aplicação em peças funcionais;
- Como o AltPrint funciona;
- Comandos e parâmetros;
- Teste com novos materiais;

O AltPrint é um código que nasceu de um projeto de Doutorado e de uma Iniciação Científica. Muitos dos resultados obtidos foram possíveis com o auxílio de arquivos, programas e códigos disponíveis na comunidade *open-source*. Como o objetivo da pesquisa sempre foi trazer inovação e melhoria, o AltPrint é um código aberto e livre para que usuários possam utilizá-lo e melhorá-lo.

# 1. Introdução

## O que é o AltPrint?

O código AltPrint foi desenvolvido em linguagem Python sendo que permite a importação de arquivos de objetos tridimensionais virtuais do tipo STL, para o seu fatiamento em formato G-Code (o mais usual para impressoras 3D). Para que o algoritmo funcione é necessário conhecer em que condições pode ser utilizado:

- O código foi desenvolvido para extrusão de filamento, ou conhecida FFF (Fused Filament Fabrication) / FDM® (Fused Filament Fabrication registrado pela empresa Stratasys);
- Pode ser usado em impressoras abertas e fechadas;
- Pode ser usado por impressoras com o extrusor no cabeçote de extrusão (Ex. Prusa) ou com limitações em impressoras com o tudo de bowden (Ex. Ender);

Cada fabricante formula o seu material, adicionando aditivos e pigmentos que tornam mais fácil ou difícil de produzir os feixes flexíveis pelo AltPrint e por isso este Guia Básico traz um procedimento de *set-up* do material;

## Por que utilizar o AltPrint?

O código AltPrint não é um fatiador convencional, que permite trabalhar com suportes, preenchimentos de formas complexas ou que tenha o processamento mais rápido. Talvez um dia ele chegue a uma versão que contemple todos esses pontos. A principal função do AltPrint é alterar as propriedades dos arquivos de impressão 3D, mais especificamente o G-Code. A alteração dos padrões tem como possibilidade gerar regiões especiais nos objetos impressos. Essas regiões podem ser de menor densidade e podem estar alinhadas para criar feixes flexíveis. Todos esses aspectos estão relacionados com a taxa de extrusão.

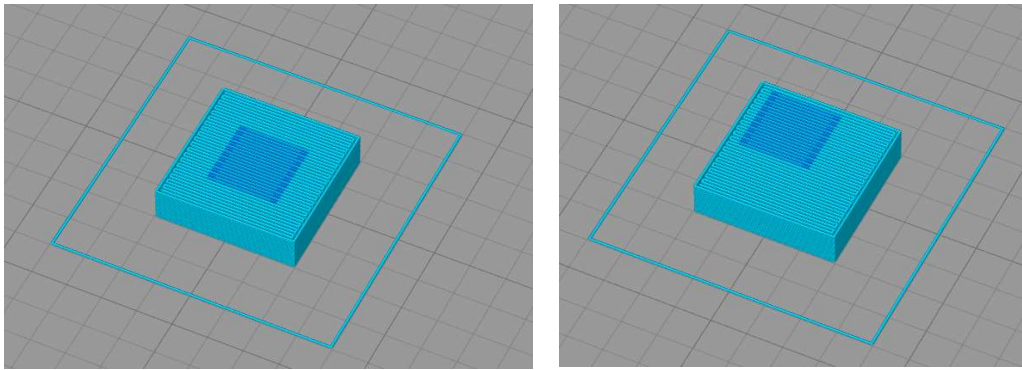
O funcionamento do código se deve pela sobreposição de geometrias (*boolean*) para obter um novo objeto. As principais funções do AltPrint são:

1° Fatiar o objeto em regiões específicas dentro de uma mesma camada;

2° Permitir que o controle de deposição do material gere largura variável dos segmentos;

Não parece grande inovação, e mesmo assim você pode estar se perguntando: “-Mas vale a pena o esforço de baixar e entender um novo algoritmo?”. Muitas vezes por não conhecermos bem um assunto e por ele não ser divulgado da maneira correta podemos deixar de utilizar novas ferramentas. Por isso iremos conferir as aplicações do AltPrint antes de mostrá-lo.

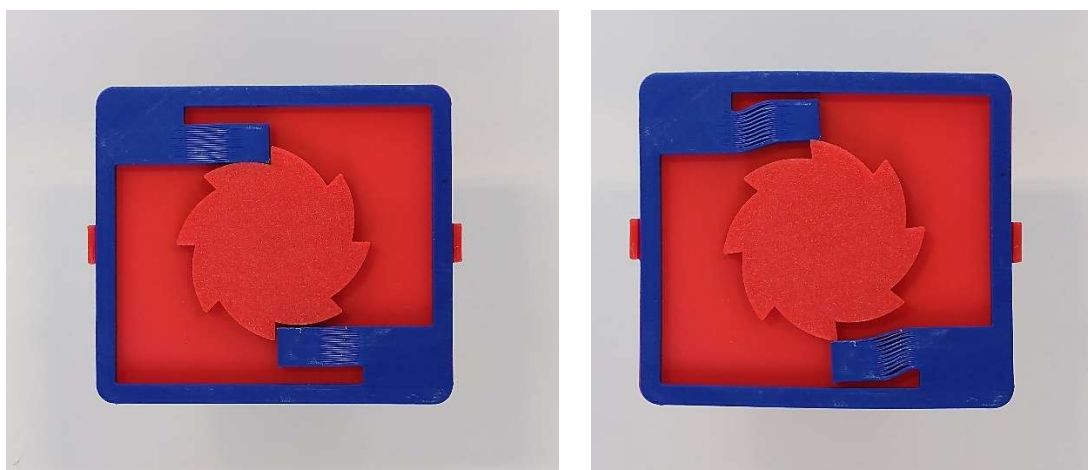
A primeira função de fatiar o objeto em regiões específicas corresponde a um preenchimento variável na formação de cada camada. Mesmo que a variação de preenchimento possa ser feita em softwares comerciais, ela está restrita ao *offset* da superfície do objeto, enquanto o AltPrint permite que uma região especial seja condicionada em qualquer porção da peça (dentro, fora ou parcial), como demonstrado na Fig. 1 em que se observa a região interna no centro da peça e deslocada do centro.



**Figura 1:** Visualização do G-Code de um quadrado com a formação de duas regiões distintas em um mesmo objeto.

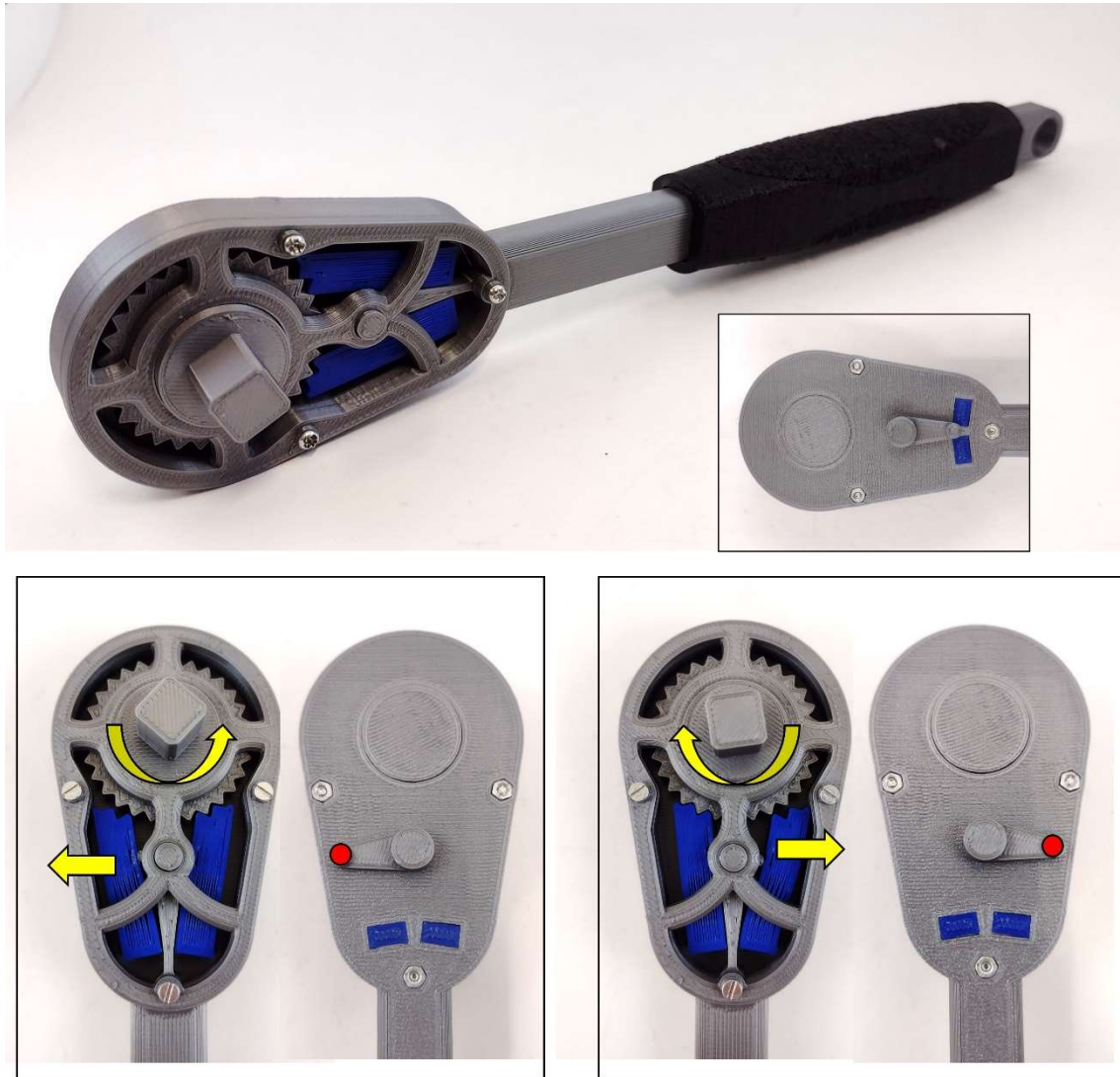
A segunda função permite que cada região específica tenha uma propriedade de impressão diferente. Por exemplo, o quadrado da região de interesse da Figura 1 poderia ser adicionado uma porcentagem de preenchimento diferente. Esse preenchimento deslocado da região central resultaria em um objeto com maior massa em uma de suas extremidades. Outro efeito interessante que foi desenvolvido junto ao AltPrint foi a possibilidade de gerar regiões flexíveis.

As regiões flexíveis são o resultado quando diminuimos muito a quantidade de material depositado, mas o suficiente para que os segmentos de plástico sejam impressos sem interromper. Esses segmentos em forma de feixes com menor quantidade de material vão afinando, tornando partes menos rígidas e flexíveis. Essa flexibilidade pode ser aplicada em peças que sofrem esforço do tipo flexão. Essa explicação foi a forma inicial de demonstrar as aplicações para pequenas propostas de alterações de fatiadores para impressão 3D. Neste ponto é importante comentar que esses “feixes flexíveis” não são desenhados em um modelo CAD, eles são fruto do resultado do fatiamento, demonstrando que podemos alterar a geometria da peça sem alterar o modelo CAD e sim pelo planejamento aditivo em ambiente virtual. A Fig. 2 mostra a aplicação do AltPrint em uma estrutura desenvolvida no estudo do tipo roda dentada.



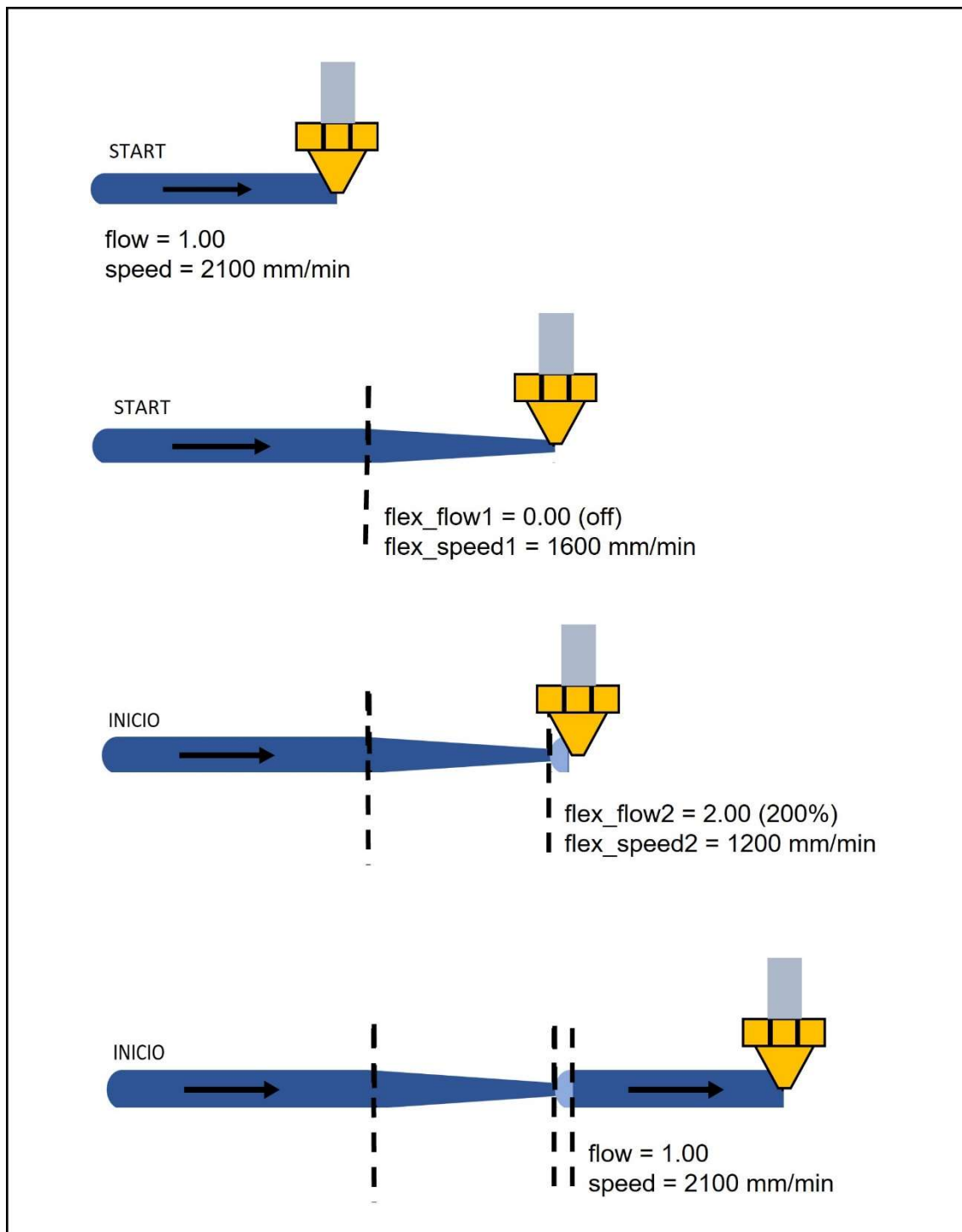
**Figura 2:** Mecanismo de catraca onde os feixes flexíveis (porção em azul) só permitem o movimento horário da roda dentada (peça vermelha central) (adaptado de Idogava et al.,2021).

Outras aplicações mais elaboradas da aplicação do algoritmo na construção de uma ferramenta do tipo catraca, utilizada para apertar ou soltar parafusos. A Fig. 3 mostra em detalhes como as peças flexíveis (em azul) são acionadas por meio de uma manivela para acoplar ou desacoplar uma engrenagem e por consequência inverter o sentido de rotação.



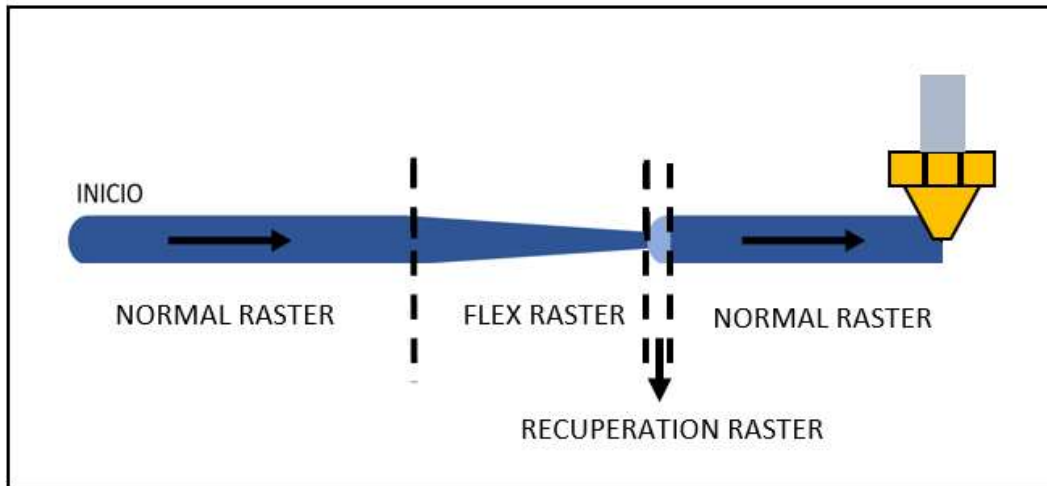
**Figura 3:** Mecanismo de chave catraca onde as peças azuis (contendo feixes gerados pelo AltPrint) são flexionados por uma chave seletora (ponto vermelho) que define a rotação da ferramenta no sentido horário e anti-horário (adaptado de Idogava et al.,2022).

A formação dos feixes é demonstrada na Fig. 4, que mostra de maneira esquemática de como a alteração da taxa de extrusão altera a largura do segmento impresso e por consequência a sua flexibilidade.



**Figura 4:** Formação do feixe flexível com exemplo de configurações de velocidade.

O estudo da formação desses feixes demonstrou a necessidade de uma pequena recuperação ao fim do processo, para evitar que o feixe se rompesse ou criasse fragilidade nas peças. Por esse motivo existe um pequeno segmento, chamada na Fig. 5 de Recuperação. Para esse segmento temos uma quantidade de material e uma velocidade própria.



**Figura 5:** Nomenclatura das regiões

## 2. Como utilizar o AltPrint

O AltPrint é um código aberto em linguagem Python em desenvolvimento e neste estágio inicial não apresenta uma interface gráfica. Por isso é recomendado que utilize um editor de código, como por exemplo, o software PyCharm. Por se tratar de um fatiador para impressão 3D, a primeira função básica é permitir a importação e exportação de objetos. Os objetos importados deverão ser no formato “**stl**” e os arquivos gerados para impressão serão em **G-Code**.

Como vimos na Fig. 1, podemos gerar pelo menos duas regiões distintas em um objeto. A região original será referenciada no código pelo termo ‘MODEL’, enquanto a região de interesse será referenciada pelo termo ‘FLEX\_MODEL’.

Cada impressora 3D tem um sistema próprio de movimentação, de referência do bico extrusor, de direção das coordenadas de deslocamento, desligamento dos motores/aquecedores e principalmente diferentes áreas de trabalho. Em qualquer fatiador é necessário informar essas configurações da impressora para que se possa iniciar os trabalhos. Para que o AltPrint seja utilizado por uma vasta gama de impressoras 3D é necessário informar o cabeçalho de impressão, que nada mais é que um *script* com as configurações de seu equipamento. O cabeçalho inicial e o cabeçalho final. Os arquivos de nome ‘start\_script’ e ‘end\_script’ correspondem ao cabeçalho inicial e final respectivamente. Para alterá-los basta baixar o arquivo exemplo e inserir as configurações de seu equipamento.

A configuração da impressora 3D só precisa ser feita uma única vez, desde que você esteja operando com o mesmo equipamento. A próxima etapa é a configuração do seu material. A lista a seguir explica o que cada parâmetro significa.

- **flow**: multiplicador da quantidade de material que formará a região original (‘MODEL’). Na linha de código é descrito como:

```
snap.print params['flow'] = calculate(adjust=1.00)
```



Isso significa que o filamento a ser extrudado será de 100% ao cálculo teórico. Esse cálculo é baseado na extrusão de filamento. Caso ocorra a alteração para 1.10, por exemplo, significa que o volume de material será multiplicado por 1.10, excedendo 10% da quantidade de material original.

- `flex_flow1`: multiplicador da quantidade de material que formará a região de interesse ('FLEX\_MODEL'). A linha abaixo mostra um exemplo em que na região de interesse só será disponibilizado 10% do material necessário. Este parâmetro é importante porque existe um limite em que podemos reduzir o material sem que ele falhe. Para isso temos o TEST\_01 que o usuário pode fazer para descobrir esse limite.

```
snap.print params['flex flow'] = calculate(adjust=0.10)
```

- `flex_flow2`: multiplicador da quantidade de material na região de Recuperação (Fig. 5). Normalmente esse valor é definido por: '`flex_flow2=2.00`' que corresponde a 200% de material necessário. Por se tratar de um intervalo muito curto não trará deformações na peça e é feito para evitar efeitos de retração do filamento.
- `speed`: velocidade do cabeçote em que a região original ('MODEL') será formada. A unidade utilizada é mm/min.
- `flex_speed1`: velocidade do cabeçote na região de interesse ('FLEX\_MODEL') será formada. A unidade utilizada é mm/min.
- `flex_speed2`: velocidade do cabeçote na região de recuperação. A unidade utilizada é mm/min.

As velocidades são parâmetros que foram testados em laboratório e descritas na Tab.1 deste Guia do Usuário.

### 3. Set-up do material

Como mencionamos na introdução, cada fabricante apresenta uma característica distinta do seu material. Observamos que embora muitas marcas comercializem o filamento de ABS, temos indicações diferentes para o intervalo de temperatura de cada material. Essas diferenças são resultadas do processo de fabricação do filamento, da composição química, presença de aditivos, pigmentos e dentre outros. Os feixes flexíveis gerados pelo código AltPrint são dependentes do fluxo de material no bico, por isso conhecer o seu material é crucial. Os testes executados com o código verificaram diversas marcas dos filamentos dos materiais: PLA, ABS e PETG. E nesses ensaios mecânicos pudemos observar que parâmetros de velocidade e temperatura podem ser alterados de modo a imprimir os feixes com o melhor desempenho e durabilidade do material. A sequência de operações está descrita abaixo e detalhada quando o operador deve avaliar. Não é necessário a utilização de equipamentos sofisticados para a verificação destes procedimentos.

1. **Calibragem da mesa de impressão.** Nesta primeira etapa temos que certificar que a mesa esteja alinhada, pois variações na altura trarão problemas graves de adesão e empilhamento das camadas. Para o alinhamento da mesa é recomendado que seja feita a operação de z-offset em vários pontos da mesa de impressão. Cada impressora apresenta um sistema único de calibragem e por isso não será discutido em mais detalhes. Recomenda-se seguir as orientações de calibragem indicadas pelo fabricante da sua impressora.
2. **Intervalo de temperatura do material.** Verifique o range que o fabricante fornece para a extrusão do material e temperatura de aquecimento da mesa. É indicado a impressão de um segmento de filamento, para verificar a melhor condição de temperatura, se o segmento imprimiu de maneira homogênea e não formou irregularidades. No código descrito pelas linhas:

M104 S235 ; set extruder temp

M140 S110 ; set bed temp

3. **Primeiro teste.** Para os seguintes materiais é indicado o valor base da Tab. 1. Esses valores foram obtidos experimentalmente em laboratório. Esses valores devem ser utilizados como valores iniciais para a impressão do arquivo: **TEST\_01.stl** e **TEST\_01\_FLEX.stl**.

**Tabela 1:** Parâmetros iniciais de impressão

Parâmetros	Material		
	ABS	PLA	PET-G
Temperatura de extrusão [°C]	235	225	240
Speed [mm/min]	2100	1600	1600
flex_speed1 [mm/min]	1600	2300	2300

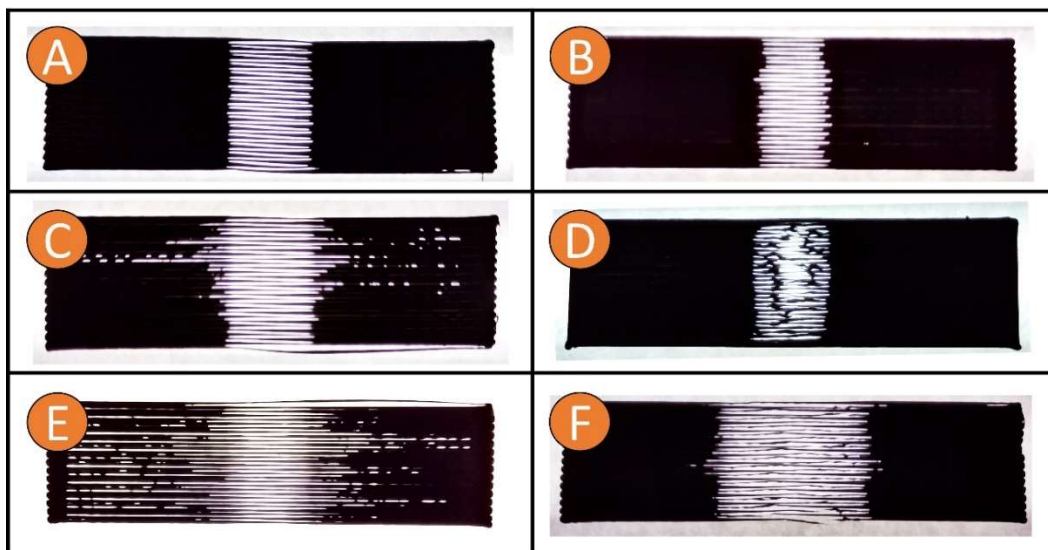
Outros parâmetros serão fixados e não serão alterados nessa primeira etapa, como:

- flex\_speed2: 1200 mm/min;
- perimeter: 1;
- flex\_ratio: 0.9;
- layer\_height: 0.2 mm;
- perimeters\_gap: 0.5 mm;
- overlap: 0;
- flow: 1.00

O arquivo TEST\_01 é um retângulo com dimensões 50x10x3 mm, enquanto o TEST\_01\_FLEX é um retângulo de menores dimensões (10x10x3 mm) que intersecta a região central da primeira geometria. Os parâmetros originais serão substituídos pelos parâmetros FLEX, resultando na impressão de feixes. Para imprimir é necessário indicar ao algoritmo as geometrias conforme as linhas abaixo:

```
snap.model = TEST_01.stl'  
snap.flex model = 'TEST_01_FLEX.stl'
```

4. **Verificação da impressão do primeiro teste.** Após a impressão do arquivo TEST\_01 será feita uma verificação visual. Importante verificar se os feixes foram impressos sem se romperem e ligaram aos dois lados da peça. As Figuras 6 a 8 mostram situações em que os feixes foram bem impressos e situações em que ocorreram falhas. Para cada uma das falhas é indicado uma maneira de solução.



**Figura 6:** Corpo de prova TEST\_01 em configuração aceitável (A) e falhas decorrentes da falha de velocidade na região flexível (B, D), overlap (C, E) e distância excessiva (F).

**A:** Corpo de prova aceitável, com regiões bem definidas e formação de feixes que iniciam em perfil grosso e finaliza com perfil fino.

**B:** Corpo de prova onde os feixes foram reproduzidos, no entanto observa-se que o intervalo da região flexível não está alinhado. Nesse caso o extrusor não está tendo tempo para recuperar a

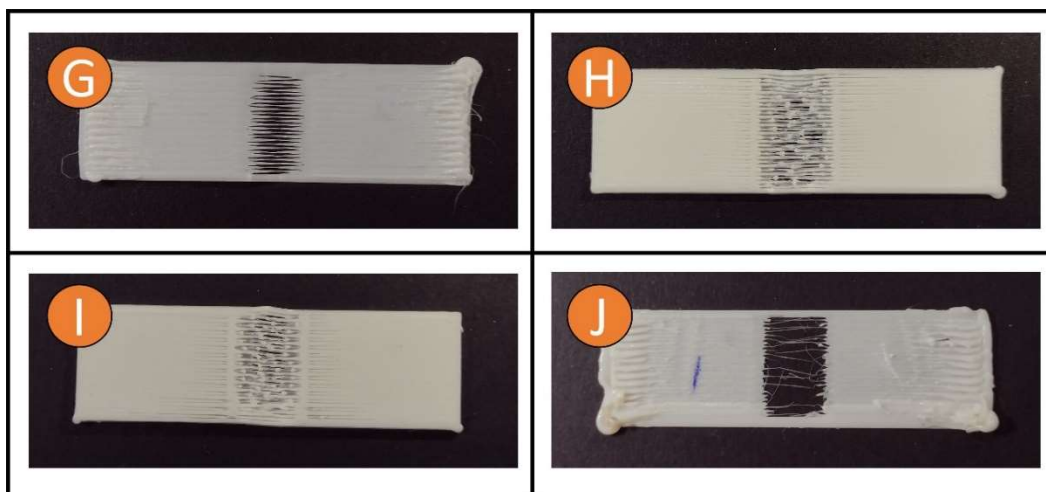
deposição de material. É recomendado diminuir a velocidade da região flexível (comando flex\_speed1), que pode ser diminuída de 100 em 100 mm/min até que alcance um alinhamento melhor. VERRIFICAR PARAMETROS DA ZONDA DE RECUPERAÇÃO

**C:** Corpo de prova onde os feixes foram reproduzidos, no entanto observa-se falhas na região interna do objeto. Essa falha pode estar sendo causada por dois fatores: i) falta de material depositado (comando flow) e ii) velocidade alta de deposição (comando speed). Para corrigir o erro é recomendado alterar primeiro o valor do comando speed, sem alterar outro parâmetro. Deve-se diminuir a velocidade de 100 em 100 mm/min. Caso mesmo com a diminuição da velocidade ainda apareçam vazios ou se a camada acumular material volte o comando speed para o valor inicial e aumente o valor do comando flow na proporção de 0.02 em 0.02.

**D:** Corpo de prova com região flexível bem delimitada, sem falhas na região sólida, mas com falhas na deposição dos feixes flexíveis. Pelo fato de os feixes serem de uma espessura fina é recomendado que a mesa tenha adesivo, facilitando a deposição da primeira camada. Caso a sua impressora 3D tenha um sistema de fan auxiliar que está direcionado na mesa é indicado que seja desligado. O excesso de arrefecimento dificulta que os feixes sejam formados por completo. Se mesmo com adesivo ou o fan desligados o erro persistir, então a velocidade de deposição dos feixes está alta e não permite a deposição correta. Nesse caso diminua o comando flex\_speed1 de 100 em 100 mm/min até que alcance um alinhamento melhor.

**E:** Corpo de prova com falhas graves na região flexível e na região sólida. Esse erro é semelhante ao erro do item C, mas agravado pela baixa quantidade de fluxo de material e pela falta de união dos segmentos (raster) em sua largura (width). Para bicos de 0.4 mm é recomendado que a largura de raster seja de 0.5 mm, esse valor é traduzido no código pelo comando gap. Cheque se o comando gap está em 0.5 mm. Caso o valor esteja correto, cheque a quantidade de material do código (comando flow) que deve ser aumentado na proporção de 0.02 em 0.02.

**F:** Corpo de prova com falhas na região flexível devido ao seu grande comprimento. Os feixes se alongam até o limite permitido pelo material e não conectam as duas regiões sólidas, vindo a falhar. Não é o caso do TEST\_01, em que o comprimento da região flexível é fixado em 10 mm, no exemplo F a distância é de 20 mm. Embora não seja abordado neste primeiro teste, é importante expor aos usuários que há limites que os feixes são reproduzidos. Em projetos futuros para comprimentos maiores que 15 mm e dependente do material faça um corpo de prova inicial para validar.



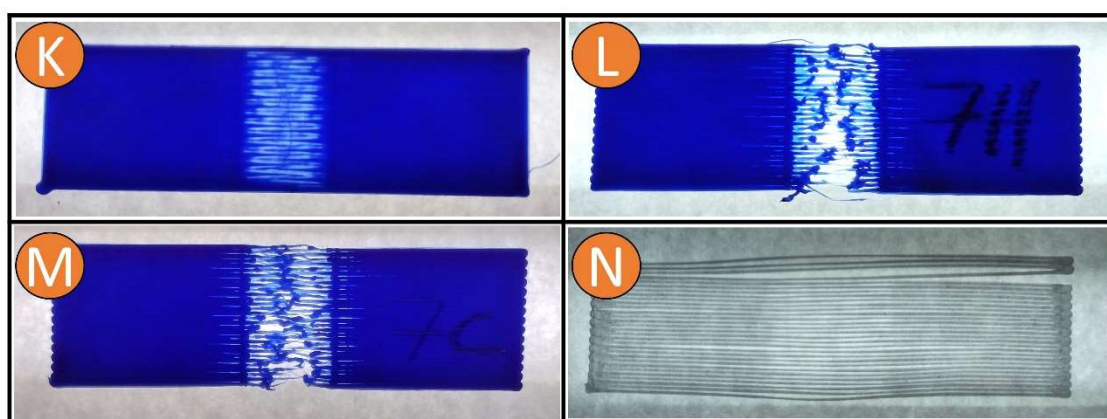
**Figura 7:** Falhas TEST\_01 decorrentes de temperatura (G, H, I) e excesso de material (J).

**G:** Corpo de prova com excesso de material, onde tanto a região sólida quanto a região flexível foram prejudicadas. É recomendado que verifique o valor de fluxo de material (comando flow), quanto mais próximo de 1.00 o valor corresponde a 100%, sendo que para o exemplo G os valores utilizados foram de 1.20, com 20% a mais de material fornecido.

**H:** Corpo de prova com região flexível e sólida bem delimitadas, no entanto os feixes da região flexível falharam. Fatores que afetam esse tipo de erro são: temperatura de extrusão do filamento, a quantidade de material do feixe e a velocidade de deposição do feixe. O excesso de temperatura aumenta a viscosidade do material, que não está sendo depositado de maneira ordenada. Checar a temperatura do filamento, indicado trabalhar na faixa mais baixa. Após a verificação de temperatura, checar o comando flex\_flow1, que indica a quantidade de material fornecido para a região flexível. Normalmente o valor de 0 (zero) é utilizado para executar os feixes flexíveis. Excesso de material acarreta deposição desordenada. Por fim aumente a velocidade de deposição (comando flex\_speed1) para garantir que não haverá excesso de material.

**I:** Corpo de prova com excesso de material, onde tanto a região sólida quanto a região flexível foram prejudicadas. Muito semelhante a condição H, no entanto esse erro foi ocasionado pela umidade presente em filamentos. A umidade gera deposição ruim, principalmente na seção flexível. Para ter certeza de que o problema é umidade, cheque também a região sólida, será notado irregularidades como bolhas e falhas na superfície da região preenchida.

**J:** Corpo de prova com excesso de material e falha total da região flexível. Esse exemplo é o resultado de um conjunto de parâmetros mal definidos. Primeiro ponto, nota-se excesso de material na borda do objeto, checar o comando flow (que deve ter valor inicial igual a 1.00). No segundo momento checar o extrusor da impressora 3D, que pode estar com problemas de alimentação. Terceiro e último ponto, checar e diminuir a velocidade de deposição dos feixes (comando flex\_flow1).



**Figura 8:** Falhas TEST\_01 decorrentes de calibragem da mesa (K), velocidade da região flexível (L, M) e overlap (N).

**K:** Corpo de prova com feixes unidos, sem flexibilidade. Os feixes foram reproduzidos ao longo do eixo Z das camadas, no entanto ficaram unidos pela primeira camada. Esse erro é devido a má calibragem da mesa, que esmagou a primeira camada e excedeu material pelos lados, unindo os feixes. Calibre a mesa e adicione adesivo para iniciar um novo teste.

**L e M:** Corpo de prova com falha na região flexível. Muito semelhante ao caso D, no entanto compare que no caso D há um perímetro que percorre a região flexível enquanto no caso L e M não há perímetro. O código AltPrint permite que seja feito um perímetro externo a região flexível, para trazer mais rigidez quando desejado. Para isso pode ser alterado o comando *perimeter* de zero (nenhum perímetro), 1 (um perímetro), 2 (dois perímetros) e assim sucessivamente. O erro observado no caso L e M tem a mesma solução descrita no caso D.

**N:** Corpo de prova sem diferença entre região sólida e flexível; além de haver falta de união entre os segmentos. Nesse caso o comando *gap* pode estar acima do valor indicando, tendo fatiado o corpo de prova em um espaço maior que o permitido para a união entre segmentos. O valor de referência do comando *gap* é o diâmetro do bico multiplicado por 1.2. Se mesmo assim o valor já está correto, então o problema é a viscosidade do material. Normalmente tal falha acontece com o filamento de PETG que tem uma viscosidade mais alta, dificultando a fluidez do material pelo bico de extrusão. Aumente a temperatura de extrusão e reduza a velocidade de impressão (comando *speed*).

5. **Segundo teste.** Mesmo com os feixes sendo produzidos ainda pode ocorrer uma falha que é decorrente da degradação e/ou falta de adesão entre segmentos. Quando isso ocorre temos feixes que visualmente são aceitáveis, mas que após poucas flexões podem se partir. Para avaliar a resistência cíclica dos feixes é necessário imprimir com os parâmetros da etapa 3 o **TEST\_02.stl** e **TEST\_02\_FLEX.stl**. Esse mecanismo simples apresentado na Fig. 9 permite que a peça seja testada em termos de resistência.

Como imprimir:

-Baixar os arquivos e indicar no algoritmo como:

```
snap.model = TEST_02.stl'
```

```
snap.flex model = 'TEST_02_FLEX.stl'
```

Imprima a partir dos melhores parâmetros encontrados no TEST\_01. O corpo final impresso é um objeto único, com partes móveis rotacionais. O TEST\_02 possui uma roda dentada com inscrições de 3, 4, 5 e 6. Cada valor desse equivale ao deslocamento que a secção irá flexionar. O intervalo de trabalho é 3 – 3.5 – 4 – 4.5 – 5 – 5.5 – 6 – 6.5 [mm]. A roda dentada só poderá girar no sentido horário e o primeiro valor a ser testado é o de 3 mm, pela própria posição que o arquivo foi impresso. Os feixes serão flexionados e a medida que sofrem um deslocamento será possível verificar que eles retornam a posição inicial ou se sofrem uma deformação plástica que inutilize a peça.

A partir das seguintes observações iremos determinar se os feixes estão flexionando corretamente.

- 1- Observar a cada intervalo se os feixes retornam à posição inicial.
- 2- Identificar regiões de esbranquiçamento do material. Indica que o material está sofrendo deformação plástica e pode romper.
- 3- Identificar se há trincas após algumas operações com o objeto.



**Figura 9:** Test\_02 com linha de simetria demarcada. A seção flexível deve retornar à posição inicial.

Caso a peça não apresente boa resistência é indicado que os parâmetros sejam reavaliados na peça TEST\_01. Se ocorre o rompimento dos feixes é indicativo de falta de material (como indicado na Falha da Letra C da Fig. 06). Se mesmo com a calibragem ainda ocorrem falhas, é um indicativo que o material não esteja nas condições ideais de impressão (excesso de umidade) ou que não é próprio para a utilização do AltPrint.

## Agradecimentos e Considerações Finais

Este programa é fruto e dedicação da pesquisa direta e indireta de várias pessoas. Cada indivíduo trouxe uma contribuição única para o código, mas um ponto em comum a todos foi o alcance do trabalho para a comunidade open-source. O desenvolvimento da impressão 3D só foi possível com projetos que nasceram em universidades e que propuseram a compartilhar o conhecimento, como o Projeto RepRap e Fab@Home. Mesmo dentro dos fatiadores de impressão 3D encontramos várias versões demo e abertas que permitiram o desenvolvimento da lógica e do trabalho. No início do estudo das equações de fatiamento e do seu controle pelas linhas de código não podíamos ter ideia até que ponto chegaríamos. Foram caminhos acidentais e nem um pouco lineares que possibilitaram chegar ao resultado que é o AltPrint.

O algoritmo foi desenvolvido nos laboratórios da Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo (EESC-USP) em um projeto de Doutorado do Engenheiro Mecânico MSc Henrique Takashi Idogava auxiliado por um projeto de Iniciação Científica do estudante de graduação em Engenharia Elétrica Daniel Marcos Souza do Couto. O doutorado foi desenvolvido sob o título: “Desenvolvimento e validação experimental de um algoritmo para planejamento aditivo baseado na variação da taxa de extrusão”.

A possibilidade de investigação e orientação dos alunos no Brasil foi feita pela Profa. Dra. Zilda de Castro Silveira da EESC-USP enquanto a orientação dos ensaios feitos na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP-Porto) em Portugal foi feito pelo Prof. Dr. Jorge Lino Alves. O pesquisador Eng. Dr. Leonardo Santana de forma significativa na metodologia de ensaio dos materiais para que os resultados pudessem ser validados e replicados pelos usuários do AltPrint.

Agradecimento aos colegas de laboratório da EESC-USP, em especial os doutorandos Joaquim Manoel Justino Netto e Luiz Eduardo Frezzatto Santos por sempre estarem disponíveis para a discussão de ideias e solução de problemas iniciais da pesquisa.

Este documento é uma versão inicial do trabalho. Caso tenha alguma dúvida na instalação e aplicação do programa AltPrint e queira entrar em contato, ficaremos contentes em ajudar.

e-mail: idogava@gmail.com

## Referências

Idogava, H.T., Couto, D.M.S., Silveira, Z.C., Alves, J.L. (2021) Design Funcional por Fabrico Aditivo. Seção Impressão 3D, Revista InterPlast, v.11, 2021/4. outubro de 2021. Disponível em: <http://www.interplast.pt/Flipbooks/BP/11/52/>

Idogava, H.T., Couto, D.M.S., Silveira, Z.C., Alves, J.L. (2022) Design de ferramenta por fabrico aditivo. Impressão 3D, Revista Robótica, n126, março/2022. Disponível em: [https://www.robotica.pt/do/download\\_rob126.html](https://www.robotica.pt/do/download_rob126.html)