

GEÍSA AIGER DE OLIVEIRA  
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ  
JAIRE EDERSON PASSOS

ORGANIZADORES



# Des ign pes em qui sa.

● vol 5

GEÍSA AIGER DE OLIVEIRA  
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ  
JAIRE EDERSON PASSOS

ORGANIZADORES



# Des ign pes em qui sa.



vol 5



---

D457 Design em pesquisa : volume 5 [recurso eletrônico] / organizadores Geisa Gaiger de Oliveira, Gustavo Javier Zani Núñez [e] Jaire Ederson Passos. – Porto Alegre: Marcavisual, 2023.  
356 p. ; digital

ISBN 978-65-89263-58-6

Este livro é uma publicação do Instituto de Inovação, Competitividade e Design (IICD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ([www.ufrgs.br/iicd](http://www.ufrgs.br/iicd))

1. Design. 2. Gestão de Design. 3. Gestão de projetos. 4. Design – Emoção. 5. Design - Educação. 6. Design – Tecnologia. 7. Design – Sustentabilidade. 8. Design – Desenvolvimento humano. 9. Design – Teoria e método. 10. Design contra a Criminalidade. I. Oliveira, Geisa Gaiger de. II. Zani Núñez, Gustavo Javier. III. Passos, Jaire Ederson.

CDU 658.512.2

---

CIP-Brasil. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.  
(Jaqueline Trombin – Bibliotecária responsável CRB10/979)

## CAPÍTULO 13

# Cabeçote de extrusão para impressora de gráficos em alto-relevo: uma forma de otimizar a produção de materiais didáticos para cegos

Karen Mello Colpes, Régio Pierre da Silva, Kalvin Jäckel Jokiaho

---

### *R e s u m o*

Os programas implantados pelo Governo Federal do Brasil para a inclusão de pessoas com deficiência em escolas regulares têm favorecido o crescimento do número de alunos com deficiência nessas instituições, refletindo assim, numa baixa no índice de matrículas em escola especiais. No entanto, a realidade da inclusão no Brasil está aquém do ideal ou até mesmo do esperado. Caracterizada por uma implementação carente de planejamento e fiscalização, pois muito do previsto em lei não é observado na prática. Tomando como base a educação de pessoas com deficiência visual severa e cegueira, cujo índice de incidência se destaca perante à população de pessoas com deficiência, depara-se com um corpo docente desprovido de capacitação, preparo e materiais didáticos para lidar com as particularidades deste aluno. O aluno cego possui as mesmas condições cognitivas que o aluno vidente para construir o conhecimento e aprendizado, necessitando apenas de estímulos diferentes que podem ser conferidos por recursos e materiais didáticos adequados. Um bom exemplo, são alguns conteúdos de disciplinas como Matemática e Física que necessitam de estímulos através do tato para uma melhor compreensão. Portanto, este trabalho visa contribuir para o suprimento da escassez de materiais didáticos em relevo, por meio do desenvolvimento de um processo automatizado de impressão capaz de produzir gráficos relacionais em alto-relevo. A metodologia utilizada nesse trabalho tem base no Projeto de Produto Industrial de Löbach e no planejamento de projetos experimentais de Montgomery. Como resultado, encontrou-se na utilização do filamento de TPU em impressora 3D (com parâmetros de entrada adaptados) uma solução alternativa para agilizar a produção ou adaptação de materiais didáticos, viabilizando sua entrega em tempo hábil para o início do período letivo do aluno cego.

## 1 Introdução

Para se planejar qualquer ação em favor do deficiente visual, é necessária uma melhor compreensão das causas e magnitude dessa deficiência. Em 2006, a Organização Mundial de Saúde (OMS) atualizou a forma de dimensionar a população com deficiência visual (DV), contribuindo para uma melhor compreensão de suas causas e métodos de prevenção. Assim, erros de refração não corrigidos passaram a ser considerados a maior causa de deficiência visual (CBO, 2012; CBO, 2015). Tais atualizações contribuíram para que a DV figurasse como a de maior ocorrência, 18,6% da população brasileira, sendo aproximadamente 500 mil cegos e 6 milhões com baixa visão (IBGE, 2010).

Em termos educacionais, somente nos anos 2000 é que ocorreu de fato um reposicionamento político, educacional e legislativo a respeito da inclusão no Brasil, entrando para a legislação nacional em 2008, quando foi publicado o Decreto Lei 6.571/08 (BRASIL, 2008), certificando que todas as crianças e jovens com deficiência devem estudar em escolas regulares de ensino. O decreto prevê ainda que a Secretaria de Educação Especial do Ministério da Educação, SEESP/MEC, deve disponibilizar o apoio técnico e financeiro necessários aos sistemas públicos de ensino – Destacando-se Programas de Formação de Professores na Educação Especial; implantação de salas de recursos multifuncionais; adequação de prédios escolares para a acessibilidade, bem como a formação de gestores e educadores para o desenvolvimento de sistemas educacionais inclusivos.

Como consequência, houve um aumento significativo do número de alunos com deficiência nas escolas de ensino regular. No entanto, não houve um período de transição e capacitação desses profissionais e os recursos disponíveis na sala de atendimento especial nem sempre são suficientes ou adequados.

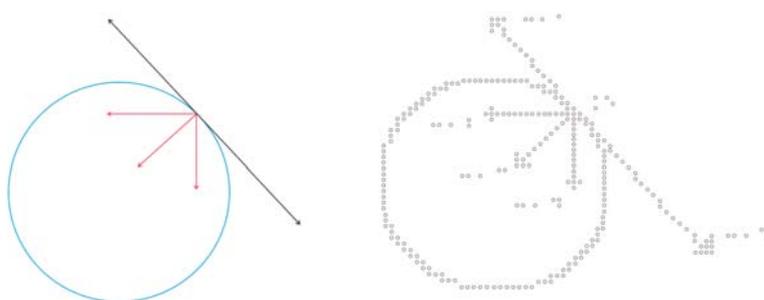
Conforme o Censo Escolar da Educação Básica (INEP, *apud* TODOS PELA EDUCAÇÃO 2019), em 2018, das matrículas realizadas na Educação Especial Básica, 85,9% estão em escolas de ensino regular, 14,1% em classes especiais ou escolas especializadas.

No que tange a evasão, Silva e Dore (2016) atribuem a saída de alunos com DV em grande parte à falta de materiais didáticos adaptados. Quando há o material adaptado, este geralmente é entregue com uma enorme defasagem para com o período letivo. Na tentativa de minimizar esse déficit, os materiais didáticos são adaptados pelos profissionais responsáveis pelo atendimento na sala de recursos da escola ou que atuam em Centros de Apoio Pedagógico e Atendimento às Pessoas Deficientes Visuais (CAP) e instituições de apoio ao DV (Instituto Benjamin Constant, Fundação Dorina Nowill, UCERGS, ACERGS etc).

Esse trabalho de adaptação, além da transcrição Braille e produção de áudio-descrição, também conta com a criação de gravuras, diagramas e gráficos táteis, utilizando-se dos mais variados materiais artesanais, assim como, da criatividade e habilidade artística do profissional que realiza essa adaptação. Mesmo assim, na prática, a morosidade burocrática que antecede o processo de adaptação dos materiais didáticos, o trabalho minucioso envolvido e, portanto, demorado acabam resultando em entregas parciais e/ou tardias (COLPES, 2014).

Uma das maiores dificuldades encontradas pelos estudantes com deficiência visual está na visualização de gráficos, desenhos e representações diversas (AMARAL *et al.*, 2009). Nesse quadro, entende-se que as matérias ligadas às ciências exatas, a exemplo dos gráficos de disciplinas como Física e Matemática, exigiriam uma maior abstração para sua compreensão, e por isso mesmo se tornariam mais complexas ao aluno cego, que na maioria das vezes recebe um material de leitura ponto a ponto por um leitor de tela ou a adaptação em relevo com a utilização de impressora Braille, métodos mais simples, porém, nem sempre eficazes. A leitura ponto a ponto torna confusa a visualização e compreensão do todo e os gráficos adaptados em impressora Braille não conseguem atingir as formas desejadas por uma questão de resolução. Por exemplo, não é possível reproduzir um círculo perfeito ou uma reta inclinada numa impressora Braille, como pode ser observado na Figura 1, podendo acarretar em ruídos na interpretação da informação.

**Figura 1. Diagrama de um livro de Matemática de um aluno cego. À esquerda, círculo com reta tangente conforme se apresenta no livro didático. À direita, exemplo de reprodução deste mesmo gráfico utilizando impressora Braille.**

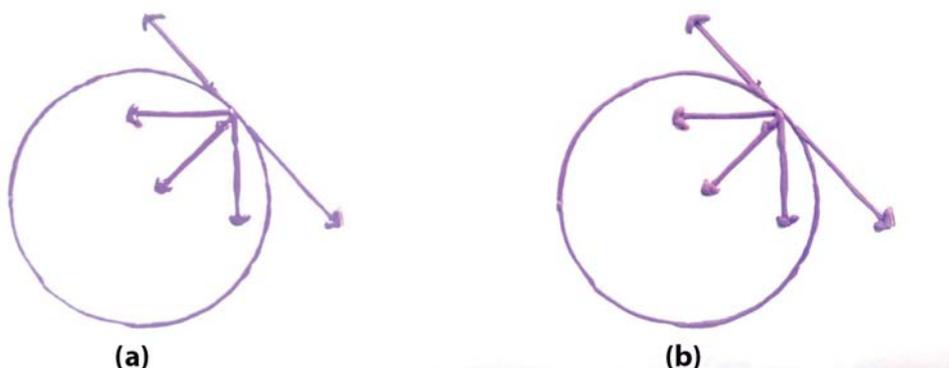


Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Uma alternativa adotada pelos CAPs para solucionar este problema de resolução é a reprodução dos gráficos (manualmente) com a utilização de tintas de emulsão acrílica, exemplo da Figura 2. Observa-se que o efeito de “degraus” resultante da adaptação com pontos Braille (Figura 1) é solucionado.

No entanto, por se tratar de um traçado à mão livre, a adaptação com a tinta relevo não resulta em um traço uniforme.

**Figura 2. Exemplo do mesmo diagrama apresentado anteriormente, agora reproduzido em tinta puff. (a) À esquerda, gráfico antes da expansão da tinta. (b) À direita, gráfico após expansão da tinta com sopro de ar quente.**



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Outra questão é que geralmente os maquinários mais utilizados pelos centros de apoio para a criação e/ou adaptação de materiais didáticos para cegos, são importados, o que com a aplicação dos impostos brasileiros aumenta significativamente seu custo, além de possuírem assistência técnica no exterior dificultando sua manutenção.

Possibilidades de solução a este problema podem ser encontradas na utilização conjunta do Design com a Tecnologia Assistiva (TA), áreas que buscam minimizar as dificuldades que impedem as pessoas com deficiência de desempenharem suas atividades diárias. E no que se refere a educação, têm por objetivo fornecer as condições necessárias ao aprendizado (BREN-DLER *et al.*, 2014).

Diante do que foi exposto até aqui, o objetivo deste trabalho é contribuir para maior celeridade na adaptação de materiais didáticos para cegos com o desenvolvimento de um cabeçote de impressão que utilize tintas de emulsão acrílica para a obtenção de gráficos relacionais<sup>1</sup> em alto-relevo para as disciplinas de Matemática e Física. Vale destacar que não havendo qualquer diretriz para relevos com esta finalidade, será utilizado como referência a NBR 9050, que possui especificações para o relevo de pontos Braille - como altura do relevo entre 0,6 e 0,8 mm e espessura de 0,8 a 1,2 mm (NBR 9050, 2020).

1 Gráficos que transformam informação numérica em informação visual

De um modo geral, esse projeto se apresenta inicialmente como uma necessidade do usuário pelas razões já explicadas. Mas, se configura também em uma oportunidade de mercado, uma lacuna científica que compõe o cenário ideal para a atuação do Design de Produto.

## 2 Metodologia de pesquisa

Para Löbach (2001), o designer industrial é um produtor de ideias, que coleta informações e as utiliza para a solução dos problemas que lhe são apresentados. Ele afirma ainda que todo processo de design é tanto criativo como de solução de problemas e divide esse processo em quatro fases principais: fase de preparação ou análise do problema, fase de geração de alternativas, fase de avaliação e fase de realização da solução, que se entrelaçam umas às outras, uma dinâmica mais cíclica do que linear, e que por isso pode ser revista e “retroalimentada”.

Desta forma, para se atingir os objetivos deste trabalho e encontrar uma solução ao problema levantado, dividiu-se o projeto nas fases descritas por Löbach, complementando-as com a metodologia de projeto de experimentos de Montgomery (2005):

**1ª Fase de preparação - Análise do problema:** focada em obter-se informações sobre o produto, público-alvo, ambiente, relação social e de mercado para prepará-las e utilizá-las nas fases posteriores de geração e avaliação (LÖBACH, 2001).

**2ª Fase da geração de alternativas:** trata-se da fase de projeto propriamente dita, produção de ideias com base nas análises realizadas. Assim, nessa etapa buscou-se por possíveis soluções em sistemas funcionais, hardware e software que pudessem compor o artefato para sua fase experimental. O método experimental empregado para encontrar a solução do problema foi o de **tentativa e erro**.

**3ª Fase da avaliação:** com o artefato montado e em funcionamento, foram realizados testes de impressão até obterem-se as características de impressão desejadas no que se refere à uniformidade do traço, altura do relevo, espessura da linha e resolução dos desenhos obtidos.

**4ª Fase de realização e finalização:** com base nos resultados obtidos é possível passar ao último passo do processo de design, rever a alternativa escolhida, retocar e aperfeiçoá-la caso necessário para então elaborar a conclusão de resultados e comunicá-los, evidenciando os pontos a serem melhorados, as dificuldades encontradas durante o processo e sua relevância

não apenas para a comunidade científica, mas, principalmente para o público ao qual se destina. É importante mencionar que no transcorrer da fase experimental foram necessários alguns ajustes no planejamento devido às restrições impostas pela pandemia de COVID-19 e a falta de acesso aos laboratórios da UFRGS.

## 2.1 Requisitos de projeto do cabeçote de extrusão

Com base no que foi levantado sobre normas, diretrizes nacionais e recomendações de profissionais, foi possível definir os requisitos de projeto. Sintetizados no Quadro 1.

**Quadro 1. Requisitos de projeto para o cabeçote de impressão de gráficos em alto relevo**

Requisito	Parâmetro
Aplicar relevo	Utilização de relevo simples do tipo contorno.
Utilizar material que favoreça a usabilidade	Não deve agredir ou provocar rejeição ao manuseio.
Possuir contraste tátil	Altura do relevo deve estar entre 0,8 mm e 1,2 mm, conforme NBR 9050. Na ausência de recomendações para a espessura do traço para símbolos táteis, será empregado a medida do diâmetro da base do ponto Braille de 1,2 mm (NBR 9050).
Utilizar tinta relevo de fácil acesso no mercado	Utilização de tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor, a tinta <i>puff</i> .
Contribuir para a automatização no processo de adaptação de materiais didáticos	Produzir o cabeçote de extrusão de uma impressora de gráficos em alto-relevo

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

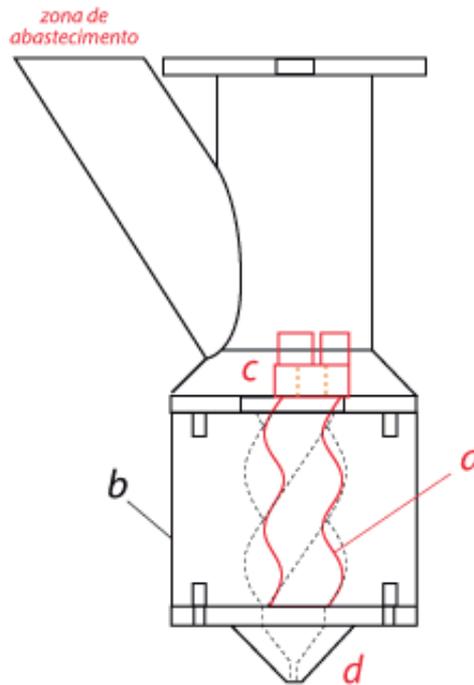
## 3 Projeto

Conforme Mattos e Falco (1998), não existe um critério absoluto para a seleção de um tipo de bomba que apresente um melhor desempenho em determinada aplicação. No entanto, a velocidade específica, a vazão da tinta, as características do fluido e a flexibilidade operacional desejada são fatores que influem na decisão final.

Como a bomba helicoidal de câmara progressiva (ou bomba de parafuso único) é capaz de bombear uma grande variedade de líquidos, compreendendo uma ampla faixa de pressões, descargas, viscosidade e temperaturas, possui alta empregabilidade e, portanto, confere uma boa solução para o sistema do cabeçote de impressão da tinta. Esta bomba é formada por um rotor (Fig. 3a) que é um parafuso helicoidal simples que gira em torno de seu eixo principal no interior de um estator (Fig. 3b) também com forma de parafuso, mas, com perfil de hélice dupla, passo elevado e grande profundidade de rosca. O rotor realiza um movimento excêntrico deslizan-

te cuja ação mecânica é decorrente de um movimento hipocicloidal. Desta forma, os espaços que se formam entre o rotor e o estator deslocam-se axialmente e de forma contínua com o movimento do rotor, da boca de aspiração (Fig. 3c) para a de recalque (Fig. 3d) não havendo modificações de forma ou volume (MACINTYRE, 2010).

**Figura 3: Componentes de uma bomba helicoidal de câmara progressiva**



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Em virtude desta geometria, são formadas cavidades vedadas entre o bocal de sucção e o de pressão. A rotação do rotor causa abertura e fechamento destas cavidades alternadamente numa progressão ininterrupta ao longo do estator, fazendo com que o fluido seja deslocado continuamente da sucção para a descarga da bomba (WEATHERFORD, 2008).

### 3.1 Geometria da Bomba

Para dimensionar o sistema, alguns dados já conhecidos foram considerados, como: densidade do fluido fornecida pelo fabricante, viscosidade do fluido à temperatura ambiente, largura e altura do filete de tinta, velocidade do cabeçote de impressão e velocidade angular do cabeçote de impressão.

Com esses valores calculou-se a área da seção transversal do bico extrusor, a vazão da tinta, a pressão da bomba e potência do motor que resultaram nos dados de entrada para a fase experimental apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2. Dados de entrada para fase experimental**

Viscosidade da tinta	482,9 cP ou 0,48 Pa*s
Altura do filete	0,8 mm
Largura do filete	1,2 mm
Velocidade	0,736 mm/s
Velocidade angular	0,54 rpm
Área transversal do bico extrusor	0,754 mm <sup>2</sup>
Vazão	0,555 mm <sup>3</sup> /s
Potência	0,02327 W
Pressão	0,4275 kgf/cm <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Com base no que foi apresentado até aqui definiu-se a geometria da bomba helicoidal e suas cotas gerais, o protótipo obtido por impressão 3D em PU é apresentado na figura 4.

**Fig. 4. Protótipo da bomba helicoidal 1.**



Fonte: Acervo dos autores, 2022.

Neste projeto, a bomba helicoidal é acionada por um motor de passo NEMA 17 (modelo 17HS4401 - HANPOSE), torque de 0,042 kgf.m, corrente de 1,7A e ângulo de passo de 1,8°, para o seu funcionamento foi necessária a utilização de um driver A4988. Tomando-se como dado de entrada a velocidade angular do sistema de injeção de tinta elaborado no projeto de mes-trado (COLPES, 2014), tem-se uma rotação de 0,54 rpm para o sistema de injeção da tinta e potência do motor de valor 0,02327 W.

Partiu-se então para a fase de experimentos, onde a velocidade de rotação do rotor será controlada até que se obtenha uma velocidade de saída que proporcione resultados de impressão satisfatórios para o projeto.

### 3.2 Experimento

Tendo os dados de entrada, os cálculos projetados e o protótipo da bomba impresso, a fase experimental tinha seu início previsto para março de 2020 e conforme mencionado anteriormente, seria realizada no Laboratório de Mecatrônica e Controle (LAMEC), do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mas, a pandemia da COVID-19, ocasionada pelo coronavírus SARS-CoV-2, afetou drasticamente toda a população mundial e não apenas no campo da saúde, tendo seu reflexo também em todas as demais áreas: social, política, econômica e também na educação. Somente em 2022, o ensino das Universidades Federais começou a retomar suas atividades presenciais.

Nesse contexto, qualquer cronograma previsto se perdeu e no início de 2021, buscou-se por alternativas para dar seguimento a fase experimental do projeto. A ideia central era encontrar um local que dispusesse de uma CNC ou impressora 3D, onde o protótipo da bomba helicoidal pudesse ser acoplado e testado. Assim, chegou-se a jokiaho, discente do 8º semestre do curso de Engenharia Mecânica da UFRGS, que possui uma impressora 3D (projeto próprio), baseada no sistema de movimentação de mesa móvel no eixo Y e eixo X em pórtico elevado pelo eixo Z<sup>2</sup>.

A máquina de jokiaho permite a utilização de diferentes ferramentas no eixo de extrusão (Z), apenas foi necessário a criação de um flange e fixação com conectores compatíveis, possibilitando acoplar a bomba helicoidal para os testes de impressão. Um facilitador foi que diante da necessidade de pequenas correções ou melhorias no projeto da bomba, tais adaptações puderam ser realizadas durante a fase experimental, uma vez que sendo uma impressora 3D, tornou acessível a impressão de novas peças.

#### 3.2.1 Peças e Bombas testadas

Os componentes inicialmente impressos apresentavam falhas decorrentes do processo de impressão 3D e de dimensionamento em algumas peças do arquivos .STL, sendo necessário realizar correções de modelagem e reimpressão em polímero PLA branco. Porém, este conjunto não apresentou

<sup>2</sup> Popularizado pela impressora RepRap Mendel e subsequentes evoluções como a impressora Prusa i3.

desempenho satisfatório, pois, não conseguiu produzir uma linha visível e constante. Observou-se que o mesmo não conseguiu bombear a tinta livremente em nenhuma velocidade do motor, independentemente do período de tempo decorrido, sendo o fluxo de material decorrente de vazamentos. Desta forma, outras tentativas com alterações no tipo de bomba e geometria tiveram que ser feitas, essa evolução será sintetizada a seguir.

### **Bomba Helicoidal 1**

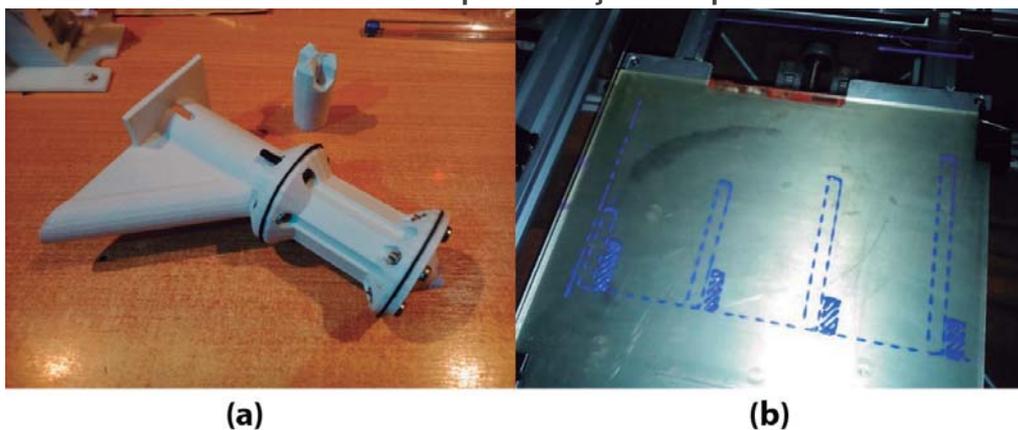
Não conseguiu produzir uma linha visível e constante, também mostrou ser de difícil limpeza e esvaziamento.

### **Bomba Helicoidal 2**

As peças da versão 2 foram impressas com maior precisão e qualidade, aumentando-se o número de camadas. Utilizou-se a combinação de peças em plástico ABS e peças em TPU, material flexível. Esse novo conjunto também contou com um encaixe que permitisse a remoção do conjunto estator-rotor do motor de passo e flange, proporcionando um melhor acesso para limpeza.

Os testes com o novo conjunto apresentaram extrusão de tinta em excesso. Embora as novas modificações tenham tornado esta, a melhor versão da bomba até o momento (em termos de otimização dos processos de montagem e limpeza), a mesma apresentou um constante problema de pulsação nas linhas impressas, não apresentando resultados satisfatórios (Fig. 5).

**Fig. 5. (a) Bomba helicoidal com rotor e estator de 3 estágios; (b) Resultados utilizando a bomba helicoidal 2 e após alterações nos parâmetros de entrada.**



Fonte: Acervo dos autores, 2022.

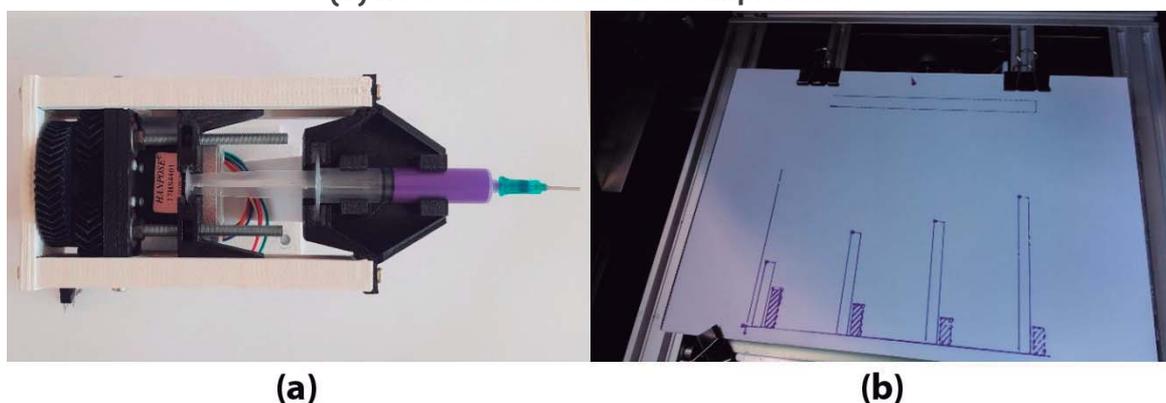
Tornou-se notório que para uma mesma tarefa, o motor da bomba gira apenas uma pequena fração do que giraria se operasse em uma extrusora de proporção usual. Essa diferença significativa de velocidade

de rotação do motor acabou por ultrapassar o limite de precisão do conjunto motor de passo e seu driver. Assim, como o motor sequer movia um micropasso por uma distância de aproximadamente 2mm, visto que cada micropasso do motor deslocaria  $1,35 \text{ mm}^3$  de material. Constatou-se que a bomba exigia uma precisão mecânica muito além do viável para protótipos como este, em escala reduzida.

### Bomba/Extrusora 3 – Deslocamento linear de seringa

Vista a exigência mecânica acima do viável, partiu-se para um novo projeto de extrusora de tinta, agora baseada na movimentação linear de uma seringa (Fig. 6a).

**Fig. 6. Extrusora de tinta com utilização de seringa. (a) Vista superior; (b) Resultados de testes de impressão.**



Fonte: Acervo dos autores, 2022.

O mecanismo desenvolvido (Fig. 6a) utiliza engrenagens helicoidais duplas, para o máximo de suavidade na transferência de movimento, e dois conjuntos de barra roscada M5 com uma porca fixa para conversão do movimento de rotação em translação do êmbolo da seringa.

Uma das vantagens deste sistema está na sua facilidade de limpeza, visto que toda a tinta fica armazenada no interior da seringa e da agulha de saída, sua transparência também facilita a visualização da quantidade de material restante no sistema. Uma desvantagem é a recarga de tinta. Uma seringa consegue aspirar líquidos para seu interior, mesmo quando da utilização de agulhas finas de aproximadamente 0,5mm de espessura, porém a viscosidade da tinta acrílica de propriedades expansivas ao calor dificulta este processo e o carregamento incorreto da tinta pode aumentar a formação de bolhas de ar em seu interior, o que reflete em problemas de impressão durante a execução dos testes.

Os resultados dos testes iniciais com essa extrusora apresentaram melhora em comparação aos resultados anteriores obtidos com a bomba helicoidal, porém, ainda se observou pulsação nas linhas obtidas.

Embora os resultados sejam melhores quando comparados aos obtidos com a bomba helicoidal, a melhora não foi suficiente. A espessura do traço acabou por variar durante a impressão. Isso pode ser atribuído à rugosidade do papel uma vez que tal comportamento não foi observado nos testes de impressão realizados diretamente no vidro. Foram feitas tentativas com papel de gramatura superior (90 e 120g/m<sup>2</sup>, os testes anteriores foram em papel de gramatura padrão 70g/m<sup>2</sup>). Entretanto, a melhora não foi significativamente superior conforme pode ser observado na figura 6b.

Um outro problema que não pôde ser solucionado durante os testes, foi a presença de uma bolha de tinta no início de cada traço do desenho, visível facilmente no gráfico de barras (Fig. 6b). Tentativas de utilização de retração de material para solucionar o problema foram feitas, porém, sendo o material muito viscoso não retornou à seringa o suficiente para evitar a formação de tal bolha e retrações superiores causavam a formação de bolhas de ar que resultavam em falhas no traçado ou efeito splash. Com os resultados limitados por este fator, os testes com extrusão da tinta acrílica de propriedades expansivas ao calor (tinta puff) foram encerrados. Concluiu-se que o comportamento da tinta puff durante toda a fase experimental denotou não ser favorável para a aplicação de uma automatização na produção dos gráficos dentro dos parâmetros de altura e espessura de traço para desenhos em alto relevo definidos na normatização de materiais didáticos para cegos (NBR 9050, 2020).

### **Impressão com TPU**

Diante dos resultados negativos na obtenção de um cabeçote de impressão de gráficos em alto relevo que utilizasse a tinta puff, buscou-se uma solução alternativa na obtenção desses gráficos.

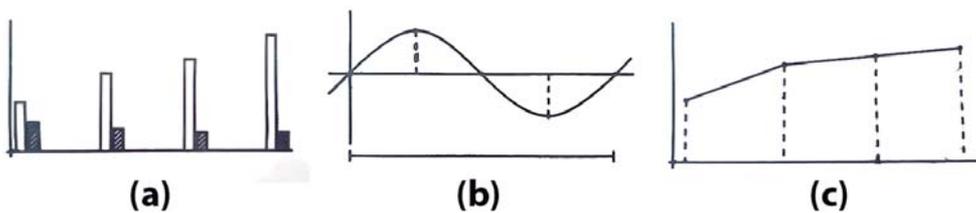
Durante os experimentos anteriores observou-se as características plásticas do filamento flexível de TPU, dureza em escala Shore A99 e resolveu-se testar sua aderência para impressão em papel offset A4 70g/mm<sup>2</sup>, com a máquina em sua configuração de impressora 3D (temperatura de impressão a 230°C, temperatura da mesa de impressão a 50°C e bico de impressão de 0,4mm). Inicialmente, utilizou-se as configurações de impressão padrão do material, tratando-se apenas de um teste de adesão, foi impresso

um quadrado de 50x50mm. Nesse primeiro teste, a impressão se soltou facilmente da folha. Então, aumentou-se a temperatura da mesa de impressão para 80°C (valor superior ao recomendado pelo fabricante do material<sup>3</sup>). Este ajuste conferiu resultados de aderência satisfatórios. Com isso, confirmou-se a viabilidade de testar a impressão dos gráficos em relevo.

Os gráficos da figura 9 apresentam melhora expressiva em comparação aos testes realizados com a tinta *puff*. No caso das tentativas de impressão com a tinta, como os resultados não foram satisfatórios, não foi viável dar seguimento na impressão dos demais gráficos. Então, parou-se no teste de impressão do gráfico de barras. Já nos testes com a impressão em TPU, realizou-se a impressão dos três tipos de gráficos (barras, curvas e linhas).

Os gráficos da figura 7 foram registrados após a realização de uma limpeza, pós impressão, para a retirada de algumas rebarbas inerentes ao processo de impressão 3D com o uso de um alicate de corte lateral e ainda se percebe a presença de pequenas imperfeições. Porém, conseguiu-se atingir o objetivo de obter a impressão de gráficos de modelos diferentes e um relevo padrão com linhas de 0,8mm de altura e 1,2mm de espessura.

**Fig. 7. Resultado da impressão dos três modelos de gráficos com TPU. (a) Gráfico de barras; (b) Gráfico em curva – seno; (c) Gráfico de linhas.**



Fonte: Acervo da autora.

O fluxo volumétrico de material foi de 2,16mm<sup>3</sup>/s, velocidade de impressão de 20mm/s, como foi utilizado o bico de impressão de 0.4mm de espessura, cada traço do desenho era composto por 3 linhas de impressão. Essa configuração se manteve para os três gráficos, variando apenas o tempo de impressão de cada um conforme a complexidade do desenho. Assim, o gráfico de barras foi impresso em 16min, seno em 9min e o de linhas em 12min.

Embora os resultados pareçam excelentes, algumas observações precisam ser destacadas:

3 Tal recomendação tem o objetivo de que o material se prenda à mesa apenas o suficiente para não se mover durante o processo de impressão, devendo soltar-se facilmente ao final da impressão. Neste caso, elevou-se este valor para além do recomendado pois, o intuito era de que o material ficasse colado à base.

- a. Para que o relevo em TPU se mantenha fixo a folha, é necessário aguardar por cerca de 10min o resfriamento da mesa, ou seja, é preciso aguardar que ela passe de 80°C até 50°C. Do contrário, o material poderá se soltar da folha.
- b. O aquecimento da mesa provoca uma dilatação no papel, que mesmo tendo suas extremidades fixadas por grampos ou fita adesiva, acaba criando pequenas ondulações. Estas ondulações podem resultar em falhas na impressão (linhas tortas ou falhadas).
- c. A realização das impressões requer familiaridade com impressões 3D, pois, como utiliza o software da impressora, é necessário que cada um dos gráficos seja modelado em código G para processamento e impressão (Esta observação é válida para todos os ensaios realizados).

#### 4 Considerações finais

Desta forma, considera-se que a proposta de adaptação do filamento de TPU para a aplicação em impressões de gráficos em alto-relevo embora seja algo muito distante do que esta pesquisa se propôs a desenvolver, apresenta uma alternativa promissora para a adaptação de materiais didáticos em alto-relevo para cegos bem como, para futuros estudos que venham a se desenvolver nessa área. De forma a garantir maior celeridade e padronização em sua confecção.

### Referências

- ABNT. NBR 9050. **Norma Brasileira de Acessibilidade de Pessoas Portadoras de Deficiência às Edificações, Espaço Mobiliário e Equipamentos Urbanos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas, 2020.
- Técnicas. AMARAL *et al.* **Educação de estudantes cegos na escola inclusiva: o ensino da Física**, XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física - SNEF, Vitória - ES, 2009.
- BRASIL. Decreto n. 6.571, de 17 de set. de 2008. **Dispõe sobre o atendimento educacional especializado, Brasília**, DF, set 2008.
- BRENDLER, C. *et al.*, Recursos didáticos táteis para auxiliar a aprendizagem de deficientes visuais. **Revista Educação Gráfica**, p. 141-157, 2014.
- CBO, **As condições de Saúde Ocular no Brasil - 2012**, São Paulo, 1a edição, 2012. Conselho Brasileiro de Oftalmologia. Disponível em: <<http://www.cbo.net.br>>, acesso em: maio de 2015.
- \_\_\_\_\_, **As condições de Saúde Ocular no Brasil - 2015**, São Paulo, 1a edição, 2015. Conselho Brasileiro de Oftalmologia. Disponível em: <<http://www.cbo.net.br>>, acesso em: setembro de 2018.
- COLPES, K. **Impressora de gráficos em alto-relevo para cegos: um facilitador no ensino da física e da matemática**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre - RS, p. 98. 2014.

- FREITAS, M. S. **Análise paramétrica e validação experimental de um cabeçote de extrusão baseado em rosca, para impressão 3-D**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia, Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- IBGE, **Censo Demográfico 2010: População Residente por Tipo de Deficiência**, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.
- IMBIL. **Manual: Linha BHI- Helicoidal**. IMBIL Soluções em Bombeamento, Itapira - SP, Edição 10, 2013. Disponível em: <[www.imbil.com.br](http://www.imbil.com.br)>. Acesso em agosto de 2019.
- INEP, **Censo escolar 2016: Notas estatísticas**. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasília: Ministério da Educação, 2017.
- LÖBACH, B. **Design Industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais**, Tradução: Freddy Van Camp - São Paulo: Blücher, 2001.
- MACINTYRE, J. **Instalações Hidráulicas**. 4ª Ed. ed. [S.l.]: LTC, 2010.
- MATTOS, E., FALCO, R. **Bombas Industriais**. 2ª Edição. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1998.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**, John Wiley & Sons Inc., 6ª ed., USA, 2005.
- PIAGET, J. **A Epistemologia Genética**. RJ: Vozes, 1971. Tradução: Nathanael C. Caixeiro. *L'èpistémologie Génétique*. Paris: Universitaires de France, 1970.
- SILVA, I. M.; DORE, R. As causas da evasão de estudantes com deficiência na rede federal de educação profissional em Minas Gerais. **Revista Educação Especial**, vol. 29, núm. 54, jan-abr 2016, pp. 203-214, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, Brasil, 2016.
- TODOS PELA EDUCAÇÃO. **Anuário Brasileiro da Educação Básica 2019**. EDITORA MODERNA, São Paulo, 2019. Disponível em: <[https://www.todospelaeducacao.org.br/\\_uploads/\\_posts/302.pdf](https://www.todospelaeducacao.org.br/_uploads/_posts/302.pdf)>. Acesso em abril de 2019.
- WEATHERFORD, **Manual de instalação e manutenção: Bomba helicoidal - Série WHT**. 2008.

---

#### Como citar este capítulo (ABNT)

COLPES, K.M., SILVA, R.P, JOKIAHO, K.J. Cabeçote de extrusão para impressora de gráficos em alto-relevo: uma forma de otimizar a produção de materiais didáticos para cegos. *In*: OLIVEIRA, G.G. de; NÚÑEZ, G.J.Z.; PASSOS, J. E.; **Design em Pesquisa – Volume 5**. Porto Alegre: Marcavisual, 2022 cap. 13, p. 179-193. E-book. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>. Acesso em: 4 de agosto de 2022 (exemplo).

#### Como citar este capítulo (Chicago)

COLPES, KAREN MELLO, SILVA, RÉGIO PIERRE, JOKIAHO, KALVIN JÄCKEL “Cabeçote de extrusão para impressora de gráficos em alto-relevo: uma forma de otimizar a produção de materiais didáticos para cegos” *In*: Design em Pesquisa – Volume 5 edited by Geísa Gaiger de Oliveira, Gustavo Javier Zani Núñez, Jaíre Ederson Passos, 179-193. Porto Alegre: Marcavisual. <http://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>.