



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Karen Mello Colpes

CABEÇOTE DE EXTRUSÃO PARA
IMPRESSORA DE GRÁFICOS EM ALTO-RELEVO:
soluções para viabilizar a adequação de materiais didáticos para cegos

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2023

KAREN MELLO COLPES

Cabeçote de extrusão para impressora de gráficos em alto-relevo: soluções para viabilizar a adequação de materiais didáticos para cegos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Design.

Orientador: Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Antônio Marques Braga

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Colpes, Karen Mello

CABEÇOTE DE EXTRUSÃO PARA IMPRESSORA DE GRÁFICOS EM ALTO-RELEVO: soluções para viabilizar a adequação de materiais didáticos para cegos / Karen Mello Colpes.

-- 2023.

136 f.

Orientador: Régio Piérre da Silva.

Coorientador: Rodrigo Antônio Marques Braga.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Design e educação inclusiva. 2. Adaptação de materiais didáticos. 3. Gráficos em alto-relevo. 4. Impressão. 5. Cegos e inclusão. I. Silva, Régio Piérre da, orient. II. Braga, Rodrigo Antônio Marques, coorient. III. Título.

Karen Mello Colpes

**CABEÇOTE DE EXTRUSÃO PARA IMPRESSORA DE GRÁFICOS EM ALTO-RELEVO:
soluções para viabilizar a adequação de materiais didáticos para cegos**

Esta Tese foi julgada adequada para dar continuidade à obtenção do Título de Doutora em Design, pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 27 de janeiro de 2023.

Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Régio Pierre da Silva**

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign UFRGS

Coorientador: **Prof. Dr. Rodrigo Antônio Marques Braga**

Departamento de Expressão Gráfica - Design UFSC

Prof. Dr. Rafael Antônio Comparsi Laranja

Departamento de Eng. Mecânica - DEMEC UFRGS – Examinador Externo

Prof. Dra. Ana Carolina de Moraes Andrade Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Design - PPGDesign UFPE – Examinadora Externa

Prof. Dra. Tânia Luisa Koltermann da Silva

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign UFRGS – Examinadora Interna

AGRADECIMENTOS

Inicialmente ao meu querido orientador, prof. Dr. Régio Piérre da Silva, que compreendeu minhas dificuldades, fragilidades e limitações, me acolheu, me acompanhou, sempre me incentivou e que quando eu pensava não ser mais capaz de seguir adiante, me guiou à conclusão.

Ao professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Dr. Rafael Antônio Comparsi Laranja, que mais do que um membro da banca, me apoiou como um coorientador informal. Muito me incentivou e me orientou ao longo da minha caminhada na UFRGS.

A todos os membros da banca de Defesa Final, carinhosamente apelidada por mim de “Banca do Amor” dado o carinho para comigo e à visão otimista que me passaram.

Aos meus pais, Nádia e Clair, e aos meus irmãos Eric e Calebe, por serem uma verdadeira fortaleza, sempre acreditarem no meu potencial, me incentivarem, me levantarem quando foi preciso, sorrir e chorarem comigo. Que se preocuparam com o término desta etapa, mas, que eram mais crédulos nela do que eu mesma. Que sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais obscuros e que ao final, também estavam ao meu lado para vibrarem com a conquista.

A todos que de alguma forma passaram por mim e contribuíram de alguma forma, ao longo desses anos, para a produção desta tese. Em especial ao meu coorientador que me indicou um caminho inicial para a solução do artefato. Ao João Eduardo Brasil que me auxiliou a encontrar as fontes necessárias para o projeto dimensional da bomba helicoidal. Ao Guilherme Silva de Mello, que quando bolsista do laboratório ViD (Virtual Design) me auxiliou nos cálculos de dimensionamento da bomba helicoidal. E um agradecimento mais que especial ao Kalvin Jokiaho, estudante do 8º semestre do curso de Engenharia Mecânica que não apenas me auxiliou, mas, possibilitou a realização da fase experimental num período em que o acesso aos laboratórios da Universidade estava restrito, além de realizar em sua impressora todos os ajustes necessários nos protótipos.

Por fim, ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por permitir a minha pesquisa, e a todos os professores do programa que tive a honra de conviver e compartilhar conhecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

COLPES, K. M. **Cabeçote de extrusão para impressora de gráficos em alto-relevo: soluções para viabilizar a adequação de materiais didáticos para cegos**. 2023. 136 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

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, resultando assim, em uma redução 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 facilitar a produção de materiais didáticos em relevo, através do desenvolvimento de um cabeçote de impressão de tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor (*tinta puff*) de forma a contribuir para a obtenção 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. Os resultados da pesquisa não confirmaram a hipótese de encontrar um cabeçote de impressão que obtivesse bons resultados de impressão. No entanto, como alternativa para novas pesquisas, recomenda-se a utilização do filamento de TPU em impressora 3D (com parâmetros de entrada adaptados) para agilizar a produção e/ou adaptação de materiais didáticos, viabilizando sua entrega em tempo hábil para o início do período letivo do aluno cego.

Palavras-chave: Design e educação inclusiva. Adaptação de materiais didáticos. Gráficos em alto-relevo. Impressão. Cegos e inclusão.

ABSTRACT

COLPES, K. M. ***Extrusion head for embossed graphics printer: solutions to enable the adequacy of teaching materials for the blind.*** 2023. 136 p. Thesis (Doctorate in Design) – School of Engineering / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

The programs implemented by the Federal Government of Brazil for the inclusion of people with disabilities in regular schools have favored the growth of the number of students with disabilities in these institutions, thus resulting in a reduction in the enrollment rate in special schools. However, the reality of inclusion in Brazil is far from ideal or even expected. Characterized by an implementation lacking planning and inspection, as much of what is provided for by law is not observed in practice. Based on the education of people with severe visual impairment and blindness, whose incidence rate stands out in relation to the population of people with disabilities, it is faced with a teaching staff devoid of training, preparation and teaching materials to deal with the particularities of this student. The blind student has the same cognitive conditions as the sighted student to build knowledge and learning, just needing different stimuli that can be conferred by adequate resources and teaching materials. A good example is some content from subjects such as Mathematics and Physics that need stimuli through touch for a better understanding. Therefore, this work aims to contribute to facilitate the production of teaching materials in relief, through the development of an acrylic emulsion ink printhead with heat expansive properties (puff ink) in order to contribute to the achievement of an automated process. printer capable of producing embossed relational graphics. The methodology used in this work is based on Löbach's Industrial Product Project and on Montgomery's experimental design planning. The search results did not support the hypothesis of finding a printhead that achieved good print results. However, as an alternative for further research, it is recommended to use TPU filament in a 3D printer (with adapted input parameters) to speed up the production and/or adaptation of teaching materials, enabling their delivery in a timely manner for the beginning of the school term for the blind student.

Keywords: *Design and inclusive education. Adapting teaching materials. Charts in embossed. Blindness and inclusion.*

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AADV	Associação de Assistência aos Deficientes Visuais
ACERGS	Associação de Cegos do Rio Grande do Sul
ACIC	Associação Catarinense para Integração do Cego
APADEV	Associação dos Pais e Amigos dos Deficientes Visuais
AV	Acuidade Visual
CAP	Centro de Apoio Pedagógico e Atendimento às Pessoas Deficientes Visuais
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
CID	Código Internacional de Doenças
CBO	Conselho Brasileiro de Oftalmologia
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CV	Campo Visual
DEMEC	Departamento de Engenharia Mecânica
DV	Deficiência Visual
EV	Eficiência Visual
GDL	Grau de Liberdade
IBC	Instituto Benjamim Constant
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEE	Instituto Estadual de Educação
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LAMECC	Laboratório de Macatrônica e Controle
LAPOL	Laboratório de Materiais Poliméricos
MEC	Ministério da Educação no Brasil
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCD	Pessoa com Deficiência
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PGDESIGN	Programa de Pós-Graduação em Design
PNEE	Pessoas com Necessidades Educacionais Especiais
PROMEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
SECADI	Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão
SEESP	Secretaria de Educação Especial

TA	Tecnologia Assistiva
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
UCERGS	União de Cegos do Rio Grande do Sul
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VID	Laboratório Virtual Design

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Classificação da gravidade da deficiência visual baseada na acuidade visual no melhor olho	17
Figura 2	Porcentagem de matrículas de alunos com deficiência	26
Figura 3	Gráfico comparativo do número de matrículas na Educação Especial e na Educação Inclusiva no período de 2009-2018	27
Figura 4	Exemplo de diagrama de um livro de Matemática de um aluno cego do CAP Florianópolis	30
Figura 5	Exemplo do mesmo diagrama apresentado anteriormente, agora reproduzida em tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor (tinta <i>puff</i>)	31
Figura 6	Soroban brasileiro adaptado	45
Figura 7	Utilização do Geoplano por criança cega	45
Figura 8	Utilização do Multiplano	46
Figura 9	E-Z Form Brailon Duplicator	46
Figura 10	Gráfico de funções trigonométricas - Exemplo de gráfico relacional	48
Figura 11	Impressoras Braille	56
Figura 12	Zyfuse Heater	57
Figura 13	Adaptações manuais de gráficos em relevo	58
Figura 14	Arranjo geométrico dos pontos em Braille	61
Figura 15	Formato relevo do ponto em Braille	62
Figura 16	Detalhamento sobre a expansão por aquecimento das microesferas de hidrocarboneto encapsuladas - sistema de expansão da <i>tinta puff</i> .	65
Figura 17	Viscosímetro Brookfield HB DV-II+	66
Figura 18	Medição de viscosidade com Viscosímetro <i>Brookfield</i> HB DV-II+	67
Figura 19	Soprador de ar fixado para teste de tempo de expansão da tinta	68
Figura 20	Fluidos newtonianos e não-newtonianos	69
Figura 21	Estrutura de uma Máquina CNC	71
Figura 22	Sistema de injeção de tinta utilizando seringa de 20 ml	73
Figura 23	Cabeçotes de extrusão - Bombas volumétricas rotativas	75
Figura 24	Metodologias adotadas	77
Figura 25	Desenho da aplicação da metodologia	78
Figura 26	Fresadora Laser CNC Asy 1000 Router	83
Figura 27	Relógio Comparador Mitutoyo 0.01-10 mm	87
Figura 28	Componentes de uma bomba helicoidal de câmara progressiva	90
Figura 29	Corte em vista lateral para mostrar o encaixe rotor/estator	91

Figura 30	Relação quantidade de estágios e pressão na bomba helicoidal	94
Figura 31	Protótipo da bomba helicoidal 1	95
Figura 32	(a) Flange de suporte para a bomba; (b) Separador	99
Figura 33	(a) Bomba helicoidal impressa e montada; (b) Bomba helicoidal acoplada na impressora	100
Figura 34	Rotores impressos em ABS	101
Figura 35	Estator de 1 estágio, impresso em TPU	101
Figura 36	Estatores e suportes	102
Figura 37	Novo eixo móvel e seu encaixe de acoplamento ao eixo do motor	102
Figura 38	(a) Sistema de encaixe do motor com o suporte do estator; (b) Novo sistema montado	103
Figura 39	Resultado da impressão utilizando a bomba helicoidal 2 com rotor e estator de 1 estágio	103
Figura 40	Resultados utilizando a bomba helicoidal 2 com rotor e estator de 2 estágios	104
Figura 41	Resultados da impressão em papel utilizando a bomba helicoidal 2 com rotor e estator de 2 estágios	104
Figura 42	Bomba helicoidal com rotor e estator de 3 estágios	105
Figura 43	Rotor de 3 estágios quebrado (sistema de encaixe ao suporte do motor aparece separado)	105
Figura 44	Extrusora de tinta com utilização de êmbolo. (a) Vista superior; (b) Vista lateral	108
Figura 45	Engrenagem helicoidal dupla	108
Figura 46	(a) Extrusora com seringa acoplada na impressora 3D; (b) Resultado de teste de impressão	110
Figura 47	Resultado de teste de impressão em papel com utilizando a bomba 3	111
Figura 48	Resultados de testes de impressão em papel de gramatura 120g/m ² ..	111
Figura 49	Teste de aderência do TPU na folha offset	113
Figura 50	(a) Remoção da linha de expurgo; (b) Remoção do quadrado impresso	113
Figura 51	Resultado da impressão dos três modelos de gráficos com TPU	114
Figura 52	Rebarbas e “teias” de impressão para limpeza	115
Figura 53	Resultado da impressão sem aguardar o resfriamento da mesa para remoção da folha	116
Figura A-1	Desenho que apresenta a geometria da bomba helicoidal	135
Figura A-2	Desenho cotado da câmara de abastecimento (peça “e”)	135

Figura A-3	Desenho cotado do estator (peça "b")	136
Figura A-4	Desenho cotado do bico extrusor (peça "d")	136
Figura A-5	Desenho cotado da haste de conexão (peça "c")	136
Figura A-6	Desenho cotado do rotor (peça "a")	136

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	15
1.1.1 Deficiência Visual - Contexto	15
1.1.2 Educação Inclusiva de Pessoas com Deficiência visual - Recursos Didáticos Acessíveis - Gráficos Relacionais	21
1.1.3 Tecnologia para a Produção de Recursos Inclusivos -Táteis.....	28
1.2 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	33
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	35
1.4 HIPÓTESE	35
1.5 OBJETIVOS	35
1.5.1 Objetivo Geral	36
1.5.2 Objetivos Específicos	36
1.6 JUSTIFICATIVA	36
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA	39
2.1 PSICOLOGIA DA PERCEPÇÃO E COGNIÇÃO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	39
2.2 EDUCAÇÃO PARA PESSOAS COM DV	42
2.3 OS GRÁFICOS E SUA FUNÇÃO INSTRUCIONAL NA APRENDIZAGEM.....	47
2.3.1 Tipo de gráfico mais utilizado para fins didáticos	49
2.4 TECNOLOGIA ASSISTIVA	50
2.4.1 Produção de Materiais Didáticos	52
2.4.2 Tecnologia Assistiva utilizada na adaptação de materiais didáticos para a educação de pessoas com Deficiência Visual	55
2.5 CONHECIMENTOS TÉCNICOS.....	59
2.5.1 Projetando para Cegos	59
2.5.2 Características da <i>tinta puff</i>	62
2.5.3 Viscosidade da <i>tinta puff</i>	65
2.5.4 Classificação reológica da <i>tinta puff</i>	69
2.5.5 Sistemas funcionais.....	70
2.5.6 Cabeçote ou cabeça de impressão.....	72
3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	76
3.1 REQUISITOS DE PROJETO DO CABEÇOTE DE EXTRUSÃO	88
4. PROJETO	90
4.1 ANÁLISE DIMENSIONAL PARA GEOMETRIA DA BOMBA.....	92
4.1.1 Dimensões do bico extrusor	92
4.1.2 Velocidade da bomba e taxa de saída (vazão).....	93
4.1.3 Pressão e Potência Hidráulica – Deslocamento positivo	94

4.2 EXPERIMENTO	98
4.2.1 Peças e Bombas testadas	99
4.2.2 Bomba helicoidal 2.....	100
4.2.3 Recálculo da Vazão.....	106
4.2.4 Bomba injetora 3 – Deslocamento linear de êmbolo	107
4.2.5 Impressão com TPU	112
4.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	116
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
REFERÊNCIAS.....	122
Apêndice A.....	134

1. INTRODUÇÃO

"A deficiência faz parte da condição humana. Quase todas as pessoas terão uma deficiência temporária ou permanente em algum momento de suas vidas, e aqueles que sobreviverem ao envelhecimento enfrentarão dificuldades cada vez maiores com a funcionalidade de seus corpos."(WHO, 2011)

Nesse Capítulo são apresentados tópicos que visam facilitar e organizar o desenvolvimento do projeto. Os itens abordados são de contextualização do tema, delimitação do trabalho, problema de pesquisa, hipótese, objetivos e justificativa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Para se planejar qualquer ação em favor do deficiente visual, sejam serviços de saúde ou educacionais, é necessária uma melhor compreensão das causas e magnitude dessa deficiência. Para isso, são apresentados a seguir não apenas os diferentes conceitos de Deficiência Visual como também sua incidência na população mundial e nacional, suas causas e possíveis medidas de prevenção. Sendo o tipo de deficiência de maior incidência na população brasileira, ainda assim, percebe-se que a população de modo geral, pouco sabe a respeito.

1.1.1 Deficiência Visual - Contexto

A capacidade de ver e interpretar imagens depende essencialmente da função cerebral em receber, codificar e associar essas imagens a experiências anteriores. A acuidade visual (AV), o campo visual (CV) e a eficiência visual (EV) contribuem fundamentalmente nesse processo e uma alteração em qualquer uma destas habilidades pode qualificar um tipo de deficiência visual, em maior ou menor grau. Para se ter um melhor entendimento sobre elas, pode-se dizer que a acuidade visual está relacionada com a habilidade de perceber pequenos detalhes, com a nitidez na visão. E o campo visual é a amplitude angular da visão com o olhar fixado em determinado ponto, que em condições normais abrange aproximadamente 180° no plano horizontal e 130° no plano vertical (CARVALHO *et al*, 2002).

Com relação à eficiência visual, Barraga (1990), considera que está associada a fatores fisiológicos, psicológicos, intelectuais e ambientais, e por isso difere em cada pessoa, não dependendo diretamente da acuidade visual, uma vez que a visão residual quando estimulada tende a uma melhor aplicação. Desta forma, pode-se dizer que a eficiência visual

é o quanto a pessoa explora e aproveita sua capacidade visual (BARRAGA, 1990 *apud* MAZZARO, 2007).

Até o ano de 2003 a categorização de deficiência visual (DV) da 10ª revisão do Código Internacional de Doenças (CID-10), derivava do grupo de estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS) em Prevenção de Cegueira que se reuniu em 1972 para criar uma definição padronizada e não levava em consideração os erros de refração como causa das deficiências visuais. Em 2006, a OMS fez uma atualização importante que não se restringiu a uma mudança de nomenclatura, refletindo diretamente na forma de dimensionar a população com DV e, principalmente na contribuição para uma melhor compreensão de suas causas e métodos de prevenção. Então, erros de refração não corrigidos passaram a ser considerados a maior causa de deficiência visual (CBO, 2012; CBO, 2015).

A OMS (2006) classifica a deficiência visual em um espectro que inclui desde a perda visual leve até a ausência total de visão, tomando como base valores quantitativos de acuidade e campo visual para definir clinicamente a cegueira e a baixa visão. Assim, deficiência visual moderada combinada com deficiência visual grave são agrupadas sob o título de “baixa visão”. E a Baixa Visão em conjunto com a cegueira representa a deficiência visual, aqui descrita (CBO, 2015).

No entanto, conceituar a DV torna-se delicado uma vez que devido a sua complexidade, vários conceitos e classificações são adotados na literatura especializada ou divulgadas pelas entidades de apoio às pessoas com DV, pois variam conforme as limitações ou fins a que se destinam. Sobre o contexto destas classificações citam-se alguns (MAZZARO, 2007):

- **Legal** – para obtenção de apoio e recursos em concursos, programas de assistência e Previdência Social;
- **Clínico** – para fins de diagnóstico, indicação adequada de tratamento e acompanhamento médico;
- **Educacional** – para fornecer indicações favoráveis ao processo de ensino-aprendizagem do deficiente visual levando-se em conta sua eficiência visual.

A Figura 1 apresenta as categorias da deficiência visual conforme determinado pela CID-10¹ e OMS, onde geralmente o grau de DV é medido pela acuidade visual, de acordo com uma tabela de classificação optométrica. A DV severa e a cegueira também são

¹ A Organização Mundial da Saúde (OMS) lançou em 2018 sua nova Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (CID 11).

categorizadas de acordo com o grau de constrição do campo visual central no melhor olho para menos de 20 ou 10 graus, respectivamente (WHO, 2019).

Figura 1. Classificação da gravidade da deficiência visual baseada na acuidade visual no melhor olho

Categoria		Acuidade visual no melhor olho	
		Pior que:	Igual ou melhor que:
Deficiência visual leve		6/12	6/18
Deficiência visual moderada		6/18	6/60
Deficiência visual grave		6/60	3/60
Cegueira		3/60	
Comprometimento da visão de perto		N6* ou 0,8 m a 40 cm	

*N se refere ao tamanho da fonte com base no sistema de pontos usado na indústria de impressão e 6 é um tamanho de fonte equivalente ao utilizado em jornais.

Fonte: Traduzido de WHO, 2019

Com base nisso, considera-se **visão subnormal** (ou cegueira parcial) quando o valor da acuidade visual corrigida é menor que 0,3 (6/18 fração de Snellen²) e melhor ou igual a 0,05 (3/60) ou seu campo visual menor que 20° no melhor olho, com correção. Este campo visual restrito é muitas vezes chamado de “visão em túnel”. Considera-se **cegueira legal** quando o valor de acuidade visual é menor que 0,05 (3/60) no melhor olho ou campo visual menor que 10°. Porém, o termo cegueira não significa, necessariamente, total incapacidade para enxergar, pois engloba indivíduos com vários graus de visão residual que, no entanto, não são capacitantes para o exercício de tarefas rotineiras. E quando ocorre a cegueira total que pressupõe a completa perda da visão, não havendo sequer percepção luminosa, esta é conhecida como Amaurose (CBO, 2019; WHO, 2019).

A classificação clínica embora necessária para consolidar diagnósticos, prescrever os tratamentos mais adequados e subsidiar documentação para fins legais, é por isso, bastante técnica e complexa. Assim, torna-se muito subjetiva do ponto de vista funcional, ou seja, tais classificações podem indicar os melhores tratamentos, garantir ou não benefícios, mas, não contribuem para qualificar as tarefas que aquele indivíduo seria capaz de desempenhar.

² Também conhecida como Optótipo ou Escala Optométrica de Snellen, trata-se de uma notação utilizada para medir a acuidade visual de um indivíduo, cujos termos podem estar em pés ou metros (MESSIAS *et al.*, 2010). Tabela a uma distância fixa de 6 metros ou 20 pés (WHO, 2019).

Portanto, especialistas começaram a sugerir a utilização de uma classificação que levasse em conta esta característica funcional – a classificação educacional (MAZZARO, 2007).

O Ministério da Educação do Brasil adota em seus materiais de capacitação de professores para a educação de pessoas com DV, a definição educacional apresentada pelas Dras. Faye e Barraga em 1985, por ser mais prática e dinâmica (BRASIL, 2001 e 2002).

Sendo este um projeto que visa favorecer a educação do deficiente visual, será adotada a classificação educacional, a mesma adotada pelo Ministério da Educação do Brasil (MEC), onde entende-se por:

- **Pessoa cega:** Sua percepção de luz é insuficiente para aquisição de conhecimentos por meios visuais. Neste caso, o processo de aprendizagem terá de explorar o uso dos sentidos remanescentes, primordialmente tato e audição e utilizar o Sistema Braille, como principal meio de comunicação escrita (BARRAGA, 1989 *apud* MAZZARO, 2007; BRASIL, 2001).
- **Pessoas com baixa visão:** Apresentam condições de indicar a projeção de luz até o grau em que a redução da AV limita o seu desempenho. Seu processo educativo se desenvolverá a partir do estímulo da visão residual, ou seja, estímulos visuais, ainda que com a utilização de recursos específicos (FAYE, 1994; BARRAGA, 1985 *apud* BRASIL, 2001, v.1).

Desta forma, cabe ao educador conhecer o seu aluno e captar suas potencialidades. Masini (2014), adverte para a importância de o professor lidar com esta situação pela ótica da semelhança e não da diferença, ou seja, compreender que a criança cega se assemelha mais do que difere de crianças que não tem DV. E tendo este reconhecido suas capacidades, utilizar-se dos recursos necessários para potencializá-las em favor do aprendizado, fazendo uso inclusive da criatividade pois, a eficiência visual não está atrelada ao nível de acuidade visual e sim à capacidade do indivíduo de explorar sua visão residual.

A magnitude da deficiência visual no Brasil e no mundo não só vem ascendendo anualmente como também, nos últimos anos, vem sofrendo modificações significativas em seu processo de dimensionamento. Basta, lembrar que até 2006 a OMS não levava em conta problemas ocasionados por erros de refração. Alia-se a isso mudanças tecnológicas e nos métodos de investigação aplicados pelos institutos de estatística. Tais atualizações favoreceram não apenas para que a DV figurasse como a deficiência de maior ocorrência entre a população brasileira (IBGE, 2010), como também possibilitaram uma maior compreensão sobre seu desenvolvimento.

Em 2017, o número de pessoas cegas no mundo era de 36 milhões e 217 milhões a estimativa de pessoas com baixa visão (WHO, 2017). Em seu Relatório Mundial Sobre a

Visão (2019), a OMS afirma que faltam estimativas precisas para a obtenção da magnitude global das condições oculares. Pois, como uma pessoa pode ser enquadrada em mais de uma condição de déficit ocular, e como muitas pesquisas de base populacional não possuem detalhamento técnico sobre o comprometimento da visão daqueles que usam óculos ou lentes de contato para compensar a DV devido a um erro de refração, esses números não podem ser simplesmente somados. Desta forma, embora ainda se utilizem de modelos matemáticos para a obtenção de um panorama, estimativas globais com números mais detalhados não estão mais disponíveis (WHO, 2019).

No entanto, o mesmo documento destaca que se pode supor com confiança que pelo menos 2,2 bilhões³ de pessoas em todo o mundo têm uma visão insuficiente e destes, cerca de 1 bilhão poderia ter sido evitada ou tratada (WHO, 2019). Em 2012, a catarata e os erros de refração eram as principais causas de DV no mundo (CBO, 2012) e pelas projeções da OMS, continuam sendo (WHO, 2019).

No Brasil, os últimos dados datam do Censo Demográfico de 2010 onde, 23,9% da população brasileira possuía algum tipo de deficiência e a DV era a de maior ocorrência, acometendo 18,6% da população. Dessas pessoas, mais de 6,5 milhões possuíam DV severa, sendo aproximadamente 500 mil cegos e 6 milhões com baixa visão (IBGE, 2010).

De acordo com o relatório do Conselho Brasileiro de Oftalmologia - CBO (2019), o próprio IBGE em 2010, admitiu escassez de dados populacionais em várias regiões. Com isso, o CBO, à exemplo da OMS, afirma não ser possível estimar com segurança a prevalência da deficiência visual no Brasil. Mas, destaca uma estimativa de que com base nas condições econômicas, haja 1,5 milhões de pessoas cegas no país, ou seja, 0,75% de sua população total (CBO, 2019).

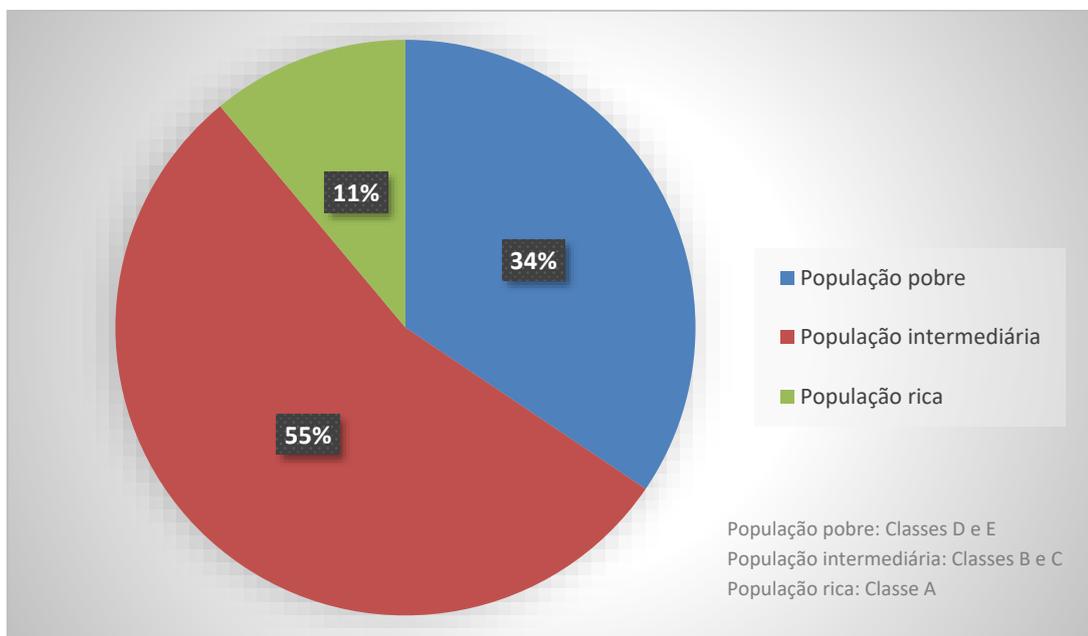
Como mencionado anteriormente, acredita-se que parte desse aumento decorra de alterações realizadas nos métodos de investigação do IBGE (IBGE, 2010), em mudanças na classificação de pessoas com deficiência feitas pela OMS, bem como, no envelhecimento da população e pelo crescente uso prolongado de telas – computador, smartphone, televisão e tablet (SES-DF, 2019).

Destaca-se ainda a concentração a maioria das pessoas com DV versus a classe econômica, estima-se que a prevalência em regiões de baixa e média renda seja quatro vezes

³ Número que engloba diversas condições oculares como: dificuldade para enxergar de perto (presbiopia), deficiência visual moderada a grave para visão à distância ou cegueira devido a erro de refração não corrigido, catarata, degeneração por lesões maculares relacionadas à idade, glaucoma, opacidades da córnea, retinopatia diabética, tracoma e outras causas (WHO, 2019).

maior do que em países de alto poder econômico (WHO, 2019). Conforme o Gráfico 1, no Brasil, pressupõe-se que a maior parte se encontra nas classes B e C, com uma significativa parcela entre a população pobre (CBO, 2019).

Gráfico 1. Estimativas da condição econômica versus a cegueira no Brasil.



Fonte: CBO, 2019.

Embora a cegueira infantil apresente-se 10 vezes menor do que entre os adultos, ainda é tratada como prioridade diante do número de anos a serem vividos "no escuro", da formação educativa e de autonomia do indivíduo (CBO, 2012). Segundo dados da *Lions Club International Foundation*, estima-se que há 1,4 milhão de crianças⁴ cegas no mundo e que 500 mil novos casos de cegueira infantil surjam a cada ano. Desses novos casos, 50% das crianças morrem em um ou dois anos em decorrência do problema que ocasionou a cegueira (LCF, 2017). O Conselho Brasileiro de Oftalmologia (2015) destaca ainda que cerca de 40% dos estimados 1,4 milhão de casos de cegueira em crianças com menos 15 anos de idade (quadro global) poderia ter sido evitado, isso porque a maioria possui causas evitáveis ou tratáveis, como: erros de refração não corrigidos, privação de imagem na retina ou estrabismo. No Brasil, 5,3% da população de 0-14 anos possui DV e os erros de refração não corrigidos são apontados como a principal causa da DV em crianças e adolescentes (CBO, 2012).

⁴ Considera-se como crianças indivíduos com idade inferior a 16 anos (WHO).

1.1.2 Educação Inclusiva de Pessoas com Deficiência visual - Recursos Didáticos Acessíveis - Gráficos Relacionais

De acordo com a temática deste trabalho, é apresentado a seguir, um breve histórico do processo educacional e inclusivo da pessoa com DV no Brasil e no mundo para compreender os desafios encontrados e os caminhos já explorados. Este resgate histórico não será abordado sob a ótica de outras deficiências, por não serem o foco desta pesquisa. No entanto, primeiramente se faz necessário um entendimento sobre como a sociedade lidou com as pessoas com deficiência no transcorrer da história.

Na antiguidade indivíduos com deficiência eram privados do convívio familiar e social por serem vistos como seres inferiores, amaldiçoados ou até mesmo dotados de poderes místicos. Em geral, a História nos mostra que estes seres eram rotulados como "degeneração da raça humana", sendo durante muito tempo abandonados ou eliminados (BRASIL, 2001, v.1).

Na Grécia antiga havia a valorização do homem atlético e guerreiro, sabe-se que espartanos eram conhecidos por suas aptidões nas batalhas, assim, com uma educação voltada especificamente para a atividade militar, atiravam crianças de precipícios por terem qualquer tipo de deformação ou limitação. Já em Atenas, protegiam e asseguravam financeiramente pessoas com doenças ou deficiências provenientes de participações em guerras. (MAZZARO, 2007; GUGEL, 2007 *apud* TREVISAN, 2012).

Para os romanos, essas pessoas ocupavam a mesma posição social que mendigos e marginais e muitas vezes sobreviviam de esmolas ou servindo ao entretenimento dos outros como personagens de circo. Os hebreus entendiam a deficiência visual como punição divina. Perspectivas opostas ficavam por conta dos egípcios que incluíam pessoas com deficiência nas tarefas da comunidade, dos hindus e outros povos orientais que consideravam os deficientes visuais como pessoas de sensibilidade aguçada e dotadas de poderes divinos servindo muitas vezes a trabalhos religiosos (MAZZARO, 2007; GUGEL, 2007 *apud* TREVISAN, 2012).

Com o apogeu do Cristianismo na Idade Média, a sociedade passou a encarar a pessoa com deficiência com olhos de piedade, caridade e compaixão. Nesse contexto, entraram em ação as primeiras instituições de proteção e assistência às pessoas com deficiência. Mas, se por um lado esses estabelecimentos os retiravam das ruas e da miséria, por outro, continuavam a segregá-los do convívio social, mantendo-os em asilos, hospícios e hospitais (MAZZARO, 2007). Daí a associação das deficiências à falta de saúde e sua origem na classificação do ponto de vista médico.

Este quadro segregacionista foi mudando mesmo que a passos lentos, na Idade Contemporânea, surgem movimentos mundiais que lutam pela construção de uma consciência social de direitos e deveres do homem, buscando igual oportunidade de cidadania (educacional, profissional ou de convívio social) para as minorias. Principalmente após a Declaração dos Direitos Humanos em 1948. Outro fator importante para uma melhor aceitação das pessoas com deficiência pela sociedade foi o retorno dos "heróis de guerra", muitos deles mutilados em batalha ou campos de concentração que precisavam de reabilitação e reintegração social - nesse caso, a aceitação veio como retribuição, gratidão pelos trabalhos prestados. Assim, a compreensão em relação às deficiências foi evoluindo de acordo com crenças, valores culturais e transformações sociais (BRASIL, 2001, v.1; MAZZARO, 2007).

Partindo para a educação do deficiente visual, há indícios de ensaios com uso do tato para leitura e escrita desde o século XIV, que se perpetuaram pelos séculos seguintes. Na segunda metade do século XVIII, foi inaugurado em Paris o Instituto Real do Jovem Cego, primeira instituição de educação para deficientes visuais. Mas, foi no século XIX que a educação para a pessoa cega ganhou força, com a criação do sistema Braille, por Louis Braille, na França, contribuindo para o surgimento de escolas especializadas até mesmo em outros continentes e começando a mudar a perspectiva de vida para os deficientes visuais (BRASIL, 2001, v.1; MAZZARO, 2007; TREVISAN, 2012).

Apenas 29 anos após a criação da escrita Braille foi criada no Brasil, mais especificamente no Rio de Janeiro, uma instituição federal e primeiro educandário para cegos da América Latina, o Imperial Instituto dos Meninos Cegos, atual Instituto Benjamin Constant. Seu modelo de internato (colégio destinado à educação e à residência) inspirou a abertura de outras instituições de educação especial pelo país, tais como (BRASIL, 2001, v.1; TREVISAN, 2012; MASINI, 2014):

- Instituto São Rafael (Belo Horizonte - MG, 1926);
- Instituto Padre Chico (São Paulo - SP, 1928);
- Instituto de Cegos da Bahia (Salvador - BA, 1929);
- Instituto de Cegos do Ceará (Fortaleza - CE, 1934);
- Instituto Santa Luzia (Porto Alegre - RS, 1941) e;
- Instituto de Cegos Florisvaldo Vargas (Campo Grande - MS, 1957).

A criação da Fundação Dorina Nowill para Cegos em 1946 – Fundação para o Livro do Cego no Brasil, como era chamada na época – representou um marco para a história da educação do cego no Brasil, pois, ultrapassou seu objetivo original de adaptar e divulgar livros

no sistema Braille e se tornou a primeira instituição a capacitar professores especializados para a atuação em escolas públicas. Dando origem a educação especial sob o princípio da integração no sistema regular de ensino, almejando oferecer às pessoas com deficiência condições de vida diária e convívio social semelhantes aos demais (BRASIL, 2001, v.1; MASINI, 2014).

Durante a década de 1950, foram inauguradas em escolas pertencentes à Rede Regular de Ensino, o ensino integrado. Utilizando-se para isso o apoio de salas de recursos, salas especiais e Centros de Apoio Pedagógico. Consolidando assim, a oportunidade para educar pessoas com deficiência visual no ensino regular (Brasil, 2001, v.1).

Nas duas décadas seguintes, foram estruturadas leis e programas de atendimento educacional em favor da integração do cego na escola regular e no mercado de trabalho. Em 1976 a OMS aprovou uma resolução que retirou o caráter patológico das deficiências e as excluiu da Classificação Internacional de Doenças - CID (BRASIL, 2001, v. 1; MASINI, 2014).

Durante as décadas de 1980 e 1990, solidificou-se a integração da pessoa cega, sendo criados cursos para capacitação de professores nas universidades brasileiras. Mesmo período em que começaram a surgir as Associações de Pais, Deficientes e Amigos – ACIC, AADV, APADEV, LARAMARA e outras que intercedem pelo direito de cidadania, melhorias na qualidade de vida e educação de pessoas com deficiência visual (BRASIL, 2001, v.1; MASINI, 2014).

Como a maioria das instituições de educação especial foram abertas entre as décadas de 1920 e 1960, é oportuno destacar que esse marco de inclusão já vinha ocorrendo no Brasil, duas décadas antes do movimento da Liga Internacional pela Inclusão (*Inclusion International*) de 1960, e foi reforçado pelas Nações Unidas em 1990, destacando a necessidade de adaptação do sistema escolar para receber alunos com deficiência. Esse movimento contribuiu também para a publicação da Declaração de Salamanca, na Conferência Mundial de Educação Especial, ocorrida em junho de 1994, documento que reafirmava o direito à educação para todos, ficando estabelecida assim, a inclusão de crianças, jovens e adultos com deficiência no sistema regular de ensino. Devendo a escola atender às especificidades de cada aluno (ALHO, 2011; MASINI, 2014).

Ainda em 1994, devido à carência de professores especializados e escassez de materiais didáticos adaptados, a Secretaria de Educação Especial (SEESP/MEC) cria os Centros de Apoio Pedagógico e Atendimento às Pessoas Deficientes Visuais (CAP), com a finalidade de dar suporte aos alunos com DV e aos professores nas escolas comuns, bem como nas salas de recursos, além de contribuir para adaptação de materiais didáticos e a

disseminação de novas tecnologias de ensino-aprendizagem (MAZZARO, 2007; BRASIL, 2001, v.1). Conforme a Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão - SECADI, atualmente têm-se 54 unidades de CAP/NAPPB distribuídos pelos estados brasileiros (MEC, 2018).

Sendo assim, a partir da década de 1990, cresceu no Brasil o movimento pela inclusão, mas somente nos anos 2000 é que ocorreu de fato um reposicionamento político, educacional e legislativo a esse respeito. As políticas de inclusão entraram para a legislação nacional em 2008 (quatorze anos após a publicação da Declaração de Salamanca), 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, disponibilizará 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, cujas Diretorias seguindo a legislação e a própria orientação do MEC, começaram a receber crianças indistintamente. Seria positivo não fosse a forma como essa mudança foi "imposta" a professores e profissionais de outras áreas que se depararam com o aumento dessa clientela sem o devido preparo para isso. 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. O que tem desencadeado pesquisas sobre a inclusão de diferentes perspectivas, algumas inclusive questionando sua eficácia (MASINI, 2014).

Dens (1998) *apud* Masini (2014) afirma que mesmo que se providencie todos os recursos pedagógicos, também é necessária uma mudança de ideologia e mudar o sistema de ideias de um determinado grupo social é uma tarefa lenta. Masini (2014) acredita que a inclusão é uma questão da sociedade e assim, deve-se estar constantemente atento às barreiras que não estão diretamente ligadas à deficiência, mas a preconceitos.

Fato é que devido ao entendimento que se obteve sobre a deficiência nos primórdios da história, até hoje, surpreendentemente, ainda se depara com a percepção de que a deficiência é uma doença incurável dotada de incapacidade generalizada. E que embora se perceba o caráter segregacionista das escolas de educação especial, estas instituições foram

precursoras e desempenharam papéis de suma importância no contexto histórico da educação.

A discussão sobre inclusão tornou-se presente em programas de pós-graduação, eventos científicos, nas reivindicações ligadas a pessoas com deficiência, em publicações e na mídia. Essa utilização da mídia desempenha papel importante para despertar a sociedade às potencialidades de todas as crianças e adolescentes com deficiência, tirando o foco de suas dificuldades e destacando suas capacidades em aprender. Trata-se de **mudar a cultura de piedade e incapacidade**. Contudo é preciso também, que se reconheça e se assuma o atraso pedagógico dos modelos atuais para então mudá-lo de maneira enfática. É preciso trabalhar a capacitação para a educação especial já nas bases de formação do corpo docente, melhorar o sistema de avaliação e fiscalização para que o aluno com deficiência possa desfrutar da estrutura, atendimento e material especial de que tem direito reconhecido (FILLMANN, M.; COLPES, K.; COUTO, E., 2019).

No Brasil, até o século XX, os alunos com deficiência não eram efetivamente aceitos no sistema regular de ensino, foi somente na década de 1950 que as escolas especializadas começaram a ganhar força. Porém, como se tratavam de escolas estritamente para pessoas com deficiência, não contribuíam para sua inclusão social, ou seja, não favoreciam para o seu relacionamento interpessoal com pessoas que não compartilhassem da mesma deficiência e assim, acabava por os segregar socialmente (MASINI, 2014).

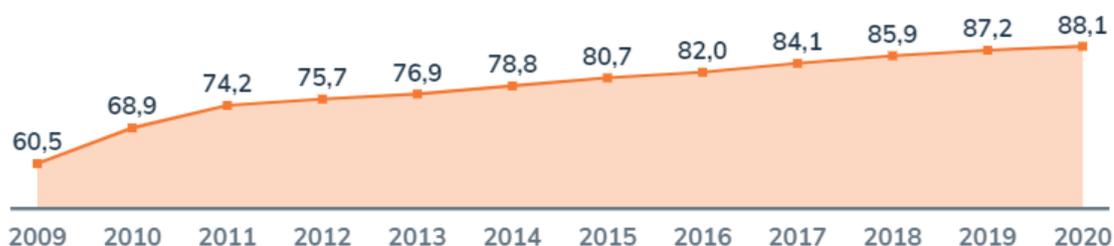
Como mencionado anteriormente, no Brasil, somente após os anos 2000 é que houve de fato um reposicionamento e replanejamento político, legislativo e pedagógico a este respeito. Em 2008, foi publicado o Decreto Lei 6.571/08 (BRASIL, 2008), certificando que todas as crianças e jovens com deficiência devem estudar em escolas regulares de ensino. É quando se passa a perceber um aumento significativo desses alunos na rede pública de ensino regular.

O Censo Escolar da Educação Brasileira evidencia que no período de dez anos, as matrículas na Educação Básica quase duplicaram, passando de 702,6 mil, em 2010, para 1,3 milhão, em 2020. Sendo a maior parte delas no Ensino Fundamental (78,3%). Ao mesmo tempo, a porcentagem de alunos matriculados em classes comuns aumentou de 68,9%, em 2010, para 88,1%, em 2020. É semelhante ao Censo da população brasileira (IBGE 2010), o número de deficientes visuais se destaca perante as demais deficiências. Mesmo assim, apenas uma pequena parcela desses alunos chega aos Ensinos Médio e Superior (TODOSPELA EDUCAÇÃO 2021).

Conforme o Censo Escolar da Educação Básica (TODOSPELA EDUCAÇÃO, 2021), em 2019, das matrículas realizadas na Educação Especial Básica, 87,2% (Figura 2) estão em escolas de ensino regular, 12,8% em classes especiais ou escolas especializadas. Em 2017, os avanços alcançados pela política de inclusão demonstravam que 92,7% dos alunos com deficiência, matriculados no ensino regular, pertencem a escolas da rede pública. Assim como, 74,2% dos alunos com deficiência, matriculados em escolas exclusivas pertencem a rede privada (INEP, 2017).

Figura 2. Porcentagem de matrículas de alunos com deficiência.

Porcentagem de alunos com deficiência, transtornos do espectro autista e altas habilidades ou superdotação matriculados em classes comuns – Brasil – 2009-2020



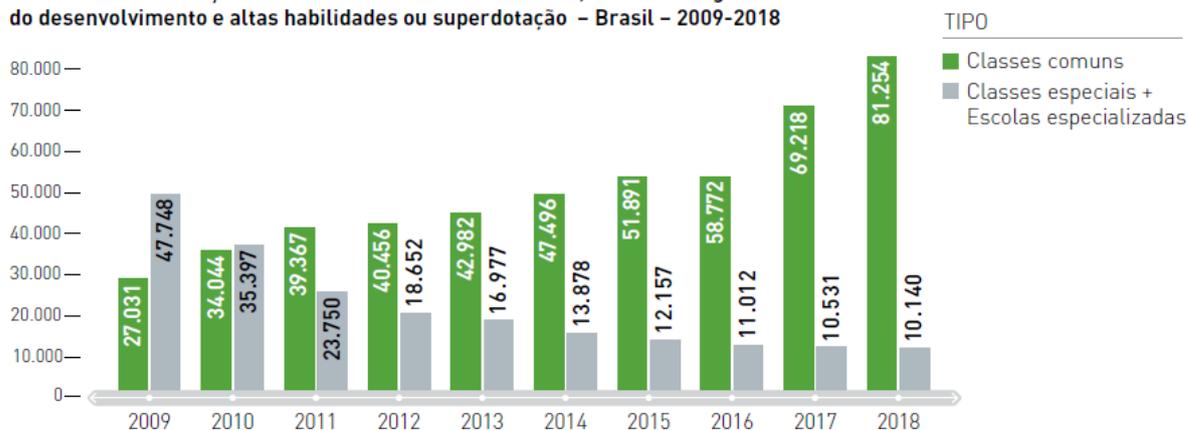
Fonte: Todos pela Educação, 2021.

Os gráficos da Figura 3 (a, b, c) a seguir, mostram a evolução da inclusão no ensino regular (classes comuns) no período de 2009 a 2018. Conforme pode ser observado nestes gráficos, no transcorrer desses anos houve um significativo aumento no número de matrículas em classes comuns, ao passo que ocorreu um decréscimo nas matrículas em classes especiais e escolas exclusivas, ratificando a evolução das políticas de educação inclusiva. Mesmo assim, em 2018, os deficientes visuais representavam apenas 2,7% dos 43,6 milhões de alunos matriculados na Educação Básica em escolas públicas e particulares do país (TODOS PELA EDUCAÇÃO, 2019). No mesmo ano, cegos e indivíduos com baixa visão representavam 35,3% do número de matrículas de pessoas com deficiência no ensino superior brasileiro, ou seja, 0,18% do total de 8,4 milhões de matrículas realizadas naquele ano (SALLIT, 2019).

Figura 3. Gráfico comparativo do número de matrículas na Educação Especial e na Educação Inclusiva no período de 2009-2018. (a) Educação Infantil; (b) Ensino Fundamental; (c) Ensino Médio.

Educação Especial/Inclusiva

Matrículas na Educação Infantil de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação – Brasil – 2009-2018

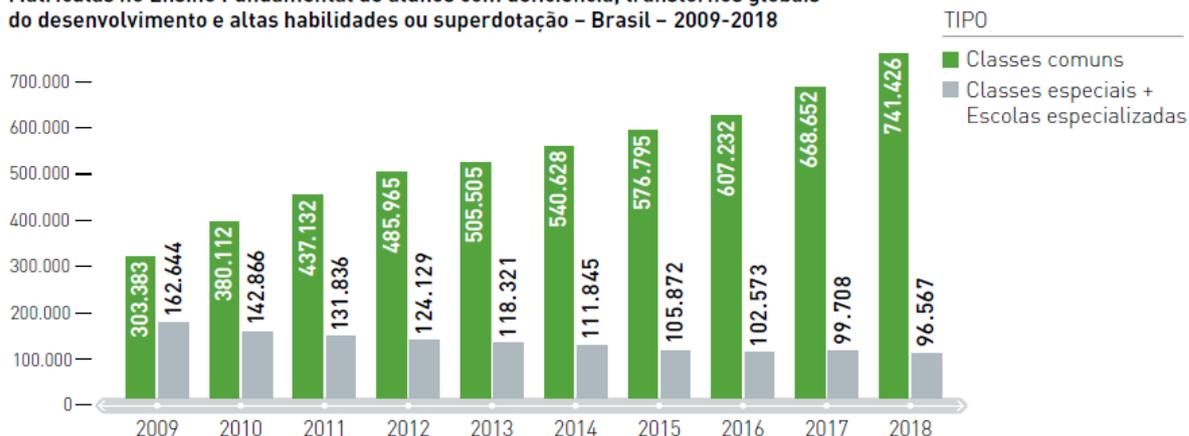


Fonte: MEC/Inep/DEED – Microdados do Censo Escolar – Elaboração: Todos Pela Educação.

(a)

Educação Especial/Inclusiva

Matrículas no Ensino Fundamental de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação – Brasil – 2009-2018

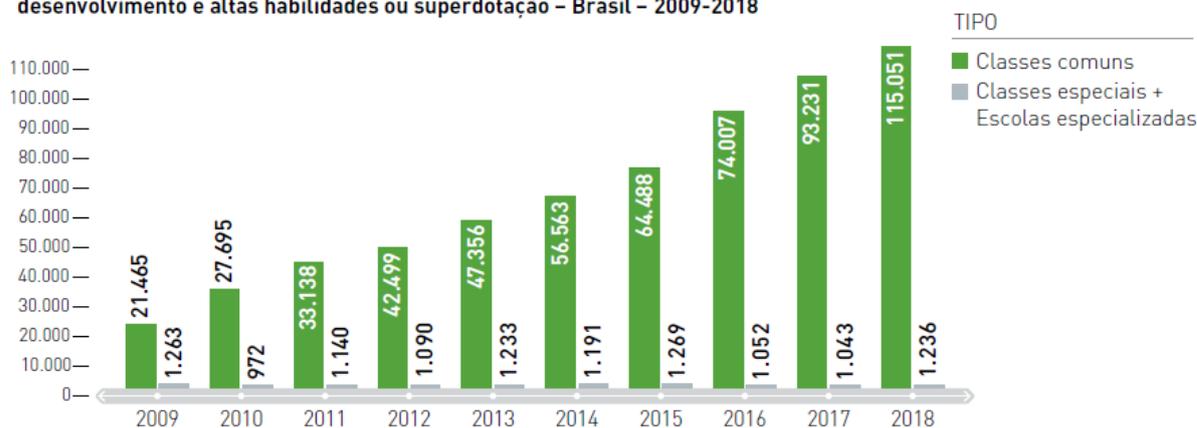


Fonte: MEC/Inep/DEED – Microdados do Censo Escolar – Elaboração: Todos Pela Educação.

(b)

Educação Especial/Inclusiva

Matrículas no Ensino Médio de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação – Brasil – 2009-2018



Fonte: MEC/Inep/DEED – Microdados do Censo Escolar – Elaboração: Todos Pela Educação.

(c)

Fonte: Todos pela Educação, 2019.

Os dados anteriores mostram que assim como a DV é a de maior ocorrência entre a população brasileira, o mesmo acontece na educação. Embora se perceba que a cada ano o número de matrículas de deficientes visuais nas escolas aumenta, muito ainda precisa ser feito para garantir que todas as crianças, jovens e adultos que não enxergam estejam de fato e direito incluídas nas redes de ensino do País.

Em sua dissertação de mestrado (2014), a autora deste projeto relata ainda que os maiores limitadores estão relacionados à falta de capacitação de professores para a educação especial, a disponibilidade de materiais didáticos apropriados, a falta de acessibilidade nas edificações escolares e o que pode ser o principal dentre eles, a necessidade de uma mudança de cultura para o abandono do preconceito da "incapacidade". Essas limitações são destaque nas causas do alto índice de evasão escolar verificado na educação especial.

Oliveira (2012) ressalta que apenas 5% das crianças com deficiência que se matriculam nas escolas, chegam ao Ensino Médio. Os gráficos 3 (a, b, c), anteriores, evidenciam isso, pois, os números de matrículas no período de 2009-2018 são consideravelmente maiores no Ensino Fundamental, não se refletindo o mesmo no Nível Médio, evidenciando uma quebra na continuidade.

Assim, a falta de material pedagógico adequado e livros transcritos em Braille também foram sinalizados por profissionais e universitários como limitadores no acesso à informação (VICENTINI, 2011 *apud* TREVISAN, 2012).

Silva e Dore (2016) atribuem a evasão de alunos com DV em grande parte à falta de materiais didáticos adaptados⁵, pois, com o avanço para a séries seguintes, além do aumento de complexidade do conteúdo, pressupõe-se uma continuidade no ensino, com novos estímulos. Assim, se no Ensino Fundamental a criança cega deve aprender o Braille, no Ensino Médio ela deve receber seus materiais de estudo em Braille, mas, a autora deste projeto pôde constatar em sua pesquisa de mestrado que nem sempre esta é a realidade encontrada, quando há o material adaptado, este geralmente é entregue com uma enorme defasagem para com o período letivo.

1.1.3 Tecnologia para a Produção de Recursos Inclusivos -Táteis

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

⁵ Materiais didáticos adaptados são materiais que no caso de pessoas com deficiência visual passam por uma adaptação como: transcrição para Braille, audiodescrição, material tátil, etc.

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), em sua maioria pedagogos. Porém, como mencionado anteriormente, esse trabalho de adaptação, além da transcrição Braille e produção de audiodescrição, 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 para pessoas com DV, o trabalho minucioso envolvido e, portanto, demorado, além de um quadro de profissionais no CAP, que geralmente é insuficiente em relação à demanda, acabam resultando em entregas parciais e/ou tardias (COLPES, 2014).

É importante destacar que todos os materiais passam pela avaliação e revisão de profissionais cegos, que compõem a equipe do CAP, antes que este chegue até as mãos da criança com DV, bem como, indicam e buscam por diferentes tipos de materiais para serem utilizados nas adaptações. Esta etapa é importante pois, trata-se de uma avaliação sob uma ótica semelhante à do usuário, uma vez que é feita por alguém que conhece e vivenciou as mesmas limitações.

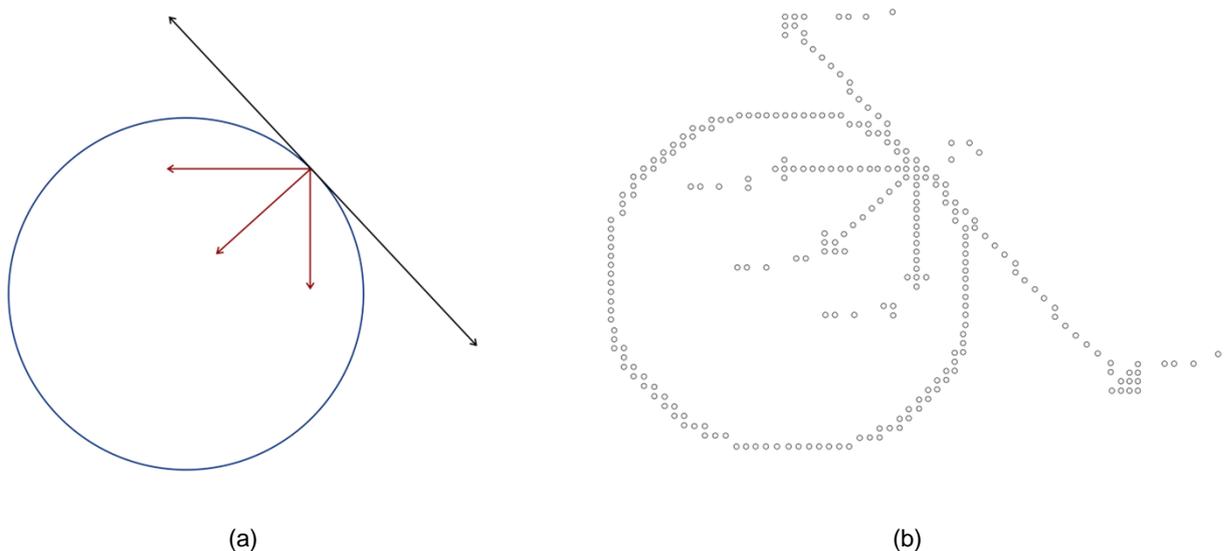
Diante da necessidade de adequações a serem realizadas manualmente, o CAP de Santa Catarina, mostrou uma preocupação em orientar e tentar uniformizar as técnicas adotadas nessa *adaptação de materiais didáticos para cegos*, publicando um documento de normativas técnicas para adaptação de materiais didáticos para pessoas com DV (CAP SC, 2007). No entanto, as confecções dependem da criatividade e habilidade manual do adaptador, assim, por mais que sigam tais diretrizes, uma padronização entre os traços dos desenhos ou formas de adaptação, inexistente (COLPES, 2014).

Uma das maiores dificuldades encontradas pelos estudantes com deficiência visual está no entendimento de gráficos, desenhos e representações diversas (AMARAL *et al*, 2009). O deficiente visual necessita compreender como se dá a representação para desenvolver a habilidade de interpretar uma informação obtida através de uma abstração, que indica imagem ou ideia em relação com determinado objeto (ABBAGNANO, 2007). Por isso que diante de tantas disciplinas que fazem uso de representações gráficas estáticas – como Geografia, Biologia, dentre outras – entende-se que as matérias ligadas às ciências exatas exigiriam uma maior abstração para sua compreensão, e por isso mesmo se tornam mais complexas.

Em visita ao CAP Florianópolis (SC), em 2013, a autora deste projeto pôde acompanhar como ocorre essa adaptação/transcrição de gráficos para materiais em alto-relevo, materiais táteis com a utilização de recursos variados que serão melhor explicitados mais adiante. Foi possível constatar pelas conversas com os profissionais no local que de fato, gráficos estáticos de disciplinas como Física e Matemática, que demonstram a atuação de vetores, gráficos relacionais, aritméticos e desenhos geométricos, requerem uma maior abstração e por isso mesmo, um maior esforço da capacidade de imaginação do 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 da impressora Braille, métodos mais simples porém, nem sempre apropriados.

A leitura ponto a ponto torna confusa a elaboração mental das imagens 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 4, o que pode acarretar em ruídos na interpretação da informação (COLPES, 2014).

Figura 4. Exemplo de diagrama de um livro de Matemática de um aluno cego do CAP Florianópolis. (a) À esquerda, círculo com reta tangente conforme se apresentava no livro didático. (b) À direita, exemplo de reprodução deste mesmo gráfico utilizando impressora Braille.

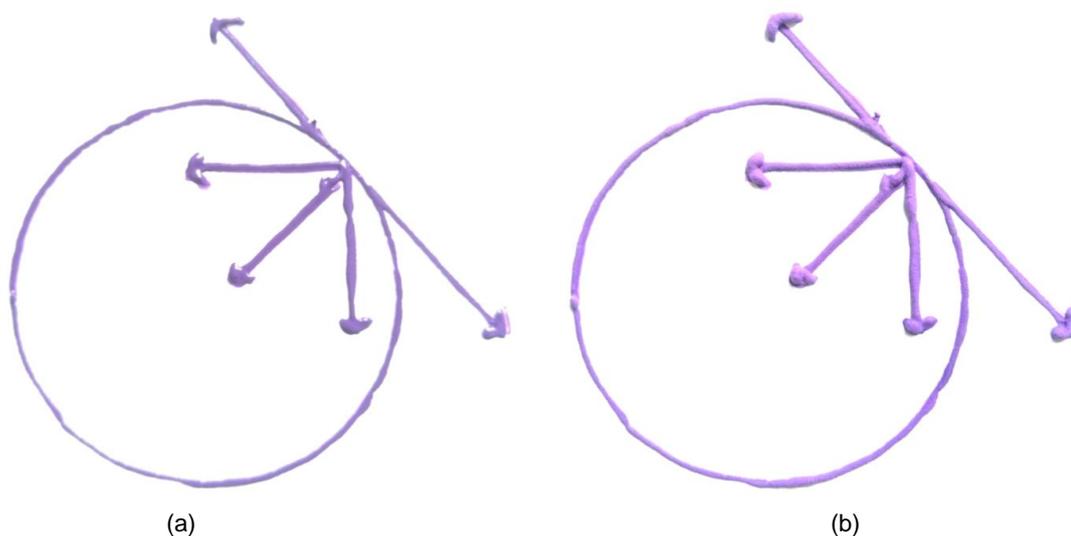


Fonte: Reprodução feita pela autora.

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 5. Observa-se que o efeito de "degraus" resultante da adaptação com pontos Braille (Figura 4) 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 e essa falta de uniformidade

pode gerar dúvidas na compreensão do que significa a linha, ou equívocos na geração de significados a partir deste recurso.

Figura 5. Exemplo do mesmo diagrama apresentado anteriormente, agora reproduzida em tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor (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: Reprodução feita pela autora.

Diante do que foi exposto até aqui, pretende-se, através deste trabalho, contribuir para maior agilidade na adaptação manual com tinta relevo, pois hoje em dia dispõe-se de tecnologia o suficiente para que todo esse processo seja automatizado.

Um cabeçote de Impressão é a peça mais importante de uma impressora, pois é ele o responsável direto por efetuar a impressão da imagem no papel. Toda impressora possui uma cabeça de impressão, seja ela jato de tinta, térmica ou de prototipagem rápida. O que varia é a forma como a impressora passa a imagem para o papel (BSLATAM, 2023).

Desta forma, o projeto de um cabeçote de impressão que utilize tinta de emulsão acrílica e possa ser acoplado em um sistema deslocamento cartesiano, tornando possível a deposição controlada de tinta em papel, parece conferir uma solução satisfatória para tal. Além de proporcionar uniformidade ao traço dos desenhos. Essa proposta também se diferencia das demais aplicações dadas a cabeçotes de extrusão na indústria por possuir dimensões reduzidas, posição de extrusão do material na vertical e aplicação em impressão 2D com tinta de emulsão acrílica de propriedades expansivas ao calor.

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 pois, embora outros recursos sejam utilizados com finalidade semelhante (obtenção

de materiais táteis) - Quadro 1, não há no comércio maquinário que trabalhe com a tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor para a obtenção de gráficos em relevo e esta se torna a lacuna científica que compõe o cenário ideal para a atuação do Design de Produtos.

O Quadro 1 apresenta o levantamento das abordagens existentes mais utilizadas pelos centros de apoio para a criação e/ou adaptação de materiais didáticos para cegos, destacando suas limitações. Como pode ser observado neste quadro, o maquinário que se encontra à disposição no mercado, requer investimentos altos e geralmente são importados o que aumenta significativamente seu custo com a aplicação dos impostos brasileiros. Aliado a este fator, profissionais do CAP Florianópolis informaram que a manutenção de tais equipamentos também é dificultada por possuírem assistência técnica no exterior (COLPES, 2014).

Assim, se tratando de um produto não existente no mercado nacional e internacional - ratificando a lacuna científica referida anteriormente. Sendo este produto de produção nacional e pioneiro na automatização de um processo de impressão de tintas relevo de baixo custo, destaca-se também sua relevância econômica.

Quadro 1. TA para adaptação de materiais para cegos

(continua)

PRODUTO	DESCRIÇÃO	PONTOS NEGATIVOS	PREÇO DE VENDA
	EmBraille Desktop Embosser ⁷ Impressora Braille simples que gera pontos no papel conforme informação a ser impressa.	Necessita de software para conversão e seu preço de venda é relativamente alto para o seu desempenho. Não apresenta uma resolução boa o suficiente para realizar desenhos de círculos e diagonais perfeitas.	USD \$1995
	Index Braille Basic D-V5 Printer ⁸ Impressora Braille mais compacta e leve. Permite impressão frente e verso e apresenta o diferencial de controle por voz.	Alto custo para aquisição. Não apresenta uma resolução boa o suficiente para realizar desenhos de círculos e diagonais perfeitas.	USD \$3295

Quadro 1. TA para adaptação de materiais para cegos

(conclusão)

PRODUTO	DESCRIÇÃO	PONTOS NEGATIVOS	PREÇO DE VENDA	
	Emprint Spotdot Fire ⁹	Apresenta um maior número de funções e de qualidade de impressão para o usuário, pois permite tanto impressão em jato de tinta quanto em Braille simultaneamente. Sua impressão em pontos ainda admite uma diferenciação de altura de acordo com a tonalidade da cor a ser impressa, gerando desenhos mais nítidos.	Preço de venda muito alto e o produto não possui assistência técnica no Brasil. Não apresenta uma resolução boa o suficiente para realizar desenhos de círculos e diagonais perfeitas.	USD \$7995
	E-Z Form Brailon Duplicator ¹⁰	Termocopiadora que se utiliza de alta temperatura e sistema de compressão a vácuo para transferir a uma lâmina de termoplástico as formas e texturas contidas no molde original. Cada lâmina deste material custa USD \$0,10 - \$0,26.	Necessita de moldes. Não possui assistência técnica no Brasil. Apontada como solução não ideal tanto por profissionais e usuários. Cuidado especial na produção do vácuo para não ocorrer desperdício de lâminas.	USD \$2999
	Zyfuse Heater ¹¹	Fusora utilizada em conjunto com o papel Zytex2 para produzir diagramas tácteis. O diagrama impresso é passado através do Zyfuse que faz com que a tinta preta crie um relevo que pode ser examinado utilizando as mãos.	Utiliza folhas especiais para impressão que custa USD \$1,33 - \$2,29 (und. folha). Necessita de impressão prévia em outro equipamento. Não possui assistência técnica no Brasil.	USD \$1390
	Adaptações manuais ¹²	Desenhos reproduzidos utilizando-se materiais artesanais, com tintas acrílicas, papéis especiais e colagens a fim de criar no papel uma imagem simplificada e em alto-relevo para exploração através do tato.	Trabalho minucioso e dispendioso em tempo. Não proporciona um padrão no resultado obtido e depende bastante das habilidades artísticas de quem o realiza.	Varia conforme material utilizado, mas o custo, em geral, é baixo.

⁷ Fonte: New England Low Vision and Blindness, setembro 2018.

⁸ Fonte: Index Braille, setembro 2018.

⁹ Fonte: ViewPlus Delivering Sense Ability, setembro 2018.

¹⁰ Fonte: American Thermoform, setembro 2018.

¹¹ Fonte: American Thermoform, setembro 2018.

¹² Fonte: Acervo da autora, CAP Florianópolis, 2013.

1.2 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esse trabalho tem ênfase no processo de obtenção de gráficos em relevo para materiais didáticos de pessoas cegas ou com grande dificuldade de enxergar, de ambos os sexos. Foi tomado como base a aplicação nas disciplinas de Física e Matemática para a

obtenção de gráficos relacionais⁶ destinados ao aprendizado de seus conteúdos. A escolha destas disciplinas se deu porque, conforme explicado na Contextualização, são as que tendem a exigir mais abstração para uma compreensão de seus gráficos na imaginação do aluno cego. Entende-se que não se configura em foco da pesquisa o aprofundamento nos conteúdos ministrados por tais disciplinas e sim no processo de obtenção de gráficos relacionais em relevo. A faixa etária desse público fica entre 12 e 25 anos, que compreende as últimas séries do Ensino Fundamental, todo o Ensino Médio e ainda o ingresso para o Ensino Profissional ou Superior⁷, fases em que os ensinamentos das disciplinas mencionadas se tornam mais complexos.

Diante da constatação de que um dos materiais mais utilizados nos Centros de Adaptação de Materiais Didáticos para Cegos (CAP) é a tinta acrílica em relevo, resolveu-se manter a utilização dessa tinta para esse processo de impressão. Uma vez que, seria necessária uma substância com certa consistência e viscosidade, de forma que ao ser depositada no papel mantivesse seu relevo após processo de secagem e também pelo seu baixo valor de aquisição no mercado (entre R\$ 3,00 e R\$ 4,00 o tubo de 35 ml⁸), o que a torna acessível ao público. A preferência por essa tinta, em relação às demais tintas acrílicas de relevo, ocorre porque além de propiciar um relevo agradável ao toque (segundo usuários que frequentam o CAP Florianópolis), devido ao seu aspecto emborrachado (após processo de expansão), diminui sua aderência às folhas de papel subsequentes quando encadernadas ou empilhadas (COLPES, 2014). Pelas razões expostas, definiu-se assim, a tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor - *tinta puff*, como o material deste processo de impressão.

Outras delimitações podem ser destacadas, como:

- Destina-se também a instituições regulares ou especializadas da Educação Básica ou Profissional e Centros de Apoio Pedagógico;
- Tendo como referência o trabalho realizado pela autora deste projeto em 2014, será utilizada como forma de se obter o relevo necessário, tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor, comercialmente e popularmente conhecida como *tinta puff*,

⁶ Gráficos que transformam informação numérica em informação visual, será melhor explicado na Fundamentação Teórica.

⁷ Entende-se que não há um limite de idade para o acesso à educação e que podem ocorrer situações que fujam essa faixa etária, trata-se apenas de uma margem para delimitação com base no que se costuma observar do público que se matricula nessas etapas do Ensino Básico e Profissional.

⁸ Valor de referência conforme lojas de produtos artesanais e papelarias situadas na cidade de Porto Alegre - RS (Mundo do Artesanato, Linna Festas e Casa do Papel).

- Conforme as adaptações de gráficos exemplificadas nas Figuras 4 e 5 (p. 30 e 31), o foco é a obtenção de desenhos que sejam compostos de contornos, não necessitando para isso que diferentes texturas sejam exploradas;
- Não havendo qualquer diretriz para relevos com esta finalidade, será utilizado como referência para tal a NBR 9050, que possui especificações para o relevo de pontos Braille - como altura do relevo entre 0,6 e 0,8 mm (NBR 9050, 2020).

É importante advertir que a utilização desse método de impressão poderá compreender aplicações não previstas neste projeto (produção de ilustrações que compreendam outras áreas de conhecimento, a utilização de outras tintas em relevo ou até mesmo atingir potenciais usuários que não possuam DV).

Os testes para validação dos resultados de impressão obtidos serão realizados com ferramentas disponíveis no Laboratório de Mecatrônica e Controle (LAMECC), do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Como viabilizar a automatização do processo de impressão de gráficos relacionais em relevo, visando contribuir para a qualidade dos gráficos, em termos de precisão e uniformidade do traço, contribuindo para reduzir o tempo de confecção e entrega dos mesmos aos alunos?

1.4 HIPÓTESE

O processo de impressão de gráficos relacionais em alto-relevo pode se beneficiar de um sistema automatizado de injeção de tintas relevo (tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor) para fins de reduzir o tempo de confecção de materiais didáticos táteis e conferir um padrão ao traço dos desenhos.

1.5 OBJETIVOS

Serão apresentados a seguir o objetivo deste trabalho, seguido de seus objetivos específicos.

1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o cabeçote de uma impressora, que favoreça a produção de forma automatizada de gráficos relacionais em alto-relevo para pessoas com deficiência visual severa, a fim de agilizar a produção/adaptação dos materiais didáticos destinados a este público.

1.5.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos, essenciais para a realização deste trabalho são:

- Entender a atual situação do ensino de gráficos relacionais para alunos com deficiência visual severa a fim de compreender as dificuldades encontradas para tal;
- Compreender métodos, materiais didáticos, equipamentos ou recursos de tecnologia assistiva utilizados por alunos com deficiência visual severa e seus professores no processo de ensino-aprendizagem para identificar pontos positivos a serem levados em consideração no projeto;
- Compreender como se dá o processo de desenho de gráficos relacionais em relevo em materiais didáticos adaptados para cegos;
- Desenvolver protótipo de cabeçote de impressão para utilização com tinta acrílica de propriedades expansivas ao calor (tinta *puff*);
- Avaliar o protótipo desenvolvido para a identificação de melhorias.

1.6 JUSTIFICATIVA

É oportuno ressaltar o interesse da autora sobre esta temática, sendo a TA uma área na qual desenvolve pesquisas desde o período de sua graduação no curso de Desenho Industrial – Habilitação em Projeto de Produto na Universidade Federal de Campina Grande - PB. Esta pesquisa em particular, dá continuidade ao seu projeto de Dissertação de Mestrado Acadêmico (COLPES, 2014), desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, onde desenvolveu um protótipo de impressora de gráficos em alto-relevo com utilização de descarte tecnológico. Por essa razão, partiu com algumas delimitações pré-estabelecidas.

A partir de programas governamentais que trabalham para difundir, cada vez mais, a inclusão de pessoas com deficiência em escolas regulares de ensino, deparou-se com a realidade da inclusão do aluno cego ou com baixa visão no Brasil, caracterizada por uma implementação necessária, porém, prematura. Ainda carente de estratégias para adequação

de estrutura nas escolas, fornecimento de tecnologias e materiais didáticos adequados em tempo hábil e capacitação profissional do quadro docente para o recebimento apropriado deste público.

Para se ter uma ideia da real situação da deficiência visual no Brasil, tomou-se como base o que foi exposto na contextualização deste trabalho. Tendo o conhecimento de que a cada ano ocorram cerca de 500 mil novos casos de cegueira infantil no mundo e de que no Brasil, dentre os tipos de deficiência a DV é a que incide em maior proporção, acometendo 18,6% da população brasileira. O que representa 6 milhões de pessoas com baixa visão e 500 mil cegos concentrados entre as classes de menor renda. Sabendo também que apenas 5% das crianças com deficiência que se matriculam nas escolas brasileiras chegam ao Ensino Médio. E que o alto índice desta evasão escolar está, em grande parte, associado à falta de materiais didáticos adequados. Torna-se precatório que medidas sejam adotadas afim de facilitar e melhorar o aprendizado de pessoas com deficiência visual severa ou total, com a intenção de oferecer-lhes igual oportunidade de acesso ao conhecimento que os demais (alunos videntes), no intuito de diminuir a ocorrência de falta de estímulo e evasão, decorrentes de suas limitações e dificuldades pré-existentes.

Desta forma, é esperado que alternativas de materiais educacionais que estimulem de diferentes formas o aluno cego sejam pensadas e confeccionadas. É com essa finalidade a tentativa dos centros de apoio, pedagogos e profissionais de Educação Especial em elaborar e adaptar materiais didáticos para serem utilizados na educação de cegos. No entanto, muitas vezes os recursos de que estes profissionais dispõem ainda não são satisfatórios. A prática das adaptações manuais com materiais artesanais, além de exigir habilidade e criatividade especial dos profissionais que a realizam, resulta em desenhos sem padrão, sem uniformidade e demandam maior tempo de confecção, razão pela qual muitos desses materiais chegam tardiamente às mãos do aluno cego ou com baixa visão.

De acordo com o Programa Incluir (UFRGS, 2018), disciplinas como Biologia, Geografia e Matemática que apresentam um significativo número de imagens em seus conteúdos, são disciplinas em que os DV apresentam maior dificuldade no aprendizado, pois os recursos didáticos táteis para representar tais figuras são escassos. Uma alternativa a este problema está na utilização do Design em conjunto com a Tecnologia Assistiva (TA), estas duas áreas juntas buscam minimizar as dificuldades que impedem as pessoas com deficiência de desempenharem suas atividades diárias. E no que tange a educação, têm por objetivo fornecer as condições necessárias ao aprendizado (BRENDLER *et al.*, 2014).

Assim, a presente proposta de pesquisa justifica-se pela necessidade de tornar os conteúdos das disciplinas mais acessíveis por meio da adaptação de materiais didáticos em relevo, favorecendo o aprendizado de pessoas com DV e contribuindo assim, para o processo de inclusão. Atuando mais especificamente na adaptação de gráficos relacionais das disciplinas de Matemática e Física que requerem um esforço maior do processo de imaginação desses indivíduos. O que confere a esta pesquisa um caráter de importância social.

Este trabalho visa otimizar este procedimento, conferindo uniformidade aos desenhos através do desenvolvimento de um cabeçote de extrusão que contribua para a impressão automatizada de gráficos em alto-relevo, favorecendo a redução no tempo de confecção dos mesmos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

O presente capítulo apresenta os principais conceitos e referenciais teóricos que tem a finalidade de contextualizar o conteúdo através do entendimento de como ocorre a aprendizagem de pessoas com DV, ou seja, pela explicação de seu processo de percepção e cognição e os materiais didáticos utilizados. Para fornecer embasamento teórico-científico a esta pesquisa buscou-se por normalizações e diretrizes em projetos para cegos, assim como, conhecimentos técnicos que possam contribuir para o desenvolvimento do cabeçote da impressora.

2.1 PSICOLOGIA DA PERCEPÇÃO E COGNIÇÃO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Enquanto a cognição é a forma, a maneira como a mente aprende, adquire conhecimento. A percepção, por sua vez, é o processo em que a mente cria uma experiência completa, permitindo receber, elaborar e interpretar a informação que chega do entorno através dos sentidos (SCHULTZ, Duane P.; SCHULTZ, Sydney Ellen, 2009).

Segundo Monteiro & Ferreira (2007), a percepção não se limita ao registro de uma informação sensorial, vai além, pois confere a atribuição de sentido conforme a visão de mundo, memórias e experiência de cada indivíduo. Assim, de acordo com que novas informações vão sendo adquiridas, a percepção pode ser alterada e é no cérebro que tudo ocorre, pois é nele que se processa toda informação que provém dos órgãos sensoriais. Pode-se com isso afirmar que a percepção é também um complexo processo cognitivo (MONTEIRO e FERREIRA, 2007).

Buscou-se trazer a contribuição de alguns teóricos da abordagem psicogenética e de uma perspectiva abrangente e dialética para compreender a particularidade da ausência da visão no processo de aquisição de conhecimentos. Para entender melhor como se dá esse processo cognitivo e perceptivo em pessoas com deficiência visual, faz-se necessário expor os pontos de vista de cognição propostos por autores muito abordados pela pedagogia e em estudos que envolvam a educação de cegos: Piaget - e sua relação sujeito-objeto - e Vygostky - e sua relação do sujeito as pessoas, relação social. Piaget foi um dos pioneiros a comparar a aprendizagem de crianças cegas e videntes, para ele as sensações e a motricidade são processos básicos do desenvolvimento cognitivo e embora não tenha efetuado estudos com indivíduos cegos propriamente ditos, seus trabalhos incentivaram muitos estudiosos a

pesquisar sobre crianças cegas (SILVA, 2015). E Vygotsky procurou entender essa forma de viver sem o sentido da visão, buscou a psicologia da cegueira (Ormelezi, 2000).

Tratam-se de perspectivas que se contrapõem, pois, a teoria da Epistemologia Genética de Piaget (1970) foca no desenvolvimento do convívio entre seres humanos e centra-se no conceito de estrutura cognitiva. Estruturas cognitivas são padrões de ação física ou mental que fundamentam atos específicos de inteligência correspondendo a estágios de desenvolvimento da criança. Piaget considerava características de sensações e motricidade como bases do desenvolvimento cognitivo. Por essa razão, mesmo nunca tendo trabalhado com crianças cegas, Piaget considerava a falta da visão como um limitador cognitivo, *chegando a afirmar que crianças cegas apresentavam atraso considerável na coordenação do espaço e das ações, assim como no desenvolvimento de representações mentais*. Também destacava como indicadores desse atraso a pobreza da imitação motora e a falta de interesse pelo ambiente externo (que seria estimulado pela visão) (PIAGET, 1970).

A teoria de Vygotsky considera que a interação social desempenha um papel fundamental no desenvolvimento cognitivo. Vygotsky (1993) procurou compreender a psicologia da cegueira. Para ele, cegueira não é meramente a ausência da visão, pois, causa uma total reestruturação de todo o organismo e de toda a personalidade, mudando tendências normais e refazendo organicamente a mente do indivíduo. Portanto, cegueira não seria um defeito, uma falta, uma debilidade, mas **uma particularidade do ser**. O autor salientou que não está ao seu alcance ter domínio sobre a psicologia da cegueira, mas indicar que estudos que comparam cegos com videntes não contribuem para o avanço do conhecimento científico, pois, um nunca poderá simular a vivência do outro. Ressalta também que o cego deve ser estimulado a superar os sentimentos de inferioridade e a fortalecer sua autoestima. E para ampliar o entendimento sobre a cognição dos cegos, Vygotsky acrescenta que a cegueira, como uma desvantagem física, impulsiona processos compensatórios (VYGOTSKY, 1993).

Assim, ratifica-se a afirmação de que não há diferenças no processo cognitivo de aprendizagem entre cegos e videntes, mas sim diferentes formas de se apropriar do mesmo objeto. Enquanto a criança que enxerga faz uma leitura visual da imagem e interpreta de acordo com sua vivência, a criança cega deve fazer essa mesma leitura de forma tátil a fim de se obter os mesmos benefícios. A questão está na diferente organização sensorial de cegos e videntes. Por essa razão que Vygotsky (1996) afirma que a vivência da cegueira não se compara a do vidente de olhos "tapados". O cego congênito percebe o mundo de uma forma diferente e só obtém entendimento da cegueira enquanto deficiência por meio de suas interações sociais. Entende-se que devido à ausência da visão, há a imposição de caminhos

diferenciados, mas a capacidade de desenvolvimento do cego é notada de possibilidades e limitações como a de qualquer ser humano (NUNES & LOMÔNACO, 2010).

O psicólogo americano James Gibson (1962 *apud* SAEZ, 2010), considerado um dos mais importantes estudiosos do século XX no campo da percepção visual, propôs uma teoria psicofísica da percepção e uma nova divisão dos sistemas sensoriais. Gibson entende os sentidos como sistemas perceptivos, e não como canais de sensação, e os agrupa de acordo com sua necessidade e seu papel para a percepção do meio construído. Assim, segundo esta teoria a pessoa recebe informações através de seus sentidos. (SAEZ, 2010).

A teoria da Percepção Direta de Gibson sugere que a percepção é uma função direta do estímulo ao invés de sensações que são influenciadas pela cognição. Gibson (1977) propõe que o ambiente provê as informações necessárias à percepção. Para ele, a percepção é uma consequência direta das propriedades do meio. Assim, um ambiente ou objeto é percebido através dos estímulos sensoriais por ele emitidos somados a todas as outras determinações da percepção, como experiências passadas e motivações (GIBSON, 1977).

Psicólogos e filósofos há muito questionam se podemos obter informações equivalentes através dos sentidos da visão e do tato, segundo Gibson (1966 *apud* HELER & BALLESTROS, 2006) a resposta é afirmativa. No entanto, a informação visual é processada muito mais rapidamente do que a informação háptica que é feita de forma fragmentada e sequencial para a composição mental do todo (HELER & BALLESTROS, 2006).

As imagens táteis são extremamente úteis para a avaliação do funcionamento perceptual e raciocínio espacial de pessoas com deficiência visual. E embora útil, a experiência visual não é necessária na percepção de padrões 2-D (HELER & BALLESTROS, 2006).

Entendendo-se que a falta da visão não implica uma limitação cognitiva, como teria sugerido Piaget, e que esta característica se torna apenas uma "particularidade do ser", como disse Vygotsky. Utilizou-se como norteadoras neste trabalho as perspectivas de Gibson e Vygotsky, em virtude da divisão sugerida ser totalmente relacionada à percepção do meio construído através dos sentidos operantes e da busca por outras ou melhores formas de estímulo. Encarando a pessoa cega tal qual o é, evitando compará-la ou tomar como parâmetro o vidente e **buscando por alternativas que lhe permitam condições semelhantes de adquirir conhecimento, aprendizado.**

2.2 EDUCAÇÃO PARA PESSOAS COM DV

Masini diz que se alguém almeja realizar qualquer tarefa que favoreça a educação de pessoas com deficiência visual, a primeira coisa a ser feita é:

[...] saber sobre ele, sua experiência de vida e sobre sua percepção, pois é só a partir do seu próprio significado – do que sente e compreende – que ela poderá organizar as informações sobre o mundo que o cerca e agir nas situações; ao longo de seu desenvolvimento corporal, afetivo/social e cognitivo (MASINI, 2014, Kindle Edition, Location 155).

Dessa forma, deve-se procurar entender sobre sua experiência perceptiva. É preciso compreender que a pessoa com DV possui a capacidade de assimilar e organizar dados como qualquer outra pessoa, porém, ele tem uma dialética diferente, cuja particularidade é a de relacionar-se aos sentidos remanescentes (MASINI, 2014; VYGOTSKY, 1983).

Tendo o corpo como fonte de sentidos, pais e educadores devem estimular continuamente as crianças a identificarem as diferenças, utilizando-se de todos os seus sentidos para explorar objetos e espaços. Crecmbec (1978), diz que a criança não deve sentir sua liberdade de movimento limitada pela ausência de visão (CRECMBEC, 1978 *apud* MASINI, 2014).

Em uma pesquisa sobre a inclusão do aluno com DV, financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, com um contingente de 12 alunos com DV, 75% destacaram que o que mais dificultava o processo de inclusão era a falta de disponibilidade dos professores para ouvir as necessidades dos alunos e dispor-se a se adaptar a elas, procurando recursos e outras técnicas para ensiná-los. Característica que denota a falta de preparo pedagógico, técnico e psíquico desses profissionais. 25% dos alunos (3/12) reconheceram que os professores faziam menos cobrança a eles que aos demais em relação às atividades desenvolvidas em sala de aula, subjugando sua capacidade intelectual (MASINI, 2001-2004). Observa-se aí o papel significativo do educador no desenvolvimento das habilidades dessas crianças, libertando-se de pensamentos restritivos sobre a deficiência.

Para Masini (2014, Kindle Edition, Location 316), são necessárias três características primordiais ao educador da criança com DV, que ela chama de "engenho, paciência e energia", conforme Quadro 2 (BRASIL, 2001, v.2, p. 27-32).

Quadro 2. Características primordiais ao educador da criança cega.

Engenho	Seria a capacidade criativa do professor, na busca por ferramentas, materiais e métodos de estimular, incentivar, orientar, oferecer oportunidades e conduzir o aluno ao aprendizado e autonomia.
Paciência	A paciência está relacionada à observação, compreensão e aceitação do "tempo", do ritmo do aluno com DV, sem pressioná-lo para que desenvolva suas atividades rapidamente.
Energia	A energia está ligada à persistência, pois, é preciso constantemente renovar-se em engenho e paciência para motivar o aluno e insistir para que desenvolva suas tarefas. Trata-se de características similares às que o próprio Ministério da Educação considera importantes ao professor dessas crianças.

Fonte: Adaptado de MASINI, 2014.

O estímulo ao desenvolvimento da percepção tátil ativa, ou percepção háptica, que consiste em explorar objetos e ambientes com o movimento das mãos, deve ser trabalhado na criança desde suas fases iniciais, pois, possui função importante na formação do manuseio fino que favorecerá mais tarde a leitura Braille (MASINI, 2014).

Ochaita e Rosa (1995), destacam o sistema háptico como o sistema sensorial mais importante para a aquisição de informações pela pessoa cega. No entanto, é preciso compreender a diferença entre tato passivo e tato ativo. No tato passivo, a informação tátil é recebida de forma involuntária, envolvendo os receptores da pele e tecidos subjacentes. Por sua vez, no tato ativo a informação é alcançada de forma intencional explorando elementos articulatorios, motores e de equilíbrio (englobando receptores de músculos e tendões) com o objetivo de detectar características relacionadas a tamanho, forma, textura e temperatura, favorecendo a concepção de relações espaciais.

Sabe-se ainda, que existem diferentes formas de se explorar o sistema háptico e seus subsistemas: toque, temperatura, umidade e cinestesia. Principalmente com a utilização de materiais variados que permitam trabalhar com diferentes texturas, dureza, condutividade térmica e resistência (NEVES, 2011) - o que não ocorre neste projeto, pois, trabalhando com linhas e contornos não se faz necessário a aplicação de texturas diversas.

Também é importante lembrar que na exploração pelo tato, o espaço deve ser considerado como totalidade. Mas, no momento da análise, este deve ser dividido em partes a serem assimiladas para uma posterior reconstituição do todo e um maior entendimento. Ou seja, deve-se ter uma maior preocupação com esse espaço, pois, objetos e ilustrações táteis extensas dificultam a compreensão. Bem como, elementos com excessos de detalhes ou

extremamente reduzidos. Assim, a priorização por formas simplificadas, limpas e medianas é recomendada (ANJOS *et al.*, 2010).

Elementos estreitos e um maior espaçamento entre os caracteres proporcionam um melhor entendimento das protuberâncias, o que confere uma maior facilidade de interpretação das informações táteis (KATZ 1989 *apud* PEREIRA *et al.*, 2004). Profissionais do Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual de Florianópolis relatam que através da experiência profissional foi possível constatar que quanto maior a variedade de texturas e o nível de detalhamento de uma gravura, maior o grau de complexidade e dificuldade de sua leitura ou entendimento (COLPES, 2014). Essas são características importantes de serem levadas em conta na hora de se adaptar gráficos para alunos cegos.

Nas disciplinas de Física e Matemática, são utilizados como recursos para auxiliar na educação de pessoas com DV, softwares leitores de tela (recurso auditivo) e para a exploração tátil materiais como o soroban⁹, Geoplano, Multiplano, impressões em Braille e Thermoform, além de adaptações confeccionadas manualmente por profissionais de educação especial (pedagogos, professores, etc). Alguns destes recursos - os que não foram apresentados na Contextualização deste trabalho - serão apresentados a seguir:

Soroban: Referindo-se especificamente à matemática, o soroban ou ábaco (Figura 6) foi considerado recurso fundamental de ensino, com esse instrumento é possível realizar operações de adição, subtração, multiplicação, divisão, radiciação e potenciação com certa agilidade. Também se destaca por ser de baixo custo e de boa durabilidade. Porém, funções, estatística e trigonometria são exemplos de conteúdos matemáticos que não são passíveis de serem explicados com a utilização do soroban, principalmente porque não é possível a construção de gráficos ou a elaboração mental de imagens que simbolizem equações com esta ferramenta (VIEIRA & SILVA, 2007). Joaquim Lima de Moraes o adaptou em 1949, introduzindo uma borracha compressor para que os cegos, durante os cálculos, manipulassem as contas com mais autonomia e rapidez. Surgiu assim o soroban brasileiro adaptado (Figura 6) (PEIXOTO; SANTANA & CAZORLA, 2006).

⁹ Ábaco ou Soroban: tradicionalmente usados no Japão para auxiliar em cálculos matemáticos, foi adaptado no Brasil em 1949, para a utilização por alunos cegos (VIEIRA & SILVA, 2007).

Figura 6. Soroban brasileiro adaptado



Fonte: Peixoto, Santana e Cazorla, 2006, p. 22.

Geoplano: Foi desenvolvido por Caleb Gattegno, em 1961, como recurso didático destinado à construção de conceitos da geometria plana e ensino de frações (GATTEGNO, 1974). Segundo Machado (2004), é um recurso didático-pedagógico dinâmico que contribui para a solução de problemas geométricos e algébricos, facilitando o desenvolvimento das habilidades de exploração espacial, oferecendo aos cegos assim, um apoio para o caminho da abstração na aprendizagem (Figura 7). Mas, esse recurso não possibilita a obtenção de formas circulares ou curvas.

Figura 7. Utilização do Geoplano por criança cega



Fonte: Fotografia feita pela autora no Instituto Estadual de Educação de Florianópolis, 2013.

Multiplano: Trata-se de um aprimoramento do Geoplano, projetado pelo professor Rubens Ferronato (2002) para o ensino de matemática a um aluno cego do Ensino Superior e recebeu recomendação do Ministério da Educação (MEC) para a aplicação em toda a rede de ensino brasileira (Figura 8). Sua base pode ser circular ou retangular e dispõe de diversas peças móveis para utilização (hastes, parábola, reta, barras de estatística, pinos de superfície esférica e plana, elásticos, pinos identificados em Braille e bases de operações matemáticas).

Figura 8. Utilização do Multiplano



Fonte: Casa da Educação, 2013.

Thermoform: É uma termocopiadora (Figura 9) que se utiliza de alta temperatura e sistema de compressão a vácuo para deformar uma lâmina de termoplástico e transferir a ela as formas e texturas do molde original (FELIPE; FERREIRA & SILVA, 2014).

Figura 9. E-Z Form Brailon Duplicator



Fonte: American Thermoform, setembro 2018.

Cada um dos recursos apresentados anteriormente apresenta limitações e por isso, muitas adaptações manuais com tinta acrílica ou com a utilização da impressora Braille acabam sendo feitas no que se refere aos gráficos das disciplinas em questão (Física e Matemática).

2.3 OS GRÁFICOS E SUA FUNÇÃO INSTRUCIONAL NA APRENDIZAGEM

Existem diversos tipos de gráficos, nem todos com a finalidade instrucional, referenciada neste trabalho. Segundo Clark e Lyons (2011), gráficos instrucionais são expressões icônicas de conteúdo, projetadas para otimizar o aprendizado e o desenvolvimento de forma a melhorar, de um modo geral, o desempenho dentro de instituições e empresas. As autoras mencionam as organizações, pois focam sua obra em conteúdos instrucionais que visam melhorar a atuação profissional. Assim, de um modo geral, pode-se dizer que gráficos instrucionais são elementos visuais criados com a finalidade de favorecer e facilitar o processo de aprendizagem por parte do usuário. No caso da utilização deste meio didático para a aprendizagem de pessoas com deficiência visual, são empregados recursos de superfície tátil com a finalidade de obter-se uma leitura do gráfico no campo mental e imaginário do indivíduo, superando a barreira do visual.

No que se refere aos recursos visuais ou de superfície, os gráficos podem ser classificados em estáticos (ilustrações, fotografias, modelagens) ou dinâmicos (animações, vídeos, realidade virtual) (FILATRO, 2008). E podem ter grau alto ou baixo de correspondência com coisas reais. Assim, uma fotografia é uma representação estática altamente realista, enquanto uma animação é um visual dinâmico que pode ser realista ou abstrato (CLARK & LYONS, 2011, tradução própria). O Quadro 3 a seguir traz essa classificação dos recursos de superfície para gráficos, ou seja, as opções apresentadas para a sua aparência e recursos para criação dos mesmos:

Quadro 3. Recursos de superfície para gráficos

Tipos	Recurso utilizado	Definição
Arte estática	Ilustração	Representação de elementos visuais, usando vários meios e técnicas, como caneta e tinta, aquarela e desenho em computador.
	Fotografia	Imagem capturada, utilizando tecnologias fotográficas ou digitais.
	Modelado	Gerado por computador (GC) - Uma reprodução fiel da realidade, usando várias mídias, incluiu pacotes de desenhos assistidos por computador.
Arte Dinâmica	Animação	Série de imagens que simulam o movimento.
	Vídeo	Séries de imagens, capturadas à medida que ocorrem, digitalmente ou em filme ou fita magnética, exibidas em série, ao longo do tempo.
	Realidade Virtual	Mundo tridimensional interativo que muda dinamicamente à medida que o "usuário" se movimenta e o visualiza.

Fonte: Clark e Lyons, 2011, tradução própria.

Para fins de aprendizado, as **características funcionais ou função comunicacional**, que articulam como a ilustração comunica informações ou como facilita os processos de aprendizagem psicológica são tão importantes quanto suas características de superfície. De acordo com essa função comunicacional, Filatro (2008) classifica os gráficos em decorativos, representacionais, organizacionais, **relacionais**, transformacionais e interpretativos, conforme o Quadro 4.

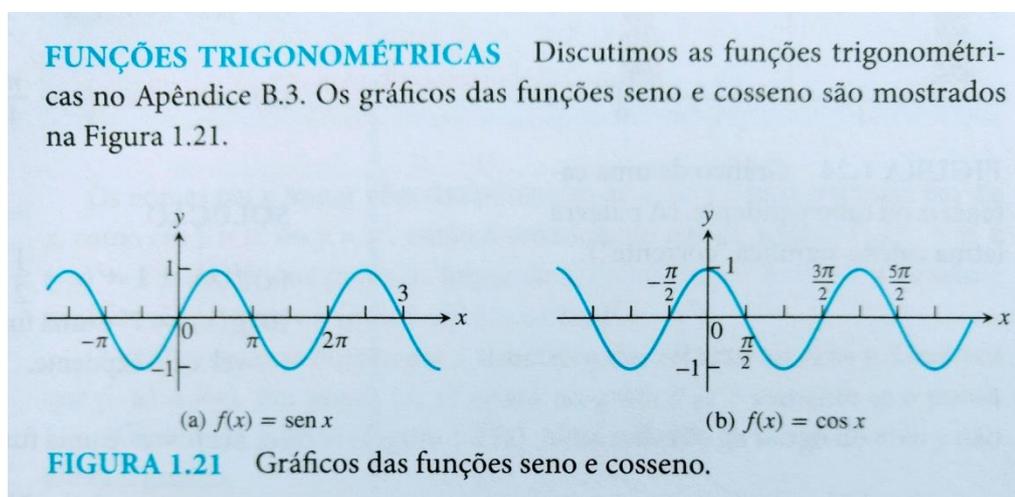
Quadro 4: Classificação dos gráficos conforme função comunicacional

Decorativos	Geralmente utilizados em abertura de capítulos, unidades de estudo ou na apresentação de conceitos, motivam apelando para a estética ou humor. E por isso, não possuem uma finalidade instrucional específica, nem necessariamente uma conexão direta entre texto e imagem. Sua função é tornar a leitura menos cansativa.
Representacionais	Servem como referencial concreto para tornar uma informação verbal mais significativa e de fácil compreensão. Representam pessoas, objetos ou eventos de modo realista (fotografia e ilustração).
Organizacionais	Apresentam relações qualitativas entre fatos, conceitos e princípios. Orientam o indivíduo em uma estrutura ou sequência a ser seguida (passo a passo), por isso são geralmente utilizados em manuais e textos de instrução direta.
Relacionais	Transformam informação numérica em informação visual, mostrando relações quantitativas entre duas ou mais variáveis.
transformacionais	Mostram mudanças em procedimentos, processos ou princípios ao longo do tempo ou espaço. Geralmente combinados com ilustrações.
interpretativos	Permitem o entendimento de conceitos, processos ou princípios abstratos.

Fonte: FILATRO, Design Instrucional na Prática, 2008.

A Figura 10, traz ao entendimento de forma visual o que são os gráficos relacionais, pois, trata-se de um exemplo retirado de um livro didático de Matemática onde informações numéricas são colocadas em gráficos.

Figura 10. Gráfico de funções trigonométricas - Exemplo de gráfico relacional



Fonte: Weir; Hass; Giordano, 2009, p.13.

Para promover o design e o planejamento de gráficos que trabalham com processos humanos de aprendizagem, Clark e Lyons (2011) descrevem uma terceira maneira de catalogar ilustrações, feita com base nos processos de aprendizagem. Esse sistema de classificação com base na **função psicológica**, organiza os gráficos de acordo com seis eventos psicológicos de aprendizagem, que tem sua taxonomia apresentada no Quadro 5.

Quadro 5. Função psicológica dos gráficos

Função	Descrição
Apoiar a atenção	Destacam elementos importantes em uma exibição instrucional e minimizam a fragmentação da atenção.
Ativar ou construir conhecimento prévio	Envolvem modelos mentais existentes ou fornecem modelos de alto nível para a aquisição de novos conteúdos.
Minimizar a carga cognitiva	Minimizam a carga cognitiva imposta à memória de trabalho pelo material durante o aprendizado.
Construir modelos mentais	Ajudam os alunos a construir novas memórias, contribui para a memória de longa duração.
Apoiar a transferência de aprendizagem	Incorporam os principais recursos do ambiente de trabalho; gráficos que promovem uma compreensão mais profunda do conteúdo.
Apoiar a motivação	Compõem o material para torná-lo interessante, sem prejudicar o aprendizado.

Fonte: Clark e Lyons, 2011, tradução própria.

Assim, a eficácia na utilização de gráficos para aprendizagem dependerá de uma correspondência entre vários fatores, como: recursos de superfície, funções de comunicação, funções psicológicas, seu objetivo de aprendizado e as diferenças individuais entre os alunos que devem ser consideradas na preparação dos materiais didáticos e na escolha por determinado recurso (CLARK & LYONS, 2011, tradução própria).

2.3.1 Tipo de gráfico mais utilizado para fins didáticos

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) estão divididos por disciplina e por ciclos. Na disciplina de Matemática há uma divisão em quatro grandes blocos (Números e Operações, Espaço e Formas, Grandezas e Medidas, Tratamento da Informação). Os conceitos referentes ao estudo de gráficos e tabelas fazem parte do bloco Tratamento da Informação e constituem parte importante do currículo de Matemática (ARAÚJO, 2008).

O PCN justifica que este tema é destacado como um bloco de conteúdo com base na demanda social e embora pudesse ser incorporado aos anteriores, a finalidade de tal

destaque é evidenciar sua importância, em função de seu uso atual na sociedade (BRASIL 1997 p. 56).

Atualmente nossa sociedade se utiliza do meio de representação gráfica ou tabular para apresentar dados, pesquisas e outras informações nos meios de comunicação. E para que a leitura e interpretação dessas informações ocorram de forma correta pelo cidadão, e que este não seja logrado, a escola tem um grande papel neste quadro e deve começar o ensino dos gráficos e tabelas ainda no início da escolaridade (ARAUJO, 2008). Lemos (2006) relata o favoritismo na utilização de gráficos de barras e colunas pelos meios de comunicação (revistas, livros e jornais), bem como pelos livros didáticos de Matemática indicados pelo MEC.

Com base no que foi explicado, o processo de impressão desta pesquisa destina-se à elaboração de gráficos de conteúdo instrucional, educativo para as disciplinas de Física e Matemática, são gráficos estáticos, relacionais em alto-relevo. O objetivo é que o cabeçote de impressão seja capaz de reproduzir qualquer tipo de desenho baseado em linhas, contornos. No entanto, para fins de validação em sua fase experimental, serão impressos 3 gráficos diferentes (barras, linhas e função trigonométrica, este último devido a maior presença de linhas curvas).

2.4 TECNOLOGIA ASSISTIVA

Entende-se por Tecnologia Assistiva (TA) todo e qualquer recurso ou serviço que contribua para potencializar as habilidades funcionais de pessoas com deficiência, favorecendo assim uma melhor autonomia e qualidade de vida para essas pessoas (BERSH, 2009).

De acordo com o Comitê de Ajudas Técnicas - CAT:

"Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social" (BRASIL - SDHPR. – Comitê de Ajudas Técnicas – ATA VII, 2007).

Na área da educação, ela se apresenta como serviços e recursos que têm por objetivo construir condições necessárias ao aprendizado de alunos com deficiência, ampliando sua participação nos processos de aprendizagem (BERSH, 2009).

Esses recursos são itens, equipamentos ou produtos, fabricados em série ou sob medida para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais de PCDs, podendo variar de uma simples bengala a um complexo sistema computadorizado.

Por sua vez, os serviços são aqueles que auxiliam diretamente na seleção, compra ou utilização dos recursos citados, são em geral transdisciplinares e envolvem profissionais de diversas áreas (NOWILL, 2015).

Na escola, esse serviço tem o objetivo propositivo, ou seja, orientar a utilização de recursos e práticas que aumentem as habilidades dos alunos com deficiência, favorecendo sua participação ativa nos desafios educacionais e conseqüentemente, sua inclusão (BERSH, 2009).

Os recursos de tecnologia assistiva são organizados ou classificados de acordo com seus objetivos funcionais. Tonoli e Bersh (1998, *apud* BERSH, 2013) elencaram uma classificação didática para os recursos de TA que, posteriormente, viria a ser adotada pela Secretaria Nacional de Direitos Humanos da Presidência da República na publicação da Portaria Interministerial Nº 362, de 24 de Outubro de 2012 que trata sobre a linha de crédito subsidiado para aquisição de bens e serviços de Tecnologia Assistiva (BERSH, 2013). Tal classificação apresenta-se conforme Quadro 6.

Quadro 6. Classificação dos recursos de Tecnologia Assistiva.

(continua)

Auxílios para a vida diária e vida prática	Materiais e produtos que favorecem desempenho autônomo e independente em tarefas rotineiras.
Comunicação Aumentativa e Alternativa - CAA	Destinada a atender pessoas sem fala ou escrita funcional ou em defasagem entre sua necessidade comunicativa e sua habilidade em falar e/ou escrever. Recursos como as pranchas de comunicação, construídas com simbologia gráfica.
Recursos de acessibilidade ao computador	Conjunto de hardware e software especialmente idealizado para tornar o computador acessível a pessoas com privações sensoriais (visuais e auditivas), intelectuais e motoras. Inclui dispositivos de entrada (mouses, teclados e acionadores diferenciados) e dispositivos de saída (sons, imagens, informações táteis).
Sistemas de controle de ambiente	Através de um controle remoto as pessoas com limitações motoras, podem ligar, desligar e ajustar aparelhos eletroeletrônicos como a luz, o som, televisores, ventiladores, executar a abertura e fechamento de portas e janelas, receber e fazer chamadas telefônicas, acionar sistemas de segurança, entre outros, localizados em seu quarto, sala, escritório, casa e arredores.
Projetos arquitetônicos para acessibilidade	Projetos de edificação e urbanismo que garantem acesso, funcionalidade e mobilidade a todas as pessoas, independentemente de sua condição física e sensorial.

Quadro 6. Classificação dos recursos de Tecnologia Assistiva.

(conclusão)

Órteses e próteses	Próteses são peças artificiais que substituem partes ausentes do corpo. Órteses são colocadas junto a um segmento corpo, garantindo-lhe um melhor posicionamento, estabilização e/ou função.
Adequação Postural	Um projeto de adequação postural diz respeito à seleção de recursos que garantam posturas alinhadas, estáveis, confortáveis e com boa distribuição do peso corporal.
Auxílios de mobilidade	A mobilidade pode ser auxiliada por bengalas, muletas, andadores, carrinhos, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, scooters e qualquer outro veículo, equipamento ou estratégia utilizada na melhoria da mobilidade pessoal.
Auxílios para qualificação da habilidade visual e recursos que ampliam a informação a pessoas com baixa visão ou cegas	São exemplos: Auxílios ópticos, lentes, lupas manuais e lupas eletrônicas; os softwares ampliadores de tela. Material gráfico com texturas e relevos, mapas e gráficos táteis , software OCR em celulares para identificação de texto informativo, etc.
Auxílios para pessoas com surdez ou com déficit auditivo	Auxílios que incluem vários equipamentos (infravermelho, FM), aparelhos para surdez, telefones com teclado-teletipo (TTY), sistemas com alerta tátil-visual, celular com mensagens escritas e chamadas por vibração, software que favorece a comunicação ao telefone celular transformando em voz o texto digitado no celular e em texto a mensagem falada. Livros, textos e dicionários digitais em língua de sinais. Sistema de legendas (close-caption/subtitles).
Mobilidade em veículos	Acessórios que possibilitam uma pessoa com deficiência física dirigir um automóvel, facilitadores de embarque e desembarque como elevadores para cadeiras de rodas (utilizados nos carros particulares ou de transporte coletivo), rampas para cadeiras de rodas, serviços de autoescola para pessoas com deficiência.
Esporte e Lazer	Recursos que favorecem a prática de esporte e participação em atividades de lazer.

Fonte: BERSH, 2013

Percebe-se em destaque no Quadro 6, que materiais táteis, gráficos com texturas e relevos encontram-se entre os recursos passíveis de subsídio de crédito para aquisição. O que confirma que o produto aqui proposto configura uma TA, como também ratifica a necessidade de materiais com tais características, favorecendo para uma maior expectativa de mercado.

2.4.1 Produção de Materiais Didáticos

Também conhecidos como “recursos didáticos” ou “tecnologias educacionais”, os materiais e equipamentos didáticos são todo e qualquer recurso utilizado em um procedimento de ensino, visando à estimulação do aluno com o objetivo de facilitar, simplificar e incentivar

o processo ensino-aprendizagem (FREITAS, 2007). Há autores como Graells (2000) que defendem que "recursos didáticos" são todos os meios criados, produzidos e aplicados na ação educativa com o objetivo de facilitar o processo cognitivo e "materiais didáticos" são todos os materiais manipuláveis que tenham este mesmo fim. Assim, todo material didático compreenderia um recurso didático, mas, nem todo recurso didático seria um material didático (GRAELLS, 2000 *apud* BOTAS & MOREIRA, 2013). Dada a semelhança de significado destas terminologias, adotar-se-a o conceito de Freitas (2007), mais abrangente.

De um modo geral, os materiais didáticos devem seguir orientações da legislação educacional para a sua produção. Neste contexto, é a Política Nacional de Educação Especial que declara a preocupação em se dar prioridade à ações que garantam às pessoas com deficiência acessibilidade em todos os sentidos, seja nos espaços físicos e mobiliários da escola, nos sistemas de informação, no transporte escolar, como também nos materiais didáticos e pedagógicos (BRASIL, 2007 *apud* MEIRA *et al*, 2008).

O Instituto Benjamin Constant (IBC, 2015) destaca que provavelmente os recursos didáticos assumam maior importância na educação especial de pessoas com deficiência visual do que em qualquer outra forma de educação, levando-se em conta que neste caso:

- A carência de material adequado pode levar a aprendizagem a um mero verbalismo, desvinculado da realidade;
- Assim como a criança vidente, a criança cega necessita ser motivada a aprender;
- A utilização de alguns recursos diferenciados pode suprir lacunas na aquisição de informações pela criança cega;
- O manuseio de diferentes materiais possibilita a exploração da percepção tátil, contribuindo para a realização de manejo fino (movimentos delicados com os dedos).

Obviamente o bom aproveitamento dos recursos didáticos estará condicionado a alguns fatores, como a capacidade e experiência prévia do aluno, as técnicas utilizadas e o tipo de adaptação ou confecção do material.

É comum na educação de cegos a utilização de recursos audiovisuais, digitais e softwares interativos. Entretanto, alunos com deficiência visual ainda apresentam inúmeras dificuldades, tanto para a assimilação de conteúdo, quanto na utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), o que pode acarretar em redução de interesse e motivação pelos estudos (RIFFEL, 2009).

Quadro 7. Recursos de comunicação X público alvo.

<p style="text-align: center;">Recursos de comunicação x público alvo</p>	Surdocegos com Braille	Surdocegos sem Braille	Surdocego com visão residual	Surdocego com audição residual	Cegos com Braille	Cegos sem Braille	Baixa visão	Visão residual	Baixa audição	Surdos oralizados	Surdos sinalizadores	Ensurdecidos	Com domínio do português	Sem domínio do português	Pessoas em geral
<p>Mapas táteis: com linhas, pontos e texturas em relevo, informa, orienta e localiza objetos e lugares. Utilizado para orientação, mobilidade e também como recurso didático.</p>	+	+	+	+	+	+	+	+							
<p>Maquetes: réplicas ou peças em escala reduzida utilizadas para informar sobre ambientes, detalhes construtivos ou obras expostas em museus.</p>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+
<p>Pictogramas em relevo: possibilitam simultaneamente informação visual e tátil.</p>	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+
<p>Informações táteis: textos, imagem, gráficos, tabelas e pictogramas em relevo ou texturas diferenciadas, permitem a percepção tátil da informação.</p>	+	+	+	+	+	+	+	+							

Fonte: PRADO, LOPES e ORNSTEIN (2010)

Na utilização dos princípios do Design Universal, a tecnologia atua como ferramenta para romper as limitações físicas ou sensoriais individuais e as barreiras de comunicação que decorrem da variedade de linguagens ou domínio de determinado idioma. O Quadro 7 apresenta alguns materiais táteis e o público ao qual se destina (PRADO, LOPES e ORNSTEIN, 2010).

Nesse quadro, é possível perceber o quanto o material tátil é utilizado não apenas por pessoas com DV, como também por pessoas com outros tipos de deficiência ou até mesmo sem nenhuma delas, configurando uma linguagem de abordagem universal. Logicamente, no Quadro 3 o destaque é dado ao público que se enquadra como DV por ser o foco deste trabalho e evidenciar mais uma vez a importância da exploração tátil para estes.

2.4.2 Tecnologia Assistiva utilizada na adaptação de materiais didáticos para a educação de pessoas com Deficiência Visual

Tomar conhecimento dos produtos de TA - utilizados na adaptação de materiais didáticos para cegos - existentes no mercado brasileiro, ou que estejam ao alcance das instituições de apoio, e entender sua aplicação torna-se fundamental para definir as diretrizes norteadoras deste projeto.

É evidente que dentre todos os métodos de alfabetização de pessoas cegas, o sistema Braille consolidou-se como o meio universal de comunicação, escrita e leitura, sendo, até o momento, um dos métodos mais difundidos e eficazes de exploração do sistema háptico desses indivíduos (BRAGA, 2010). No entanto, nem todas as informações podem ser transmitidas com a utilização deste método, a exemplo das representações espaciais. Nesse caso, como mencionado anteriormente, se faz necessária a elaboração de modelos táteis como forma auxiliar de percepção deste espaço (OLIVEIRA *et al.* 2010).

Existem alguns recursos que podem ser utilizados na tentativa de se criar esses modelos táteis, tais como impressoras Braille, Thermoform, Fusoras, adaptações manuais, etc. Esses produtos já foram apresentados na Justificativa deste projeto (p. 36-38), a seguir, será levantada as potencialidades e as limitações dos produtos mais utilizados na adaptação de materiais didáticos para pessoas com deficiência visual.

- **Impressora Braille:**

Trata-se de um dos métodos mais utilizados, que em conjunto com o software livre “Braille Fácil” realiza a transcrição dos materiais para o Braille, sendo também utilizado para imprimir desenhos e gráficos com a utilização dos pontos em relevo (COLPES, 2014). Em 2019, essa ainda era a realidade observada.

A variedade existente no mercado é bastante ampla, a Figura 10 apresenta três tipos de impressora Braille, selecionadas para exemplificar diferenças em função e valor de comercialização.

Figura 11. Impressoras Braille. (a) *EmBraille Desktop Embosser*; (b) *Index Braille Basic D-V5*; (c) *Emprint Spotdot Fire*.



A *EmBraille Desktop Embosser*, gera pontos no papel conforme informação a ser impressa, trata-se de uma impressora Braille extremamente simples (Figura 11 'a'). A *Index Braille Basic D-V5*, modelo que tem sido bastante utilizado em escolas e centros de apoio, é uma opção mais compacta e leve, que além de permitir impressão frente e verso, apresenta o diferencial de controle por voz (Figura 11 'b'). Já a impressora *Emprint Spotdot Fire* possui uma gama maior de recursos, permitindo mais qualidade na impressão, o que se reflete em um valor aquisitivo bem maior em comparação com as demais, Figura 11 'c' (todos os modelos de impressora citados, encontram-se no Quadro 1, p. 32 e 33).

Observa-se também que mesmo a impressora mais simples possui valor elevado de investimento por parte do usuário, basta compararmos com o valor pelo qual uma impressora jato de tinta é comercializada (a partir de R\$ 228,99¹⁰ ~ USD \$ 43,89). Há também o fato de as impressoras Braille, assim como a maioria dos produtos de TA possuírem assistência técnica no exterior, dificultando processos de manutenção. Desta forma, tem-se um processo bastante difundido, porém, trabalhoso e de viabilidade dispendiosa (CAP SC *apud* COLPES, 2014).

¹⁰ Valor de comercialização de uma impressora jato de tinta (HP *Deskjet Ink Advantage* 2774), em magazineluiza.com.br acesso em março de 2023.

Aliado a isso, como mencionado anteriormente (Contextualização, p. 30), todas elas não apresentam resolução suficiente para realizar desenhos de círculos e diagonais perfeitas, ou seja, apresentam as limitações de obtenção de forma de um sistema ponto a ponto.

Limitações: Nem todo desenho pode ser simplificado e impresso por este sistema, pois, devido a uma questão de “resolução”, círculos perfeitos e retas em diagonal não podem ser reproduzidos por esta técnica. Esse material ainda sofre deformação com o tempo devido à pressão empregada pelos dedos do usuário.

- **Thermoform:**

Termocopiadora à vácuo que reproduz em filme de PVC as formas e texturas contidas no molde elaborado previamente (Figura 9, p. 46). Esta técnica de termoformagem já foi muito explorada na obtenção de materiais didáticos e livros para cegos e mesmo sendo apontada, tanto por profissionais de educação especial, como pelos próprios usuários, como uma solução não ideal, é ainda bastante utilizada (CAP SC *apud* COLPES, 2014).

Limitações: Maquinário importado de difícil acesso à assistência técnica e cujas lâminas de PVC são dispendiosas. Dedicção criteriosa no sistema à vácuo para se evitar desperdício de lâminas. Colpes (2014), menciona que alguns usuários do CAP Florianópolis relataram não se sentir confortável com sua utilização por acharem o material pouco atraente ao tato.

- **Zyfuse (Fusora)**

Máquina Fusora que possibilita a criação de mapas táteis, diagramas, textos e gráficos a partir de uma imagem impressa em papel especial ou desenhos feitos por marcador preto específico (Figura 12). O processo de aquecimento da Zyfuse, permite criação de imagens em cores criando relevo nas áreas pretas (CIVIAM, 2017).

Figura 12. Zyfuse Heater



Fonte: American Thermoform, março 2023.

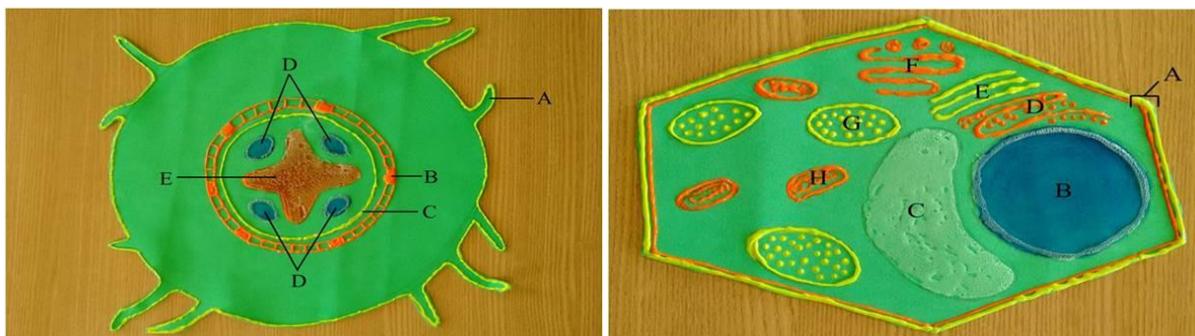
Limitações: Assim como o *Thermoform* e muitos outros produtos de TA, trata-se de um equipamento importado e portanto, de difícil acesso à manutenção. Seu papel especial custa USD \$1,55 a folha (American Thermoform, 2023). É necessária certa prática para manuseio, uma vez que se a folha for submetida ao processo de fusão por um tempo um pouco maior que o necessário, terá seu relevo alterado. Permite relevo apenas em linhas pretas.

▪ Trabalho manual com colagens e tintas sintéticas de relevo

Talvez o método de adaptação de materiais didáticos para cegos mais utilizado no Brasil após a impressão Braille, onde os desenhos são reproduzidos utilizando-se de materiais e técnicas artesanais.

Os materiais utilizados são previamente escolhidos com a participação de deficientes visuais, que definem o nível de exigência. Dada a escassez de materiais funcionais e adequados, são utilizados elementos alternativos para a confecção das matrizes como tecidos e papéis de diferentes espessura e texturas, fios, botões, palitos, telas, miçangas, tintas relevo, etc - Figura 13 (TREVISAN, 2012).

Figura 13. Adaptações manuais de gráficos em relevo.
(a) Modelo tátil de raiz em corte transversal; (b) Modelo tátil de célula vegetal.



Fonte: Andrade *et al.*, 2017.

Limitações: Por ser manual, não há uniformidade no traço, ou seja, não há padrão. Além das formas dependerem muito das habilidades artísticas de quem realiza a adaptação. Também demanda muito tempo, razão pela qual a maioria dos materiais chega com bastante atraso aos usuários, e nem tudo é possível de ser adequado. Algumas tintas acrílicas de relevo acabam por aderirem a outras folhas de papel mesmo após o tempo de secagem.

2.5 CONHECIMENTOS TÉCNICOS

Nesta seção, foram elencados alguns critérios e normas técnicas para produção de materiais didáticos para cegos, diferentes tipos de produtos existentes no mercado ou projetos conceituais, assim como, métodos utilizados para a adaptação destes materiais. Uma vez que não existem produtos que desempenhem a mesma função a que esta tese propõe, optou-se pela realização de uma pré-análise de similares elencando produtos que compartilhem ambições que se assemelhem em função, esta etapa foi apresentada anteriormente no item 2.4.2 (p. 55 - 58). Raciocínio semelhante foi utilizado na pré-análise realizada com sistemas funcionais de extrusão para utilização na resolução do sistema de injeção de tinta a fim de se identificar oportunidades para a geração de uma solução satisfatória ao projeto.

2.5.1 Projetando para Cegos

Conforme explanado anteriormente, para os deficientes visuais as informações espaciais apreendidas sofrem significativa redução. Por essa razão, uma atenção especial é necessária ao se projetar para este público, o que exige certa complexidade, análise espacial detalhada e sobretudo a participação ativa dos usuários ainda na fase de projeto (PRADO, LOPES e ORNSTEIN, 2010). Essa participação é destacada pelo Instituto Benjamin Constant (IBC) e pelo Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual (CAP) de Santa Catarina. Estes órgãos ainda apontam a utilização de materiais não perecíveis, de baixo custo e fácil obtenção (palitos de fósforos, contas, miçangas, chapas, barbantes, cartolinas, botões, entre outros materiais artesanais) na produção ou adaptação de materiais didáticos para cegos (IBC, 2016; SANTA CATARINA, 2011). Enfatizando a necessidade de se trabalhar com materiais não dispendiosos, mas, também, que todo o processo de adaptação desses materiais didáticos ocorre de forma manual e por isso mesmo, sem padrão (por mais que se siga uma cartilha de orientações).

O CAP SC (2007; 2011) também ressalta alguns critérios para a elaboração desses materiais, dentre as quais destacam-se:

- **Texturas:** A utilização de texturas simples (sem muitos detalhes) e diversificadas, ajuda a destacar partes específicas que compõem o todo da imagem. Contrastes do tipo: liso/áspero, fino/espesso, possibilitam uma melhor distinção. No entanto, o uso demasiado de texturas diversas pode provocar um ruído na interpretação, devendo ser evitado. Pois, quanto maior a variedade de texturas e o nível de

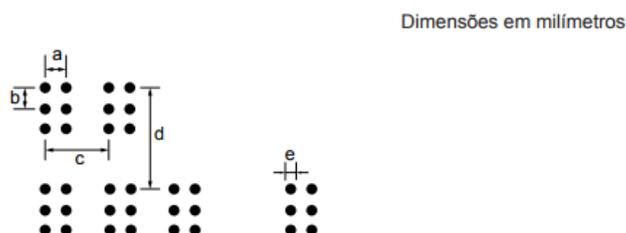
detalhamento de uma gravura, maior o grau de complexidade e dificuldade de sua leitura.

- **Material:** O material não deve agredir ou provocar rejeição ao manuseio, provocando reações de desagrado. Conforme relatos de usuários cegos, tal reação pode ser percebida no uso das lâminas de PVC cristal, cujo relevo é obtido no *Thermoform*. Os mesmos descrevem com desagrado a tentativa de replicar diferentes texturas com um mesmo material. É importante lembrar que os recursos didáticos devem ser confeccionados com materiais que não estraguem ou deformem com facilidade, considerando seu frequente manuseio por parte dos alunos.
- **Dimensões:** A figura adaptada em relevo deverá ter tamanho adequado, permitindo à pessoa cega percebê-la de forma globalizada. Pois, materiais demasiadamente pequenos não ressaltam detalhes ou perdem-se com facilidade. Por sua vez, o exagero no tamanho pode prejudicar a apreensão do todo (visão global).
- **Organização/disposição:** Informar o título a que se refere à figura. Quando houver a necessidade de explorar diferentes texturas, estas deverão estar acompanhadas de legendas explicativas, para uma melhor compreensão na leitura tátil. Recomenda-se ainda que a legenda do material em relevo seja apresentada anteriormente a figura, para que o aluno possa se localizar na disposição das texturas e informações.
- **Simplificação:** Figuras sobrepostas, ou ricas em detalhes devem ser desmembradas e se as figuras forem complexas, deverão ser eliminados os detalhes que não irão influenciar na compreensão das principais informações a serem passadas. Assim como, as imagens meramente ilustrativas devem ser eliminadas nos materiais adaptados.
- **Favorecer o uso de capacidades remanescentes:** Trabalhar com cores fortes e contrastantes para estimular a visão funcional do aluno.
- **Fidelidade na reprodução:** Sempre que possível os materiais adaptados devem ser fidedignos às informações do livro didático, salvo adaptações de organização ou simplificação de imagens para facilitar a absorção da informação.

Há ainda a normalização técnica no que tange a acessibilidade, para a transcrição e adaptação de materiais didáticos. Dentre as quais podemos destacar (MEC, 2006; NBR 9050, 2020):

- **Gramatura do papel:** de 90g a 180g, sendo mais comum a utilização de papel Offset 120g.
- **Contraste tátil:** Para textos e símbolos táteis, a altura do alto relevo deve estar entre 0,8 mm e 1,2 mm.
- **Letras e números visuais:** Recomenda-se a utilização das fontes tipográficas: arial, verdana, helvética, univers e folio. Devem ser utilizadas letras em caixa alta e baixa para sentenças, e letras em caixa alta para frases curtas, evitando a utilização de textos na vertical. A distância mínima entre caracteres deve obedecer a proporção de 1/5 da altura da letra (H).
- **Símbolos táteis:** Os desenhos dos símbolos devem atender às seguintes condições:
 - Contornos fortes e bem definidos;
 - Simplicidade nas formas e poucos detalhes;
 - Estabilidade da forma;
 - Altura dos símbolos: no mínimo 80 mm;
 - Altura do relevo: 0,6 mm a 1,20 mm;
 - Distância entre o símbolo e o texto: 8 mm;
 - Utilização de símbolos de padrão internacional.
- **Braille:** O ponto em Braille deve ter aresta arredondada na forma esférica. Arranjado conforme Figuras 14 e 15.

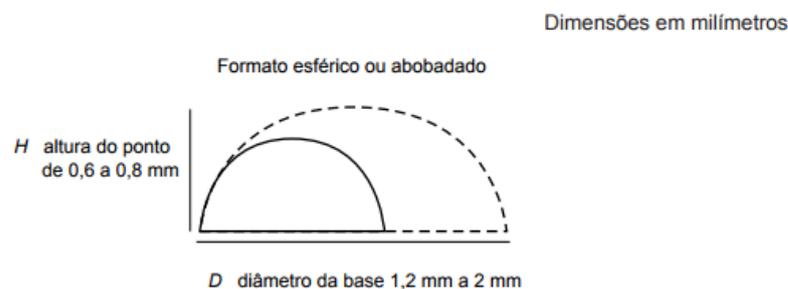
Figura 14. Arranjo geométrico dos pontos em Braille.



a	b	c	d	Diâmetro do ponto e = D	Altura do ponto H
2,7	2,7	6,6	10,8	de 1,2 a 2,0	de 0,6 a 0,8
* D significa diâmetro.					

Fonte: NBR 9050, 2020.

Figura 15. Formato relevo do ponto em Braille.



Fonte: NBR 9050, 2020.

Desta forma, conforme a Figura 14, o arranjo de seis pontos deve possuir um espaçamento entre colunas **a** e entre linhas **b** de 2,7 mm, **c** corresponde ao espaçamento horizontal entre as celas em Braille e deve ser de 6,6 mm, **d** é o espaçamento vertical entre as celas, cujo valor é de 10,8 mm. Por sua vez, **e** ou **D** correspondem ao diâmetro de base dos pontos que compõem a cela Braille, podendo variar de 1,2 a 2 mm conforme a altura **H** do ponto (Figura 15) (NBR 9050, 2020).

Com base nas diretrizes e normalizações citadas, pode-se afirmar que os elementos mais estreitos e espaçados, proporcionam um melhor entendimento, favorecendo a interpretação dos elementos táteis. Esses critérios revelam ainda a complexidade em todo o processo de confecção e adaptação dos materiais, permitindo entender a razão de ser algo para o qual se demanda muito tempo, atenção e pessoal. Uma noção disso está no fato de que para a obtenção de uma lâmina em *Thermoform* são necessárias dez etapas (passos) por ilustração adaptada, segundo o Guia Prático de Adaptação em Relevo do CAP SC (SANTA CATARINA, 2011).

2.5.2 Características da *tinta puff*

A palavra tinta designa uma variada gama de produtos de pintura, ou seja, produtos que quando aplicados numa superfície, formam uma película opaca que desempenha funções para diversos fins, desde decoração e proteção de superfícies até a impressão em indústrias gráficas. Uma tinta pode apresentar diferentes formas: líquida, pastosa ou em pó (BARROS, 2001 *apud* AMARO, 2007).

Comumente utilizada em serigrafia a *tinta puff* tem a água como solução base com a adição de um expansivo que é ativado pelo calor à temperatura de aproximadamente 140° C.

Possui em sua composição: resina acrílica emulsionada, pigmentos orgânicos, aditivos e cargas calcinadas (MEDITSCH, 2013).

Em uma linguagem mais técnica, pode-se dizer que o *puff* ou resina expandida, corresponde a um material semicarbonizado, que se apresenta macroscopicamente frágil e reticulado, assemelhando-se a uma espuma. Esse produto, formado por um conjunto de flocos de carbono amorfo, é originado pelo processo de pirólise da resina, ou seja, quando aquecida promove uma expansão considerável em volume devido à liberação de vapor de água, monóxido de carbono e dióxido de carbono (LIMA, p. 47, 2006).

Para gerar esta expansão na cura e produzir o efeito *puff* são utilizados aditivos, conhecidos na técnica como agentes de expansão, são tipicamente produtos químicos que quebram ao aquecimento para produzir subprodutos gasosos, como microesferas termoplásticas encapsuladas a gás (HALL; OWEN Pat. 2006).

- **Composição da tinta *puff*:**

Através do processo de Espectroscopia¹¹ no infravermelho, realizado em fevereiro de 2016, no Laboratório de Materiais Poliméricos (LaPol) da UFRGS, por solicitação da autora deste projeto para verificação da composição da *tinta puff* Acripuff da Acrilex, foi possível verificar sua composição básica. Essa tinta é facilmente encontrada no comércio de Porto Alegre com valores que variam de R\$ 3,00 a R\$ 5,00 para o tubo de 35 ml (Fonte: Casa do Papel e Mundo do Artesanato, 2019). O resultado obtido após a lavagem da tinta no LaPol pode ser conferido na Quadro 8. As informações sobre pH e densidade relativa foram obtidas diretamente com o fabricante (ACRILEX, 2019).

O ensaio de Espectroscopia infravermelha, como esperado, também confirmou que a resina é do tipo acrílica.

De acordo com Fazenda (2009), os componentes principais de uma polimerização por adição em emulsão são os monômeros (tais como: acetato de vinila, cloreto de vinila, ácido acrílico e seus ésteres - acrilatos -, ácido metacrílico e seus ésteres (metacrilatos), estireno, vinil-tolueno, anidrido maleico e seus ésteres, etc.) e o meio dispersante (geralmente água -

¹¹ A Espectroscopia é a principal classe de métodos analíticos instrumentais baseando-se na interação da energia radiante com a matéria. A espectroscopia no infravermelho está relacionada com a energia vibracional da molécula, devido à absorção da radiação infravermelha. A análise é feita pela comparação do espectro da amostra com um espectro-padrão ou de referência em um acervo ou biblioteca (FAZENDA, p. 992, 2009).

meio líquido no qual os componentes estão dispersos ou dissolvidos), estes dois se apresentam em maior quantidade, pois, formam a base da resina. Os emulsionantes que são substâncias químicas que contém em sua molécula um lado lipofílico e um lado oposto hidrofílico. E os iniciadores, ou seja, substâncias químicas, em sua maioria solúveis em água, que podem formar radicais livres por decomposição térmica ou pelo processo de oxirredução (FAZENDA, p. 211 – p. 228, 2009).

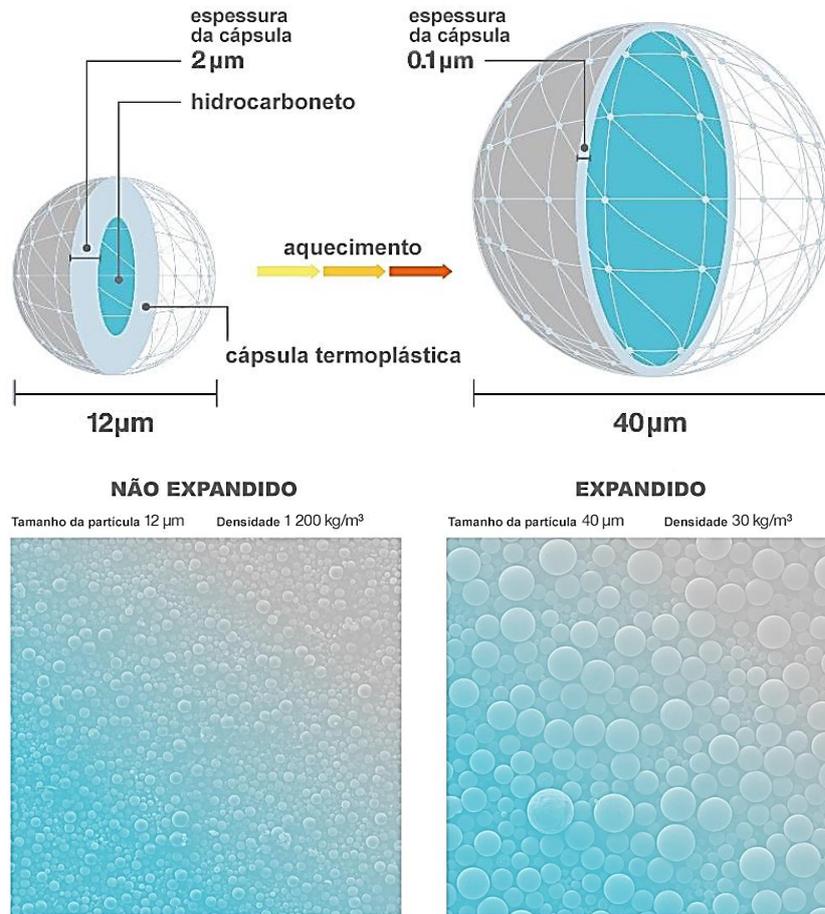
Quadro 8. Composição da tinta Acripuff

	Emulsão vinil-acrílica	% em peso	Outros valores
	Compostos voláteis	56,8%	-
	Teor de resina	40,4%	-
	Teor de pigmentos + cargas	2,8%	-
	pH	-	8,0 - 9,0*
	Densidade relativa	-	0,991 - 1,066 g/cm ³ *

*Valores podem variar conforme a coloração da tinta, devido às cargas inseridas. Fonte: Acrilex (2019).

Os compostos voláteis, presentes em grande quantidade na tinta, caracterizam-se por possuir alta pressão de vapor, o que faz com que se transformem em gás ao entrar em contato com a atmosfera (SCHIRMER, 2004). Neste caso, tratam-se das microesferas de hidrocarbonetos que se expandem ao serem aquecidas, dando o efeito puff da tinta. Observando a Figura 16 é possível ter uma melhor compreensão de como este processo ocorre. Na imagem, à esquerda tem-se uma cápsula de filme termoplástico de 2µm de espessura e cujo tamanho da partícula é de 12µm, envolvendo um hidrocarboneto. Ao ser aquecida, o hidrocarboneto transforma-se em gás e a cápsula expande-se (à direita na Figura 16), então a espessura do filme termoplástico diminui para 0.1 µm e o tamanho da partícula tem seu tamanho mais do que triplicado, passando para 40 µm (AKZONOBEL, 2018).

Figura 16. Detalhamento sobre a expansão por aquecimento das microesferas de hidrocarboneto encapsuladas - sistema de expansão da *tinta puff*.



Traduzido de: AkzoNobel, 2018.

As emulsões aquosas vinílicas e acrílicas compõem uma classe bastante relevante de veículos para tintas, uma vez que combinam vantagens de monômeros acrílicos e vinílicos, ou seja, baixo custo, versatilidade em aplicações, facilidade de polimerização e ainda utiliza a água em substituição aos solventes orgânicos (FAZENDA, 2009). Para a utilização dessas emulsões destacam-se as vantagens econômicas, facilidade de aplicação, segurança e menor capacidade poluidora.

2.5.3 Viscosidade da *tinta puff*

A viscosidade é uma das variáveis que caracterizam reologicamente uma substância. De um modo geral, viscosidade é a resistência de um fluido à deformação quando sujeito a esforços de escoamento, ou seja, a resistência de um fluido ao movimento, devido ao seu atrito interno. Ela é responsável pelas perdas de energia associadas ao transporte de fluidos em

duto, canais e tubulações. Uma propriedade extremamente importante a ser considerada em estudos de escoamento de fluidos, pois, a taxa de deformação de um fluido é diretamente ligada à viscosidade do fluido.

Portanto, a viscosidade da tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor (tinta puff) é um fator significativo a este projeto, pois, terá relação direta com o escoamento da mesma e assim, com sua vazão.

Para descobrir o teor de viscosidade da tinta puff, foi realizada a medição de uma amostra de 2ml tinta, em **Viscosímetro Brookfield HB DV-II+** – um equipamento utilizado para medição de amostras de média a alta viscosidade (Fig. 17) no LaPol (Laboratório de Materiais Poliméricos - UFRGS). Essa medição é feita por cisalhamento, ou seja, o arrasto causado pelo movimento relativo entre o fluido e a superfície determina a medida da viscosidade.

Figura 17. Viscosímetro Brookfield HB DV-II+



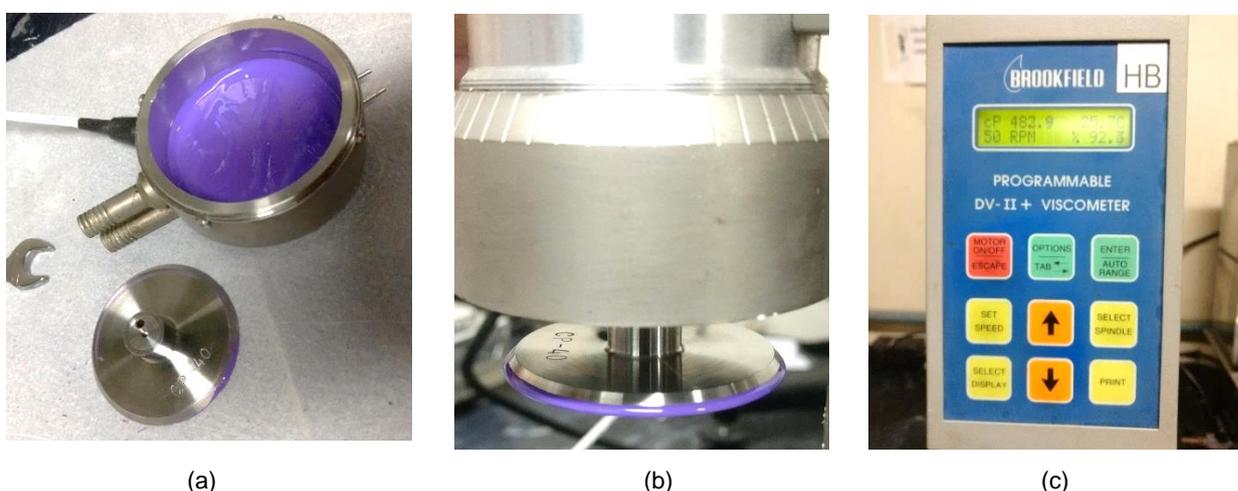
Fonte: Acervo da autora.

O viscosímetro *Brookfield* mede a força, ou seja, a capacidade de deflexão de sua mola interna. Além da mola, os sensores de cisalhamento (*spindles*) variam em tamanho e área superficial, de um modelo para outro mesmo quando sendo do mesmo fabricante. Assim, valores obtidos com parâmetros de entrada (rotações por minuto) e viscosímetros de modelos distintos não podem ser comparados, pois foram atribuídas condições diferentes de cisalhamento. Desta forma, deve-se cuidar para que as amostras sejam submetidas às mesmas

condições: viscosímetros com o mesmo torque, mesmo sensor de cisalhamento, velocidade, tempo de análise e quantidade de amostra.

A Figura 18 mostra a medição de viscosidade da tinta *puff* realizada no LaPol. Na figura 18 'a,' são apresentados o cilindro fixo que contém a amostra de 2ml de tinta para análise e o sensor de cisalhamento – neste caso, foi utilizado o sensor de cisalhamento CP-40, mais comumente utilizado para fluidos de média densidade – indicação da pesquisadora e colaboradora do LaPol conforme sua experiência na área. Na Figura 18 'b', pode-se observar que após a realização da medição, as bordas do sensor de cisalhamento (que está fixo no cilindro rotativo) possuem um filete de tinta superior a 1mm. Esta observação aponta que não houve falhas durante o teste. A Figura 18 'c', mostra o resultado da medição.

Figura 18. Medição de viscosidade com Viscosímetro *Brookfield* HB DV-II+.



Fonte: Acervo da autora.

Para o resultado ser confiável, a pesquisadora do LaPol explicou que o visor deve informar um torque superior a 10%, valor de confiança da força empregada no cisalhamento. Assim, conforme os parâmetros de entrada da Tabela 2, a amostra de tinta apresentou uma viscosidade de 482.9 cP (centipoise).

Tabela 2. Dados de entrada e resultado da medição de viscosidade da tinta

Temperatura da tinta	25,3° C
Velocidade de rotação do cilindro	50 <i>rpm</i>
Torque %	92,3
Viscosidade	482.9 cP

Fonte: Resultados obtidos em medição no LaPol, 2018.

- **Experimento de alteração da viscosidade da tinta**

A autora deste projeto realizou alguns testes com essa tinta em seu trabalho de Mestrado (2014). Primeiramente tentou-se acelerar seu processo de secagem, sendo ela uma tinta à base de água, tentou-se acelerar o processo de evaporação da água submetendo a tinta a ambientes mais secos e de temperaturas mais elevadas. Para temperaturas inferiores a 50° C o tempo médio de secagem é de 1 hora, temperaturas superiores não são recomendadas pois criam uma película externa amorfa e não seca no interior.

Partindo do pressuposto de que a tinta *puff* possui a água como solvente, na tentativa de diminuir sua viscosidade, tentou-se diluir a tinta acrescentando-se 10% e 25% de água, no entanto, os resultados não foram satisfatórios pois, tanto a forma, como o tamanho das partículas do pó cerâmico sintetizado pelo método é extremamente dependente da morfologia original do *puff*, no qual sistemas com alta porosidade e fragilidade são preferíveis na obtenção de óxidos mistos, sem grandes aglomerados e ultrafinos. Ou seja, tanto as altas concentrações de matéria orgânica, como de água interferem diretamente na formação do *puff* e, por consequência, na qualidade dos pós cerâmicos finais obtidos (LIMA, p. 47, 2006). Desta forma, optou-se por trabalhar com a tinta em seu estado original.

- **Teste de expansão da tinta**

Também se realizou testes para averiguar a temperatura e o tempo de expansão da tinta. Obteve-se o resultado de sete segundos para uma chapa de metal a uma temperatura de 200° C. Este teste foi repetido com um soprador térmico marca DWT – modelo HLP2000 fixado perpendicularmente ao papel a uma altura de 130 mm (Figura 19).

Figura 19. Soprador de ar fixado para teste de tempo de expansão da tinta.



Fonte: Colpes, 2014.

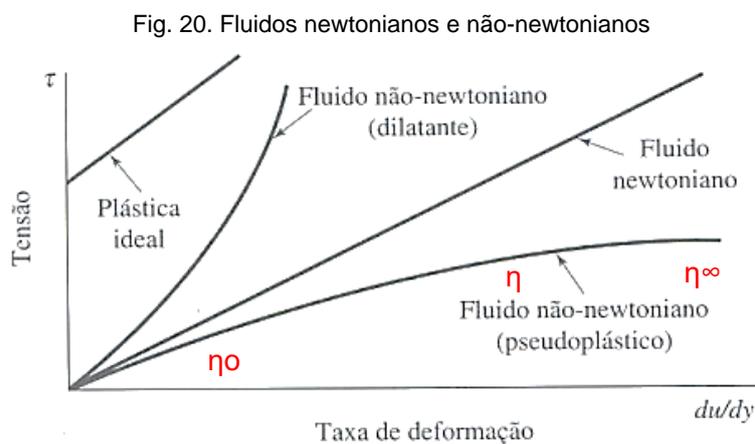
Neste segundo teste, foi possível observar que a tinta começa a expandir a 90° C e que a 200° C com o soprador na distância fixada, a tinta expandiu com uma média de 12,5 segundos. Vale a ressalva de que a altura foi estabelecida empiricamente levando-se em conta que quanto mais distante do papel o soprador estivesse, maior seria a área de desenho a receber ar quente uniformemente.

2.5.4 Classificação reológica da *tinta puff*

Ainda em relação a viscosidade, os fluidos podem ser classificados quanto à relação entre a sua taxa de deformação e a tensão de cisalhamento em: newtonianos e não newtonianos.

No fluido newtoniano a tensão de cisalhamento é linearmente proporcional a deformação existente, ou seja, sua viscosidade é constante. Sendo a água o exemplo mais comum. Já os fluidos não-newtonianos são aqueles em que a tensão de cisalhamento não é proporcional a deformação, ou seja, a viscosidade é muda em função da velocidade da deformação, podendo aumentar ou diminuir. Um exemplo comum é a graxa lubrificante (PORDEUS, 200?).

Fluidos não newtonianos também podem ser classificados de acordo com a maneira com que a viscosidade aparente varia com a taxa de deformação. A Figura 20 apresenta os diferentes tipos de comportamento reológico para fluidos não newtonianos independentes do tempo de cisalhamento.



Fonte: Adaptado de PORDEUS, 200?.

Os fluidos dilatantes são caracterizados por apresentarem um aumento na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação.

Os fluidos pseudoplásticos representam a maior parte dos fluidos que apresentam comportamento não newtoniano. Conforme VIDALBEZERRA (2000 apud TONELI *et al.*, 2005), com o aumento do gradiente de velocidade há uma modificação da estrutura de cadeias longas de moléculas que tendem a se alinhar paralelamente, diminuindo a resistência ao escoamento. É importante destacar que os produtos que se comportam como fluidos pseudoplásticos tendem a apresentar um comportamento newtoniano, quando submetidos a grandes gradientes de velocidade, provocado pelo total alinhamento molecular. Ou ainda, sob baixas taxas de deformação, onde a distribuição casual das partículas, também, pode levar a esse tipo de comportamento.

Os fluidos pseudoplásticos, durante o escoamento, podem apresentar três regiões distintas: região de baixas taxas de deformação, região de taxas de deformação medianas e região de altas taxas de deformação (Fig. 20). Na região newtoniana de baixas taxas de deformação, a viscosidade aparente (η_0), chamada de viscosidade limitante à taxa de deformação zero, não varia com a taxa de deformação aplicada. Na região de taxas de deformação médias, a viscosidade aparente (η) diminui com o aumento da taxa de deformação (comportamento pseudoplástico) e, na região de altas taxas de deformação, a viscosidade aparente (η^∞) volta a ficar constante e é chamada de viscosidade limitante a taxas de deformação infinitas (TONELI; MURR & PARK, 2005).

A tinta *puff* se enquadra na classificação de um fluido pseudoplástico. E dado ao trabalho, neste projeto, com grandezas muito pequenas, considera-se a aplicação na região de baixa taxa de deformação onde a **tinta comporta-se como um fluido newtoniano**, ou seja, de viscosidade constante. A mesma justificativa se aplica ao grau de compressibilidade deste fluido, convencendo-se como incompressível.

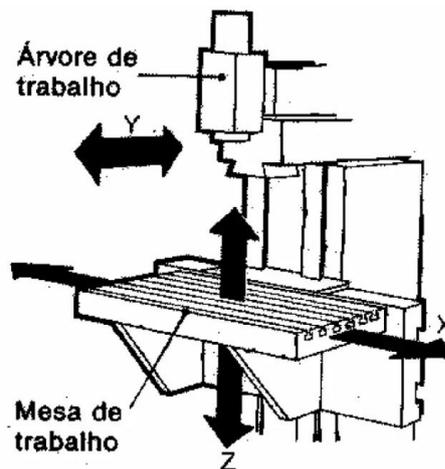
2.5.5 Sistemas funcionais

A procura por sistemas funcionais que possam auxiliar no desenvolvimento de um mecanismo satisfatório ao processo de impressão proposto neste trabalho, torna-se peça chave no encontro de soluções para tarefas antes, inexistentes. É notório que a tecnologia para o deslocamento dos eixos ou cabeçotes de uma impressora já está bastante difundida, mas

acredita-se ser significativo elucidar seu funcionamento que parte do princípio de máquinas CNC.

Máquinas CNC são amplamente utilizadas em diversos setores da indústria, conhecidas principalmente por sua aplicação em processos de fabricação que envolvem usinagem, onde peças são produzidas através da remoção de material ou em processos aditivos como os utilizados em prototipagem rápida. Essas máquinas podem ser analógicas ou digitais e são constituídas principalmente de uma mesa de trabalho, um eixo-árvore ou árvore de trabalho, motores de acionamento e controladores. Como pode ser observado na Figura 21, geralmente possuem uma ferramenta em movimento de rotação ou extrusão, que fica acoplada à árvore de trabalho, permitindo deslocar a peça em um ou mais eixos cartesianos (X, Y ou Z), lineares ou giratórios (CARSTENS apud CARREIRA *et al.*, 2020).

Fig. 21. Estrutura de uma Máquina CNC



Fonte: KOK; WIEN, 1983.

O CNC propriamente dito é o Comando Numérico Computadorizado, ou seja, o sistema que realiza as operações contidas em um programa com dados alfanuméricos codificados e assim, controla as funções e os movimentos de uma ferramenta sem a necessidade de intervenção de um operador (MARTINS, 2019).

Por sua versatilidade de aplicação e difundida utilização em meios de prototipagem rápida, percebe-se o CNC como uma combinação viável para o controle do cabeçote de impressão aqui proposto.

2.5.6 Cabeçote ou cabeça de impressão

Um cabeçote ou cabeça de impressão é uma espécie de manipulador, também é possível afirmar que esse elemento é a principal peça em uma impressora, pois, é o responsável por direcionar e depositar a tinta sobre o papel (BSLATAM, 2023).

Quando se pensa em equipamentos que utilizem materiais de média e/ou alta viscosidade para impressão, logo se é remetido aos equipamentos utilizados para manufatura aditiva (prototipagem rápida). Segundo Deng (2014 *apud* FREITAS, 2015), o uso do processo de extrusão é recomendado quando trabalhado com variáveis como viscosidade ou taxa de saída de um material ao final do processo. Assim, a maioria desses equipamentos trabalha com a utilização de um cabeçote de extrusão, um pistão que possui uma movimentação linear ao longo de um ou mais dos eixos cartesianos ('X', 'Y' e 'Z'), acionados por uma bomba. Para isso, seu mecanismo é geralmente baseado em uma combinação de sistemas por acoplamento com fusos, polias e correias sincronizadoras (DANTAS, 2016).

As bombas são máquinas geratrizes que podem ser acionadas pela ação do vapor, por meio de motores elétricos ou também por motores de combustão interna e possuem a finalidade de deslocar líquidos por escoamento. Ou seja, transformam o trabalho mecânico de uma fonte motora em energia hidráulica. A classificação das bombas ocorre segundo o modo pelo qual é realizada essa transformação. Bombas volumétricas, ou de deslocamento positivo, são aquelas que conduzem uma quantidade definida de líquido a cada avanço ou volta que o dispositivo realiza. Assim, a quantidade de fluido contida na câmara é impulsionada pela ação de um pistão ou de peças rotativas, sendo o escoamento deste fluido intermitente ou contínuo. Neste caso, a energia transferida ao fluido já se encontra sob a forma de pressão, forçando seu deslocamento (SOUZA, 2014).

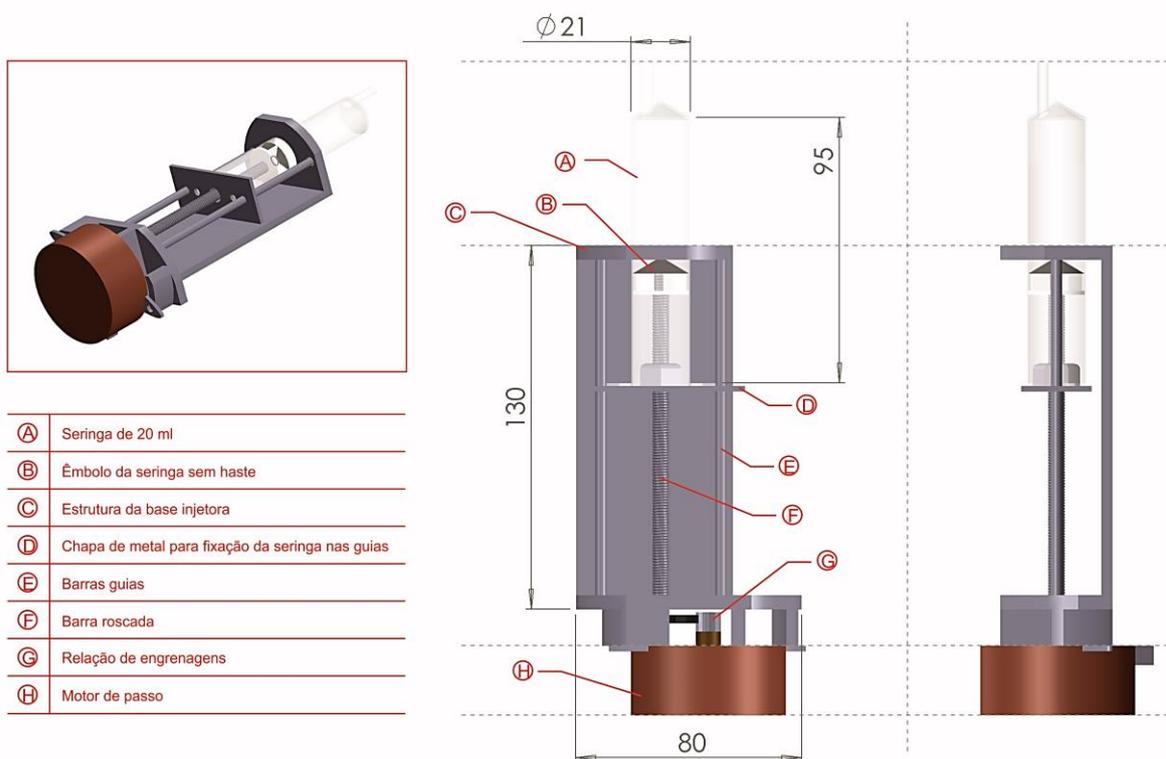
Existem dois tipos principais de bombas volumétricas: alternativas e rotativas. Ambos os modelos podem ser utilizados no deslocamento de líquidos de quaisquer viscosidades, desde que não contenham sólidos abrasivos. Nas **bombas alternativas** o fluido recebe a ação das forças diretamente de um pistão, êmbolo ou de uma membrana flexível. Por sua vez nas **bombas rotativas**, como o próprio nome sugere, o fluido é deslocado de modo contínuo por uma ou mais peças dotadas de movimento de rotação, desde a entrada até a saída da bomba. As bombas rotativas podem ser: de engrenagens; de rotores lobulares - bastante usada na indústria de alimentos; de parafusos helicoidais; de palhetas - para fluidos pouco viscosos; e peristálticas - usada para pequenas vazões (EVANGELISTA, 201-?).

A Mecânica dos Fluidos considera que toda a matéria pode ser encontrada em somente dois estados: fluido e sólido. Cujas distinções técnicas estão na reação de cada um destes à aplicação de uma tensão de cisalhamento, pois um fluido submetido a tal ação, por mínima que seja sua grandeza, resultará em seu deslocamento e deformação. Dada essa definição, é possível afirmar que há duas classes de fluidos: líquidos e gasosos (WHITE, 2018). Neste caso, a tinta utilizada neste trabalho configura um fluido de média à alta viscosidade, conforme verificado anteriormente.

Dada a ampla empregabilidade de cabeçotes de extrusão (bomba hidráulica) para o deslocamento de fluidos, entende-se que tal solução poderia ser adotada para o deslocamento desta tinta.

A Figura 22 faz referência ao sistema de injeção de tinta utilizado pela autora no protótipo confeccionado em sua Dissertação de Mestrado (2014). Trata-se de uma bomba volumétrica alternativa, composta por uma seringa de 20 ml em posição horizontal, cujo êmbolo é tracionado por uma barra roscada acoplada a um motor de passo.

Figura 22. Sistema de injeção de tinta utilizando seringa de 20 ml.



Fonte: Acervo da autora, Dissertação de Mestrado (COLPES, 2014).

A solução apresentada na Figura 22 teve o difícil acesso para reabastecimento e a compressão gerada na vazão de material como pontos negativos. Pois há a necessidade constante de alimentação do material, assim como de conferir precisão ao desenho traçado.

Cabeçotes de extrusão também são bastante utilizados em impressoras tridimensionais de pequeno porte e baixo custo (FREITAS, 2015). Freitas (2015) apresenta algumas etapas da extrusão no processo de manufatura aditiva, como: carregamento de material, liquefação do material, aplicação de pressão para mover o material contra a matriz de extrusão ou deposição do mesmo sobre a mesa de impressão de acordo com movimentação controlada e pré-definida. Lembrando que neste caso, muitas vezes um filamento de polímero em estado sólido precisa ser liquefeito para tornar possível moldar o material ao formato desejado, ou em outras palavras, obter a impressão da forma desejada. Esse estágio de tornar o material liquefeito não se faz necessário neste projeto, pois, a tinta já se encontra em estado fluido.

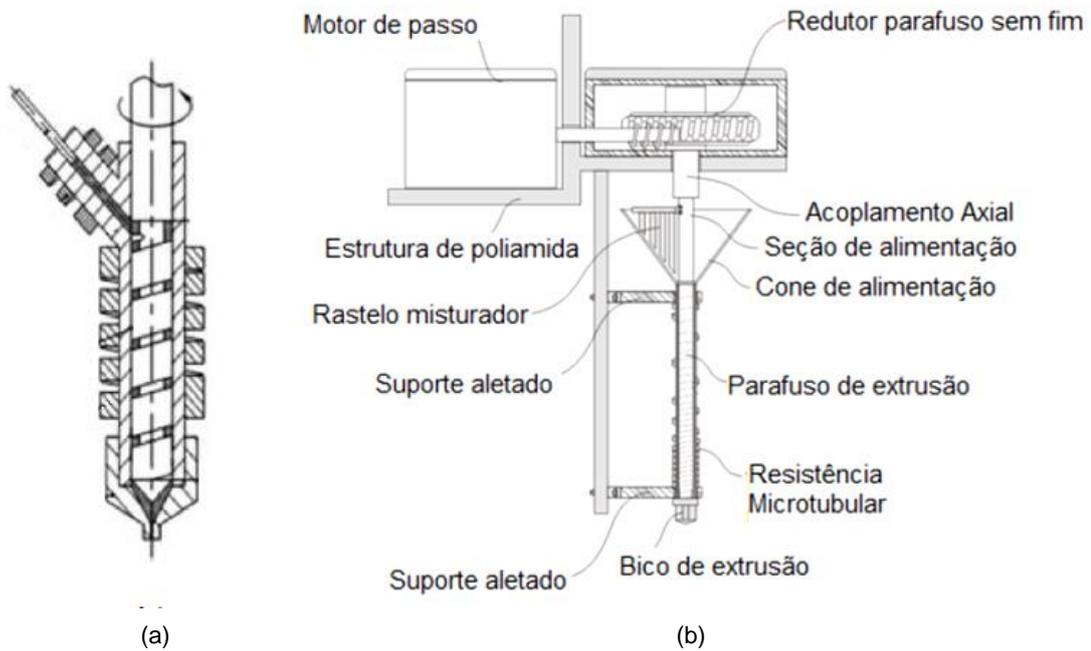
Assim, embora os esquemas do sistema funcional de alguns cabeçotes de extrusão e de injeção, que serão apresentados como exemplo a seguir, tenham recursos de aquecimento para essa mudança de estado, tal funcionalidade será desconsiderada pela não aplicabilidade neste trabalho, o que não interfere na capacidade de transporte de fluido do sistema.

Uma solução com parafuso de extrusão na posição vertical (Figura 23 'a') é mostrada na patente *mini-screw extruding spray head*, apresentada no artigo de Bin Liu (2010). Essa proposta têm uma abertura diagonal no tambor para alimentação de material. Estando o parafuso de extrusão em posição vertical, a abertura em diagonal favorece a utilização da força gravitacional para que o material escorra até o tambor e facilita o reabastecimento.

Freitas (2015) desenvolveu em seu projeto de Mestrado Acadêmico o cabeçote de extrusão para impressora 3D da Figura 23 'b'. Nesse modelo foi empregada uma abertura em formato de cone para alimentação de material e um fuso com rosca de seção variável, devido às características do polímero empregado nesse projeto.

Figura 23. Cabeçotes de extrusão - Bombas volumétricas rotativas.

(a) Desenho esquemático da patente *mini-screw extruding spray head*; (b) Desenho esquemático do cabeçote de extrusão para impressora 3D desenvolvido por Freitas (2015).



Fonte: (a) BIN LIU *et al*, 2010; (b) FREITAS, 2015.

Tais modelos servem de referência para o desenvolvimento do cabeçote proposto nesse trabalho. É importante destacar que a presente proposta se diferencia das demais aplicações dadas na indústria por possuir dimensões reduzidas, posição de extrusão do material na vertical e ao contrário da maioria das aplicações de cabeçotes de extrusão que atuam em impressoras 3D, esta aplicação será em impressão 2D com tinta de emulsão acrílica de propriedades expansivas ao calor.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para a realização desta pesquisa. A partir da definição do tema, sua contextualização e delimitação, o problema de pesquisa foi identificado e formulado:

Desenvolver o cabeçote de extrusão de uma impressora que favoreça a produção de forma automatizada de gráficos relacionais em alto-relevo para pessoas com deficiência visual severa, a fim de agilizar a produção/adaptação dos materiais didáticos destinados a este público.

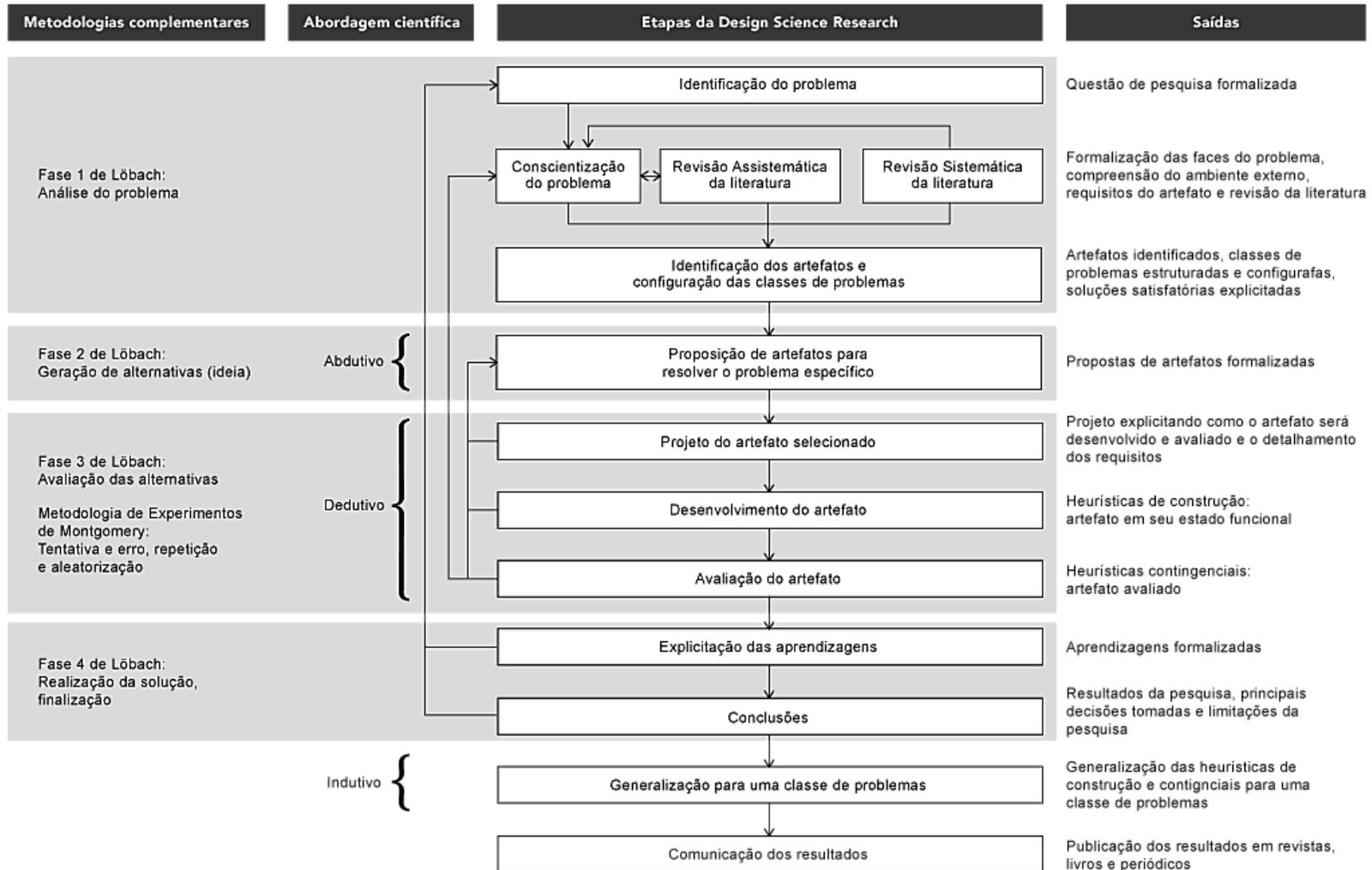
Desta forma, este projeto deu continuidade à pesquisa elaborada pela autora em 2014, pois, visava o desenvolvimento de um artefato que pudesse auxiliar na adaptação de materiais didáticos para cegos através da produção de gráficos em alto-relevo. Dresch *et al.* (2015) esclarece que artefatos podem ser identificados como objetos produzidos pelo homem que podem ser caracterizados segundo suas funções, objetivos ou adaptações direcionado à solução de problemas (DRESCH *et al.* 2015, p. 56-57).

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 um processo criativo como um processo de solução de problemas e divide esse processo do design 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, com avanços e retrocessos.

Similarmente ao que ocorre na metodologia do *Design Research*, cada uma dessas fases pode utilizar-se de ferramentas de pesquisa e técnicas diversas, um processo mais cíclico do que linear, e por isso pode ser revisto e "retroalimentado" (voltar a fases ou técnicas anteriores) sempre que necessário (MILTON, A.; RODGERS, P. 2013).

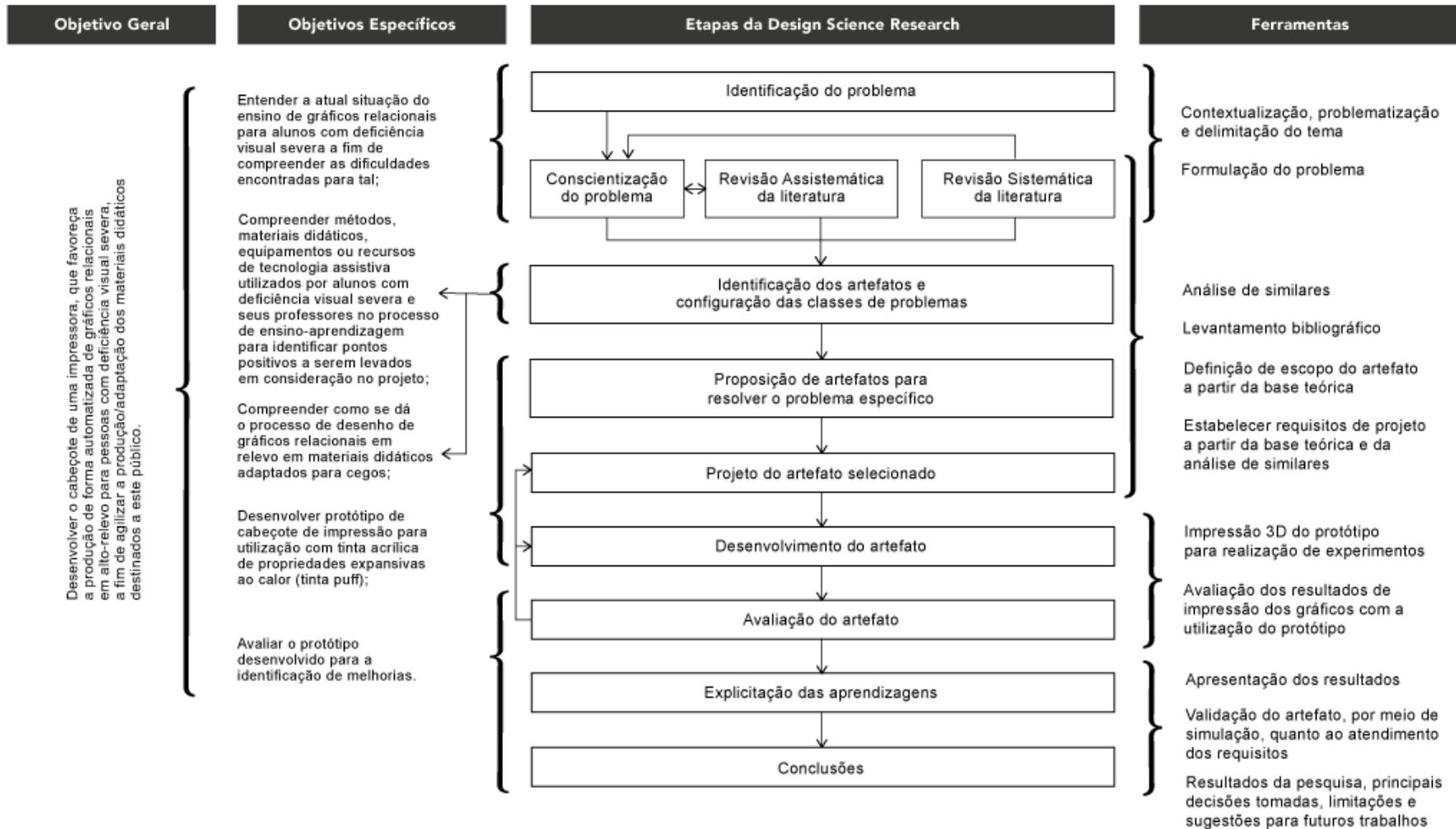
Montgomery (2005) define o projeto de experimentos como uma metodologia apoiada prioritariamente em conceitos estatísticos, utilizada para otimizar o planejamento, execução e análise de um experimento. Sendo utilizada para a otimização de sistemas, ou seja, otimização de produtos, processos ou serviços. É avaliada por indicadores de desempenho e favorece para que se estruture uma sequência de ensaios de forma a validar os objetivos preestabelecidos.

Figura 24. Metodologias adotadas



Fonte: Adaptado de Dresch *et al.*, 2015; Montgomery, 2005; Löbach, 2001.

Figura 25. Desenho da aplicação da metodologia



Fonte: Autora com base em BRUNO, 2019.

De acordo com o que foi explicado e a fim de garantir a confiabilidade dos resultados deste trabalho, utilizou-se a combinação de métodos e ferramentas de três bases, tendo a *Design Science Research* de Dresch *et al.* (2015) como eixo central da metodologia, o Projeto de Produto de Löbach (2001) sintetizando as etapas em 4 fases macro e a Metodologia de Projeto de Experimentos de Montgomery (2005) que apresenta diretrizes para a aplicação de uma ferramenta estatística de avaliação dos resultados. O desenho de como se deu essa correlação das três metodologias é mostrado na Figura 24.

De forma complementar e elucidativa, a Figura 25 apresenta o desenvolvimento das fases do projeto, dentro da metodologia aplicada, relacionando-as com os objetivos geral e específicos, a fim de proporcionar uma melhor compreensão dessa simbiose metodológica.

Como mencionado anteriormente e observado na Figura 24, a fim de sintetizar suas etapas evolutivas, dividiu-se o projeto em quatro macro fases conforme será explicado a seguir.

1ª Fase de preparação - Análise do problema: Nessa primeira fase do processo de design, é importante obter todas as informações possíveis sobre o produto, público-alvo, ambiente e relação social para prepará-las e utilizá-las nas fases posteriores de geração e avaliação. Essas informações contribuem para uma contextualização inicial que favorece a definição e clarificação do problema de projeto, bem como da definição dos objetivos (Löbach, 2001).

Para esta etapa, muito do levantamento realizado pela autora em seu trabalho de Mestrado Acadêmico (2014), pôde ser aproveitado, principalmente no que se refere a bagagem de experiências (obtidas nas disciplinas do PGDesign e do PROMEC). O que, aliado a conscientização do problema e a uma revisão sistemática e assistemática da literatura, contribuíram para uma imersão de seis anos que possibilitaram **observar** e **aprender** para um melhor entendimento do histórico e dos métodos utilizados na educação de cegos no Brasil. Assim, foram utilizados como procedimentos de coleta de dados e análise das informações (adaptados de Dresch *et al.*, 2015; Löbach, 2001):

- Levantamento da necessidade através do entendimento das pessoas interessadas na solução do problema;
- Revisão sistemática da literatura;
- Revisão assistemática em livros e periódicos científicos;
- Entendimento da relação social (homem-produto);
- Busca em patentes, legislações e normativas;

- Desenvolvimento histórico;
- Entendimento do mercado com o levantamento e observação de produtos similares por função e tecnologia assistiva;
- Entendimento das funções práticas.

No Brasil, os métodos de ensino e de adaptação de materiais didáticos adotados, pouco ou nada mudaram desde 2014. Por isso, aproveitou-se o conhecimento levantado por Colpes (2014) em sua dissertação de mestrado. Foram utilizadas as informações sobre recursos didáticos e métodos de adaptação de materiais didáticos obtidas em visita técnica ao Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual - CAP Florianópolis e ao Instituto Estadual de Educação em Florianópolis. Bem como, narração de profissionais e usuários para um *feedback* acerca das tecnologias disponíveis e dos materiais adaptados. Também se aproveitou alguns dados de experimentos com a tinta acrílica de propriedades expansivas ao calor (tinta *puff*).

No presente trabalho, foram realizados dois tipos de revisão da literatura, uma assistemática que consistiu na leitura de artigos e livros indicados por professores e colegas do PGDesign, cujas referências levavam a novos artigos. E outra sistemática com a utilização de *Strings* de busca em bases de dados online (GOUGH, 2012).

No que tange às fontes de busca online, utilizou-se a Base de Dados da SCOPUS (<http://www.scopus.com>), por indexar outras bases de dados significativas para pesquisas de cunho científico, como: Elsevier (<http://www.elsevier.com.br>), ACM Digital Library (<http://acm.org>), IEEE Xplore Digital Library (<http://ieeexplore.ieee.org>), Wiley Online Library (www.wileyonlinelibrary.com) e Springer (<https://www.springer.com>). O Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br>) e SciELO (<https://www.scielo.org>) também serviram como plataforma de acesso à alguns artigos científicos.

Como *strings* de busca, utilizou-se combinações de palavras relacionadas ao processo educativo de pessoas cegas, como: "*education for the blind*" OR "*teaching materials for the blind*" OR "*printer for the blind*" OR "*math for the blind*" OR "*graphics for learning*". Outros termos utilizados foram: "cabeçote de extrusão" e "*screw extruding*".

Para a seleção de trabalhos foram definidos como critério de inclusão: a) artigos *open access*, disponíveis para acesso, b) trabalhos relacionados ao foco desta pesquisa (Design, Inclusão, Educação de cegos e Adaptação de materiais didáticos) c) trabalhos disponíveis em língua portuguesa, espanhola ou inglesa. As línguas espanhola e inglesa por serem

considerados idiomas internacionalmente aceitos para trabalhos científicos e a língua portuguesa por contemplar pesquisas desenvolvidas em âmbito nacional.

Foram definidos como critérios de exclusão: a) a indisponibilidade do trabalho em sua íntegra, b) trabalhos que não apresentavam relação com o tema central desta pesquisa (identificados pelo título, palavras chaves e resumo), c) artigos repetidos e d) trabalhos de um mesmo autor com títulos diferentes, mas, igual conteúdo.

Dentre várias barreiras encontradas, a lacuna do ensino de gráficos relacionais nas disciplinas de Física e Matemática para alunos cegos foi a que chamou a atenção, pois, este material tem no relevo a sua melhor forma de representação para este público. Entretanto, na prática, estes gráficos são adaptados manualmente por pedagogos e profissionais de Educação Especial em centros de apoio com tinta acrílica de relevo. O que torna este processo trabalhoso e demorado. Um levantamento de produtos e tecnologia assistiva utilizadas em salas de recursos ou centros de apoio e de produtos similares por função norteou a definição em se trabalhar com um método de impressão por deposição de material, mais especificamente em desenvolver uma forma de automatizar a adaptação de gráficos com a utilização de tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor.

2ª Fase da geração de alternativas: Segundo Löbach (2001), esta é a fase de 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. Para tanto, utilizou-se também dos dados obtidos nas pesquisas online, em livros e periódicos, com o objetivo de utilizar-se desta informação para traçar os requisitos de projeto.

Trata-se da fase de projeto propriamente dita. Na qual são utilizadas as informações levantadas no referencial teórico sobre os produtos, métodos, tecnologias utilizadas na adaptação de materiais didáticos para cegos e normas técnicas. Bem como, das possíveis soluções em sistemas funcionais para injeção de tinta, para a construção do artefato e realização de experimentos.

Nesta fase, já foi possível definir que o método empregado para encontrar a solução do problema seria o de **tentativa e erro**, para tal, foi prevista a adoção de um conjunto de técnicas estatísticas, a metodologia de projeto de experimentos de Montgomery (2005) e Werkema (1996). Pois, como afirmado por Löbach (2001), usando-se métodos adequados e dirigidos de solução de problemas, pode-se abreviar o tempo em geração de ideias e obter

propostas mais assertivas. Como a Estatística trata da coleta e análise de dados informativos, contribuindo para a obtenção de conclusões confiáveis e de embasamento científico sobre algum fenômeno ou objeto de estudo, entende-se que sua contribuição seja satisfatória à fase experimental deste projeto.

No cabeçote de extrusão, a rotação do tambor impulsiona o líquido para uma posição onde há uma barra deslizante que o direciona ao bico de injeção. Assim, outro fator de suma importância é o projeto da rosca de extrusão, pois é altamente significativo para a otimização do processo, uma vez que a geometria da rosca afeta diretamente a taxa de saída do material. Os principais parâmetros geométricos de uma extrusora como bomba rotativa são: comprimento, relação comprimento/diâmetro (L/D), os comprimentos de alimentação, compressão e saída, a largura do filete, o passo e a profundidade em cada seção da rosca (Kelly *et al.* 2006 *apud* Freitas, 2015).

Freitas (2015) destaca que a principal função da geometria da rosca é a taxa de saída do material e o desenvolvimento da pressão nela é função da viscosidade da tinta. Para isso, Evangelista (201-?) afirma que a descarga e a pressão do líquido impulsionado sofrem variações muito pequenas quando a rotação é constante.

A viscosidade é definida por Dealy & Wissbrun (1990) como a propriedade do material de resistir a uma deformação contínua. Entendendo a importância do conhecimento da viscosidade específica da tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor, foi preciso verificá-la com a utilização do Viscosímetro Cone e Placa Brookfield DVII+, disponível no Laboratório de Materiais Poliméricos (LaPol) da UFRGS.

Outros fatores precisaram ser encontrados ou especificados na etapa de projeto, de dimensionamento do cabeçote de extrusão. A estimativa correta da taxa de compressão também é fundamental para o desenvolvimento da rosca. Para uma melhor organização desse dimensionamento, convém dividir o cabeçote em três subsistemas: cilindro/rosca de extrusão, bico de injeção e sistema de controle do motor - controla o movimento de rotação do parafuso (NETO, 2013). Para o cálculo da geometria da rosca do parafuso de extrusão deve-se considerar o volume de trabalho, peso e taxa de saída de material. Para tal, foi adotada a metodologia de Macintyre (2010) como base para a escolha e dimensionamento da bomba rotativa e o roteiro para projeto de rosca de extrusão de Freitas (2015) que traz como etapas:

- Definição dos parâmetros de projeto;
- Definição do diâmetro e comprimento do parafuso (rosca);
- Relação L/D (comprimento por diâmetro) em cada seção;
- Definição da folga radial em cada seção;
- Esboço do sistema.

Então, para a construção do artefato, do cabeçote de extrusão propriamente dito, alguns procedimentos foram necessários como: projetar o cabeçote de extrusão com o dimensionamento técnico adequado, realizar seu modelo tridimensional em software de modelagem 3D, para então efetuar a impressão de suas peças em polipropileno na impressora 3D Cloner DH - disponível no laboratório Virtual Design (ViD) do PGDesign, UFRGS. Correções na geometria das peças, bem como alteração do material de impressão para melhoria na qualidade tiveram que ser feitas em impressora 3D, alternativa encontrada para dar prosseguimento aos experimentos durante o período de acesso restrito aos laboratórios da UFRGS, devido à pandemia de COVID-19 e que será melhor abordada na explanação sobre os experimentos (p. 98).

A etapa de montagem do cabeçote de extrusão consistiu em combinar-se as peças impressas por prototipagem rápida com outros componentes como o motor de passo, o driver e um controlador (Arduino). Para o dimensionamento e escolha do torque do motor foi preciso obter a taxa de cisalhamento dos materiais, pois, quanto maior a viscosidade, maior o torque estático (CASAGRANDE, 2013).

Figura 26. Fresadora Laser CNC Asy 1000 Router



Fonte: Acervo da autora

De posse do cabeçote de extrusão impresso e montado, estimava-se realizar os experimentos de impressão acoplando-se o cabeçote de extrusão na Fresadora Laser CNC Asy 1000 Router (Figura 26) - disponível no LAMECC, a fim de aproveitar seu deslocamento linear nos eixos X e Y, com altura fixa no eixo Z e Seu software de comunicação com o computador.

No entanto, os testes de impressão acabaram sendo realizados na impressora 3D de um aluno do Curso de Engenharia Mecânica da UFRGS, pois, também conta com deslocamento linear nos 3 eixos.

3ª Fase da avaliação: Com o artefato montado e em funcionamento, objetivou-se realizar testes de impressão até obterem-se as características desejadas no que se refere à altura do relevo, espessura da linha e resolução dos desenhos obtidos (especificações que são apresentadas nos Requisitos de Projeto, p. 89).

Assim, para a avaliação do artefato, foi previsto realizar um julgamento de qualidade referente à uniformidade do traço e do atendimento aos valores estabelecidos (altura e espessura) pela NBR 9050 (2020) para as impressões de três gráficos relacionais distintos, definidos juntamente com o Núcleo de Inclusão e Acessibilidade (Incluir) da UFRGS.

Silveira (2003) destaca que técnicas de planejamento de experimentos podem ser utilizadas nas fases iniciais do projeto, em projeto do produto, no processo de fabricação ou até mesmo durante etapas de avaliação e melhorias, onde é necessário analisar a influência de um ou mais fatores sobre o produto ou processo. Além de contribuir para: menor tempo de projeto e desenvolvimento, desempenho e confiabilidade, processo de fabricação e redução de custos.

Um sistema pode ser considerado como uma função que liga fatores às respostas, ou seja, variáveis de entrada às variáveis de saída. Algumas dessas variáveis são controláveis, outras embora não possam ser efetivamente controladas, seus efeitos podem ser minimizados no transcorrer do experimento. Essa exploração experimental e a otimização das referidas variáveis possuem seu embasamento científico no uso de ferramentas matemáticas e estatísticas (SILVEIRA, 2003). São técnicas experimentais utilizadas na área de projeto:

- Avaliação e comparação das configurações básicas de projeto;
- Avaliação de diferentes e novos materiais;

- Seleção dos parâmetros de projeto, de tal forma que o produto possa desempenhar suas funções dentro de uma ampla faixa de valores e condições de contorno, ou seja, um produto robusto;
- Determinação do conjunto de parâmetros ótimos do projeto, que influenciam significativamente para o desempenho do produto.

Este trabalho buscou utilizar-se de técnicas experimentais como forma de obter a configuração de parâmetros mais satisfatória para a obtenção de impressões em relevo, atendendo aos requisitos de projeto.

Repetição, aleatorização e blocagem são os três princípios básicos para a utilização de técnicas experimentais. Os dois primeiros serão aplicados na fase experimental deste trabalho e consistem em (SILVEIRA, 2003):

- **Repetição:** é o processo de repetir cada uma das combinações sob as mesmas condições de experimentação. Montgomery (1991) enfatiza o fato de que essa técnica apresenta duas propriedades importantes: permite obter uma estimativa do erro experimental. E permite a obtenção de uma estimativa mais precisa do efeito de um fator no experimento, pois o desvio-padrão amostral (S) deve ser inversamente proporcional ao tamanho da amostra \sqrt{n} ;
- **Aleatorização:** trata-se de uma suposição básica para a validação de métodos estatísticos em Planejamento Experimental. A ordem pela qual os experimentos são ensaiados deve ser definida de forma aleatória, pois assim, pode-se minimizar efeitos de fatores não-controláveis;

Para Montgomery (2005), o procedimento para o planejamento e para a análise dos resultados deve considerar a formulação do problema, pois, uma definição clara do problema, contribui substancialmente para a sua solução. A escolha dos fatores também é destacada, uma vez que delimitam os valores que serão variados no experimento. A seleção da variável de resposta e dos fatores de controle (variáveis independentes), as faixas de variação dos níveis de ajuste desses fatores e as respostas do experimento (variáveis dependentes), assim como, os métodos de medição e a escala dimensional que será utilizada. A fase de seleção da matriz experimental envolve a escolha da técnica a ser utilizada no experimento; a definição do número de repetições e da ordem dos testes.

Segundo Achcar (1995 *apud* SILVEIRA, 2003), métodos estatísticos devem ser utilizados para analisar os dados, pois, quando aplicados corretamente, possibilitam prever

respostas com certo grau de confiança e estimar os erros experimentais. A escolha de uma estratégia de pesquisa permite fundamentar a condução de experimentos de maneira confiável.

Planejamentos experimentais requerem certo conhecimento de definições estatísticas, algumas são definidas a seguir (SILVEIRA, 2003):

- Tratamento: ação conduzida por pesquisadores para cada unidade experimental. Por exemplo, aplicar métodos diferentes para diferentes grupos na tentativa de obter o melhor método ou resultado.
- Fator: variável independente controlada, cujos níveis são ajustados para cada experimento. É também uma categoria de tratamento.
- Efeito Principal: é o efeito simples de um fator sobre uma variável dependente. É o efeito do fator individual somado aos níveis de outros fatores.
- Interação: uma interação é a variação entre as diferentes médias para diferentes níveis de um fator sobre diferentes níveis de outros fatores.

Assim, para este trabalho tem-se como características de qualidade para avaliação final das impressões:

Traço uniforme	Maior-melhor
Tempo de impressão	Menor-melhor

Para o funcionamento de um cabeçote de impressão, tem-se como fatores ou parâmetros de entrada (variáveis independentes), são:

- Velocidade de deslocamento dos eixos X e Y no plano cartesiano que é dada pela velocidade de rotação do motor de passo em cada um desses eixos;
- Vazão de tinta.

São características esperadas das variáveis de resposta:

Tempo de impressão do material	Menor-melhor
Altura do relevo obtido	Nominal-melhor
Espessura do relevo obtido	Nominal-melhor

Existem diferentes tipos de planejamentos experimentais que variam conforme número, tipo de fatores e das condições. Para se definir a quantidade de ensaios a ser realizada, utilizou-se o método fatorial 2^k ou N^k , onde a base (N) refere-se à quantidade de níveis e k corresponde ao número de fatores (FREITAS, 2015). Nesse caso, este trabalho possui um sistema fatorial de 2^3 , assim, serão 8 ensaios para cada desenho, totalizando 24 impressões.

A velocidade de deslocamento linear e a velocidade de rotação do motor de passo são parâmetros do processo e podem ser definidas por tentativa e erro através de comando de entrada, onde pode-se utilizar como valores de referência para iniciar os testes, os resultados obtidos pela autora no protótipo desenvolvido em sua Dissertação de Mestrado. Sendo a velocidade de deslocamento linear (V) e a velocidade de deslocamento angular (W) de cada eixo apresentadas na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3. Valores de referência para velocidade linear e angular

	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z (bomba rotativa)
Velocidade linear (V)	0,033 m/s	0,032 m/s	$7,36 \times 10^{-4}$ m/s
Velocidade Angular (W)	581,9 rpm	90,5 rpm	0,54 rpm

As variáveis de resposta: tempo de impressão, espessura do relevo e altura do relevo seriam medidas respectivamente através da utilização das seguintes ferramentas: cronômetro, paquímetro e relógio comparador (Figura 27) - ferramentas disponíveis no LAMECC/UFRGS.

Figura 27. Relógio Comparador Mitutoyo 0,01-10 mm



Fonte: Acervo da autora

Após a realização dos ensaios, os resultados obtidos em medidas para as variáveis de resposta e parâmetros de processo seriam organizados em uma matriz de análise de variância (ANOVA) para verificar a existência de alguma diferença significativa entre as médias e se os fatores exerciam influência em alguma variável dependente. Porém, em virtude dos resultados obtidos na fase experimental, essa etapa de validação não pôde ser realizada.

4ª Fase de realização e finalização: Com base nos resultados obtidos foi 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. Nesta etapa, por ser a fase final destaca-se a preparação da apresentação e do relatório, mas, entende-se que este último foi construído durante todo o desenrolar da pesquisa, simbolizando aqui uma revisão minuciosa.

3.1 REQUISITOS DE PROJETO DO CABEÇOTE DE EXTRUSÃO

Com base no que foi levantado sobre normativas e diretrizes nacionais na fundamentação teórica - Capítulo 2, subitem 2.5.1 - Projetando para Cegos (p. 59-62), bem como em recomendações de profissionais que trabalham com a adaptação de materiais didáticos para este público, definiu-se os requisitos de projeto. Sintetizados no Quadro 9.

Quadro 9. Requisitos de projeto para o cabeçote de impressão de gráficos em alto relevo

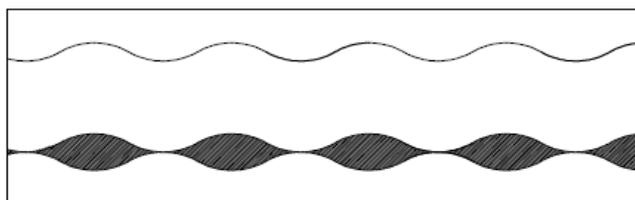
Requisito	Parâmetro
Aplicar relevo	Utilização de relevo simples do tipo contorno.
Utilizar material que favoreça a usabilidade	Não deve agredir ou provocar rejeição ao manuseio.
Possuir contraste tátil	Altura do relevo deve estar entre 0,8 mm e 1,2 mm , conforme normalização (NBR 9050). Na ausência de recomendações para a espessura (largura) do traço para símbolos táteis, será empregado a medida do diâmetro da base do ponto Braille, conforme NBR 9050, de 1,2 mm .
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

Desta forma, entende-se o contraste tátil como uma das principais características a serem atendidas, seguindo as diretrizes da NBR 9050 para altura e espessura do traço nos gráficos impressos.

Ainda sobre a metodologia é importante destacar que no transcorrer da fase experimental alguns ajustes tiveram que ser feitos, tanto em razão da pandemia da COVID-19 quanto pelos resultados obtidos nos testes de impressão. Assim, algumas fases previstas acabaram não sendo implementadas por falta de resultados satisfatórios para tal. Desta forma, na terceira fase ou fase de avaliação os experimentos não possibilitaram a aplicação dos métodos de avaliação estatística previstos na metodologia de experimentos de Montgomery, pois, os testes de impressão com a tinta puff não geraram resultados satisfatórios. Também por essa razão as medições que seriam feitas com a utilização de ferramentas disponíveis no LAMECC/UFRGS não foram realizadas nessas impressões.

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). Como resultado, tem-se uma bomba altamente eficiente em termos de sucção independentemente da rotação, devido ao ajuste perfeito entre rotor e estator (Fig. 29).

Figura 29: Corte em vista lateral para mostrar o encaixe rotor/estator



Fonte: Weatherford, 2008

Os critérios que levaram à escolha de uma bomba rotativa foram: possuir alto rendimento ao operar com fluidos viscosos, vazão praticamente constante (o que favorece a obtenção de um traço de impressão uniforme), serem autoaspirantes, sua aplicabilidade em dimensões reduzidas, elevado rendimento com pouca vibração e a possibilidade de ser acionada diretamente por um motor elétrico (MATTOS & FALCO, 1998; MACINTYRE, 2010).

Assim, o acionamento é feito por um conjunto moto-redutor, composto por um motor elétrico acoplado a um redutor de engrenagens (quando necessário). A velocidade ou rotação adequada do motor varia conforme a viscosidade do produto bombeado. Assim, caso se faça necessário uma redução na rotação nominal do motor, esta pode ser obtida com base na relação entre a rotação do motor e a viscosidade da tinta *puff* da tabela de Hicks (1971 *apud* MATTOS & FALCO, 1998), obtendo-se os dados a seguir:

Tabela 4. Relação entre rotação e viscosidade para a tinta *puff*

Viscosidade da tinta <i>puff</i>		% de redução da rotação nominal
cP	SSU	
482,9	14.969,9	52

Adaptado de Hicks (1971 *apud* MATTOS & FALCO, 1998, p. 291)

O tempo de residência corresponde ao tempo em que a tinta fica dentro da bomba. Trata-se de um fator inversamente dependente da rotação do parafuso de extrusão no processo. A pressão interna no barril é geralmente proporcional à velocidade de extrusão

(rotação da rosca), portanto, é através desta velocidade que a pressão de extrusão pode ser controlada (FREITAS, 2015).

4.1 ANÁLISE DIMENSIONAL PARA GEOMETRIA DA BOMBA

Para os cálculos que serão explicados a seguir, bem como, para dimensionar o sistema, algumas hipóteses foram consideradas (conforme trecho 2.5.4, p. 69):

- Escoamento plenamente desenvolvido;
- Comportamento de fluido newtoniano, viscosidade constante;
- Escoamento incompressível, logo, a densidade é constante e o balanço de massa e o balanço de volume é nulo.

Assim como, alguns dados já conhecidos:

- A densidade do fluido fornecida pelo fabricante, entre 0,991 e 1,006 g/cm³, que a fim de simplificar os cálculos, trabalhou-se com o valor aproximado de 1000 kg/m³;
- A viscosidade do fluido de 482,9 cP (0,48 Pa*s), à temperatura de 25,3 °C;
- Largura do filete de tinta (seção transversal): 1,2 mm;
- Altura do filete de tinta: 0,8 mm;
- A velocidade do cabeçote de impressão, de 0,000736 mm/s (COLPES, 2014).
- A velocidade angular do cabeçote de impressão, de 0,54 rpm (COLPES, 2014).

4.1.1 Dimensões do bico extrusor

Partindo dessas especificações, primeiro é preciso calcular a área transversal do relevo impresso (para esse fim, será considerada uma semi-elipse) que deverá ser a mesma área da seção transversal de saída da bomba helicoidal (bico do cabeçote de impressão). Para tal, utilizou-se a equação 4.1:

$$A = \frac{a \times b \times \pi}{2} \quad \text{Eq. 4.1}$$

Onde:

A = área de saída do bico extrusor

a = raio do diâmetro menor da elipse

b = raio do diâmetro maior da elipse

Assim, a área da seção transversal de saída possui um valor de 0,754 mm².

4.1.2 Velocidade da bomba e taxa de saída (vazão)

Neste projeto a vazão é um elemento crítico, pois caso o bombeamento não atenda a demanda necessária, a precisão no traço dos desenhos será comprometida. Sabe-se que para bombas helicoidais a vazão é diretamente proporcional à rotação da bomba. Assim, pode-se aumentar ou diminuir a vazão da bomba helicoidal aumentando ou diminuindo sua rotação (velocidade).

A fim de simplificar o dimensionamento do problema, foi definido que a vazão e a velocidade de deslocamento do cabeçote de impressão, onde é alocada a bomba helicoidal (extrusora), deveriam estar sincronizadas. Para isso, a velocidade de saída do fluido no bico é a mesma velocidade de deslocamento do cabeçote. Ao relacionar-se a área do bico extrusor com a velocidade de deslocamento do cabeçote de impressão, encontra-se a vazão requerida.

Assim:

$$Q = A \times V_s \quad \text{Eq. 4.2}$$

Onde:

Q = vazão da bomba helicoidal

A = área de saída do bico extrusor

V_s = velocidade de saída do fluido

Resultando numa vazão volumétrica de aproximadamente 0,555 mm³/s, determinada através da equação 4.2.

Também foi calculado o número de Reynolds do problema, através da equação 4.3, para verificar se o escoamento é laminar ou turbulento, resultando num $Re = 0,047$, um valor baixo, onde pode-se pressupor um escoamento laminar. A viscosidade age amortecendo a tendência de surgimento de turbulências, o que geralmente é observado a baixas velocidades e em fluídos que apresentem grande viscosidade.

$$Re = \frac{\rho \times V_s \times d}{\mu} \quad \text{Eq. 4.3}$$

Onde:

Re = Número de Reynolds

ρ = densidade do fluido

V_s = velocidade de saída do fluido

d = diâmetro do bico extrusor

μ = viscosidade do fluido

4.1.3 Pressão e Potência Hidráulica – Deslocamento positivo

As bombas helicoidais podem ter diferentes números de estágio que estão diretamente relacionados com a pressão exercida dentro da câmara. O comprimento mínimo exigido para que se forme um estágio é o passo do estator. E conforme informações contidas no catálogo da IMBIL (2013), dependendo do número de passos as bombas desempenham as seguintes pressões:

Figura 30: Relação quantidade de estágios e pressão na bomba helicoidal.



Fonte: IMBIL, 2013.

Observando-se a Fig. 30, pode-se concluir que não há alteração na vazão de uma bomba com o número de estágios. Somente os limites de pressão são modificados com esse aumento (WEATHERFORD, 2008). Para reduzir o desgaste no bombeamento em meios abrasivos, deve-se empregar bombas que possuam um maior número de estágios e rotações menores. Para um melhor entendimento, a Tabela 05 a seguir apresenta a pressão máxima que pode ser obtida na bomba conforme seu diferente número de passos (IMBIL, 2013).

Tabela 05. Pressão máxima recomendada por estágio (kgf/cm²)

Nº de estágios	Não abrasivo	Levemente abrasivo	Muito abrasivo
1 estágio	6	5	3
2 estágios	12	10	6
3 estágios	18	15	9
4 estágios	24	20	12

Fonte: IMBIL, 2013.

Fluidos de baixa viscosidade podem ser bombeados por bombas pequenas em alta rotação, já fluidos altamente viscosos ou com alta percentagem de abrasivos devem ser bombeados a rotações menores, com bombas maiores (IMBIL, 2013). Embora a tinta *puff* caracterize um fluido viscoso, possui escoamento laminar e não abrasivo o que aliado à uma bomba de proporções reduzidas possibilita a aplicação de uma geometria formada por 1 estágio e, portanto, o trabalho com uma pressão hidráulica de até 6 kgf/cm². Minimizando possíveis perdas de carga durante o percurso e reduzindo a quantidade de material empregada no processo de a fabricação da bomba. Com base no que foi apresentado até aqui definiu-se a geometria da bomba helicoidal e suas cotas gerais que são apresentadas no apêndice A e cujo protótipo obtido por impressão 3D em PU é apresentado na Figura 31.

Figura 31: Protótipo da bomba helicoidal 1.



Fonte: Acervo da autora.

A pressão da bomba pode ser encontrada relacionando-se os valores dos parâmetros do eixo, do motor e da vazão da bomba com a área de saída (largura do filete). Nessa etapa

foram desconsideradas quaisquer perdas de carga ao longo do escoamento, apenas sendo considerada a potência da bomba/extrusora. Como o fluido vem de um tanque infinito aberto, a velocidade inicial é zero e para a altura inicial foi considerada a altura do parafuso 31,7 mm (Fig. A-6 do Apêndice A).

Na saída, foi considerado que a pressão é a pressão atmosférica, altura é zero e a velocidade é a velocidade de saída do fluido no bico. Sabe-se que a equação de Bernoulli se restringe a fluidos não viscosos e incompressíveis aplicados a escoamentos lineares não rotacionais, e, portanto, seu uso não é recomendado para este projeto. Mas, será utilizada apenas para obter-se uma noção da relação entre a pressão e a potência na bomba helicoidal. Portanto, os valores mostrados a seguir servem apenas como referência e por isso, não garantem um resultado exato para um projeto de bomba.

Assim, simplificando o princípio de Bernoulli, obtemos:

$$\left(\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} + g \times Z_0\right) + \left(\frac{P_S}{\rho} + \frac{V_S^2}{2} + g \times Z_S\right) = W_B \quad \text{Eq. 4.4}$$

Onde:

P_0 = pressão inicial

P_S = pressão de saída

ρ = densidade do fluido

V_0^2 = velocidade inicial

V_S^2 = velocidade de saída

g = aceleração gravitacional

Z_0 = altura inicial

Z_S = altura de saída

W_B = potência da bomba

Dessa maneira encontrou-se uma relação linear entre a Pressão e a potência da bomba de:

$$P_1 = [W_B / 1000 + 1,67 \times 10^{-5}] \text{ Pa} \quad \text{Eq. 4.5}$$

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 também como dado de entrada a velocidade angular do sistema de injeção de tinta

elaborado no projeto de mestrado, tem-se uma rotação de 0,54 rpm para o sistema de injeção da tinta.

$$W = T \times 2\pi \times \omega \quad \text{Eq. 4.6}$$

Onde:

W = Potência do motor

T = Torque do motor em Nm

ω = Velocidade angular em rps

Assim, utilizando-se a equação 4.6 obteve-se a potência do motor de valor 0,02327 W. Consequentemente:

$$P_1 = 3,997 \times 10^{-5} \text{ Pa} = 0,4275 \text{ kgf/cm}^2$$

Encontrada a relação entre a pressão no rotor e sua potência, pode-se partir 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. Então, serão adotados como dados de entrada:

Tabela 06. 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	0,000736 mm/s
Velocidade angular	0,54 rpm
Área transversal do bico extrusor	0,754 mm ²
Vazão	0,555 mm ³ /s
Número de Reynolds	0,047
Potência	0,02327 W
Pressão	0,4275 kgf/cm ²

Fonte: Autora.

4.2 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 (LAMECC), 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. Após 2 anos de hiato, espera e incertezas, somente agora, em 2022, o ensino das Universidades Federais começou a retomar suas atividades presenciais.

Nesse contexto, qualquer cronograma previsto tornou-se inválido e no início de 2021, ainda sem previsão de retomada das atividades presenciais nos laboratórios da UFRGS, 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. Foram alguns meses de busca até encontrar uma impressora 3D, de movimentação de mesa móvel no eixo Y e eixo X em pórtico elevado pelo eixo Z¹² que estivesse disponível para utilização.

Possuir um sistema apto para o controle tridimensional com um eixo extra de extrusão de material é uma característica de impressoras 3D que possibilitou seu uso para este experimento, podendo ainda, ser comandado independentemente ou simultaneamente ao movimento da máquina. A impressora 3D ainda possui um sistema de controle do motor semelhante ao de uma extrusora, por também trabalhar com um motor de passo e permite a utilização de diferentes ferramentas no eixo de extrusão (Z), assim, foi apenas necessário a criação de um flange e fiação com conectores compatíveis, para possibilitar acoplar a bomba helicoidal para os testes de impressão. Outra informação que vale destacar é que havendo a necessidade de pequenas correções e melhorias no projeto da bomba, sendo a máquina uma impressora 3D, tais adaptações também seriam passíveis de realização durante a fase experimental.

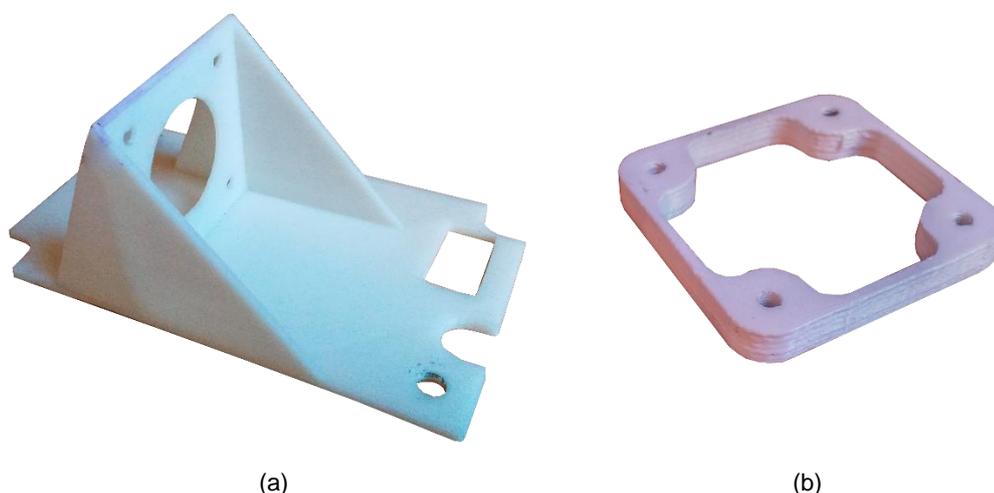
¹² Popularizado pela impressora RepRap Mendel e subsequentes evoluções como a impressora Prusa i3.

4.2.1 Peças e Bombas testadas

Entre os componentes utilizados na fase experimental, estão as peças que compõem o protótipo da bomba helicoidal (feitas por prototipagem rápida), um motor de passo NEMA 17 Hanpose 17HS4401, cabo de conexão, parafusos, porcas M3 e auto atarraxantes, bem como borracha para vedação.

Conforme mencionado anteriormente, para o posterior encaixe dos componentes na impressora 3D, foi criado um flange de suporte (Fig. 32a), impresso em plástico ABS de cor natural (branco). Também foi feito um separador que aumentou a altura entre o motor e o suporte (Fig. 32b), necessário devido ao comprimento do eixo do motor.

Figura 32: (a) Flange de suporte para a bomba; (b) Separador.



Fonte: Acervo da autora.

No entanto, 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. Uma imagem do conjunto impresso e montado pode ser vista na Figura 33.

Porém, este conjunto não apresentou 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, assim, o único fluxo de material foi decorrente de vazamentos.

Figura 33: (a) Bomba helicoidal impressa e montada; (b) Bomba helicoidal acoplada a impressora 3D.



(a)

(b)

Fonte: Acervo da autora.

Outro ponto negativo nesta versão do projeto foi a limpeza da bomba. Uma vez que ela não pôde ser esvaziada com sua própria pressão, devido à baixa performance do conjunto estator-rotor, e também por possuir uma construção totalmente fechada dificultando seu desmonte para limpeza. Então, partiu-se para modificações mais significativas no projeto original, desenvolvendo-se um novo conjunto de peças para a bomba helicoidal.

4.2.2 Bomba helicoidal 2

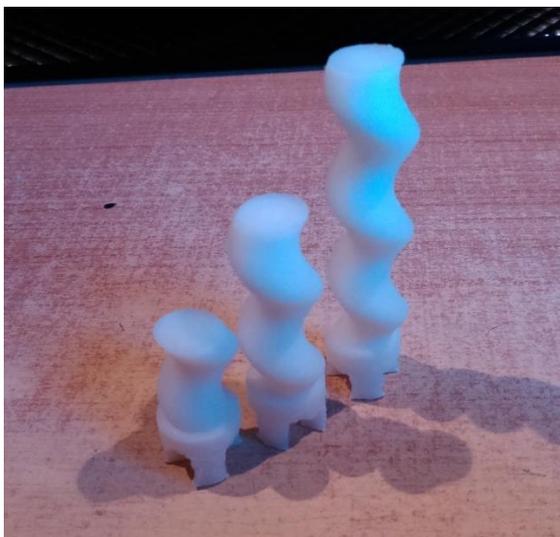
Um dos pontos previstos para esse novo conjunto foi um encaixe que permitisse a remoção do conjunto estator-rotor do motor de passo e flange, proporcionando um melhor acesso para limpeza.

Novos rotores e estatores de um, dois e três estágios foram impressos. Os novos rotores foram feitos em plástico ABS, com maior precisão de impressão, agora em camadas de 0,08 mm de altura (Fig. 34), otimizando a resolução se comparado a qualidade padrão de impressão das peças anteriores, com camadas de 0,2 mm de altura.

Para os estatores (Fig. 35) adotou-se a utilização de um material flexível, o TPU com dureza Shore A99, escolhido devido a sua melhor resistência a cargas de cisalhamento em relação ao plástico PLA utilizado anteriormente, fator importante visto que os novos estatores possuem tolerâncias muito menores, agora sem folga entre rotor e estator. Conferindo assim,

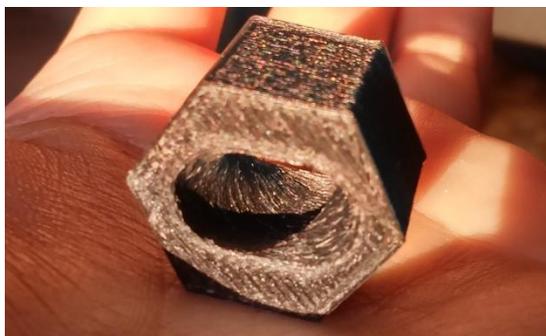
resistência mecânica, flexibilidade, e suficiente dureza ao estator para não deformar durante seu uso. Os estatores também foram impressos com camadas de 0,08 mm de altura, a fim de reduzir ao máximo a influência das linhas das camadas de impressão nos resultados.

Figura 34: Rotores impressos em ABS



Fonte: Acervo da autora.

Figura 35: Estator de 1 estágio, impresso em TPU.



Fonte: Acervo da autora.

Para que pudessem ser acoplados em suportes rígidos (Fig. 36), feitos em PLA branco, adotou-se um formato hexagonal para a parte externa dos estatores. Como tais suportes não necessitavam de uma maior precisão e qualidade de impressão, foram produzidos na resolução padrão de 0,2 mm de altura por linha impressa. A combinação destas peças impressas em materiais diferentes, permite um encaixe preciso, rígido com e garante a flexibilidade necessária ao estator. Característica que permite uma maior aproximação das qualidades de uma bomba helicoidal comercial.

Figura 36: Estatores e suportes



Fonte: Acervo da autora.

Esse novo conjunto foi montado da mesma forma que o sistema anterior, união por parafusos. Durante o teste e montagem destes componentes foi encontrado uma dificuldade de alinhamento dos dentes do eixo móvel com o acoplamento do motor, então, o mesmo foi redesenhado de forma a favorecer um autoalinhamento. Assim, um novo acoplamento e eixo móvel foram feitos, conforme a Figura 37.

Figura 37: Novo eixo móvel e seu encaixe de acoplamento ao eixo do motor.



Fonte: Acervo da autora.

A fim de garantir maior firmeza e estabilidade, também foi desenvolvido (em PLA) um outro encaixe para o motor e a câmara de abastecimento, com a utilização de parafusos manuais M5 e porcas inseridas no interior do componente plástico (Fig. 38).

Figura 38: (a) Sistema de encaixe do motor com o suporte do estator; (b) Novo sistema montado.



(a)

(b)

Fonte: Acervo da autora.

Os primeiros testes com o novo conjunto rotor-estator apresentaram uma extrusão de tinta muito além do esperado, em excesso (Fig. 39). Com isso, comprovou-se que a bomba possuía capacidade para expelir o material, porém não foram obtidos resultados satisfatórios com 1 estágio. Após redução considerável da quantidade de material em extrusão, a bomba passou a pulsar constantemente. Isso pode ser explicado devido à geometria da bomba, que com apenas um estágio acaba por criar um vão aberto entre a entrada e a saída. Embora haja ao mínimo uma câmara fechada no total, qualquer mínimo desalinhamento do rotor acaba por deixar um vão que permite a passagem de fluido bombeado de volta para a área de sucção, de forma parecida com o que ocorria na versão anterior da bomba helicoidal, com o estator rígido (em virtude das folgas existentes entre rotor e estator).

Figura 39: Resultado da impressão utilizando a bomba helicoidal 2 com rotor e estator de 1 estágio.¹³

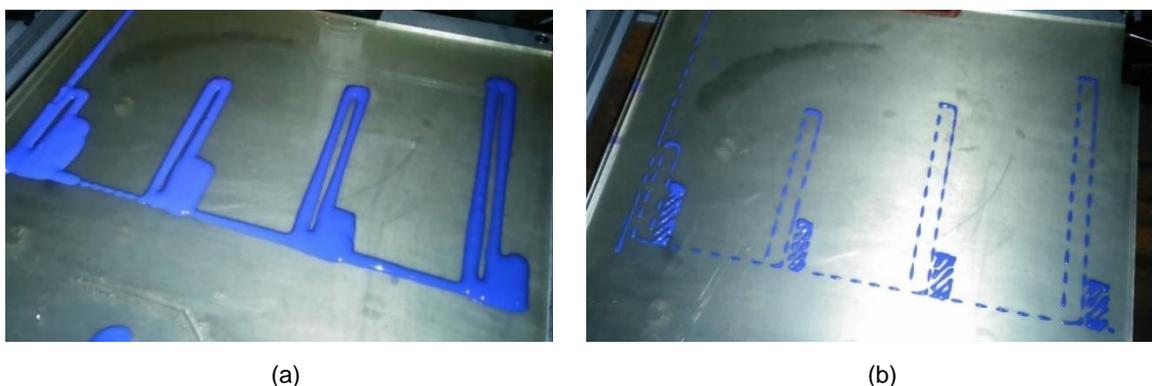


Fonte: Acervo da autora.

¹³ Teste de impressão inicial feito diretamente sobre a mesa de vidro, pois, de fácil limpeza propicia a redução de desperdício de papel durante a calibragem.

Este efeito, porém, tende a reduzir com o acréscimo de mais um estágio (ao mínimo), assim como permite um alinhamento melhor do rotor dentro do estator. Então, foram realizados testes com rotor e estator de 2 estágios. Os resultados foram significativamente melhores (Fig. 40a), mas, a extrusão excessiva ainda era perceptível. Então, calculou-se novamente o valor da vazão de tinta (extrusão), desta vez utilizando-se o volume interno do estator e volume externo do rotor (os cálculos serão apresentados posteriormente no subitem 4.2.3 – pag. 108). Com os novos valores de extrusão, ainda com certo excesso, foram obtidos resultados melhores. No entanto, tentativas de calibrar novamente a extrusão, alterando-se as variáveis de entrada para redução da espessura das linhas (vazão) não obtiveram resultados de impressão satisfatórios (Fig. 40b).

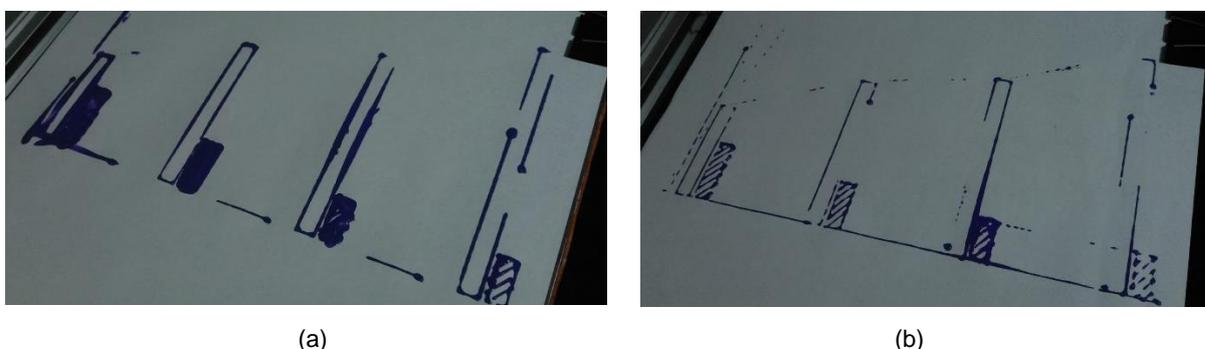
Figura 40: Resultados utilizando a bomba helicoidal 2 com rotor e estator de 2 estágios. (a) Excesso de tinta na extrusão/impressão; (b) Impressão após alteração nos parâmetros de entrada.



Fonte: Acervo da autora.

Os resultados da impressão feita em papel foram igualmente variáveis, conforme pode ser observado nas figuras 41a e 41b. Como ainda se percebia uma “pulsação” nos traços retos, prosseguiu-se para o teste com 3 estágios.

Figura 41: Resultados da impressão em papel utilizando a bomba helicoidal 2 com rotor e estator de 2 estágios. (a) Excesso de tinta e falta de uniformidade no traço; (b) Reduzir a vazão de tinta não melhorou a uniformidade.



Fonte: Acervo da autora.

Novas revisões foram feitas ao sistema. Como os parafusos manuais ficavam constantemente no caminho durante o carregamento da tinta pelo duto de entrada, uma nova peça com um duto de entrada mais afastado foi criada. Nesta peça, ainda foram feitas algumas alterações de geometria para evitar o acúmulo de tinta em sua parte de trás, algo que ocorria no projeto inicial. Um novo eixo móvel em formato cônico é parte das modificações feitas para evitar o acúmulo da tinta. Com esta peça também foi facilitada a montagem do conjunto ao novo suporte do estator de 3 estágios (Fig. 42).

Figura 42: Bomba helicoidal com rotor e estator de 3 estágios.



Fonte: Acervo da autora.

No entanto, embora as novas modificações tenham tornado desta a melhor versão da bomba até o momento (em termos de otimização dos processos de montagem e limpeza), a mesma apresentou uma constância nos problemas de pulsação nas linhas impressas. Deve-se destacar que o aumento do atrito entre o estator e o rotor foi significativo com o aumento dos estágios, assim, foi necessário aumentar a corrente entregue ao motor de 800mA para 1000mA (ainda dentro dos limites do motor). O rotor resistiu aos testes a seco e com tinta, porém se quebrou ao desmontar o sistema no final dos testes (Fig. 43).

Figura 43: Rotor de 3 estágios quebrado (sistema de encaixe ao suporte do motor aparece separado).



Fonte: Acervo da autora.

4.2.3 Recálculo da Vazão

O volume de extrusão por rotação da bomba foi calculado como a diferença de volume entre o interior do estator e do rotor, para um estágio. Como a bomba desloca um estágio completo por rotação, foi assumido este método para o cálculo de extrusão. Este valor de volume de extrusão por rotação foi então convertido para o equivalente percentual de extrusão de tinta da bomba helicoidal acoplada a impressora 3D. Este valor percentual foi adicionado como uma redução de extrusão no software *Ultimaker Cura* para processamento da figura a ser desenhada.

Estes volumes (cavidade do estator e externo do rotor) foram obtidos por propriedades do objeto tridimensional no software *Trimble SketchUp*, onde os rotores e estatores foram refeitos.

Assim:

$$V_{estator} = 2075,096128 \text{ mm}^3$$

$$V_{rotor} = 992,980817 \text{ mm}^3$$

$$V_{deslocado} = 1082,115311 \text{ mm}^3$$

Onde:

$V = \text{volume de extrusão (ou taxa de saída de material/tinta)}$

Os seguintes cálculos foram usados para se determinar a quantidade de material extrudado por rotação do motor pela extrusora na impressora 3D, a fim de estabelecer a relação percentual.

Onde:

Filamento: 1,75mm de diâmetro

Micro-passos do motor por mm de material: 100

Micro-passos por volta do motor: 800

Tem-se:

mm de material extrudado por volta do motor:

$$800/100 = 8 \text{ mm}$$

Volume de material por volta do motor:

$$(1,75/2)^2 \pi \times 8 = 19,2423 \text{ mm}^3$$

Percentual de extrusão:

$$(19,2423/1082,1153) \times 100 = 1,778\%.$$

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 (já relativamente baixa em uma impressão 3D de alta velocidade), acabou por ultrapassar o limite de precisão do conjunto motor de passo e seu driver. Seria uma possibilidade de ajuste aumentar a resolução do motor por meio de interpolação de passos (conhecido como *microstepping* ou micropassos), porém, o motor em questão já operava com interpolação de 4x, qualquer acréscimo nesse valor, sem controle posicional (como é o caso do motor utilizado), é de mínima ou nenhuma vantagem real, especialmente considerando-se as tolerâncias posicionais de qualquer motor de passo, principalmente em conjunto com as tolerâncias dimensionais, linhas de camadas e pontos de início/fim da impressão 3D.

Assim, como o motor sequer movia um micropasso por uma distância de aproximadamente 2mm, visto que cada micropasso do motor deslocaria 1,35 mm³ de material. Constatou-se que a bomba exigia uma precisão mecânica muito além do viável para protótipos como este, feitos em material polimérico e em escala tão reduzida.

4.2.4 Bomba injetora 3 – Deslocamento linear de êmbolo

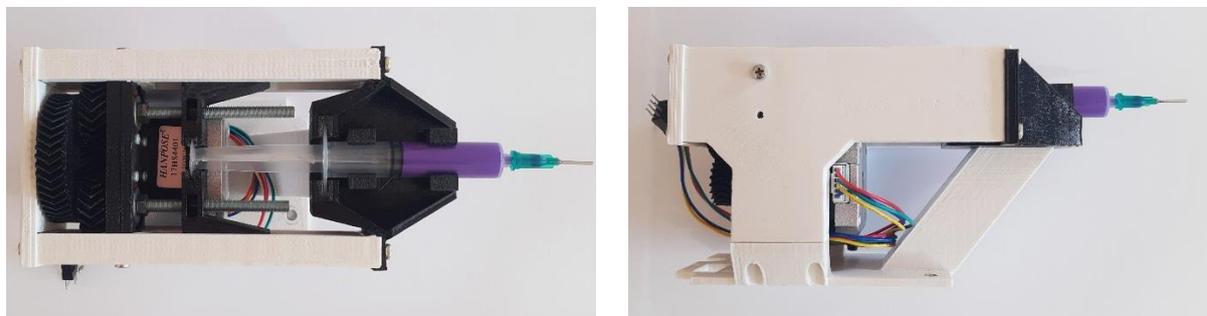
Vista a exigência mecânica acima do viável, partiu-se para um novo projeto de injetora de tinta, agora baseada na movimentação linear de um êmbolo (Fig. 44), semelhante ao que foi desenvolvido pela autora em sua dissertação de mestrado (COLPES, 2014).

O sistema foi pensado para resolver o problema de resolução do motor, sendo diretamente compatível com o volume de extrusão da extrusora *E3D Titan clone* utilizada na máquina e sem multiplicadores de extrusão configurados separadamente.

O mecanismo desenvolvido (Fig. 44) utiliza engrenagens *herringbone*, ou helicoidais duplas (Fig. 45), 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. A seringa é fixada na extrusora com encaixes flexíveis (TPU

Shore A99) que conferem maior segurança a mesma, tanto ao corpo como ao êmbolo. As peças pretas foram feitas em polímero PETG e as brancas em polímero PLA.¹⁴

Figura 44: Extrusora de tinta com utilização de êmbolo. (a) Vista superior; (b) Vista lateral.



(a)

(b)

Fonte: Acervo da autora.

Figura 45: Engrenagem helicoidal dupla.



Fonte: Acervo da autora.

A redução de engrenagens é formada por uma engrenagem de 20 dentes acoplada ao motor, engatada em uma engrenagem de 48 dentes. Esta engrenagem de 48 dentes tem em

¹⁴ Os materiais foram escolhidos conforme as forças constantes aplicadas na peça: para cargas constantes maiores utiliza-se o PETG, pois se comparado ao PLA possui maior resistência a deformação plástica em relação ao tempo de aplicação de carga. O plástico PLA foi aplicado para as demais peças devido à facilidade de uso do mesmo e suas boas propriedades mecânicas em cargas variáveis (não havendo impacto). O contato direto com o motor também necessita de um polímero que resista à temperatura de operação sem deformação. O PLA resiste a temperaturas até 60°C sem que haja deformações e amolecimento do plástico. O PETG resiste até 80°C, e o ABS até 100°C sem deformações. O motor em trabalho constante pode chegar a 60°C, assim, para garantir uma margem de segurança aplicou-se o plástico PETG nas peças que teriam contato direto com o motor.

seu eixo uma engrenagem de 10 dentes (na mesma peça – Fig. 45), esta engrenagem de 10 dentes move duas engrenagens de 20 dentes, uma de cada lado, cada uma acoplada a barra roscada M5 que possui um passo de rosca de 0,8mm por volta. A redução total do sistema de engrenagens é de 4,8:1.

Na peça que move o êmbolo da seringa foi fixada uma porca para cada barra. E essa peça possui um formato que favorece o encaixe do êmbolo nas laterais de suporte da injetora, formando uma espécie de trilho. Para uma boa performance deste trilho, foi utilizado o comando “Ironing” no *Slicer Cura 4.9.0* para produção dessas peças em impressão 3D, proporcionando uma superfície superior lisa, com pouca ou nenhuma necessidade de ajustes pós-processamento (acabamento). Rolamentos 608 foram utilizados para suportar as barras roscadas e engrenagens finais, para que não houvesse excessivo desgaste do material plástico durante o uso da injetora.

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.

O sistema foi projetado para utilização de uma seringa de 13,6mm de diâmetro externo, com 60mm de movimentação máxima para o deslocamento linear do êmbolo. A relação entre o movimento linear e rotacional é de:

$$0,8/4,8 = 0,16666\text{mm/volta}$$

O sistema foi calculado utilizando-se o volume indicado na seringa (ml) e a distância deslocada do êmbolo. Como a seringa tem um diâmetro interno de 11,5mm, a área do êmbolo é dada por:

$$(11,5/2)^2 \times \pi = 106,8689\text{mm}^2$$

Com isso temos o volume de material injetado para cada volta:

$$0,166666 \times 106,8689 = 17,3115\text{mm}^3$$

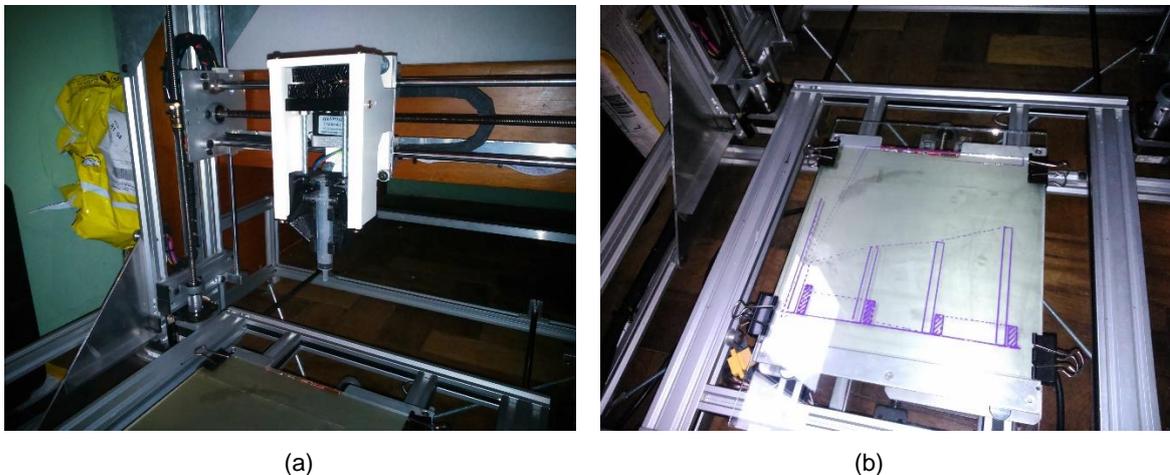
Que se comparado ao volume da extrusora *Titan* da impressora 3D, tem-se:

$$17,3115/19,2423 = 0,8996, \text{ aproximadamente } 90\%.$$

O valor obtido se aproxima tanto do padrão de quantidade de material extrudado pela impressora 3D quando em operação com a extrusão de filamentos poliméricos, que considerou-se ser possível que a precisão esperada pelo sistema fosse a mesma. Destaca-se também que a injetora que utiliza a seringa não necessitou de calibrações adicionais em termos de fluxo de material.

Os resultados dos testes iniciais com essa injetora apresentaram melhora em comparação aos resultados anteriores obtidos com a bomba helicoidal, porém, ainda se observou pulsação nas linhas obtidas. Ao examinar a bomba, se percebeu que haviam bolhas de ar no interior do reservatório. Após removidas as bolhas (descarregando a tinta e recarregando com cuidado maior), essa pulsação foi eliminada. Na produção de um desenho de linha contínua, com espessura consistente e uma mínima quantidade de falhas pode-se dizer que os resultados obtidos com a nova bomba foram promissores (Fig. 46b).

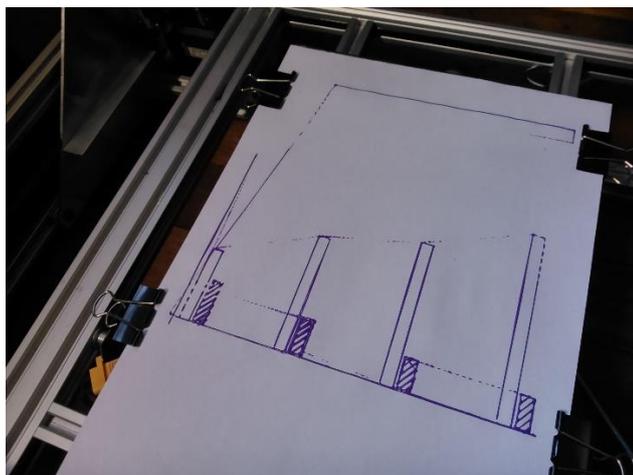
Figura 46: (a) Extrusora com seringa acoplada na impressora 3D;
(b) Resultado de teste de impressão.



Fonte: Acervo da autora.

As linhas pontilhadas entre as barras se devem ao fato de a cabeça de impressão não se levantar durante o movimento para o próximo passo de extrusão, o que pode ser corrigido com o comando “Z-hop” no software *Ultimaker Cura*, porém esta opção não é aplicável quando se utiliza o *plugin* responsável por traduzir as imagens .SVG para as instruções de máquina. Posteriormente isso foi feito manualmente no código G enviado para a impressora. Prosseguiu-se então para o teste em papel (Fig. 47).

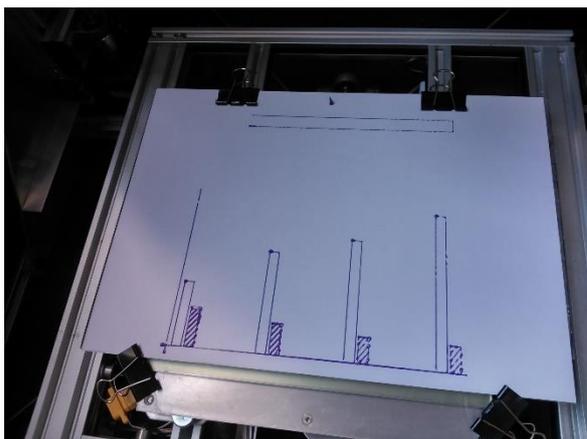
Figura 47: Resultado de teste de impressão em papel com a utilizando a bomba 3.



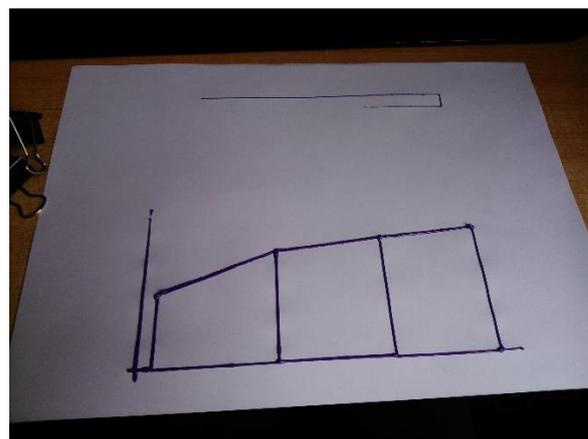
Fonte: Acervo da autora.

Embora os resultados sejam melhores quando comparados ao 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/m², os testes anteriores foram em papel de gramatura padrão 70g/m²). Entretanto, a melhora não foi significativamente superior conforme pode ser observado na Figura 48 a seguir.

Figura 48: Resultados de testes de impressão em papel de gramatura 120g/m².
(a) Gráfico em barras; (b) Gráfico de linhas.



(a)



(b)

Fonte: Acervo da autora.

Dois softwares “*slicer*” foram testados para melhorar a resolução e precisão no traço, tanto o *Ultimaker Cura* anteriormente mencionado, quanto o software *PrusaSlicer*. Mas, os resultados obtidos não tiveram melhoras significativas na qualidade.

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. 48a). 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/injeção da tinta acrílica de propriedades expansivas ao calor (tinta puff) foram concluídos.

Constatou-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 em alto relevo. Porém, vale salientar que essa inadequação se dá para resultados dentro dos parâmetros definidos na normatização de materiais didáticos para cegos (NBR 9050, 2020) no que confere a altura e espessura de traços para desenhos em alto relevo. Assim, considera-se que caso esses limites não fossem tão estritos, a bomba injetora 3 (deslocamento linear de êmbolo) poderia sim, conferir a obtenção de desenhos mais satisfatórios.

4.2.5 Impressão com TPU

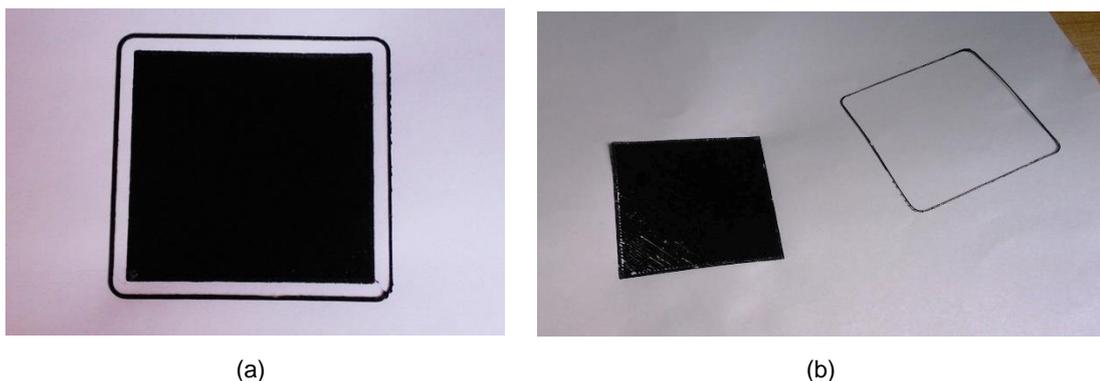
Diante dos resultados negativos na obtenção de um cabeçote de impressão de gráficos em alto relevo que utilizasse a tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor, buscou-se uma solução alternativa na obtenção desses gráficos, ainda buscando atender aos parâmetros exigidos pela NBR 9050 (2020).

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/mm², com a máquina em sua configuração de impressora 3D.

Inicialmente, utilizou-se as configurações de impressão padrão do material com cobertura de polímero PEI, temperatura de impressão a 230°C, temperatura da mesa de

impressão a 50°C e bico de impressão de 0,4 mm. O material foi impresso e não foi observado qualquer problema ou avaria na folha de papel. Tratando-se apenas de um teste adesão, foi impresso um quadrado de 50x50mm com uma linha de expurgo de material à sua volta (Fig. 49a). A impressão se soltou facilmente da folha (Fig. 49b), comportamento desejado após a impressão de uma peça de uso comum, porém não para o teste em questão.

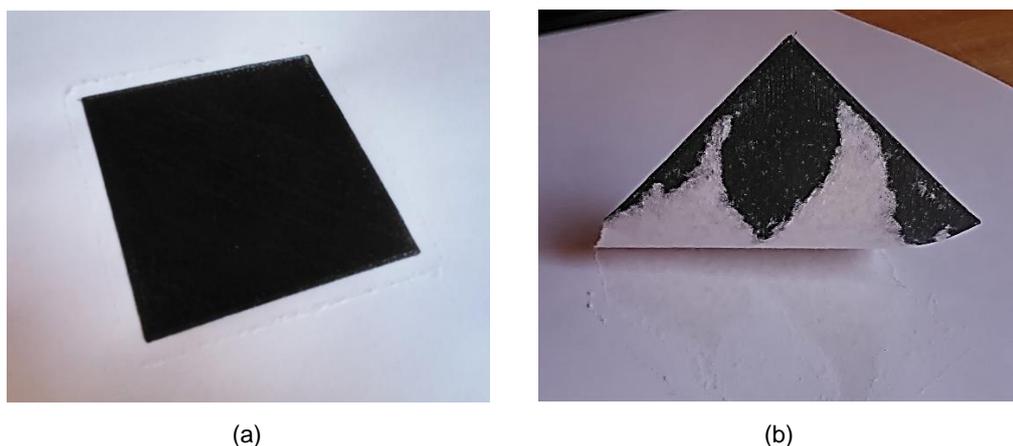
Figura 49: Teste de aderência do TPU na folha offset. (a) Quadrado impresso; (b) Com as configurações padrão de impressão, não aderiu totalmente à folha.



Fonte: Acervo da autora.

Então, aumentou-se a temperatura da mesa de impressão para 80°C (valor superior ao recomendado pelo fabricante do material).¹⁵ Este ajuste conferiu resultados de aderência satisfatórios (Fig. 50).

Figura 50: (a) Remoção da linha de expurgo; (b) Remoção do quadrado impresso.



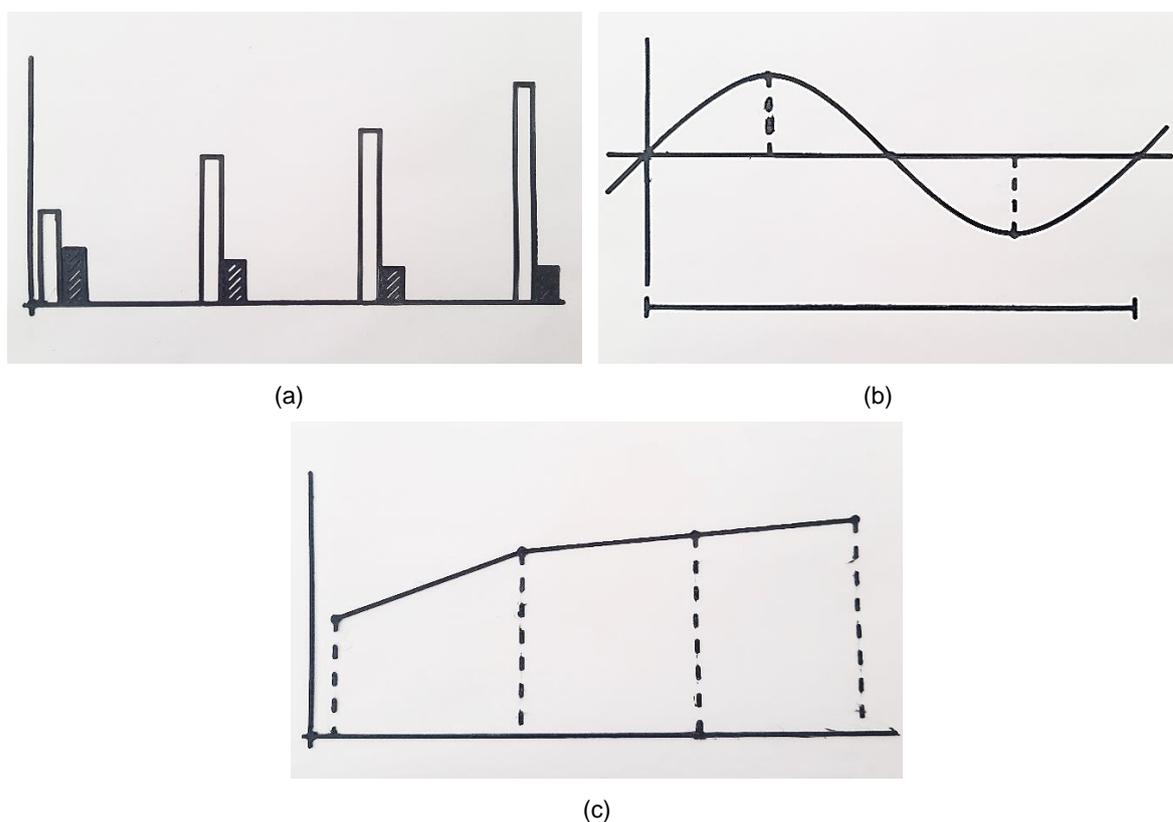
Fonte: Acervo da autora.

¹⁵ Neste caso, elevou-se este valor para além do recomendado pois, o intuito era de que o material estivesse o mais fixo possível à base.

Tanto a remoção da saia de expurgo ao redor do quadrado impresso (Fig. 50a), quanto a tentativa de remoção do próprio quadrado acabaram rasgando a folha (Fig. 50b). Com isso, confirmou-se a viabilidade de partir para os testes de impressão dos gráficos em relevo (Fig. 51).

Os gráficos da Figura 51 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).

Figura 51: Resultado da impressão dos três modelos de gráficos com TPU.
(a) Gráfico de barras; (b) Gráfico em curva – seno; (c) Gráfico de linhas.

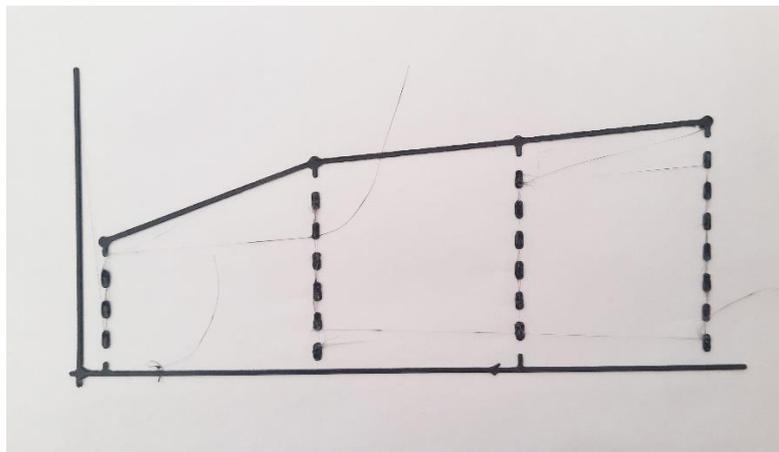


Fonte: Acervo da autora.

Os gráficos da Figura 51 foram registrados após a realização de uma limpeza, pós impressão, para a retirada de algumas rebarbas inerentes ao processo de impressão 3D (Fig. 52) 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. Com a utilização do bico de impressão de 0,4mm podem ser obtidas linhas mais finas ou mais grossas, e este também pode ser substituído por bicos mais finos ou mais grossos conforme necessidade.

Figura 52: Rebarbas e “teias” de impressão para limpeza.



Fonte: Acervo da autora.

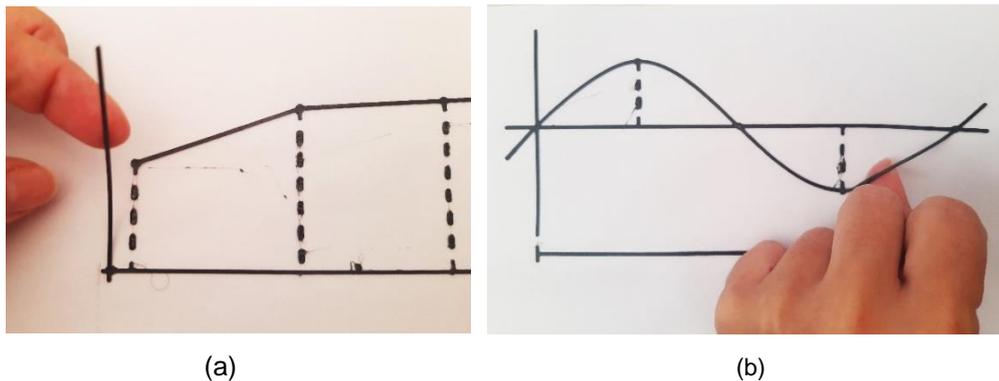
O fluxo volumétrico de material foi de $2,16\text{mm}^3/\text{s}$, velocidade de impressão de 20mm/s , como foi utilizado o bico de impressão de $0,4\text{mm}$ de espessura, cada traço do desenho era composto por 3 linhas de impressão (cada linha do desenho é composta por múltiplas linhas de impressão). 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 16 min, o do seno em 9 min e o gráfico de linhas em 12 min.

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

1. Para que o relevo em TPU se mantenha fixo na folha, é necessário aguardar por cerca de 10 minutos 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 (Fig. 53).
2. 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).

3. Esta observação é válida para todos os ensaios realizados, inclusive os com a utilização da tinta puff. 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.

Figura 53: Resultado da impressão sem aguardar o resfriamento da mesa para remoção da folha.
(a) Eixo "y" do plano cartesiano descolando da folha no gráfico de linhas;
(b) Curvatura do seno descolando da folha.



Fonte: Acervo da autora.

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. Podendo conferir maior celeridade na produção destes desenhos e o que é melhor, atendendo aos padrões técnicos exigidos. No entanto, aqui é apontado um novo caminho a ser explorado, uma brecha para que futuros estudos venham a se desenvolver nessa área.

4.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De forma a sintetizar os resultados obtidos na fase experimental, pode-se dizer que o primeiro projeto da bomba helicoidal não conseguiu produzir uma linha visível e constante, pois, não foi capaz de bombear a tinta em nenhuma velocidade do motor, independentemente do período de tempo decorrido. Observou-se que isso ocorreu em função da baixa qualidade na impressão das primeiras peças do protótipo e à algumas falhas dimensionais que foram corrigidas nos modelos que se seguiram.

Por isso, o protótipo foi reavaliado e impresso, alterando-se o material para ABS e buscando-se otimizar a qualidade de impressão das peças. Nessa versão buscou-se também unir as características do TPU na impressão da parte interna dos estatores, conferindo resistência mecânica e flexibilidade. Embora essa versão tenha apresentado algumas melhoras significativas no que tange à qualidade das peças, processo de montagem e limpeza, a mesma apresentou problemas de pulsação nas linhas impressas que foram constantes mesmo alterando-se alguns parâmetros de entrada. Constatou-se que para uma mesma tarefa, o motor da bomba girava apenas uma pequena fração do que giraria se operasse em uma extrusora de proporção usual. Assim, como o motor sequer movia um micropasso por uma distância de aproximadamente 2 mm, concluiu-se que essa bomba exigia uma precisão mecânica além do viável para este tipo de protótipo.

Diante desses resultados, resgatou-se a ideia de utilização de uma bomba peristáltica semelhante à trabalhada pela autora em sua pesquisa de mestrado, mas, desta vez sem a reutilização ou adaptação de sucatas eletrônicas e sim com peças e componentes obtidos especificamente para o desenvolvimento desse protótipo. Assim, partiu-se para o projeto de uma injetora de tinta baseada na movimentação linear de um êmbolo. Embora os resultados tenham sido melhores quando comparados ao obtidos com a bomba helicoidal, essa melhora não conseguiu atender aos padrões técnicos da NBR 9050 (2020) para desenhos em relevo. A espessura do traço acabou por variar durante a impressão. Um outro problema que não pôde ser solucionado foi a presença de uma bolha de tinta no início de cada traço do desenho. Nem mesmo a utilização de retração de material ao final dos desenhos foi capaz de solucionar o problema. Pois, sendo o material muito viscoso não retornou ao reservatório 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*.

Assim, concluiu-se que o comportamento da tinta puff durante toda a fase experimental demonstrou não ser favorável para essa automatização da produção dos gráficos em relevo, dentro dos parâmetros de altura e espessura de traço estabelecidos na normatização de materiais didáticos para cegos (NBR 9050, 2020). Talvez, se os parâmetros fossem outros o resultado poderia ter sido diferente, basta lembrar que essa tinta ainda é uma das alternativas mais utilizadas por Centros de Apoio na produção manual de gráficos e desenhos em alto-relevo com este fim didático. No entanto, esta avaliação fugia aos requisitos estabelecidos para esta tese.

Foi proposto o desenvolvimento de um cabeçote de impressão e ao final, foram desenvolvidos três. Foram três alternativas que precisaram ser pensadas, projetadas, produzidas, testadas, avaliadas e em alguns casos remodeladas até chegar-se à conclusão de que pelo nível de precisão e características de plasticidade da própria tinta a continuação, dentro dos parâmetros estabelecidos, não era viável. O que já nos apresenta vários resultados e poderia ser a conclusão desta tese.

Mas, na busca por uma continuidade e por sanar a questão que foi o cerne de inspiração para o desenvolvimento deste trabalho – oportunizar a produção de materiais didáticos em relevo de forma ágil e conferindo um padrão de uniformidade nos traços dos desenhos, pensou-se que a partir dos resultados obtidos, ou mudava-se o material de deposição para a confecção dos desenhos, a tinta; ou partia-se para um caminho livre dos parâmetros normativos. A segunda opção poderia até ser promissora diante do histórico de aplicação da tinta *puff* em produções de gráficos em alto-relevo desenhados à mão livre. Mas, foge aos critérios científicos pré-estabelecidos para essa tese de Doutorado, então, baseado em características observadas no comportamento do filamento de TPU durante a fase experimental, resolveu-se fazer mais um teste.

Tal possibilidade partiu de uma nova aplicação para impressões em filamento de TPU, adaptando-se suas configurações de entrada no que se refere à temperatura, a fim de deixá-lo plástico o suficiente para aderir à folha de papel. Tal aplicação, como mencionado anteriormente, apresentou resultados promissores para a obtenção dos referidos gráficos em relevo dentro dos padrões normativos. E certamente pode configurar um projeto de estudos para trabalhos futuros, explorando, investigando e detalhando melhor a solução apontada, buscando entender melhor o comportamento do material, conhecendo e trabalhando seus limites de plasticidade, testando novos papeis ou materiais de apoio... Por fim, uma nova linha de estudos se apresenta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como resultado o crescente número de alunos com deficiência matriculados em instituições regulares de ensino, em especial alunos cegos ou com baixa visão, movimento que foi favorecido pelos programas de inclusão implantados pelo Governo Federal. Deparou-se com a realidade de uma implementação necessária, porém, que ocorreu de forma precipitada no Brasil, principalmente no que diz respeito ao planejamento para: adequação de estrutura das escolas, fornecimento de tecnologias e materiais didáticos adequados e capacitação profissional do quadro docente para o recebimento deste público.

A fundamentação teórica e experiências prévias, possibilitaram compreender melhor o histórico da educação de cegos no Brasil e estas adversidades ainda presentes. Dentre as barreiras encontradas, deparou-se com a lacuna do ensino-aprendizagem de gráficos matemáticos para alunos cegos que tem no relevo a sua melhor forma de representação para este público. Entretanto, na prática, estes gráficos são na maioria das vezes adaptados manualmente com tinta acrílica de relevo por centros de apoio, pedagogos e profissionais de Educação Especial, à exemplo do que ocorre com a transcrição de livros para o Braille. As desvantagens vão de demora na entrega do material (demanda maior tempo para adaptação), ausência de padrão entre as ilustrações à falta de uniformidade no traço.

Na intenção de atender esta lacuna tanto do ponto de vista científico, quanto de mercado, este projeto buscou desenvolver um cabeçote de impressão que pudesse ser acoplado a impressoras 3D ou sistemas CNC como meio de automatizar o processo de produção de gráficos em alto-relevo a fim de agilizar a adaptação de materiais didáticos para pessoas cegas e conferir uniformidade aos desenhos.

Foram desenvolvidos três protótipos de bombas extrusoras para desempenharem a função de cabeçote de impressão com a tinta de emulsão acrílica de propriedades expansivas ao calor (tinta puff), no entanto, nenhum deles obteve resultado satisfatório para os parâmetros estabelecidos na normatização técnica. Como os resultados na fase experimental foram bem diferentes do previsto em toda a pesquisa, constatou-se que as bombas exigiam uma precisão mecânica muito além do viável para protótipos em escala tão reduzida.

Provavelmente, as convenções feitas no que tange ao comportamento da tinta, às propriedades e ao desempenho das bombas, acumularam incertezas que culminaram no resultado não satisfatório obtido. Uma delas foi esperar que mecanismos impressos em

polímeros, como PLA ou ABS, apresentassem resultados semelhantes à dispositivos fabricados em aço ou outros metais nobres. Entende-se que há uma diferença de rugosidade entre esses materiais, bem como de acabamento e propriedades ao comparar produtos impressos em 3D com peças usinadas.

Essa escolha pela prototipagem rápida além de possuir uma razão econômica, dado que a maioria dos produtos que envolvem tecnologia assistiva possuem valor elevado, dificultando seu acesso e manutenção. Também ocorreu por já ser uma alternativa difundida e bastante utilizada para a obtenção de mecanismos de extrusão e injeção semelhantes, que possibilitam a impressão nos mais variados tipos de materiais, alguns tão viscosos quanto a tinta puff – chocolate, cerâmica, panqueca, entre outros. A questão é que nas impressões realizadas com esses fluidos não havia uma limitação tão precisa e estreita para a espessura e a altura do traço, ou seja, não havia a necessidade de uniformidade nas linhas obtidas. Mesmo motivo pelo qual os desenhos à mão livre feitos com a bisnaga da tinta puff apresentaram resultados mais satisfatórios na obtenção de formas, do que os experimentos com as bombas de extrusão e injeção.

Um outro problema que não pôde ser solucionado durante a fase experimental, foi a presença de uma bolha de tinta no início de cada traço do desenho. Nem mesmo a utilização de retração de material foi suficiente para solucionar o problema. A tinta puff parece se comportar de forma plástica e compressiva ao sofrer uma força que a impulsiona por um orifício tão pequeno, resultando na bolha inicial ou no efeito *splash* devido à entrada de ar. Assim, concluiu-se que o comportamento da tinta *puff* durante toda a fase de testes denotou que seu uso não é favorável para a automatização na produção de gráficos em alto-relevo, dentro dos parâmetros estabelecidos para a altura e a espessura do traço definidos na normatização de materiais didáticos para cegos (NBR 9050, 2020).

Diante disso e da imprevisibilidade ocasionada pela pandemia da COVID-19, qualquer cronograma estabelecido não pôde ser cumprido. Assim como, os passos posteriores de validação (Fases de Avaliação e Realização previstas na Metodologia) do projeto com medições e estatística. Pois, não se obteve um protótipo que gerasse resultados para tal.

Embora a hipótese não tenha se confirmado, conseguiu-se chegar a uma possível alternativa percebida durante a fase experimental. Apresentando uma nova aplicabilidade a partir da utilização do filamento de TPU flexível (de forma adaptada), aquecendo-se mais o material a fim de deixá-lo plástico e viscoso a tal ponto que grudasse na folha de papel offset.

Desta forma, conseguiu-se obter a impressão dos três gráficos relacionais dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 9050 (2020), com 0,8 mm de altura do relevo e espessura (largura) do traço de 1,2 mm, apresentados anteriormente na Figura 51.

Embora essa alternativa tenha algumas diretrizes que precisam ser seguidas para que o resultado seja satisfatório, como:

- 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.
- Aguardar o resfriamento da mesa por cerca de 10 minutos para que diminua a plasticidade do TPU e garanta que o relevo tenha maior aderência se mantendo fixo a folha.
- O papel deve estar o mais nivelado e fixo possível à mesa de impressão. Talvez, a utilização de gramaturas maiores de 90 g/mm³ favoreçam para que a dilatação no papel (pós aquecimento da mesa), não crie pequenas ondulações que podem resultar em falhas na impressão.
- É necessário realizar uma etapa de acabamento, pois, formam-se pequenas rebarbas de TPU que podem ser facilmente removidas com o auxílio de um pequeno alicate de corte.

Ainda assim, considera-se que essa proposição apresentou uma alternativa promissora para a adaptação de materiais didáticos em alto-relevo para cegos, podendo servir como base para um estudo mais aprofundado de sua aplicabilidade, com a realização de mais testes em relação à temperatura de aquecimento do TPU e a verificação de se o padrão é mantido, que pode ser feita através da aplicação de métodos estatísticos para validação de experimentos. Fica aqui como sugestão para futuros estudos que venham a se desenvolver nessa área, de forma a garantir maior celeridade e padronização em sua confecção.

REFERÊNCIAS

- ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2007.
- 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 Técnicas, 2020.
- ACRILEX, **Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ)**. 2015. Disponível em: <acrilex.com.br>. Acesso em abril de 2019.
- ALHO, S. **A educação matemática para alunos com deficiência visual: como se inscreve na formação de professores**. Trabalho de Conclusão, Universidade de Brasília, Faculdade de Educação, Licenciatura em Pedagogia, Brasília – DF, 2011.
- 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.
- AMARO, M. F. **Estudo Comparativo de Tintas para Fachadas - Volume I**. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2007.
- AMERICAN THERMOFORM, **Swell Touch Paper**. Disponível em: <<https://americanthermoform.com/product/swell-touch-paper/>>. Acesso em março de 2023.
- ANJOS, C. *et al.* **A educação especial na perspectiva da inclusão escolar: os alunos com deficiência visual: baixa visão e cegueira**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- ARAUJO, E. G. **O tratamento da informação nas séries iniciais: Uma proposta de formação de professores para o ensino de gráficos e tabelas**. Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica. UFSC, Florianópolis - SC, 2008.

BENEDETTO, I. **Contribuições metodológicas para o desenvolvimento de produtos em tecnologia assistiva**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Design, Porto Alegre, RS, 2011.

BERSCH, R. **Design de um serviço de tecnologia assistiva em escolas públicas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Design, Porto Alegre, RS, 2009.

BIN LIU *et al.* **Research on the micro-extrusion characteristic of mini-screw in the screw extruding spray head**, Bulletin Polymer, v. 64, april 2010.

BOTAS, D. & MOREIRA, D. **A utilização dos materiais didáticos nas aulas de Matemática - Um estudo no 1º ciclo**. Revista Portuguesa de Educação, 2013, 26(1), p. 253-286.

BRAGA, D. **Uma interface humano-máquina para leitura de documentos digitais por deficientes visuais**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Pernambuco, Engenharia da Computação, Recife – PE, 2010.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais. 1ª a 4ª série**, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Fundamental – Brasília: MEC/SEF, 1997.

_____, **Programa de Capacitação de Recursos Humanos do Ensino Fundamental: deficiência visual** vol. 1 fascículos I – II – III / Marilda Moraes Garcia Bruno, Maria Glória Batista da Mota, colaboração: Instituto Benjamin Constant.

_____. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, 2001.

_____. Decreto n. 6.571, de 17 de set. de 2008. **Dispõe sobre o atendimento educacional especializado**, Brasília,DF, set 2008.

_____. Decreto n. 7.611, de 17 de nov. de 2011. **Dispõe sobre a educação especial, o atendimento educacional especializado e dá outras providências**, Brasília,DF, nov 2011.

BRENDLER, C. *et al.*, **Recursos didáticos táteis para auxiliar a aprendizagem de deficientes visuais**. Revista Educação Gráfica, p. 141-157, 2014.

BRUNO, F. **Learning design aplicado ao projeto de unidades de aprendizagem**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, RS, p. 204, 2019.

BSLATAM, **O que é a Cabeça de Impressão**, São Paulo. Automação Comercial e AIDC. Disponível em: <<https://www.bslatam.com.br/blog/2016/08/08/o-que-e-a-cabeça-de-impressao/>>, acesso em: março de 2023.

CAIRES, M. **Desenvolvimento de um Módulo Controlador como Ferramenta para Viabilização de Projetos de Robótica Educativa**, Trabalho de Conclusão de Curso, Ciências da Computação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2013.

CAP, **Normativas técnicas do Centro de Apoio Pedagógico para atendimento as pessoas deficientes visuais**. Centro de Apoio Pedagógico e Atendimento às Pessoas Deficientes Visuais, São José – SC, 2007.

CARREIRA, J.; DORNELAS, R.; MOREIRA, L; ASSUNÇÃO, A. **Desenvolvimento de máquina CNC controlada remotamente para uso didático**, Anais da Mostra Nacional de Robótica - MNR 2020, João Pessoa – PB, 2020.

CARVALHO, K. *et al.* **Visão subnormal: orientações ao professor do ensino regular**. Campinas, SP. Ed: Unicamp, 2002.

CASAGRANDE, M. V. **Projeto de um cabeçote de extrusão de uma máquina de prototipagem rápida**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro - RJ, p. 129. 2013.

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.

_____, **As condições de Saúde Ocular no Brasil - 2019**, São Paulo, 1ª edição, 2019. Conselho Brasileiro de Oftalmologia. Disponível em: <<http://www.cbo.net.br>>, acesso em: abril de 2020.

CLARK, R. & LYONS, C. **Graphics for learning: Proven guidelines for planning, designing, and evaluating visuals in training materials**. 2ª ed. San Francisco: Pfeiffer, 2011.

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.

DANTAS, R. **Estudo de um sistema modular de movimentação para equipamentos de impressão 3D**. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

DISTRITO FEDERAL (DF). Secretaria de Saúde. **Uso constante de telas causa danos à saúde dos olhos**, 2019. Disponível em: <saude.df.gov.br/uso-constante-de-telas-causa-danos-a-saude-dos-olhos/> Acesso em abril de 2020.

DRESCH, A. *et al.* **Design Science Research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Ed: Bookman, Porto Alegre - RS, 2015.

EVANGELISTA, A. **Estações de Recalque: Bombas**. Apostila da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, UFG. 201-?. Disponível em: <http://www.agro.ufg.br/up/68/o/4_-_Bombas_2.pdf> acessado em janeiro de 2019.

FAZENDA, J. **Tintas: Ciência e tecnologia**. Editora Blücher, São Paulo, 4ª edição, p. 211 – p. 228, 2009.

FDN, **Deficiência Visual**. Fundação Dorina Nowill. Disponível em: <<https://www.fundacaodorina.org.br/a-fundacao/deficiencia-visual/estatisticas-da-deficiencia-visual/>> Acesso em: setembro de 2015.

FELIPE, L.; FERREIRA, C. & SILVA D. **A aplicação das tecnologias de prototipagem rápida na confecção de matrizes táteis**, Boletim de Ciências Geodésicas, v. 20, nº 2, abr-jun, p. 411-126, 2014.

FERNANDES, F.*et al.*, **Planejamento de uma proposta metodológica de análise de qualidade dos produtos produzidos em impressoras 3D**. Revista Intellectus, Ano IX, nº 23, p. 76-85, Indaiatuba, 2011.

FERRONATO, R. **A Construção de Instrumento de Inclusão no Ensino da Matemática**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, 2002.

FILATRO, A. **Design Instrucional na Prática**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

FILLMANN, M; COLPES, K.; COUTO, E. **Design e educação inclusiva: uma busca pelo aperfeiçoamento do ensino**. In: JUSTUS, M. B. Políticas públicas na educação brasileira: caminhos para a inclusão – volume 2. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019, cap. 16, p. 163-175.

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.

FREITAS, Olga. **Equipamentos e materiais didáticos**. Brasília : Universidade de Brasília, 2007, 132 p.

GARCIA, L. **Desenvolvimento e fabricação de uma mini-impressora 3D para cerâmicas**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de

Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, São Carlos – SP, 2010.

GATTEGNO, C., ***The Common Sense of Teaching Mathematics, Educational Solutions***, New York. 1974.

GIBSON, J.J. ***The theory of affordances***. In R. Shaw & J. Bransford (eds.), *Perceiving, Acting and Knowing*, 1977.

GIL, F. **A criança com deficiência visual na escola regular**. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo - USP. São Paulo - SP, p. 178. 2009.

GOUGH, David; OLIVER, Sandy; THOMAS, James (Ed.). ***An introduction to systematic reviews***. Sage, 2012.

HALL, G.; OWEN, T. ***Plastisol ink for textiles***. US Pat. US20060100312A1, 11 mai, 2006, 6p.

HELER, M. & BALLESTROS, S., ***Touch and Blindness: Psychology and Neuroscience***, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey - London, 2006.

IBC, Instituto Benjamin Constant. Disponível em: < <http://www.ibr.gov.br/>>. Acesso em: setembro de 2015. *Link removido do site em 2017.*

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>. Acesso em agosto de 2019.

INEP, **Censo escolar da educação Básica 2011: Resumo Técnico**. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasília: Ministério da Educação, 2012.

_____. **Censo escolar 2016: Notas estatísticas**. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasília: Ministério da Educação, 2017.

KOK, E. & WIEN, C., **Comando Numérico CNC: Técnica Operacional**, São Paulo: 1983.

LCF, **Childhood Blindness**, *Lions Club International Foundation*. Disponível em: <<http://www.lcif.org/EN/our-work/sight/childhood-blindness.php>>, Acesso em abril de 2017.

LE MOS, M. P. F. **O estudo do tratamento da informação nos livros didáticos das séries iniciais do Ensino Fundamental**. *Ciência E Educação*, v. 12, n.2, p. 171-184, UNESP, Bauru - SP, 2006.

LIMA, R. **Pigmentos nanométricos de alumina dopada com ferro, níquel e manganês**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Química, Programa de Pós-graduação em Química, São Carlos – SP, p. 47, 2006.

LÖBACH, B. **Design Industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais**, Tradução: Freddy Van Camp - São Paulo: Blücher, 2001.

MACHADO, R. M. **Explorando o Geoplano**, II Bienal da SBM, Universidade Federal da Bahia, Brazil, 2004.

MACINTYRE, J. **Instalações Hidráulicas**. 4ª Ed. ed. [S.I.]: LTC, 2010.

MARTINS, J. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento e controle de máquinas CNC aplicando conceitos da indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Mecânicas) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Joinville - SC, p. 30. 2019.

MASINI, E. **O perceber de quem está na escola sem dispor da visão**. Coleção Educação e Saúde, vol. 10. 1 ed. Editora Cortez, São Paulo, 2014.

MATTOS, E., FALCO, R. **Bombas Industriais**. 2ª Edição. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1998.

MAZZARO, J. L. **Baixa visão na escola: conhecimento e opinião de professores e de pais de alunos deficientes visuais, em Brasília, DF.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Médicas, Programa de Pós-graduação em Ciências Biomédicas, Campinas - SP, 2007.

MEC, **Listagem CAP/NAPPB.** Portal Ministério da Educação, Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão - SECADI. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/busca-geral/194-secretarias-112877938/secad-educacao-continuada-223369541/17437-centros-de-formacao-e-recursos-capnappb-cas-e-naahs>> Acesso em: setembro de 2018.

MEDITSCH, C. **Design de superfície: a apropriação criativa de tecnologia em estampas de roupas infantis.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Design. Porto Alegre, 2013.

MEIRA, J. **Uma ferramenta de autoria de materiais instrucionais com símbolos matemáticos acessíveis a deficientes visuais,** XIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2008.

MESSIAS, *et al.* **Tabelas para medir acuidade visual com escala logarítmica: porque usar e como construir.** Arquivos Brasileiros de Oftalmologia: 2010, p. 96-100.

MILTON, A.; RODGERS, P. **Research Methods for Product Design.** Portfolio Skills - Product Design, Ed: Laurence King, London, 2013.

MONTEIRO, Manuela Matos & FERREIRA, Pedro Tavares. **Ser Humano – 2ª parte Psicologia B** 12º ano. Porto Editora, Porto, 2007.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments,** John Wiley & Sons Inc., 6ª ed., USA, 2005.

NETO, P. I. **Estudo da viabilidade técnica e projeto de um mini-cabeçote de extrusão com rosca para impressoras tridimensionais portáteis,** Dissertação de

Mestrado apresentada à Escola de Engenharia, Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

NEVES, J. **Sobre projetos para todos os sentidos : Contribuições da arquitetura para o desenvolvimento de projetos dirigidos aos demais sentidos além da visão**, Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011, 146 f.

NUNES, S. & LOMÔNACO, J. **O aluno cego: preconceitos e potencialidades**. Revista Semestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional, v. 14, p. 55-64, 2010.

OCHAITA, E., & ROSA, A. **Percepção, ação e conhecimento nas crianças cegas**. Em C. Coll, J. Palacios & A. Marchesi (Orgs.), Desenvolvimento Psicológico e Educação. Vol. 3-Necessidades educativas especiais e aprendizagem escolar (M.A.G. Domingues, Trad.). Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1995.

OLIVEIRA, L., **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência** / Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR) / Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD) / Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência; Brasília : SDH-PR/SNPD, 2012.

ORMELEZI, E. **Os Caminhos da Aquisição do Conhecimento e a Cegueira: do universo do corpo ao universo simbólico**, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

OU-YANG, D. **Method of screen printing sheer fabric**, United States Patent US6780460B1, 2004, Aug.

PEIXOTO, J.; SANTANA, E.; CAZORLA, I. **Soroban: uma ferramenta para compreensão das quatro operações**. Itabuna-BA: Via Literarum, 2006.

PEREIRA, M.; Roberto, W.; Oliveira, F. **A inclusão de alunos deficientes visuais na rede pública de ensino de Marília: Educação Infantil e Ensino Fundamental**. UNESP -Marília, SP, 2004.

PIAGET, J. **A Epistemologia Genética**. RJ: Vozes, 1971. Tradução: Nathanael C. Caixeiro. *L'èpistémologie Génétique*. Paris: Universitaires de France, 1970.

PORDEUS, R. V. **Fenômenos de transporte: Mecânica dos Fluidos - Considerações e propriedades dos fluidos**. Notas de aula do Departamento de Ciências Ambientais. Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró - RN, 200-?.

PRADO, A.; Lopes, M.; Ornstein, S. **Desenho Universal: Caminhos da acessibilidade no Brasil**, São Paulo: Annablume, 2010.

RIFFEL, B. **Tecnologia assistiva para o Ensino de gráficos a pessoas com deficiência visual**, Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Educação Profissionalizante e Tecnológica Inclusiva, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso - Campus Cuiabá, Cuiabá – MT, 2009.

SAEZ, T. **Relación entre procesos mentales y sentido háptico: emociones y recuerdos mediante el análisis empírico de texturas**. Tese de Doutorado apresentada na Faculdade de Psicologia da Universidade Autônoma de Barcelona, Barcelona, 2012.

SALLIT, Mathias. **Dia da Pessoa com Deficiência Visual: 31 universidades possuem material em Braille em todos os cursos, segundo MEC**. Revista Quero Bolsa, Dez 2019. Disponível em: <<https://querobolsa.com.br/revista/dia-da-pessoa-com-deficiencia-visual-31-universidades-possuem-material-em-braille-em-todos-os-cursos>>. Acesso em abril de 2020.

SANTA CATARINA, **Guia prático para adaptação em relevo**. Secretaria de Estado da Educação, Fundação Catarinense de Educação Especial, Jussara Silva (Coord.). São José: FCEE, 2011.

SCHIRMER, W. **Amostragem, análise e proposta de tratamento de compostos orgânicos voláteis (COV) e odorantes em estação de despejos industriais de refinaria de petróleo**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2004.

SCHULTZ, Duane P.; SCHULTZ, Sydney Ellen. **História da Psicologia Moderna**, 9ª edição - Editora Cengage Learning - São Paulo, 2009.

SILVA, F. **Percepção tátil de objetos do cotidiano: estudo de caso no reconhecimento de formas geométricas e a representação gráfica de cegos congênitos**, Dissertação de Mestrado apresentada ao Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015, 190 f.

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.

SILVEIRA, Z. **Análise estatística e otimização de parâmetros de projeto em componentes de sistemas mecânicos**, Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2003.

SOUZA, P. H. **Apresentação dos Cálculos para Seleção de Bomba para Sistema de Reaproveitamento de Água de Poços Artesianos**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

SUN, J. et al. ***Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control***, *Journal of Food Engineering*, Elsevier, 2017.

TODOS PELA EDUCAÇÃO. **Anuário Brasileiro da Educação Básica 2014**. Editora Moderna, São Paulo, 2014.

_____. **Anuário Brasileiro da Educação Básica 2019**. Editora Moderna, São Paulo, 2019. Disponível em: < https://www.todospelaeducacao.org.br/_uploads/_posts/302.pdf >. Acesso em abril de 2019.

_____. **Anuário Brasileiro da Educação Básica 2021**. Editora Moderna, São Paulo, 2021. Disponível em: < <https://www.moderna.com.br/anuario-educacao-basica/2021/index.html> >. Acesso em outubro de 2022.

TONELI, J.; MURR, F. E.; PARK, K. **Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande - PB, Especial, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005. ISSN 1517-8595.

TREVISAN, J. **Design Editorial para Deficientes Visuais**. Trabalho de Conclusão do curso Curso superior de Tecnologia em Design Gráfico do Departamento Acadêmico de Desenho Industrial da UTFPR, Curitiba, 2012.

VIEIRA, S. S. & SILVA, F. H., **Flexibilizando a Geometria na Educação Inclusiva dos Deficientes Visuais: Uma Proposta de Atividade**, Universidade Federal do Pará – UFPA, PA, 2007.

VYGOTSKI, L. S. **Los problemas fundamentales de La defectología temporânea**. Obras Escogidas V. Madrid: Editorial Pedagógica, 1983.

_____. **Obras escogidas: II. Fundamentos de defectologia**. Madrid: Visor, 1993.

_____. **Obras escogidas: V. Fundamentos de defectologia**. Madrid: Visor, 1997.

WERKEMA, M. C. **Planejamento e análise de experimentos: como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo**, Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte - MG, 1996.

WEATHERFORD, **Manual de instalação e manutenção: Bomba helicoidal - Série WHT**. 2008.

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. 8ª edição. AMGH Editora Ltda, Porto Alegre - RS, 2018.

WHO, **Global data on visual impairments 2010**. World Health Organization, Suíça, 2012.

WHO, **World Report on Vision**, World Health Organization, 2019.

Apêndice A

Bomba Helicoidal 1 – Cabeçote de impressão

Desenho Cotado

Figura. A-1. Desenho que apresenta a geometria da bomba helicoidal

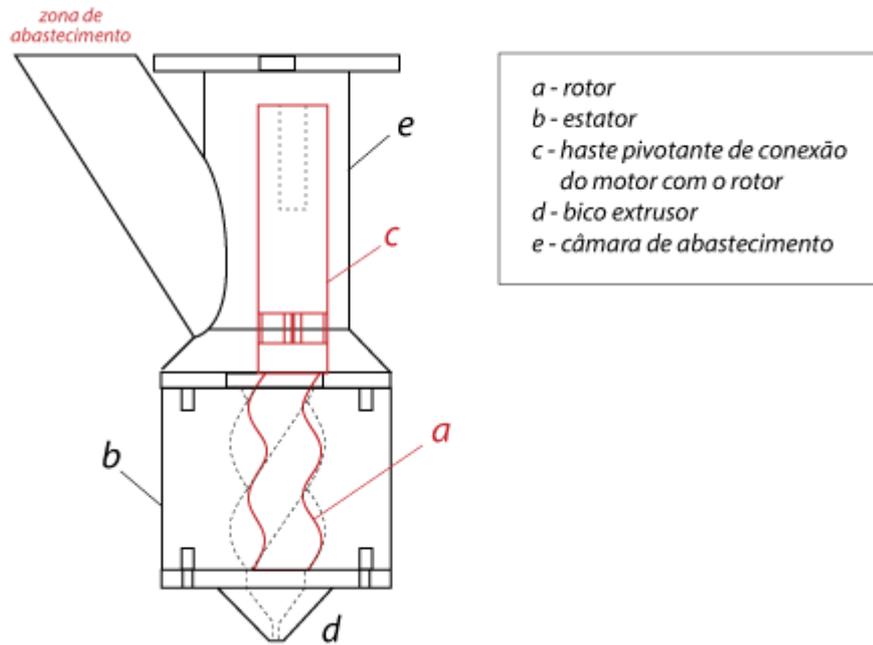


Figura. A-2. Desenho cotado da câmara de abastecimento (peça “e”)

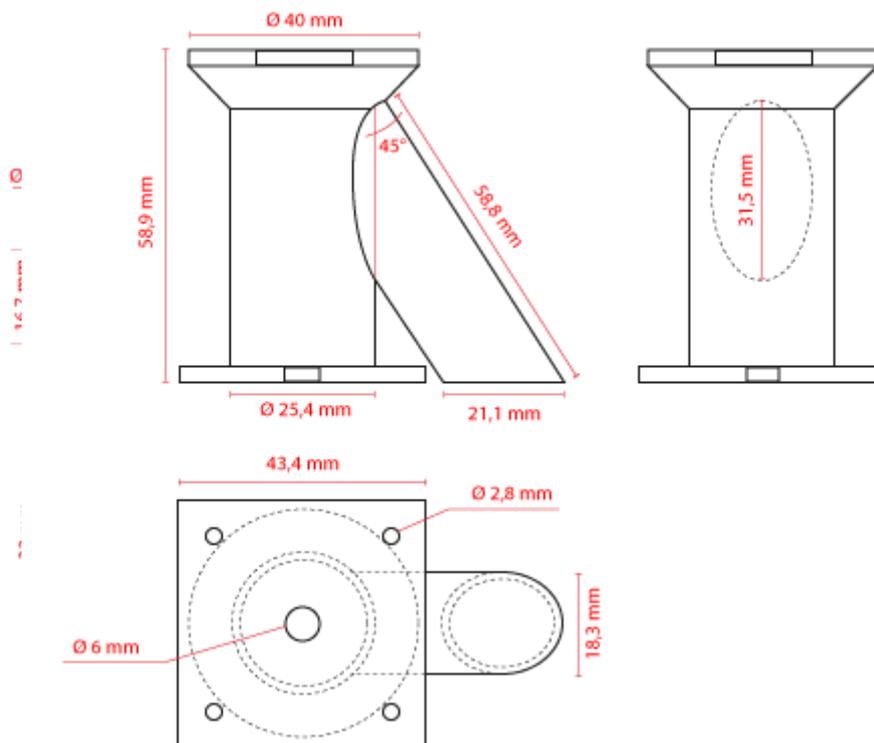


Figura. A-3. Desenho cotado do estator (peça "b")

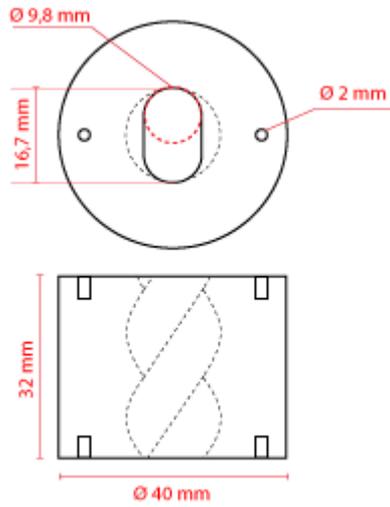


Figura. A-4. Desenho cotado do bico extrusor (peça "d")

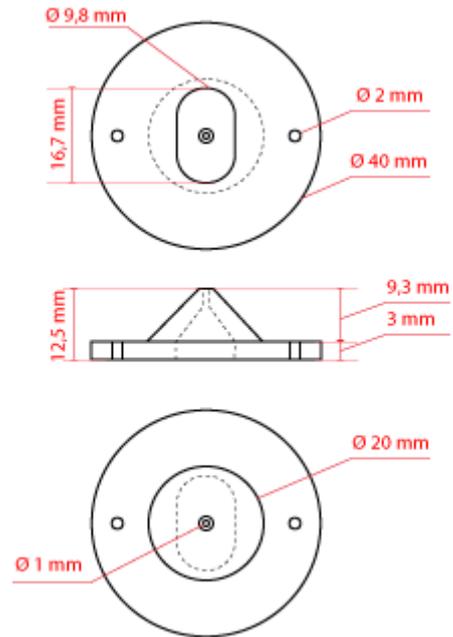


Figura. A-5. Desenho cotado da haste de conexão (peça "c")

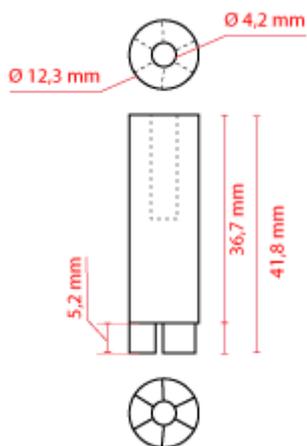


Figura. A-6. Desenho cotado do rotor (peça "a")

