

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**IMPRESSORA DE GRÁFICOS EM ALTO-RELEVO PARA CEGOS
UM FACILITADOR NO ENSINO DA FÍSICA E DA MATEMÁTICA**

por

Karen Mello Colpes

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Mecânica

Porto Alegre, fevereiro de 2014

IMPRESSORA DE GRÁFICOS EM ALTO-RELEVO PARA CEGOS
UM FACILITADOR NO ENSINO DA FÍSICA E DA MATEMÁTICA

por

Karen Mello Colpes
Bacharela em Desenho Industrial

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Rafael Antônio Comparsi Laranja

Aprovada por:

Prof. Dra. Cintia C. Petry Mazzaferro, PROMEC / UFRGS

Prof. Dr. Fabiano Disconzi Wildner, DEMEC / UFRGS

Prof. Dr. Mario Roland Sobczyk Sobrinho, DEMEC / UFRGS

Prof. Dr. Rogério José Marczak
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 27 de fevereiro de 2014

Aos meus pais, por todo esforço, dedicação e apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais que sempre primaram pela minha educação e me apoiaram em qualquer escolha.

Agradecer ao professor Dr. Rafael Laranja por ter me orientado neste projeto e em toda a fase do mestrado, por sua atenção e disponibilidade. Ao bolsista de Graduação do curso de Engenharia em Controle e Automação, Lucas André Eisermann pela paciência, presteza e por ter auxiliado na construção e testes do protótipo da impressora.

Gostaria de agradecer também o apoio e auxílio dos amigos pessoais e dos colegas de pós-graduação que atuaram em diversas vezes como uma verdadeira equipe.

Por fim, meu agradecimento ao CNPq pelo auxílio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho, à UFRGS e aos professores do PROMEC pelos conhecimentos, auxílio e incentivo recebidos.

RESUMO

Atualmente, a utilização dos recursos de Tecnologia de Informação e Comunicação tem sido cada vez mais significativa. Porém, para deficientes visuais sem o adequado acesso ao computador e demais tecnologias, os obstáculos no que se refere à educação, lazer ou a garantir um lugar no mercado de trabalho podem ser inúmeros.

Sabe-se que na educação para cegos os recursos audiovisuais são frequentemente utilizados pelas Instituições de Ensino, o que pode acarretar que eventualmente alunos com cegueira ou baixa visão venham a adquirir uma compreensão fragmentada da realidade, reduzindo o seu interesse e motivação. Assim, torna-se evidente a importância do uso de material didático adequado, e que não recorra apenas a soluções virtuais, uma vez que isso requer elevado esforço imaginário destes indivíduos.

Desta forma, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma impressora de gráficos em alto-relevo com a utilização de tinta de emulsão acrílica com propriedades expansivas ao calor. Para averiguar a viabilidade deste produto propôs-se a construção de um protótipo através de resíduos de equipamentos eletrônicos e posteriormente analisou-se seu desempenho.

Este trabalho teve a intenção de colaborar para a utilização da exploração tátil no aprender dos conhecimentos relacionados às disciplinas de Física e Matemática do Ensino Médio, e contribuir também no fornecimento de subsídios para a inclusão deste grupo de alunos em escolas regulares, profissionalizantes e de ensino superior.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Impressora de gráficos, Cegos, Ensino de Física e Matemática.

ABSTRACT

Currently, the resource utilization of Information and Communication Technology has been increasingly significant. However, for the visually impaired without adequate access to computers and other technologies, obstacles with regard to education, leisure and secure a place in the labor market can be numerous.

We know that in education for the blind, audiovisual resources are often used by the Institutions of Education, which may force eventually students with blindness or low vision to acquire a fragmented understanding of reality, reducing their interest and motivation. Thus, it is evident the importance of using suitable teaching material, which is not only virtual, since its require a high effort imagination from these individuals.

Thus, this paper proposes the development of a graphics embossed printer by the use of acrylic emulsion paint with expansive heat properties. To investigate the viability of this product, it was proposed to build a prototype using scrap electronics and subsequently analyzed for their performance.

This project has the intention to collaborate in the use of tactile exploration in the learning of knowledge related to the disciplines of Physics and Mathematics in high school. Also contributing to the provision of subsidies for the inclusion of this group of students in regular, vocational and higher education schools.

Keywords: Assistive Technology; Graphic Printer for the Blind; Visual Impairments; Inclusive Education in Physics and Mathematics.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Contextualização.....	14
1.2 Objetivos.....	17
1.3 Limitações do trabalho.....	18
1.4 Justificativa	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTADO DA ARTE.....	19
2.1 Engenharia e Design.....	19
2.2 Tecnologia da Informação e Comunicação e Tecnologia Assistiva	21
2.3 Educação para Cegos.....	22
2.4 Teoria da percepção de Gibson	24
2.5 Projetando para Cegos	25
2.6 Abordagens existentes (produtos concorrentes)	27
2.7 Displays Braille	35
3 METODOLOGIA	38
3.1 Consultas e Visitas Técnicas	39
3.2 A impressora	45
3.3 Escolha da tinta.....	45
4 REQUISITOS DE PROJETO	48
5 MATERIAIS E MÉTODOS	52
5.1 Protótipo	52
5.2 Caracterização Mecânica do Protótipo.....	60
5.3 Software para Impressão	68
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
6.1 Positivos	72
6.2 Problemas encontrados	73
6.3 Discussão	75
7 CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICE A	85

APÊNDICE B	87
APÊNDICE C	93
APÊNDICE D	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Percentual da população com deficiência, segundo o tipo de deficiência investigada	15
Figura 1.2	Pessoas deficientes por rendimento	15
Figura 2.1	Sobreposição entre Design e Engenharia	20
Figura 2.2	Soroban ou Ábaco japonês	23
Figura 2.3	Alguns modelos de Impressora Braille. (a) EmBraille Desktop Embosser; (b) Index Basic Braille Printer; (c) Emprint Spotdot Fire	29
Figura 2.4	Comparação de impressão em dots Braille pela Emprint Spotdot e impressoras Braille convencionais	30
Figura 2.5	Utilização de termoformagem. (a) Thermoform Brailon Duplicator; (b) Filme plástico sólido sobre molde após realização de termoformagem	31
Figura 2.6	Linhas Braille. (a) ALVA Satellite Braille Display; (b) Easylink	32
Figura 2.7	(a) Geoplano comercial; (b) Utilização de Geoplano artesanal	32
Figura 2.8	(a) Utilização do Multiplano por aluno do curso de Ciências da Computação da UFPR; (b) Exemplificação de gráficos no Multiplano	33
Figura 2.9	(a) Adaptação artesanal de material pedagógico; (b) Ambulância e bengala em versão manualmente adaptada.....	34
Figura 2.10	(a) Relógio que projeta horas pela utilização de solenoides; (b) Aparelho para leitura Braille de livros eletrônicos	37
Figura 3.1	Livros da Coleção Adélia para todas as crianças	41
Figura 3.2	Exemplos de diagramas dos livros de Matemática e Física do aluno A.. (a) Exemplo de impressão de círculo com reta tangente utilizando pontos Braille; (b) Retas de direção, destaque para as retas em diagonal	42
Figura 3.3	(a) Aluno A. realizando leitura de gráfico impresso com <i>dots</i> Braille; (b) Mesmo aluno realizando leitura de imagem feita por termoformagem; (c) Observando texturas e verniz localizado do livro “Adélia Sonhadora”.....	44
Figura 3.3	Soprador de ar fixado para teste de tempo de expansão da tinta	47
Figura 4.1	Casa da Qualidade – Matriz QFD – Necessidades do Consumidor X Requisitos de Projeto	50
Figura 5.1	Esquema de conexão dos componentes eletrônicos	56
Figura 5.2	(a) Configuração de montagem dos eixos X-Y; (b) Dimensões básicas (em mm) do protótipo e seus eixos.....	57
Figura 5.3	(a) Configuração final do protótipo; (b) tampa aberta deixando eixos e sistema de injeção de tinta à mostra	57
Figura 5.4	Modelo 3D do sistema de injeção de tinta com suas principais dimensões em mm.....	58
Figura 5.5	(a) Parte do sistema de injeção da tinta; (b) Sistema de fixação da barra roscada na seringa; (c) Adaptação realizada no êmbolo da seringa	59
Figura 5.6	Teste para verificação de força máxima; (a) Sistema para medição; (b) Valor máximo obtido em X.....	60
Figura 5.7	Sistema para medição de força no eixo Z	61
Figura 5.8	(a) Sistema para medição de força no eixo Y; (b) Valor máximo obtido em Y.....	61

Figura 5.9	Sistema de engrenagens no eixo X	63
Figura 5.10	Fluxograma de etapas para realização de impressão	71
Figura 6.1	(a) Peso sobre pilha de folhas com impressões expandidas; (b) Pequena deformação ocasionada no relevo do desenho	72
Figura 6.2	(a) Melhor resultado de impressão obtido, resolução de 140 passos/mm; (b) Avaliação de resultado feita pelo aluno “F”	73
Figura 6.3	Testes de impressão com falha	74
Figura 6.4	Vértices arredondados	74
Figura 6.5	A tinta gruda na folha seguinte chegando a causar rasgos	75
Figura 6.6	(a) Sugestão de sistema para cartucho de tinta; (b) Sugestão de forma e divisão de compartimentos para a impressora	77
Figura A.1	Esquema da ligação dos motores com os Arduinos	86
Figura B.1	Sistema de engrenagens do eixo Y	88
Figura B.2	Sistema de engrenagens do mecanismo de injeção da tinta, eixo Z	90
Figura D.1	Fluxograma II – Etapas para impressão	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Número de Deficientes Visuais em Relação à População Total	14
Tabela 5.1	Itens utilizados na construção do protótipo da impressora	52
Tabela 5.2	Resultados de medição de carga máxima	61
Tabela 5.3	Relação de fluxo por tempo e deslocamento da tinta	62
Tabela 5.4	Teste de tempo para percorrer 0,1 m	66
Tabela 5.5	Caracterização Mecânica do Protótipo da Impressora para Cegos	68
Tabela 5.6	Softwares de interação pesquisados	69
Tabela C.1	Resultados dos testes de impressão de círculos	94
Tabela C.2	Resultados dos testes de impressão de quadrados	95

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACERGS	Associação de Cegos do Rio Grande do Sul
CAP	Centro de Apoio Pedagógico
CNC	Comando de Controle Numérico
DV	Deficiente Visual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEE	Instituto Estadual de Educação
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCI	Placa de Circuito Impresso
PNEE	Portadores de Necessidades Educacionais Especiais
TA	Tecnologia Assistiva
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

1 INTRODUÇÃO

É evidente que o avanço tecnológico não é, e nem pode ser, estanque. Vive-se hoje a era da tecnologia e da informação, onde as novas descobertas e os avanços neste âmbito têm ocorrido com celeridade e a sociedade atual aspira por estas conquistas tecnológicas, se tornando imprescindível a cada indivíduo a utilização das novas tecnologias de informação e comunicação (TICs) como requisito para a obtenção de sucesso (SANTOS, 2009).

Norman (2010) é mais enfático ao afirmar que atualmente há uma alteração na ordem de etapas dos projetos, pois considera que hoje a tecnologia antecede a necessidade. Desta forma, atualizações multifuncionais de produtos já existentes são lançadas todos os meses no mercado.

Embora certo valor de superficialidade possa ser atribuído a esta “facilidade” tecnológica vivenciada, é importante ressaltar que este fácil acesso também se torna responsável por muitos processos inclusivos a partir da tecnologia assistiva (TA) e da bioengenharia, bem como desempenha papel fundamental para se entender que prazer e diversão, características emocionais, quando associadas ao aprendizado e ao trabalho proporcionam resultados satisfatórios. Pois, se o aspecto cognitivo auxilia a compreender o mundo, a emoção ajuda a interagir com o meio, julgando, evoluindo e se comprometendo (NORMAN, 2010).

No entanto, mesmo com este quadro tão promissor e com as diretrizes de inclusão aplicadas no Brasil e no exterior (Declaração Mundial de Educação para Todos - WCEFA, 1990, Declaração de Salamanca – 1994, Decreto lei 6.571/08 – BRASIL, 2008), esta tecnologia ainda não se encontra acessível a todos, ao menos, não de forma adequada. Tomando-se como exemplo os deficientes visuais - DVs (público alvo do presente trabalho), sem o adequado acesso às TICs, eles acabam ficando limitados quanto à utilização dos mais variados canais de comunicação, conhecimento e lazer, o que pode contribuir para que neles cresça a sensação de exclusão social/digital.

Desta forma, utilizando-se o método convencional de projeto, que parte de uma necessidade e levando-se em consideração que estes indivíduos precisam de um sistema educacional que se adapte às suas necessidades – apresentando o material didático necessário para facilitar seu processo de aprendizagem – o presente trabalho tem como

objetivo desenvolver um produto concreto¹, um gerador de gráficos, que permita explorar os atributos sensoriais remanescentes nestes indivíduos, principalmente o tato, com o intuito de auxiliar em interpretações de informações abstratas, geralmente encontradas no ensino de conhecimentos de Matemática e Física.

1.1 Contextualização

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2010), cerca de 285 milhões de pessoas possuem deficiência visual, das quais 39 milhões são cegas e 246 milhões possuem baixa visão. No Brasil (IBGE, 2010), existem aproximadamente 45,6 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, o que corresponde a 23,9% de sua população total. Dessas, 6,5 milhões compreende o número de pessoas que possuem grande dificuldade de enxergar ou cegueira total. Destes indivíduos, 351 mil encontra-se no Rio Grande do Sul, o que corresponde a 13,8% de sua população total, sendo 156 mil apenas na região metropolitana de Porto Alegre (*id.* 2010). Um comparativo destes dados em pode ser observado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Número de Deficientes Visuais em Relação à População Total

	População Total	Indivíduos com Baixa Visão	Indivíduos Cegos
Mundial ¹	7,2 bilhões	246 milhões	39 milhões
Brasil ²	201 milhões	6,05 milhões	506.377
Rio Grande do Sul ²	11,1 milhões	323.137	28.748
Porto Alegre ³	1,4 milhões	37.055	6.020

¹Fonte: ONU *apud* Estadão, 2013. ²Fonte: G1, 2013. ³Fonte: IBGE, 2010.

Se comparados os resultados mostrados acima aos obtidos pelo Censo Demográfico de 2000, onde 14,5% da população apresentava algum tipo de deficiência, percebe-se que em uma década houve um aumento de aproximadamente 9,4% do número de deficientes na população brasileira. Nota-se assim, que o número de deficientes aumenta a cada ano e o número de deficientes visuais é cada vez mais significativo. De acordo com a Figura 1.1, dentre as deficiências investigadas pelo Censo Demográfico de 2010, a deficiência visual é a que apresenta uma maior

¹Que não é virtual, palpável.

incidência, sendo declarada por 18,8% da população. E destes, a maioria encontra-se na classe D, com renda familiar de 1 a 2 salários mínimos (Figura 1.2).

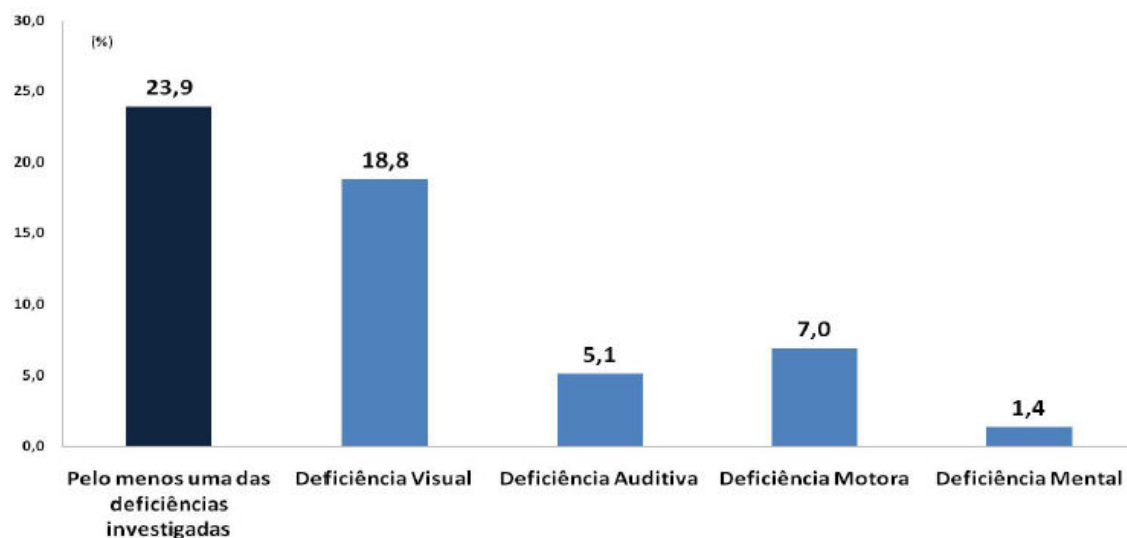


Figura 1.1. Percentual da população com deficiência, segundo o tipo de deficiência investigada. Fonte: IBGE, 2010.

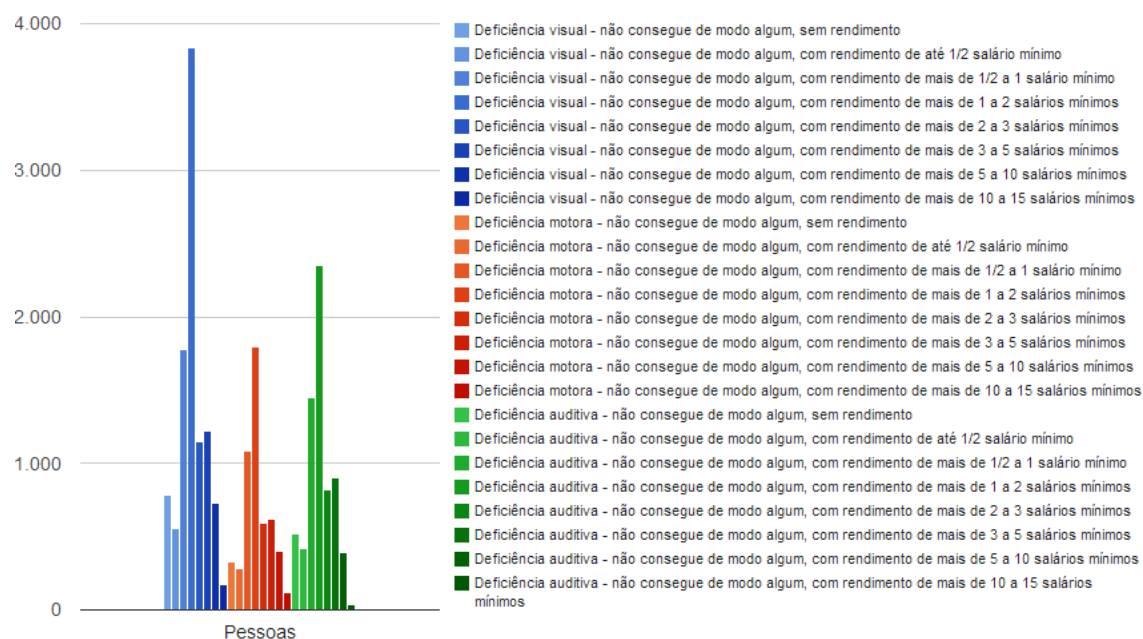


Figura 1.2. Pessoas deficientes por rendimento. Fonte: IBGE, 2010.

Embora muitas políticas de inclusão venham sendo implantadas, ainda não são realizadas com a agilidade e forma adequadas para melhorar a adaptação e independência destes indivíduos na sociedade. Se atualmente o uso das TICs têm sido

considerado uma necessidade, para DVs (diante de suas limitações e dos meios de utilização disponíveis) mesmo com o auxílio de softwares de leitura e guias de uso, esta se torna mais uma barreira a ser transposta, pois, sem o acesso ao computador e às demais tecnologias, os deficientes visuais podem encontrar obstáculos para efetivarem sua educação, lazer ou adquirirem um lugar no mercado de trabalho.

Conforme o Censo Escolar da Educação Básica (INEP), em 2012 houve um aumento de 9,1% no número de matrículas na Educação Especial Básica em relação a 2011. Os avanços alcançados pela atual política de inclusão demonstram ainda que 78,3% das matrículas da educação especial estão em escolas públicas e 21,7% em escolas privadas. Na educação básica em 2008, os deficientes visuais representavam apenas 0,13% dos 52,6 milhões de alunos matriculados em escolas públicas e particulares do País. Em 2012 o ensino superior apresentou um quadro semelhante, pois os 9,2 mil deficientes visuais (cegos e indivíduos com baixa visão) simbolizavam somente 0,13% dos 6,7 milhões de universitários. No que tange a Educação Especial, tomando-se como base os dados do Censo Escolar de 2006 (MEC, 2007), das 700 mil matrículas realizadas naquele ano, 1,3% foram de alunos cegos e 8,6% de alunos com baixa visão.

Assim, a estatística oficial apresentada sobre os DVs no País mostra que uma parcela significativa desta população ainda não faz parte deste universo educacional. No entanto, diante do exposto, fica evidente o interesse por parte destes alunos à educação, pois cerca de 10% dos alunos matriculados na educação especial possuem deficiência visual severa. Contudo, embora se perceba a cada ano um aumento significativo de matrículas de DVs nas escolas, muito precisa ser feito para garantir que todas as crianças, jovens e adultos que não enxergam estejam incluídas nas redes de ensino do País. É sabido que alguns limitadores ainda são encontrados no que tange à capacitação de professores para a inserção de alunos especiais em salas de aulas regulares, bem como na disponibilidade de materiais didáticos apropriados para auxiliá-los neste processo, evidenciando a necessidade de um melhor preparo pedagógico no que se refere à educação especial com ênfase para a capacitação docente, melhor distribuição de contingente e melhor organização espacial, ressaltando-se também um melhor investimento em material didático adequado. Essas particularidades podem justificar o índice de evasão observado no Ensino Médio e Educação Profissional para este público especificamente.

Segundo Cerqueira e Ferreira (*apud* PEREIRA, 2004), recursos didáticos compreendem recursos físicos utilizados em disciplinas, áreas de estudo ou atividades, com o objetivo de auxiliar o educando a assimilar o conteúdo de forma eficaz, tornando-se um meio de facilitar, simplificar e incentivar o processo ensino-aprendizagem.

Neste contexto, na educação para cegos, recursos audiovisuais, digitais e softwares interativos são amplamente utilizados pelas escolas. Entretanto, estes alunos ainda apresentam inúmeras dificuldades, tanto para a assimilação do conteúdo, quanto na utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) disponíveis, que pode acarretar em redução de interesse e motivação pelos estudos, uma vez que, eventualmente estes alunos podem vir a adquirir uma compreensão fragmentada do conteúdo a ser transmitido, e que pode ainda ser agravado no ensino de conteúdos das ciências exatas, principalmente nos Ensinos Médio, Profissionalizante e Superior onde a TA disponibilizada restringe-se a textos em Braille e imagens ampliadas de alto contraste (RIFFEL, 2009).

Desta forma, conforme dito anteriormente, este trabalho visa contribuir para o processo educacional destes indivíduos, utilizando os avanços tecnológicos a seu favor (Tecnologia Assistiva), no desenvolvimento de um produto que sirva como material didático no ensino de gráficos, contribuindo, assim, para fornecer subsídios à inclusão em escolas regulares.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um produto que seja capaz de gerar gráficos em alto-relevo para pessoas cegas a fim de ser utilizado como material didático no ensino de conhecimentos físicos e matemáticos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos essenciais para a realização deste trabalho são:

- Identificar os métodos utilizados por alunos deficientes visuais no aprendizado de gráficos nas aulas de Física e Matemática;
- Aliar os conhecimentos das áreas de Design e Engenharia Mecânica no desenvolvimento de um produto;

- Oferecer uma nova abordagem para os equipamentos de auxílio à baixa visão, através da proposição de um novo equipamento didático para o ensino de conhecimentos que envolvam gráficos;
- Desenvolver um protótipo do produto projetado;
- Testar o sistema funcional do produto desenvolvido;
- Identificar melhorias.

1.3 Limitações do trabalho

O produto destina-se a indivíduos cegos ou com deficiência visual severa (baixa visão), de ambos os sexos, que estejam frequentando o Ensino Médio em escolas regulares ou especializadas. Também se faz necessário a procura por soluções não dispendiosas dadas as restrições de solução deste projeto (custos e materiais).

1.4 Justificativa

A presente proposta justifica-se pela necessidade de se acessibilizar e facilitar o aprendizado de conteúdos ministrados nas disciplinas de Matemática e Física, por portadores de deficiência visual severa ou total, com a intenção de oferecer-lhes igual oportunidade de acesso ao conhecimento que os demais (videntes), diminuindo-se, assim, a probabilidade da ocorrência de falta de estímulo e evasão, em razão de suas limitações e dificuldades pré-existentes, o que por vezes é agravado pela inexperiência de alguns professores, bem como pela falta de efetivo, pois, mesmo em ambientes informatizados, torna-se difícil a atenção individual para com estes alunos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTADO DA ARTE

Serão apresentados a seguir os principais conceitos e referenciais teóricos que tem a finalidade de contextualizar o conteúdo, bem como fornecer embasamento teórico-científico a esta pesquisa.

2.1 Engenharia e Design

Primeiramente é importante compreender como duas áreas tão distintas quanto a Engenharia e o Design podem se intercambiar, atuando juntas para a obtenção de produtos rentáveis, de boa qualidade, fácil utilização e principalmente uma efetiva aceitação pelo consumidor. É sabido que com a globalização da economia os produtos hoje em dia devem, acima de tudo, ser competitivos.

É perceptível que os produtos que obtêm maior aceitação e sucesso no mercado são os que apresentam características técnicas e funcionais adequadas, mas, também uma boa solução em interface usuário-produto. Estudos acadêmicos e a observação de práticas de sucesso permitem afirmar que além de desenvolver e aplicar tecnologia, atualmente, as empresas se preocupam em como disponibilizar esta tecnologia para usuários e consumidores, adaptando-as tanto às suas necessidades físicas quanto psicológicas e sociais (BREFE, 2008). E para tanto, o produto deverá ser desenvolvido de forma integrada, com competências em múltiplas disciplinas. Não se pode mais falar em projetista no singular, pois o que encontramos atualmente são equipes integradas, formadas por profissionais de diversas funções dentro de um setor de desenvolvimento de produto de uma empresa ou universidade (BACK *et al.*, 2008).

Fica assim evidente que é imprescindível a participação de diferentes áreas de conhecimento no desenvolvimento de produtos, especialmente a Engenharia e o Desenho Industrial ou Design, pois ambas são áreas dedicadas ao projeto, porém, através de perspectivas diferentes. Brefe (2008) destaca alguns pressupostos para o desenvolvimento de produtos na atualidade:

- Existe uma relação positiva entre o Design e o desempenho comercial e financeiro das empresas;

- Os produtos precisam apresentar desempenho técnico e de interface para competir no mercado atual e principalmente para terem boa aceitação pelos usuários;
- A Engenharia é responsável pelo projeto das características relacionadas à parte técnica e o Design pelas características de interface dos produtos;
- O processo de desenvolvimento de produtos deve integrar Engenharia e Design, além das outras áreas do conhecimento tradicionalmente envolvidas (custos, marketing, informática, eletrônica, etc).

Silva *et al.* (2001), afirmam que tanto o design quanto a engenharia estudam a relação homem/meio. O que as diferencia é que enquanto o design estuda esta relação do ponto de vista do homem (condições fisiológicas, psicológicas e sociais), a engenharia a estuda sob o ponto de vista do meio (leis físicas, químicas, orgânicas e econômicas). Assim, as considerações perceptivas e estéticas, próprias da natureza humana, são atribuídas ao design. Por sua vez a tecnologia é vista de ângulos distintos em cada uma destas áreas: para a Engenharia trata-se de um meio para a produção de bens materiais a partir da transformação dos recursos naturais; para o Design, é apresentada como um meio para a produção de bens materiais a partir das necessidades e características do usuário.

Desta forma, é possível afirmar que embora sob pontos de vista díspares, ambas as áreas chegam a levantar e utilizar elementos semelhantes em suas fases de projeto, o que permite realizar uma sobreposição de tarefas entre a Engenharia e o Design (Figura 2.1), semelhante ao que foi feito por Andrade (2004).

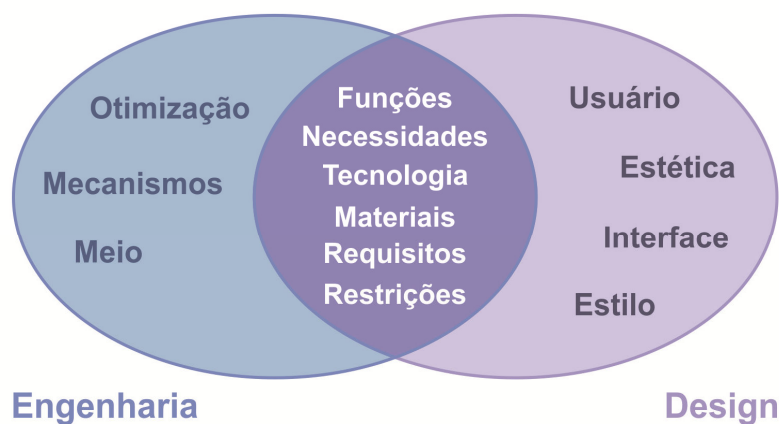


Figura 2.1. Sobreposição entre Design e Engenharia

Nota-se, pela Figura 2.1, a existência de um campo exclusivo de atuação da engenharia onde se encontra o estudo do meio, a otimização, e o planejamento e construção dos mecanismos. Analogamente há um campo exclusivo do design onde se encontra a definição do estilo e da estética para a interface do produto, preocupando-se sempre com as necessidades físicas e psicológicas do usuário. Existe, porém, um espaço de interseção entre as duas áreas de conhecimento e atuação, no que se refere ao tratamento das necessidades, definição de funções, eleição de tecnologia e materiais adequados, estabelecimento dos requisitos e a identificação das restrições.

Fica desta forma, evidente a importância de uma efetiva aliança entre estes dois campos de atuação desde o início da fase projetual. Cabe, no entanto, a ressalva de que esta representação mostra o que geralmente ocorre em equipes multidisciplinares onde cada especialidade executa uma parte do trabalho de acordo com sua especificidade (ANDRADE, 2004).

2.2 Tecnologia da Informação e Comunicação e Tecnologia Assistiva

A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) pode ser definida como um conjunto de recursos tecnológicos integrados em um mesmo objetivo, o de facilitar e promover a comunicação e o processo informacional, razão pela qual estes dispositivos têm sido tão amplamente utilizados na educação, seja ela presencial ou à distância. Hoje, a maioria dos dispositivos eletrônicos e meios de comunicação, podem ser classificados dentro das TICs (PACIEVITCH, 2009).

Em relação à Tecnologia Assistiva (TA), segundo Riffel (2009), do ponto de vista educacional, esta engloba mecanismos que proporcionem ao deficiente inclusão social e maior independência, contribuindo para ampliar sua comunicação e adquirir melhor controle sobre seu ambiente e aprendizado. Para cegos ou pessoas com baixa visão, são sugeridos como TA, produtos que visem auxiliar a vida diária e a vida prática destes sujeitos. O autor ainda comenta que alunos com deficiência, matriculados na rede pública de educação podem obter do Estado recursos de TA favoráveis ao seu aprendizado, o que ocorre por meio de ações propostas pela Secretaria de Educação Especial do MEC.

2.3 Educação para Cegos

No Brasil, até o século XX alunos Portadores de Necessidades Educacionais Especiais (PNEE) não eram efetivamente aceitos no sistema regular de ensino. Sabe-se que as escolas especializadas começaram a ser implementadas após a década de 1950, no entanto, não contribuíam enfaticamente para a inclusão destes indivíduos, pois, de certa forma os segregava socialmente. Somente em 1990, com o movimento em prol do processo de inclusão principiado pelas Nações Unidas é que se começou a destacar a necessidade de adaptação do sistema escolar, estruturalmente e pedagogicamente para receber os alunos PNEE. Este movimento contribuiu 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 (ALHO, 2011).

Tais políticas de inclusão passaram a entrar para a legislação nacional em 2008, quando foi publicado o Decreto Lei 6.571/08 (BRASIL, 2008), certificando que todas as crianças e jovens PNEE devem estudar em escolas regulares de ensino. É quando se passa a perceber um aumento significativo do número de alunos PNEE matriculados na rede pública de ensino regular (RIFFEL, 2009).

Segundo Brumer *et al.* (2004), ainda são poucos os PNEE, de deficiência visual, auditiva ou motora, que concluem o Ensino Médio, pois, geralmente param no Ensino Fundamental. Adicionalmente, o Ministério da Saúde (MS) atribui à baixa visão a maior causa de evasão escolar (MS *apud* BONATTI, 2009). Contudo, mesmo as estatísticas revelando números inquietantes, a mídia constantemente anuncia casos de pessoas com deficiência visual que se manifestam com sucesso nos estudos, no trabalho e nas artes, evidenciando a capacidade de superação e adaptação de tais indivíduos.

Para Vygotsky (*apud* LOPES, 2009) a educação de alunos com deficiência visual não se diferencia dos demais alunos, pois estes são capazes de atingir o mesmo grau de desenvolvimento que alunos com visão normal, uma vez que suas faculdades cognitivas permanecem inalteradas, sendo apenas necessária a utilização de meios alternativos de aprendizagem.

Conforme Lopes (*ib.* 2009), alunos cegos que estão cursando o Ensino Médio utilizam salas de aula informatizadas na busca pela construção do conhecimento por meio da utilização de softwares interativos e recursos digitais. No entanto, estes alunos ainda apresentam inúmeras dificuldades perante estes recursos, para sua utilização que

geralmente não é adaptada à acessibilidade e principalmente porque requerem demasiado esforço imaginário a quem nunca visualizou o objeto das atividades passadas. Desta forma, fica evidente a importância da utilização de materiais de auxílio que não sejam apenas virtuais, exigindo elevado esforço imaginário destes indivíduos. Tais materiais devem permitir sua exploração de forma mais concreta, ou seja, levando a compreensão através da percepção tátil, uma vez que estes possuem o tato como seu sentido mais desenvolvido, seu ponto de referência para a abstração. Contudo, se trata de um processo de exploração demorado e que requer grande esforço do deficiente visual, por isso se faz necessário permitir que o faça em seu próprio tempo, com calma e atenção.

Referindo-se a matemática especificamente, vem sendo utilizado como recurso fundamental de ensino o soroban ou ábaco (Figura 2.2), tradicionalmente usados no Japão para auxiliar em cálculos matemáticos e sendo adaptado no Brasil, na década de 1950, para a utilização por alunos cegos. Com este 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 boa durabilidade (VIEIRA & SILVA, 2007).

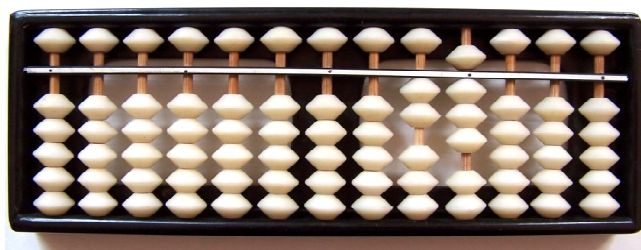


Figura 2.2. Soroban ou Ábaco japonês. Fonte: Reincke, 2005.

Entretanto, existem ainda muitos conteúdos matemáticos que não são passíveis de serem explicados com a utilização do soroban, tais como funções, estatística e trigonometria. Isto se deve a impossibilidade de se construir gráficos ou visualizar equações com esta ferramenta. Assim, estes conteúdos acabam sendo suprimidos ou trabalhados de forma superficial.

2.4 Teoria da percepção de Gibson

O psicólogo James Gibson (1966) baseou sua Teoria da Percepção Direta em uma nova divisão dos sistemas sensoriais, ou seja, uma abordagem diferente da classificação aristotélica que geralmente se aprende nas escolas (tato, olfato, visão, audição e paladar). Gibson entende os sentidos como sistemas perceptivos e não como canais de sensação, assim, sua divisão proposta os agrupa de acordo com sua necessidade e função para a compreensão do meio construído, ocorrendo da seguinte forma: sistema paladar-olfato, sistema básico de orientação, sistema háptico (tátil), sistema auditivo e sistema visual (NEVES, 2011).

A percepção é o processo que registra e interpreta as informações sensoriais do ambiente auxiliando a empregar a informação em um mundo onde a todo o momento se é bombardeado por estímulos sensoriais (SEKULER *et* BLAKE apud NEVES, 2011). A Teoria da Percepção Direta de Gibson indica a percepção como uma função direta do estímulo, ou seja, um ambiente ou objeto é percebido através dos estímulos sensoriais por ele emitidos e todas as outras determinações da percepção, como experiências passadas e motivações, passam a ser secundárias.

Observa-se que a abordagem gibsoniana é bastante comentada em livros que trazem o projeto sob o ponto de vista dos sentidos, assim, adotou-se neste trabalho a mesma perspectiva, em virtude da divisão sugerida pelo autor ser totalmente relacionada à percepção do meio construído através dos sentidos operantes.

Sabe-se que projetos para DVs tendem a explorar ou estimular o sentido tátil e o auditivo. Desta forma, veremos a seguir os conceitos dos sistemas háptico e auditivo, suprimindo-se os demais por não se encontrarem imersos no foco desta pesquisa.

- *Sistema háptico* – Será adotado o conceito de Malnar e Vodvarka (2004), onde este sistema atua como responsável pela percepção dos toques ativo e passivo. Desta forma, não só percebe material e textura do objeto tocado como também é responsável pela noção e aferição de temperatura e umidade, em oposição ao conceito de Gibson. Assim, todas as condições e variações climáticas afetariam o corpo humano através do tato. É ainda sensível aos movimentos, capacidade conhecida como cinestesia.

- *Sistema auditivo* - Considerado o segundo sentido mais relevante do ser humano, principalmente quando se trata de percepção espacial, fica atrás apenas da visão. É responsável pela habilidade de escutar, e pela capacidade de transmitir direção através dos sons (NEVES, 2011).

Segundo Braga (2010), de uma forma geral, a visão pode ser considerada como o sentido mais importante da espécie humana, pois é responsável por captar estímulos e projeções espaciais, interferindo, assim, na forma como o indivíduo se relaciona com o meio em que está inserido. Por isso, estima-se que em pessoas videntes metade da área física do cérebro seja dedicada à visão e que aproximadamente 70% de sua capacidade em processar informações sensoriais sejam utilizadas para interpretar estímulos visuais. Por sua vez, Prado (2010), afirma que pessoas com deficiência visual têm sua compreensão espacial baseada nas informações provenientes de seus sistemas perceptivos operantes. Destacando-se na busca por estímulos a utilização de:

- *Tato exploratório* que permite identificar formas, relevos e texturas de objetos com a utilização das mãos ou do corpo;
- *Movimento orientado* obtendo informações constantes sobre o equilíbrio do corpo no ambiente e seus eixos de referência, assim como ritmo, direção e distância;
- *E audição seletiva* que permite obter informações sobre eventos dinâmicos.

Obstáculos de mobilidade e comunicação quando são deparados por pessoas com deficiência sensorial encontram-se associados à orientação e a conceitos espaciais, e podem provocar nestas pessoas sensações de isolamento, desconforto quanto ao posicionamento ou uso de equipamentos e objetos, insegurança e incompreensão. Portanto, o que para alguns seria encarado como dimensionamento inadequado de utensílios e espaços, para estas pessoas pode acarretar em sentimentos adversos (PRADO *et al.*, 2010).

2.5 Projetando para Cegos

A aquisição de informações pela pessoa cega se dá pela conexão das sensações táteis, sinestésicas e auditivas às experiências mentais passadas do sujeito (NUNES & LOMÔNACO, 2010). Dessa forma, o sistema tátil e o desenvolvimento cognitivo são

apurados de forma gradual em um processo sequencial que leva as crianças cegas de um reconhecimento simplista à interpretação complexa de um ambiente ou abstração. Assim, o desenvolvimento sistemático da percepção tátil é fundamental para que cegos desenvolvam a capacidade de organizar, transferir e abstrair conceitos (PEREIRA *et al.*, 2004).

Para os deficientes visuais, tanto a quantidade quanto a qualidade das informações espaciais apreendidas sofrem significativa redução das informações úteis, afetando assim o processo de orientação como um todo. Desta forma, projetos para este público acabam sendo complexos, exigindo análise espacial detalhada a fim de identificar informações que possibilitem localizar atividades, referenciais e então compreender as relações espaciais existentes seja com o ambiente ou com objetos com os quais interajam (PRADO *et al.*, 2010).

Malnar e Vodvarka (2004) sugerem várias abordagens de projeto com foco no sistema háptico e em seus subsistemas: toque, temperatura, umidade e cinestesia. Por isso, propõem que outros aspectos dos materiais sejam considerados no momento de sua escolha, tais como texturas, dureza, condutividade térmica e resistência.

Santos (*apud* OLIVEIRA, 2010) afirma que na exploração pelo tato, o espaço deve ser considerado como totalidade. Porém, no momento da análise, este deve ser dividido em partes a serem assimiladas para uma posterior reconstituição do todo e um maior entendimento.

Katz (*apud* PEREIRA *et al.*, 2004), verificou em seus estudos que elementos mais estreitos e um maior espaçamento entre os caracteres, proporcionam um melhor entendimento das protuberâncias, o que confere uma maior facilidade de interpretação dos elementos táteis. O mesmo é relatado por profissionais de Centros de Apoio Pedagógico (CAP) para cegos, que através da experiência diária constataram que quanto maior for a variedade de texturas e o nível de detalhamento de uma gravura, maior o grau de complexidade e dificuldade de sua leitura.

Considerando sua importância, é abordado neste trabalho o sistema háptico, pois, seu desenvolvimento torna-se importante para que os cegos possam melhorar a capacidade de organizar, transferir e abstrair conceitos (PEREIRA *et al.*, 2004). No entanto, vale a ressalva de que não se trata de substituir a visão pelos demais sentidos, mas de desenvolvê-los e utilizá-los diferentemente dos videntes que os guiam através da visão. E embora valioso no ensino-aprendizado de alunos cegos, no ato de se projetar

para este público deve-se lembrar de que o tato não pode ser pensado de forma independente dos processos cognitivos envolvidos na assimilação de conhecimentos (BATISTA apud RIFFEL, 2009).

2.6 Abordagens existentes (produtos concorrentes)

Sabe-se que o sistema Braille, inventado na França, no século XIX pelo jovem cego Louis Braille, foi originalmente adaptado de um sistema de sinais militares de pontos em relevo, criado por Charles Barbier, capitão oficial da cavalaria francesa e continha apenas os 36 sons da língua francesa. Braille percebeu as limitações deste código e também suas potencialidades e criou uma nova versão que incluía o alfabeto completo, sinais de pontuação, números e outros sinais indicativos para a leitura (VITA, 2012). Hoje, caracteriza-se como o meio universal de comunicação, escrita e leitura para pessoas cegas e até o momento, apresenta-se como um dos métodos mais difundidos e eficazes de exploração do sistema háptico desses indivíduos (BRAGA, 2010).

Primeiramente o sistema Braille consistia em cada caractere composto por uma célula retangular com seis pinos distribuídos em duas colunas. Uma versão posterior passou a apresentar oito pinos arranjados em duas colunas, aumentando a possibilidade de combinação de sinais de 64 para 256 caracteres diferentes (BAR-COHEN, 2009).

Pereira *et al.* (2004) afirmam que ler Braille requer uma metodologia muito sistemática a fim de se perceber e assimilar todos os detalhes da célula. Tal procedimento frequentemente utiliza a progressão da esquerda para a direita e minuciosa atenção. O reconhecimento dos signos Braille é feito com a mão direita enquanto que a discriminação cuidadosa destes símbolos é realizada com a mão esquerda.

Pesquisas sobre o Braille revelam que caracteres com menor número de pontos se tornam mais legíveis. E que dificuldades maiores de leitura são encontradas em palavras abreviadas, múltiplas contrações na célula e em palavras que designam o alfabeto (*ib.* 2004).

Os recursos disponíveis na escrita em Braille não facilitam o desenvolvimento de tabelas e gráficos. Por exemplo, fazer um traço vertical é possível, porém, é muito trabalhoso e pouco funcional. Quanto aos sintetizadores de voz, funcionam bem para texto, mas também apresentam muitas limitações para disciplinas que usam

nomenclaturas e símbolos específicos, como é o caso da matemática (LEITE *et al.*, 2011).

Assim, como nem todas as informações podem ser transmitidas pelo método Braille – o que acontece, por exemplo, com as representações do espaço – é necessária a elaboração de modelos táteis como uma forma auxiliar de percepção deste espaço de maneira mais efetiva (OLIVEIRA *et al.* 2010).

Neste contexto, existem alguns dispositivos que podem ser utilizados na tentativa de se criar esses modelos táteis, tais como impressoras Braille, linhas Braille, Thermoform e adaptações manuais.

Sabe-se ainda que com o advento de novas práticas de ensino aliadas ao crescente desenvolvimento tecnológico foi permitida a introdução dos jogos educacionais nas escolas. Estes jogos têm a função de auxiliar didaticamente professores e alunos no processo ensino-aprendizado. Um dos objetivos dos jogos educacionais é prover meios para produção e construção do conhecimento pelo aluno, além de estimularem a imaginação e compreensão de certas dinâmicas sociais (Aranha *apud* Moraes *et al.*, 2008).

Podem-se citar dois produtos que atuam como jogos no processo educacional, o Geoplano e o Multiplano, materiais concretos que permitem alguma exploração espacial e são utilizados por algumas escolas e faculdades do Brasil no ensino para cegos.

Os métodos mencionados serão detalhados a seguir.

2.6.1 Impressoras Braille

As Impressoras Braille funcionam de maneira semelhante às impressoras jato de tinta convencionais, imprimindo no papel informações codificadas para o sistema Braille (Figura 2.3). Porém, a maioria destas impressoras necessita que o texto seja convertido em formato compatível com seu sistema e, para tanto, os usuários utilizam softwares como o Braille Fácil.



Figura 2.3. Alguns modelos de Impressora Braille. (a) EmBraille Desktop Embosser²; (b) Index Basic Braille Printer³; (c) Emprint Spotdot Fire⁴.

Na Figura 2.3 (a), tem-se um modelo de impressora Braille mais simples como a EmBraille Desktop Embosser, gerando pontos no papel conforme informação a ser impressa; porém ela necessita de software para conversão e seu preço de venda é de \$1995,0 (VIEWPLUS, 2013). A Index Basic Braille (Figura 2.3 b) é uma opção mais compacta e leve, a exemplo do que vem ocorrendo com as convencionais impressoras jato de tinta, e permite impressão frente e verso, apresenta o diferencial de controle por voz. Seu preço de venda é de \$3295,00 (TEXTE & RELIEF, 2013). Já a impressora Emprint Spotdot Fire (Figura 2.3 c), tem preço de venda de \$6995,00 e 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 conforme mais intensa/escuro for a ser impressa (VIEWPLUS, 2013).

Um comparativo dos resultados de impressões utilizando a Emprint Spotdot Fire e uma impressora Braille convencional pode ser visto na Fig. 2.4.

²Fonte: ViewPlus, 2013.

³ Fonte: Texte&Relief, 2013.

⁴ Fonte: ViewPlus, 2013.

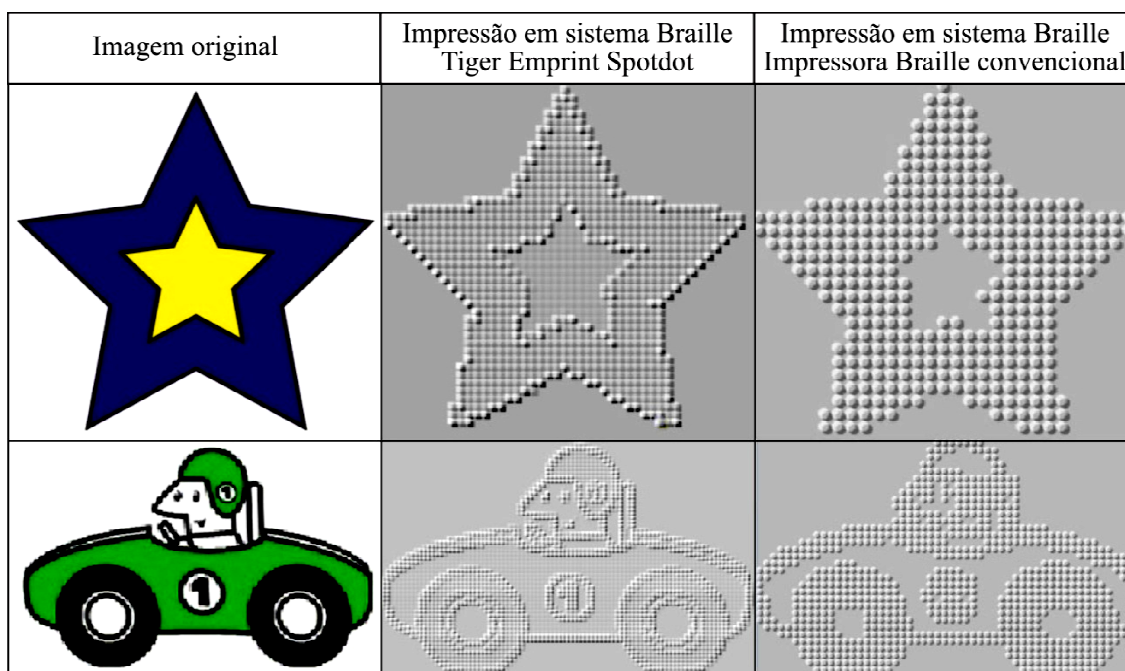


Figura 2.4. Comparação de impressão em pontos Braille pela Emprint Spotdot Fire e impressoras Braille convencionais. Fonte: ViewPlus, 2013.

Observa-se que devido a sua resolução e a possibilidade de variar a altura do ponto gerado no papel, os desenhos obtidos na Emprint Spotdot Fire são mais nítidos e proporcionam uma melhor compreensão do que os desenhos gerados pela impressora Braille convencional. No entanto, a Emprint Spotdot Fire conferiria um investimento de mais que o triplo do valor de uma impressora Braille convencional e ainda não teria uma resolução boa o suficiente para realizar desenhos de círculos e diagonais perfeitas, ou seja, apresentaria as limitações de obtenção de forma de um sistema ponto a ponto.

2.6.2 Thermoform

O Thermoform é uma termocopiadora (Figura. 2.5 a) que se utiliza de alta temperatura e sistema de compressão a vácuo para transferir a uma lâmina de termoplástico (acetato) as formas e texturas contidas no molde original (Figura. 2.5 b).

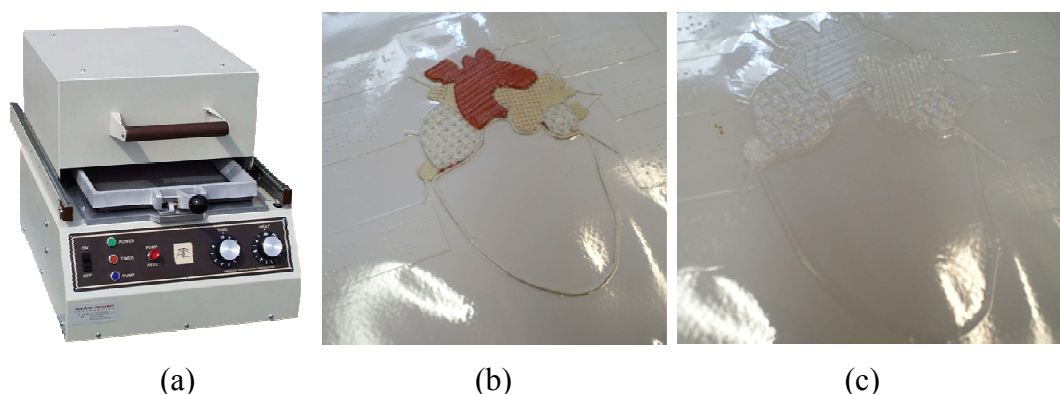


Figura 2.5. Utilização de termoformagem. (a) Thermoform Brailon Duplicator⁵; (b) Filme plástico sobre molde após realização de termoformagem; (c) Resultado pós termoformagem.

Na Figura 2.5 (a) observa-se uma imagem da termocopiadora comumente utilizada em escolas e centros de apoio ao cego que geralmente preparam um molde artesanal através de colagens de diferentes materiais e o utilizam no referido equipamento para a obtenção dos relevos na lâmina de material plástico, Figura 2.5 (c).

Esta técnica de termoformagem já foi muito explorada na obtenção de materiais didáticos e livros para cegos. Mesmo sendo apontada como uma solução não ideal tanto por profissionais de educação especial como pelos próprios cegos (o que será doravante abordado), é ainda bastante utilizada.

2.6.3 Linhas Braille (Réguas Braille):

As Linhas Braille ou Réguas Braille são teclados que transcrevem informações de computadores e celulares para uma linha em Braille. Através da ação de atuadores, que impulsionam os pontos Braille, permitem ao usuário receber e enviar informações.

As linhas ou réguas Braille podem ser acoplados a teclados convencionais de computadores e notebooks (Figura 2.6 a) ou se comunicar através de conexão *wireless* ou *bluetooth* com computadores e *smartphones* (Figura 2.6 b). Apresentam ainda opções de tamanho conforme desejo ou necessidade do usuário. A busca pela otimização deste produto deu origem aos estudos sobre Displays Braille Dinâmicos de página inteira.

⁵Fonte: Brailletec, 2013.



Figura 2.6. Linhas Braille. (a) ALVA Satellite Braille Display; (b) Easylink; Fonte: Optelec, 2013.

2.6.4 Geoplano

Segundo Machado (2004), o Geoplano (Figura 2.7) é um recurso didático-pedagógico, dinâmico e manipulativo que contribui para explorar, principalmente através do tato, 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.

Na Figura 2.7 (a), pode-se observar a versão industrializada de um Geoplano com sistema de coordenadas cartesianas. Comercialmente encontrado em sites especializados, é composto de uma base de madeira com perfurações e pinos de encaixe feitos em material plástico. No entanto, é habitualmente utilizado em sua construção artesanal (Figura 2.7 b), feita geralmente de uma tábua de madeira com pregos distribuídos em linhas e colunas, sem grandes cuidados quanto ao espaçamento entre eles. Barbantes ou ligas de elástico são usados para compor as formas desejadas. Porém, há limitações quanto a concepção de formas geométricas, bem como a dificuldade de se obter formas arredondadas, como senóides, parábolas e circunferências.

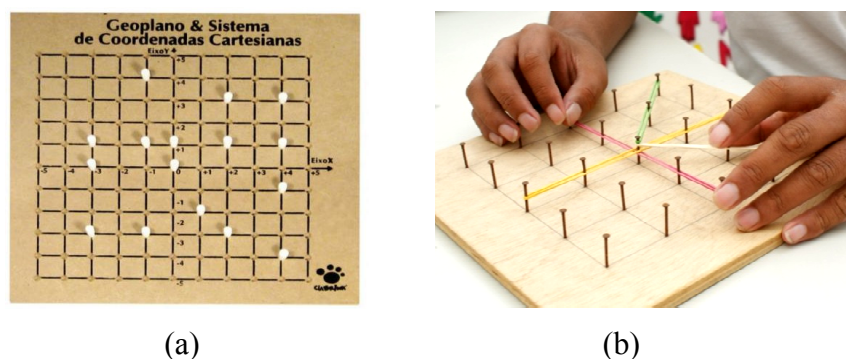


Figura 2.7. (a) Geoplano comercial⁶; (b) Utilização de Geoplano artesanal;

⁶ Fonte: Lojas Wessel, 2013.

2.6.5 Multiplano

O Multiplano recebeu recomendação do Ministério da Educação (MEC) para a aplicação em toda a rede de ensino brasileira e começou a ser comercializado em todo o país, também na versão digital. O instrumento pode ser usado tanto para alunos das séries iniciais do Ensino Fundamental quanto para estudantes do Ensino Superior (Gazeta de Maringá, 2009). Projetado pelo professor Rubens Ferronato inicialmente para o ensino de matemática a um aluno cego do Ensino Superior, trata-se de uma espécie de jogo semelhante ao Geoplano que permite a construção de gráficos e formas geométricas não apenas de forma planificada, mas nos três eixos (FERRONATO, 2002).

Na Figura 2.8 (a), observa-se a utilização do Multiplano por um aluno do Ensino Superior da UFPR. Percebe-se também a diversidade de peças em cores e formatos, objetivando proporcionar uma maior opção de utilização ao aluno e atender os mais variados graus de deficiência visual ou mesmo alunos videntes. Na Figura 2.8 (b), visualiza-se como seriam obtidos gráficos de curvas e barras. Um aspecto negativo é que, assim como o Geoplano, apresenta as mesmas limitações para a criação de figuras como círculos e parábolas.



(a)



(b)

Figura 2.8. (a) Utilização do Multiplano por aluno do curso de Ciências da Computação da UFPR⁷; (b) Exemplificação de gráficos no Multiplano⁸.

⁷ Fonte: Gazeta de Maringá, 2009.

⁸Fonte: Casa da Educação, 2013.

2.6.6 Adaptações manuais:

As adaptações manuais são desenhos reproduzidos utilizando-se materiais artesanais (Figura 2.9 a), 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.

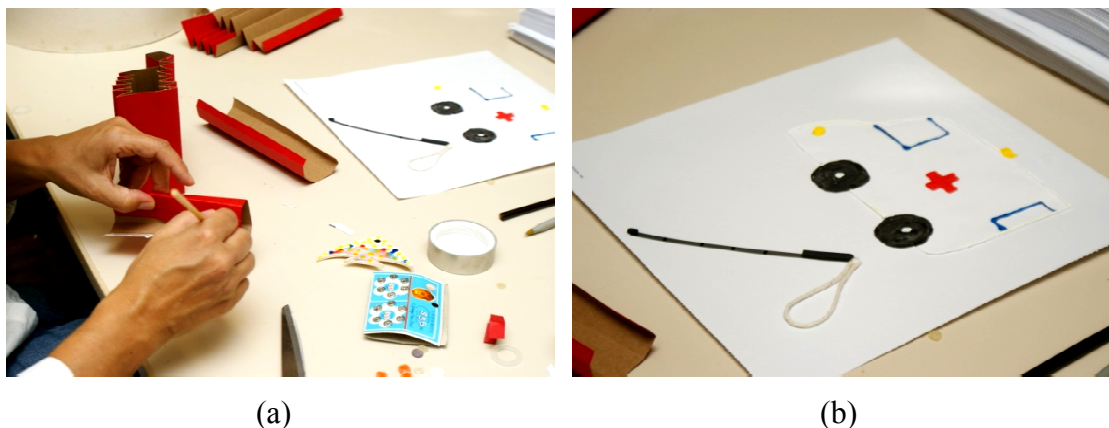


Figura 2.9. (a) Adaptação artesanal de material pedagógico; (b) Ambulância e bengala em versão manualmente adaptada.

Na Figura 2.9 (a), tem-se o exemplo de um profissional da área de Pedagogia realizando a adaptação de um material para alunos cegos, através de técnicas artesanais. Vê-se a tentativa deste em criar uma sanfona que possa ser aplicada ao papel para que através da percepção tátil o cego possa compreender suas formas. Porém, torna-se um trabalho minucioso, que deve ser feito individualmente e por isso, dispendioso em tempo. Além disso, não proporciona um padrão no resultado obtido (traços de desenho), Figura 2.9 (b), e depende bastante das habilidades artísticas de quem o realiza.

2.6.7 Leitores:

Os chamados Leitores são programas que capturam toda a informação apresentada na forma de texto e a converte em uma resposta falada através de um sintetizador de voz. A navegação dispensa o uso do mouse na maior parte do tempo, e o áudio é emitido através da placa de som do computador, não sendo necessária qualquer adaptação especial para que o programa funcione e possibilite a utilização do computador pelo deficiente visual. São exemplos de leitores de tela DOSVOX, Jaws,

Virtual Vision, Non Visual Desktop Access – NVDA, Orca, dentre outros (MELO, 2011).

No entanto, alguns leitores de tela possuem limitações em relação à leitura de temas que apresentem figuras, gráficos e tabelas, o que pode dificultar a compreensão do que está sendo exibido na tela por parte do deficiente visual, pois é feita uma leitura ponto a ponto do que está disposto na tela (LOPES *et al.*, 2009).

2.7 Displays Braille

Evidentemente, muito se têm empreendido em pesquisas que buscam por novos métodos e equipamentos objetivando facilitar o aprendizado e o acesso à informação por DVs. Trata-se de uma tentativa de fazer com que o desenvolvimento de produtos para cegos possa acompanhar a celeridade do avanço tecnológico e do lançamento de novos dispositivos de informação e comunicação. Percebe-se que a busca mais difundida atualmente é por um sistema de atuadores e de controle que seja economicamente viável e de fácil manutenção para *displays* dinâmicos em Braille.

Um *display* Braille é um dispositivo que projeta caracteres em relevo a fim de permitir que pessoas cegas possam ler informações. É composto por partes mecânicas e eletrônicas e utilizam um atuador para promover o movimento para cima ou para baixo de cada pino Braille, ou seja, para controlar a curvatura ou nivelamento destes (YEH & LIANG, 2007; YOBAS *et al.*, 2003). A maioria utiliza-se, para isso, de impulsos elétricos ou magnéticos e possuem como requisito básico de projeto favorecer sua portabilidade, devendo ser pequeno, leve e consumir pouca energia (CHO & KIM, 2006). A maior dificuldade encontrada está na busca por um atuador ideal, pois um *display full-page* (página inteira) de 28x30 cm com 25 linhas de 40 caracteres cada, requer de 6 a 8 mil pinos (*dots*) e atuadores, obtendo-se assim uma resolução de 1pino/mm² (BAR-COHEN, 2009).

Ao longo dos anos vários tipos de atuadores têm sido testados com este fim, dentre eles eletromagnéticos, pneumáticos, solenóides, piezoelétricos, relés, polímeros eletroativos (EAP), *flappers*, ligas com memória de forma (*shape memory alloys* - SMA) e fluidos eletroreológicos. Abaixo pode-se citar algumas desvantagens

significativas relacionadas a esses materiais (YEH & LIANG, 2007; CHO & KIM, 2006; BAR-COHEN, 2009):

- **Solenoides** - São difíceis de miniaturizar, pois ocupam espaço por causa da indução magnética na bobina (Figura 2.10 a).
- **Piezoelétricos** - Requerem tensões elétricas maiores para operação e o tamanho de seu sistema de controle torna-se relativamente grande, o que gera um sistema pesado e de custo elevado.
- **Flappers actuator** - Atuador baseado na teoria eletromagnética, de sistema funcional semelhante ao solenoide e ao relé. Embora sejam apresentados como solução de baixo custo, apresentam perda de força em função do aquecimento gerado.
- **Ligas com memória de forma** - Possuem resposta lenta, o que dificulta o processamento de dados em tempo real, além de ser necessário um sistema de ventilação para funcionamento.
- **Fluidos eletroreológicos** - Utilizam altas tensões elétricas e aquecem quando em operação, por isso precisam da utilização de sistema de arrefecimento, e por medida de segurança, ser constantemente monitorados.
- **Polímeros eletroativos** - Desde 2003, muitos grupos têm desenvolvido protótipos de dispositivos Braille utilizando atuadores com base em polímeros eletroativos (Figura 2.10 b), pois verificou-se que, assim, vários atuadores podem ser colocados em uma área pequena sem interferência. As pesquisas mostram a utilização de materiais como polímeros condutores, elastômeros dielétricos, ferroelétricos, compósito eletroativo de polímero iônico e metal (IPMC) e fluoreto de polivinilideno (PVDF). Mas estes também apresentam aspectos negativos significativos que limitam sua viabilidade comercial. O IPMC não produz força suficientemente satisfatória, o EAP, assim como o atuador piezoelétrico, requer alta tensão elétrica de funcionamento (grande dispêndio de energia), além do fato de que polímeros condutores possuem um curto tempo de vida útil.

Assim, tais dispositivos acabam se configurando em produtos de custo elevado (cerca de alguns milhares de dólares) devido à complexidade de produção, controle, manutenção e materiais necessários para confecção de um *display* de página inteira (*full-page*) (YOBAS *et al*, 2003; YEH *et al*, 2008; ALUTEI *et al*, 2013). Em virtude

disto, os *displays* Braille encontrados atualmente no mercado são apresentados como células unitárias ou régua (lineares), displays simplificados, que não configuram uma solução interessante para a representação de diagramas (BAR-COHEN, 2009).



Figura 2.10. (a) Relógio que projeta horas pela utilização de solenoides (Fonte: NDigit, 2012); (b) Aparelho para leitura Braille de livros eletrônicos (Fonte: Yanko Design, 2012).

Na figura 2.10 (a), tem-se um exemplo da aplicação de solenoides na projeção de pontos o que é feito de forma análoga na concepção de *Displays* Braille Dinâmicos que optam pela utilização deste tipo de atuador. A Figura 2.10 (b) apresenta um Display Braille dinâmico *full page* (página inteira), um aparelho de leitura Braille de livros eletrônicos (e-books) que utiliza polímeros eletroativos como atuadores. Este último trata-se de um trabalho conceitual desenvolvido pela Yanko Design e ambos os sistemas de atuadores apresentam as desvantagens já mencionadas.

3 METODOLOGIA

A fim de dar a fundamentação teórica necessária ao projeto, em um primeiro momento a metodologia adotada pautou-se na pesquisa bibliográfica e na busca por periódicos e publicações técnico-científicas sobre educação para cegos, bem como dados estatísticos a este respeito.

Foi realizada uma abordagem qualitativa com caráter exploratório, baseada na observação e interpretação dos materiais pesquisados. Referências dentro do universo do design foram consultadas, particularmente aquelas que citavam a responsabilidade social, na área de inclusão e metodologias de projeto.

Desta forma pôde-se verificar a real necessidade de um método de ensino através de materiais concretos, palpáveis, que proporcionem visualização através das mãos a quem não enxerga com olhos.

Também foram investigados produtos destinados ao ensino e/ou acesso de informações por deficientes visuais, a fim de compreender o estado da arte destes equipamentos e tecer comentários analíticos sobre os mesmos. Posteriormente, procurou-se obter dados acerca da ergonomia e usabilidade dos produtos existentes, para tanto se optou por realizar visitas a centros de adaptação de materiais didáticos como forma de apoio ao cego e instituições de educação inclusiva. Neste contexto, optou-se por realizar visitas ao Instituto Santa Luzia, escola inclusiva de ensino fundamental e médio localizada em Porto Alegre e referência em educação para cegos no estado. No entanto, após ida ao local e várias tentativas de contato, não foi obtida uma resposta favorável à realização dessa coleta de dados na instituição.

Assim, buscou-se outra instituição de ensino em que se pudesse realizar a referida análise. Como os Centros de Apoio ao Cego de Porto Alegre e a Associação dos Cegos do Rio Grande do Sul (ACERGS) não tinham conhecimento ou indicação de alunos cegos no Ensino Médio da região, por recomendação, visitou-se o Centro de Apoio Pedagógico – CAP de Florianópolis que se ocupa da produção de recursos didáticos para alunos com deficiência visual e o Instituto Estadual de Educação, escola regular de ensino localizada na mesma cidade, que adota política de educação inclusiva.

Tais visitas também auxiliaram no processo de análise crítica dos equipamentos e métodos empregados na produção de gráficos para cegos, pois se obteve acesso a alguns desses, tais como Impressora Braille, Geoplano, Thermoform e técnicas artesanais com

colagens e tintas em relevo. Isso também auxiliou na configuração dos requisitos de projeto da impressora em questão.

Também foram abordadas outras formas para a obtenção dos dados que permeiam as necessidades do usuário. Fez-se contato através da internet com a Professora e Pedagoga Luciane Molina Barbosa, que atua no ensino de deficientes visuais na rede Municipal de Ensino de Lorena/SP e que também é cega. Barbosa mostrou-se receptiva ao projeto, contribuindo com informações sobre a leitura do cego e suas preferências.

Posteriormente foram realizados testes de tempo de secagem e relevo ao toque com colas polivinílicas, tinta relevo acrílica e tinta de emulsão acrílica expansiva.

3.1 Consultas e Visitas Técnicas

Nas visitas realizadas em junho de 2013 às duas instituições em Florianópolis – SC, tem-se como denominador comum um aluno que será chamado “A.” a fim de proteger sua identidade – o mesmo método será adotado para identificar os professores e demais profissionais que nestas visitas auxiliaram na obtenção de informações.

A. possui 18 anos de idade, nasceu com baixa visão que em poucos anos evoluiu para uma cegueira adquirida. Atualmente possui apenas 4% de sua visão e revela ter perdido até a sensibilidade a estímulos provocados pela luz.

Natural de São Paulo, estudou durante toda a sua infância no Instituto de Cegos Padre Chico, instituição de educação Vincentina de ensino fundamental I e II, tendo reprovado apenas na primeira série do ensino fundamental, segundo o mesmo, devido à fase de adaptação.

Mudou-se para Florianópolis no final de 2011 e cursou a 8ª série na Escola Básica Municipal Professor Anísio Teixeira, porém relatou pouca estrutura para educação de cegos em tal instituição. No início do ano letivo de 2013, matriculou-se no Instituto Estadual de Educação, onde cursou o 1º ano do Ensino Médio. Em sala de aula uma colega vidente se dispôs a ajudá-lo atuando como ledora, ditando-lhe a matéria. Também lhe foi fornecido pela escola um notebook adaptado (com teclas em Braille e sistema DOSVOX) para estudo.

A seguir será explanada a contribuição da Professora Luciane Molina Barbosa e da visita a cada uma das instituições mencionadas.

3.1.1 Luciane Molina Barbosa

Conforme elucidado previamente, com a evidente dificuldade de acesso a alunos cegos do Ensino Médio, foi preciso encontrar novas formas de obtenção de informações sobre este público. Neste contexto, através de pesquisas na internet, encontrou-se a Pedagoga Luciane Molina Barbosa, cega – professora de deficientes visuais na rede Municipal de Ensino de Lorena/SP – que mostrou-se receptiva no apoio ao projeto, e com base na sua experiência de vida e de educadora forneceu por meio de um canal de bate-papo online, informações sobre a leitura do cego e suas preferências.

Vale salientar que o contato com Barbosa antecedeu as visitas técnicas ocorridas em Florianópolis, o que foi importante, pois norteou o que deveria ser abordado em tais encontros.

Sobre a proposta de se criar um gerador de gráficos em alto-relevo para cegos e sobre os produtos existentes no mercado, Barbosa em um primeiro momento mostrou especial interesse na possibilidade de desenvolvimento de um display Braille dinâmico, cujos pontos seriam projetados pela ação de atuadores. No entanto, devido a possuir conhecimento de produtos expostos em feiras de tecnologia assistiva, estava ciente de que esta alternativa teria um custo extremamente elevado e que não se tratava de uma tecnologia bem desenvolvida em relação ao controle de atuadores. Sem mencionar sua limitação no que se refere à precisão dos traços e formas criadas.

Desta forma, Barbosa sugeriu que uma solução interessante seria a adotada pelos livros da Coleção Infantil “Adélia”, escritos por Lia Zatz da Editora WG Produto (Figura 3.1), que atendem tanto crianças videntes, quanto DVs. Nesta coleção, são adotadas técnicas de impressão gráfica que permitem a exploração do tato e do olfato. São técnicas como verniz localizado, clichê, texturização e aplicação de talco que proporcionam os relevos e aromas encontrados nos livros.



Figura 3.1. Livros da Coleção Adélia para todas as crianças (Fonte: WG Produto, 2013).

Barbosa enfatizou, ainda, a importância de se trabalhar com áreas não muito grandes já que dificultam a percepção do todo, e nem pequenas demais, pois podem ser demasiadamente simplificadas, perdendo detalhes significativos da imagem. Ela ressaltou o valor de se ter cuidado especial com o equilíbrio porque texturas diferentes agradam, mas, em demasia dificultam a interpretação, pois configuram muita informação a ser processada.

Sobre o uso do Thermoform, comentou que os materiais obtidos são monótonos, pois mesmo tentando simular texturas diferentes, não o fazem de forma atraente, além de sofrerem deformação caso não sejam explorados cuidadosamente.

Barbosa finaliza reafirmando que uma impressora que fosse capaz de fazer algo semelhante aos livros da Coleção “Adélia” seria de grande valia.

3.1.2 CAP Florianópolis

O Centro de Apoio Pedagógico de Florianópolis foi criado por uma parceria entre a prefeitura municipal, e o Ministério da Educação (MEC), e é responsável por realizar o trabalho de adaptação de materiais didáticos para os cegos do município de Florianópolis e arredores. O Centro conta com uma equipe limitada formada em sua maioria por pedagogos. Conforme a pedagoga “B.” do CAP, o material didático do aluno A. foi recebido pelo CAP em dezembro de 2012 e em junho de 2013 ainda não havia previsão de data para entrega, pois o trabalho de adaptação é manual e minucioso, havendo pouco contingente para atender a demanda. B. relata também que o CAP

possibilita duas formas de disponibilização do material, em áudio ou em transcrição para o Braille ficando a escolha de acordo com a preferência e afinidade do aluno.

A seguir serão pautadas as técnicas de adaptação disponíveis no CAP Florianópolis e as limitações relatadas e/ou observadas.

Impressora Braille – Um dos métodos mais utilizados, em conjunto com o software livre “Braille Fácil” realiza a transcrição dos materiais para o Braille e ainda imprime desenhos e gráficos com a utilização dos pontos Braille. *Limitações:* Nem todo desenho pode ser simplificado e impresso por este sistema, pois, devido a uma questão de “resolução”, círculos perfeitos (Figura 3.2 a) e retas em diagonal (Figura 3.2 b) não podem ser reproduzidos por esta técnica. Além disso, esse material mesmo impresso em papel de alta gramatura, é descartável, pois com a utilização e pressão empregada pelos dedos do usuário perde o relevo dos pontos com o tempo.

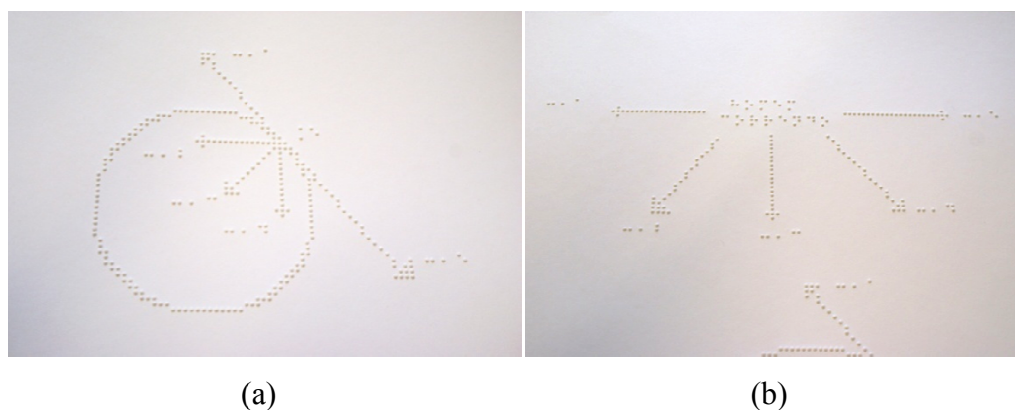


Figura 3.2. Exemplos de diagramas dos livros de Matemática e Física do aluno A. (a) Exemplo de impressão de círculo com reta tangente utilizando pontos Braille; (b) Retas de direção, com destaque para as retas em diagonal.

Thermoform – Conforme mencionado, trata-se de uma termocopiadora que passa para um filme de plástico sólido as formas e texturas contidas no molde anteriormente elaborado. *Limitações:* Maquinário importado de difícil acesso à assistência técnica e cujas lâminas para produção são dispendiosas. Caso o ar não seja retirado de forma adequada no processo de cópia, a lâmina fica enrugada e perde sua funcionalidade tendo de ser descartada. Segundo B., a

maioria dos usuários relata não se sentir confortável com sua utilização por o acharem pouco atraente ao tato.

Trabalho manual com colagens, colas e tintas sintéticas de relevo – Também bastante utilizado, onde os desenhos são reproduzidos utilizando-se de materiais e técnicas artesanais. *Limitações:* Por ser manual, não há uniformidade no traço e as formas dependerão muito das habilidades artísticas de quem realiza a adaptação. Também demanda muito tempo e nem tudo é possível de ser transcrito. Algumas tintas acrílicas de relevo acabam por aderirem a outras folhas de papel mesmo após o tempo de secagem.

Multiplano – O CAP/Florianópolis possui três unidades do Multiplano, produto desenvolvido por Rubens Ferronato para o ensino de gráficos de geometria a cegos. B. afirma que estas unidades encontram-se no CAP desde o início de 2012 e que não foram utilizadas ainda e nem disponibilizadas às escolas e seus alunos por falta de capacitação para sua utilização. Embora o material venha acompanhado de manual de utilização, este não é de uso intuitivo e em junho de 2013 ainda era aguardada disponibilidade na agenda de seu inventor para que tal habilitação pudesse ser feita com alguns membros do CAP e então passada aos responsáveis nas escolas.

3.1.3 Instituto Estadual de Educação (IEE) de Florianópolis

Em contato com “C.”, professora/pedagoga do SAEDE (Setor de Auxílio à Educação Especial) do IEE, obteve-se acesso ao aluno A. e alguns de seus professores.

“D.”, professor de matemática, considera que o aluno A. tenha um ótimo senso de abstração e boa compreensão das explicações dadas, porém um déficit em sua educação básica acarretou em dificuldades de percepção de formas geométricas. Na ausência de alternativas didáticas, D. visualiza que para o ensino de planos cartesianos e gráficos será utilizado um Geoplano artesanal, feito pelo próprio com uma base quadrada de madeira contendo cinco linhas e cinco colunas de pregos com espaçamento de 40 mm entre eles, onde ligas de borracha são utilizadas para exemplificar linhas e eixos.

Além do Geoplano, o IEE possui uma impressora Braille e computadores com sistema DOSVOX para alunos DV.

Por fim foram apresentados ao aluno cego cinco alternativas de aprendizagem de gráficos, entregando-lhe exemplos de cada uma destas para apreciação. Foram elas: gráficos impressos em pontos Braille (Figura 3.3 a), desenhos em termoformagem (Figura 3.3 b), Geoplano, imagens dos livros da coleção “Adélia” (Figura 3.3 c) feitas com verniz localizado (impressão gráfica) e gráficos feitos com a utilização de três tipos de tintas acrílicas em alto-relevo (3D, com *glitter* e expansível ao calor). Vale a ressalva de que o livro da coleção “Adélia” foi utilizado como parâmetro de comparação por ser considerado um exemplo de boas práticas por DVs de faixa etária variada, pois apresenta uma diversidade de texturas e aromas, feitos com diferentes técnicas de verniz localizado.

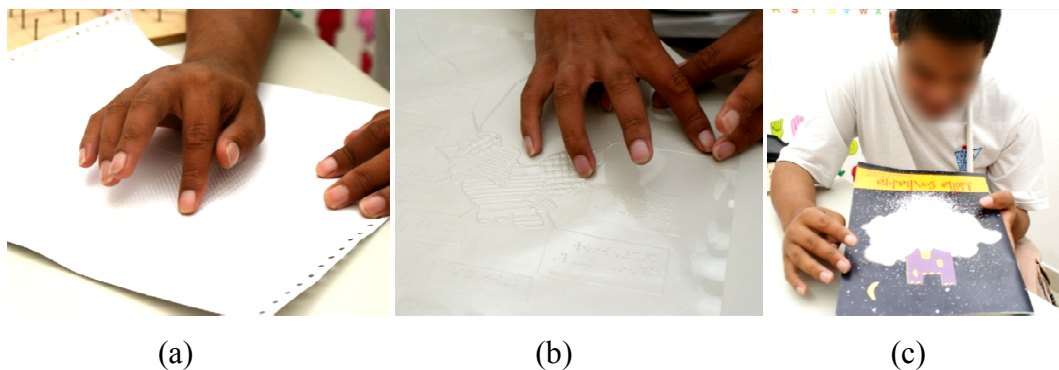


Figura 3.3. (a) Aluno A. realizando leitura de gráfico impresso com pontos Braille; (b) Aluno realizando leitura de imagem feita por termoformagem; (c) Análise de texturas e verniz localizado do livro “Adélia Sonhadora”.

De acordo com o aluno A. o Geoplano e o relevo obtido com a tinta de emulsão acrílica de propriedades expansivas foram os que apresentavam melhor resposta ao toque, o que os tornavam mais atrativos. Porém, por ser uma variação do ponto a ponto, o Geoplano possui alguns limitadores de reprodução de formas e de simplificação de sistemas no que tange aos complexos gráficos abordados nas aulas de Ciências Exatas, principalmente em cursos de graduação e pós-graduação. Ele também apresenta certos riscos ao usuário cego devido à oxidação dos pregos e a presença de cantos vivos.

Portanto, chegou-se a conclusão de que o produto deste trabalho, deveria utilizar traço contínuo por deposição de material proporcionando relevo no papel, pois gráficos

ou diagramas compostos por um conjunto de pontos ou de projeção de pinos não são capazes de reproduzir todas as formas de modo limpo e de compreensão clara.

Síntese das visitas

Tendo como base que há uma maior concentração de cegos na classe social D, com as visitas realizadas e as informações obtidas diretamente de usuários cegos e profissionais da área, concluiu-se que uma solução de baixo custo e de bom desempenho para o gerador de gráficos em alto-relevo seria uma impressora que criasse relevo por deposição de material ou tinta.

3.2 A impressora

Pensar em impressora remete ao sistema das convencionais jato de tinta que muitos usuários possuem em suas casas ou no escritório, porém, a maioria destas impressoras trabalha com um sistema de rolos que não só puxam e devolvem a folha como também estão ativos durante o processo de impressão visando obter um produto de dimensões reduzidas. De início identifica-se que tal sistema não poderá ser empregado no produto, pois poderia danificar a impressão em relevo ou borrar a tinta.

Sabe-se que alguns plotters utilizados em gráficas funcionam como uma CNC trabalhando com deslocamento de eixos no sistema cartesiano para a obtenção de impressões de plantas baixas ou outras imagens. Assim, pensou-se que a impressora em alto-relevo poderia seguir o exemplo de sistema funcional destes plotters.

3.3 Escolha da tinta

Para a escolha da tinta, sabia-se ser necessária uma substância que tivesse certa consistência e viscosidade de forma que ao ser depositada no papel mantivesse seu relevo após processo de secagem. Também era sabido que se tal tinta tivesse um rápido processo de secagem seria melhor, pois favoreceria a agilidade na impressão dos materiais didáticos. Neste contexto, pensou-se primeiramente na utilização de substâncias que pudessem ter seu processo de secagem acelerado pelo tratamento com exposição à radiação ultravioleta (UV), similarmente ao que ocorre com o tratamento do verniz localizado em sistemas de impressão gráfica. Assim, procurou-se o Verniz UV e a Cola UV, cuja cura em exposição ultravioleta varia de 1 a 30 segundos conforme

potência da lâmpada UV e área de extensão de cura (LOJA CHIMAS, 2014), no entanto, o preço deste material era elevado (R\$ 95,00 o tubo de 100g) para este trabalho e para a realização de testes.

Então, resolveu-se testar a aplicação das tintas e colas utilizadas nas adaptações manuais do CAP Florianópolis (cola polivinílica, tinta relevo 3D acrílica, tinta acrílica com *glitter* e tinta de emulsão acrílica expansiva ao calor). Foram testes qualitativos de secagem ao toque e relevo obtido que consistiram em:

I - Secagem ao ar livre;

II - Secagem por exposição a raios ultravioleta – UV (3 lâmpadas UV de 9 W);

III - Tentativa de se acelerar o processo de evaporação por aquecimento.

Para o teste II, como fornos de secagem de unhas de porcelana ou unhas gel possuem de 3 a 4 lâmpadas UV de 9W e tempo de secagem de um minuto, resolveu-se testar o comportamento de tais tintas quando submetidas a estes parâmetros. No entanto, os testes I e II apresentaram os mesmos resultados, a cola polivinílica secou após duas horas e as tintas secaram após aproximadamente uma hora, o que indicou que os componentes da cola/tinta não reagem à exposição UV e como não foi observada qualquer alteração na tinta descartou-se a utilização da exposição UV, e, portanto, não foram realizados testes de exposição com lâmpadas UV de maior potência.

O teste III não apresentou resultado positivo, pois a tinta secava de forma heterogênea, causando granulações em determinadas partes. Restando a opção de secagem ao ar livre.

Quanto ao relevo obtido, a cola polivinílica apresentou relevo imperceptível ao toque, havendo apenas uma pequena mudança de textura e coloração no papel. Para as demais tintas utilizou-se como critério de escolha a opinião do aluno A. e das pedagogas do CAP Florianópolis, optando pela tinta de emulsão acrílica de propriedades expansivas ao calor que após expansão adere menos às folhas subsequentes colocadas sobre a impressão.

3.3.1 Teste de expansão da tinta

Após definição da tinta a ser utilizada realizou-se alguns testes para averiguar a temperatura e o tempo de expansão da tinta. Este teste foi realizado em dois momentos, o primeiro foi feito antes da construção do protótipo e consistiu em desenhar-se em uma

folha de papel A4, de 75g/mm^3 de gramatura, uma linha com a tinta de propriedades expansivas e aguardar-se 1 hora até que secasse. Após, aguardou-se o aquecimento da chapa de metal de um ferro de passar roupas até que atingisse a temperatura de 200°C , para isso foi utilizado um termômetro digital, marca MINIPA – modelo MT-510 11 com precisão de 0,3% do fundo de escala – em seguida, colocou-se a referida folha sobre a chapa aquecida e cronometrou-se o tempo de expansão com um cronômetro de 0,01 s de incerteza. Assim, obteve-se o resultado de sete segundos a 200°C .

Este teste foi repetido com as impressões realizadas pelo protótipo construído trocando-se a chapa de ferro por um soprador térmico marca DWT – modelo HLP2000 e foi utilizado o termômetro infravermelho IRtec – modelo P500+Mk2. Para tanto, fixou-se o soprador a uma altura perpendicularmente ao papel de forma que ficasse uma distância de 130 mm entre este e o bico do soprador (Figura 3.4).



Figura 3.4. Soprador de ar fixado para teste de tempo de expansão da tinta.

Neste segundo teste, foi possível observar que a tinta começa a expandir a 90°C e que a 200°C com o soprador a uma distância fixa de 130 mm a tinta expandiu em uma média de 12,5 segundos.

4 REQUISITOS DE PROJETO

Levando-se em conta a área de preocupação do designer, desde o princípio deste trabalho pensou-se em apresentar uma proposta que considerasse as necessidades dos usuários, e embora o foco principal sejam os alunos cegos, professores e profissionais de centros de adaptação de material também acabam por integrar o público ao qual este projeto se destina.

Para isso, é necessário aplicar um método que permita levantar as necessidades do usuário. Dentre os diversos métodos existentes, segundo Back *et al.* (2008), os mais recomendados e utilizados são:

- A. Aplicação de entrevistas estruturadas com usuários;
- B. Parcerias ou alianças no projeto, permitindo a participação de usuários na realização do projeto como forma de se conhecer suas necessidades;
- C. Parecer de consultores ou especialistas capacitados na identificação das necessidades dos usuários;
- D. Sessões de brainstorming para a obtenção de ideias inovadoras;
- E. Experiências pessoais ou da empresa para a qual se está trabalhando;
- F. Pesquisa em publicações de cunho científico;
- G. Previsão da capacidade tecnológica para aplicação;
- H. Análise de produtos concorrentes;
- I. Prototipagem e realidade virtual, geralmente aplicadas para se detectar falhas de projeto e a interação usuário-produto;
- J. Método do Desdobramento da Função Qualidade (QFD).

O Desdobramento da Função Qualidade, apresentado por Akao (apud Back *et al.*, 2008), no fim dos anos 1960, é fundamentado na preocupação de que os produtos sejam projetados para refletir os desejos, gostos e expectativas do consumidor, ressaltando assim que estes devem também fazer parte do processo de desenvolvimento do produto. Desta forma, o QFD é um método de apoio ao desenvolvimento de produtos, que contribui para que as expectativas do consumidor sejam incorporadas ao projeto, aumentando a satisfação dos mesmos e sua aceitação no mercado (ESTORILIO, 2007).

Vale a ressalva de que o QFD não é considerado um método de elicitação das necessidades do consumidor propriamente ditas, mas uma forma de documentação e

visualização das necessidades detectadas por todos os métodos supra mencionados, ou seja, acaba por englobar e organizar os resultados obtidos nos demais processos. Atua assim, como auxiliar no processamento destas informações e suas transformações em requisitos de usuários e de projeto (BACK *et al.*, 2008).

Dentre os benefícios de sua utilização, podem-se destacar (ROCHA JÚNIOR, 2012):

- Transformação dos requisitos do cliente em requisitos de produto;
- Identificação dos requisitos de produto mais importantes para os clientes;
- Mensuração quantitativa dos desejos dos clientes;
- Facilita a documentação de informações por meio de matrizes de dados;
- Auxilia no gerenciamento de projeto do produto.

Pode-se dizer que os métodos: A, B, E, F, G, H e I foram aplicados e já elucidados neste projeto. Desta forma, a fim de auxiliar na definição dos requisitos e parâmetros, convencionou-se utilizar as técnicas do Desdobramento da Função Qualidade (QFD).

Com base nas entrevistas realizadas e visitas técnicas, foi possível traçar as necessidades do consumidor quanto ao uso do aparelho – operação e transporte, segurança, aparência e custo de aquisição. Tendo como ponto de partida estas necessidades, pode-se visualizar com maior propriedade os requisitos de qualidade do produto, características inerentes à sua funcionalidade em função das expectativas do usuário.

De acordo com o método QFD, valores de relacionamento devem ser atribuídos, em uma escala de 1 a 5, entre os requisitos de usuário e os requisitos de projeto, o que ocorre por meio do julgamento do grau deste relacionamento, ou seja, se este é forte, médio, fraco ou nulo, conforme mostrado na Figura 4.1.

Na Figura 4.1, é mostrada a Casa da Qualidade para o projeto proposto, nela o setor de Planejamento da Qualidade, à direita, possui seus valores atribuídos da seguinte forma (BACK *et al.*, 2008): na coluna do “Plano de qualidade” são colocados valores relacionados à meta que o projetista deseja atingir naquele requisito, cuja escala é compatível com a do grau de relacionamento, ou seja, de 1 a 5. Tendo como base que 5 seria qualidade total, atribuiu-se o mesmo valor (máximo) como meta de todos os requisitos.



Figura 4.1. Casa da Qualidade - Matriz QFD - Necessidades do Consumidor X Requisitos de Projeto

Adotando a nomenclatura do QFD utilizada por Back *et al.* (2008) para o respectivo projeto, em linhas gerais, a “Casa da Qualidade” proposta pode ser explicada da seguinte forma:

A “Taxa de melhoramento” também possui a mesma escala de valores, porém, trata-se de um campo destinado à avaliação de produtos concorrentes, o que não se aplica para o produto em questão, pois não há ainda no mercado uma impressora que utilize tinta em alto-relevo. Desta forma, atribuiu-se o valor mínimo (1) à todos os requisitos, a fim de se neutralizar sua influência aos cálculos seguintes.

Aos “Fatores de venda” são valores de 1,5, 1,2 e 1, onde 1 corresponde a zero, e estão relacionado com o quanto aquele determinado requisito influenciará no processo de venda do produto se for atendido de maneira satisfatória. Esse é julgado pela equipe de projeto que acaba por ponderar os devidos valores.

O “Peso absoluto” (pa) corresponde à média aritmética dos valores dados a cada requisito do usuário multiplicada pelo fator de venda. E o “Peso do requisito do usuário” (pru) é um percentual calculado aplicando-se a equação 4.1:

$$pru_i = \frac{pa_i}{\sum_i^n pa_i} \quad (4.1)$$

Os valores de RP, são atribuídos através das equações 4.2 e 4.3. Assim como o “Peso do requisito do usuário”, os valores $RP_{i,j}$ servem para elucidar a prioridade de atendimento do requisito.

$$RP_i = \sum_{j=1}^n GR_{j,i} \quad (4.2)$$

$$RP_j = \sum_i^n pru_i \times GR_{j,i} \quad (4.3)$$

Desta forma, pru indica que uma atenção especial deve ser dada à precisão do traço, fácil abastecimento de tinta, segurança do usuário, além do baixo custo do produto. RP indica que nos requisitos de projeto deve-se dedicar maior atenção ao planejamento de distribuição dos compartimentos funcionais e componentes da impressora e ao sistema de aquecimento para expansão da tinta.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Definidos os requisitos do projeto, partiu-se para a etapa de construção do protótipo para testes, a fim de verificar a viabilidade deste produto. Para tanto, dadas as restrições financeiras deste trabalho e ao constante descarte de materiais elétricos e eletrônicos – resíduos tecnológicos – optou-se por trabalhar com sucatas eletrônicas, ou seja, com o reaproveitamento de peças de equipamentos descartados.


5.1 Protótipo

Para que o sistema elétrico-eletrônico seja montado, é preciso ter a estrutura pronta. Assim, procurou-se primeiramente construir a parte mecânica do plotter X-Y, em outras palavras, um sistema de Controle por Comando Numérico (CNC) miniaturizado.

Utilizou-se como base um scanner de mesa, marca Fujitsu, do qual se aproveitou a carcaça, as engrenagens, a correia sincronizadora, o eixo principal X e a carruagem, seu motor Mototech S35S5 6002/83G0 – EMTR020300 (180 mA em 12V) unipolar foi utilizado em um segundo momento para movimentar o sistema de injeção da tinta, porém, acabou sendo substituído mais tarde devido ao desgaste dos dentes da engrenagem solidária a ele.

As peças ou componentes utilizados na construção do referido protótipo constam na Tabela 5.1 a seguir, cujo custo de cada componente é de valores aproximados, estimados após busca na Internet.

Tabela 5.1. Itens utilizados na construção do protótipo da impressora

Componente	Descrição	Custo (und.)
	Motor 1 – Motor EM-91/EPM-4243B de impressora matricial da marca Epson, modelo LX-850. Consome 290 mA em 12V.	€ 18,19 ≈ R\$ 59,46

Componente	Descrição	Custo (und.)
	<p>Motor 2 – Motor EM-101/EPM4245 de impressora matricial da marca Epson, modelo LX-850. Consome 930 mA em 12V.</p>	<p>€ 18,19 ≈ R\$ 59,46</p>
	<p>Motor 3 - Motor encontrado entre os resíduos tecnológicos do LAMECC, possui engrenagem igual a do motor Mototech S35S5 6002/83G0 – EMTR020300, utilizado anteriormente. Informações técnicas indisponíveis.</p>	<p>≈ R\$ 60,00</p>
	<p>Doze engrenagens para relação (amplificar ou reduzir torque).</p>	<p>≈ R\$ 1,50</p>
	<p>Duas correias sincronizadoras com tensor.</p>	<p>R\$ 5,00</p>
	<p>Barra roscada M6 de 125 mm de comprimento.</p>	<p>R\$ 3,00</p>
	<p>Seringa de 20 ml, diâmetro externo de 21 mm e diâmetro interno de 18,7 mm.</p>	<p>R\$ 0,64</p>
	<p>Tubo extensor para aspiração e oxigenoterapia, calibre 24, 4 mm de diâmetro externo e 600 mm de comprimento.</p>	<p>R\$ 1,60</p>
	<p>Agulha de inseticida aerossol para cupim, diâmetro externo de 1,55 mm e interno de 0,9 mm.</p>	<p>R\$ 15,89 (a lata)</p>

Componente	Descrição	Custo (und.)
	<p>Tinta de emulsão acrílica de propriedades expansivas ao calor. Tempo de secagem da tinta \approx 1h. Expansão da tinta em 7~12s a 200° C.</p>	R\$ 2,80
Controle		
	<p>Dois drivers Toshiba TB6560AHQ, bipolares, de 12V-24V de tensão, corrente máxima de 3,5A, corrente ajustável de 0.5A, 1A, 1.5A, 1.8A, 2A.2.5A, 3.5A. Passo/Micropasso de 1, 2, 8,16.</p>	R\$ 55,00
	<p>Arduino Uno, é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega 328, que possui 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação uma conexão ICSP e um botão de reset.</p>	R\$ 56,90
	<p>Arduino Mega 2560, é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega 2560 que possui 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 portas seriais de hardware, um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset (MULTILÓGICA SHOP, 2013).</p>	R\$ 85,90
	<p>Fonte de computador (CPU) de 450W, bivolt, utilizada em 5V e 12V</p>	R\$ 35,99
Placa de circuito impresso		
	<p>12 diodos, sendo 1 para cada canal a fim de proporcionar uma maior segurança ao sistema.</p>	\approx R\$ 0,09
	<p>4 circuitos integrados de potência, modelo ULN2003A, 1A.</p>	R\$ 2,00
Total		R\$ 489,23

No eixo X, utilizou-se um motor EM-91/EPM-4243B que pertencia a uma impressora matricial da marca Epson, modelo LX-850, para o mesmo foi utilizada uma ligação bipolar. Removeram-se da carruagem do scanner lente, lâmpada e elementos estruturais para possibilitar que um novo eixo Y fosse acoplado (com sua respectiva carruagem).

Para o eixo Y, foram utilizadas peças de outra Impressora Matricial da marca Epson, mesmo modelo: guia principal (eixo), carruagem, engrenagens, correia sincronizadora, e seu motor EM-101/EPM4245, também em ligação bipolar.

Notoriamente, o controle do CNC é realizado através da comunicação entre o computador e a máquina, por meio do acionamento dos motores utilizados. A princípio, o circuito de controle do protótipo da impressora para cegos consistia em um controlador Arduino Mega 2560 conectado ao computador com uma placa de circuito desenvolvida por alunos da disciplina de “Projeto III” (2013/1) do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação da UFRGS (ROOS *et al*, 2013). No entanto, esta placa possuía componentes para funções que para o presente projeto eram desnecessários e a tornavam tanto espaçosa quanto robusta. Deste modo, prevendo-se que o sistema era funcional, foi elaborado no Laboratório de Mecatrônica e Controle – LAMECC, uma placa de circuito impresso (PCI) especificamente para o produto proposto. Essa placa de circuito impresso ainda é dotada de entrada para controle do tipo Joystick que foi usada em testes iniciais de calibração (os componentes utilizados na confecção desta placa e na construção da parte de controle do protótipo também se encontram listados na Tabela 5.1).

Contudo, no primeiro teste o sistema de impressão não funcionou, pois o Arduino Mega 2560 quando em trabalho com o GRBL, restringe a programação no GRBL, o que não permitia realizar as impressões. Desta forma, se fez necessário a utilização de um Arduino Uno, que por não possuir portas o suficiente para a ligação dos três motores, precisou também da utilização de três drivers Toshiba TB6560AHQ para alimentação. Os drivers em questão são sensíveis e requerem cuidados quando de sua instalação, pois picos de energia em fontes de alimentação podem queimá-los, o que ocorreu com o primeiro driver instalado. Assim, dado o tempo exíguo para compra e remessa de um novo driver, utilizou-se o Arduino Mega 2560 na função do driver queimado. O Arduino Uno é diretamente ligado ao computador, os demais componentes e o circuito de potência são alimentados por uma fonte de computador (externa) de 450

W de potência e 12 V de tensão (cf. APÊNDICE A). O que pode ser melhor compreendido com o fluxograma da Figura 5.1.

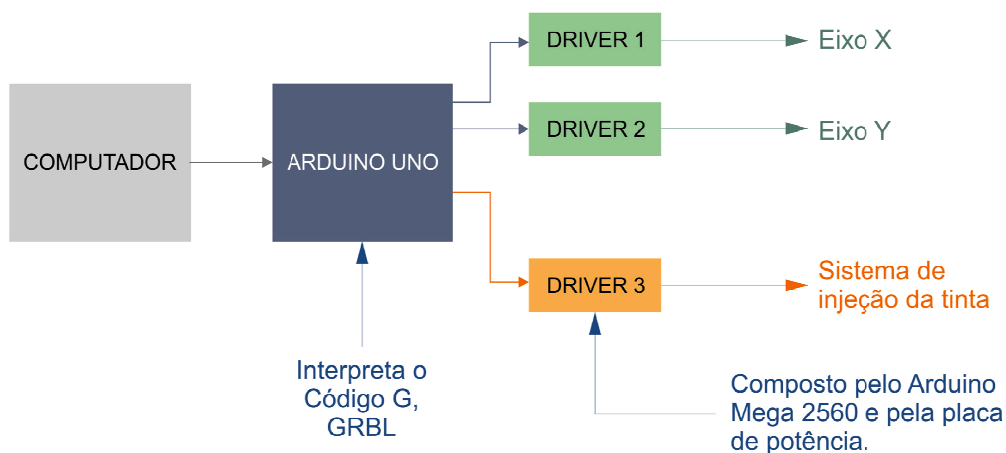


Figura 5.1. Esquema de conexão dos componentes eletrônicos.

Os motores consomem no eixo X 290 mA e no eixo Y, 930 mA durante o seu funcionamento. Como as saídas da placa Arduino fornecem no máximo 40 mA, foi necessária a utilização de um circuito de potência, construído utilizando-se circuitos integrados do tipo ULN2003A, ou em outras palavras, um arranjo de transistores *Darlington* de alta tensão e alta corrente. O circuito integrado (CI) é composto por 7 canais que aceita tensões de até 30 V e corrente de 500 mA por canal. Para fins de segurança, neste projeto usou-se 2 canais por bobina do motor, sendo o circuito de potência capaz de fornecer até 1 A por bobina em cada motor.

Sumariamente, o código G gerado no computador é transmitido via porta USB ao microcontrolador Arduino Uno que processa o GRBL. Este por sua vez, interpreta o código G garantindo a comunicação entre uma coordenada criada no computador e os motores de passo responsáveis pelo movimento dos carrinhos da impressora, eixos X e Y, além da comunicação com o bico injetor de tinta. Deste modo, o programa deve funcionar de forma a realizar os desenhos dos gráficos de acordo com as coordenadas passadas pelo computador.

A configuração do referido sistema com peças de scanner e impressora matricial e seu dimensionamento básico são apresentados pela Figuras 5.2 (a) e 5.2 (b).

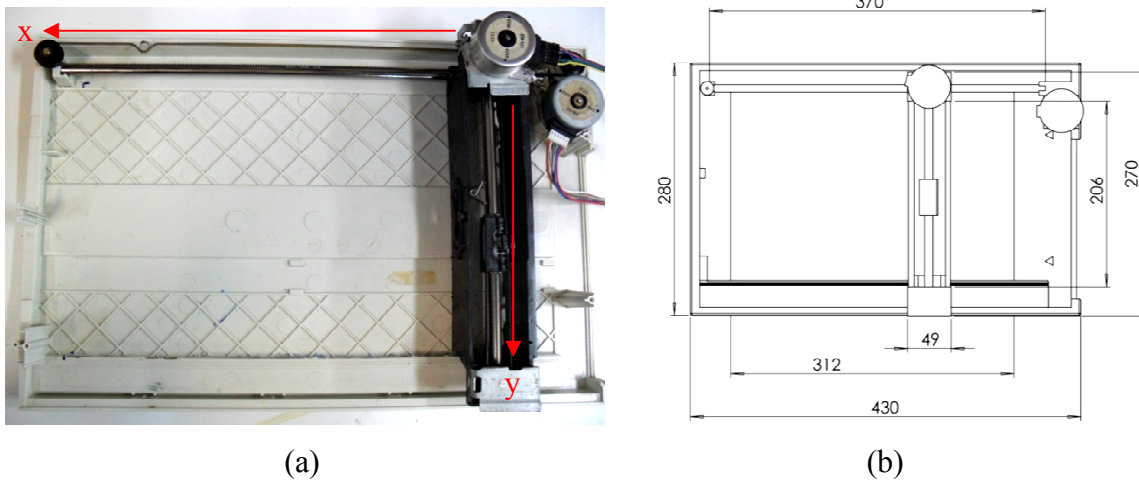


Figura 5.2. (a) Configuração de montagem dos eixos X-Y; (b) Dimensões básicas (em mm) do protótipo e seus eixos.

Uma imagem da conformação final do protótipo pode ser conferida na Figura 5.3 (a) e 5.3 (b). A caixa preta contém o Arduino Mega 2560, dois drivers e a fonte de alimentação.

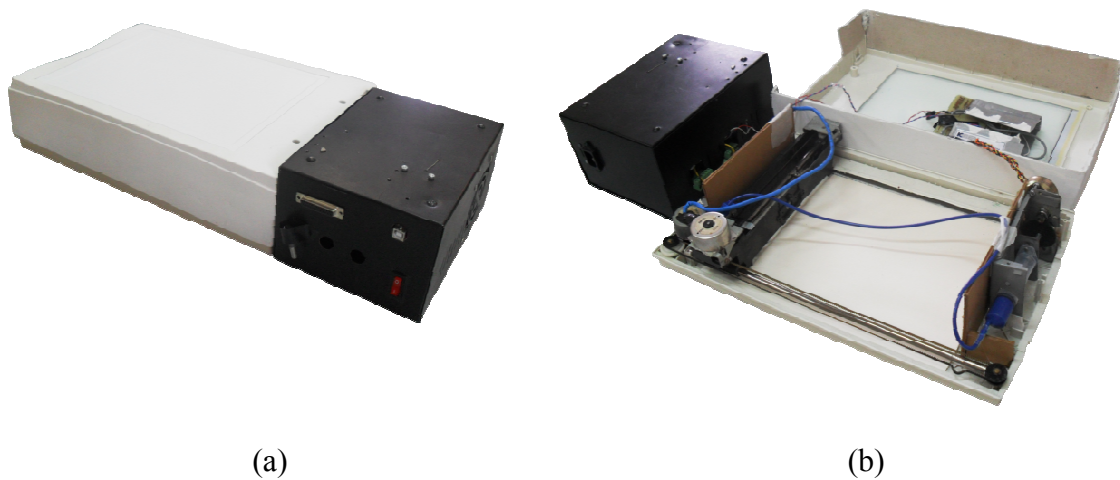


Figura 5.3. (a) Configuração final do protótipo; (b) Tampa aberta deixando eixos e sistema de injeção de tinta a mostra.

5.1.1 Sistema de injeção de tinta

Em relação ao sistema de injeção de tinta pensou-se em uma configuração composta por um reservatório de tinta de onde sairia uma mangueira de silicone que

levaria a tinta até um bico injetor com formato semelhante a uma caneta. A condução por tubo de silicone se daria para que o reservatório de tinta pudesse ter um volume maior e não precisasse ser deslocado durante a impressão reduzindo consequentemente o peso das partes móveis. Este processo também visava facilitar o reabastecimento de tinta.

Para a construção deste sistema, primeiramente imaginou-se impulsionar a tinta através da mangueira por sopro de ar, utilizando-se para isto de um compressor de ar. Entretanto, em um primeiro teste com tal compressor, percebeu-se a inviabilidade desta utilização, pois, este funciona através de pulsos de ar o que não possibilitaria um traço contínuo e uniforme ao desenho.

Então, tomando-se como base a observação de sistemas automatizados de colagem industrial, pensou-se em um reservatório que permitisse o avanço da tinta por um êmbolo que fosse empurrado por um motor através de um fuso. Assim sendo, o sistema de injeção de tinta foi montado da seguinte forma, vide Figura 5.4.

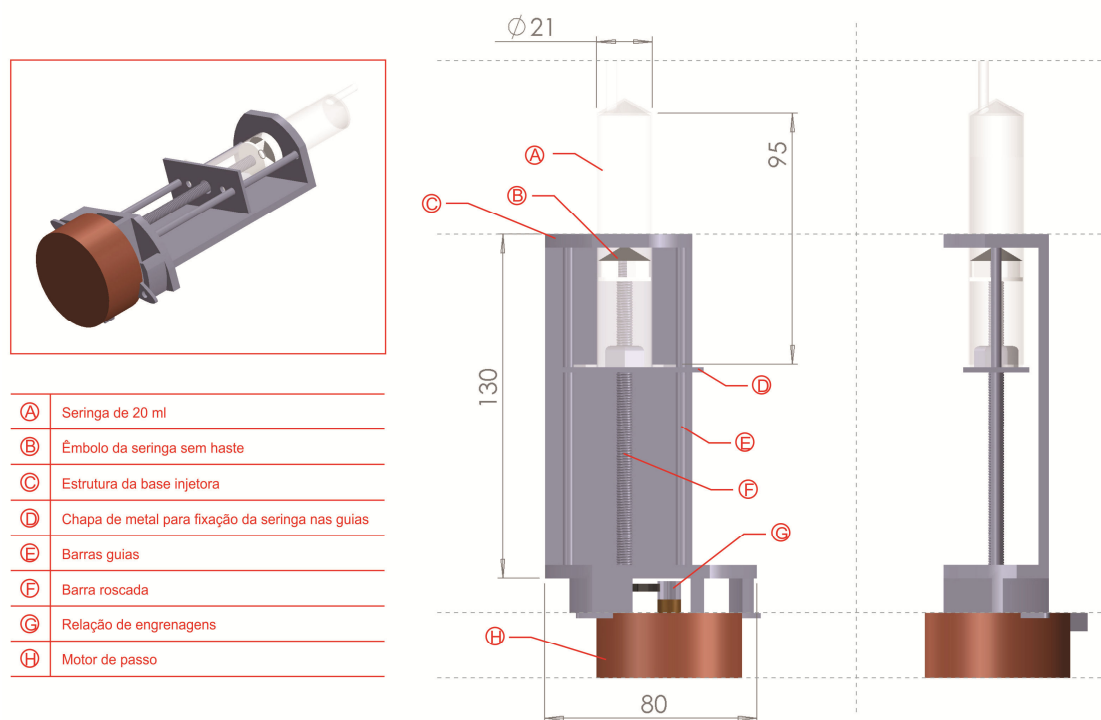


Figura 5.4. Modelo 3D do sistema de injeção de tinta com suas principais dimensões, em mm.

No modelo observado na Figura 5.4, uma seringa comercial de 20 ml (A) foi adaptada como reservatório de tinta, onde seu êmbolo (B) é empurrado por meio de uma barra roscada (F) (ver Tabela 5.1). Para impulsionar a barra roscada foi utilizado um motor com ligação unipolar (H) e uma relação de engrenagens (G) que faz a transmissão do movimento. O mesmo está conectado à placa Arduino Mega 2560 – que atua como driver – e ao circuito de potência. O sistema de injeção faz com que a tinta passe por um tubo extensor de silicone, calibre 24, até o bico injetor (Figura 5.5 a). Desse modo, apenas a agulha injetora estará em movimento permitindo que o sistema de injeção permaneça fixo. Devido à compressão que ocorre no tubo de silicone, para que a saída de tinta cesse é preciso retroceder o êmbolo (movimentar o motor em sentido inverso).

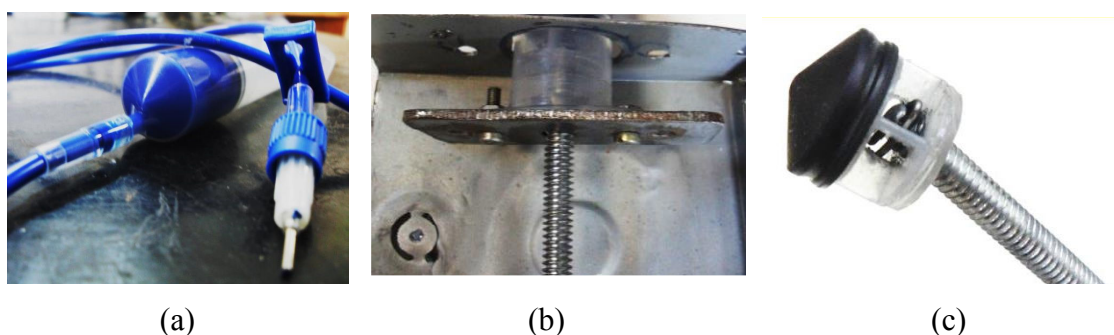


Figura 5.5. (a) Parte do sistema de injeção da tinta; (b) Sistema de fixação da barra roscada na seringa; (c) Adaptação realizada no êmbolo da seringa.

A fim de manter a barra roscada centralizada na seringa bem como estabilizá-la, colocou-se um pedaço de chapa de metal parafusada às pegas laterais da seringa com uma porca soldada ao centro, por onde o fuso passa (Figura 5.5 b).

É importante dizer que se fez necessário realizar uma adaptação no êmbolo da seringa para fixá-lo à barra roscada, que consistiu em retirar a haste do êmbolo e prendê-lo à barra roscada pela utilização de uma cupilha, conforme mostra a Figura 5.5 (c). Embora esta forma permita certo movimento do êmbolo quando fora da seringa, o mesmo não acontece quando este se encontra no interior dela, pois como os diâmetros serem compatíveis, as paredes da seringa impedem qualquer movimento.

Para o bico injetor, verificou-se que a agulha que acompanha a seringa era muito fina em relação a viscosidade da tinta. Assim, fez-se uma adaptação em uma das extremidades do tubo extensor acoplando-se a ela uma agulha de inseticida aerossol para cupim, pois apresentava um calibre mais adequado (Figura 5.5 a), tendo sido

necessário limar-se a ponta para retirar o chanfro. Este bico é preso à carruagem do eixo Y por uma chapa de metal e parafusos.

Vale lembrar que este protótipo foi desenvolvido de forma vernacular para a realização de testes e averiguação de possíveis correções.

5.2 Caracterização Mecânica do Protótipo

Antes de se obter a caracterização mecânica do protótipo, foi preciso descobrir a carga máxima que os motores dos eixos suportariam a fim de se caracterizar a potências dos motores. Assim, para se encontrar a carga máxima suportada nos eixos X e Z, foram realizados testes com a utilização de uma balança digital para cozinha (SF-400) de até 7 kgf com incerteza de $\pm 0,002$ kgf.

Para o eixo X, a balança foi presa no sentido vertical em uma das extremidades da impressora, tendo como apoio duas barras de massa conhecida, 10 kg cada. Então, se comandou o eixo X para que avançasse no sentido da balança, com o auxílio de um pedaço de cilindro de metal de 27 mm de diâmetro e 25 mm de altura, que seria pressionado contra a balança até que travasse e permitisse observar a carga máxima suportada (Figura 5.6).

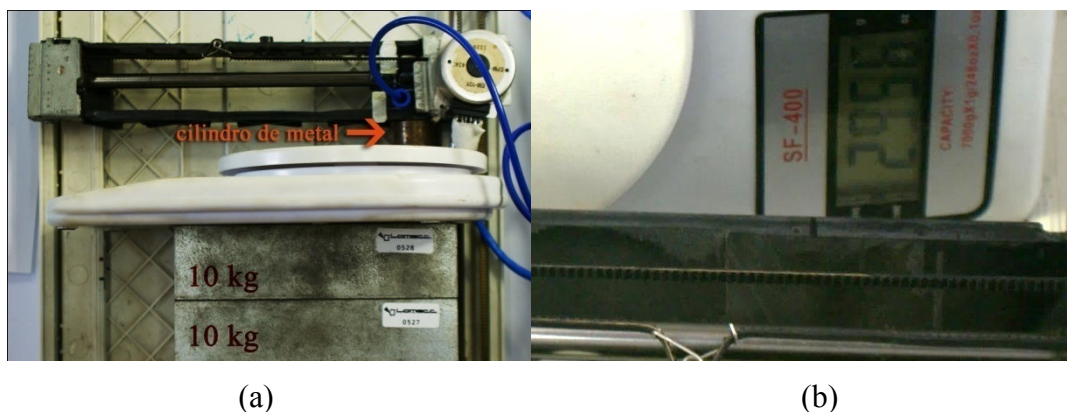


Figura 5.6. Teste para verificação de força máxima; (a) Sistema para medição; (b) Valor máximo obtido em X.

Para o eixo Z, foi feito de forma semelhante ao eixo X, porém, fechou-se a saída da seringa e comandou-se o êmbolo para que deslocasse em retrocesso, empurrando a seringa contra a balança (Figura 5.7).

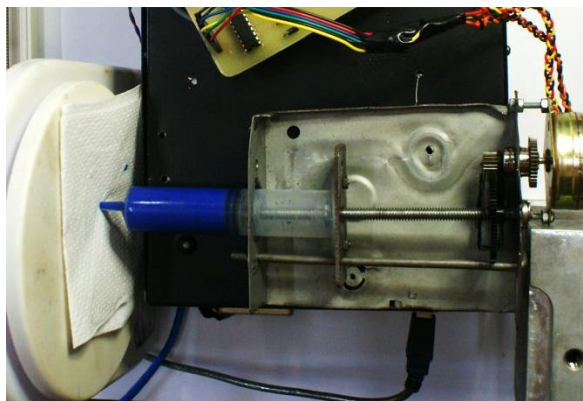


Figura 5.7. Sistema para medição de força no eixo Z.

Para o eixo Y, foram realizados testes com a utilização de um dinamômetro de 2,5 kgf, prendendo-se o mesmo em uma extremidade a um bloco de 20 kgf e na outra ao carrinho onde fica o bico injetor e comandando-o para que avançasse em Y até travar e permitir identificar a força máxima (Figura 5.8).

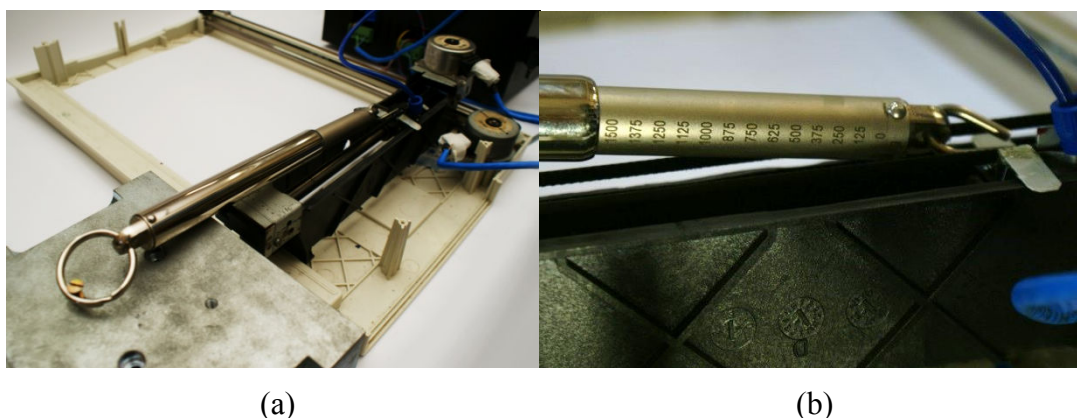


Figura 5.8. (a) Sistema para medição de força no eixo Y; (b) Valor máximo obtido em Y.

Os resultados obtidos nos testes de medição de força máxima para os eixos X, Y e Z, podem ser observados na Tabela 5.2 a seguir.

Tabela 5.2. Resultados de medição de carga máxima

	Eixo X (kgf)	Eixo Y (kgf)	Eixo Z (kgf)
	2,9	1,7	2,3
	2,9	1,7	2,3
	2,9	1,7	2,1
Média	2,9	1,7	2,2

Então, a força máxima tolerada no eixo X é de aproximadamente 2,9 kgf ou 28,9 N, no eixo Y é de aproximadamente 1,7 kgf ou 17,2 N. E a força máxima no eixo Z é de 2,2 kgf ou 22,2 N.

A fim de se obter as características mecânicas do sistema de injeção de tinta foram realizados testes de fluxo, velocidade de deslocamento e vazão volumétrica. Tais testes consistiam em se comandar a impressora para desenhar um círculo e cronometrar o tempo de impressão, medindo também o deslocamento do êmbolo da seringa, em mm e em ml. As medidas de comprimento foram adquiridas com um paquímetro com incerteza de 0,025 mm, as de tempo com um cronômetro com incerteza de 0,01 s e as de volume pela própria seringa que conforme as normas possui incerteza de 0,5% do valor de leitura. Assim, foi possível obter os valores da Tabela 5.3 a seguir.

Tabela 5.3. Relação de fluxo por tempo e deslocamento da tinta

Resolução de 140 passos/mm						
Para um círculo cujo $r = 35\text{mm}$						
Comprimento do círculo $C=219,91$ mm	Deslocamento do êmbolo na seringa	Tempo de deslocamento (s)	ml/mm	ml/s	m^3/s	m/s
	1,50 mm (0,41 ml)	88,77	0,0019	0,005	$4,6 \times 10^{-9}$	$1,68 \times 10^{-5}$
	1,48 mm (0,40 ml)	90,10	0,0018	0,004	$4,4 \times 10^{-9}$	$1,64 \times 10^{-5}$
	1,63 mm (0,44 ml)	88,96	0,0020	0,005	$4,9 \times 10^{-9}$	$1,83 \times 10^{-5}$
Média	1,53 mm (0,41 ml)	89,27	0,0019	0,005	$4,6 \times 10^{-9}$	$1,71 \times 10^{-5}$

Analisando-se os valores de vazão volumétrica, é possível perceber certa semelhança entre os resultados obtidos.

5.2.1 Sistema de engrenagens no eixo X

O eixo X é maior e para ele foi utilizado um sistema de cinco engrenagens como mostrado na Figura 5.9.

Engrenagem	Número de dentes	Raio
1	14 dentes, N1=14	r=0,004 m
2	52 dentes, N2=52	r=0,013 m
3	16 dentes, N3=16	r=0,004 m
4	59 dentes, N4=59	r=0,0145 m
5	26 dentes, N5=26	r=0,0075 m

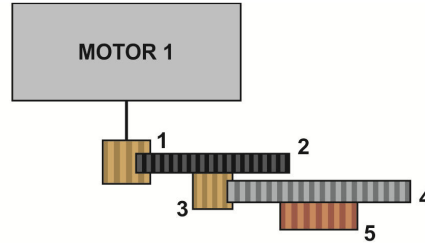


Figura 5.9. Sistema de engrenagens no eixo X

Na esquematização da Figura 5.9, esta relação conta com uma engrenagem de 14 dentes solidária ao eixo do motor que é acoplada à segunda engrenagem, 52 dentes. A terceira engrenagem, 16 dentes, é solidária ao eixo da segunda. Esta terceira engrenagem foi acoplada à quarta engrenagem, 59 dentes. A quinta engrenagem é solidária ao eixo da quarta e possui 26 dentes.

Para se encontrar a relação de redução empregada pelo sistema de engrenagens e o torque no motor 1 calculou-se conforme abaixo:

Cálculo de relação das engrenagens no eixo X:

Para: ω_i = Velocidade angular da engrenagem i

N_i = Número de dentes da engrenagem i

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow \omega_2 = \frac{(\omega_1 \times N_1)}{N_2} \quad (5.1)$$

Onde ω_2 é a velocidade angular da segunda engrenagem, acoplada à engrenagem do eixo do motor.

Como a segunda e a terceira engrenagens são solidárias, $\omega_2 = \omega_3$;

$$\omega_3 = \frac{(\omega_1 \times N_1)}{N_2}$$

Para o acoplamento entre a terceira e a quarta engrenagem, tem-se:

$$\frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{N_4}{N_3} \rightarrow \omega_4 = \frac{(\omega_3 \times N_3)}{N_4}$$

Onde ω_4 é a velocidade angular da quarta engrenagem. Solidária a esta temos a quinta engrenagem que tem sua velocidade angular dada por:

$$\omega_4 = \omega_5$$

$$\omega_5 = \frac{(\omega_3 \times N_3)}{N_4}, \text{ substituindo-se } \omega_3 \text{ tem-se:}$$

$$\omega_5 = \frac{(\omega_1 \times N_1 \times N_3)}{N_2 \times N_4} \rightarrow \omega_5 = \frac{(\omega_1 \times 14 \times 16)}{52 \times 59}$$

$$\omega_5 = \omega_1 \times 0,73 \rightarrow \frac{\omega_5}{\omega_1} = 0,73 \rightarrow \text{Relação de } 1:13,7$$

Como no sistema anterior, o eixo é movimentado por uma correia dentada que foi ligada diretamente à quinta engrenagem. O perímetro da quinta engrenagem é dado por $C = 2\pi r$ onde $r = 7,5 \text{ mm}$. Deste modo, $C = 47,12 \text{ mm}$, o que fornece um deslocamento de 0,13 mm por grau de giro da engrenagem de saída.

Como não foram encontradas as especificações deste motor, foram realizados diversos testes para obtenção de uma resolução ótima de avanço para o eixo X, onde se comandava o motor para deslocar o sistema em 100 mm no referido eixo. A resolução que melhor se adequou foi a de 95,2 passos/mm. Após, foi possível calcular o grau de passo do motor:

$$\frac{1 \text{ mm}}{0,13 \text{ mm/graú}} = 7,6^\circ$$

$$7,6^\circ \times 13,7 = 104,6^\circ \text{ (motor)}$$

$$\frac{104,6^\circ}{95,2} \cong 1,1 \text{ grau/passô}$$

$$\frac{1,1^\circ}{13,7} = 0,08^\circ \text{ (engrenagem de saída)}$$

$$0,08^\circ \times 0,13 = 0,01 \text{ mm/passô (motor)}$$

Então, o motor possui um passo de 1,1° e um deslocamento de 0,01 mm por passo do motor.

Torque no motor 1:

O Torque é a força gerada no eixo do motor quando ele gira e existe mesmo quando este não está em movimento. Seu valor é obtido pela multiplicação da Força aplicada e da distância ou raio.

$$T = F \times r \quad (5.2)$$

Como as engrenagens 4 e 5 são solidárias, tem-se $T_4 = T_5$.

$$T_4 = F_4 \times r_4 \rightarrow F_4 = \frac{T_4}{r_4} \text{ ou } F_4 = \frac{T_5}{r_4}$$

$$F_4 = F_3, \text{ assim, } T_3 = F_3 \times r_3 \text{ ou } T_3 = F_4 \times r_3 \text{ ou ainda } T_3 = \frac{T_5}{r_4} \times r_3$$

Como as engrenagens 2 e 3 são solidárias, tem-se $T_2 = T_3$.

$$T_2 = F_2 \times r_2 \rightarrow F_2 = \frac{T_2}{r_2} \text{ ou } F_2 = \frac{T_3}{r_2} \text{ ou } F_2 = \frac{T_5 \times r_3}{r_4 \times r_2}$$

Sabe-se que $F_1 = F_2$. Então, o torque do motor do eixo X (motor 1) será dado por:

$$T_{mx} = F_1 \times r_1 \text{ ou } T_{mx} = \frac{T_5 \times r_3 \times r_1}{r_4 \times r_2} \text{ ou } T_{mx} = \frac{F_5 \times r_5 \times r_3 \times r_1}{r_4 \times r_2}$$

Lembrando que $F_x \cong 28.9N$, e tendo $F_x = F_5$:

$$T_{mx} = \frac{28,9N \times 0,0075m \times 0,004m \times 0,004m}{0,0145m \times 0,013m} \rightarrow T_{mx} = 0,018Nm$$

5.2.2 Eixos Y e Z

A relação de engrenagens e a obtenção do valor do torque no motor para os eixos Y e Z (sistema de injeção de tinta) foram obtidos de forma análoga a do eixo X (cf. APÊNDICE B).

Assim a relação de engrenagens no eixo Y é de 1:1,9 e o torque em seu motor é de 0,056 Nm. O sistema do eixo Y tem ainda uma resolução de 0,414 mm/passo e quanto menor esta resolução, melhor a precisão de desempenho deste motor.

Por sua vez a relação de engrenagens no eixo Z é de 1:14,7, o que significa dizer que para que o fuso dê uma volta completa, o motor do sistema de injeção deve dar aproximadamente 14,5 voltas. O torque no motor Z é de 0,0323 Nm. Estima-se assim

que este motor possui um passo de $37,77^\circ$, totalizando 9,53 passos por volta e um deslocamento de 0,0069 mm por passo.

5.2.3 Velocidades

Para a definição da velocidade de deslocamento dos eixos X e Y foram realizados cinco testes cronometrando-se o tempo que estes eixos levariam para percorrer uma distância de 100 mm. Processo semelhante foi realizado com o eixo Z para um deslocamento de 10 mm. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.4, a seguir:

Tabela 5.4: Teste de tempo para percorrer 100 mm (eixos X e Y) e 10 mm (eixo Z)

	Eixo X – 100 mm	Eixo Y – 100 mm	Eixo Z – 10 mm
	Tempo (s)	Tempo (s)	Tempo (s)
	2,9	3,1	135,7
	3,0	3,0	134,9
	3,0	3,1	137,4
	3,1	3,0	135,8
	3,0	3,1	135,3
Média	3,0	3,0	135,8

Sabe-se que a velocidade de um movimento retilíneo é dada pela variação do espaço dividida pela variação do tempo.

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (5.3)$$

Assim, a velocidade de deslocamento do eixo X é dada por:

$$V_x = \frac{0,1m}{3,0s} \rightarrow V_x = 0,0334 \text{ m/s}$$

Similarmente, as velocidades de deslocamento dos eixos Y e Z serão respectivamente:

$$V_y = 0,0325 \text{ m/s}$$

$$V_z = 7,36 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\text{Como, } V = r \times \omega \rightarrow \omega = \frac{V}{r} \quad (5.4)$$

Então, a velocidade angular no motor do eixo X (motor 1) é dada por:

$$\omega_s = \frac{0,0334}{0,0075} \rightarrow \omega_s = 4,45 \text{ rad/s} \approx 42,5 \text{ rpm (saída da engrenagem)}$$

Relação 1:13,7

$$\omega_x = 4,45 \times 13,7 \rightarrow \omega_x = 60,9 \text{ rad/s} \approx 581,9 \text{ rpm}$$

Analogamente, a velocidade angular nos motores dos eixos Y e Z serão respectivamente:

$$\omega_y = 9,47 \text{ rad/s} \approx 90,5 \text{ rpm}$$

$$\omega_z = 0,06 \text{ rad/s} \approx 0,54 \text{ rpm}$$

5.2.4 Potência Mecânica

A Potência é definida como o trabalho realizado por unidade de tempo e é dada por:

$$P = T \times \frac{d\theta}{dt} \quad (5.5)$$

Onde T é o torque aplicado e $d\theta$ o ângulo de rotação.

Sabe-se que a velocidade angular de um eixo também pode ser dada por:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (5.6)$$

$$\text{Assim, pode-se dizer que } P = T \times \omega \quad (5.7)$$

Desta forma, a potência do motor do eixo X (motor 1) é dada por:

$$P_x = T_{mx} \times \omega_x \rightarrow P_x = 0,018 \text{ Nm} \times 61,0 \text{ rad/s} \rightarrow P_x = 1,12 \text{ W}$$

Assim, a potência dos motores dos eixos Y e Z respectivamente é dada por:

$$P_y = 0,53 \text{ W} \text{ e } P_z = 0,176 \text{ W} .$$

No intuito de facilitar a visualização da caracterização mecânica do protótipo construído, um resumo é apresentado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Caracterização Mecânica do Protótipo da Impressora para Cegos

	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
Percurso útil para impressão	300 mm	164 mm	75 mm
Relação	1:13,7	1:1,9	1:14,7
Força máxima	28,88 N	17,20 N	22,24 N
Torque	0,018Nm	0,056Nm	0,032Nm
Resolução	0,010 mm/passo	0,414 mm/passo	0,007 mm/passo
Velocidade	0,0337 m/s	0,0325 m/s	$7,36 \times 10^{-4}$ m/s
Velocidade Angular	60,94 rad/s	9,45 rad/s	0,54 rad/s
Potência	1,119W	0,539W	0,176W
Passo do motor	1,1°	7,5°	37,8°

5.3 Software para Impressão

Para realizar uma impressão seja ela em 3D ou em 2D, é preciso que o desenho ou modelo seja convertido em uma linguagem que possa ser transmitida do computador para a impressora, o que geralmente é feito através dos softwares que acompanham a mesma. No caso dos CNC's, também é necessário ter uma imagem em vetor para que esta possa ser convertida em código G.

Linguagem em Código G, também chamada de função preparatória, é a forma utilizada para se escrever programas de usinagem CNC, ou seja, é por meio dessa linguagem de programação que as máquinas CNC assimilam comandos e coordenadas para executar a usinagem de peças, pois, ele descreve o tipo de movimento da máquina, o tipo de interpolação, dimensionamento, funções relacionadas com tempo e determinadas condições de funcionamento dentro do controle. É amplamente usado em automação, integrando o ramo da engenharia assistida por computador (COSA, 2013).

O protótipo desenvolvido para a impressora em alto-relevo não possui nenhum produto semelhante – além de injetoras de cola e algumas impressoras 3D de comida – do qual se possa utilizar o software como padrão. Então, procurou-se dentre as opções disponíveis para *download* na internet algum que pudesse se adequar às necessidades explicitadas. O problema é que ainda não há (em 2013) um software que acumule todas as funções necessárias, ou seja, que converta uma imagem em vetor, a exporte em código G, envie este sistema de códigos à impressora e ainda permita controlá-lo.

Assim, dentre as diversas opções de softwares disponíveis na internet para cada uma destas funções, verificou-se através de indicações e pesquisas em fóruns online, os programas descritos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6. Softwares de interação pesquisados

Software	Descrição
MSConverter	Software proprietário com versão gratuita para teste (<i>Trial</i>). Trata-se de um conversor de arquivos de imagem ou PDF para DWG ou DXF e vice-versa (MSC ENGENHARIA DE SOFTWARE, 2014). <i>Limitações</i> : O código G gerado a partir dos arquivos convertidos por este software fica ruim, apresentando falhas.
Vector Magic	Software proprietário com versão gratuita para teste (<i>Trial</i>). Conversor de arquivos de imagem (JPG, PNG, GIF...) em vetor (PDF, EPS, SVG, DXF...) (VECTOR MAGIC, 2014).
Image to G-code	Software livre que importa a maioria dos arquivos de imagem digital para um formato em Código G, que pode ser executado na maioria dos computadores de controle numérico. Seu pacote de programas inclui um editor básico de imagem digital que permite pequenos retoques na imagem antes de enviá-la ao conversor em Código G. O conversor lê as informações de pixels diretamente da imagem importada e cria o arquivo em Código G (SOFTWARE.INFORMER, 2014). Este programa gera o código G de uma imagem por varredura, porém, não possui a funcionalidade de enviá-lo ao Arduino para que a imagem possa ser impressa. Para isto, é necessária a utilização de outro software.
Software	Descrição
Reprap	Software livre para enviar o código G à CNC. <i>Limitações</i> : Trabalha em 3D e não aceita Z=0, ou seja, não permite adaptações para 2D. Todos os testes realizados com este programa deram erro, o computador mostrava que a impressão estava ocorrendo, mas, fisicamente não estava (REPRAP, 2014).
GRBL	Um código aberto que analisa o código G e controla o movimento de máquinas do tipo CNC, impressoras 3D, cortadoras a laser, pintura de grafite, etc. Bastante empregado hoje em dia devido ao seu desempenho e simplicidade. Tem a função de interpretar o código G traduzindo-o em movimentos para a máquina, o que ocorre através do envio de um fluxo constante de pulsos de alta frequência para os motores de passo (SKOGSRUD, 2014).
G-Code Sender	Trata-se de uma plataforma cruzada utilizada para enviar o código G ao Arduino (SHAPEOKO, 2014). <i>Limitações</i> : Não permite controle manual da CNC.
GRBL Controller	Software livre projetado para enviar código G para máquinas CNC, como fresadoras e impressoras 3D (ZAPMAKER, 2014). Permite controle manual da CNC, ideal para testes de calibragem.

Dentre as alternativas aludidas na Tabela 5.6, algumas não obtiveram sucesso quando de seu uso, o que levou a procura por outro programa com finalidade semelhante. Vale salientar que o teste de todas as opções disponíveis fugia ao objetivo

deste trabalho. Portanto, assim que um programa que funcionasse de forma satisfatória foi encontrado a busca por estes softwares se deu por encerrada.

Conforme observado, os programas que não funcionaram adequadamente apresentam em sua descrição a razão de sua limitação, são eles: MSConverter, Reprap e G-Code Sender.

Deste modo, para realizar uma impressão em alto-relevo é preciso primeiramente converter a imagem escolhida em vetor, pois o vetor conserva todos os dados e pontos que a formam e para isso utilizou-se o programa “Vector Magic” e salvou-se a imagem na extensão DXF (CAD), mais comumente usada em máquinas CNC. Após, foi utilizado o software “Image to G-code” para gerar o arquivo em código GRBL e salvá-lo no formato TXT.

Como o eixo Z deste protótipo é na verdade o controle de avanço/recuo do sistema de injeção de tinta e esta não é uma tarefa prevista no GRBL, é necessário abrir cada arquivo convertido e realizar as adaptações pertinentes manualmente, o que basicamente consiste em se colocar o avanço de Z na mesma linha das coordenadas de X e Y, para que possam ocorrer simultaneamente quando necessário.

Após o arquivo deve ser aberto no “GRBL Controller” e enviado para impressão. O “GRBL Controller” permite ainda que alguns ajustes sejam feitos em sua interface de comando.

Embora todo este processo aparente ser trabalhoso, adverte-se de que se trata de um protótipo feito com materiais reutilizados visando comprovar a viabilidade deste produto e que um programa dedicado pode ser considerado como uma das recomendações para o mesmo. O fluxograma I com etapas para impressão já descritas é apresentado na Figura 5.10, a seguir.

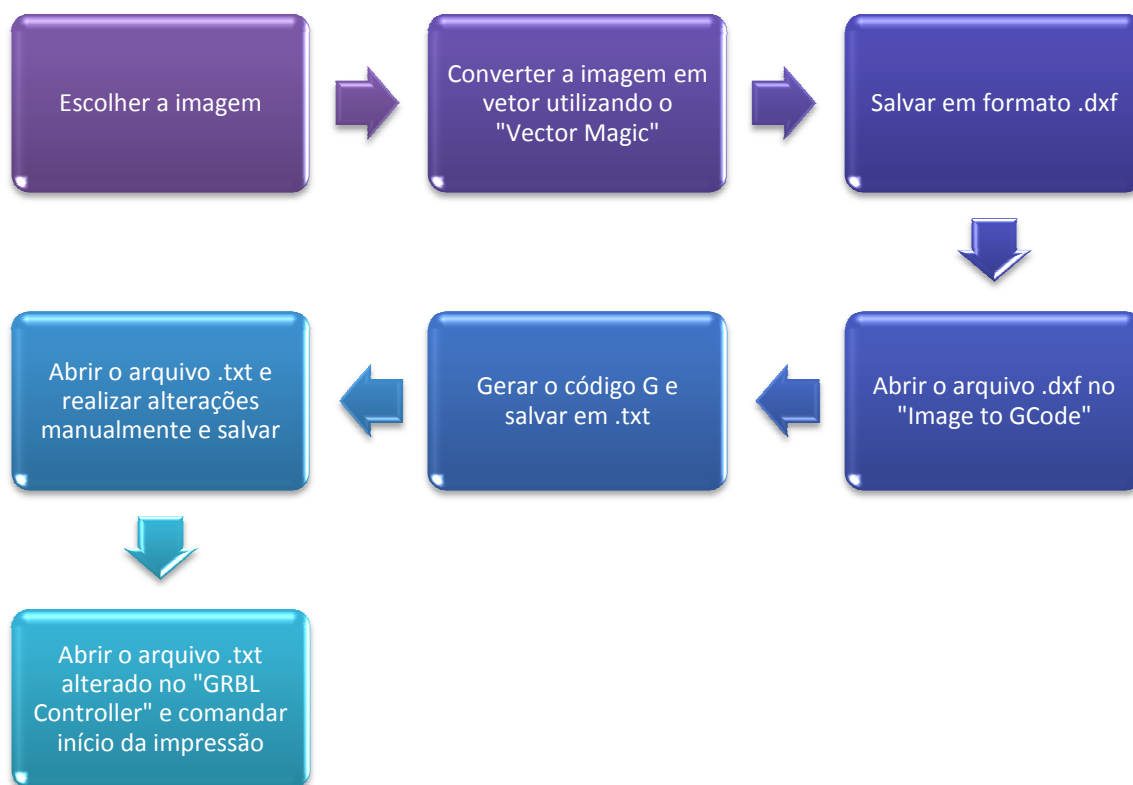


Figura 5.10. Fluxograma I de etapas para realização de impressão

O Fluxograma II que orienta as etapas para impressão no protótipo pode ser conferido no Apêndice D.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização dos testes de impressão, dado o trabalho de conversões que cada imagem tem de passar para poder ser impressa, a fim de dar celeridade aos testes, convencionou-se que se a impressora fosse capaz de reproduzir as formas de um quadrado e um círculo, ela conseguiria fazer os desenhos de qualquer forma/gráfico.

Assim, na fase de testes do protótipo da impressora com utilização de tinta de emulsão acrílica, podem-se destacar como resultados:

6.1 Positivos

1. O protótipo tem sua função ecológica, pois, utilizou o reaproveitamento de resíduos tecnológicos.
2. A impressora permite conexão ao computador por entrada USB e requer imagens em vetor para impressão.
3. A temperatura ideal para o sopro de ar quente é de 200°C , valores acima desse podem queimar a tinta expandida.
4. Uma seringa com 20 ml de tinta é capaz de imprimir de 30 a 40 círculos (70 mm de diâmetro) ou quadrados (lado de 50 mm), a depender da resolução (passos/mm) utilizada para impressão.
5. A tinta quando expandida não adere às folhas seguintes a menos que um objeto de massa conhecida (10 kg) seja colocado sobre uma pilha de 31 folhas com impressões expandidas, por três dias (Figura 6.1 a), neste caso há deformação do relevo obtido e aderência às folhas subsequentes (Figura 6.1 b).



(a)



(b)

Figura 6.1. (a) Peso sobre pilha de folhas com impressões expandidas; (b) Pequena deformação ocasionada no relevo do desenho, relevo achatado.

6. Com o melhor resultado de impressão obtida (Figura 6.2 a), solicitou-se a um aluno cego da UFRGS, o aluno “F” que tentasse interpretar, através de suas mãos, as formas impressas em alto-relevo em uma folha de papel offset (Figura 6.2 b). F. identificou facilmente as formas e comentou que estavam satisfatórias.

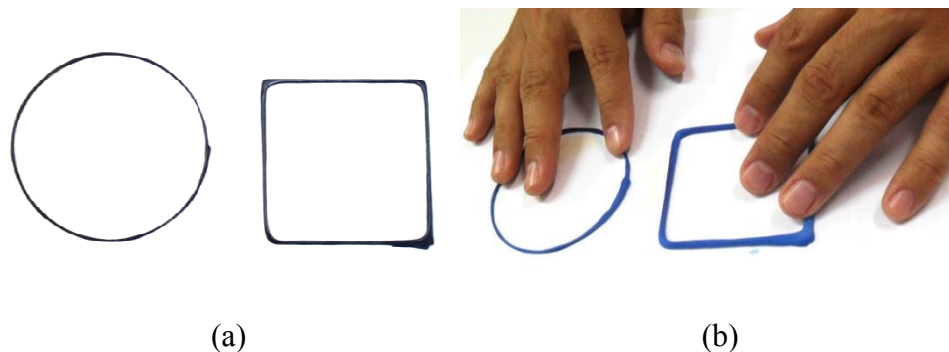


Figura 6.2. (a) Melhor resultado de impressão obtida, resolução de 140 passos/mm; (b) Avaliação de resultado feita pelo aluno “F”.

7. Vislumbra-se a possibilidade de proporcionar através da técnica de impressão e tintas adotadas um equipamento de custo acessível à população, uma vez que os custos que envolveram este protótipo ficaram em torno de R\$ 490,00, embora não tenham sido mensurados custos com mão de obra, montagem, software, etc.
8. Este equipamento favorecerá uma maior celeridade na produção de materiais didáticos para o ensino a cegos, de qualquer tipo de conhecimento que envolva a aplicação de gráficos.

6.2 Problemas encontrados

1. Tentativas de se acelerar o processo de secagem da tinta por aquecimento ou exposição a raios ultravioletas falharam.
2. Observou-se que o sistema adotado para reabastecimento de tinta tornou o processo difícil e demorado. Como não há fixação por encaixes e sim parafusos, é necessário desmontar-se todo o sistema de injeção, retirar o êmbolo, colocar a tinta com a seringa em inclinação de aproximadamente 30° (para evitar a formação de bolhas de ar), colocar o êmbolo novamente e

empurrá-lo retirando o ar que por ventura tenha se acumulado na parte frontal da seringa.

3. Ao retornar à posição zero, o bico injetor precisa ficar “tapado” para que a tinta não seque e ocorra entupimento.
4. Foram realizados 64 testes de impressão de círculos e 25 para a impressão de quadrados, até chegar-se a resolução de 140 passos/mm com 15 resultados bons para círculos e seis resultados bons para quadrados (cf. APÊNDICE C), porém quando a tinta é reabastecida este valor precisa ser recalibrado. Na maioria dos testes com o sistema de injeção proposto não se obteve um desenho uniforme e pressão constante de saída da tinta, ficando o desenho “falhado” (Figura 6.3).

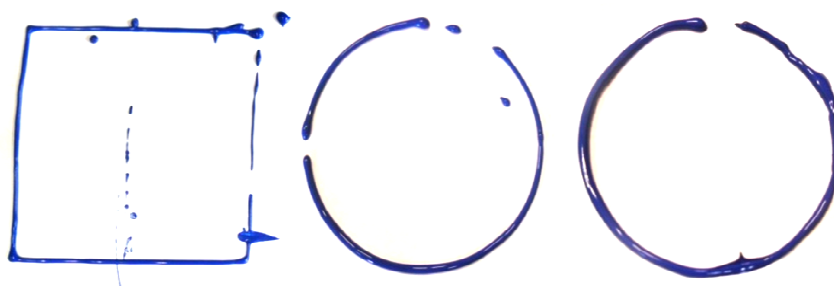


Figura 6.3. Testes de impressão com falha.

5. Geralmente observa-se uma pequena imperfeição no ponto de encontro onde o desenho se inicia e termina.
6. Percebeu-se que em algumas impressões de quadrados não se obteve formas com vértices bem definidos, pois, ficam arredondados (Figura 6.4). Isso provavelmente ocorre devido à relação de velocidade de deslocamento dos eixos e a altura da agulha do bico injetor em relação à folha para impressão o que ainda precisa ser ajustado conforme volume de tinta injetada.

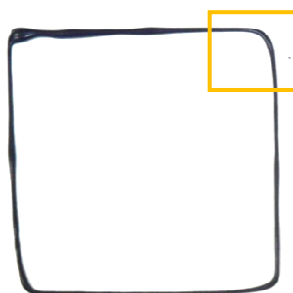


Figura 6.4. Vértices arredondados.

7. A tinta quando expandida amplifica qualquer pequena imperfeição ou não uniformidade do traço.
8. Se o sopro de ar não for uniformemente espalhado pelo desenho, algumas regiões poderão expandir mais do que outras.
9. A cada reabastecimento de tinta os parâmetros de calibragem precisavam ser revisados, pois se obtinham resultados de impressões diferentes. Acredita-se que ou por um processo (lento) de secagem da tinta dentro da seringa, alterando sua viscosidade, ou por alguma reação ocorrida entre a tinta e o material de fabricação da seringa.
10. Por se trabalhar com o reaproveitamento de peças, algumas relações de engrenagens não foram utilizadas da forma ideal, devido a materiais de fabricação e dentes de engrenagem não compatíveis, o que ocasionou o desgaste dos dentes da engrenagem solidária ao primeiro motor utilizado no sistema de injeção de tinta.
11. A tinta acrílica quando não expandida (após secagem), poderá aderir às folhas que por ventura venham a ser colocadas em cima dela (Figura 6.5).

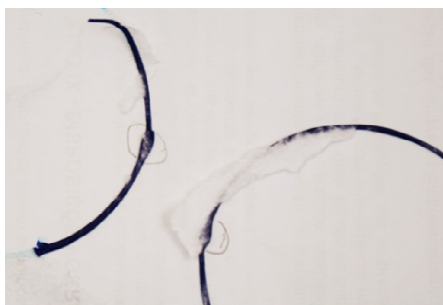


Figura 6.5. A tinta gruda na folha seguinte, chegando a causar rasgos.

12. Ao indagar o aluno “F” sobre possíveis melhoras nos traços de impressão, este destacou a importância de uma melhor uniformidade do traço e a preferência por um traço de desenho mais estreito (fino).

6.3 Discussão

A fim de se solucionar os problemas encontrados no protótipo, podem-se citar como trabalhos futuros ou melhorias ao projeto:

1. Reformular o sistema de injeção de tinta no que tange estrutura, sistema de fixação, encaixes e material;
2. Aperfeiçoar processo de reabastecimento de tinta;
3. Efetuar testes de calibragem de Z, a fim de se obter uma resolução ótima para a obtenção de um traço uniforme e maior versatilidade de impressão;
4. Efetuar parcerias nas áreas de Engenharia de Materiais e Informática para:
 - Engenharia de Materiais: Desenvolver estudos sobre a composição da tinta e verificar possibilidades de acelerar o seu processo de secagem ou viabilidade de utilização de outra tinta;
 - Informática: Desenvolver software dedicado ao produto, englobando todas as funções necessárias.
5. Inserir um compartimento com um sistema de aquecimento, permitindo a expansão da tinta;
6. Inserir uma espuma de repouso para o bico injetor, de forma que a ponta de sua agulha possa ficar fechada dificultando o processo de secagem da tinta;
7. Adicionar um atuador que permita baixar e levantar o bico injetor, permitindo uma maior proximidade deste com o papel;
8. Na parte elétrica, substituir a fonte de 12 V por uma menor e incorporá-la na placa de circuito impresso (PCI) desenvolvida;
9. Substituir os dois drivers utilizados, deixando apenas um Arduino Mega 2560 atuando como driver, embora possa haver uma pequena perda de tempo real;
10. Uma melhor configuração em forma e função, apresentando boa interface usuário-produto tanto para a impressora quanto para o cartucho de tinta. Aliando-se para isto conhecimentos das áreas de Design (Figura 6.6).

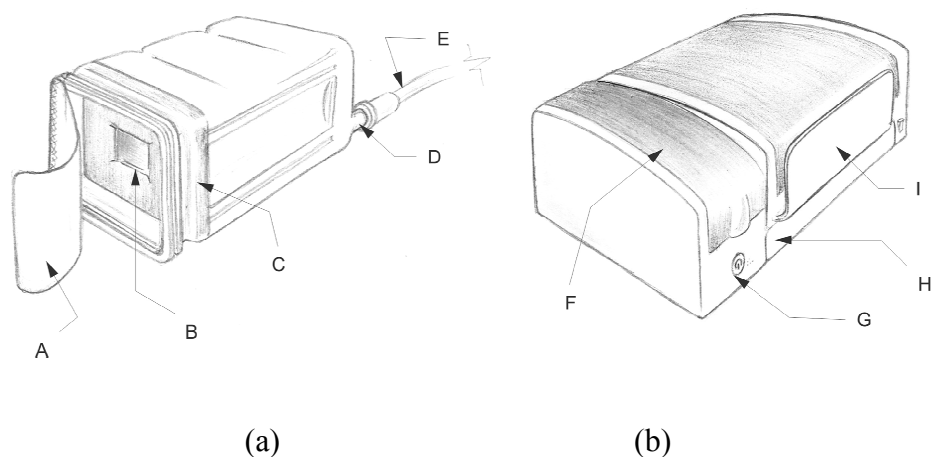


Figura 6.6. (a) Sugestão de sistema para cartucho de tinta; (b) Sugestão de forma e divisão de compartimentos para a impressora.

Na Figura 6.6 (a), observa-se uma sugestão de layout para o cartucho de tinta onde, A seria um laminado para vedar o cartucho que ao ser retirado, deixa o encaixe B do êmbolo de borracha C livre para ser conectado ao fuso na impressora. D é o bico de saída da tinta para o tubo extensor (E). Suas laterais também possuiriam ranhuras para encaixe no compartimento reservado ao cartucho de tinta (F). A Figura 6.6 (b) mostra um esboço para o layout da impressora, com G sendo o botão liga e desliga, H é o compartimento de expansão da tinta que contém chapa de cerâmica a ser aquecida e I é o suporte de entrada de papel.

7 CONCLUSÕES

Este projeto permitiu identificar os métodos e materiais utilizados no ensino de gráficos para cegos nas aulas de Matemática e Física. Também foi possível observar que nem sempre a solução que apresenta o uso de tecnologia mais sofisticada se torna ideal em custo-benefício ou em funcionalidade; proposições de sistemas simples podem oferecer resultados imediatos e eficazes.

Com as visitas realizadas a escola e órgão de apoio ao cego, percebeu-se que a impressora em alto-relevo tem a potencialidade de conferir maior autonomia às escolas em relação aos centros de adaptação de materiais didáticos na produção de gráficos táteis. E a este último, de permitir uma maior celeridade na produção e entrega de materiais adaptados.

Conforme mencionado, foi possível observar através dos testes realizados que o sistema de injeção utilizado ainda não está funcionando da forma desejada. Embora se obtenham desenhos completos, o traço necessita de uma maior uniformidade o que requer maior tempo de dedicação, investigação e testes de calibração da injeção de tinta, ou seja, o ajuste fino dos parâmetros do eixo Z. Em verdade, todo o sistema de injeção de tinta necessita de uma reformulação no que se refere à estrutura, sistema de fixação e encaixes, material e método de reabastecimento de tinta.

Um software próprio para esta impressora, que pudesse suprir todas as etapas pelas quais uma imagem tem de passar antes de sua impressão seria ideal e economizaria em tempo e trabalho no processo de obtenção das imagens impressas.

Em suma, mesmo com os problemas encontrados, o protótipo permitiu comprovar a viabilidade deste produto, evidenciando uma real capacidade de atender os cegos nos desenhos de gráficos e diagramas.

Por fim, destaca-se a importância de se dar prosseguimento aos estudos que permeiam o desenvolvimento deste produto, envolvendo-se no processo outras áreas de conhecimento como Informática (software) e Engenharia de Materiais (propriedades da tinta), objetivando obter um artigo passível de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alho, S. R.A **Educação Matemática para Alunos com Deficiência Visual: Como se Inscreve na Formação de Professores**, Universidade de Brasília - Faculdade de Educação, Monografia de Graduação, Brasília – DF, 2011.

Alutei, A. M.; Szelitzky, E.; Mândru, D.. **Transient Thermal State of an Active Braille Matrix with Incorporated Thermal Actuators by Means of Finite Element Method**. *Assistive Technology: The Official Journal of RESNA*, 2013, vol. 25, n. 1, p. 51-57.

Andrade, L. F. **A Dicotomização do Conhecimento como Forma de Separação das Disciplinas de Projeto de Produto e Design de Produto**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, Florianópolis - SC, novembro de 2004.

Bar-Cohen, Y. **Electroactive Polymers for Refreshable Braille Displays**, International Society for Optics and Photonics – SPIE, Newsroom, California, 2009. Disponível em: http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/1738/1738_6236_0_2009-09-08.pdf. Acesso em janeiro de 2013.

Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; Silva, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Editora: Manole, Barueri – SP, 2008.

Bonatti, F. A. **Design para Deficientes Visuais: Proposta de Produto que Agrega Videomagnificação a uma Prancha de Leitura**. Tese para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2009.

Braga, D. **Uma Interface Humano-Máquina para Leitura de Documentos Digitais por Deficientes Visuais**, Universidade de Pernambuco - Escola Politécnica de Pernambuco, Monografia do curso de Bacharelado em Engenharia da Computação, Recife – PE, 2010.

Brailletec. **Thermoform Brailon Duplicator**. Disponível em: <http://en.brailletec.de/wp-content/uploads/sites/2/2013/03/thermoform.png>. Acesso em: dezembro de 2013.

Brefe, M. L. **Estudo sobre a Integração entre Design Industrial e Engenharia no Processo de Desenvolvimento de Produtos em Empresas Brasileiras de Pequeno Porte**. Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo - USP, São Carlos – SP, 2008.

Brumer, A.; Pavei, K.; Mocelin, D. G. **Saindo da “Escuridão”: Perspectivas da Inclusão Social, Econômica, Cultural e Política dos Portadores de Deficiência Visual em Porto Alegre**, Interface, Revista Sociologias, ano 6, nº 11, Porto Alegre – RS, jan/jun 2004, p. 300-327.

Casa da Educação. **Multiplano**. Disponível em: <http://www.casadaeducacao.com.br/multiplano/MP0001/34/1340>. Acesso em: dezembro de 2013.

Cho, H. & Kim, B.. **Development of a Braille display using piezoelectric linear Motors**, *SICE-ICASE International Joint Conference*, Bexco, Korea, 2006, p. 1917-1921.

Cosa, **Manual de Programação e Operação – Centros de Usinagem**, Intermáquinas: Comércio de Máquina e Equipamentos Ltda. Disponível em: http://www.cosa.com.br/manuais/centro_usinagem1.pdf. Acesso em: janeiro de 2014.

Estadão. **ONU: População mundial é de 7,2 bilhões de pessoas**. Junho de 2013. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/internacional,onu-populacao-mundial-e-de-7-2-bilhoes-de-pessoas,1042156,0.htm>. Acesso em: janeiro 2014.

Estorilio, C.. **QFD – Desdobramento da Função Qualidade**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brazil, 2007.

Estudo da Psicanálise e Psicologia, **Psicologia da Percepção uma Abordagem Ecológica**, Ramos da Psicologia, 2011. Disponível em: <http://psicopsi.com/pt/psicologia-da-percepcao-uma-abordagem-ecologica>. Acesso em janeiro de 2013.

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.

G1 Brasil. **População brasileira ultrapassa marca de 200 milhões, diz IBGE**. Agosto de 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2013/08/populacao-brasileira-ultrapassa-marca-de-200-milhoes-diz-ibge.html>. Acesso em: janeiro de 2014.

Gazeta de Maringá. **Uma Luz para a Matemática**, Jornal Gazeta do Povo, Londrina, Brazil, 2009. Disponível em: <http://www.gazetamaringa.com.br/online/conteudo.phtml?id=879373>. Acesso em: janeiro de 2013

IBGE, **Censo Demográfico 2010: População Residente por Tipo de Deficiência**, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Caracteristicas_Gerais_Religiao_Deficiencia/tab1_3.pdf. Acesso em: janeiro de 2013.

INEP, **Censo Escolar da educação Básica 2011: Resumo Técnico**, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2012. Disponível em: http://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/resumos_tecnicos/resumo_tecnico_censo_educacao_basica_2011.pdf, acessado em: janeiro de 2013.

Leite, H. C.; Prane, B. Z.; Palmeira, C. A. **Matemática com os olhos nas mãos: possíveis trilhas na construção de material adaptado para deficientes visuais no ensino médio regular**, Revista Horizontes na Educação, vol. 29, n. 1, São Paulo, jan/jun 2011, p. 85-88.

Loja Chimas. **Cola UV Pizzani 1201**. Disponível em: <https://www.lojachimas.com.br/Cola-UV-Pizzani-1201-100gr-Alta-Viscosidade/prod-954523/>. Acesso em: fevereiro de 2014.

Lojas Wessel, **Geoplano**, *Catálogo de Produtos*, Brazil. Disponível em: <http://www.lojaswessel.com.br>. Acesso em: junho de 2013.

Lopes, A.; Passerino, L. & Rodrigues, T.. **O Estudo da Função Polinomial do 1º Grau: Diferenças entre Ver e Ouvir um Objeto de Aprendizagem na Inclusão de Sujeitos com Deficiência Visual em Sala de Aula**, Novas Tecnologias na Educação, CINTED, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, v. 7, n. 3, dezembro 2009.

Machado, R. M. **Explorando o Geoplano**, *II Bienal da SBM*, Universidade Federal da Bahia, Brazil, 2004. Disponível em: <http://www.bienasbm.ufba.br/M11.pdf>. Acesso em: junho de 2013.

Malnar, J. & Vodvarka, F. **Sensory Design**. Minneapolis: University of Minnesota, 2004.

MEC, **Evolução da Educação Especial no Brasil**, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/brasil.pdf>. Acesso em: janeiro de 2013.

Melo, R.. **5 leitores de tela para o seu computador**. Movimento Livre – Caminho livre para a inclusão do deficiente visual, 2011. Disponível em: <http://www.movimentolivre.org/artigo.php?id=50#comentarios>. Acesso em: outubro de 2013.

Moraes, M. B.; Dutra, D. L.; Anjos, U. U.; Rêgo, R. G.; Moraes, R. M.; Machado, L. S. **Geoplano: um Jogo Educacional Inteligente para o Ensino de Geometria Plana**. X International Conference on Engineering and Technology Education – INTERTECH, São Paulo – SP, Março de 2008, p. 559-563.

MSC Engenharia de Software, **MSConverter - Conversão de arquivos PDF para DWG**. Disponível em: <http://www.msc.eng.br/converter-pdf-para-dwg-dxf-download-gratuito.html>. Acesso em: janeiro de 2014.

Multilógica Shop, Open Source Hardware. **Arduíno Mega 2560 R3**. Disponível em: <http://multilogica-shop.com/arduino-mega2560>. Acesso em: agosto 2013.

NDigit, Novidades e Notícias da Tecnologia Digital, **Relógio Pin**. Disponível em: <http://ndigit.blogspot.com.br/2008/11/relogio-pin.html>. Acesso em: agosto 2012.

Neves, J. D. **Sobre projetos para todos os sentidos: Contribuições da arquitetura para o desenvolvimento de projetos dirigidos aos demais sentidos além da visão**, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC Rio, Dissertação para obtenção do título de mestre do Programa de Pós-Graduação em Design, Rio de Janeiro, 2011.

Norman, D. **Technology First, Needs Last: The Research-Product Gulf**, Interactions Magazine, v. 16, March-April 2010, p. 38.

_____. **The Transmedia Design Challenge: Technology that is Pleasurable and Satisfying**, Interactions Magazine, v. 15, January-February 2010, p. 12.

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

Oliveira, C.; Santos, D. & Lahm, R.. **Cartografia através de modelos táteis: uma contribuição ao ensino de deficientes visuais**. Revista Educação Especial, 2010, p. 217-240. Disponível em: <http://www.ufsm.br/revistaeducacaoespecial>. Acesso em: abril 2013.

Optelec. **EasyLink 12**. Disponível em: <http://in.optelec.com/products/easylink-12.html>. Acesso em: dezembro de 2013.

Pacievitch, T. **Tecnologia da Informação e Comunicação**, InfoEscola, 2009. Disponível em: <http://www.infoescola.com/informatica/tecnologia-da-informacao-e-comunicacao>. Acesso em: janeiro de 2013.

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.

Prado, A. R.; Lopes, M. E.; Ornstein, S. W. **Desenho Universal: Caminhos da Acessibilidade no Brasil**, editora: Annablume, São Paulo, 2010.

Reincke, T. **The Virtual Abacus Exhibition – 1/5 bead soroban from China**. Typo Scriptics website, 2005. Disponível em: <http://www.typoscriptics.de/soroban/exhibition/soro1.html>. Acesso em: maio de 2013.

Reprap, **Reprap**. Disponível em: <http://reprap.org/wiki/RepRap>. Acesso em: janeiro de 2014.

Riffel, B. Y. **Tecnologia Assistiva para o Ensino de Gráficos a Pessoas com Deficiência Visual**, Instituto federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Educação Profissionalizante e Tecnológica Inclusiva, Cuiabá – MT, 2009.

Rocha Júnior, F. S.. **Benefícios da Aplicação da Matriz QFD (Quality Function Deployment) no Projeto Informacional de Desenvolvimento de Produto: uma Simulação de Aplicação em Puxadores da Linha Branca**, Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664, Centro de Ensino Superior de São Gotardo, n. V, Jan-Jun 2012, p. 58-70.

Roos, E.; Perin, M.; Sogari, P.; Oliveira, R.. **Acionamento e Controle da Furadeira CNC**. Projeto III, Escola de Engenharia, UFRGS, 2013.

Santos Jr, Z. **A Acessibilidade como Veículo de Inclusão Social: Proposta de Dispositivo Computacional para os Deficientes Visuais da Cidade de Natal/RN**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Dissertação para obtenção do título de mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Natal – RN, 2009.

Shapeoko, **Universal G-Code Sender**. Disponível em: <http://www.shapeoko.com/wiki/index.php/Universal-G-Code-Sender>. Acesso em: janeiro de 2014.

Silva, M. J.; Costa, W. J.; Lira, H. L. **Parcerias no Ensino: Design e Engenharia de Materiais**. XXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE, Porto Alegre – RS, dezembro de 2001.

Skogsrud, S. S., **GRBL: Motion Control for Machines that Make Things**. Bengler. Disponível em: <http://bengler.no/grbl>. Acesso em: janeiro de 2014.

Software Informer, **Image to G-Code**. Disponível em: <http://image-to-g-code.software.informer.com>. Acesso em: janeiro de 2014.

Texte & Relief. **Index Basic Braille Printer**. *Braille Printers, Texte & Relief: Specialised Softwares, hardwares and services dedicated to the relief of the visually impaired*, 2013. Disponível em: <http://textetreliefinenglish.wordpress.com/our-products/braille-printers>. Acesso em: outubro de 2013.

Vector Magic, **Easily Converter Bitmap Images to Clean Vector Art**. Disponível em: <http://vectormagic.com/home>. Acesso em: janeiro de 2014.

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.

Viewplus. **Emprint SpotDot**. Disponível em: <http://www.viewplus.com/products/braille-printers/EmBraille-braille-printers>. Acesso em: dezembro de 2013.

_____. **Emprint SpotDot**. Disponível em: <http://www.viewplus.com/products/ink-braille-printers/emprint-spotdot>. Acesso em: dezembro de 2013.

Vita, A. C. **Análise Instrumental de uma Maquete Tátil para a Aprendizagem de Probabilidade por Alunos Cegos**. Tese para obtenção do título de Doutor em Educação Matemática, Pontifícia Universidade Católica – PUC, São Paulo - SP, 2012.

Vitrine Virtual Irmãos Rausch. **Jimo Cupim Spray 400 ml**. Disponível em: http://irmaosrausch.com.br/product_images/e/cupim-aerossol__14068_zoom.jpg. Acesso em: dezembro de 2013.

WG Produto, **Coleção Adélia**. Disponível em: <http://www.wgproduto.com.br/46719/colecao-adlia>. Acesso em: agosto de 2013.

WHO, **Global Data on Visual Impairments 2010**, World Health Organization, 2012. Disponível em: <http://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>. Acesso em: janeiro de 2013.

Yanko Design, Form Beyond Function, **Braille E-book**. Disponível em: <http://www.yankodesign.com/2009/04/17/braille-e-book>. Acesso em: junho 2012.

Yeh, F.H. & Liang, S.H.. **Mechanism design of the flapper actuator in Chinese Braille display**. *Physical Journal Sensors and Actuators A*, 2007, vol. 135, n. 2, p. 680-689.

Yeh, F. H.; Tsay, H. S.; Liang, S. H.. **Human computer interface and optimized electro-mechanical design for Chinese Braille display**. *Mechanism and Machine Theory*, 2008, vol. 43, n. 12, p. 1495-1518

Yobas, L.; Durand, D. M.; Skebe, G. G.; Lisy, F. J.; Huff, M. A.. **A novel integrable microvalve for refreshable Braille display system**. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2003, vol. 12, n. 3, p. 252-263.

Zapmaker, **GRBL Controller**. Disponível em: <http://zapmaker.org/projects/grbl-controller-3-0>. Acesso em: janeiro de 2014.

APÊNDICE A

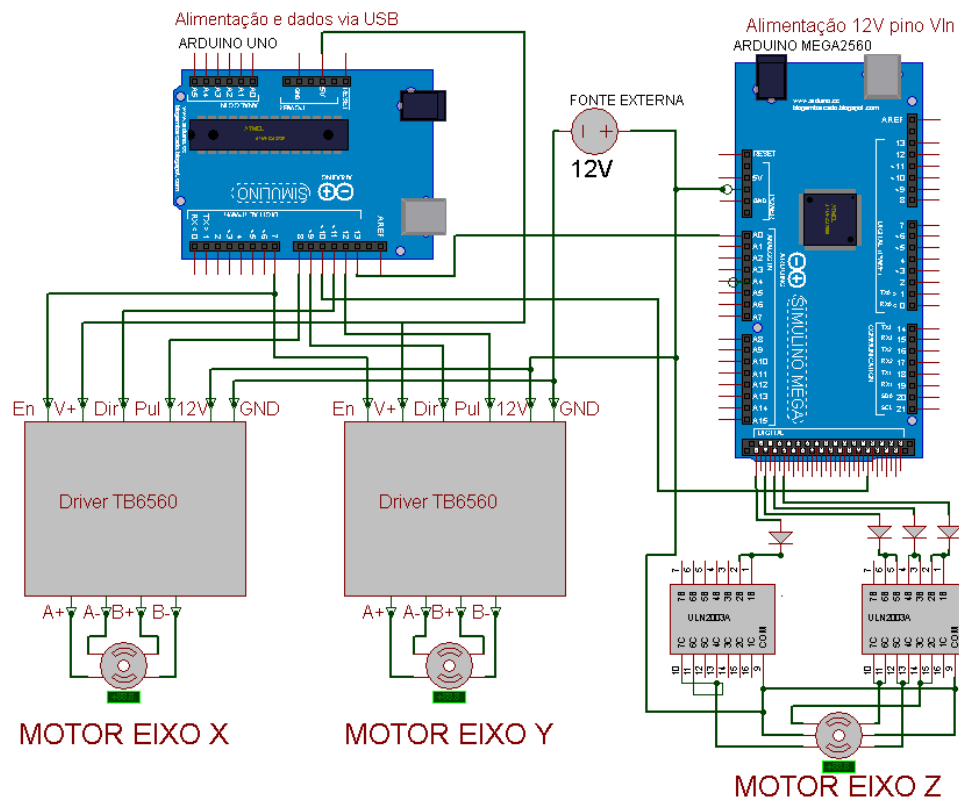


Figura A.1. Esquema da ligação dos motores com os Arduinos.

APÊNDICE B

Sistema de engrenagens no eixo Y

O sistema de engrenagens do eixo Y é constituído por uma relação simples de engrenagens, como visto na Figura B.1.

Engrenagem	Número de dentes	Raio
1	19 dentes, N1=19	r=0,005 m
2	36 dentes, N2=36	r=0,010 m
3	23 dentes, N3=23	r=0,0065 m

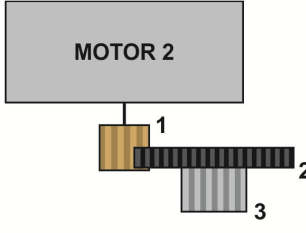


Figura B.1. Sistema de engrenagens do eixo Y

Conforme pode ser observado na esquematização da Figura B.1, esta relação conta com uma engrenagem que possui 19 dentes, acoplada diretamente ao eixo do motor. A segunda engrenagem com 36 dentes, acoplada a primeira e uma terceira engrenagem, 23 dentes, que é solidária ao eixo da segunda.

Cálculo de relação das engrenagens no eixo Y:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow \omega_2 = \frac{(\omega_1 \times N_1)}{N_2}$$

Onde ω_2 é a velocidade angular da segunda engrenagem, acoplada à engrenagem do eixo do motor.

Assim como na relação anterior, a segunda e a terceira engrenagens são solidárias, então, $\omega_2 = \omega_3$.

$$\omega_3 = \frac{(\omega_1 \times N_1)}{N_2} \rightarrow \omega_3 = \frac{(\omega_1 \times 19)}{36}$$

$$\omega_3 = \omega_1 \times 0,5277 \rightarrow \frac{\omega_3}{\omega_1} = 0,5277 \rightarrow \text{Relação de } 1:1,895$$

O perímetro do círculo é dado por $C = 2\pi r$ onde r é o raio do círculo. Para a terceira engrenagem, $r = 6 \text{ mm}$. Então, $C = 37,67 \text{ mm}$ é o perímetro da engrenagem 3.

Sendo o sistema movimentado por uma correia dentada, ligada nesta última engrenagem, podemos tomar o perímetro da engrenagem como o deslocamento linear

do eixo ligado a ela, o que nos dá um deslocamento de um ponto sobre a engrenagem de 0,10464 mm por grau de giro da mesma, pois:

$$\frac{37,67\text{mm}}{360^\circ} = 0,10464$$

O motor possui um passo de $7,5^\circ$, então, a cada passo do motor o eixo Y se desloca 0,41446 mm, conforme abaixo:

$$\frac{7,5^\circ}{1,895} = 3,95778^\circ \text{ (engrenagem de saída)}$$

$$3,95778 \times 0,10464 = 0,414 \text{ mm/passos (motor)}$$

Portanto, o sistema do eixo Y tem uma resolução de 0,414 mm/passos e quanto menor esta resolução, melhor a precisão de desempenho deste motor.

Torque no motor 2 (motor Y):

Lembrando-se que $F_Y = 17,2\text{N}$, e tendo $F_Y = F_3$:

$$T_3 = F_3 \times r_3 \rightarrow T_3 = 17,2 \times 0,0065 \rightarrow T_3 = 0,1118\text{Nm}$$

Como as engrenagens 2 e 3 são solidárias, tem-se $T_2 = T_3$.

$$T_2 = F_2 \times r_2 \rightarrow F_2 = \frac{T_2}{r_2} \text{ ou } F_2 = \frac{T_3}{r_2}$$

Sabe-se que $F_1 = F_2$. Então, o torque do motor do eixo Y será dado por:

$$T_{my} = F_1 \times r_1 \text{ ou } T_{my} = F_2 \times r_1 \rightarrow T_{my} = \frac{T_3 \times r_1}{r_2} \text{ ou } T_{my} = \frac{F_3 \times r_3 \times r_1}{r_2}$$

$$T_{my} = \frac{17,2\text{N} \times 0,0065\text{m} \times 0,005\text{m}}{0,01\text{m}} \rightarrow T_{my} = 0,056\text{Nm}$$

Relação de engrenagens no sistema de injeção de tinta (eixo Z)

Para o mecanismo de injeção de tinta, também identificado como eixo Z, foi utilizado um sistema de trens de engrenagem a fim de possibilitar aumento do torque do motor. Este sistema é composto por uma relação de quatro engrenagens (Figura B.2).

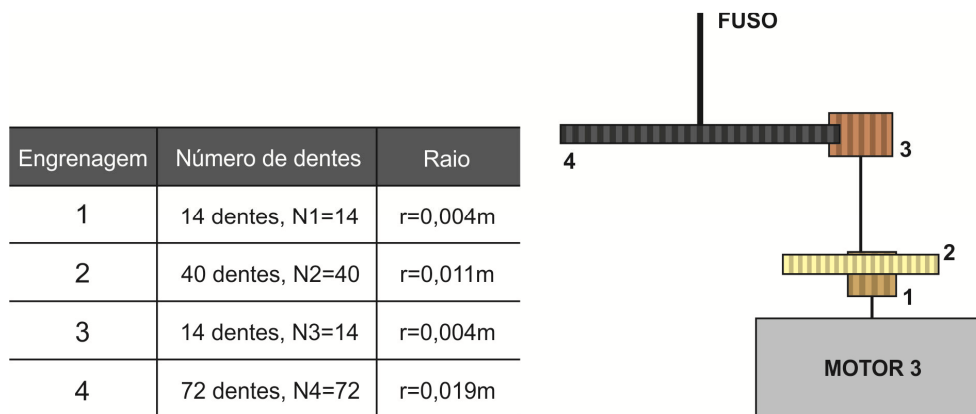


Figura B.2. Sistema de engrenagens do mecanismo de injeção da tinta, eixo Z

A relação das engrenagens pode ser observada na esquematização da Figura 5.13, onde, a engrenagem solidária ao eixo do motor possui 14 dentes, a segunda engrenagem, com 40 dentes, é conectada à engrenagem do eixo do motor e a terceira engrenagem, 14 dentes, é solidária ao eixo da segunda. A quarta engrenagem, que foi conectada à terceira possui 72 dentes.

Cálculo de relação das engrenagens:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow \omega_2 = \frac{(\omega_1 \times N_1)}{N_2}$$

Onde ω_2 é a velocidade angular da segunda engrenagem.

Como as engrenagens 2 e 3 são solidárias, tem-se $\omega_2 = \omega_3$.

$$\frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{N_4}{N_3} \rightarrow \omega_4 = \frac{(\omega_3 \times N_3)}{N_4}$$

Onde ω_4 é a velocidade angular da quarta engrenagem, solidária à barra rosca que empurra o êmbolo.

Então, em termos de ω_1 :

$$\omega_4 = \frac{(\omega_1 \times N_1 \times N_3)}{(N_2 \times N_4)} \rightarrow \omega_4 = \frac{(\omega_1 \times 14 \times 14)}{(40 \times 72)}$$

$$\omega_4 = \omega_1 \times 0,06805 \rightarrow \frac{\omega_4}{\omega_1} = 0,0685 \rightarrow \text{Relação de } 1:14,7$$

O passo da rosca do fuso é de 1 mm, assim, para o êmbolo se deslocar 1 mm o fuso deve dar uma volta completa. Com a relação de 1:14,7, isto significa dizer que para

que o fuso dê uma volta completa, o motor do sistema de injeção deve dar aproximadamente 14,5 voltas.

Uma volta completa da engrenagem 4 corresponde a uma volta completa da barra roscada que possui o passo de 1 mm. Então:

$$360^\circ = 1mm \rightarrow \frac{1mm}{k \text{ mm/graú}} = 360^\circ \rightarrow k = \frac{1}{360^\circ} = 0,0027 \text{ mm/graú}$$

$$360^\circ \times 14,69 = 5288,4^\circ \text{ (motor)}$$

Como também não foram encontradas as especificações deste motor, foram realizados diversos testes para a obtenção da resolução que proporcionasse o melhor resultado para o eixo Z, onde se comandava o motor para injetar tinta para a obtenção de um traço de 100 mm, ou seja, deslocava-se o êmbolo da seringa em aproximadamente 1,87 mm. A resolução para o motor, subdividida pelo controlador (no caso o Arduino Uno) que melhor se adequou foi a de 140 passos/mm. Após, foi possível calcular o grau de passo do motor:

$$\frac{5288,4^\circ}{140} = 37,77 \text{ graú/passo}$$

$$\frac{37,77^\circ}{14,69} = 2,57^\circ \text{ (engrenagem de saída)}$$

$$2,57^\circ \times 0,0027 = 0,006939 \text{ mm/passo (motor)}$$

Estima-se assim que este motor possui um passo de $37,77^\circ$, totalizando 9,53 passos por volta e um deslocamento de 0,007 mm por passo.

Torque no motor 3 (motor Z):

Lembrando-se que $F_Z = 22,24N$, e tendo $F_Z = F_4$:

$$T_4 = F_4 \times r_4 \rightarrow T_4 = 22,24 \times 0,019 \rightarrow T_4 = 0,4225Nm$$

$$F_4 = F_3, \text{ assim, } T_3 = F_3 \times r_3 \text{ ou } T_3 = F_4 \times r_3$$

Como as engrenagens 2 e 3 são solidárias, tem-se $T_2 = T_3$.

$$T_2 = F_2 \times r_2 \rightarrow F_2 = \frac{T_2}{r_2} \text{ ou } F_2 = \frac{T_3}{r_2}$$





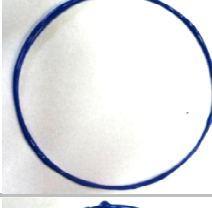
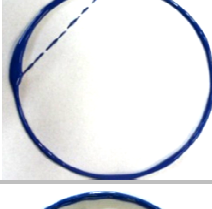

Sabe-se que $F_1 = F_2$. Então, o torque do motor do eixo Z será dado por:

$$T_{mz} = F_1 \times r_1 \text{ ou } T_{mz} = F_2 \times r_1 \rightarrow T_{mz} = \frac{T_3 \times r_1}{r_2} \text{ ou } T_{mz} = \frac{F_4 \times r_3 \times r_1}{r_2}$$

$$T_{mz} = \frac{22,24N \times 0,004m \times 0,004m}{0,011m} \rightarrow T_{mz} = 0,323Nm$$

APÊNDICE C

Tabela C.1. Resultado dos testes de impressão de círculos

Teste de imp. de círculos	Resolução	Velocidade			Resultado	Qntd.
		X	Y	Z		
	698 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço muito grosso.	08
					Traço muito grosso e não fechou.	04
	350 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme.	08
	170 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme e não fechou.	08
	140 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Melhor traço. Mais uniforme.	15
	120 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme.	06
	110 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme.	06





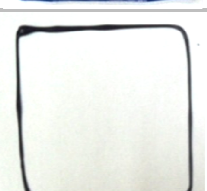



Teste de imp. de círculos	Resolução	Velocidade			Resultado	Qntd.
		X	Y	Z		
	90 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Falhado.	08

Tabela C.2. Resultado dos testes de impressão de quadrados

Teste de imp. de quadrados	Resolução	Velocidade			Resultado	Qntd.
		X	Y	Z		
	698 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme e muito grosso.	04
	350 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme e muito grosso.	03
	170 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme.	04
	140 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Melhor traço.	06
	120 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/min	2000 mm/min	Traço não uniforme.	03

	110 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/mi n	2000 mm/min	Traço não uniforme.	02
	90 passos/mm	2000 mm/min	2000 mm/mi n	2000 mm/min	Falhado.	03

APÊNDICE D

Fluxograma II - Etapas para impressão

