



**DOUGLAS CORDEIRO  
GABRIEL LUCAS ALMEIDA**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA  
IMPRESSORA BRAILLE DE BAIXO CUSTO**

**LAVRAS – MG  
2019**

**DOUGLAS CORDEIRO  
GABRIEL LUCAS ALMEIDA**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA BRAILLE DE  
BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do Curso  
de Engenharia de Controle e Automação,  
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Daniel Augusto Pereira  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2019**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA BRAILLE DE  
BAIXO CUSTO**

**DESIGN E DEVELOPMENT OF A LOW COST BRAILLE PRINTER**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do Curso  
de Engenharia de Controle e Automação,  
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 11 de novembro de 2019.

Dr. Daniel Augusto Pereira UFLA

Dr. Danton Diego Ferreira UFLA

Dra. Silvia Costa Ferreira UFLA

Prof. Dr. Daniel Augusto Pereira  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

*À minha mãe Débora e meu pai Adalri pelo apoio e amor que me deram durante toda minha vida e por serem meus exemplos de vida.*

*À minha irmã Cibila pelo seu apoio e exemplo.*

*À minha avó Ezita, em memória, a qual não pôde compartilhar deste momento, mas com certeza está celebrando minha vitória em um lugar melhor.*

*Dedico.*

*Douglas Cordeiro.*

*Aos meus avós, Montival e Maria Augusta (em memória), que sempre cuidaram de mim com muito amor e carinho.*

*Aos meus pais, Junior e Karina, por todo o amor, companheirismo e ensinamentos.*

*À minha irmã Bruna por todo o companheirismo, aprendizado e momentos de alegria.*

*Sem vocês eu nada seria.*

*Dedico.*

*Gabriel Lucas Almeida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Adalri e Débora, por todo amor e ensinamento que me propiciaram durante a vida. À minha irmã Cibila, que sempre foi um exemplo para mim.

**Douglas Cordeiro.**

Aos meus avós, Montival e Maria Augusta (em memória), aos quais sou eternamente grato por tudo que fizeram por mim, todo o cuidado, amor e carinho. Tudo que sou hoje é graças a vocês, amo vocês do fundo do meu coração. Ao meu pai, Junior, por sempre me apoiar nas minhas decisões e me mostrar a importância de valorizar e amar as pessoas ao nosso redor. À minha mãe, Karina, por sempre me escutar, estar presente e me fazer forte nos momentos de fraqueza. Sem vocês, nada seria. Aos meus primos, em especial Phelipe e Alexandre, que sempre me proporcionaram momentos de alegria e companheirismo e estiveram presentes em todos os momentos de minha vida. À Érida, por todo o apoio e companheirismo. À Janete, por todo seu cuidado e carinho comigo durante toda a minha graduação. Às minhas professoras de banca, Emilie e Josirene, as quais foram peças fundamentais durante o meu processo de aprendizado. Aos meus professores do ensino médio, em especial Naldo e Vinicius, que com a sua didática excepcional me prepararam da melhor forma possível para qualquer tipo de desafio acadêmico

**Gabriel Lucas Almeida.**

Primeiramente agradecemos a Deus pela oportunidade e por sempre estar ao nosso lado, pois sem ele nada é possível. À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade. Ao professor Daniel Augusto Pereira e Paulo Afonso Parreira Junior, pela ajuda, paciência e orientação. À todos os colaboradores da Universidade Federal de Lavras, os quais direta e indiretamente colaboraram por este momento. À todos os nossos amigos da turma de 2014/2 da UFLA, em especial Pedro, Murilo, Gustavo e Filipe. Aos nossos colegas Paulo, Gabriel, Vinicius e Lucas, por todo conhecimento compartilhado, horas de estudos juntos e pela amizade que levaremos por toda a vida. À todos nossos familiares e amigos, que mesmo de longe sempre nos apoiaram e torceram por nós durante esta etapa de nossas vidas.

**Nossos sinceros agradecimentos e MUITO OBRIGADO!**

**Douglas Cordeiro.**

**Gabriel Lucas Almeida.**

*“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, pois tu estás comigo” (Salmos 23:4)*

## RESUMO

O intuito deste trabalho foi projetar e construir o protótipo de uma impressora braille de baixo custo juntamente com um *software* de comunicação e tradução de texto da língua portuguesa para a grafia *braille*, visando o projeto de uma versão de mercado da impressora braille de baixo custo, com a finalidade de democratizar o acesso da população e instituições de ensino do país a um produto capaz de imprimir materiais no sistema *braille*. Atualmente, a maioria das impressoras *braille* encontradas a venda no Brasil são fabricadas fora do país, com isso, seu custo torna-se extremamente alto, fato este que motivou a investigação do problema. O trabalho foi composto por um protótipo mecânico e por um *software* responsável pela interação entre usuário e protótipo, os quais, atuando em conjunto, permitem que o usuário escreva em uma caixa de texto e imprima seu conteúdo na grafia *braille*, de maneira similar a um editor de texto comum conectado a uma impressora convencional. Um exemplo de aplicação deste produto seria a capacidade de um professor redigir conteúdos da disciplina na língua portuguesa, como provas e materiais de estudo e transcrevê-los para a grafia *braille*, possibilitando uma relação mais próxima e inclusiva entre aluno e professor, dispondo até de alguns símbolos matemáticos para o ensino de matemática básica para alunos portadores de deficiência visual. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, sendo elas: projeto/construção do protótipo mecânico e desenvolvimento do *software* responsável pela interface homem/máquina. O protótipo mecânico foi projetado com o auxílio do *software* SolidWorks, no qual foram desenhadas todas as peças que constituem o protótipo. O *software* foi desenvolvido na linguagem de programação baseada na orientação a objetos Java e com o auxílio da IDE Eclipse. Também se fez necessária a utilização de uma placa Arduino Uno no sistema embarcado da impressora, com a finalidade de interpretar as informações provenientes do *software* e controlar os atuadores presentes no protótipo. Realizou-se uma análise de viabilidade econômica referente a construção do protótipo mecânico e, a partir dos dados obtidos, foi dado início a sua construção. Em seguida, foram realizados testes a fim de verificar a eficácia/qualidade do produto, necessitando-se assim realizar um novo estudo de viabilidade econômica sob a perspectiva do custo/benefício entre a versão de mercado da impressora *braille* desenvolvida frente a uma impressora *braille* já implantada no mercado brasileiro, analisando-se dessa forma a viabilidade em adquirir-se a impressora *braille* de baixo custo. Avalia-se que o objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi alcançado, permitindo o desenvolvimento de um produto de baixo custo apto a ser inserido no mercado, facilitando assim a democratização do ensino da grafia *braille* no Brasil.

Palavras-chave: Deficiência visual. Impressora de baixo custo. Braille. Arduino. Software.

## ABSTRACT

The purpose of this work was to design and build the prototype of a low cost braille printer together with communication and text translation software from Portuguese language to braille spelling, aiming at the design of a market version of the low cost braille printer, in order to democratize the access of the country's population and educational institutions to a product capable of printing materials in the braille system. Currently, most braille printers found for sale in Brazil are manufactured outside the country, so their cost becomes extremely high, which motivated the investigation of the problem. The work consisted of a mechanical prototype and software responsible for the interaction between user and prototype, which, acting together, allow the user to write in a text box and print its contents in braille spelling, similar to a ordinary text editor connected to a conventional printer. An example of application of this product would be the ability of a teacher to write course content in Portuguese, such as exams and study materials and transcribe them into braille spelling, enabling a closer and more inclusive relationship between student and teacher, even having Some mathematical symbols for teaching basic math for visually impaired students. The work was developed in two stages, namely: mechanical prototype design / construction and software development responsible for the human / machine interface. The mechanical prototype was designed with the aid of SolidWorks software, in which all the parts that make up the prototype were designed. The software was developed in the Java object-oriented programming language and with the help of the Eclipse IDE. It was also necessary to use an Arduino Uno card in the printer's embedded system, in order to interpret the information from the software and control the actuators present in the prototype. An economic feasibility analysis regarding the construction of the mechanical prototype was performed and, from the data obtained, it was started its construction. Subsequently, tests were carried out to verify product effectiveness / quality, thus requiring a new economic feasibility study from the cost / benefit perspective of the market version of the braille printer developed against a braille printer. implemented in the Brazilian market, thus analyzing the feasibility of purchasing the low cost braille printer. It is estimated that the objective of this course completion work was achieved, allowing the development of a low cost product able to be inserted in the market, thus facilitating the democratization of braille teaching in Brazil.

Keywords: Visual impairment. Low cost printer. Braille. Arduino. Software.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Cella braille. ....	18
Figura 2 — Alfabeto braille, representação de símbolos e números. ....	20
Figura 3 — Reglete de Mesa. ....	22
Figura 4 — Método de escrita a partir da reglete negativa. ....	23
Figura 5 — Funcionamento da reglete positiva. ....	24
Figura 6 — Leitura e escrita da palavra "aprender" utilizando a reglete positiva. ....	24
Figura 7 — Comparação do hardware entre os diferentes modelos de Arduino disponíveis no mercado. ....	26
Figura 8 — Fluxo de projeto da impressora braille. ....	27
Figura 9 — Vista isométrica da montagem 3D do protótipo projetado. ....	29
Figura 10 — Modelo 3D da base da impressora e suas regiões. ....	30
Figura 11 — Lateral da impressora. ....	31
Figura 12 — Vista isométrica da montagem 3D da base com as laterais. ....	32
Figura 13 — Modelo 3D das buchas das laterais. ....	32
Figura 14 — Detalhe do embuchamento das laterais. ....	33
Figura 15 — Vista isométrica de uma das guias do suporte do punção. ....	34
Figura 16 — Detalhe do encaixe do anel elástico no eixo. ....	35
Figura 17 — Vista isométrica do modelo 3D da reglete negativa. ....	36
Figura 18 — Detalhe do perfil dos furos da reglete. ....	36
Figura 19 — Detalhe montagem da reglete na base da impressora. ....	37
Figura 20 — Modelo 3D do punção. ....	37
Figura 21 — Vista isométrica do modelo 3d da bucha guia do punção. ....	38
Figura 22 — Montagem punção e bucha guia. ....	38
Figura 23 — Montagem punção, bucha guia e porca guia do servo motor. ....	39
Figura 24 — Vista isométrica do modelo 3D do suporte do punção projetado. ....	40
Figura 25 — Modelo 3D de uma das buchas da lateral do suporte. ....	41
Figura 26 — Modelo 3D de um dos eixos do puxador de papel. ....	42
Figura 27 — Detalhe do rasgo na extremidade do eixo puxador de papel. ....	42
Figura 28 — Modelo 3D de uma das rodas projetadas para o sistema puxador de papel. ....	43
Figura 29 — Vista Frontal da montagem final do protótipo mecânico. ....	44
Figura 30 — Vista Superior da montagem final do protótipo mecânico. ....	45
Figura 31 — Tela principal do Braillezooka. ....	47
Figura 32 — Tela de Preferências, a partir do menu "Arquivo>Preferências". ....	49
Figura 33 — Tela de impressão, a partir do menu "Visualizar>Prévia Impressão". ....	49
Figura 34 — Motor GB37Y3530-12V-251R. ....	54

Figura 35 — Impressora braille Index Basic DV4.....	57
Figura 36 — Fluxo de caixa da impressora braille de baixo custo.....	63
Figura 37 — Fluxo de caixa da impressora braille Index Basic DV4.....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Gastos da parte mecânica do protótipo.....	53
Quadro 2 — Gastos da parte eletrônica do protótipo.....	53
Quadro 3 — Determinação da velocidade de impressão do protótipo desenvolvido.....	55
Quadro 4 — Custos do produto final.....	56
Quadro 5 — Principais características técnicas das impressoras.....	58
Quadro 6 — Fluxo de caixa mês 1 – análise de viabilidade.....	59
Quadro 7 — Características de impressão da impressora desenvolvida e o modelo Index Basic DV4.....	61
Quadro 8 — Fluxo de caixa das alternativas.....	62
Quadro 9 — Resultados do cálculo do VPL e TIR - Demanda mensal de 1.500 páginas.....	64
Quadro 10 — Fluxo de caixa para diferentes valores de TMA - Demanda mensal de 1.500 páginas.....	65
Quadro 11 — Resultados dos cálculos do TIR e VPL - Demanda mensal de 15.000 páginas.....	66
Quadro 12 — Fluxo de caixa para diferentes valores de TMA - Demanda mensal de 15.000 páginas.....	66

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CPS	Caracteres por segundo
STGB	Software de tradução de texto da grafia convencional para a grafia braille
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	Objetivos do trabalho .....	16
1.2	Estruturação dos capítulos.....	17
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
2.1	<b>Regletes e Punção</b> .....	21
2.2	<b>Arduino</b> .....	25
3	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	27
3.1	<b>Construção da Parte Mecânica do Protótipo</b> .....	28
3.1.1	Projeto e dimensionamento dos componentes mecânicos do protótipo.....	30
3.1.1.1	Base e laterais da impressora.....	30
3.1.1.2	Guias do suporte do punção .....	33
3.1.1.3	Sistema reglete negativa e punção.....	35
3.1.1.4	Bucha guia do punção e porca de guia do servomotor.....	37
3.1.1.5	Suporte do punção.....	39
3.1.1.6	Sistema do puxador de papel.....	41
3.1.1.7	Movimentação do suporte do punção .....	43
3.1.1.8	Montagem completa do projeto no SolidWorks .....	44
3.2	<b>Desenvolvimento da parte eletrônica do protótipo</b> .....	45
3.2.1	Desenvolvimento do software: Criação do Braillezooka.....	46
3.2.1.1	Caixa de texto: Explorando o ponto 1.....	47
3.2.1.2	Campo de tradução: Explorando o ponto 2.....	47
3.2.1.3	Barra de ferramentas: Explorando o ponto 3 .....	48
3.2.1.4	Barra de menus: Explorando o ponto 4.....	48
3.2.1.5	Campo de informações: Explorando o ponto 5.....	50
3.2	Exclusividades do <i>software</i> .....	50
4	<b>ANÁLISE DE VIABILIDADE</b> .....	52
4.1	<b>Custos envolvidos no desenvolvimento do protótipo</b> .....	52
4.2	<b>Custos envolvidos no desenvolvimento da versão de mercado da impressora braille</b> .....	54
4.3	<b>Análise da viabilidade econômica da impressora desenvolvida frente a um produto já inserido no mercado</b> .....	57
4.3.1	Análise da viabilidade: Cálculo do valor presente líquido e taxa interna de retorno... 61	
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	68
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71
	<b>APÊNDICE A - Expressões matemáticas e frases em braille</b> .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

A visão é sem sombra de dúvidas um dos sentidos mais importantes do corpo humano. É devido ao fato de utilizar-se este sentido que conseguimos desempenhar uma vasta gama de atividades em nosso dia a dia, tais como ler, dirigir, trabalhar, andar, etc. Em contrapartida, há uma grande parcela da população mundial que por diferentes motivos acabam não podendo contar com esse sentido, influenciando suas vidas nos mais diferentes aspectos.

Estimativas da iniciativa global Vision 2020 em parceria com a World Health Organization (WHO, 2002) apontam que anualmente mais de 7 milhões de pessoas ao redor do mundo tornam-se deficientes visuais (cerca de 1 caso de cegueira a cada 5 segundos). Dados destas organizações também apontam que aproximadamente 80% dos casos de cegueira poderiam ter sido tratados ou evitados.

No Brasil, dados levantados pelo censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de 2010 (IBGE, 2010) relatam que das mais de 6,6 milhões de pessoas com alguma deficiência visual, 506.300 pessoas são incapazes de enxergar. Muitas vezes não é dada a devida importância a este assunto, seja por parte dos órgãos públicos em suas diversas instâncias, seja por parte da população em si, que muitas vezes esboçam um olhar de espanto/curiosidade ao se deparar com uma pessoa portadora de deficiência visual.

Apesar de hoje no Brasil se falar muito no tema “Acessibilidade”, ao observar o cenário do país sob uma perspectiva mais rigorosa fica evidente o quanto o país ainda é carente neste tema. Geralmente apenas os grandes centros urbanos e cidades turísticas contam com algum tipo de infraestrutura relacionada a acessibilidade.

Dessa forma, os deficientes visuais são submetidos a diversos desafios sociais, tais como transformar o senso comum e ensinar que essas pessoas são “eficientes” e não “deficientes”. Grande parcela da responsabilidade por cegos, surdos, paraplégicos e todo o conjunto de indivíduos que são categorizados como "deficientes" não terem iguais oportunidades de emprego quando comparadas com as pessoas ditas como "normais", parte da cultura que muitos empregadores têm de acreditar que a deficiência afeta todas as funções do indivíduo, tornando-o incapaz de exercer um determinado cargo ou tarefa.

Dentre os fatores que interferem diretamente na vida dos deficientes visuais, dois acabam por ter mais influência. O primeiro surge da falta de preocupação do governo em prover uma educação básica especial de qualidade. Dessa forma, existem pouquíssimas escolas preparadas para receber crianças cegas no Brasil. Segundo Regina Oliveira (2016), coordenadora de revisão *braille* da Fundação Dorina Nowill para Cegos e membro do

Conselho Ibero-americano do *braille* e do Conselho Mundial do *braille*, em entrevista dada ao Jornal Estadão:

É indispensável que as autoridades na área da educação se conscientizem de que o *braille* é o sistema natural de leitura das pessoas cegas e que, portanto, a verdadeira alfabetização de crianças cegas só é garantida por meio deste sistema.

O segundo fator decorre do preço dos materiais utilizados no processo de alfabetização de deficientes visuais serem extremamente altos, quando comparados a recursos utilizados na alfabetização de crianças sem deficiência nas escolas convencionais. Regletes, punções, máquinas de escrever e impressoras *braille* são alguns exemplos de materiais que são de suma importância na alfabetização do deficiente visual. Este último recurso se configura como um componente importante para a produção de material impresso no sistema *braille* e possui um preço de mercado que varia de R\$ 5.000,00 a R\$ 18.000,00 para produtos usados. Já para produtos novos, o preço varia entre R\$ 16.000,00 a R\$ 30.000,00 (EXTRA, 2019). Mesmo diante do advento de novas tecnologias, como as impressoras *braille*, o acervo de livros transcritos em *braille* ainda é muito pequeno, correspondendo a cerca de 5% do total dos livros presentes nos países desenvolvidos, segundo a World Blind Union (WBU, 2013). Já nos países em desenvolvimento esse índice é inferior a 1%.

O *braille* é fundamental para a educação de pessoas que perderam a visão ou já nasceram cegas, sendo o único sistema que permite a representação do alfabeto, números e símbolos aos deficientes visuais. Ao contrário do que assegura a Lei nº 7.853/89 e o Decreto nº 3.298/99 Seção II Art. 24 de 24 de Outubro de 1989, geralmente as escolas públicas não dispõem de material didático e professores capacitados em *braille*, fatos estes que combinados impedem ou retardam a alfabetização de crianças portadoras de deficiência visual. Outro fato que implica no agravamento da situação é o fato de muitas vezes os próprios pais da criança portadora de deficiência visual não possuírem conhecimento sobre o sistema *braille*, com isso, não conseguem acompanhar e ajudar no processo de alfabetização de seus filhos.

Se os pais das crianças portadoras de deficiência visual aprenderem o sistema *braille* e dispuserem de algumas ferramentas de auxílio no ensino, tais como uma impressora *braille* em casa, com certeza o processo de aprendizagem das crianças seria acelerado. Por outro lado, as impressoras *braille* atualmente disponíveis no mercado são muito caras, fato este que acaba por dificultar sua difusão na sociedade. Com a inserção de uma impressora *braille* de baixo custo no mercado, esse produto se tornaria mais popular e facilitaria a alfabetização de

pessoas cegas.

Para isso, separou-se o trabalho em duas partes principais, sendo estas o desenvolvimento de um protótipo mecânico da impressora e o desenvolvimento de um *software* capaz de comunicar-se com o protótipo mecânico e realizar a impressão de textos na grafia *braille*.

## 1.1 Objetivos do trabalho

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver uma impressora *braille* de baixo custo com foco no público de menor poder aquisitivo e baixa demanda mensal de impressão que seja capaz de competir com outra impressora *braille* inserida no mercado brasileiro, facilitando assim o processo de alfabetização de deficientes visuais.

Os objetivos específicos são:

- Projetar a parte mecânica do protótipo da impressora *braille* de baixo custo por meio de um *software* CAD 3D e analisar a melhor forma de estruturar a impressora *braille* de baixo custo na versão de mercado;
- Desenvolver um *software* dispondo de uma interface gráfica permitindo que o usuário digite textos na grafia da língua portuguesa, obtenha a visualização da transcrição do texto no código *braille* e possa enviar o texto digitado para a impressão na impressora *braille* de baixo custo;
- Analisar a viabilidade econômica da impressora *braille* de baixo custo confrontando-a com uma impressora *braille* já presente no mercado por meio dos cálculos da Taxa Interna de Retorno e do Valor Presente Líquido, visando analisar a viabilidade em adquirir-se a impressora *braille* de baixo custo.

## 1.2 Estruturação dos capítulos

O primeiro capítulo apresenta a introdução do trabalho, expondo o tema em si e informações referentes a deficiência visual, assim como dados sobre as impressoras *braille* existentes no Brasil. Neste capítulo também são abordados os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo trata-se do referencial teórico, no qual explica-se sobre o sistema *braille* e algumas peculiaridades existentes nessa grafia. Apresenta-se também um dos instrumentos mais utilizados para a escrita manual do *braille* em papel, que são as regletes. E também sobre o microcontroladores.



Já o terceiro capítulo aborda o desenvolvimento e está subdividido em duas grandes seções. A primeira trata do desenvolvimento da parte mecânica do protótipo da impressora, no qual realizou-se um detalhamento de todas as peças projetadas para o protótipo e a função de cada uma, ilustrando, também, como elas se dispõem na montagem da impressora. Por sua vez, a segunda seção aborda o desenvolvimento do *software*, na qual há uma ilustração chave que permite a compreensão da interface do *software* e as funcionalidades de cada parte da tela desenvolvida, além de mostrar algumas peculiaridades implementadas no sistema.

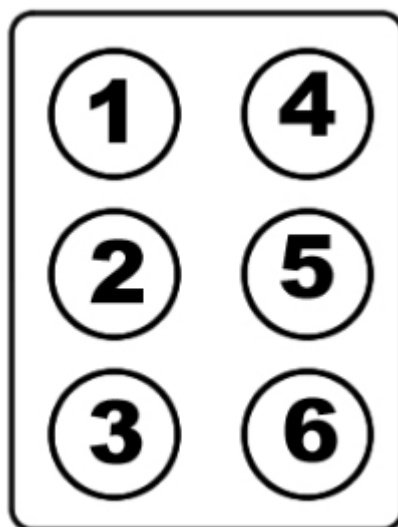
Por sua vez, o quarto capítulo trata da análise de viabilidade da impressora *braille* de baixo custo na versão de mercado, comparada com a impressora Index Basic DV4 DV4 (TECASSISTIVA, 2019). Para realizar tal análise, utilizou-se do cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Valor Presente Líquido (VPL).

Por fim, o quinto capítulo trata-se da conclusão do trabalho. Neste capítulo realizou-se as considerações finais, assim como uma análise dos objetivos propostos no trabalho, verificando se foram atendidos ou não.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O sistema *braille* surgiu na França no século XIX, proposto por Louis Braille (INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT, 2017), que perdeu sua visão em um acidente na oficina de seu pai quando ainda era criança. É um sistema de escrita tátil que auxilia as pessoas cegas ou com baixa visão a se comunicarem. O sistema *braille* é composto pela combinação de 6 pontos dispostos em uma matriz de três linhas e duas colunas, permitindo a formação de 63 caracteres diferentes, os quais correspondem às letras do alfabeto, números e símbolos diversos (CERQUEIRA, 2002). Cada conjunto de 6 pontos é chamado de *cela braille* e cada ponto de uma *cela braille* possui um número ou um conjunto de números para sua identificação. Em suma, esses pontos, estão associados à posição que a folha deve estar em relevo para produzir um determinado caractere da língua portuguesa. A Figura 1 apresenta uma *cela braille*, onde na coluna da esquerda estão dispostos os pontos 1, 2 e 3; já na coluna da direita estão os pontos 4, 5 e 6.

Figura 1 - Cella braille.



Fonte: Símbolos (2019).

No sistema *braille* é possível representar 63 caracteres únicos, que por si só conseguem contemplar todo o alfabeto da língua portuguesa de 28 letras. Na Figura 2 podemos analisar o alfabeto em *braille*. Entretanto, esses caracteres podem sofrer pequenas variações que produzem muito mais de 28 letras. Na língua portuguesa, temos diferenças de letras minúsculas e maiúsculas, acentuadas e não acentuadas, sinais de pontuação, símbolos matemáticos. O número de 63 caracteres únicos que sistema *braille* consegue produzir com apenas uma *cela braille* que antes parecia muito, agora começa a ficar um pouco limitado para

tanta variedade.

Dessa forma, usa-se a combinação de duas ou mais celas em conjunto para conseguir contemplar todas essas variações da escrita. Como por exemplo, a diferenciação entre letras minúsculas e maiúsculas no sistema *braille* é feita a partir da simples adição da cela (46), que correspondem aos pontos 4 e 6 em relevo da cela *braille*, antecedendo o caractere que se quer pôr na forma maiúscula. Nesse contexto, com os números não foram diferentes. Para se escrever os números começando de 1 até 9, utiliza-se dos mesmos pontos em relevo que a letra ‘‘a’’ até ‘‘j’’ no sistema *braille*, sendo que torna-se necessário a adição da cela (3456) antecedendo o caractere. Assim, o deficiente visual consegue diferenciar se aquilo que está escrito em relevo no papel é uma letra ou um número. Na Figura 2 têm-se as letras e logo abaixo delas temos os números que as originam em *braille*, identificando-se os pontos que devem estar em relevo para formar cada palavra, número ou símbolo.

Figura 2 - Alfabeto braille, representação de símbolos e números.

**Alfabeto Braille**

**Cela Braille**

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1	12	14	145	15	124	1245	125	24	245
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
13	123	134	1345	135	1234	12345	1235	234	2345
u	v	x	y	z	ç	é	á	è	ú
136	1236	1346	13456	1356	12346	123456	12356	2346	23456
â	ê	ì	ô	@	à	ï	ü	õ	w
16	126	146	1456	156	1246	12456	1256	246	2456
,	;	:	/	?	!	=	"	"	*
2	23	25	256	26	235	2356	236	356	35
í	ã	ó	Sinal de número		.	-	Sinal de letra maiúscula		´
34	345	346	3456		3	36	46		6
1	2	3	4	5					
1	12	14	145	15					
6	7	8	9	0					
124	1245	125	24	245					

Fonte: Enciclopedia Global (2019).

Segundo Renata Costa (2009), no sistema *braille* a leitura é feita da mesma forma que na grafia normal, ou seja, da esquerda para direita, podendo ser ao toque de uma ou ambas as mãos ao mesmo tempo. Por outro lado, para escrever-se na grafia *braille* é necessário

respeitar-se as regras aprovadas pelo Ministério da Educação e publicadas em 2006 no livro "GRAFIA BRAILLE PARA A LÍNGUA PORTUGUESA" (CERQUEIRA, 2006).

O *braille* também apresenta diversos níveis de codificação, sendo classificados em grau 1, 2 e 3. No seu primeiro nível, o *braille* é escrito por extenso, letra a letra. Já o segundo grau, apresenta algumas abreviaturas em preposições, conjunções e diversos outros grupos de letras que são comumente utilizados no *braille*. O principal motivo disso, é a economia de volumes de livros em *braille*, proporcionando um maior aproveitamento de tempo durante a leitura, tornando-a menos exaustiva. Por sua vez, o grau 3 apresenta uma extensa variedade de abreviaturas destinadas apenas a deficientes visuais que apresentam uma ótima memória e sensibilidade tátil. Na execução deste trabalho de conclusão de curso adotou-se a grafia *braille* em grau 1.

## 2.1 Regletes e punção

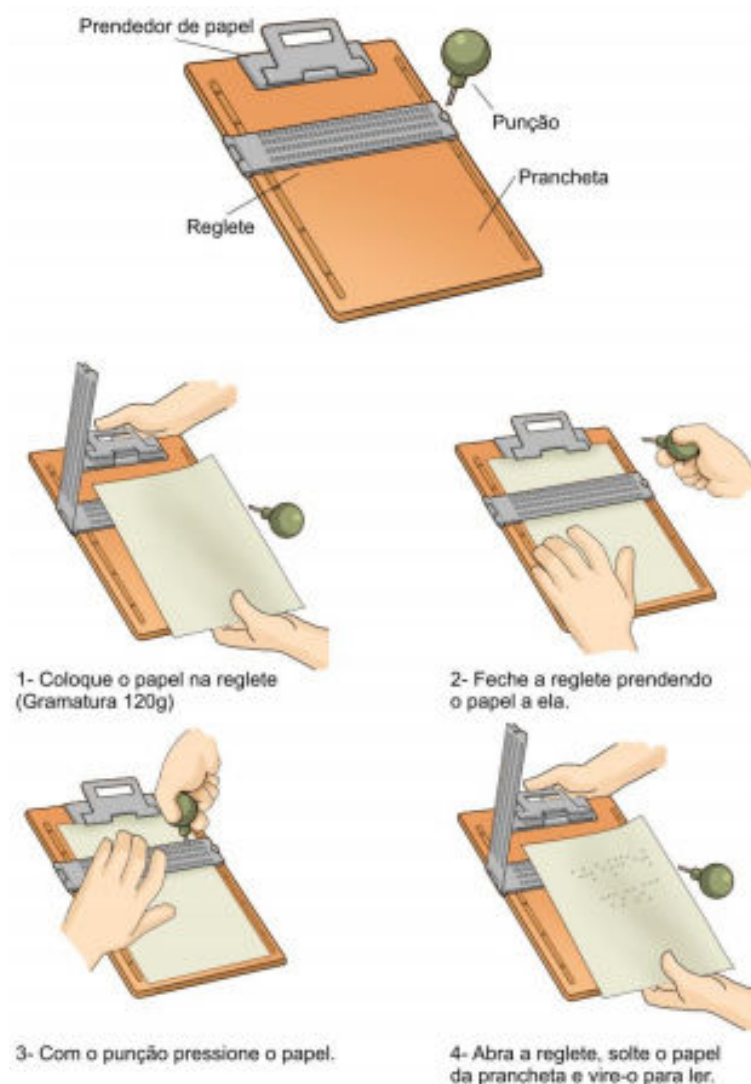
As regletes foram um dos primeiros instrumentos criados para fazer com que crianças cegas pudessem escrever manualmente o *braille*. As regletes são instrumentos bem simples que dependendo do modelo podem ser carregadas até no próprio bolso. É basicamente uma régua que apresenta pequenas formas de celas *braille* com a região dos 6 pontos da cela bem definidos em sua superfície e igualmente espaçados entre si. As regletes possuem uma parte superior e outra inferior para que o papel seja sempre colocado entre elas de modo a garantir sua fixação, impedindo eventuais escorregamentos durante o uso (TECNOLOGIA E CIÊNCIA EDUCACIONAL, 2013).

Nesse contexto, as regletes possuem o formato ideal para se escrever o *braille*. Agora, necessita-se de um objeto similar a uma caneta para marcar a folha. É nessa necessidade que surge o punção. Este instrumento é uma pequena haste de metal que serve para se pressionar e marcar o papel. Portanto, a reglete e o punção sempre são utilizados em conjunto.

As regletes possuem geralmente extensão horizontal correspondente a uma folha de tamanho A4, porém existem vários tipos de regletes e de tamanhos que podem variar mediante a aplicação. As mais conhecidas, são:

- Reglete de mesa: é uma reglete que se movimenta verticalmente e está fixada a uma prancheta. A Figura 3 ilustra o procedimento feito para a escrita do *braille*, por meio deste tipo de reglete.

Figura 3 - Reglete de mesa.



Fonte: Tecnologia e ciência educacional (2013).

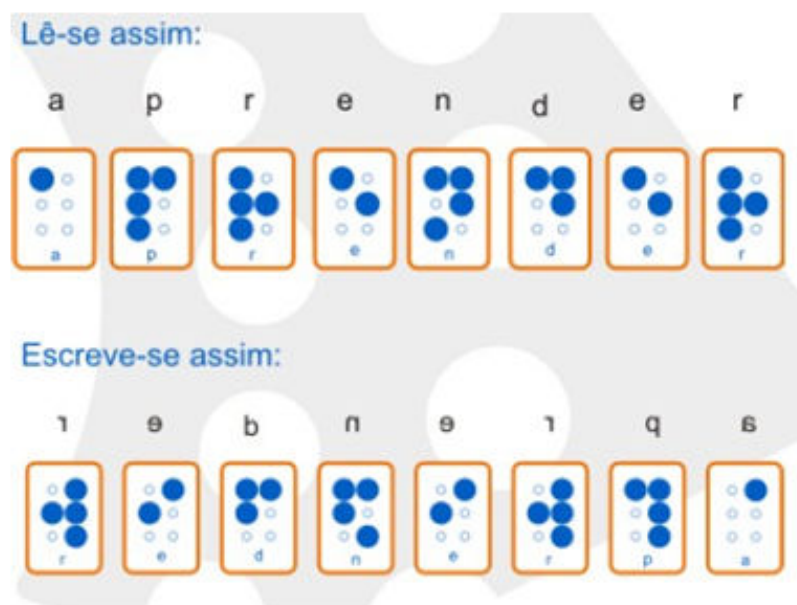
- Reglete de bolso: muito similar à reglete de mesa, porém esta reglete não usa a prancheta, apenas a própria reglete e o punção.

Já quando refere-se ao modelo estrutural de cada tipo de reglete, tem-se as regletes positiva e negativa. O conceito de regletes positivas e negativas configura-se como um tipo de característica que define a construção mecânica parte inferior da reglete e o formato do punção.

A reglete negativa possui na sua parte inferior a forma dos 6 pontos da célula *braille* em baixo relevo (comumente chamados de pontos negativos). Assim sendo, têm-se uma matriz parte inferior da reglete) de perfil côncavo e o punção convexo. Por ser confeccionada desta maneira, o método de escrita do código *braille* deve ser escrito da direita para esquerda e além disso, deve-se fazer um espelhamento dos pontos. Ou seja, para escrever a letra A,

deve-se pressionar o ponto 4 da célula *braille* para quando a folha for desprendida da reglete e a folha invertida, o ponto 1 deve ficar em alto relevo. A Figura 4 ilustra como deve ser feita a escrita da palavra "aprender" utilizando a reglete negativa.

Figura 4 - Método de escrita a partir da reglete negativa.

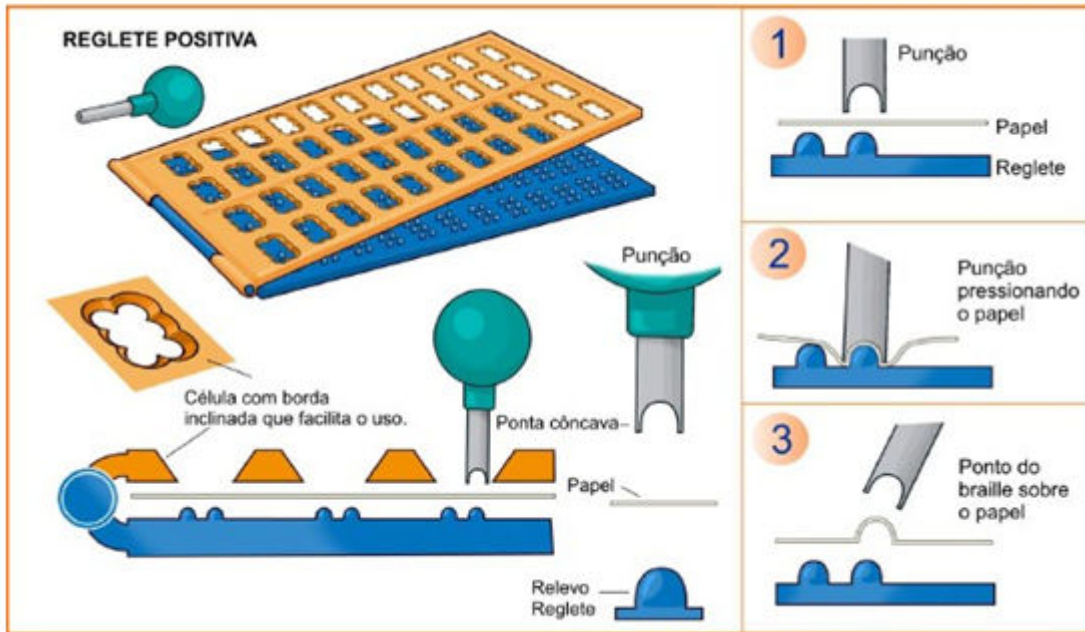


Fonte: Tecnologia e ciência educacional (2013).

Portanto, neste tipo de configuração, a leitura e escrita se dão de maneiras contrárias, o que dificulta muito o processo de aprendizado para pessoas cegas. A partir daí, tornou-se possível fomentar a ideia de aperfeiçoar a reglete negativa e em 2012 foi desenvolvida a reglete positiva (TECNOLOGIA E CIÊNCIA EDUCACIONAL, 2013).

A reglete positiva possui praticamente a mesma forma de construção da reglete negativa, entretanto, na sua parte inferior ela apresenta os pontos em alto relevo (convexos) e o punção com formato côncavo. Dessa maneira, essa reglete possibilita a leitura e escrita em um mesmo sentido, da esquerda para direita. Assim, a letra A que no modelo anterior deveria ser escrita pressionando-se o ponto 4, agora pode ser escrita da mesma maneira que é lida, pressionando-se o ponto 1. Na Figura 5 é possível observar como funciona a reglete positiva.

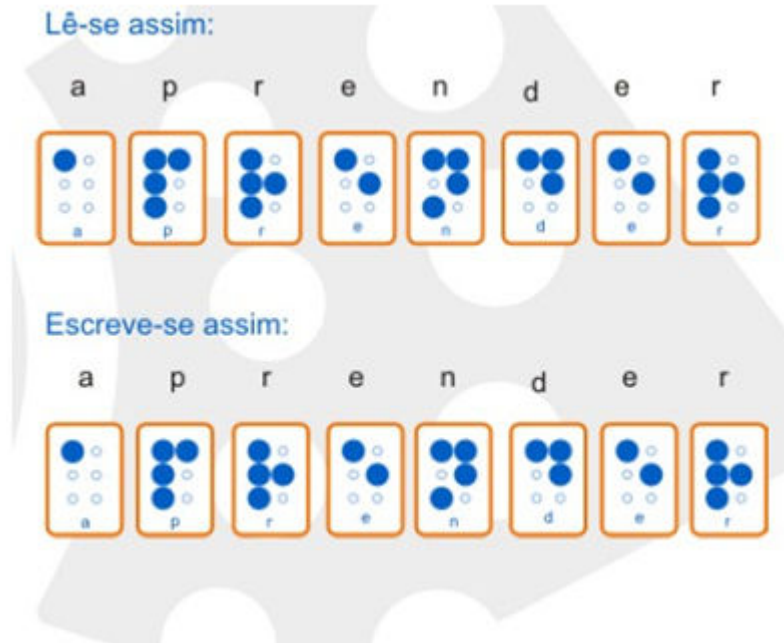
Figura 5 - Funcionamento da reglete positiva.



Fonte: Tecnologia e ciência educacional (2013).

A Figura 6 revela seria a escrita da palavra "aprender" utilizando a reglete positiva.

Figura 6 - Leitura e escrita da palavra "aprender" utilizando a reglete positiva.



Fonte: Tecnologia e ciência educacional (2013).



Portanto, com o uso da reglete positiva a escrita fica muito mais intuitiva e semelhante a escrita de palavras na língua portuguesa (da esquerda para a direita), o que facilita o aprendizado do sistema *braille* por deficientes visuais.

## 2.2 Arduino

O Arduino é uma das placas de prototipagem mais populares no mundo por ser um dispositivo de plataforma aberta e de baixo custo para o desenvolvimento de projetos. Ele apresenta interfaces de entrada e saída que facilitam a sua interação com o meio ambiente a partir de sensores e atuadores e conta com um microcontrolador da Atmel AVR que lhe confere poder de processamento de dados. Ademais, o Arduino apresenta uma Integrated Development Environment (IDE), que é o *software* desenvolvido para programar o Arduino em sua linguagem de programação padrão C/C++ (MCROBERTS, 2015). Com o Arduino é possível desenvolver pequenos projetos desde o controle do acendimento de um LED até sistemas mais robustos como projetos de automação residencial.

O Arduino possui diversos tipos de placas que são escolhidas de acordo com a necessidade do projeto. O mais comum e também escolhido para o controle dos atuadores deste trabalho de conclusão de curso é o Arduino UNO, que em geral é o que apresenta maior custo benefício. A Figura 7 apresenta alguns modelos de Arduino mais comuns no mercado e comparações de hardware entre eles.

Analisando-se a Figura 7, pode-se evidenciar a diferença entre as portas digitais e analógicas que se configuram como um parâmetro importante na hora de decidir qual modelo de microcontrolador utilizar, assim como sua memória e velocidade de processamento (*clock*) que possibilitam a utilização do arduino para projetos mais robustos que necessitam de mais capacidade de processamento e armazenamento de dados.

Figura 7 - Comparação do hardware entre os diferentes modelos de Arduino disponíveis no mercado.

	UNO	MEGA 2560	LEONARDO	DUE	ADK	NANO	PRO MINI	ESPLORA
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560	ATmega32u4	AT91SAM3X8E	ATmega2560	ATmega168 (versão 2.x) ou ATmega328 (versão 3.x)	ATmega168	ATmega32u4
Portas digitais	14	54	20	54	54	14	14	-
Portas PWM	6	15	7	12	15	6	6	-
Portas analógicas	6	16	12	12	16	8	8	-
Memória	32K (0,5K usado pelo bootloader)	256K (8K usado pelo bootloader)	32K (4K usado pelo bootloader)	512K disponível para aplicações	256K (8K usado pelo bootloader)	16K (ATmega168) ou 32K (ATmega328) (bootloader: 2K)	16K (2K usado pelo bootloader)	32K (4K usado pelo bootloader)
Clock	16Mhz	16Mhz	16Mhz	84Mhz	16Mhz	16Mhz	8Mhz (modelo 3.3v) ou 16Mhz (modelo 5v)	16Mhz
Conexão	USB	USB	Micro USB	Micro USB	USB	USB Mini-B	Serial/Módulo USB externo	Micro USB
Conector para alimentação externa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Tensão de operação	5V	5V	5V	3.3V	5V	5V	3.3 ou 5V, dependendo do modelo	5V
Corrente máxima portas E/S	40mA	40mA	40mA	130mA	40mA	40mA	40mA	-
Alimentação	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	3.35-12V (modelo 3.3v) ou 5-12V (modelo 5v)	5V

Fonte: Thomsen (2014).

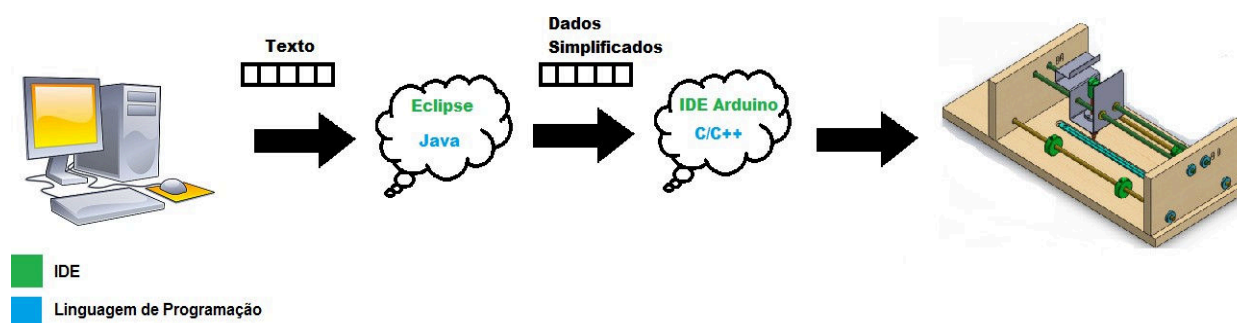
### 3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do projeto foi realizado em duas etapas, as quais consistem na construção do protótipo mecânico e no desenvolvimento do *software* responsável por realizar a interação homem/máquina. No projeto da parte mecânica utilizou-se o *software* SolidWorks<sup>1</sup>, no qual foram desenhadas todas as peças que constituem o protótipo. Em seguida, após realizado o projeto mecânico, realizou-se a confecção das peças e montagem do protótipo.

No segunda etapa do desenvolvimento do trabalho, para implementar-se o *software* de tradução de texto da grafia convencional para a grafia *braille* (STGB) utilizou-se a IDE Eclipse juntamente com a linguagem de programação orientada a objetos Java. Também fez-se necessária a utilização de uma placa Arduino Uno no sistema embarcado, com a finalidade de interpretar as informações provenientes do STGB e controlar os atuadores presentes no protótipo. O código fonte responsável por realizar essa tarefa foi implementado na IDE do Arduino utilizando-se da linguagem de programação C/C++.

A Figura 8 exemplifica de forma simplificada todo o processo de fluxo dados até a impressão.

Figura 8 - Fluxo de projeto da impressora braille.



Fonte: Dos autores (2019).

Seguindo-se o fluxograma apresentado na Figura 8, têm-se o computador que por meio do *software* desenvolvido (STGB) na IDE Eclipse (linguagem de programação Java) converte todo o texto digitado em dados mais simples de serem interpretados pelo Arduino. Este, por sua vez, processa os dados simplificados por meio de um código desenvolvido em

<sup>1</sup> Software pertencente a empresa francesa "Dassault Systèmes S.A" cujo intuito principal é elaboração de desenhos CAD 3D.

sua IDE (linguagem de programação C/C++) os converte em comandos para o acionamento dos motores de passo e servomotor presentes no projeto, a fim de realizar-se a impressão em *braille*.

Após a construção do protótipo, tornou-se possível realizar uma análise de alternativas comparando o protótipo da impressora com a versão de mercado da impressora *braille* de baixo custo, a qual será levada em consideração para realizar-se a comparação com outra impressora *braille* existente no Brasil, a impressora Index. Nesse contexto, a principal diferença do protótipo da impressora para a versão de mercado encontra-se, majoritariamente, em materiais que conferem maior durabilidade, conformidade e, principalmente, maior velocidade de impressão.

Posteriormente, com o protótipo já montado e desenvolvido o STGB, passou-se para a etapa de testes, verificando assim a eficácia do protótipo. Por fim, foram implementados os cálculos de análise econômica do produto, tais como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) para validar e justificar a construção, produção e potencial comercialização da impressora *braille* de baixo custo proposta nesse trabalho de conclusão de curso.

Nesse contexto, o VPL é uma técnica de análise de investimentos na qual o resultado final apresenta a diferença entre o valor presente das receitas menos o valor presente dos custos, quanto maior seu valor, mais rentável é o investimento. Já a TIR consiste no valor da taxa de juros responsável por zerar o VPL. Desse modo, o investimento é economicamente viável quando a TIR passa a ser maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Por sua vez, a TMA é o percentual mínimo de retorno que um investidor adota como sendo viável ao realizar um investimento.

### **3.1 Construção da Parte Mecânica do Protótipo**

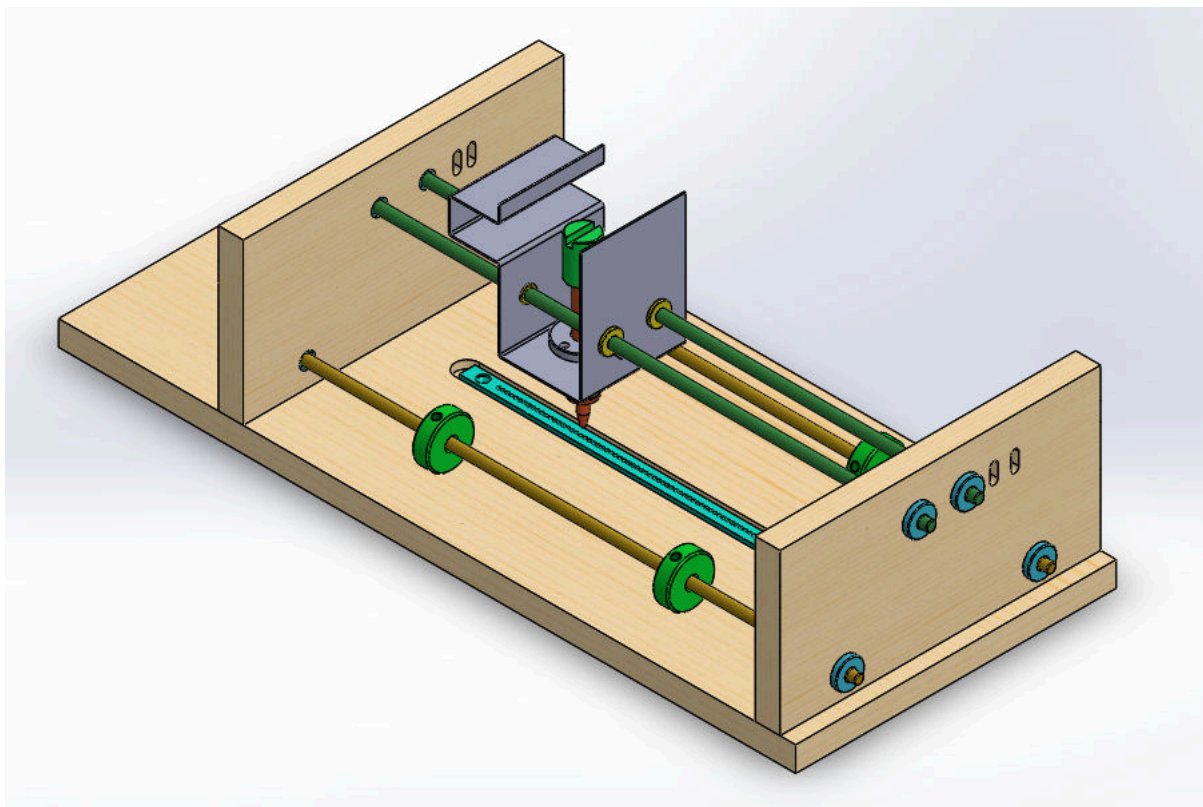
A construção da parte mecânica do protótipo da impressora começou com a definição dos componentes básicos da impressora e elaboração dos esboços 3D por meio do SolidWorks de todas as peças do projeto. Em seguida, foram definidos os materiais a serem utilizados na construção da base e laterais da impressora. Para a construção do protótipo, optou-se por utilizar MDF na confecção destas peças, principalmente por ser um material relativamente barato e fácil de ser comprado. Posteriormente, fez-se necessário adotar um método de impressão do papel em alto relevo, de modo eficaz e barato. Diante disso, optou-se por utilizar o sistema reglete negativa e punção, de modo análogo à escrita

*braille* manual.

O próximo passo foi projetar um sistema responsável por deslocar o papel sob a base da impressora, permitindo a impressão dos pontos *braille* por toda sua extensão. Por último foi projetada a parte eletrônica do projeto, responsável por interpretar as informações oriundas do *software* e controlar os atuadores do projeto.

Após a completa execução da fase de projeto do protótipo, passou-se para a etapa de definição dos componentes que de fato irão constituir o produto final, os quais são capazes de permitir a produção em escala do produto. A Figura 9 apresenta a vista isométrica do projeto finalizado contendo a montagem de todas as peças que constituem o protótipo, as quais serão abordadas nos tópicos seguintes.

Figura 9 - Vista isométrica da montagem 3D do protótipo projetado.



Fonte: Dos autores (2019).

### 3.1.1 Projeto e dimensionamento dos componentes mecânicos do protótipo

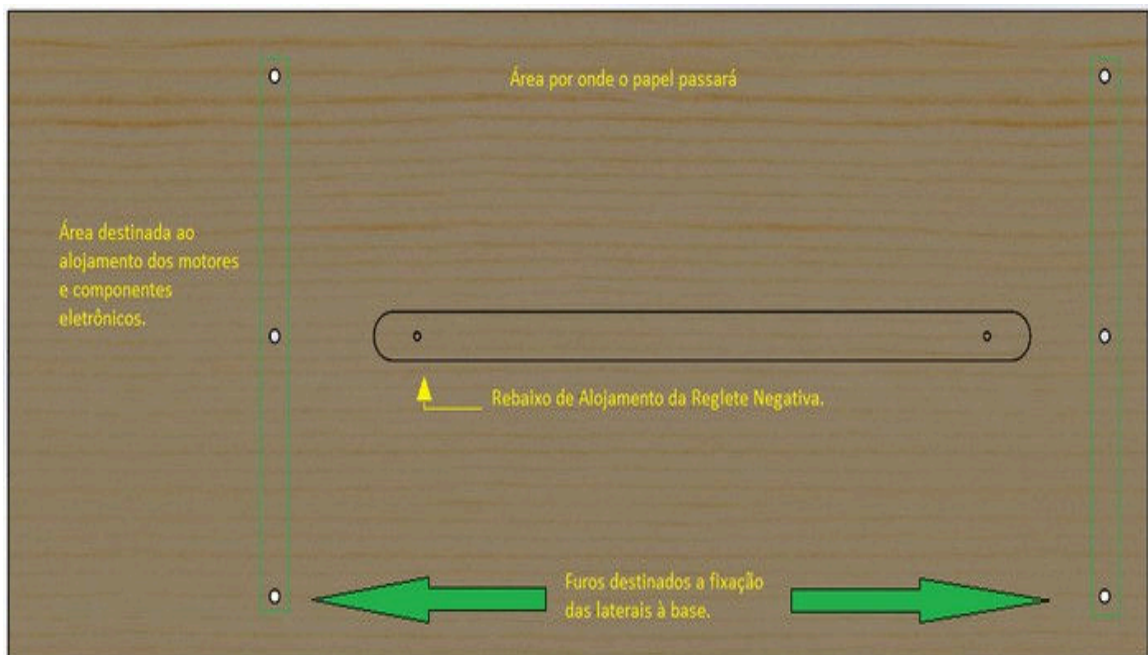
#### 3.1.1.1 Base e laterais da impressora

O principal ponto levado em consideração no dimensionamento da base da impressora foram suas dimensões, pois esta peça necessita ser comprida o suficiente para acomodar o papel de impressão e a parte eletrônica. Além disso deve ser larga o bastante para acomodar os outros dispositivos mecânicos necessários ao projeto, tais como o conjunto de rodas responsáveis por propiciar o deslocamento do papel durante a impressão. Diante disso, as dimensões adotadas foram 460 x 200 mm. Nessa etapa também foi necessário definir a posição de alocação da reglete negativa na impressora, a qual foi colocada no centro da base e igualmente distante das laterais da impressora.

Outro dimensionamento importante realizado nessa etapa foi a definição do posicionamento da furação responsável por permitir a fixação das laterais à base da impressora. Vale ressaltar que por motivos de sigilo do projeto, foram-se omitidas as cotas em todos os desenhos expostos nesse trabalho.

A Figura 10 apresenta a vista superior do modelo 3D da base da impressora projetada com o auxílio do *software* SolidWorks, assim como marcações e anotações que permitem compreender melhor a função das regiões desta peça.

Figura 10 - Modelo 3D da base da impressora e suas regiões.

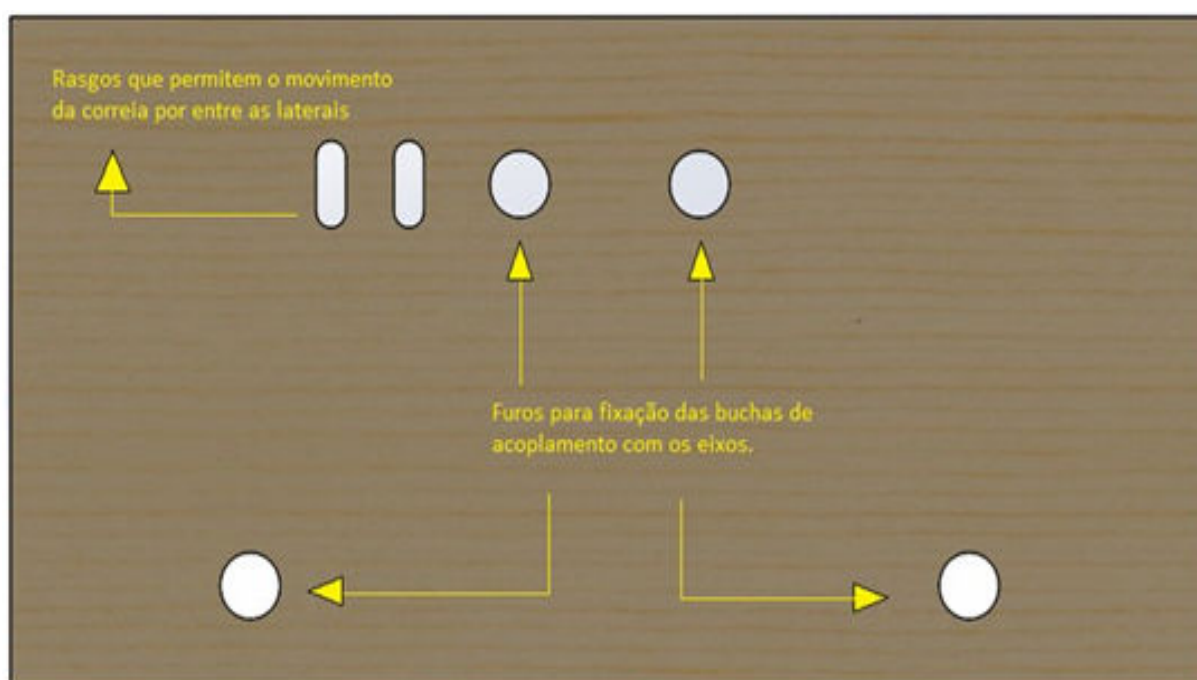


Fonte: Dos autores (2019).

Em seguida, passou-se à etapa de projeto e dimensionamento das laterais da impressora, as quais são responsáveis pela fixação das guias do suporte do punção, buchas dos eixos e motor principal da impressora. O primeiro passo adotado foi dimensionar sua altura e a furação inferior das placas da laterais de modo a coincidir com a furação da base da impressora, permitindo assim a fixação destas peças. Os furos das laterais posteriormente foram embuchados com buchas utilizadas na fixação de objetos a paredes, permitindo assim que a fixação da base as laterais se desse com o auxílio de parafusos com rosca soberba.

Em seguida, foram dimensionadas as posições de furação das laterais, as quais são responsáveis pela fixação das buchas nas quais serão inseridas as guias do suporte do punção. Esta peça também possui dois rasgos pelos quais circulará a correia dentada que movimentará o suporte do punção. A Figura 11 apresenta a imagem de uma das laterais, sabendo-se que a outra lateral é idêntica. Esta Figura também apresenta anotações que explicam a função dos furos e rasgos presentes na peça.

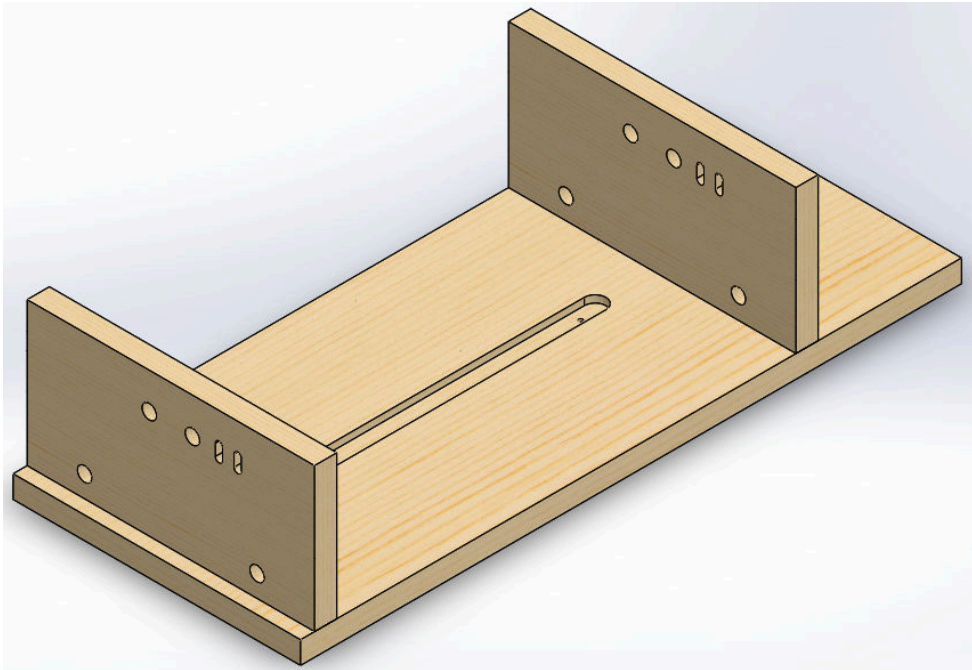
Figura 11 - Lateral da impressora.



Fonte: Dos autores (2019).

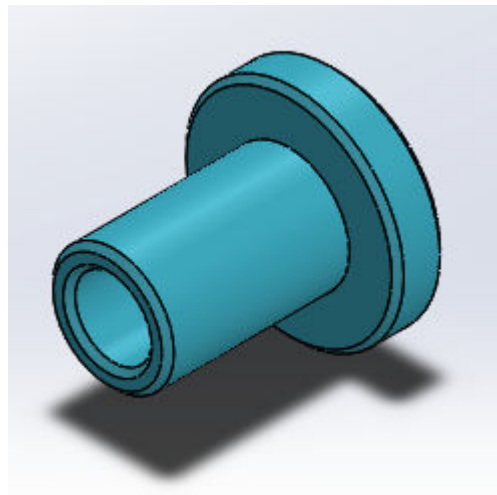
A Figura 12 apresenta a montagem 3D da base da impressora e laterais, que permitiu realizar várias análises sobre o dimensionamento do projeto, assim como realizar uma pré-visualização de como ficaria o protótipo. Vale ressaltar que o produto final irá dispor de um *design* mais elaborado visando melhorar a estética, integridade do produto e a segurança do usuário.

Figura 12 - Vista isométrica da montagem 3D da base com as laterais.



Fonte: Dos autores (2019).

Figura 13 - Modelo 3D das buchas das laterais.

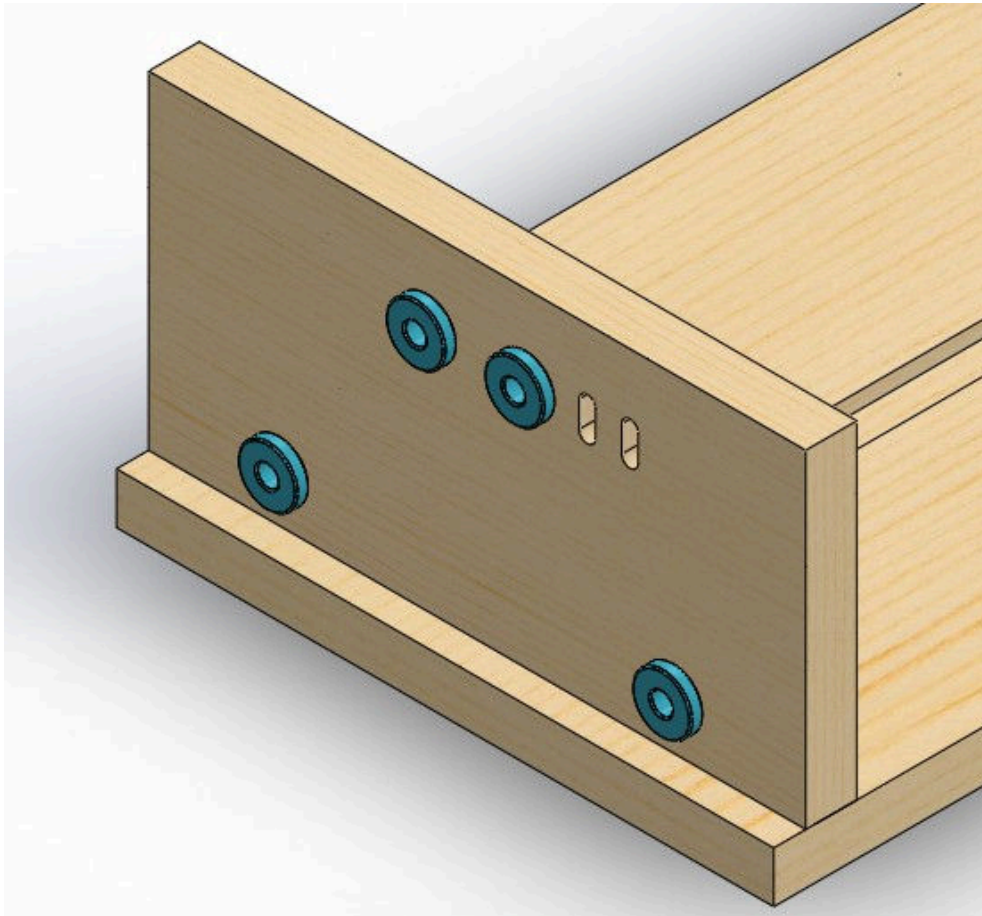


Fonte: Dos autores (2019).

A Figura 14 apresenta o detalhe da adição das buchas da Figura 13 a montagem apresentada na Figura 12.



Figura 14 - Detalhe do embuchamento das laterais.



Fonte: Dos autores (2019).

### 3.1.1.2 Guias do suporte do punção

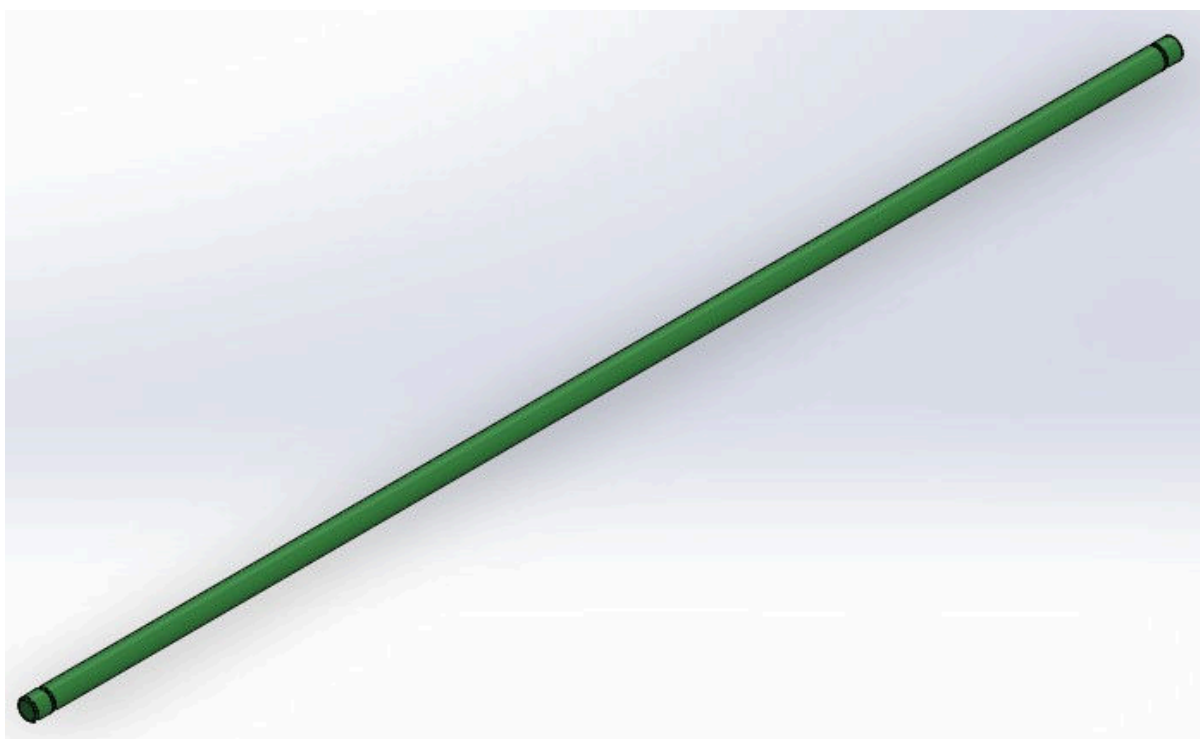
As guias do suporte do punção são as peças que têm por finalidade sustentar o suporte do punção e permitir que este realize o movimento de translação ao longo da extensão da impressora, permitindo o posicionamento do punção sobre a reglete negativa de modo a realizar a impressão em alto relevo.

Realizado o dimensionamento da base e laterais da impressora, o dimensionamento destas guias foi relativamente simples, sabendo-se que o comprimento destas peças deve ser superior a distância entre as laterais acrescida da largura das flanges das buchas de náilon presentes nas laterais. Tais guias necessitam ser travadas de modo a não realizar nenhum tipo de movimento translacional, fornecendo assim a sustentação e acoplamento mecânico necessário ao suporte do punção posteriormente projetado. O sistema de travamento das guias adotado foi o sistema de anel elástico para eixos, que fornece uma ótima fixação e também é

de fácil extração quando necessita-se desmontar as guias das laterais.

O material adotado na confecção das guias foi aço trefilado redondo SAE 1045, possuindo o diâmetro de 1/4". A escolha do material trefilado facilita o trabalho de usinagem das guias, uma vez que não é necessário toronar o diâmetro externo do eixo para que chegue na medida desejada, pois o material trefilado possui um ótimo acabamento e seu diâmetro é rigorosamente próximo ao nominal, sendo vendido sob as exigências da Norma Brasileira NBR 8647:2018<sup>2</sup> (AÇOS F. SACHELLI, 2018) , aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O aço também confere grande durabilidade e resistência para as guias. A Figura 15 apresenta a vista isométrica do modelo 3D de uma das guias, visto que a outra peça é idêntica, já a Figura 16 apresenta o detalhe do canal de encaixe do anel elástico presente no eixo.

Figura 15 - Vista isométrica de uma das guias do suporte do punção.

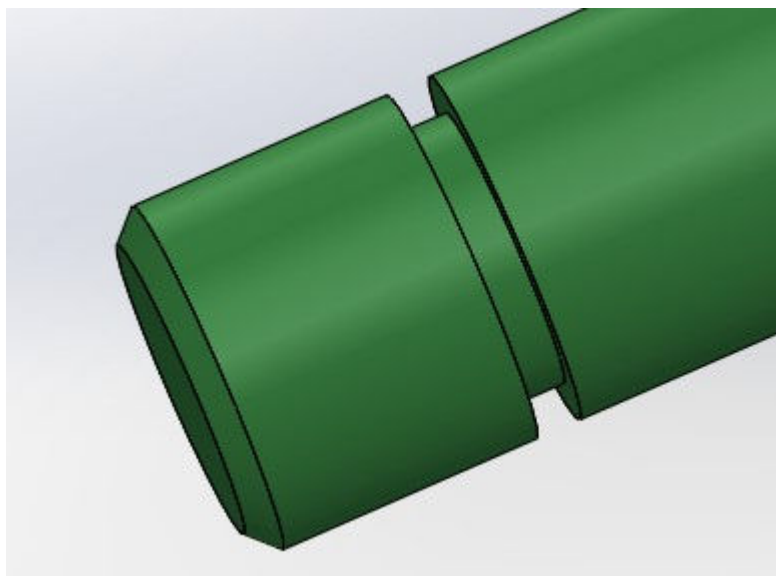


Fonte: Dos autores (2019).

---

<sup>2</sup> Norma Brasileira que estabelece os requisitos para fabricação, encomenda, fornecimento e tolerâncias dimensionais para barras de aço com superfície acabada.

Figura 16 - Detalhe do encaixe do anel elástico no eixo.



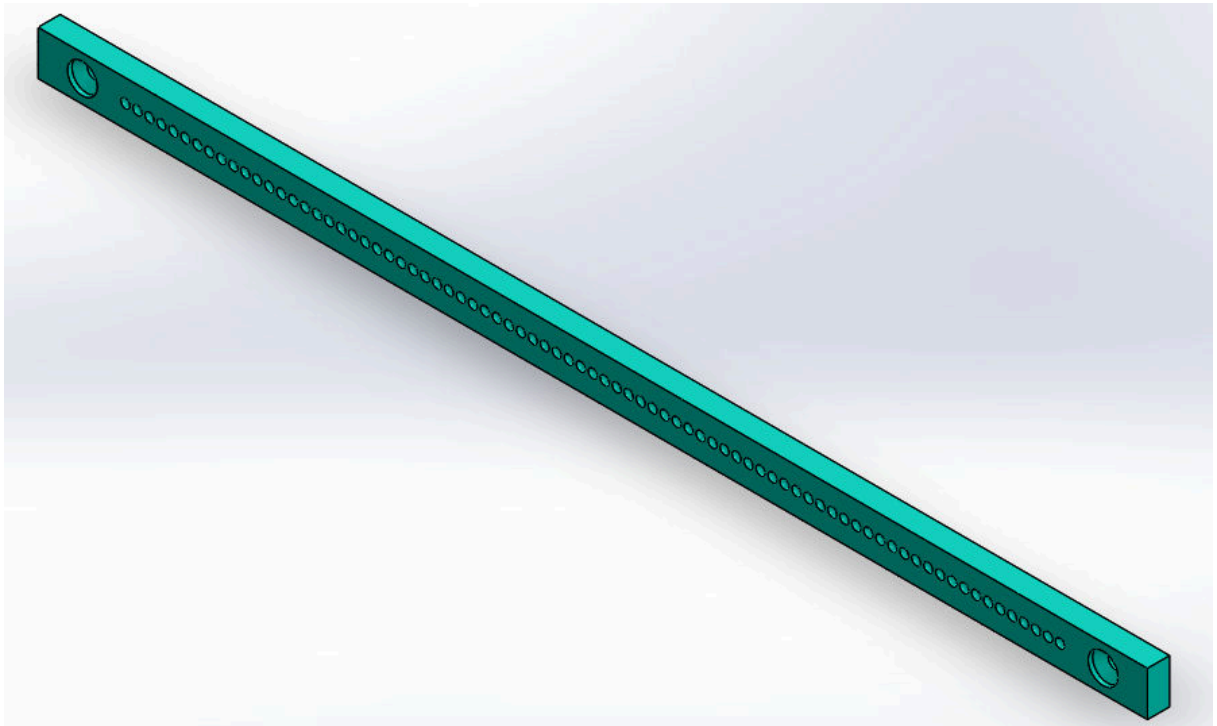
Fonte: Dos autores (2019).

### 3.1.1.3 Sistema reglete negativa e punção

A reglete negativa constitui-se de um molde negativo com as dimensões do ponto *braille*. Já o punção, por sua vez, funciona como o positivo do molde e têm a finalidade de prensar o papel de impressão contra a reglete, realizando assim a impressão do ponto *braille*.

O dimensionamento da reglete negativa deve ser feito de modo a permitir que uma folha A4 possa ser inteiramente preenchida por pontos *braille*, sendo esta sua característica principal. Sob essa perspectiva, foram dimensionados 78 furos com diâmetro de 2 mm igualmente espaçados de 0,7 mm entre si; tais dimensões foram tomadas de modo a atender a norma NBR 9050:2015 (NBR, ABNT. 9050, 2015). Também foram dimensionados 2 furos para a fixação da reglete na base da impressora, um em cada extremidade da peça. A Figura 17 apresenta o modelo 3D desta peça.

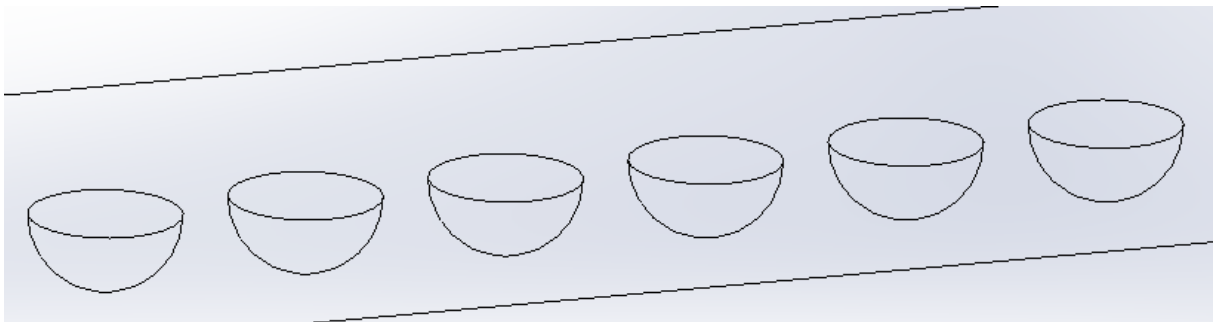
Figura 17 - Vista isométrica do modelo 3D da reglete negativa.



Fonte: Dos autores (2019).

A Figura 18 apresenta o detalhe do perfil dos furos da reglete quando utilizado o recurso de exibição "estrutura de arame" do SolidWorks, o qual permite a visualização de todas as arestas da peça sob a forma de linha contínua.

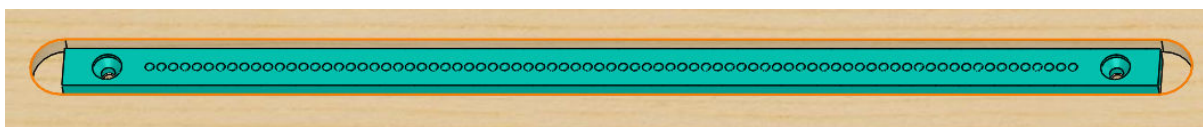
Figura 18 - Detalhe do perfil dos furos da reglete.



Fonte: Dos autores (2019).

A reglete negativa foi confeccionada a partir de uma barra de ferro chato laminado SAE 1020 de espessura 1/4", largura 1.5/8" e 250 mm de comprimento. Ela foi fixada na base da impressora com o auxílio de 2 parafusos com rosca soberba posicionados sob os furos de fixação presentes nas extremidades da peça. A Figura 19 apresenta a montagem 3D da reglete sobre a base da impressora.

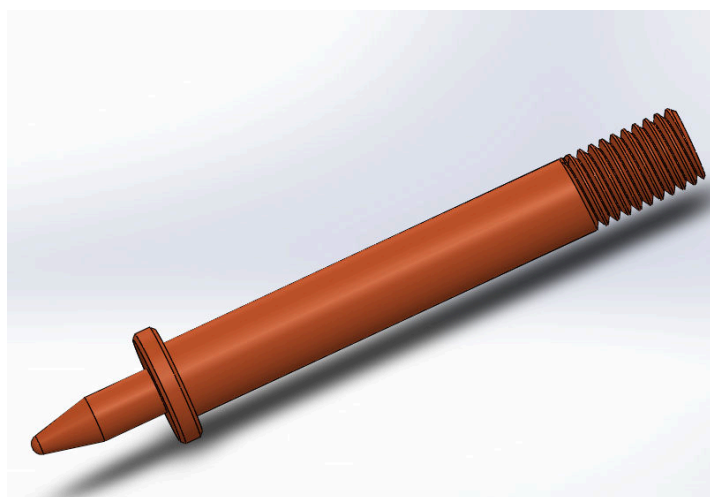
Figura 19 - Detalhe montagem da reglete na base da impressora.



Fonte: Dos autores (2019).

O punção, por sua vez, deve encaixar-se nos furos da reglete para que ocorra a conformação do papel, dessa forma, seu projeto constitui-se de um pino de aço com a ponta arredondada, permitindo o encaixe nos furos da reglete. Sua confecção deu-se em aço laminado redondo SAE 1020. A Figura 20 apresenta seu modelo 3D.

Figura 20 - Modelo 3D do punção.



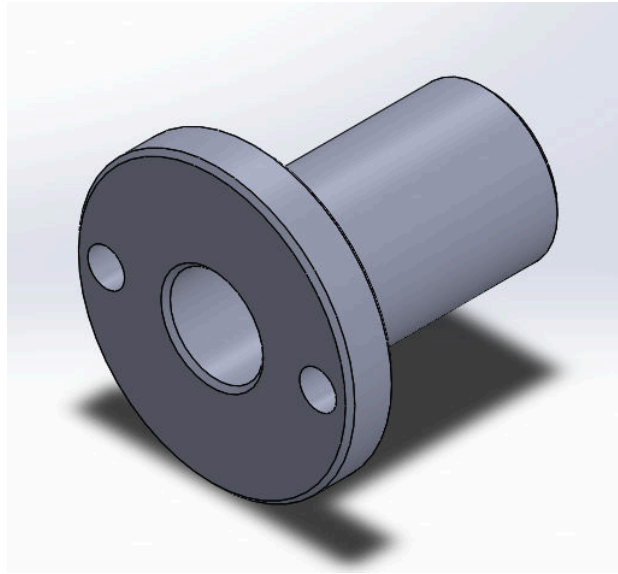
Fonte: Os autores (2019).

Analisando-se a Figura 20 é possível notar que o punção possui uma flange localizada próximo ao final de sua parte cônica, assim como uma rosca em sua extremidade. Tais peculiaridades são necessárias para o encaixe do punção com outras peças e serão abordadas nos tópicos seguintes.

#### 3.1.1.4 Bucha guia do punção e porca de guia do servomotor

Fez-se necessário também o projeto de uma bucha guia por onde o punção irá deslizar verticalmente de modo a realizar a impressão. Tal bucha possui dois furos em sua parte flangeada, os quais são responsáveis pela fixação da bucha na base do suporte do punção, peça esta que será abordada no próximo tópico. A Figura 21 apresenta o modelo 3D da bucha guia projetada.

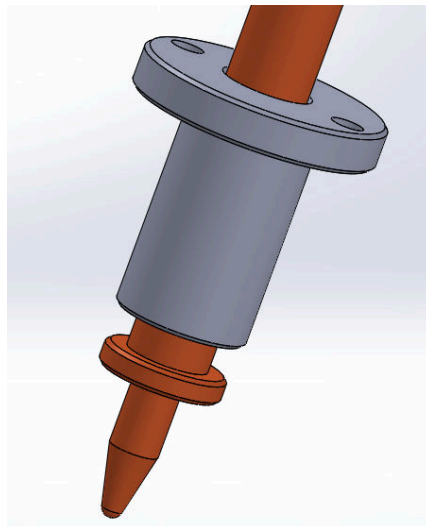
Figura 21 - Vista isométrica do modelo 3d da bucha guia do punção.



Fonte: Dos autores (2019).

A flange presente no final da parte cônica do punção faz-se necessária para limitar o movimento do punção, restringindo seu movimento vertical. A Figura 22 apresenta a montagem do punção junto a sua bucha guia, de modo a facilitar a compreensão deste conjunto.

Figura 22 - Montagem punção e bucha guia.

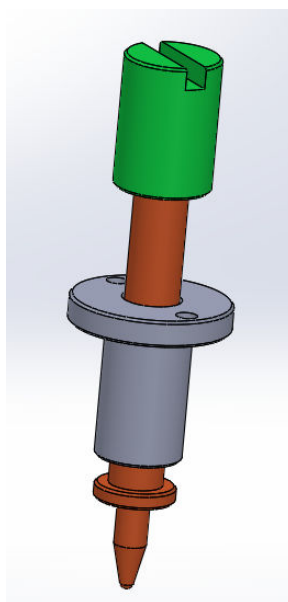


Fonte: Dos autores (2019).

O próximo passo foi dimensionar a porca guia do servomotor, a qual é fixada ao punção pela rosca M10 presente em sua extremidade. A função desta porca é fornecer um encaixe para o braço do servomotor (rasgo presente em seu topo), fazendo com que o punção deslize para baixo sob a bucha guia. O punção realiza seu movimento de retorno devido ao

posicionamento de uma mola entre a porca guia do servo motor e a flange da bucha guia. A Figura 23 apresenta a montagem do sistema apresentado na Figura 22 com a adição da porca guia.

Figura 23 - Montagem punção, bucha guia e porca guia do servo motor.



Fonte: Dos autores (2019).

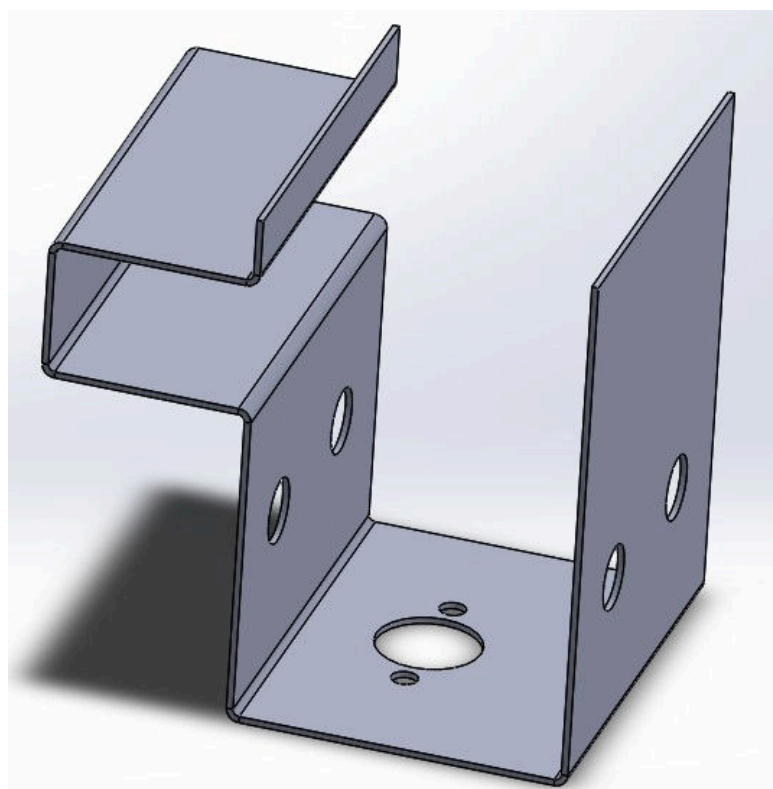
#### 3.1.1.5 Suporte do punção

O projeto desta peça teve início após a escolha do servomotor<sup>3</sup> utilizado no projeto, que nesse caso foi o TowerPro MG995. Escolheu-se este modelo de servomotor em função de seu torque (9,4 a 11,0 Kg.cm), característica essencial no projeto, visto que o processo de impressão exige que o punção pressione um papel de maior gramatura que o usual (120g/cm<sup>3</sup>). Em seguida, após tomadas as medidas do servo motor, projetou-se o suporte do punção, a qual fornece fixação para a bucha guia do punção e servomotor, além de ser a peça que realiza o movimento de translação ao longo das guias apresentadas no tópico 4.1.1.2. A Figura 24 apresenta o modelo 3D da peça projetada.

---

<sup>3</sup> Servomotor é um motor que atua de modo a atingir uma posição desejada (setpoint) e a mantém por meio de um sistema de controle em malha fechada, geralmente implantado na carcaça do próprio equipamento. A maioria dos servomotores possuem uma faixa específica de giro, geralmente 0-90° ou 0-180°, porém, existem modelos que também permitem o giro de 0-180°.

Figura 24 - Vista isométrica do modelo 3D do suporte do punção projetado.



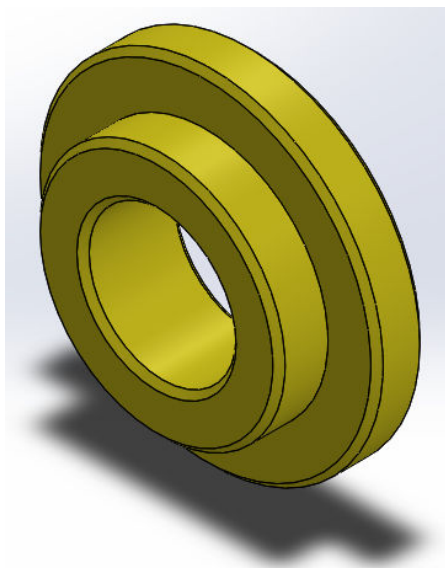
Fonte: Dos autores (2019).

O suporte do punção necessita possuir pouca maleabilidade, devido ao fato do punção exercer força sobre a reglete negativa durante o processo de impressão, desta forma, o material selecionado para a confecção desta peça foi uma chapa de aço ASTM A 36 com espessura de 2 mm. Para tomar a forma do projeto, a chapa foi cortada a laser e dobrada por uma dobradeira CNC.

Também foram projetadas quatro buchas de náilon destinadas aos furos laterais do suporte do punção, as quais tem a finalidade de propiciar um deslizamento suave entre o suporte do punção e suas guias. A Figura 25 apresenta o modelo 3D de uma das buchas.



Figura 25 - Modelo 3D de uma das buchas da lateral do suporte.



Fonte: Dos autores (2019).

#### 3.1.1.6 Sistema do puxador de papel

O sistema responsável pela movimentação do papel sob a base da impressora constitui-se basicamente de 2 eixos, cada um dispondo de um par de rodas de náilon. Cada roda é fixada ao seu respectivo eixo por meio de um parafuso allen sem cabeça, impedindo que a roda gire em falso em torno do eixo.

Ambos os eixos possuem um rasgo em uma de suas extremidades, o qual é responsável por fornecer o encaixe necessário aos motores de passo<sup>4</sup> com o objetivo de tracioná-los. Os eixos também são fixados às laterais da impressora pelo método de fixação de anel elástico para eixos, mesmo método utilizado nas guias do suporte do punção (seção 3.1.1.2).

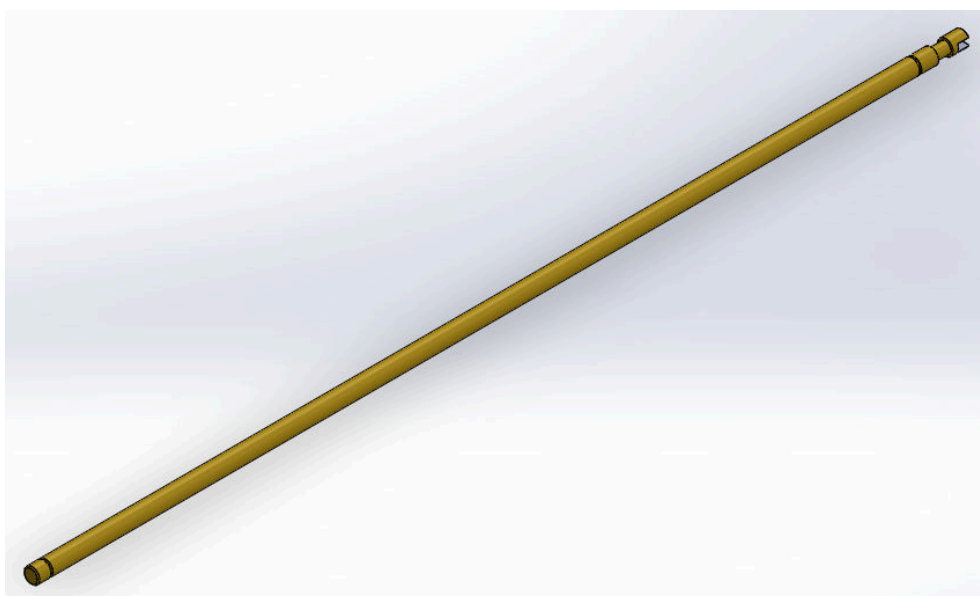
Tais eixos também foram confeccionados em aço trefilado redondo SAE 1045, possuindo o diâmetro de 1/4"; escolheu-se tal material pelo mesmo motivo mencionado na seção 4.1.1.2. A Figura 26 apresenta um dos eixos, já a Figura 27 apresenta o detalhe do rasgo

---

<sup>4</sup> Motor de passo é um tipo de motor utilizado em aplicações que requerem posicionamento preciso ou ângulo de rotação exato. Seu nome deriva de sua construção mecânica, na qual o número de pólos do motor é igual ao número de passos por revolução. Seu acionamento é feito de modo eletrônico por meio de drivers, os quais energizam as bobinas do motor em uma sequência específica na qual os pólos do motor são excitados de forma consecutiva, fazendo assim que o motor gire na forma de passos, fato este que garante sua precisão de giro.

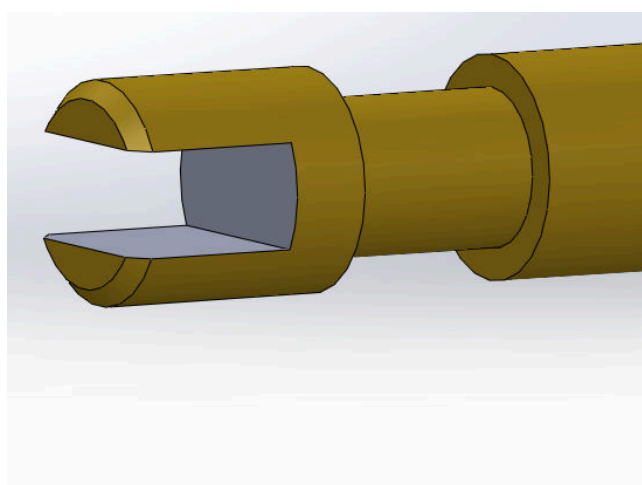
de encaixe do motor de passo presente em sua extremidade.

Figura 26 - Modelo 3D de um dos eixos do puxador de papel.



Fonte: Dos autores (2019).

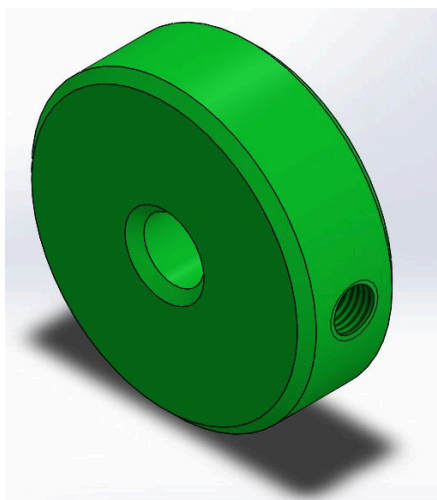
Figura 27 - Detalhe do rasgo na extremidade do eixo puxador de papel.



Fonte: Dos autores (2019).

A Figura 28 apresenta o modelo 3D de uma das rodas de náilon projetadas para o sistema do puxador de papel, na qual também é possível visualizar o furo rosqueado responsável pela fixação da roda ao eixo por meio do parafuso allen sem cabeça.

Figura 28 - Modelo 3D de uma das rodas projetadas para o sistema puxador de papel.



Fonte: Dos autores (2019).

Posteriormente, todas as rodas foram envoltas por uma camada de esponja que efetivamente entra em contato com o papel e permite seu movimento sob a base da impressora. Utilizou-se esta camada de esponja devido ao fato desta ser maleável o suficiente para permitir o movimento das rodas sem travamento e também fornecer um bom atrito com o papel, permitindo sua livre movimentação.

#### 3.1.1.7 Movimentação do suporte do punção

A movimentação do suporte do punção deu-se pelo seu acoplamento a um motor de passo por meio do uso de uma correia dentada. Escolheu-se utilizar um motor de passo devido a sua característica de posicionamento preciso, desta forma, não é necessário realizar-se o controle em malha fechada da posição do punção sob a reglete de modo a atingir os furos. No protótipo utilizou-se um motor de passo Nema que possui 20 passos por revolução.

Na execução dos testes notou-se que a resolução do motor de passo adotado para a movimentação do suporte do punção não possuía a precisão necessária ao perfeito funcionamento do projeto. Dessa forma, a solução encontrada para sanar o problema foi utilizar o *driver* A4988, o qual permite a aplicação de pequenos passos (*microstepping*) ao motor de passo utilizado, aumentando assim a resolução do motor em questão.

Foram realizados 2 furos nas laterais do suporte do punção nos quais as extremidades da correia foram encaixadas. Também utilizou-se um esticador para a correia com a finalidade de manter a correia sempre tensionada, evitando assim eventuais deslizamentos sobre a polia

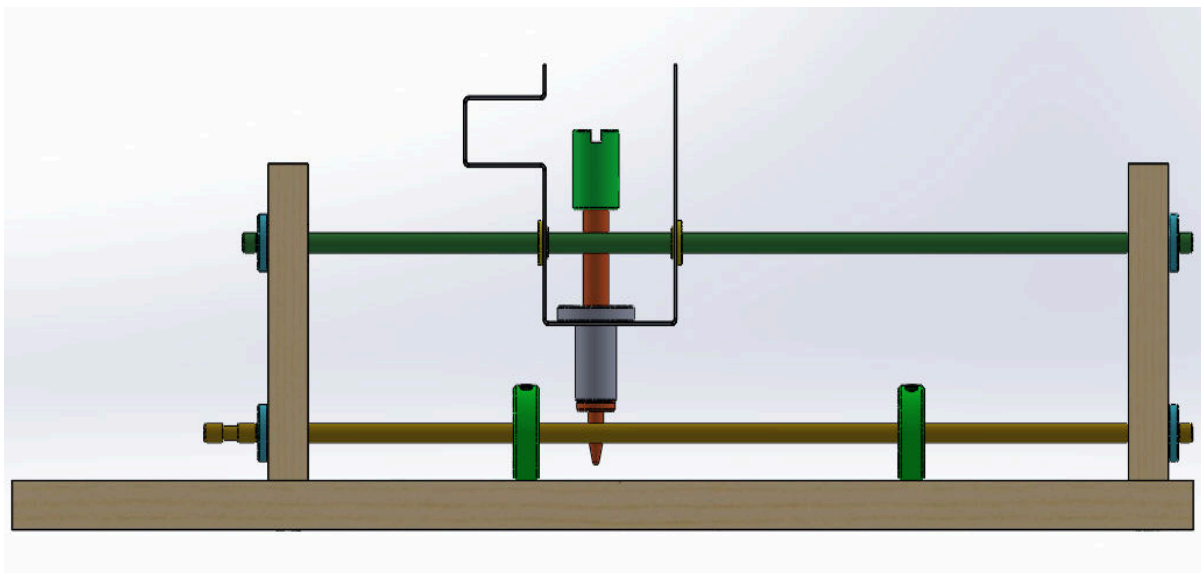
do motor de passo.

### 3.1.1.8 Montagem completa do protótipo no SolidWorks

Projetadas todas as peças necessárias à construção do protótipo mecânico da impressora, realizou-se a montagem do projeto no SolidWorks que permitiu analisar todos os aspectos e dimensionamentos realizados, de modo a detectar possíveis erros de projeto e também fornecer uma visualização do protótipo em si. A montagem final do projeto no SolidWorks pode ser analisada na Figura 9 ao final da seção 4.1.

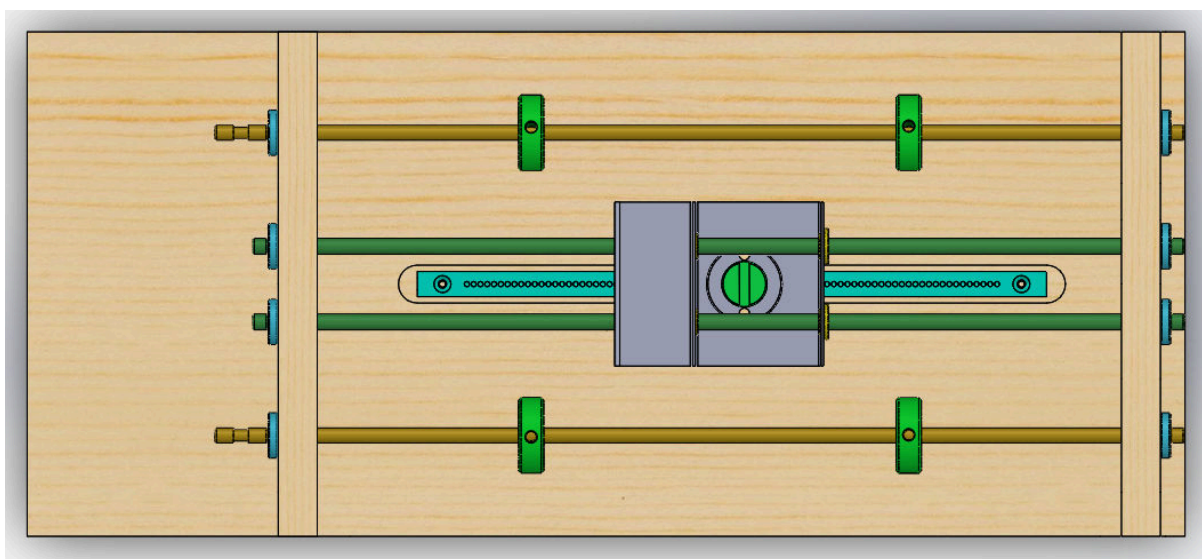
A Figura 29 apresenta a vista frontal da montagem, já a Figura 30 apresenta a vista superior.

Figura 29 - Vista Frontal da montagem final do protótipo mecânico.



Fonte: Dos autores (2019).

Figura 30 - Vista Superior da montagem final do protótipo mecânico.



Fonte: Dos autores (2019).

Após a realização da montagem do protótipo no SolidWorks, encaminhou-se para a etapa de confecção e usinagem das peças. Em seguida todas as peças foram montadas e passou-se para a etapa de testes do protótipo.

### 3.2 Desenvolvimento da parte eletrônica do protótipo

O protótipo conta com componentes eletrônicos que são de fácil acesso no mercado, os quais são listados a seguir:

- motores de passo;
- servomotor
- Arduino Uno;
- *Driver* A4988;

O *driver* A4988 permite a aplicação de pequenos passos (*microstepping*) ao motor de passo utilizado na movimentação do suporte do punção, aumentando assim sua resolução. Este driver permite a utilização de 5 diferentes resoluções de passos, as quais são: passo completo, meio passo, um quarto de passo, um oitavo de passo e um dezesseis avos de passo. Em suma, utilizando-se um motor de passo que possui resolução de 200 passos por volta juntamente com o driver A4988 na configuração de meio passo, serão necessários aplicar 400 passos ao motor em questão para que ele gire uma volta completa em torno de seu eixo, o que acaba por dobrar sua resolução.

Uma desvantagem da utilização do *driver* A4988 é que aumentando-se a resolução do motor de passo, sua velocidade diminui proporcionalmente, ou seja, se na configuração passo completo o motor gira a 60 RPM, na configuração meio passo o motor irá girar a 30 RPM. No protótipo em questão utilizou-se o *driver* A4988 na configuração de meio passo para atingir a resolução necessária ao projeto.

### 3.2.1 Desenvolvimento do software: Criação do BrilleZooka

A princípio, pensou-se em utilizar *softwares* de tradução e comunicação já existentes e consolidados no mercado como o Braille Fácil (NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA. NCE, 2002). Porém, este *software* como muitos outros, não é de fonte aberta, ou seja, não se tem acesso ao seu código fonte tanto para estudá-lo, quanto para modificá-lo, a fim de se conseguir fazer adaptações. Portanto, a alternativa encontrada para esse trabalho foi desenvolver um *software* com interface gráfica que pudesse basicamente garantir a comunicação entre o usuário e o Arduino, que foi o microcontrolador escolhido para enviar comandos para os atuadores da impressora.

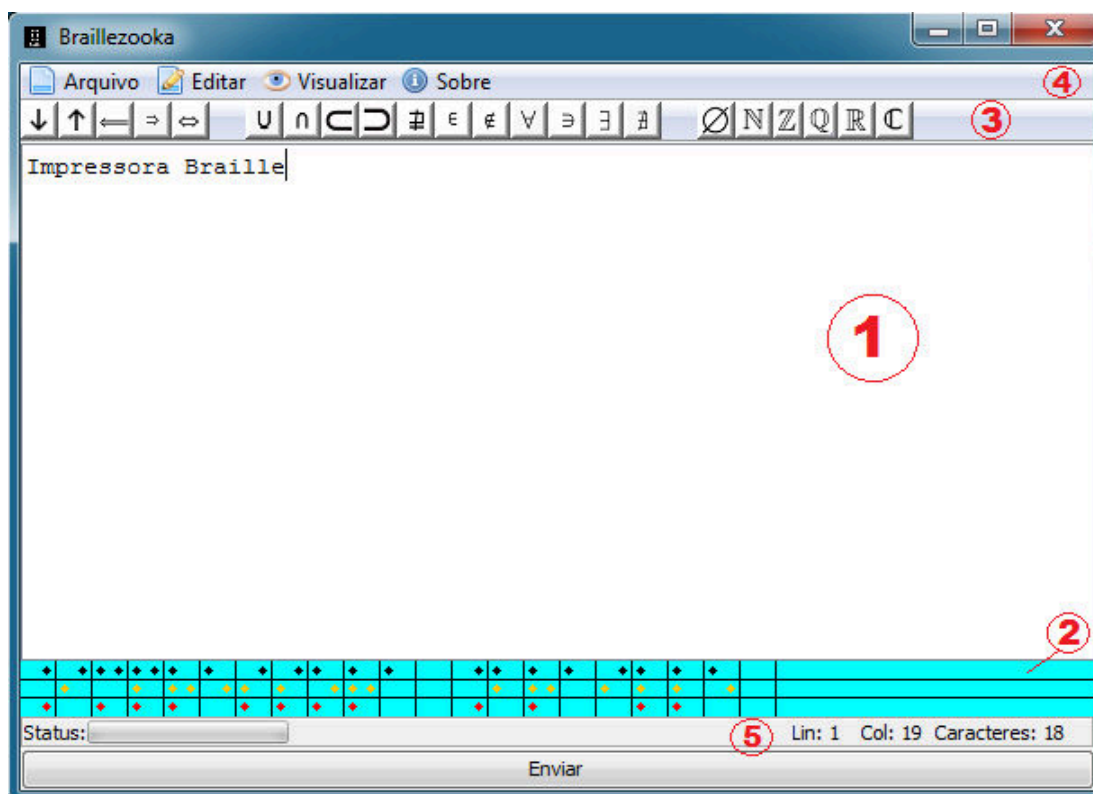
Dessa maneira, optou-se por desenvolver o *software* de tradução por meio da IDE Eclipse com a linguagem Java. A linguagem e a plataforma de desenvolvimento escolhidos foram assim feitos justamente por maior afinidade da equipe com elas. Ademais, como utilizou-se o Arduino, era necessário também desenvolver seu código para gerenciar sensores e atuadores. Conseqüentemente, para implementar a sua programação, seu código foi desenvolvido na própria IDE do Arduino e a linguagem de programação lá utilizada é a C/C++.

O intuito desta seção é abordar o desenvolvimento do *software* de tradução, denominado “Brillezooka”, explicando de forma sucinta como funciona seu serviço de tradução de caracteres da língua portuguesa para o código *Braille*, assim como explanar sobre algumas de suas funcionalidades e exclusividades quando comparado com outros *softwares* presentes no mercado.

É importante salientar que, como o Arduino Uno possui uma capacidade processamento de dados muito inferior à de um desktop ou notebook, toda a parte de tradução é feita exclusivamente pelo *software*. Dessa forma, o código mantido em execução no Arduino é de maior simplicidade e ficou a cargo de receber, a partir da sua comunicação serial com o computador, os dados responsáveis por informar ao Arduino Uno de forma clara o que deve ser feito para que ocorra a impressão do material em *braille*.

A Figura 31 expõe a tela principal do *software* Braillezooka, a qual apresenta cinco pontos em vermelho sendo os principais campos de interação do usuário com *software* e que serão detalhados a seguir.

Figura 31 - Tela principal do Braillezooka.



Fonte: Dos autores (2019).

### 3.2.1.1 Caixa de texto: Explorando o ponto 1

O ponto 1 presente na Figura 31, é o primeiro ponto do *software* a ser explorado e também o mais importante para a realização das impressões em *braille*. Ele representa um campo de texto que possibilita ao usuário escrever um texto na língua portuguesa para que em seguida ele seja enviado para a impressão em *braille*.

### 3.2.1.2 Campo de tradução: Explorando o ponto 2

O ponto 2, representa um campo em que pode-se enxergar a tradução instantânea para o código *braille*. Ou seja, a medida que o usuário for digitando o texto (ponto 1) ele pode conferir, ao mesmo tempo, se o que ele está digitando está correto. Portanto, esse campo pode servir tanto de uma ferramenta para verificação, quanto como uma ferramenta de aprendizado,

pois com o passar do tempo, e com o uso frequente do *software* é possível aprender de forma passiva alguns dos muitos códigos em *braille* e passar a ter o conhecimento necessário para conferir se uma palavra ou expressão está sendo impressa de forma correta ou não.

A tradução que aparece nesse campo depende da atual posição do *carret* (cursor de texto que indica onde será inserido o texto digitado) no campo de texto. Dessa maneira, ele traduz somente a linha correspondente ao *carret*, pois assim, torna-se possível analisar a tradução em diferentes áreas do campo de texto, sendo necessário apenas trocar de linha.

### 3.2.1.3 Barra de ferramentas: Explorando o ponto 3

O ponto 3, representa uma barra de ferramenta que auxilia o usuário na escrita de materiais em *braille*. Pode-se notar facilmente que os símbolos ou caracteres que estão presentes nesse campo não existem no teclado de computador. Dessa maneira, configura-se, então, como uma sessão da tela de suma importância, principalmente para a escrita de expressões e definições matemáticas.

Portanto, para interagir com essa sessão, o usuário necessita apenas de clicar no símbolo que ele necessita utilizar que ele aparecerá no campo de texto (ponto 1).

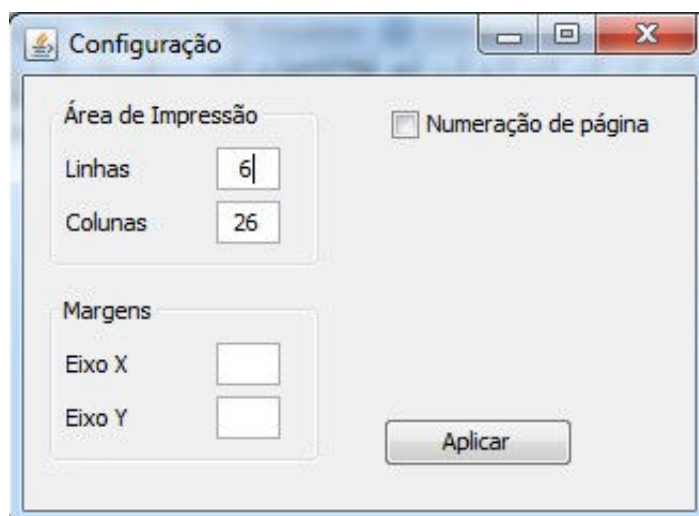
### 3.2.1.4 Barra de menus: Explorando o ponto 4

O ponto 4, apresenta uma barra de menus, em que cada um desses apresenta diversas utilidades. Nesse contexto, será explicado de forma resumida a funcionalidade de cada menu, exceto dois deles, que possuem aplicações importantes para o funcionamento do programa e estão melhor ilustrados a partir das Figuras 32 e 33. São eles:

- **Arquivo:** contém a funcionalidade de abrir ou salvar um arquivo de texto na máquina. É factível também configurar margens e alterar os limites de quantidade de linhas e colunas de caracteres por página (FIGURA 32);
- **Editar:** apresenta a lista de atalhos do programa;
- **Visualizar:** torna possível visualizar como ficará a folha após o termino da impressão (FIGURA 33);
- **Sobre:** engloba informações básicas sobre o *software*, código *braille* e a matemática *braille*.

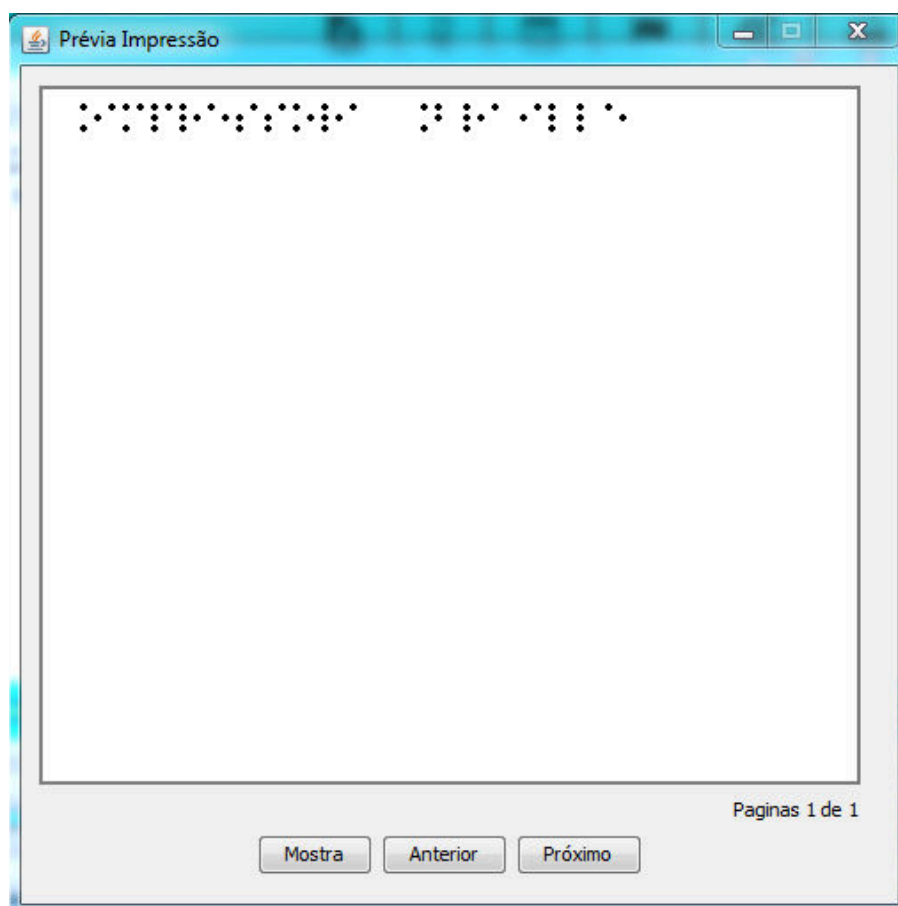


Figura 32 - Tela de Preferências, a partir do menu "Arquivo>Preferências".



Fonte: Dos autores (2019).

Figura 33 - Tela de impressão, a partir do menu "Visualizar>Prévia Impressão".



Fonte: Dos autores (2019).

### 3.2.1.5 Campo de informações: Explorando o ponto 5

Como o título da sessão sugere, esse campo é destinado a informar ao usuário o status da conexão USB, quantidade de caracteres no campo de texto, e por fim, linha e coluna que o usuário está selecionado no momento.

### 3.2.2 Exclusividades do *software*

É importante salientar, que toda a tabela de tradução de caracteres construída para a conversão de caracteres da língua portuguesa para o código *braille* foram fundamentados a partir do livro "Grafia Braille para a Língua Portuguesa" (CERQUEIRA, 2002) e para símbolos e expressões matemáticas o livro "Código Matemático Unificado para Língua Portuguesa - CMU" (CERQUEIRA, 2006), ambos disponibilizados no ano de 2006 pelo Ministério da Educação e Secretaria de Educação Especial. Vale ressaltar também, que o modelo de tradução na tela do Braillezooka e impressão do material em *braille* seguiu o nível de codificação de grau 1.

O Braillezooka também apresenta algumas peculiaridades que foram definidas para facilitar a escrita do usuário com expressões matemáticas. Dessa maneira, caracteres como o \* (asterisco) e / (barra), que tem a sua tradução correspondente em *braille* por (35) e (6)(2), respectivamente, apresentam uma conversão diferente que fazem esses caracteres terem o significado de Multiplicação (236) e Divisão (256). Por outro lado, professores e alunos de cursos relacionados a área de exatas, não obstante, tem que utilizar *softwares* matemáticos e estatísticos que na maior parte das vezes, utilizam os símbolos de \* e / com o significado de Multiplicação e Divisão. Portanto, para aumentar a praticidade e familiaridade do usuário com o *software*, decidiu-se por interpretar esses caracteres desta maneira.

Segundo o CMU (2006), expressões e sentenças consideradas curtas, quando não couberem em uma linha horizontal, devem ser mandadas integralmente para a linha seguinte. Já as sentenças e expressões longas, devem ser cortadas em sinais de operação (soma, subtração, multiplicação, divisão), ou sinais de relação (maior, menor igual), fazendo-se como usualmente é feito na escrita da língua portuguesa. Divide-se a expressão em um desses sinais e na linha seguinte, o sinal é repetido e se dá a continuação da expressão ou sentença. Desse modo, no Braillezooka, foi adotada a seguinte regra: todas as sentenças ou expressões matemáticas que não tem espaço suficiente para serem escritas na sua própria linha, devem ser omitidas dessa linha e colocadas na íntegra na linha posterior, mesmo que fiquem espaços

em branco na linha original.

É preciso frisar que neste *software*, cada caractere ou símbolo tem significado e tradução única. Ou seja, como já dito no parágrafo anterior, o símbolo de / (barra), neste *software* significa "Dividido por". Ele terá única e exclusivamente essa tradução, mesmo sabendo que, dependendo do contexto, a "/" pode assumir interpretações diferentes na língua portuguesa, como:

- / ("tal que") : símbolo matemático utilizado em definições matemáticas;
- / ( datas). utilizado para escrever datas;

Portanto, apesar deste símbolo ter 3 significados diferentes dependendo do contexto, ele só será traduzido para o *braille* com código *braille* (256).

No Apêndice A - Expressões matemáticas e frases em *braille* -, haverá alguns exemplos de frases e expressões matemáticas como são feitas no português, a sua conversão para o *braille* e como fica sua digitação no campo de texto do Braillezooka.

## 4 ANÁLISE DE VIABILIDADE

A análise de viabilidade econômica realizada neste trabalho teve por finalidade verificar a possibilidade de se adquirir a impressora *braille* de baixo custo ao invés da impressora *braille* Index Basic DV4. Realizou-se esta análise sob a perspectiva de atender usuários que possuem pouca demanda mensal de impressão e menor poder aquisitivo.

Atualmente as impressoras *braille* presentes no Brasil possuem alto valor de aquisição (TECASSISTIVA, 2019), tornando inacessível sua aquisição pela população e instituições de ensino que possuem baixo poder aquisitivo.

A análise das alternativas permitiu analisar qual modelo de impressora *braille* melhor atende o público alvo abordado neste trabalho. Já o levantamento dos custos das alternativas permitiu verificar que o investimento necessário a aquisição de uma impressora *braille* está diretamente relacionado com sua velocidade de impressão, ou seja, quanto mais rápida mais cara torna-se a impressora *braille*.

Realizou-se também o levantamento dos benefícios das alternativas, sendo possível verificar as principais características, funcionalidades e recursos de cada alternativa abordada. Nesta etapa foi possível verificar que a maior vantagem da impressora *braille* desenvolvida neste trabalho frente ao modelo Index Basic DV4 é seu baixo custo de aquisição.

### 4.1 Custos envolvidos no desenvolvimento do protótipo

Na construção do protótipo da impressora *braille* de baixo custo os gastos foram divididos em duas partes, os gastos com a construção da parte mecânica e os gastos na parte eletrônica tanto do protótipo, quanto da versão de mercado da impressora *braille* de baixo custo.

Vale ressaltar que os gastos com usinagem na construção da parte mecânica foram bem reduzidos devido ao fato do projeto ser patrocinado pela empresa Colibri Usinagem, a qual realizou a usinagem das peças necessárias. Dessa forma, na etapa de usinagem, os diretores da empresa cobraram apenas o valor das horas de trabalho do operador que realizou a usinagem, valor este que foi de R\$ 233,00. Dessa forma, economizou-se R\$ 1300,00 - valor orçado pela empresa para realização da usinagem das peças -, o qual foi levado em consideração no custo da versão de mercado da impressora.

O Quadro 1 apresenta o custo envolvido com a construção da parte mecânica, o qual foi de R\$ 353,00.

Quadro 1 - Gastos da parte mecânica do protótipo.

Descrição	Valor (R\$)
Placas de MDF para a base e laterias	10,00
Tarugo de Nylon	30,00
Aço para usinagem dos eixos e reglete	10,00
Suporte do Servo	50,00
Trabalho Colibri Usinagem (gastos com o operador)	233,00
Outros (parafusos, porcas, etc.)	20,00
Total	353,00

Fonte: Dos autores (2019).

O Quadro 2 apresenta o custo envolvido com o desenvolvimento da parte eletrônica do protótipo, valor este que totalizou R\$ 214,50. Vale ressaltar que nessa etapa os componentes responsáveis pela movimentação do suporte do punção foram obtidos de impressoras comuns inutilizadas.

Quadro 2 - Gastos da parte eletrônica do protótipo.

Componente	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Arduino Uno R3	1	54,90	54,90
Motores de passo	2	16,50	33,00
Servo Motor	1	50,00	50,00
Driver A4988	1	15,00	15,00
Outros	1	61,60	61,60
Total		R\$ 214,50	

Fonte: Dos autores (2019).

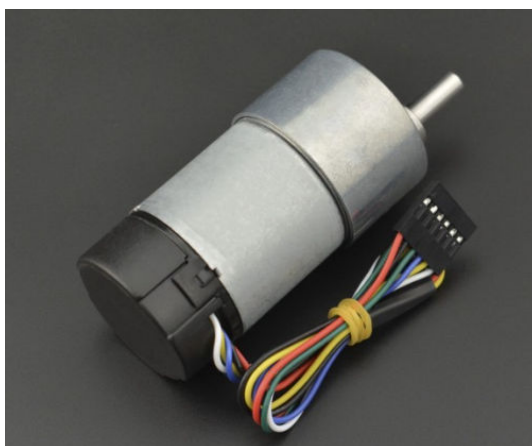
Analisando-se os quadros 1 e 2 têm-se que o custo total envolvido no protótipo da impressora *braille* foi de R\$ 567,50. O valor gasto na construção do protótipo foi notoriamente inferior (cerca de 49 vezes menor) ao preço de um impressora *braille* profissional, tal como a impressora Index Basic DV4 que possui valor de mercado de R\$ 30.000,00, fato este que viabilizou financeiramente a construção do protótipo e serviu de modelo para o projeto da impressora *braille* de baixo custo.

## 4.2 Custos envolvidos no desenvolvimento da versão de mercado da impressora braille

Para que seja um produto competitivo no mercado das impressoras *braille*, a impressora desenvolvida deve possuir velocidade de impressão que viabilize seu uso, seja de modo comercial ou uso doméstico.

A solução adotada para aumentar a velocidade de impressão do produto foi a utilização de um motor DC com encoder acoplado, tal como o motor GB37Y3530- 12V-251R do fabricante dfrobot (BOXELECTRÓNICA, 2019). Este motor possui um encoder com resolução de 16 pulsos por volta acoplado a seu eixo. Este motor também conta com uma caixa de redução de 43,8:1. Dessa forma, quando o eixo de saída da caixa de redução der uma volta completa, o encoder terá contabilizado 700,8 pulsos ( $43,8 \times 16$  pulsos/volta), possuindo assim uma boa resolução. A Figura 34 ilustra o motor em questão.

Figura 34 - Motor GB37Y3530-12V-251R.



Fonte: Boxelectrónica (2019).

Em seguida, passou-se para a etapa de determinação da velocidade de impressão do protótipo e também da versão de mercado do produto. A determinação da velocidade de impressão do protótipo foi realizada determinando-se o tempo necessário para o protótipo imprimir cinco palavras aleatórias geradas a partir do site "Gerador de palavras aleatórias no português V1.12" (PALABRASALEATORIAS, 2019). Assim, foram coletadas as 5 primeiras palavras com 5 letras disponibilizadas pelo site, totalizando assim vinte e cinco caracteres. Realizou-se o processo de impressão das palavras em três ciclos de execução, com o intuito de utilizar-se a média aritmética dos resultados como valor da velocidade de impressão do protótipo. O Quadro 3 apresenta as palavras impressas, o tempo que demorou para realizar-se a impressão e o valor da velocidade de impressão obtido.

Quadro 3 - Determinação da velocidade de impressão do protótipo desenvolvido.

Número do Ciclo	Palavras impressas (na ordem de impressão)	Tempo (s)	Velocidade de impressão obtida (CPS)
1	tênis, legal, homem, suíça, cacau	149	0,17
2	tênis, legal, homem, suíça, cacau	144	0,17
3	tênis, legal, homem, suíça, cacau	147	0,17
Média	-	147	0,17

Fonte: Dos autores (2019).

O próximo passo consistiu em estimar-se a velocidade de impressão da versão de mercado da impressora, a qual conta com um motor DC com encoder em substituição ao motor de passo responsável por movimentar o suporte do punção. Como tal mudança não foi realizada na prática, realizou-se apenas o cálculo teórico da nova velocidade de impressão tomando como base o aumento da rpm provocado pelo uso do motor DC com encoder, partindo-se dos seguintes pressupostos:

- no protótipo, o motor de passo utilizado para movimentar o suporte do punção foi configurado com 80 rpm no código do Arduino, porém, como utilizou-se o Driver A4988 na configuração de meio passo, o motor de passo em questão na verdade atuou com a velocidade de 40 rotações por minuto.
- consultando-se as informações técnicas do motor GB37Y3530-12V-251R foi possível verificar que sua velocidade é de 240 rpm.
- substituindo-se o motor de passo utilizado no protótipo pelo motor GB37Y3530-12V-251R sabe-se que o aumento na velocidade de impressão em função dessa alteração será no mínimo igual a relação de aumento da rpm, ou seja, ocorrerá o acréscimo de ao menos seis vezes (240 rpm / 40 rpm) na velocidade de impressão da versão de mercado da impressora. Tal acréscimo foi tomado como base nos cálculos da velocidade de impressão da versão de mercado da impressora *braille* desenvolvida.

Dessa forma, a partir das considerações acima realizadas, têm-se que a velocidade de impressão da versão de mercado da impressora será de 1,02 CPS (6 x 0,17 CPS).

A partir dos resultados apresentados é possível verificar que a velocidade de

impressão do produto final aumentou em 600%. Por outro lado, sua velocidade de impressão ainda não se compara aos valores encontrados nos produtos existentes no mercado, os quais apresentam velocidades de impressão que variam de 25 até 300 CPS (TECNOVISÃO, 2019). Entretanto, tratando-se de um produto de baixo custo cujo intuito inicial é o uso para transcrição de pequenos textos, seja em escolas ou para uso doméstico, a versão de mercado da impressora *braille* de baixo custo desenvolvida cumpre o objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso.

O Quadro 4 apresenta os gastos envolvidos na construção da parte mecânica da versão de mercado da impressora *braille*. O valor dos materiais para usinagem das peças foi de R\$ 300,00 e inclui os gastos com os materiais necessários para a confecção de todas as peças do projeto, tais como náilon para confecção da estrutura, tarugos de aço para confecção dos eixos do puxador de papel e guias do suporte do punção. O custo de usinagem foi de R\$ 1300,00 e engloba os gastos necessários para uma empresa especializada realizar a usinagem dos materiais e transformá-los nas peças do projeto. O custo envolvido na parte eletrônica foi de R\$ 364,50 e engloba componentes como o Arduino, motores de passo, motor DC com encoder e servomotor utilizados no projeto.

Quadro 4 - Custos do produto final.

Tipo de Gasto	Valor (R\$)
Materiais para usinagem das peças	300,00
Custo de usinagem	1300,00
Parte eletrônica	364,50
Outros	200,00
Total	2164,50

Fonte: Dos autores (2019).

Analisando-se o Quadro 4, é possível perceber que o custo final para a inserção de uma impressora *braille* de baixo custo no mercado é de R\$ 2.164,50, valor 14 vezes menor quando comparado a produtos já existentes no mercado, tais como o modelo Index Basic DV4.



### 4.3 Análise da viabilidade econômica da impressora desenvolvida frente a um produto já inserido no mercado

Nesta etapa, realizou-se a análise de viabilidade da versão de mercado da impressora *braille* desenvolvida mediante o cálculo do Valor Presente Líquido e a análise da Taxa Interna de Retorno para justificar ou não, a produção e venda da impressora desenvolvida.

Para avaliar a qualidade do produto desenvolvido, utilizou-se como comparação a impressora *braille* Index Basic DV4, representada na Figura 35. O tempo de estudo adotado para análise do retorno e dos custos envolvidos em ambos os projetos foi de 1 ano, período este suficiente para estimar os gastos de manutenção e depreciação do produto desenvolvido, sendo possível assim realizar-se o cálculo da TIR e do VPL.

Este modelo apresenta diversas vantagens quando comparado à impressora de baixo custo desenvolvida. Porém, seu custo de R\$ 30.000,00 inviabiliza sua disseminação à população e aos centros de ensino que trabalham com deficientes visuais. O Quadro 5 apresenta as principais características comparativas da impressora Index Basic DV4 e a versão de mercado da impressora *braille* de baixo custo.

Figura 35 - Impressora braille Index Basic DV4.



Fonte: Tecassistiva (2019).

Quadro 5 - Principais características técnicas das impressoras.

	Impressora braille baixo custo	Impressora braille Index basic DV4
Peso (Kg)	4	7,6
Dimensões (CmxCmxCm)	46x20x10	52x26x13
Possui Alimentador ? (Sim ou Não)	Não	Sim
Tipos de Papel Suportados	A4	A4
Estilo do papel	Separado	Contínuo
Velocidade de Impressão [CPS]	1	100
Impressão Direta (Sem software)	Não	Sim
Gráficos táteis	Não	Sim

Fonte: Dos autores (2019).

A partir do Quadro 5, pode-se evidenciar uma diferença muito grande entre a velocidade de impressão da impressora braille comercial e a de baixo custo desenvolvida. Nota-se também que a impressora comercial profissional apresenta a funcionalidade de gráficos táteis, os quais são imagens transpostas para o *braille*; assim como também apresenta alimentador de papel contínuo<sup>5</sup>. O modelo Index Basic DV4 também permite realizar a impressão de arquivos .doc, .docx, .pdf e .txt sem a necessidade de um *software* de tradução externo. Resumindo, o modelo adotado como base de comparação apresenta diversas vantagens em relação a versão de mercado da impressora desenvolvida, porém, sua maior desvantagem é seu custo elevado.

O Quadro 6 apresenta os principais dados relativos a parte econômica das impressoras em questão, sendo que tais dados foram tomados como base no cálculo do

<sup>5</sup> Compartimento destinado a inserção da folha de impressão pela área do equipamento onde ocorre a impressão, sem a necessidade de alimentar-se com uma única folha por vez durante a impressão

VPL e TIR. Devido ao fato do período de estudo da análise econômica ter sido adotado como um ano, os custos envolvidos na depreciação, operação, manutenção e retorno foram separados mensalmente. Já os valores do investimento de ambas as impressoras estão associados ao custo de aquisição dos equipamentos e são incorporados ao primeiro mês do estudo.

Quadro 6 – Fluxo de caixa mês 1 – análise de viabilidade.

	Impressora braille de baixo custo (R\$)	Impressora braille Index DV4 (R\$)
Investimento	2.164,50	30.000,00
Depreciação	36,07	500,00
Operação	1.427,58	1.427,58
Manutenção	18,91	25,00
Valor Residual	432,90	6000,00
Retorno	2.500,00	2.500,00
Retorno menos custos	1.017,44	547,42

Fonte: Dos autores (2019).

Para calcular a desvalorização (depreciação) do produto desenvolvido, consultou-se o anexo III vigente na Instrução Normativa N°1700 de 2017 da Receita federal (RECEITA FEDERAL, 2017), anexo este que apresenta as taxas anuais de depreciação de bens dos mais diversos tipos. Como base para a depreciação da impressora *braille* desenvolvida, adotou-se a referência NCM 8471 presente no anexo III, a qual apresenta depreciação de 20% ao ano e com aproximadamente 5 anos de vida útil para máquinas automáticas para o processamento de dados.

Analisando-se o Quadro 6 é possível perceber que o custo de operação de ambas as impressoras são iguais e correspondem a R\$1.427,58. Este valor foi adotado como sendo a parcela do custo necessário para contratação de um operador de fotocopiadora apto a operar as impressoras apenas consultando o manual de instruções dos equipamentos e cujo salário mensal corresponde a R\$1.072,00 (VAGAS, 2019). Os encargos trabalhistas foram adotados como sendo de 33,17%, valor pago por uma empresa optante pelo Simples Nacional<sup>6</sup>,

<sup>6</sup> O Simples Nacional é um regime tributário diferenciado e simplificado, destinado a pequenas e micro empresas.

segundo Júlio César Zanluca (ZANLUCA, 2019) , totalizando assim o valor de R\$1.427,58 (R\$1.072,00 + 33,17%).

O custo de manutenção da versão de mercado da impressora desenvolvida foi tomado como sendo o valor para realizar-se a manutenção preventiva anual das peças que mais sofrerão desgaste, incluindo-se também o custo de mão de obra para efetuar-se o serviço. Os itens que serão substituídos na manutenção preventiva são:

- Buchas das laterais (apenas as do acoplamento dos eixos do puxador de papel - 4 unidades);
- Correia dentada do suporte do servo motor;
- Polia dentada acoplada ao motor DC com encoder e polia dentada do esticador da correia;

Em relação ao custo de manutenção do modelo Index Basic DV4, vale ressaltar que não foi possível obter acesso a tal informação juntamente com seu fabricante. Dessa forma, este custo foi definido como sendo 1% do valor de investimento do produto (R\$ 300,00), valor suficiente para solicitar-se assistência técnica anualmente com o intuito de posteriormente realizar-se a manutenção preventiva do equipamento, preservando e prolongando a vida útil do equipamento.

Segundo Elias Sperandio (STUDIOBRILLE, 2018), especialista com mais de 10 anos em transcrição em *braille*, um livro didático em *braille* composto por 300 páginas pode alcançar o valor de até R\$ 500 a unidade. Dessa forma, baseando-se nesta informação, tornou-se possível realizar o cálculo do retorno para ambas as impressoras a partir dos seguintes pressupostos:

- Demanda de ambas as impressoras de 1500 páginas ao mês, ou seja, 5 livros por mês;
- Jornada de trabalho das impressoras estabelecida em 8h por dia;
- Considerando-se que em uma folha A4 *braille* caibam 575 caracteres<sup>7</sup>;

O motivo de se escolher a demanda de impressão de 1500 páginas ao mês na análise de viabilidade econômica é o fato de que a impressora desenvolvida nesse trabalho de conclusão de curso ter sido projetada para um mercado mais acessível e que não possui alta demanda de impressão mensal, sendo que 1500 páginas é o máximo de páginas que a impressora desenvolvida consegue imprimir mensalmente, de modo a obter um número

---

<sup>7</sup> Considerando-se margens superior, inferior, direita e esquerda de 20mm.

inteiro de livros impressos a serem comercializados. O Quadro 7 apresenta algumas características em relação a velocidade de impressão da impressora desenvolvida e o modelo Index Basic DV4.

Quadro 7 - Características de impressão da impressora desenvolvida e o modelo Index Basic DV4.

Alternativa	Velocidade de impressão (CPS)	Jornada diária de trabalho (h)	Capacidade mensal de impressão (páginas)
Impressora braille Index Basic DV4	100	8	150000
Impressora braille de baixo custo	1	8	1500

Fonte: Dos autores (2019).

Analisando-se o Quadro 7 percebe-se que a impressora *braille* Index Basic DV4 está sendo subutilizada segundo a demanda mensal de impressão de 1500 páginas, pois ela possui uma velocidade impressão muito superior a impressora *braille* proposta nesse trabalho. E, também, não seria coerente afirmar que o retorno deveria ser calculado exclusivamente a partir da velocidade de impressão mensal de cada impressora, pois sabe-se que uma editora, por exemplo, não seria capaz de vender todos os livros a medida que fosse produzindo, gerando um estoque muito grande de material impresso em *braille*. Este fato também foi considerado ao adotar-se uma produção e venda de aproximadamente 5 livros ao mês para calcular-se o retorno.

#### 4.3.1 Análise de viabilidade: Cálculo do valor presente líquido e taxa interna de retorno.

O Quadro 8 apresenta o valor do fluxo de caixa de ambas as impressoras calculado a partir dos dados do Quadro 6 e considerando-se como taxa mínima de atratividade o valor de 10% ao mês.

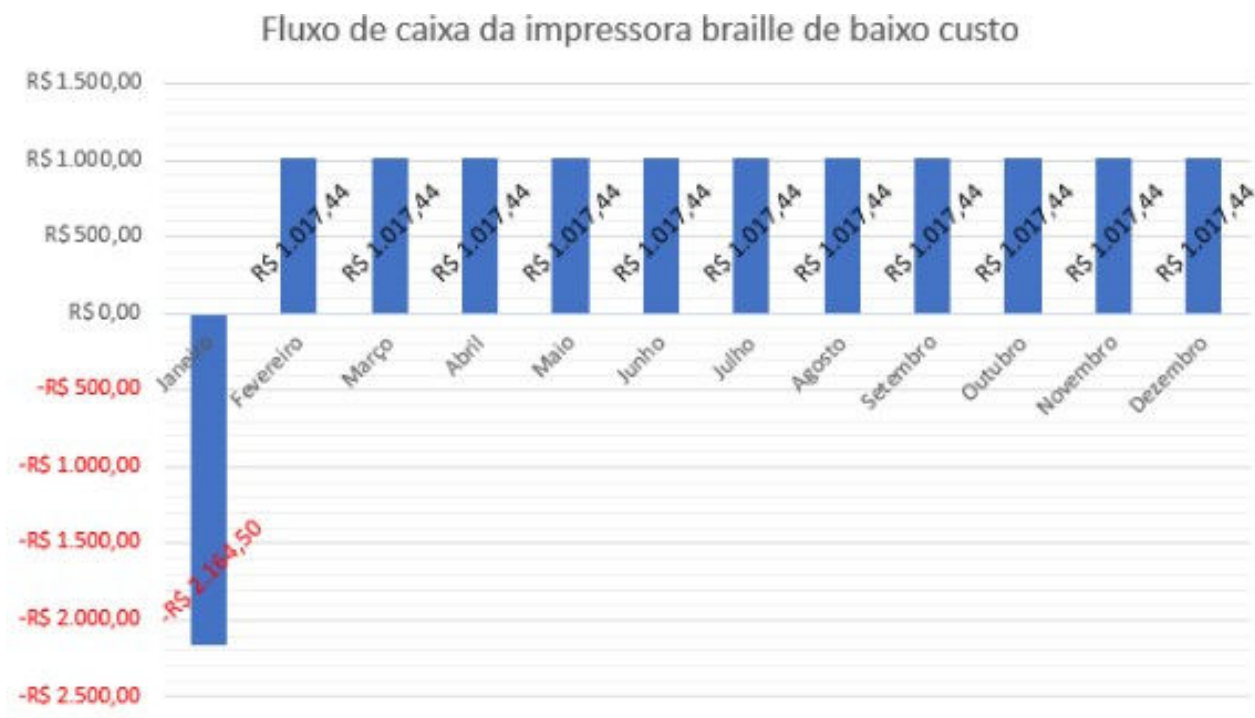
Quadro 8 - Fluxo de caixa das alternativas.

Mês	Fluxo de Caixa	
	Impressora braille de Baixo Custo	Impressora braille Index DV4
Janeiro	-R\$ 2.164,50	-R\$ 30.000,00
Fevereiro	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Março	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Abril	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Maio	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Junho	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Julho	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Agosto	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Setembro	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Outubro	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Novembro	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42
Dezembro	R\$ 1.017,44	R\$ 547,42

Fonte: Dos autores (2019).

Analisando-se o Quadro 8 é possível perceber que no primeiro mês da análise o fluxo de caixa obtido corresponde ao investimento no projeto. Já a partir do segundo mês da análise, este valor corresponde ao retorno menos os custos de depreciação, operação e manutenção. A partir do Quadro 8 foi possível representar graficamente os resultados obtidos, os quais podem ser analisados por meio das Figuras 36 e 37.

Figura 36 - Fluxo de caixa da impressora braille de baixo custo.



Fonte: Dos autores (2019).

Figura 37 - Fluxo de caixa da impressora braille Index Basic DV4



Fonte: Dos autores (2019).

Em seguida, passou-se para a etapa de cálculo do VPL e TIR segundo a Equação 1.

$$VPL = - Investimento - Depreciação * \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^{n*i}} \right] - Operação * \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^{n*i}} \right] \quad (1)$$

$$- Manutenção * \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^{n*i}} \right] + Retorno * \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^{n*i}} \right] + Resíduo * \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Onde:

i representa a taxa mínima de atratividade;

n representa o tempo de estudo, em meses.

*Nota: O cálculo da TIR também é realizado utilizando-se a Equação 1. Altera-se o valor de i até obter-se VPL igual a zero, nessa situação i corresponde ao valor da TIR.*

A partir do Quadro 9 pode-se analisar os resultados dos cálculos do VPL e TIR da impressora *braille* de baixo custo e a impressa *braille* Index Basic DV4. Considerou-se a taxa mínima de atratividade como sendo 10%, o qual pode ser considerado um valor bem pequeno de retorno esperado por um investidor, mas pode ser tomado como base para análise do estudo em questão.

Quadro 9 - Resultados do cálculo do VPL e TIR - Demanda mensal de 1.500 páginas.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	10%	
Indicadores	Impressora de baixo custo	Impressora Index Basic DV4
VPL	R\$ 4.443,83	-R\$ 26.444,47
TIR	46,29%	-20,29%

Fonte: Os autores (2019)

A partir do valor do VPL têm-se a ideia de que a impressora *braille* de baixo custo é a melhor opção de investimento para uso doméstico e em instituições de ensino de pequeno porte, realizando-se a impressão de materiais didáticos e provas na grafia *braille*. Por outro lado, também faz-se necessária a análise da TIR para realmente verificar se é economicamente viável investir-se na impressora *braille* de baixo custo. Nesse contexto, a partir dos cálculos realizados, obteve-se o valor de 46,29% para a TIR da impressora de baixo custo e de -20,29% para a TIR da impressora Index Basic DV4.

Portanto, a melhor alternativa de investimento para o cenário esboçado é a impressora *braille* de baixo custo, pois o valor da TMA responsável por zerar o valor do VPL é de 46,29%, valor alto e que revela que pode-se utilizar maiores valores de TMA (superiores a 10%) e mesmo assim obter-se a confirmação da viabilidade econômica da alternativa da impressora *braille* de baixo custo.



O Quadro 10 mostra o VPL resultante a medida que se altera o valor da TMA para ambas as alternativas de projeto. Pode-se enxergar que o valor do VPL da impressora *braille* Index Basic DV4 já está negativo para qualquer porcentagem positiva de TMA escolhida. Já a impressora *braille* de baixo custo consegue obter VPL positivo até valores próximos de 46,29%.

Quadro 10 - Fluxo de caixa para diferentes valores de TMA - Demanda mensal de 1.500 páginas.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	Impressora <i>braille</i> de baixo custo	Impressora Index basic DV4
8,00 %	R\$ 5.098,97	-R\$ 26.091,99
16,00 %	R\$ 2.951,84	-R\$ 27.247,22
24,00 %	R\$ 1.677,04	-R\$ 27.933,11
32,00 %	R\$ 865,02	-R\$ 28.370,01
40,00 %	R\$ 316,29	-R\$ 28.665,24
46,29 %	-R\$ 0,00	-R\$ 28.835,42
56,00 %	-R\$ 361,29	-R\$ 29.029,81

Fonte: Dos autores (2019).

Por meio da análise do Quadro 10 comprova-se que a melhor alternativa para este cenário é a impressora *braille* de baixo custo proposta nesse trabalho de conclusão de curso, pois apesar de apresentar uma velocidade de impressão muito inferior que a Index DV4, consegue suprir pequenas necessidades de instituições de ensino, assim como o uso doméstico durante o auxílio dos pais na alfabetização de crianças deficientes visuais.

Por outro lado, é possível verificar por meio do Quadro 7 que para a impressão *braille* em grande escala a impressora *braille* de baixo custo já não é a melhor opção, sendo que para esta cenário a impressora Index Basic DV4 é a melhor alternativa. Dessa forma, para comprovar-se a superioridade da impressora Index Basic DV4 no contexto de grandes demandas mensais de impressão, realizou-se novamente os cálculos do VPL e TIR utilizando-se agora como métrica a impressão mensal de 15.000 páginas. O Quadro 11 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 11 - Resultados dos cálculos do TIR e VPL - Demanda mensal de 15.000 páginas.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	10%
Indicadores	Impressora braille Index Basic DV4
VPL	R\$ 119.694,40
TIR	76,68%

Fonte: Dos autores (2019).

O Quadro 12 apresenta o fluxo de caixa para diferentes valores de TMA, analisando-se o cenário de impressão de 15.000 páginas ao mês.

Quadro 12 - Fluxo de caixa para diferentes valores de TMA - Demanda mensal de 15.000 páginas<sup>8</sup>.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	Fluxo de caixa - Impressora Index basic DV4
8,00 %	R\$ 134.534,71
16,00 %	R\$ 85.897,28
24,00 %	R\$ 57.019,93
32,00 %	R\$ 38.625,69
40,00 %	R\$ 26.195,72
48,00 %	R\$ 17.372,03
56,00 %	R\$ 10.847,03
64,00 %	R\$ 5.855,58
72,00 %	R\$ 1.928,18
76,68 %	-R\$ 0,77

Fonte: Dos autores (2019).

Analisando-se o Quadro 11 nota-se que com a nova demanda de impressão a impressora Index Basic DV4 torna-se o investimento mais viável, pois tanto o valor de seu VPL quanto TIR foram superiores ao da impressora *braille* de baixo custo.

Dessa forma, conclui-se que apesar de não possuir elevada velocidade de impressão, a impressora *braille* de baixo custo proposta neste trabalho de conclusão de curso apresentou

<sup>8</sup> Como o máximo de páginas que a impressora *braille* de baixo custo é capaz de imprimir mensalmente não ultrapassa 1.500 páginas, os valores de seu VPL e TIR mantiveram-se os mesmos calculados anteriormente.

ser um investimento viável para pequenas demandas de impressão em *braille* (1500 páginas ao mês). Com isso, é possível afirmar que o intuito deste trabalho de conclusão de curso foi alcançado e que com a inserção deste produto no mercado uma grande parcela da população e instituições de ensino poderão se beneficiar de várias formas, dispondo de um recurso tecnológico eficaz e economicamente mais acessível que os produtos já existentes no mercado brasileiro.

## 5 CONCLUSÃO

Nas pesquisas realizadas no início deste trabalho de conclusão de curso constatou-se que havia uma ausência de alternativas mais acessíveis para a impressão de materiais em *braille* no Brasil, tanto para a população quanto para instituições de ensino. Em função das pesquisas realizadas, fomentou-se o estudo de alternativas de baixo custo para a impressão *braille* em baixa escala. Vale ressaltar que este tema é pouco abordado no Brasil e que poucas pessoas se interessam pelo assunto, fato este que acaba por interferir e atrasar a democratização do ensino e difusão do conhecimento pelo território nacional.

Mediante tais fatos, este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo geral o desenvolvimento e construção de uma impressora *braille* de baixo custo, assim como a realização de uma análise econômica com o intuito de verificar se era possível desenvolver uma impressora capaz de competir com as impressoras *braille* já consolidadas no mercado. Analisando-se os dados obtidos, constata-se que o objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso foi atendido, pois foi possível elaborar uma alternativa que demanda um investimento financeiro muito inferior ao necessário para adquirir-se um produto já inserido no mercado. Vale ressaltar que a alternativa desenvolvida é economicamente viável sob a perspectiva de baixas demandas de impressão de material em *braille*.

Nesse contexto, o primeiro objetivo específico deste trabalho foi projetar a estrutura da parte mecânica do protótipo da impressora *braille* com o auxílio do *software* Solidworks. Nesta etapa foi possível estudar diferentes modos de se construir o protótipo e em seguida definir-se o projeto final da versão de mercado da impressora *braille* de baixo custo. Dessa maneira, este objetivo específico foi alcançado, visto que foi elaborado com sucesso o projeto da versão de mercado da impressora *braille* de baixo custo.

O segundo objetivo específico deste trabalho de conclusão de curso foi de desenvolver um *software* no qual seja possível escrever textos na grafia da língua portuguesa, transcrevê-los para a grafia *braille* e realizar a impressão do texto digitado por meio do protótipo da impressora. Este objetivo também foi alcançado com êxito, pois o *software* desenvolvido foi capaz de realizar a transcrição dos textos digitados para a grafia *braille*, além de conectar-se com a impressora no momento de realizar a impressão. Vale destacar que o *software* desenvolvido também permite a escrita de equações matemáticas de maneira mais simples do que em outros *softwares* de impressão de material em *braille*, ampliando assim o campo de abrangência do produto desenvolvido.

Este trabalho de conclusão de curso partiu do pressuposto de que com a inserção de

uma impressora *braille* de baixo custo no mercado brasileiro a disseminação do *braille* se dará de modo mais abrangente e inclusivo, democratizando assim o ensino do *braille* nas esferas que tangem os centros de ensino e lares de portadores de deficiência visual. Para isso, fez-se necessário um estudo de análise da viabilidade econômica do projeto, consolidando-se assim como o terceiro objetivo específico, o qual confrontou a versão de mercado da impressora desenvolvida frente a um produto já inserido no mercado brasileiro, que neste caso foi a impressora *braille* Index Basic DV4. Por meio dessa análise de viabilidade econômica foi possível verificar que o produto desenvolvido foi capaz de competir com a impressora *braille* Index Basic DV4 sob o cenário de uma demanda mensal de impressão relativamente baixa, sendo assim um investimento viável.

O trabalho foi realizado a partir de um pesquisa exploratória do assunto, pois existe pouco material científico produzido nesta área. Ademais que, na área de impressoras *braille* não encontra-se material disponível para estudo da estrutura das impressoras *braille* já inseridas o mercado. Dessa maneira, decidiu-se por desenvolver o protótipo da impressora *braille* de baixo custo antes de se começar a desenvolver a versão de mercado. Já para a elaboração do *software*, analisou-se outros *softwares* de tradução em *braille*, tais como o Braille Fácil. Os dados coletados para a contextualização e a motivação da elaboração desse trabalho de conclusão de curso vieram de todos os níveis de fontes de informação, tais como livros, artigos e materiais expostos na internet.

Diante da metodologia proposta, percebeu-se que a limitação no acesso a informações e documentos sobre a estrutura/construção interna da mecânica de uma impressora *braille* já inserida no mercado acabou por interferir na impressora desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso, uma vez que sua velocidade de impressão foi um valor relativamente baixo e vincula-se diretamente com a mecânica do projeto.

Nesse mesmo contexto, a alta demanda de tempo necessária para aprender-se novas linguagens de programação impossibilitaram também a disponibilização de mais funcionalidades no *software* de tradução para a grafia *braille* (STGB), ficando o projeto limitado à somente a impressão sem gráficos táteis e conexões via cabo USB.

Dentre as melhorias que podem ser feitas na versão de mercado da impressora *braille* de baixo custo, a mais significativa é projetar um novo método de impressão dos pontos da cela *braille*. O sistema atual consiste em realizar a impressão de um único ponto da cela *braille* por vez, o que acaba por influenciar diretamente na velocidade de impressão do produto, que neste caso foi relativamente baixa quando comparada a produtos já inseridos no mercado. Dessa forma, projetando-se um novo método de impressão dos

pontos da cela *braille* que permita a impressão de dois ou mais pontos ao mesmo tempo, a velocidade de impressão do produto será muito superior a atual velocidade de impressão, aumentando assim a eficiência e a atratividade econômica do produto.

Outra melhoria a ser inserida na versão de mercado do produto desenvolvido é a inserção de mais funcionalidades ao *software* de tradução para a grafia *braille* (STGB), tais como a inserção da ferramenta de gráficos táteis e desenvolvimento de um aplicativo do *software* de impressão para Smartphones, facilitando assim o uso da impressora.

O desenvolvimento de uma bandeja de alimentação de papel também se faz necessário na versão de mercado do produto desenvolvido, assim como a melhoria de seu Design visando melhorar a aparência do produto.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO E CIA. **Como usar o driver A4988 com motor de passo nema 17**. 2015. Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/driver-a4988-com-motor-de-passo-nema-17/>. Acesso em: 1 Out. 2019.

AÇOS F. SACCHELLI. **Catálogo técnico. Sacchelli**. 2018. 32 p. Disponível em: <http://www.sacchelli.com.br/catalogo/catalogo-tecnico-oficial.pdf>. Acesso em: 20 Set. 2019.

BOXELECTRÓNICA. **Motor DC /Encoder - 12V 251RPM 18Kg.cm**. 2019. Disponível em: <https://www.boxelectronica.com/pt/motor-dc-/1536-motor-dc-encoder-12v-251rpm-18kgcm.html>. Acesso em: 1 Out. 2019.

SÍMBOLOS. **Braile**. Símbolos. 2019. Disponível em: <https://www.simbolos.net.br/braile/>. Acesso em: 11 Set. 2019.

BRASIL. Constituição. República Federativa do Brasil de 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/ConstituicaoCompilado.htm). Acesso em: 17 Set. 2019.

BRASIL. Ministério da Justiça. Decreto n. 3298, de 20 de dezembro de 1999. Diário Oficial da União. Brasília, 21 de dezembro de 1999. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D3298.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3298.htm). Acesso em: 10 Set. 2019.

CANALTECH. **O que é open source?**. 2019. Disponível em:

<https://canaltech.com.br/produtos/O-que-e-open-source/>. Acesso em: 1 Out. 2019.

CERQUEIRA, Jonir Bechara et al. **Código Matemático Unificado para a Língua Portuguesa. Elaboração**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, 2006. 89 p.

CERQUEIRA, Jonir Bechara et al. **Grafia braille para a língua portuguesa. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial.** 2. ed. Brasília: SEESP, 2006. 106 p.

COSTA, Renata. **Como funciona o sistema braille?. Nova Escola.** 2009. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/397/como-funciona-sistema-braille>. Acesso em: 16 Set. 2019.

DMITRUK, Hilda Beatriz (Org.). **Cadernos metodológicos: diretrizes da metodologia científica.** 5. ed. Chapecó: Argos, 2001. 123 p.

EDUCAMUNDO. **O que é SolidWorks e por que ele é interessante para a modelagem 3D. Educamundo.** 2019. Disponível em: <https://www.educamundo.com.br/blog/programa-solidworks>. Acesso em: 18 Set. 2019.

ENCICLOPEDIA GLOBAL. **Sistema Braille (Alfabeto Braille).** Megatimes. 2019?. Disponível em: <http://www.megatimes.com.br/2015/03/sistema-braille-alfabeto-braille.html>. Acesso em: 1 Out. 2019.

ESTADÃO. **“O braille é indispensável para a independência e a autonomia das pessoas cegas”.** Estadão. 2016. Disponível em: <https://brasil.estadao.com.br/blogs/vencer-limites/o-braille-e-indispensavel-para-a-independencia-e-a-autonomia-das-pessoas-cegas/>. Acesso em: 10 Set. 2019.

EXTRA. **Basic - Impressora Braille com formulário contínuo e impressão frente e verso (interponto) - BRAILLE.** Extra. 2019. Disponível em: [https://www.extra.com.br/Informatica/Impressoras/Matricial/basic-impressora-braille-com-formulario-continuo-e-impressao-frente-e-verso-interponto-braille-11498063.html?utm\\_medium=cpc&utm\\_source=gp\\_pla&IdSku=11498063&idLojista=18995&utm\\_campaign=info\\_smart-shopping&gclid=CjwKCAiAzanuBRAZEiwA5yf4uszWjmk\\_SSpDrJyBVI7S1MO9mBYWX6tilTHviQgk6Y1\\_o994TgsCfRoChMEQAvD\\_BwE](https://www.extra.com.br/Informatica/Impressoras/Matricial/basic-impressora-braille-com-formulario-continuo-e-impressao-frente-e-verso-interponto-braille-11498063.html?utm_medium=cpc&utm_source=gp_pla&IdSku=11498063&idLojista=18995&utm_campaign=info_smart-shopping&gclid=CjwKCAiAzanuBRAZEiwA5yf4uszWjmk_SSpDrJyBVI7S1MO9mBYWX6tilTHviQgk6Y1_o994TgsCfRoChMEQAvD_BwE). Acesso em: 1 Mar. 2019.



IBGE. **Censo 2010: escolaridade e rendimento aumentam e cai mortalidade infantil.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo?id=1&idnoticia=2125&view=noticia>. Acesso em: 9 Set. 2019.

INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT. **Quem foi Louis Braille.** IBC. 2017. Disponível em: <http://www.ibc.gov.br/fique-por-dentro/339-quem-foi-louis-braille>. Acesso em: 12 Set. 2019.

JÚNIOR, Roberto. **Concepção básica - Análise Econômica.** 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FA9D6A1AhFA>. Acesso em: 1 Fev. 2019.

LEMOS, Edison Ribeiro et al. **Normas técnicas para a produção de textos em Braille.** 2. ed. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria da Educação Especial, 2006. 73 p.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico: Tudo sobre o popular microcontrolador Arduino.** 2. ed. Novatec Editora, 2015. 512 p.

MERCADO LIVRE. **Impressora Braille.** Disponível em: [https://lista.mercadolivre.com.br/imprensora-braille#D\[A:imprensora%20braille\]](https://lista.mercadolivre.com.br/imprensora-braille#D[A:imprensora%20braille]). Acesso em: 1 Out. 2019.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO ESPECIAL. **Código Matemático Unificado para a Língua Portuguesa.** Brasília, 2006.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO ESPECIAL. **Grafia Braille para Língua Portuguesa - Braille Integral.** 2. ed. Brasília, 2006.

MUNDO DA LUPA. **Impressora Braille.** Disponível em: <https://mundodalupa.com.br/categoria-produto/braille/imprensora-braille/>. Acesso em: 1 Out. 2019.

NBR, ABNT. 9050. **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileiras de Normas Técnicas, 2015. 148 p.

NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA. NCE. **Braille Fácil 4.0. Intervox**. 2002. Disponível em: <http://intervox.nce.ufrj.br/brfacil/>. Acesso em: 18 Set. 2019.

PALABRASALEATORIAS. **Gerador de palavras aleatórias no português v1.12**. 2019. Disponível em: <https://www.palabrasaleatorias.com/palavras-aleatorias.php?fs=5&fs2=0&Submit=Nova+palavra>. Acesso em: 1 Out. 2019.

RECEITA FEDERAL. **Instrução Normativa RFB Nº 1700, de 14 de MARÇO de 2017.Sistema Normas Gestão da Informação**. 2017. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?visao=anotado&idAto=81268>. Acesso em: 25 Set. 2019.

STUDIOBRAILLE. **O braille é caro?. Studiobril**. 2018. Disponível em: <https://studiobril.com.br/o-braille-e-caro/>. Acesso em: 15 Out. 2019.

TECASSISTIVA. **Index Basic. Tecassistiva**. 2019. Disponível em: <https://www.tecassistiva.com.br/catalogo/index-basic/>. Acesso em: 25 Set. 2019.

TECNOLOGIA E CIÊNCIA EDUCACIONAL. **Manual do uso de regletes**. Rio Claro, 2013. 12 p.

TECNOVISÃO. **Hardware: Impressora Braille. Tecnovisão, conectando você ao mundo**. 2019. Disponível em: <https://www.tecnovisao.net/tecnovisao/produtos/listar/categoria/2/sub/16>. Acesso em: 27 Set. 2019.

THOMSEN, Adilson . **Qual Arduino Comprar?: Conheça os tipos de Arduino. FILIPEFLOPE**. 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/tipos-de-arduino-qual-comprar/>. Acesso em: 18 Set. 2019.

VAGAS. **Operador de fotocopiadora**. 2019. Disponível em:

<https://www.vagas.com.br/cargo/operador-de-fotocopiadora>. Acesso em: 1 Out. 2019.

VENTURINI, Jurema; ROSSI, Teresinha. **LOUIS BRAILLE: SUA VIDA E SEU SISTEMA**. 2. ed. São Paulo: Fundação para o Livro do Cego no Brasil, 1978.

Disponível em: <http://www.deficienciavisual.pt/txt-Louis%20Braille-sua%20vida%20seu%20sistema-Venturini.htm>. Acesso em: 27 Out. 2019.

WBU. **Declaração daWBU sobre o Tratado de Marraquexe. World Blind Union**.

Tradução Douglas Cordeiro. 2013. Tradução de: WBU Statement on Marrakesh Treaty.

Disponível em: <http://www.worldblindunion.org/English/news/Pages/WBU-Statement-on-Marrakesh-Treaty.aspx>. Acesso em: 10 Set. 2019.

WHO. **World Sight Day: 10 October. World Health Organization**. GENEVA, 2002.

Disponível em: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/pr79/en/>. Acesso em: 9 Set. 2019.

WIKIPÉDIA. **Java (linguagem de programação)**. 2019. Disponível em:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Java\\_\(linguagem\\_de\\_programa%C3%A7%C3%A3o\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Java_(linguagem_de_programa%C3%A7%C3%A3o)).

Acesso em: 1 Out. 2019.

ZANLUCA, Júlio. **Cálculos de encargos sociais e trabalhistas. Guia Trabalhista**. 2019.

Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/custostrabalhistas.htm>. Acesso em: 1 Out. 2019.



## Potências

$x^{-(a+b)}$

x elevado a  $-(a+b)$

The screenshot shows the Braillezooka application window. The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Visualizar", and "Sobre". The toolbar contains various editing and navigation icons. The main text area displays the mathematical expression  $x^{-(a+b)}$ . Below the text is a Braille grid with 8 columns and 2 rows of dots. The status bar at the bottom indicates "Lin: 1 Col: 4 Caracteres: 8" and has an "Enviar" button.

## Expressões

$7x^3-2x^2+x+1$

"7x ao cubo menos 2x ao quadrado  
mais x mais 1".

The screenshot shows the Braillezooka application window. The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Visualizar", and "Sobre". The toolbar contains various editing and navigation icons. The main text area displays the polynomial expression  $7x^3-2x^2+x+1$ . Below the text is a Braille grid with 14 columns and 2 rows of dots. The status bar at the bottom indicates "Lin: 1 Col: 14 Caracteres: 13" and has an "Enviar" button.