

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO NORTE CAMPUS NATAL – ZONA NORTE
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM ELETRÔNICA

GABRIELA TABITA DA SILVA
LUCIANA MIRELLY GOMES DUARTE

**FUV: FOTO EXPOSITORA ULTRAVIOLETA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE
CIRCUITO IMPRESSO**

NATAL, RN

2017

GABRIELA TABITA DA SILVA
LUCIANA MIRELLY GOMES DUARTE

**FUV: FOTO EXPOSITORA ULTRAVIOLETA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE
CIRCUITO IMPRESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso Técnico em Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Natal Zona Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Jair Fernandes de Souza.

Coorientador: Aécio Vinicius Amorim Farias.

NATAL, RN

2017

GABRIELA TABITA DA SILVA
LUCIANA MIRELLY GOMES DUARTE

**FUV: FOTO EXPOSITORA ULTRAVIOLETA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE
CIRCUITO IMPRESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à coordenação do Curso Técnico em Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Campus Natal Zona Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Eletrônica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em ___/___/____, pela seguinte Banca Examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Jair Fernandes de Souza, Prof. Dr. - Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Roberto Rodrigues Cunha Lima, Prof. Dr. - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Pedro Ivo de Araújo do Nascimento, Prof. Me. - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Dedicamos este trabalho a todos que sempre nos apoiaram e incentivaram ao longo de toda a nossa existência e, sobretudo, durante todo o nosso o processo acadêmico, em especial aos nossos pais, que, sem eles, seria impossível alcançar feitos como este, por isso deixamos aqui a nossa eterna gratidão e amor a eles e, por fim, dedicamos este projeto final.

AGRADECIMENTOS

É indiscutível a necessidade de agradecimento a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão de um trabalho tão importante quanto este, e essa importância não tem sua essência apenas no produto resultante desse estudo, mas sim no que ele representa para nós: A conclusão de uma fase de nossas vidas, uma fase relativamente curta mas inquestionavelmente importante e linda.

Primeiramente, não há como negar a importância que o nosso Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte teve, proporcionando um ambiente excepcionalmente acolhedor e familiar, sem citar a estrutura e as oportunidades a nós ofertadas. Somos gratas a todos os professores que construíram conosco um alicerce no que diz respeito ao nosso desenvolvimento e formação acadêmica, em especial as nossas amadas professoras Sandra Cristinne Xavier da Câmara e Maria José Marjorie Ramos da Silva que estiveram conosco e sempre nos ajudaram e apoiaram no que foi do seu alcance, nosso carinho dedicamos a vocês.

Não há como esquecer de todos aqueles que nos auxiliaram, acreditaram e nos deram força nos momentos mais difíceis e complicados que passamos durante esses quatro anos, em especial aos nossos colegas Francisco Vital Ferreira Júnior, Jackson Matheus de Araujo Nunes, João Paulo Santos Farias, Jordan Marques de Almeida Ramos, Lavínia Botêlho De Sena, Macial Freire Filho, Magno Matheus do Nascimento, Marcus Vinícius Guedes Cavalcante, Nicodemos Jonatas de Moura Silva, Otávio Gabriel Silva do Nascimento, Pedro Cardoso Carvalho e Ricardo Queiroz de Farias Henrique Silva e ao nosso orientador Jair Fernandes de Souza e coorientador Aécio Vinicius Amorim Farias que foram extremamente pacientes, dedicados, nos socorrendo e instruindo sempre que precisamos, nos ajudando a contornar todas as situações. Agradecemos a cada um de vocês por suas contribuições, mesmo de maneira indireta, nossa eterna gratidão a todos.

Com a mesma gratidão já descrita, agradecemos a orientação, não formal que recebemos da parte do nosso professor e amigo Pedro Ivo de Araújo do Nascimento que nos dedicou tempo, materiais e cuidado sem os quais talvez

parte do que foi feito não se faria; a você não só a nossa eterna gratidão, mas admiração e afeto.

Por fim, gostaríamos de agradecer também àqueles que sempre nos acompanharam em tudo, os nossos pais, pois, sem a educação e amor de vocês metade do que somos e temos não seria possível, agradecemos a todas as lições e conselhos dados, vocês representam o mundo para nós. A todos os nossos amigos de turma e vida que sempre estiveram dispostos a cooperar e nos ajudar em qualquer situação adversa; obrigada pelas risadas compartilhadas e compreensão em relação aos nossos momentos de ausência. Sabemos que isso descreve e expressa um pouco do que sentimos por vocês, mas gostaríamos de deixar aqui a expressão da nossa eterna gratidão e amor por todos.

“Em algum lugar, alguma coisa incrível está esperando para ser conhecida.”

Carl Sagan.

RESUMO

No âmbito da eletrônica e nos campos de estudos acadêmicos atrelados a ela, a produção de placas de circuitos impressos, conhecidas como PCIs, é inegavelmente uma grande necessidade. Com isso, se faz necessário a obtenção de aparatos que possibilitem a confecção das PCIs com um maior rigor e qualidade, tendo em vista que o investimento em mecanismos de pesquisa oportuniza o fomento das atividades. Tais constatações levaram ao desenvolvimento do projeto FUV, cujo objetivo foi desenvolver um equipamento semi-automático para a realização da etapa de transferência de layouts à placa através da técnica de fotolitografia - fotoexposição à radiação ultravioleta (UV), de modo a oferecer funcionalidade e otimização no desenvolvimento de projetos de ensino e pesquisa no âmbito do IFRN. Este trabalho divide-se em duas grandes partes: O algoritmo, parte fundamental do equipamento e que se refere ao código responsável pelo controle do sistema, e o hardware que, por sua vez, é subdividido em três pequenas partes: Os recursos relacionados a iluminação e sua manutenção, o recurso de controle e os elementos de interface com o usuário. Após produzido, o sistema apresentou excelentes resultados, demonstrando êxito tanto no funcionamento eletroeletrônico como um todo quanto na confecção das PCIs. Nesse ponto em específico, diante dos testes executados, o equipamento mostrou-se apto à confecção de placas *single side* e *double side*, permitindo a fabricação de trilhas com espessura mínima de 0,203 mm, evidenciando conseqüentemente sua utilidade na execução de projetos de sistemas eletrônicos com dimensões físicas reduzidas, permitindo inclusive o desenvolvimento de placas com tecnologia de montagem em superfície (SMT), entre outras possibilidades de uso. Trazendo assim, um saldo indiscutivelmente positivo em relação àquilo que foi proposto.

Palavras-chave: Placa de Circuito Impresso. Fotolitografia. Fotoexposição. Impressão UV.

ABSTRACT

In the electronics' scope and in the fields of academic studies linked to it, the production of printed circuit boards, known as PCBs, is undeniably a need. Thereby, it's require the obtencion devices that allow the creation of PCBs with greater rigor and quality, considering that investment in research mechanisms allows the promotion of activities. These findings led to the development of the FUV Project, whose objective was to develop semi-automatic equipment to perform the step of layouts' transfer to the plate through the technique of photolithography - photoexposure to ultraviolet (UV) radiation, in order to offer functionality and optimization in the development of teaching and research projects within the IFRN. This work is divided in two main parts: The algorithm, fundamental part of the equipment and refers to the code responsible for system control, and hardware which is subdivided into three small parts: The features related to lighting and maintenance, the control feature and the user interface elements. After production, the system presented excellent results, demonstrating success both in the electronic and in the manufacture of PCBs. In this point, in particular, before the tests performed, the equipment was able to manufacture single side and double side boards, allowing the manufacture of tracks with a minimum thickness of 0.203 mm, demonstrating its usefulness in the execution of projects of electronic systems with reduced physical dimensions, also allowing the development of boards with surface mounting technology (SMT), among other possibilities of use. Bringing thus, an unquestionably positive balance in relation to what was proposed.

Keywords: Printed Circuit Board. Photolithography. Photoexposure. UV Printing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| Figura 1: (a) Representação de um circuito de válvulas montado em um chassi metálico, e (b) Parte inferior do chassi, interligação dos componentes..... | 20 |
| Figura 2: Representação do processo produção de PCI por serigrafia..... | 22 |
| Figura 3: Representação do processo produção de PCI por transferência térmica. | 22 |
| Figura 4: Representação do processo de produção de PCI por desenho manual. ... | 23 |
| Figura 5: Modelo Comercial DFT 3040. | 28 |
| Figura 6: Representação do espectro eletromagnético com ênfase na faixa de ultravioleta..... | 30 |
| Figura 7: Exemplo de reator eletromagnético..... | 33 |
| Figura 8: Exemplo de reator eletrônico. (a) Equipamento envelopado, e (b) Visão interna do equipamento..... | 33 |
| Figura 9: Módulo relé. | 34 |
| Figura 10: Pinagem do transistor BD135. | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 11: Reed Switch..... | 37 |
| Figura 12: Representação da ação magnética sobre o Reed Switch..... | 38 |
| Figura 13: Arduino Nano. | 39 |
| Figura 14: Representação das conexões de um teclado matricial 4x4. | 40 |
| Figura 15: Um dispositivo conectado ao barramento, atuando como Master, e 3 dispositivos atuando como Slave, também conectados ao barramento..... | 41 |
| Figura 16: Terminais do Módulo Serial I2C. | 42 |
| Figura 17: Diagrama em blocos representativo do sistema proposto..... | 43 |
| Figura 18: Diagrama da metodologia executada no desenvolvimento do projeto. ... | 44 |
| Figura 19: Representação do circuito base utilizado para a programação..... | 46 |
| Figura 20: Fluxograma representativo da lógica dos comandos iniciais. | 47 |
| Figura 21: Fluxograma representativo da lógica de seleção das lâmpadas..... | 48 |
| Figura 22: Fluxograma representativo da lógica de seleção do tempo de processo..... | 49 |
| Figura 23: (a) Cabine UV e (b) lâmpada UV acesa..... | 51 |
| Figura 24: Fonte de 12 VDC. (a) Envelopada; e (b) desenvolvida com as conexões..... | 52 |
| Figura 25: Representação esquemática da instalação dos coolers. | 52 |
| Figura 26: Representação 3D do projeto da FUV. | 53 |
| Figura 27: Logotipo do projeto..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 28: Layout do circuito da placa-mãe: (a) imagem do projeto Ares Proteus, e (b) visão 3D do projeto. | 56 |
| Figura 29: (a) Falhas e lacunas obtidas devido ao processo de termotransferência; (b) correção das falhas de processo; (c) placa devidamente corroída, porém, com algumas falhas. | 57 |
| Figura 30: Layout do circuito dos LEDs sinalizadores. (a) Imagem do projeto Ares Proteus, e (b) visão 3D do projeto. | 58 |
| Figura 31: Representação do posicionamento das lâmpadas por nível (superior e inferior). | 59 |
| Figura 32: Luxímetro Digital utilizado. | 59 |
| Figura 33: Pontos do teste do luxímetro. | 60 |
| Figura 34: Indicação dos terminais do reator que são conectados ao relé. | 61 |
| Figura 35: Conectores utilizados para conexão dos reatores as lâmpadas. (a) Conectores macho ligados aos reatores; (b) conectores fêmea ligados nas lâmpadas; (c) conexão realizada. | 62 |
| Figura 36: Partes constituintes do encapsulamento de PVC: (a) Partes complementares da canaleta de PVC vazia; e (b) acomodação do Reed Switch para instalação da trava de segurança. | 63 |
| Figura 37: Projeto 3D do conjunto de blocos Reed Switch: (a) Compartimento para o Reed Switch, visão frontal; (b) compartimento para o ímã, visão frontal; (c) compartimento para o ímã, superior lateral; e (d) compartimento para o Reed Switch, superior lateral. | 64 |
| Figura 38: Fotolito do padrão gradiente. (a) Projeto do CAD Ares Proteus, e (b) Negativo invertido com o auxílio do Photoshop. | 66 |
| Figura 39: Placas de fibra de vidro com cobertura de cobre usadas na etapa 1 dos testes. (a) Placa sem filme fotossensível, e (b) Placa com filme fotossensível. | 66 |
| Figura 40: Fotolitos utilizados para a etapa 2 de testes. (a) Fotolito referente à fonte linear, e (b) Fotolito referente ao amplificador de instrumentação. | 67 |
| Figura 41: Placa de fibra de vidro com cobertura de cobre nas duas faces. | 67 |
| Figura 42: Demonstração das modificações feitas no teclado matricial utilizado. | 69 |
| Figura 43: Telas exibidas no display LCD em 8 momentos seguidos do processo de exposição. | 70 |
| Figura 44: Coolers instalados no equipamento. (a) Cooler de resfriamento dos circuitos, e (b) Cooler de exaustão da câmara de exposição UV. | 71 |

| | |
|---|-----|
| Figura 45: Equipamento montado: (a) Visão frontal: 1 - gaveta; (b) Visão superior: 2 - painel de controle; (c) Visão lateral; e (d) Visão traseira: 3 - fusível, 4 - interruptor e 5 - cabo de força. | 72 |
| Figura 46: Vista interna do equipamento, (a) Compartimento de exposição UV, (b) compartimento dos circuitos..... | 73 |
| Figura 47: Tampas removíveis dos compartimentos da cabine, (a) compartimento de exposição, (b) compartimento dos circuitos. | 73 |
| Figura 48: Representação esquemática da PCI da Placa-Mãe..... | 74 |
| Figura 49: Placas de circuito impresso produzidas. (a) Conexão do Arduino e dos periféricos; (b) PCI para os LEDs sinalizadores do painel. | 75 |
| Figura 50: Representação esquemática do chassi..... | 75 |
| Figura 51: Chassi produzido, visão panorâmica..... | 76 |
| Figura 52: Gráfico dos resultados do teste de uniformidade de distribuição luminosa no interior da cabine..... | 77 |
| Figura 53: Diagrama de densidade luminosa na face de exposição das placas. | 78 |
| Figura 54: Representação esquemática da instalação conjunto Reed Switch-ímã (encaixe cruzado)..... | 79 |
| Figura 55: Blocos do conjunto Reed Switch – Ímã. (a) Bloco do ímã fixado no final da gaveta; e (b) Bloco do Reed Switch fixado no fundo do equipamento. | 80 |
| Figura 56: Placas com o padrão gradiente pós corrosão, (a) Placa exposta em 30 segundos, (b) placa exposta em 3 minutos e (c) placa exposta em 6 minutos | 81 |
| Figura 57: Placa utilizada no teste 2: (a) Placa revestida com material fotossensível nas duas faces antes da exposição, (b) Lado inferior da placa após a exposição(c) Lado superior da placa após a exposição. | 82 |
| Figura 58: Processo de revelação do segundo teste. (a) Durante o procedimento (b) Após o procedimento. | 83 |
| Figura 59: Enquete - Pergunta 1. | 96 |
| Figura 60: Enquete - Pergunta 2. | 96 |
| Figura 61: Enquete - Pergunta 3. | 96 |
| Figura 62: Enquete - Pergunta 4. | 96 |
| Figura 63: Enquete - Pergunta 5. | 97 |
| Figura 64: Enquete - Pergunta 6. | 97 |
| Figura 65: Módulo I2C..... | 108 |
| Figura 66: Arduino Nano. | 108 |

| | |
|--|-----|
| Figura 67: Interruptor..... | 109 |
| Figura 68: LCD 16X2..... | 109 |
| Figura 69: Teclado matricial 4x4. | 109 |
| Figura 70: Módulo relé. | 110 |
| Figura 71: LED 3 mm vermelho..... | 110 |
| Figura 72: Reed Switch. | 110 |
| Figura 73: Cabine UV..... | 111 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|--------------------------------------|
| Tabela 1: Especificações do Arduino Nano..... | Erro! Indicador não definido. |
| Tabela 2: Pinagem do LCD 16X2..... | Erro! Indicador não definido. |
| Tabela 3: Custos para a fabricação da FUV..... | 84 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|---|
| A | Ampère; |
| ABS | Acrilonitrila butadieno estireno; |
| AC | <i>Alternating current</i> ; |
| CIs | Circuitos Integrados; |
| CC | Corrente contínua; |
| CIF | <i>Circuit Imprimé Français</i> ; |
| cm | Centímetro (s); |
| CPU | Unidade Central de Processamento; |
| EEPROM | <i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i> ; |
| FUV | Foto Expositora Ultravioleta Para Produção de Placas de Circuito Impresso; |
| GND | <i>Ground</i> ; |
| Hz | Hertz; |
| IFRN | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte; |
| I/O | Entrada/Saída; |
| I2C | <i>Inter-Integrated Circuit</i> ; |
| Kg | Quilograma; |
| kB | Quilobyte; |
| LCD | <i>Liquid Crystal Display</i> ; |
| LED | <i>Light Emitting Diode</i> ; |
| mA | Miliampere; |
| MDF | <i>Medium Density Fiberboard</i> ; |
| mm | Milímetro; |
| MHz | Megahertz; |
| min | Minutos; |
| NA | Normalmente Aberto; |
| NF | Normalmente Fechado; |
| nm | Nanômetro; |
| PCI | Placas de Circuito Impresso; |
| PCB | <i>Printed Circuit Board</i> ; |
| PhD | <i>Philosophiæ Doctor</i> ; |

| | |
|------------------|--|
| PVC | Policloreto de Polivinila; |
| SCL | Serial Clock; |
| SDA | Serial Data; |
| s | Segundos; |
| SMT | <i>Surface-Mount Technology</i> ; |
| SRAM | <i>Static Random Access Memory</i> ; |
| th | Thousandths, em português milésimos de polegadas |
| THT | <i>Through-hole technology</i> ; |
| USB | <i>Universal Serial Bus</i> ; |
| UV | Radiação ultravioleta; |
| UVA | Radiação ultravioleta de onda longa; |
| UVB | Radiação ultravioleta de onda média; |
| UVC | Radiação ultravioleta de onda curta; |
| V | Volt; |
| V _{AC} | Tensão de corrente alternada (<i>alternating current</i>); |
| V _{DC} | Tensão de corrente contínua (<i>direct current</i>); |
| V _{CEO} | Tensão emissor coletor; |
| V _{EBO} | Tensão base emissor; |
| V _{EE} | Tensão para ajuste de contraste; |
| V _{in} | Alimentação externa do Arduino; e |
| W | Watt. |

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|--------------------------------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 26 |
| 1.1.1 | Objetivo geral | 26 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 26 |
| 1.2 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 26 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 28 |
| 2.1 | MODELO COMERCIAL | 28 |
| 2.2 | PRODUÇÃO DE PCI POR FOTOLITOGRAFIA | 29 |
| 2.3 | RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA | 30 |
| 2.2.1 | Lâmpadas UV | 31 |
| 2.2.1.1 | Reatores | 32 |
| 2.2.1.2 | Módulo Relé | 33 |
| 2.3 | SEGURANÇA E MANUTENÇÃO | 35 |
| 2.3.1 | Exaustão e refrigeração do sistema | 35 |
| 2.3.1.1 | Cooler | 35 |
| 2.3.1.2 | Transistor BD135 | Erro! Indicador não definido. |
| 2.3.2 | Proteção do operador | 36 |
| 2.3.2.1 | Reed Switch | 36 |
| 2.4 | CONTROLE E TEMPORIZAÇÃO | 38 |
| 2.4.1 | Arduino | 38 |
| 2.5 | RECURSOS DE INTERFACE COM O OPERADOR | 39 |
| 2.5.1 | Teclado matricial | 39 |
| 2.5.2 | LCD | 40 |
| 2.5.2.1 | Módulo Serial I2C | 40 |
| 3 | METODOLOGIA | 43 |
| 3.1 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO | 43 |
| 3.2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 44 |
| 3.2.1 | Pesquisa: de campo e bibliográfica | 45 |
| 3.2.2 | Configuração básica e desenvolvimento da lógica de programação | 45 |
| 3.2.3 | Escolha e aquisição das lâmpadas | 50 |
| 3.2.4 | Obtenção e configuração dos <i>coolers</i> | 51 |
| 3.2.5 | Desenvolvimento estrutural | 53 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.2.6 | Desenvolvimento da placa-mãe | 55 |
| 3.2.7 | Instalação e chaveamento das lâmpadas | 58 |
| 3.2.8 | Instalação do <i>Reed Switch</i> | 62 |
| 3.2.9 | Testes e análise de funcionamento | 65 |
| 4 | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 68 |
| 4.1 | PESQUISA DE CAMPO | 68 |
| 4.2 | CONFIGURAÇÕES BÁSICAS E DESENVOLVIMENTO DA LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO | 69 |
| 4.3 | OBTENÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS <i>COOLERS</i> | 71 |
| 4.4 | DESENVOLVIMENTO ESTRUTURAL | 71 |
| 4.5 | DESENVOLVIMENTO DA PLACA-MÃE | 74 |
| 4.6 | ESCOLHA, AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DAS LÂMPADAS | 76 |
| 4.7 | INSTALAÇÃO DO REED SWITCH | 78 |
| 4.8 | TESTES E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO | 80 |
| 4.9 | CUSTOS | 83 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS | 86 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 89 |
| | APÊNDICE A - Pesquisa realizada | 96 |
| | APÊNDICE B - Código fonte | 99 |
| | ANEXO A - Componentes adquiridos virtualmente | 108 |

1 INTRODUÇÃO

A eletrônica é amplamente compreendida como a ciência que estuda as formas possíveis de controlar a energia elétrica, sendo, de modo mais abrangente, definida como o ramo da ciência e da engenharia que estuda a aplicação de circuitos constituídos por componentes elétricos e eletrônicos como também meios condutores e semicondutores de modo que esses atuem possibilitando funções como representação, armazenamento, transmissão ou processamento de informações, sem mencionar sua aplicação no controle de processos e mecanismos (FUENTES; NASCIMENTO, 2013).

Por se tratar de uma ciência relacionada à eletricidade que, em suma, é um campo de estudo da física, o desenvolvimento da eletrônica está diretamente atrelado às descobertas desta área científica. Partindo dessa perspectiva, tem-se no século XIX um período de grande fomento desse campo pois foi nesta época que diversos estudiosos foram, aos poucos, construindo o alicerce necessário para o posterior desenvolvimento pleno do que viria a ser de fato a eletrônica (LUQUETA, 2017).

Graças a todo o conhecimento acumulado durante décadas é que se fez possível, em 1904, a invenção das válvulas termoiônicas¹, criadas pelo físico John Ambrose Fleming². Estas válvulas representam o verdadeiro marco do início da eletrônica, isso porque, sendo o primeiro diodo criado, as válvulas possibilitaram o surgimento de muitos equipamentos e a criação de outros dispositivos eletrônicos, inaugurando o conceito de eletrônica atualmente conhecido, apresentado anteriormente (ABREU; FREITAS, 2017).

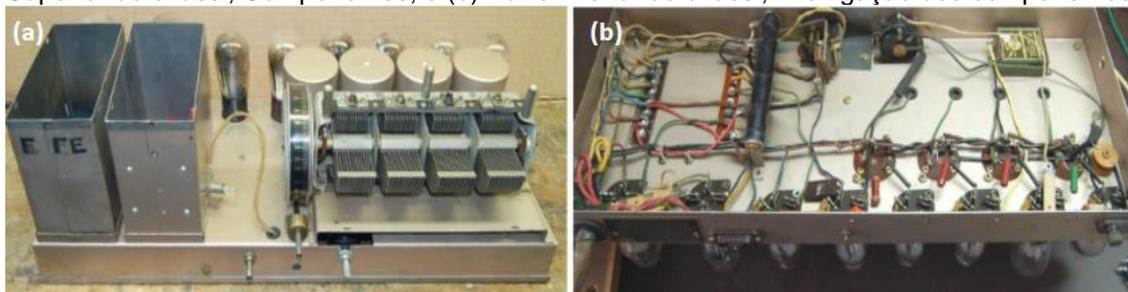
Estes dispositivos foram utilizados essencialmente no desenvolvimento de aparelhos de telecomunicações. Por serem relativamente grandes não havia preocupações significativas com a redução dos circuitos eletrônicos nem tão pouco

¹ **Válvulas termoiônicas** são diodos detetores para sinais de radiofrequência. Constituídas por uma lâmpada de filamento cercado por um cilindro metálico que libera elétrons quando aquecido por uma diferença de potencial aplicada, estas válvulas foram a base para a invenção e melhoramento do primeiro equipamento de rádio utilizando dispositivos termoiônicos (XAVIER, 2005)

² **John Ambrose Fleming (1849-1945)**: Foi um engenheiro eletrônico e físico britânico especialista em luz elétrica, fios telegráficos e telefonia. Foi responsável por encontrar uma solução viável para o chamado Efeito Edison, em 1880 (BRITANNICA, 2017).

com o resultado da montagem. Assim, a conexão entre os componentes era feita, em grande medida, através de fios ou, por muitas vezes, através de seus próprios terminais, como representa a Figura 1 (MEHL, 2011).

Figura 1: Representação de um circuito de válvulas montado em um chassi metálico: (a) Parte Superior do chassi, Componentes; e (b) Parte inferior do chassi, interligação dos componentes.



Fonte: MEHL (2011).

Não obstante, alguns engenheiros da época notaram a necessidade da criação de uma técnica de interligação de componentes que oferecesse mais solidez, compatibilidade e, por consequência, maior facilidade no manuseio dos circuitos. Desta forma, em 1925, o engenheiro norte americano Charles Ducas³ patenteou um método que deu origem a expressão “circuito impresso”, baseado na deposição de uma tinta condutiva sobre uma superfície isolante. Porém, apenas em 1936 o engenheiro austríaco Paul Eisler⁴ patenteou um método de produção de placas de circuito impresso (PCI) que realmente se difundiu, semelhante aos dos dias atuais, em que se corroíam regiões selecionadas de uma camada de cobre depositada sobre uma fina superfície isolante. Mas apenas em 1943, na Segunda Guerra Mundial, é que a produção de PCIs se propagou em função de necessidades militares, como por exemplo a confecção de equipamentos de rádio (MEHL, 2011).

Desde a sua origem as PCIs, ou PCBs (do inglês *Printed Circuit Board*) como também são chamadas, vêm se sofisticando, possuindo diferentes técnicas de produção e montagem. Sendo amplamente utilizadas pela indústria eletrônica, hoje existem máquinas e equipamentos de altíssima tecnologia capazes de produzir PCIs

³ **Charles Ducas (século XIX)**: Foi um engenheiro norte americano que, em 1925, registrou uma patente que propunha depositar uma tinta condutiva sobre um substrato isolante, dando origem à expressão “Circuito Impresso” (MEHL, 2011).

⁴ **Paul Eisler (1907-1992)**: Foi um engenheiro austríaco que ficou conhecido como o inventor das placas de circuito impresso. Em 1936, construiu um rádio que possuía como principal componente uma placa de circuito impresso e na Segunda Guerra Mundial, desenvolveu circuitos impressos em placas usadas em baterias antiaéreas dos países aliados (principalmente dos EUA) (MEHL, 2011).

com trilhas⁵ cada vez mais finas e precisas, fazendo assim com que essas, aliadas ao advento dos transistores e dos circuitos integrados, sejam uma das responsáveis pela minimização dos circuitos eletrônicos (VEIT, 2005).

O domínio da tecnologia de produção de PCIs não é indispensável apenas à indústria. Em uma escala de pesquisa, acadêmica ou experimental, ela é um recurso basilar para a implementação e aperfeiçoamento de projetos, especialmente quando se analisa tal fato nas diversas unidades do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) onde há um grande estímulo em pesquisas direcionadas à eletrônica. No entanto, como é sabido por todos da área, os recursos e técnicas utilizados na produção em pequena escala não são, e nem poderiam ser, idênticos aos industriais, em razão dos custos elevados que estes oferecem.

Uma tecnologia existente para a produção de PCIs em pequena escala consiste na utilização de máquinas prototipadoras. Estes equipamentos foram desenvolvidos com o intuito de reproduzir com alta precisão circuitos impressos em placas de cobre - de face dupla ou simples. Elas funcionam orientadas por um *software Computer-Aided Design (CAD)* onde arquivos são colocados e editados de acordo com a finalidade da impressão (RODRIGUES et. al., 2008). O modelo mais simples utiliza diversas brocas e fresas, onde cada uma desempenha uma função singular com a intenção de desenhar o circuito na placa pela remoção mecânica da camada de cobre, dispensando etapas como a corrosão (LÁZARO; SUMAR, 2017).

Porém, a utilização de tais equipamentos traz elevados custos de instalação e manutenção, tornando seu uso, em grande medida, inviável à prototipação experimental, sobretudo em ambientes acadêmicos. Devido a isso, raros são os casos em que instituições de ensino dedicadas à formação de mão-de-obra na área de eletrônica dispõem de equipamentos desse tipo e quando dispõem não podem mantê-las.

Na busca por processos de fabricação de PCIs mais acessíveis, discentes, docentes e autodidatas recorrem a técnicas fundamentalmente simples. Sendo as

⁵ **Trilhas** são os segmentos que correspondem aos fios de alimentação do circuito, estas devem ser dimensionadas de acordo com as faixas de corrente e a máxima queda de tensão admissível nos diversos ramos do circuito (RODRIGUES et. al., 2008).

mais recorrentes: a serigrafia⁶, a termotransferência⁷ e o desenho manual⁸, ilustradas, respectivamente, nas Figuras 2, 3 e 4.

Figura 2: Representação do processo produção de PCI por serigrafia.



Fonte: MAKE: (2017).

Figura 3: Representação do processo produção de PCI por transferência térmica.



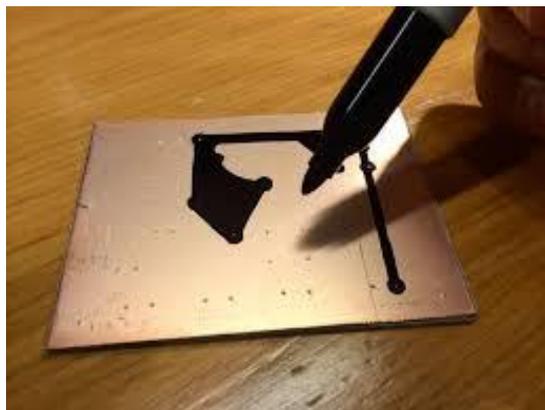
Fonte: MARTINS (2017).

⁶ A **serigrafia** ou *silk-screen* é um método de impressão que utiliza a técnica de aplicação de tinta através de um molde vazado. Ou seja, é necessário fazer um molde vazado, chamado também de tela, do desenho do circuito, em uma gráfica.

⁷ **Transferência térmica**, é, em geral, intitulada com a técnica na qual o projetista imprime seu *layout* em uma folha de papel fotográfico e, sobrepondo-a na superfície metálica da placa, aplica um ferro de passar roupas sobre a folha até que a imagem nela contida seja transferida para a placa (MEHL, 2011).

⁸ A técnica de **desenho manual** consiste unicamente em desenhar, com uma caneta de tinta permanente, o *layout* desejado sobre a placa de cobre sendo, indiscutivelmente a técnica mais simplória existente (MEHL, 2011).

Figura 4: Representação do processo de produção de PCI por desenho manual.



Fonte: LEMOS (2017).

Todavia, a técnica da serigrafia pode se tornar inviável dentro do contexto indicado visto que qualquer mínima mudança nas configurações da placa viria a exigir a confecção de uma nova tela que, por sua vez, não é um produto de tão baixo custo, principalmente sendo produzido para a impressão de alta resolução, que é a mais indicada. Em geral, os demais métodos apontados não proporcionam a confecção de um produto de qualidade, visto que um dos principais fatores que asseguram a qualidade da PCI em métodos que fazem uso de corrosão química é justamente a precisão com que o *layout*⁹ é aplicado na superfície metálica do substrato, no mais, a minuciosidade do processo implica também na diversidade de PCIs que podem vir a ser produzidas com ele.

Existem variados tipos de PCIs que são classificadas de acordo com as tecnologias de montagem aplicadas e os tipos de substratos utilizados, os métodos supracitados limitam o projetista à confecção de placas com tecnologia através de furos (THT¹⁰) e *single side*, ou seja, face única, dificultando ou mesmo impedindo a produção de circuitos mais sofisticados que utilizam tecnologia de montagem em superfície (SMT¹¹), de substrato flexível¹² ou mesmo *double side* (do inglês, dupla

⁹ **Layout** é o desenho esquematizado das trilhas de interligação entre os componentes elétricos. Esse layout serve como matriz na confecção das placas de circuito impresso (RODRIGUES et. al., 2008).

¹⁰ **THT** (do inglês *Through Hole Technology*) é a tecnologia onde o terminal do componente eletrônico é inserido na abertura da placa de circuito impresso através de furos e soldado (KUGLER, 2014).

¹¹ **SMT** (do inglês *Surface-Mount Technology*) é a tecnologia onde os componentes eletrônicos são montados na superfície da placa de circuito impresso (KUGLER, 2014).

face). Tais métodos alternativos limitam também a confecção de circuitos mais compactos, com trilhas mais estreitas, o que, como já dito, é extremamente necessário dentro da eletrônica moderna (KUNGLER, 2014). No mais, além da projeção do *layout* à placa, outra dificuldade oferecida por técnicas como as citadas é a inserção de legendas de componentes sobre as PCIs finalizadas, que é um elemento crucial na agregação de profissionalismo às mesmas.

De toda forma as técnicas de transferência térmica e o desenho manual são até certo ponto eficientes, contudo, se adequam unicamente ao desenvolvimento de PCIs de modo eventual e descomprometido. Em se tratando de PCIs produzidas para fins acadêmicos ou mesmo empreendimentos eletrônicos demanda-se um processo mais homogêneo, idôneo, que assegure maior precisão a circuitos mais complexos, e que além disso favoreça o projetista no sentido da minimização e repetibilidade do produto criado. Pois, assim como outros campos científicos, a eletrônica está em constante desenvolvimento e, de tal modo, sujeita a inúmeras propostas de inovação. Assim, tais propostas devem ser, conseqüentemente, devidamente amparadas por uma estrutura que as permita evoluir.

Dentre os métodos de produção de PCIs que se enquadram nas necessidades indicadas, o método denominado de fotolitografia oferece um caráter mais profissional à fabricação de PCIs experimentais, sendo um dos poucos processos utilizados na indústria apto a ser reproduzido em pequena escala, possibilitando a elaboração de placas com trilhas mais finas e com melhor acabamento, alta reprodutibilidade e possibilidade de produção em pequena e larga escala (LOPES, 2017).

Esta técnica, assim como as anteriores, também necessita de corrosão química, porém, para a realização da transferência do *layout* à placa faz-se uso da exposição da mesma à luz ultravioleta (UV) por meio da aplicação de um fotolito¹³ sobre uma camada de polímero fotossensível (BASSAN; CUSTÓDIO, 2014). Para execução de tal técnica faz-se necessário, em suma, uma câmara de exposição

¹² **Substrato flexível** é o tipo de substrato produzido através da combinação de materiais poliméricos e pós-cerâmicos resultando em um material flexível e com características de ambos os materiais, sendo, portanto, de natureza dobrável e com aspecto plástico (CAVALCANTE, 2014).

¹³ **Fotolito** é um filme transparente, uma espécie de meio plástico, feito de acetato. Modernamente, com o uso de impressoras laser e computadores, o fotolito pode ser à base de acetato, papel vegetal ou laser filme (MESQUITA, 2017).

ultravioleta (UV) para a transferência do padrão do circuito do fotolito para o polímero fotossensível. Apesar de não ser um equipamento de altíssima complexidade os seus exemplares disponíveis no mercado possuem preços bastantes elevados.

Optando-se pelo uso de um equipamento de mercado, dentro de ambientes como os mencionados, tal método poderia tornar-se inexecutável em razão dos custos dos mesmos. Avaliando os custos das câmaras ultravioleta comerciais, tem-se o valor médio de aproximadamente € 1065 (R\$ 4297,87¹⁴) sem considerar impostos e taxas adicionais de importação (pela não comercialização das mesmas no Brasil) (TECHNOLOGY, 2017), sendo este valor já não adequado ao orçamento de muitas instituições.

Tal problemática, como descrita, é concernente à área de eletrônica de modo geral. Isto posto, considerando a incongruência existente entre a inferida necessidade do recurso apontado e a dificuldade de obtenção em razão do seu custo, foi idealizado este projeto, cujo objetivo é projetar e construir uma câmara de exposição UV de baixo custo que viabilize a produção de PCIs por fotolitografia no IFRN - Campus Natal Zona Norte. Tal projeto, uma vez reproduzido em outros ambientes de produção de PCIs com poucos recursos financeiros, pode tornar-se um instrumento capaz de oferecer praticidade e profissionalismo ao desenvolvimento de projetos.

Deste modo, este trabalho constitui-se do projeto, fabricação e testes de um equipamento de exposição UV, produzido com materiais de menor custo, contendo sistemas temporizadores e de controle, que são utilizados com o intuito de automatizar o processo de transferência de imagens para as superfícies das placas.

Do ponto de vista prático, espera-se que o resultado deste trabalho contribua no sentido de ampliar os conhecimentos na área da eletrônica e sirva também de referência para outros acadêmicos, visando proporcionar maior eficiência e funcionalidade no campo da eletrônica, buscando também disponibilizar à comunidade acadêmica uma alternativa eficiente e economicamente viável para a produção de PCIs.

¹⁴ Conversão realizada de acordo com a cotação do euro do dia 12 dezembro de 2017 de aproximadamente R\$ 4,035.

1.1 OBJETIVOS

Para melhor entendimento do projeto, seus objetivos, geral e específicos, são descritos abaixo de maneira sucinta.

1.1.1 Objetivo geral

Projetar, fabricar e validar uma câmara de exposição eletronicamente controlada para aplicação de radiação ultravioleta em processos de fabricação de PCBs, de modo a oferecer funcionalidade no desenvolvimento de projetos de ensino, pesquisas e inovação em circuitos eletrônicos desenvolvidos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver uma câmara de exposição de radiação ultravioleta capaz de oferecer funcionalidade e segurança no desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos;
- Reduzir as dimensões físicas do equipamento criado em relação ao referencial existente e facilitar o seu manuseio a fim de otimizar a criação de protótipos com o maquinário desenvolvido;
- Construir tal equipamento buscando uma alternativa que permita reduzir os custos, facilitando, assim, o desenvolvimento de projetos eletrônicos; e
- Contribuir na profissionalização do método de produção de PCBs dentro de ambientes de pesquisa e fabricação de protótipos no IFRN.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 3 grandes tópicos – introdução, desenvolvimento e conclusão – que, em suma, se distribuem em 5 capítulos. No primeiro, a introdução, apresenta-se uma visão geral acerca da história da eletrônica, enfatizando a fabricação de placas de circuito impresso e o real impacto causado por elas, dessa forma contém intrinsecamente a problemática e a

justificativa que sustêm o presente trabalho, contendo, também, os objetivos da pesquisa em questão.

O desenvolvimento do trabalho expõe subtópicos que são substanciais para a compreensão integral do projeto. Esse, fundamenta-se em 2 capítulos: a fundamentação teórica, que disserta sobre os principais conceitos teóricos que foram utilizados, bem como as ferramentas utilizadas para a execução do mesmo; e a metodologia, que mostra detalhadamente como e com o que o projeto foi concretizado.

Por fim, no último tópico, a conclusão, dividido em mais dois capítulos, são expostos a apresentação dos resultados obtidos e respectivas discussões; e as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Essa seção discorre sobre os principais conceitos teóricos necessários para a compreensão do conteúdo presente neste trabalho, assim como, acerca das ferramentas necessárias à execução do mesmo. Trata-se dos conceitos pertinentes ao processo de fotolitografia e dos mecanismos indispensáveis à confecção da fotoexpositora.

2.1 MODELO COMERCIAL

A unidade profissional da DFT 3040, fabricada pela empresa CIF, é uma das principais referências que foi utilizada para desenvolvimento do presente trabalho. Trata-se de um modelo comercial de fotoexpositora ultravioleta para bancada, exibida na Figura 5.

Figura 5: Modelo Comercial DFT 3040.



Fonte: INDUSTRY (2017).

Tal equipamento apresenta peso de aproximadamente 34 Kg e dimensões, compatíveis ao seu manuseio, de 57 cm por 60 cm e 21 cm de altura. Além de 12 tubos de lâmpadas UV distribuídas com 6 na parte superior e 6 na parte inferior, todas de 15 W cada, um temporizador elétrico com display digital, uma bomba de vácuo, uma gaveta com uma janela gráfica e necessita de um fornecimento elétrico de 230 V/60 Hz. Todos esses itens proporcionam um ótimo desempenho ao equipamento que, como o nome *Double Side UV Exposure Unit* sugere (em português, Unidade de Exposição em Dois Lados) pode ser habilitada para funcionar apenas com as lâmpadas superiores ou inferiores, ou eventualmente com ambas as lâmpadas simultaneamente ligadas, tudo dependendo da necessidade do projeto

desenvolvido (INDUSTRY, 2017). Esse equipamento assim como outros semelhantes a ele não é produzido no Brasil, de modo que sua aquisição só pode ser feita via importação.

2.2 PRODUÇÃO DE PCI POR FOTOLITOGRAFIA

A fotolitografia é uma espécie de evolução dos processos de fotogravura envolvendo a tecnologia de sensibilização de polímeros fotossensíveis por meio da radiação ultravioleta. A sensibilização por radiação ultravioleta é uma tecnologia comumente empregada em processos de impressão gráfica de larga escala, principalmente, na fabricação de rótulos, etiquetas autoadesivas e PCIs industriais, como já indicado anteriormente (BON, 2001).

O referido processo ocorre basicamente da seguinte forma: o polímero fotossensível, na forma de tinta ou filme (mais utilizado na indústria) é aplicado sobre a superfície de um substrato, formando uma fina camada. No caso do uso da tinta, para garantir uma camada fina e uniforme, o substrato é submetido a um processo de centrifugação, sendo posteriormente sujeito a um procedimento de secagem em forno com temperatura controlada. Após a secagem o substrato é exposto seletivamente a radiação UV, quando as regiões expostas são sensibilizadas rapidamente, nessa etapa faz-se uso de um fotolito que contém os padrões gráficos dos circuitos a serem produzidos. A agilidade do procedimento dar-se em virtude de que ao absorver a radiação UV ocorrem modificações nas cadeias poliméricas da tinta (ou filme) exposta. Quando submetido ao processo de revelação, as regiões do polímero que foram expostas a radiação comportam-se de maneira oposta às aquelas não expostas. Dessa forma, os fotopolímeros podem ser do tipo positivo ou negativo, quando positivo as regiões não expostas são removidas na revelação, por outro lado, quando negativo ocorre o contrário, ou seja, na revelação remove-se as regiões do polímero que foram expostas a radiação UV (SOUZA, 2008).

A tecnologia de modificação polimérica por UV existe desde a década de 1940, entretanto só teve a aplicação realmente difundida no início da década 1970 quando os fabricantes de tintas, máquinas e lâmpadas passaram a investir mais no mercado desta tecnologia tendo em vista a gama de vantagens oferecidas por ela, como exemplo a rapidez do processo, redução da emissão de solventes,

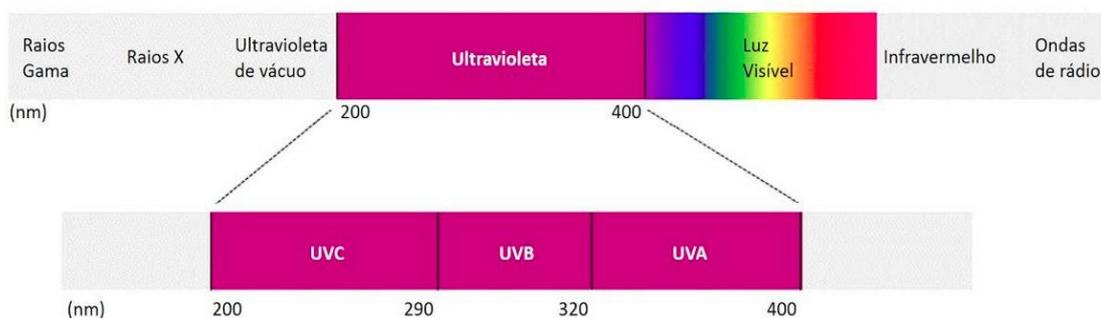
possibilidade de impressão sobre diversos materiais, possibilidade de impressão frente e verso simultânea e qualidade superior do acabamento (BON, 2001).

2.3 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta, descoberta em 1801 pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter¹⁵, consiste em ondas eletromagnéticas com comprimento na faixa de 100 nm a 400 nm. As ondas eletromagnéticas, primeiramente vistas por James Clerk Maxwell¹⁶ e depois confirmadas por Heinrich Hertz¹⁷, são ondas que, em suma, combinam propriedades elétricas e magnéticas (PENTEADO E TORRES, 2005).

As ondas são ordenadas de acordo com a sua frequência, ou com seu comprimento, em um arranjo chamado de espectro eletromagnético. A Figura 6 traz a representação do espectro eletromagnético formado pelas ondas eletromagnéticas conhecidas (DARTORA, 2015).

Figura 6: Representação do espectro eletromagnético com ênfase na faixa de ultravioleta.



Fonte: CURSI (2017).

Através do espectro é possível observar que a radiação ultravioleta não faz parte do conjunto de ondas eletromagnéticas classificadas como luz visível, ou seja, tendo um comprimento de onda menor, a radiação na faixa do UV não pode ser observada pelo olho humano. Contudo, as ondas de luz invisível, como podem ser

¹⁵ **Johann Wilhelm Ritter (1776-1810):** Foi um químico e físico alemão responsável pela descoberta da faixa ultravioleta do espectro eletromagnético. Começou a fazer experiências com o cloreto de prata e descobriu que o processo era mais eficiente na presença de radiação "invisível", situada para além do limite violeta do espectro (BERG, 2008).

¹⁶ **James Clerk Maxwell (1831-1879):** Foi um físico e matemático britânico que ficou conhecido por ter dado uma forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a ótica (CAMPBELL; GARNETT, 2017).

¹⁷ **Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894):** Foi um físico alemão responsável pela descoberta das ondas eletromagnéticas em 1888, tendo sido atribuído à unidade de frequência o seu nome, em sua homenagem. (CARVALHO, 2007).

chamadas, são geradas pelos mesmos processos que criam a luz visível, no caso, pela transição de elétrons excitados que passam de níveis orbitais mais energéticos para menos energéticos, emitindo como consequência, fótons cuja energia está relacionada com os comprimentos de onda que caracterizam a radiação em questão (SILVA, 2017).

A radiação ultravioleta é, sobretudo, singular por sua elevada ação química e por provocar a excitação da fluorescência de diversas substâncias. Um dos seus meios de classificação é baseado na sua faixa de comprimento de onda, que pode ser o UVA (400-315 nm - UV longo ou luz negra), UVB (315-280 nm - UV médio) e UVC (280-100 nm - UV curto ou germicida). É interessante salientar que as faixas de radiação não são exatas e quanto mais distantes do espectro visível se encontram, mais agressivas elas são (SEELING, 2017).

2.2.1 Lâmpadas UV

Uma fonte de radiação nunca produz ondas de uma única frequência, mas sim uma grande mistura delas. O sol, por exemplo, produz uma grande porção de luz visível mas também emite ondas na faixa do ultravioleta. As lâmpadas funcionam da mesma maneira, isto é, não existem lâmpadas que emitem apenas um determinado tipo de luz, nem mesmo as lâmpadas UV emitem exclusivamente ondas ultravioletas. Na verdade, muitas lâmpadas produtoras de luz visível são fontes de radiação UV, no entanto, o que ocorre é que essas lâmpadas têm mecanismos que convertem as radiações UV em luz visível além de obstruírem a passagem do espectro UV, enquanto as lâmpadas ultravioletas, por sua vez, não realizam tal obstrução ou mesmo a tem, porém de maneira moderada (BARROSO; WOLFF, 2009).

As lâmpadas de vapor de mercúrio são a principal fonte sintética de luz UV. Elas, que tem seu funcionamento similar ao das fluorescentes, quando submetidas a uma diferença de potencial suficientemente grande, capaz de possibilitar a passagem de corrente elétrica pelo seu interior de baixa pressão provocam a emissão da radiação UV, por meio da passagem de elétrons pelo vapor de mercúrio.

Existem lâmpadas UV dentro dos três níveis do comprimento de onda (UV-A, UV-B e UV-C). As lâmpadas utilizadas neste trabalho emitem essencialmente

radiação UVA – de acordo com dados fornecidos pelos fabricantes e pesquisas relacionadas – que é a mais próxima do espectro visível, portanto, menos agressiva à saúde. Esta radiação não agride a visão humana de maneira intensamente lesiva, não possui atividades pigmentárias e eritematosas sobre a pele humana, e atravessam praticamente todos os tipos de vidros comuns. Conquanto, ainda merecem cuidados em relação ao excesso de exposição (LUZ, 2017).

2.2.1.1 Reatores

As lâmpadas de vapor de mercúrio, assim como as demais lâmpadas de descarga, são equipamentos que necessitam para o seu funcionamento da atuação de dispositivos chamados de reatores. Também denominados de balastos, termo adaptado do inglês Ballast que traz o sentido de lastro, peça de equilíbrio, os reatores são dispositivos com papel determinante no funcionamento de lâmpadas de descarga, tendo basicamente duas funções: Produzir um impulso elétrico com capacidade de iniciar o processo de ionização dentro da lâmpada - isso no processo de acionamento - e, já durante seu funcionamento, limitar sua corrente, de modo que, sem seu uso a lâmpada teria sua vida útil significativamente diminuída, ou, até mesmo poderia chegar a explodir devido a uma ionização excessiva ou descontrolada (ELETRÔNICO, 2017).

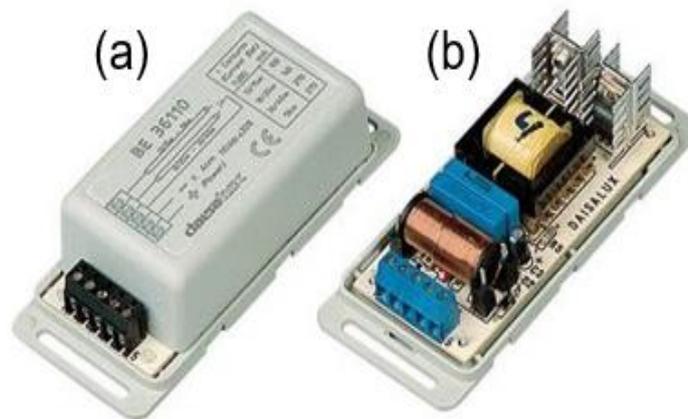
Existem reatores de diversos tamanhos e modelos adequados aos mais variados tipos de lâmpadas estes podem ser encontrados de três formas: eletrônicos, eletromagnéticos ou até mesmo híbridos (que combinam as características dos dois tipos supracitados). Os reatores eletromagnéticos, foram os primeiros a serem criados e são constituídos por bobinas metálicas especiais, que trabalham em conjunto com os chamados iniciadores e condensadores e tem seu funcionamento baseado na ação do campo magnético gerado. Esses tipos de reatores são em grande maioria, pesados e irradiam uma grande quantidade de calor durante o seu funcionamento. Os reatores eletrônicos desempenham as mesmas funções dos eletromagnéticos porém, por sua vez, fazem isso utilizando componentes eletrônicos (capacitores, transistores, resistores, etc.) conseqüentemente são menores - tanto em dimensões quanto em peso - e dissipam menos energia. As Figuras 7 e 8 representam os dois tipos reatores mencionados.

Figura 7: Exemplo de reator eletromagnético.



Fonte: BALASTRO (2017).

Figura 8: Exemplo de reator eletrônico: (a) Equipamento envelopado, e (b) Visão interna do equipamento.



Fonte: CONVERTOR (2017).

2.2.1.2 Módulo Relé

Os reatores são imprescindíveis para o acionamento das lâmpadas, no entanto para o controle desse acionamento faz-se necessário um dispositivo de chaveamento de potência, recorrendo-se assim ao uso do relé.

Após a descoberta, em 1830, e posterior publicação da auto-indução por Joseph Henry¹⁸, em 1832 foi lançado um novo componente eletrônico, o relé. (MCDONALD; HUNT, 1982). Um relé pode ser definido como um dispositivo comutador eletromecânico.

Nas proximidades de um eletroímã é posicionada uma armadura móvel de metal ferroso, que tem por finalidade controlar um jogo de contatos. Quando a

¹⁸ **Joseph Henry (1797-1878):** Foi um cientista estadunidense que descobriu o fenômeno eletromagnético chamado indução eletromagnética ou auto-indutância e a indutância mútua, em 1830. (CURCIO; CARDOSO; BATISTA, 2017; JESZENSKY, 2004).

bobina é percorrida por uma corrente elétrica, um campo magnético é criado, atuando sobre a armadura e provocando sua atração. Com essa atração, a armadura e, conseqüentemente, os contatos se movimentam, o que faz com que o contato móvel se encoste ou afaste do contato fixo inferior, criando assim terminais de estados normalmente aberto e normalmente fechado (BRAGA, 2012).

O que determina a utilização de um relé em uma aplicação prática são suas características e o entendimento dessas é fundamental para a escolha do tipo ideal. Uma dessas características é que ele pode ser energizado com correntes muito pequenas em relação à corrente que o circuito controlado exige para funcionar. Isso significa a possibilidade de controlar circuitos de altas correntes como motores e lâmpadas, diretamente a partir de dispositivos eletrônicos pouco robustos como transistores, e CIs. Dessa forma, protege-se o circuito de controle que se mantém isolado galvanicamente do circuito de potência (BRAGA, 2012).

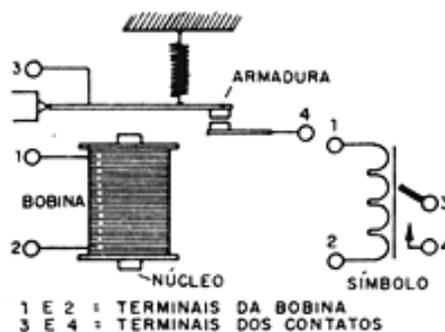
O módulo relé por sua vez é, de maneira sucinta, uma PCI que contém um relé e os terminais de conexão do circuito de controle e o de potência, como representado na Figura 9. A Figura 10 traz a representação simplificada do relé.

Figura 9: Módulo relé.



Fonte: MODULO (2017).

Figura 10: Representação interna do relé.



Fonte: BRAGA, 2012

2.3 SEGURANÇA E MANUTENÇÃO

Como exposto no capítulo de introdução deste trabalho, tem-se o “fornecimento de funcionalidade e segurança no equipamento” como alguns dos objetivos estabelecidos, de tal modo que se fez necessário o estudo das demandas que se enquadram nesses pontos, bem como, dos recursos e alternativas que poderiam ser aplicadas para o cumprimento eficaz das mesmas. Assim sendo, os conteúdos pertinentes às referidas questões estão elencados no decorrer desse tópico.

2.3.1 Exaustão e refrigeração do sistema

A radiação UV pode gerar, recorrentemente, a formação de gases, como o gás ozônio que é gerado pelo contato desta com o ar (BON, 2001).

Mesmo assim, existe a necessidade do sistema de foto-exposição UV dispor de um mecanismo de exaustão principalmente para a dispersão do ozônio gerado, pois seu acúmulo na área de exposição provoca a queda do rendimento da lâmpada. Todavia, é válido ressaltar que o ozônio, quando disperso no ar se decompõem rapidamente em oxigênio, dessa forma, sua liberação não é danosa à saúde nem ao meio ambiente (BON, 2001).

No mais, além do acúmulo de gases, a ação prolongada das lâmpadas provoca o aquecimento do sistema. Mesmo sendo sabido que o uso de lâmpadas de baixa potência contribui consideravelmente para a atenuação do efeito Joule¹⁹, pela quantidade de lâmpadas que um sistema como o proposto requer faz-se necessário a presença de um recurso de refrigeração, tanto para o espaço de isolamento luminosa quanto para a região do circuito elétrico-eletrônico.

2.3.1.1 Cooler

O *Cooler* (resfriador), como a tradução para o português explicita, é um equipamento de refrigeração, que pode assumir diversas formas. O *Air Cooler*,

¹⁹ A **lei de Joule** (também conhecida como efeito Joule ou efeito térmico) é uma lei física que expressa a relação entre o calor gerado e a corrente elétrica que percorre um condutor em determinado tempo.

também chamado de ventoinha, consistente basicamente em um pequeno ventilador movido por um motor CC de baixa tensão, sendo o tipo de *Cooler* mais comumente utilizado em sistemas computacionais, por ser, dentre outras coisas, o mais barato. Dessa forma, é um equipamento de baixo custo e de fácil aquisição, tanto em lojas especializadas quanto em carcaças dos próprios equipamentos em que atua, como fontes chaveadas, notebooks e CPUs (LIMA, 2012).

O *Cooler* pode ser utilizado também como sistema de exaustão²⁰, pois, mesmo não sendo um exaustor no imo de sua definição, ele pode promover o transporte e a retirada do ar impuro no interior de um equipamento através do fluxo de ar gerado (DIMENSIONAMENTO, 2011).

2.3.2 Proteção do operador

Além dos problemas de emissão gasosa provocados pela ação da radiação ultravioleta, ela ainda pode ser danosa à saúde, como já mencionado no tópico referente a natureza do espectro UV.

Mesmo se tratando de radiação ultravioleta do tipo UVA, tecnicamente não muito agressiva à saúde humana, dentro do contexto do equipamento, a exposição de uma pessoa à luz emitida já representaria uma exposição em excesso, visto a quantidade de lâmpadas que são utilizadas. Logo, um eventual contato com a luz poderia ser capaz de causar lesões, principalmente, à visão do usuário.

Por conseguinte, se fez necessário, dentro do sistema, um recurso de trava que, bloqueia a continuidade do procedimento caso o equipamento esteja aberto; assim, protegendo o usuário dos efeitos da radiação produzida.

2.3.2.1 Reed Switch

Inventado em 1936 por Walter B. Elwood²¹, o *Reed Switch* (Figura 11) é uma chave ativada por um campo magnético (gerado por um ímã permanente ou por uma

²⁰ **Sistema de Exaustão** é o agrupamento dos equipamentos e recursos que conjuntamente executarem a função de captar, transportar e retirar o ar impuro dos ambientes. Essencialmente os equipamentos exaustores funcionam com a aspiração do ar (PANIAGO, 2017; AMBIENTAL, 2017).

²¹ **Walter B. Elwood (1902-1960)**: Foi um PhD veterano de pesquisa em física do *Bell Telephone Laboratories*. Realizou mais de 30 patentes de circuito magnéticos, dispositivos de comutação e

bobina) que é constituída por um par de contatos ferrosos fechados no vácuo dentro de um tubo de vidro; cada contato é selado nas extremidades opostas do mesmo. O tubo de vidro pode ter cerca de 10 mm de comprimento por 3 mm de diâmetro e o contato pode ser normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF). Ao se aproximar de um campo magnético, os contatos se unem e fecham o circuito elétrico. A rigidez destes fará com que se separem quando o campo magnético desaparecer. Para garantir a durabilidade, a ponta dos contatos é banhada por um metal precioso (REED, 2010).

Figura 10: *Reed Switch*.

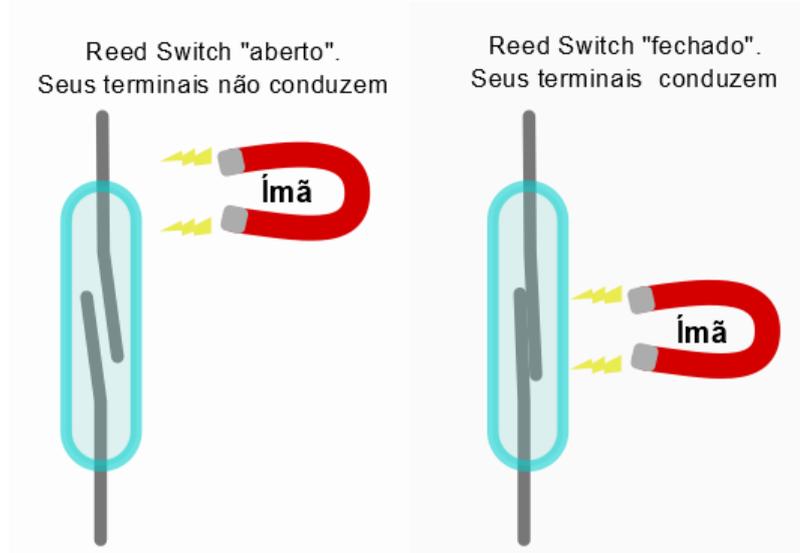


Fonte: REED (2017).

Os *Reeds Switches* são projetados com base no tamanho do campo magnético contra o qual eles devem agir. A sensibilidade de seus contatos é alterada variando a liga com a qual eles são fabricados, modificando sua rigidez e seu coeficiente magnético. O ciclo de operação máxima é aproximadamente 500 vezes por segundo, o número de ciclos de vida depende da carga, mas geralmente se pode obter mais de 100 milhões de operações. Eles são amplamente utilizados no mundo moderno como partes de circuitos elétricos. Um uso muito difundido pode ser encontrado nos sensores das portas e janelas dos alarmes anti-roubo, o ímã fica preso à porta e o interruptor da lingueta no quadro. Contudo a chave apresenta contatos muito pequenos e delicados para que ele não possa lidar com grandes valores de tensão ou corrente que provocam faíscas em seu interior e afetam a sua vida útil. Além disso, grandes valores de corrente podem derreter os contatos e o campo magnético gerado pode desmagnetizá-los (BRAGA, 2017).

processos de produção, incluindo o *reed switch* que hoje é usado em todo mundo (MCLAUGHLIN, 1966; WOODFORD, 2017).

Figura 11: Representação da ação magnética sobre o *Reed Switch*.



Fonte: As autoras (2017).

2.4 CONTROLE E TEMPORIZAÇÃO

O controle do funcionamento de um processo é essencial para a obtenção dos resultados esperados, e torná-lo automático é crucial na busca por um maior rigor de produção. Conseqüentemente, o sistema de controle do equipamento deve dispor de um elemento controlador que não só administre o tempo de execução do processo como também todos os elementos pertinentes a ele, como rotinas de segurança e sinalizações de final de processo e erros de execução, por exemplo.

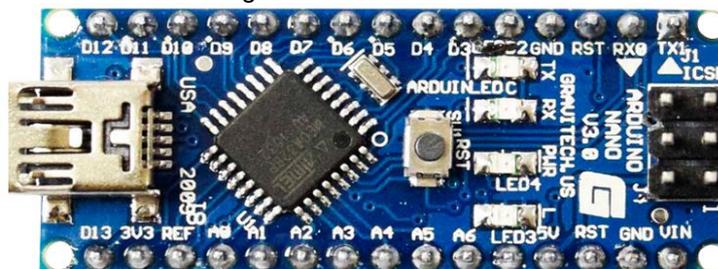
2.4.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma *open-source* (código aberto) projetada para confecção de protótipos eletrônicos, sendo elaborada com *hardware* e *software* flexível e de fácil uso. Em suma, o Arduino é composto por um microcontrolador Atmel e circuitos de entrada e saída, sendo programado segundo uma linguagem baseada em C/C++ (MELO; BARANIUK, 2012), existindo diversos modelos e versões distintas que se diferenciam uns dos outros pelo tipo e pela quantidade de portas existentes. Dessa forma, a necessidade do projetista determina a escolha do modelo a ser utilizado (MCROBERTS, 2011).

Para este projeto, foi escolhido o Arduino Nano, mostrado na Figura 13. Tal modelo é baseado no microcontrolador ATmega328 e possui entre outros recursos, 8 terminais de entrada/saída analógicas e 14 entradas digitais que trabalham com 5

V e podem fornecer ou receber apenas 40 mA de corrente em cada um deles (THOMSEN, 2017).

Figura 12: Arduino Nano.



Fonte: THOMSEN (2017).

O Nano é uma versão feita para ser acoplada a uma protoboard e possui uma porta USB acoplada. Ele é a menor versão e a mais completa das placas Arduino, podendo ser usado diretamente na protoboard com uma conexão mini USB que maximiza o espaço restante, podendo ser alimentado por uma conexão mini-B USB, por uma fonte externa não regulada de 6 a 20 Volts (terminal 30), ou por uma fonte externa regulada de 5 V (terminal 27). O ATmega328 no Nano tem 16 kB de memória flash para armazenamento de código (dos quais 2 kB são usados pelo bootloader) e possui 2 kB de SRAM e 1 kB de EEPROM (que podem ser lidos ou escritos com a biblioteca EEPROM) (ARDUINO, 2017).

2.5 RECURSOS DE INTERFACE COM O OPERADOR

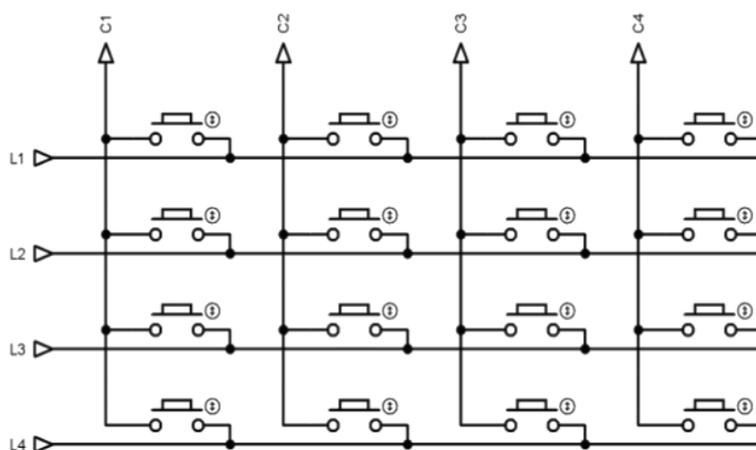
Interface, do inglês *interface* (superfície de contato), faz referência aos elementos que permitem a comunicação do operador com o sistema, sejam estes de recepção ou envio de dados. Qualquer sistema que requer comandos de um usuário necessita de elementos que possibilitem essa interação. O sistema de controle da fotoexpositora proposta foi pensado de modo que para o acionamento das lâmpadas UV e parâmetros como tipo de exposição (apenas superior, apenas inferior ou superior e inferior) e tempo de exposição sejam configurados pelo usuário.

2.5.1 Teclado matricial

O teclado é um dispositivo especificamente desenvolvido para aplicações nas quais o usuário precisa interagir com um sistema, sendo uma de suas principais vantagens a redução e simplificação do circuito de controle, onde a utilização de botões individualizados, exigiria a alimentação e leitura de cada botão.

Os teclados matriciais, como indicado no nome, possuem as teclas conectadas de modo a formar uma matriz de botões organizados em linhas e colunas, como mostra a Figura 14, tal arquitetura viabiliza a alimentação e controle do sistema, mesmo considerando o número limitado de entradas e saídas disponíveis na plataforma utilizada (CUSTÓDIO, 2017).

Figura 13: Representação das conexões de um teclado matricial 4x4.



Fonte: CUSTÓDIO (2017).

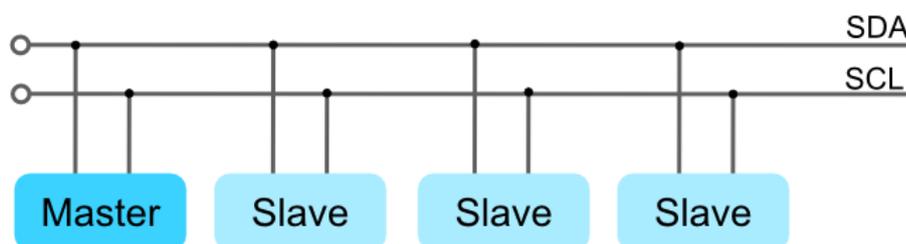
2.5.2 LCD

O LCD (*Liquid Crystal Display* - Display de Cristal Líquido) é um tipo de dispositivo capaz de realizar a exibição de imagens fazendo uso da combinação entre dois estados da matéria, o sólido e o líquido, apresentando características desses dois estados de acordo com a eventual necessidade do projetista. Em grande parte dos LCDs utilizados em conjunto com microcontroladores, cada pixel é constituído por uma célula de opacidade variável. Os módulos LCDs são classificados pela quantidade de células, ou seja, o número de caracteres por linha e o número de linhas, o módulo utilizado no projeto consiste em uma matriz 16x2 (dezesseis caracteres em duas linhas) (PEREIRA, 2010).

2.5.2.1 Módulo Serial I2C

O termo I2C significa *Inter-Integrated Circuit*, e é, basicamente, um protocolo de barramento que estabelece comunicação entre dispositivos que utilizam a comunicação I2C, ou seja, com os mesmos fios é possível conectar todos os dispositivos do *setup*, como é possível observar na Figura 15. O módulo trabalha no modelo *master-slave*, com pelo menos um dispositivo atuando como *master* e os demais como *slave*. A função do *master* é coordenar a comunicação, sendo ele o responsável por enviar informações a determinado *slave* ou consultar determinada informação (I2C, 2017).

Figura 14: Um dispositivo conectado ao barramento, atuando como *Master*, e 3 dispositivos atuando como *Slave*, também conectados ao barramento.

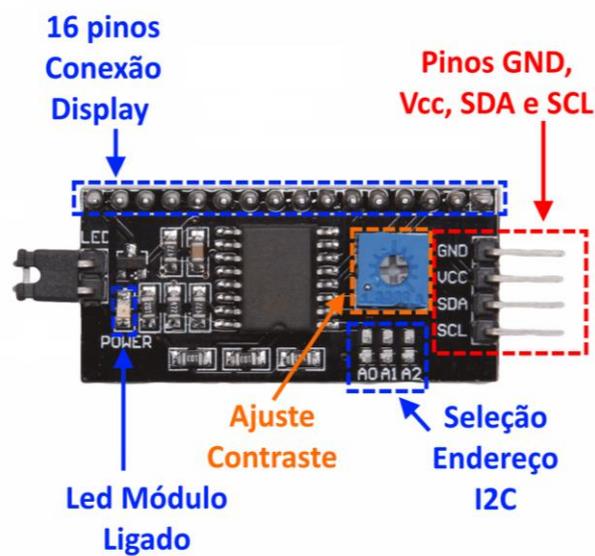


Fonte: As autoras (2017).

Com este módulo é possível controlar o *display* LCD utilizando apenas dois terminais, sendo essa uma das características que mais agregam valor ao I2C, porquanto muitas vezes a quantidade de terminais do Arduino é limitada e assim é possível reduzir a quantidade de conexões do LCD com o mesmo.

O módulo I2C utilizado nesse trabalho possui 16 terminais para realizar a conexão com o *display*, um potenciômetro para ajuste de contraste, um LED que identifica se o mesmo está energizado ou não, terminais de seleção de endereço I2C, dois terminais de alimentação, sendo eles: GND, VCC e dois terminais de comunicação, SDA e SCL, como vemos na Figura 16 (KRASNHAK, 2017).

Figura 15: Terminais do Módulo Serial I2C.



Fonte: As autoras (2017).

O SDA é o pino responsável pela transferência de dados e o SCL serve para a temporização entre os dispositivos, de modo que a comunicação pelo SDA possa ter confiabilidade. O envio e a recepção de dados é realizada utilizando a linha SDA, ou seja, ela é uma linha bidirecional de comunicação, ora recebe, ora envia. No Arduino UNO conectamos o SDA e o SCL em, respectivamente, A4 e A5, no MEGA em 20 e 21 e no Nano, A4 e A5 (NANO, 2017).

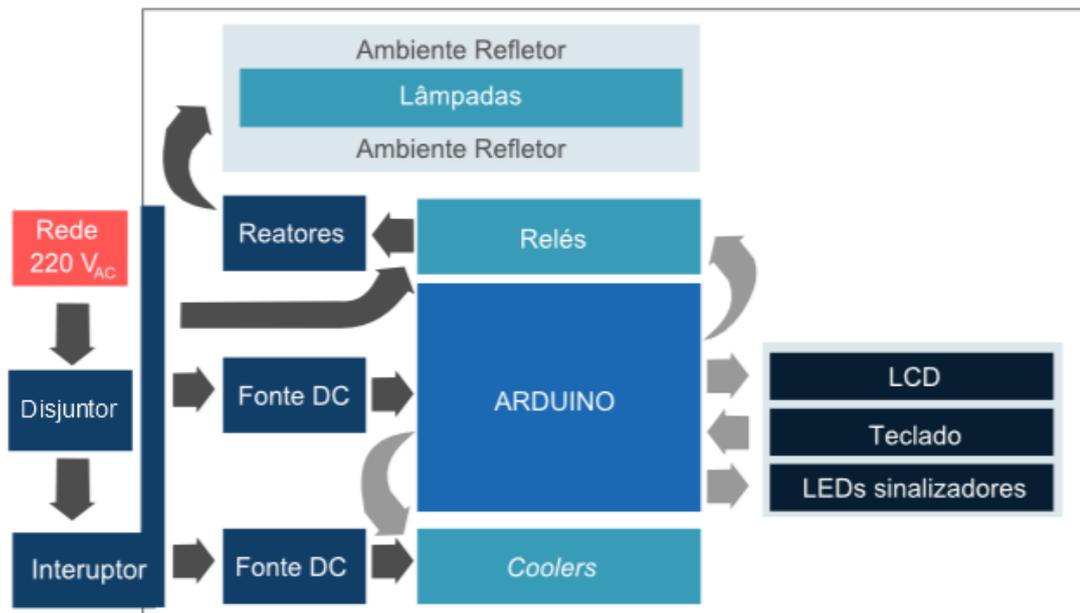
3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Núcleo de Pesquisa em Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal - Zona Norte (IFRN), linha de pesquisa: Processo de Fabricação de Sistemas e Dispositivos Eletrônicos, tendo início no dia 01 de junho de 2017 e com término de execução previsto para o dia 29 de dezembro de 2017.

3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto é composto por duas partes dependentes entre si, o algoritmo e o *hardware*. O algoritmo refere-se ao código desenvolvido e instalado no arduino para o controle do sistema. Já o *hardware*, como descrito na fundamentação, é formado por três partes fundamentais: os recursos relacionados a iluminação e sua manutenção, o recurso de controle e os elementos de interface com o usuário. O diagrama em blocos da Figura 17 representa a estrutura física do sistema proposto.

Figura 16: Diagrama em blocos representativo do sistema proposto.



Legenda:

- Recursos relacionados à iluminação
- Recursos de interface com o usuário
- Recurso de controle
- Alimentação
- Elementos de alimentação
- Sinal / Informação

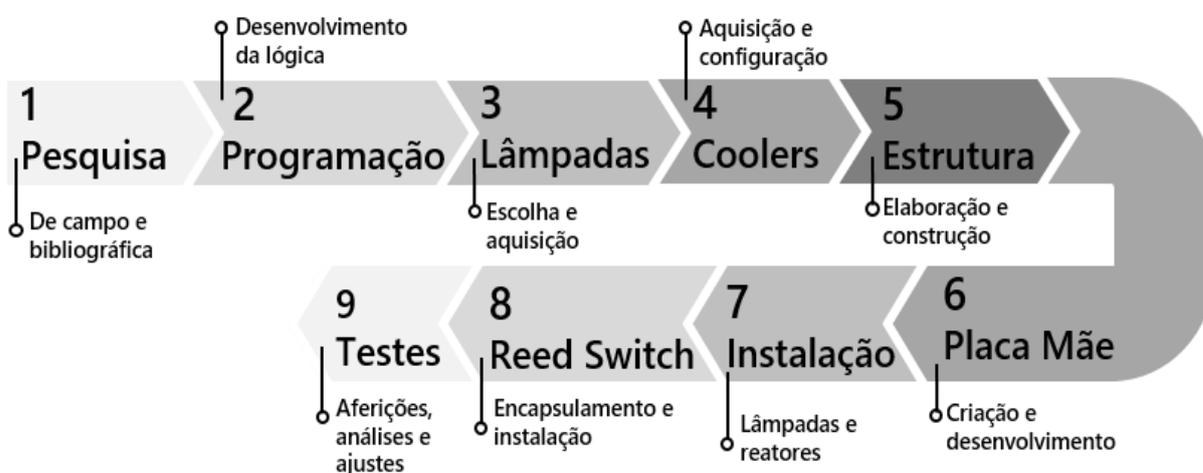
Fonte: As autoras (2017).

De acordo com o projetado, o LCD exibe instruções para as ações a serem executadas pelo operador, este, por sua vez, fazendo uso do teclado matricial, configura o equipamento conforme as necessidades do processo que será realizado. O Arduino envia sinais para os relés acionando-os conforme instruções fornecidas pelo usuário como: tipo de exposição (superior, inferior ou superior e inferior simultâneas) e tempo de exposição, em minutos ou segundos. Os relés das lâmpadas executam a função de interface entre o sistema de controle e o de potência (rede elétrica 220 V_{AC}), enquanto, simultâneo ao processo, os *coolers*, conectados à fonte de tensão 12 V_{DC} interna ao equipamento, são acionados sendo um para resfriamento dos circuitos e outro para exaustão e resfriamento do compartimento das lâmpadas. O *cooler* de exaustão é acionado junto com as lâmpadas e desacionado instantes após o desligamento das mesmas, a fim de garantir a exaustão do sistema, e o de resfriamento do circuito se mantém constantemente ligado, durante todo o período de energização da máquina. Além disso, existem LEDs conectados às saídas do Arduino que indicam, externamente, o acionamento e desacionamento dos componentes internos.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para se chegar ao sistema, tal como descrito anteriormente, o desenvolvimento do projeto seguiu as etapas mostradas na Figura 18.

Figura 17: Diagrama da metodologia executada no desenvolvimento do projeto.



Fonte: As autoras (2017).

3.2.1 Pesquisa: de campo e bibliográfica

Com base nas necessidades observadas no decorrer do Curso Técnico Integrado em Eletrônica, e em todas as considerações formuladas a respeito da produção de PCIs, disposta no capítulo introdutório, foi elaborado e aplicado um questionário a respeito do tema, buscando confirmar e justificar tais necessidades. O questionário foi aplicado virtualmente através da plataforma online e gratuita “Formulários Google” e destinado a pessoas da área, mais especificamente alunos e ex-alunos do curso técnico em eletrônica do IFRN.

As perguntas abordadas no questionário foram elaboradas de modo visto como básico para compreender a situação atual do público selecionado frente a problemática posta. Dessarte, as perguntas foram a respeito:

- Da caracterização do entrevistado;
- da importância na construção de PCIs para profissionais da área;
- da frequência na fabricação de PCIs;
- dos métodos de fabricação utilizados;
- das dificuldades encontradas nos processos utilizados; e
- do interesse em dispor de um método mais profissional de confecção.

Com os resultados da pesquisa de campo em mãos foi elaborada a pesquisa bibliográfica deste trabalho que priorizou o estudo de temas pertinentes à compreensão, aquisição, manuseio e a aplicação dos recursos necessários ao projeto, resultando no conteúdo presente na fundamentação teórica aqui já apresentada e nas escolhas e rumos metodológicos posteriormente aplicados no decorrer do trabalho.

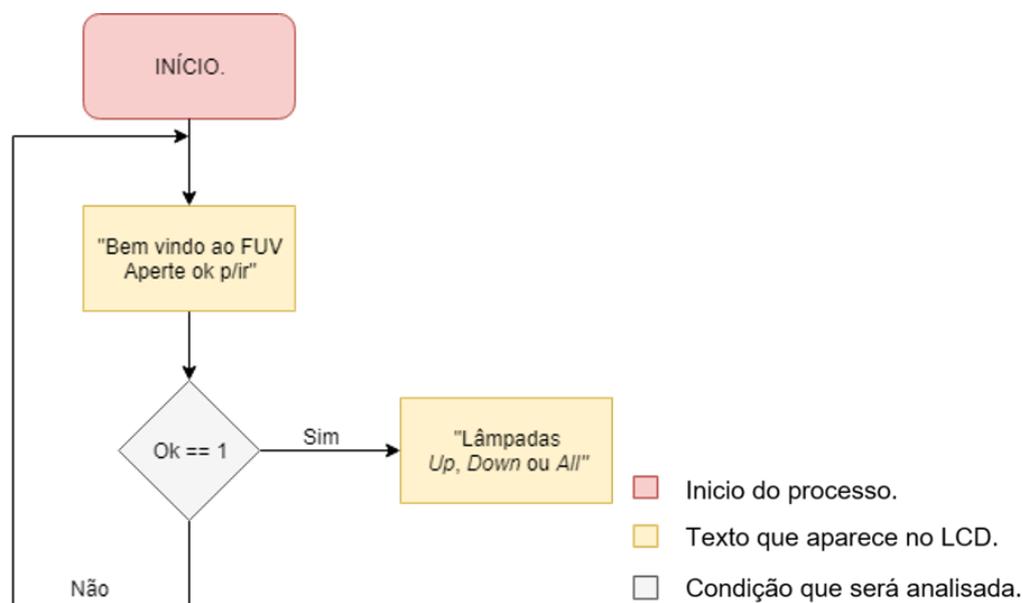
3.2.2 Configuração básica e desenvolvimento da lógica de programação

Com a definição dos recursos listados foram montados circuitos individuais correspondentes a cada uma das partes. Com base nesses circuitos foram produzidos e testados os códigos de programação do microcontrolador responsável pela leitura e controle do sistema.

ao finalizar de tudo, foi programada a função da trava. O código desenvolvido encontra-se no Apêndice B.

Definindo a sequência das ações elaborou-se o programa de acordo com a lógica de programação tida como a mais adequada para tal. Deste modo, ao iniciar o funcionamento do equipamento, o LCD exibe em sua tela uma mensagem de boas-vindas e aguarda até que seja pressionada a tecla de 'ok' para seguir à tela onde será possível selecionar as lâmpadas, como mostra o fluxograma da Figura 20.

Figura 19: Fluxograma representativo da lógica dos comandos iniciais.

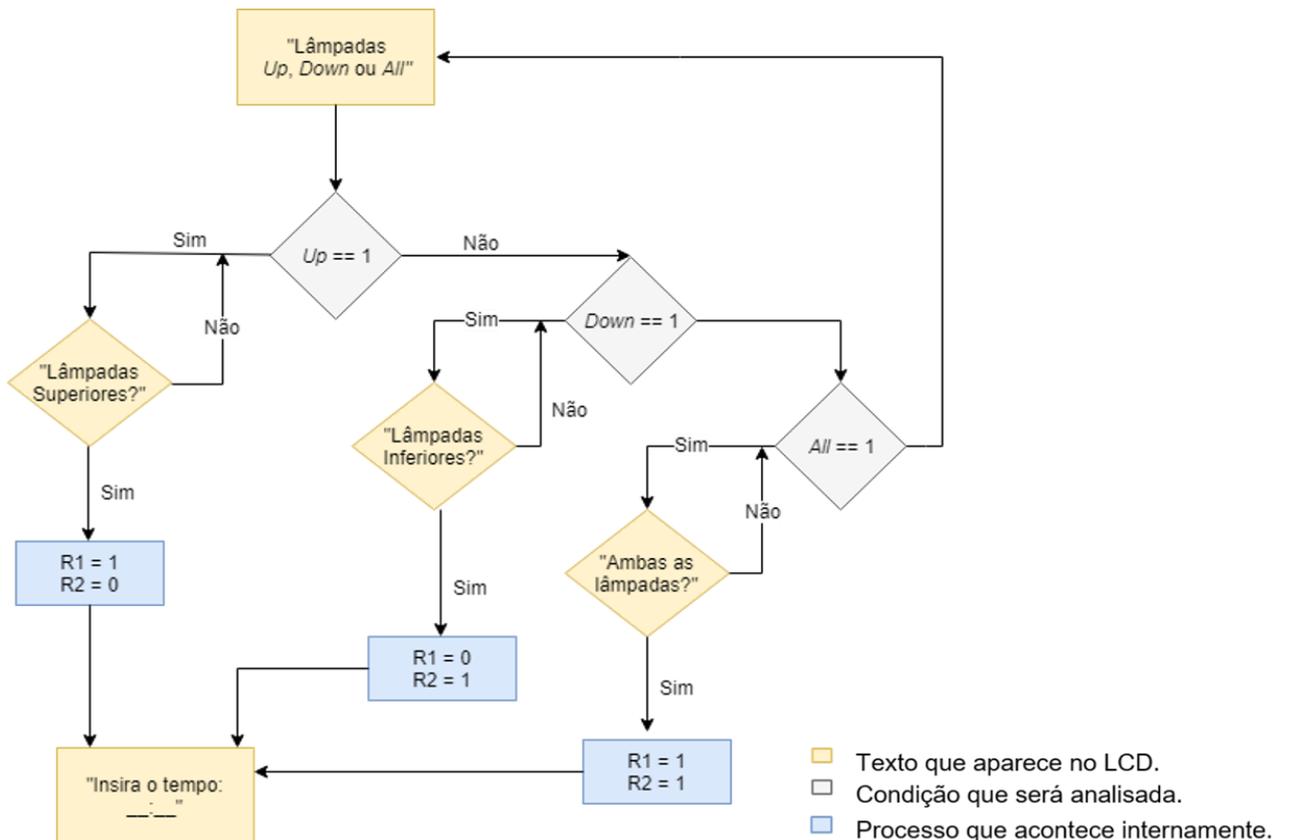


Fonte: As autoras (2017).

O acionamento das lâmpadas se dá através da comutação dos dois relés existentes no sistema. Na segunda tela exibida pelo LCD, a de seleção das lâmpadas, têm-se três opções de escolha: *Up*, *Down* ou *All*. Caso escolha-se apenas as de cima, é necessário pressionar a tecla referente a opção "*Up*" que levará o Arduino a guardar em sua memória que, quando iniciado o processo, deve-se acionar o "relé 1", responsável pelas lâmpadas superiores. Para acionar as inferiores segue-se o mesmo processo, sendo, porém necessário pressionar a tecla referente a opção "*Down*", que posteriormente vem a acionar o "relé 2" (lâmpadas inferiores). Para a confecção de PCs *double side*, sendo necessário acionar simultaneamente as lâmpadas superiores e inferiores, ou seja, os relés 1 e 2, pressiona-se a tecla referente a opção "*All*" e segue o processo como já explicado, mas agora com os dois relés acionados durante o processo.

Após a escolha das lâmpadas desejadas, aparecerá uma tela de confirmação para assegurar a escolha das lâmpadas certas. Quando confirmado, a rotina seguirá para a tela de seleção de tempo. Todo esse processo pode ser melhor visualizado no fluxograma da Figura 21.

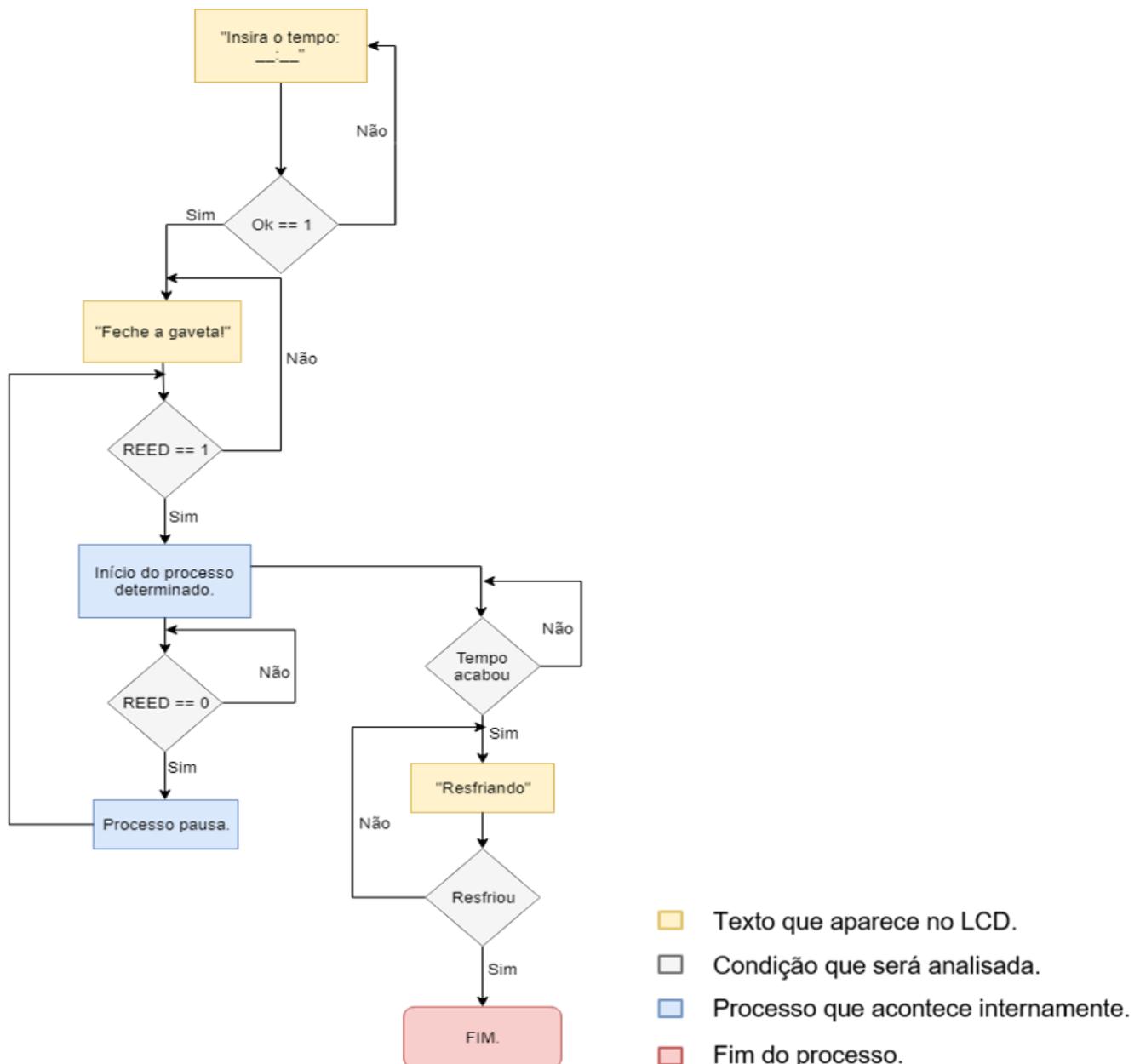
Figura 20: Fluxograma representativo da lógica de seleção das lâmpadas.



Fonte: As autoras (2017).

Na tela de seleção de tempo, o usuário deve inserir o tempo que compreenda como adequado ao seu processo. Quando colocado o tempo, novamente aparecerá uma tela de confirmação para assegurar a escolha correta do tempo e, caso a gaveta ainda esteja aberta, aparecerá um aviso na tela do LCD pedindo para que a mesma seja fechada, quando fechada, o processo é iniciado e transcorre até o término do tempo selecionado, quando as lâmpadas são desligadas e o processo é concluído (Figura 22):

Figura 21: Fluxograma representativo da lógica de seleção do tempo de processo.



Fonte: As autoras (2017).

Por razão de simplificação e facilidade de leitura, o comando de interrupção/cancelamento foi omitido nos fluxogramas das Figuras 20, 21 e 22. Entretanto, tal opção foi prevista em todas as etapas do código, permitindo a interrupção/cancelamento do mesmo, bem como, o retorno da execução aos parâmetros iniciais, ou seja, o programa retorna à tela de boas-vindas e as lâmpadas são apagadas. A interrupção ocorre quando pressiona-se a tecla “cancelar” (*), podendo ocorrer a qualquer momento.

Na prática, a função “cancelar” foi implementada fazendo uso das instruções “*label*” e “*goto*”. Da seguinte forma: o rotulamento “*label*” foi inserido no início do código em *loop* e em seguida todas as variáveis que influenciam no acionamento das lâmpadas são resetadas. Como mostra o fragmento do código inserido abaixo.

```
void loop() {  
  label:      //rotulação do bloco 'label'  
  
  i1 = 0;      // Definindo o estado de i1 como zero  
  i2 = 0;      // Definindo o estado de i2 como zero  
  i3 = 0;      // Definindo o estado de i3 como zero  
  unis = 0;    // Definindo o estado de unis como zero  
  dezs = 0;    // Definindo o estado de dezs como zero  
  unim = 0;    // Definindo o estado de unim como zero  
  dezm = 0;    // Definindo o estado de dezm como zero  
  lamp1 = 0;   // Resetando as lâmpadas superiores  
  lamp2 = 0;   // Resetando as lâmpadas inferiores
```

Depois disso, os blocos de códigos referentes a verificação da pressão das teclas têm como resultado o “*goto*” caso a tecla pressionada seja “cancelar”. Como mostra o fragmento do código posto abaixo.

```
if (teclaPressionada1 == '*') // Verifica se foi *  
{  
  goto label; // Vai para o bloco 'label'  
}
```

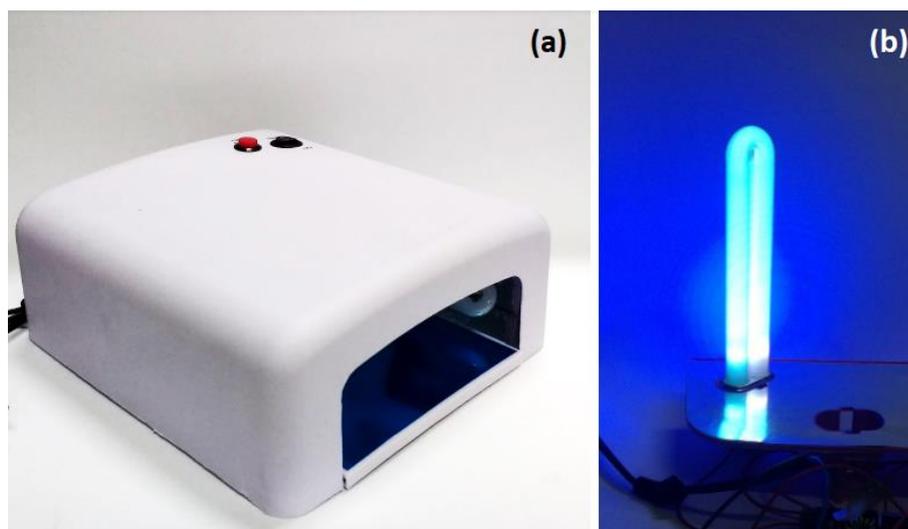
A respeito do restante do algoritmo, executou-se a lógica apresentada essencialmente através de estruturas básicas de programação sendo as principais o “*if*” (se) , o “*for*” (para) e o “*while*” (enquanto), este código foi organizado de maneira a facilitar a compreensão de qualquer leitor, possuindo 15 títulos que estão comentados ao longo da estrutura, sendo 5 pertinentes à região de declaração de variáveis e os outros 10 restantes à estrutura “*void loop()*”.

3.2.3 Escolha e aquisição das lâmpadas

Ao pensar em quais lâmpadas seriam utilizadas no equipamento, buscou-se adquirir lâmpadas de baixo custo, baixo consumo de potência, que gerassem radiação UVA e ainda que fossem facilmente encontradas no mercado quando da instalação e reposição. Optou-se pelas lâmpadas de 9 W utilizadas em cabines de secagem de unhas em gel, tais lâmpadas frequentemente utilizadas em salões de beleza, indicaram enquadrar-se perfeitamente nos pré-requisitos postos.

Cada lâmpada UV tem o preço médio de quatro reais, seus soquetes possuem o mesmo valor cada, e um reator para cada quatro dessas lâmpadas foi encontrado com preço em torno de treze reais, isso em sites variados. No entanto, visando-se evitar a realização fragmentada do processo de compra, por se dar em sites distintos, além de buscar atenuar os custos provocados por compras separadas (custos com frete), decidiu-se comprar duas cabines de exposição para unhas em gel (Figura 23 (a)), e delas extrair os dispositivos desejados, no caso, lâmpadas (Figura 23 (b)), soquetes, reatores além dos fusíveis e cabos de força do equipamento. No entanto, é sabido que, futuramente, desejando-se reproduzir novas fotoexpositoras tal alternativa de aquisição de materiais não seria mais considerada tão vantajosa visto que os prejuízos advindos da criação de resíduos se sobreporiam as suas vantagens econômicas.

Figura 22: (a) Cabine UV e (b) lâmpada UV acesa.

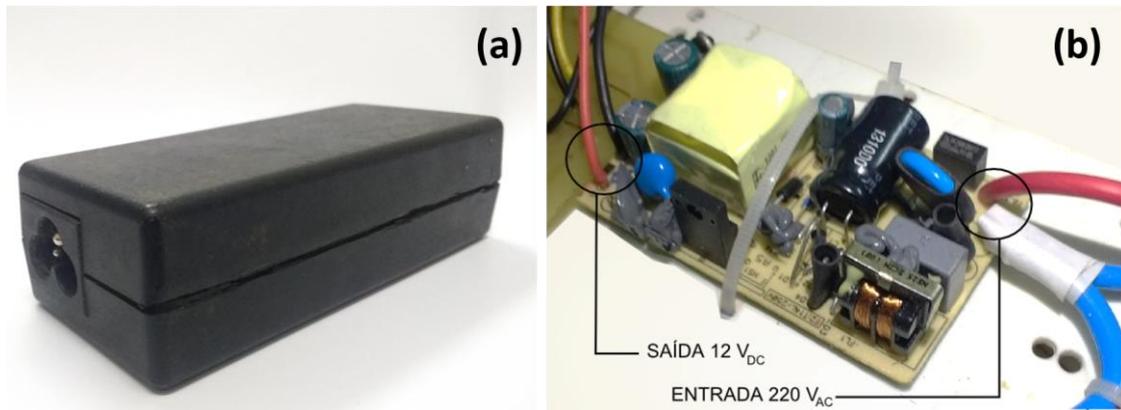


Fonte: As autoras (2017).

3.2.4 Obtenção e configuração dos *coolers*

Para os sistemas de resfriamento e exaustão composto por *coolers*, referido na fundamentação teórica, foram utilizados dois *coolers*, um para o resfriamento dos circuitos e outro para o resfriamento e exaustão do compartimento das lâmpadas. Para alimentar esses dois dispositivos foi utilizada uma fonte de 12 V_{DC}. A fonte foi desenvolvida para reduzir seu volume e a tensão da rede foi aplicada diretamente aos terminais de entrada da sua PCI. A Figura 24 exibe imagens da fonte antes e após o desenvolvimento além de suas conexões.

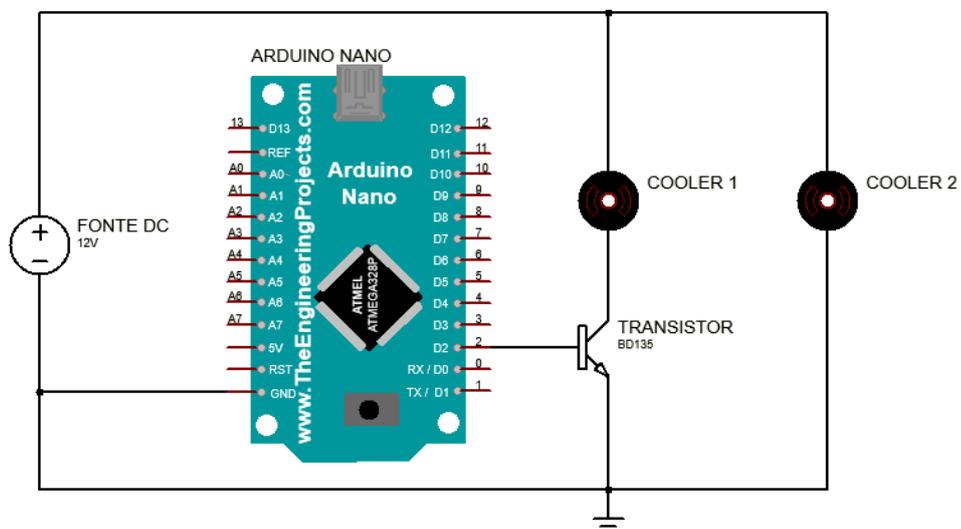
Figura 23: Fonte de 12 VDC. (a) Envelopada; e (b) desenvolvida com as conexões.



Fonte: As autoras (2017).

Como apontado na descrição do sistema, o *cooler* de resfriamento dos circuitos (*Cooler 2*) se mantém constantemente ligado, enquanto que o *cooler* destinado a exaustão do compartimento das lâmpadas (*Cooler 1*) tem seu funcionamento controlado pelo Arduino, de modo que, para o chaveamento do mesmo utiliza-se o transistor NPN BD135. Isto pois, considerando o fato dos *coolers* serem alimentados por tensões baixas, a utilização de um relé, como no caso das lâmpadas, traria um custo desnecessário ao equipamento, além disso, como existem *coolers* que funcionam com diversos níveis de corrente optou-se pelo transistor NPN BD135 pois, suportando correntes de até 1 A, ele abrange a gama de *coolers* que poderiam vir a ser instalados na FUV, o que facilita uma eventual substituição. A Figura 25 demonstra esquematicamente a instalação dos *coolers* frente ao sistema.

Figura 24: Representação esquemática da instalação dos coolers.



Fonte: As autoras (2017).

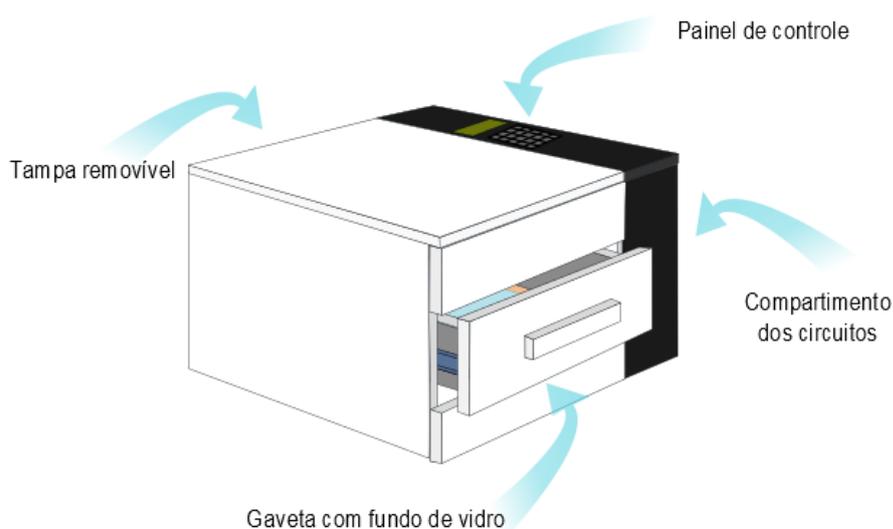
É necessário salientar que tanto a fonte como os *coolers* citados, assim como outros componentes utilizados no trabalho, foram conjuntamente adquiridos no projeto *E-lixo*²², por meio de doação, pois sendo um dos objetivos listados, e talvez um dos mais importantes, priorizou-se o uso de materiais de baixo custo. Além da redução do preço final do equipamento, a utilização desses materiais promove o reaproveitamento dos mesmos, o que colabora com a causa ambiental.

No mais, para que os *coolers* viessem a fornecer efetivamente a funcionalidade de um exaustor optou-se por posicioná-los de modo inverso, ou seja, com o sopro de ar voltado para fora do gabinete do equipamento.

3.2.5 Desenvolvimento estrutural

Ao projetar-se a cabine, além de considerar o modelo comercial indicado, foram consideradas as dimensões dos dispositivos que viriam a ser nela instalados, as necessidades futuras de manutenção e as dimensões máximas das placas que nela viriam a ser desenvolvidas. Dessa forma, foram conjecturados alguns modelos até chegar-se ao que foi enfim executado. A Figura 26 exibe a representação em três dimensões (3D) do equipamento projetado.

Figura 25: Representação 3D do projeto da FUV.



Fonte: As autoras (2017).

²² *E-lixo* - Projeto de Recondicionamento de Resíduos Eletrônicos: Projeto de extensão desenvolvido no IFRN Campus Natal - Zona Norte.

No modelo projetado, como exibido na Figura 26, a cabine dispõe de dois compartimentos internos sendo um o ambiente de exposição, composto por uma gaveta, pelo espaço refletor e as lâmpadas, e outro de armazenamento dos circuitos elétricos e eletrônicos, esse recoberto pelo painel de controle.

A fotoexpositora foi construída com peças de MDF revestidas com laminado de PVC (por ser um material resistente e acessível). Seu painel foi produzido em acrílico visando um melhor acabamento estético. A parte interna voltada à exposição foi revestida com papel laminado prateado, a fim de proporcionar reflectância necessária a esse ambiente. A gaveta onde são posicionados os substratos e respectivos fotolitos também foi construída em MDF, porém com o fundo de vidro para possibilitar a exposição dupla simultânea. O vidro, que possui as dimensões de 34 cm por 25 cm, também foi obtido no projeto *E-lixo*, tendo sido retirado da carcaça de um *scanner* que, por ser parte de um produto de natureza industrial e estando em bom estado aparente, oferece confiabilidade, bem como a transparência exigida pelo processo de fotolitografia. Outro vidro de dimensões semelhantes ao anterior foi obtido sob as mesmas condições já citadas. Quanto ao processo, esse segundo vidro existe para ser aplicado sobre o conjunto substrato-fotolito durante a exposição, evitando conseqüentemente a formação de bolhas de ar entre o fotolito e o polímero fotossensível para qual será transferido o padrão das PCIs. Para garantir o alinhamento dos padrões (fotolito) inferior e superior foi desenvolvido um gabarito graduado.

Por motivos estéticos e de identificação foi desenvolvido um logotipo para o projeto, o mesmo foi pensado de modo que viesse a representar, de forma simples, as principais características do equipamento: Produção de circuito impressos e o uso da luz para tal. Esse logotipo, apresentado na Figura 27, em conjunto com o nome da instituição e dos componentes (orientadores e orientados) foi fixado na parte direita-frontal da FUV.

Figura 26: Logotipo do projeto.

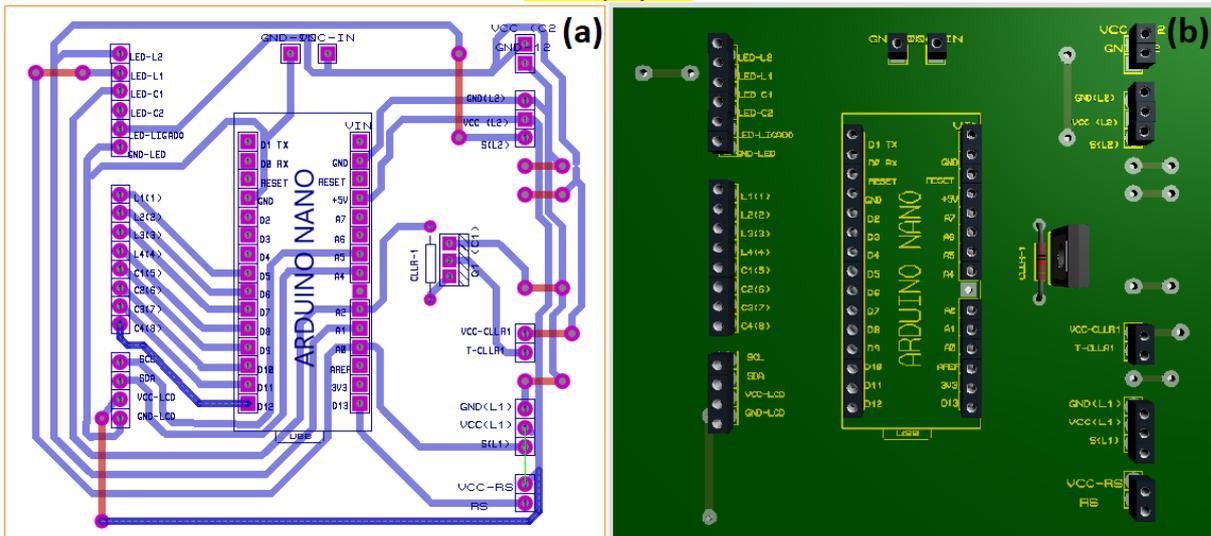


Fonte: As autoras (2017).

3.2.6 Desenvolvimento da placa-mãe

Para o acoplamento do Arduino optou-se por realizar a sua alimentação através de uma entrada USB, deste modo demandou-se o uso de uma fonte externa de 5 V_{DC}. A referida fonte teve o mesmo tratamento aplicado à fonte de 12 V e na sua saída foi instalado um cabo USB do tipo *mini B*, compatível com a entrada do Arduino Nano. Por se tratar de um Arduino Nano, que possui pinos do tipo macho, fez-se necessário o desenvolvimento de uma PCI para o acoplamento do dispositivo e seus respectivos elementos de entrada e saída. Essa placa foi admitida como sendo a placa-mãe do equipamento, visto que, é nela que são manipulados as informações e os comandos de todo o processo. Para isso, foram desenvolvidos esquemáticos e *layouts* utilizando a ferramenta de CAD PROTEUS versão 8.3. E, para a confecção da mesma, empregou-se o método de termotransferência, já mencionado neste trabalho. A Figura 28 exhibe o *layout* desenvolvido para a placa-mãe do equipamento.

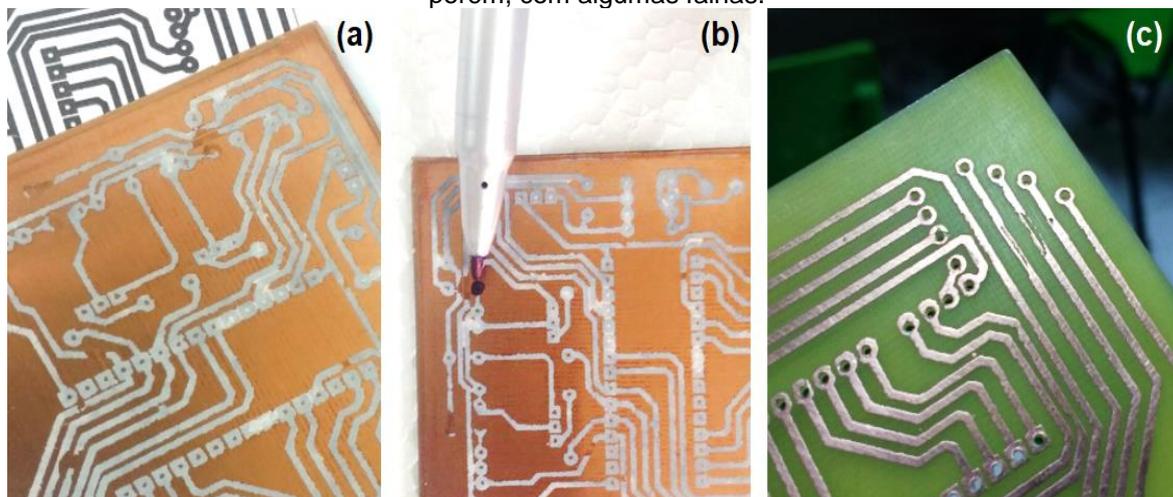
Figura 27: *Layout* do circuito da placa-mãe: (a) imagem do projeto Ares Proteus, e (b) visão 3D do projeto.



Fonte: As autoras (2017).

Considerando as possíveis falhas que poderiam ocorrer em razão do método de fabricação de PCIs utilizado, foram impressas diversas cópias do mesmo *layout* sobre uma folha de papel fotográfico formato A4. O *layout* foi aplicado sobre um substrato isolante de fibra de vidro recoberto com filme de cobre com medidas aproximadas de 8 cm x 8 cm, sendo fixado com fita adesiva do tipo crepe. O procedimento de aplicar o ferro de passar roupas sobre o impresso teve de ser repetido inúmeras vezes até obter-se uma transferência satisfatória, porém, ainda assim, a transferência não se deu por inteiro, apresentando pequenas falhas e lacunas entre as trilhas (Figura 29 (a)) compelindo, dessa forma, ao uso da técnica de transferência manual, também referida nesse trabalho, na qual foi utilizada uma caneta Marcador para Retro Projetor de Tinta permanente 1.0 mm para realizar as devidas correções (Figura 29 (b)). Após feitas as correções, a placa foi enfim corroída em uma solução aquosa de Percloroeto de Ferro (FeCl_3), conforme especificações de Cavalcante e Silva (2017). Mesmo com os reparos prévios à corrosão, ainda surgiram falhas no *layout* provenientes da não idoneidade do processo utilizado (Figura 29 (c)), todavia testes de continuidade realizados com um Multímetro Digital Hikari HM2030 indicaram o bom funcionamento da placa, possibilitando assim seu uso.

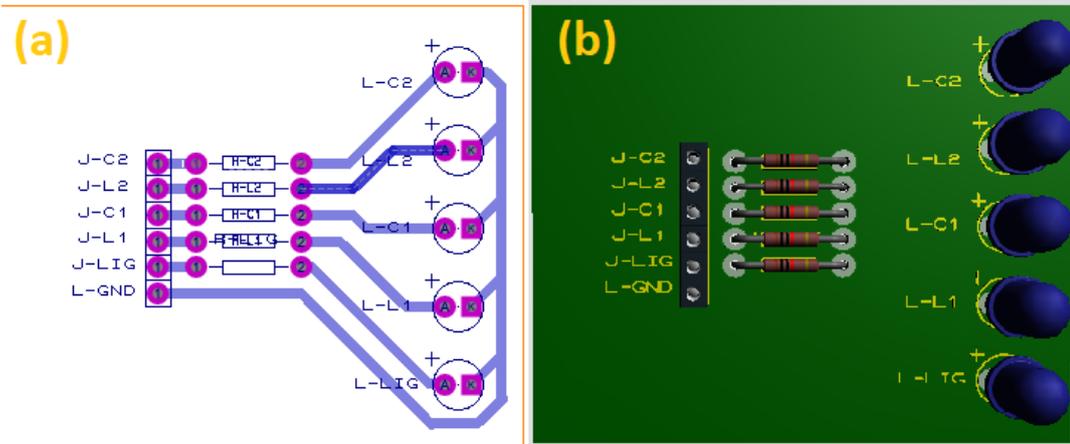
Figura 28: Placa mãe durante o processo de produção: (a) Falhas e lacunas obtidas devido ao processo de termotransferência; (b) correção das falhas de processo; (c) placa devidamente corroída, porém, com algumas falhas.



Fonte: As autoras (2017).

Após a finalização do *layout*, a placa foi perfurada e nela foram soldados os conectores e componentes necessários ao seu funcionamento, ou seja, conectores para o Arduino, para os relés, para o teclado, para o módulo I2C, para os *coolers*, para as entradas da fonte de 12 V, para a conexão do *Reed Switch*, além do transistor de chaveamento do *cooler* de exaustão das lâmpadas, garantindo assim maior funcionalidade, visto que, com exceção do transistor, todos os componentes podem facilmente ser desconectados da placa caso haja algum contratempo ou quando da realização de manutenções. Com o mesmo procedimento acima mencionado, foi confeccionada uma placa contendo LEDs sinalizadores para o painel de controle (Figura 30). Essa placa foi construída com cinco LEDs azuis, os quais representam respectivamente: equipamento ligado, *cooler* de resfriamento dos circuitos, *cooler* de exaustão, lâmpadas superiores e lâmpadas inferiores.

Figura 29: *Layout* do circuito dos LEDs sinalizadores. (a) Imagem do projeto Ares Proteus, e (b) visão 3D do projeto.



Fonte: As autoras (2017).

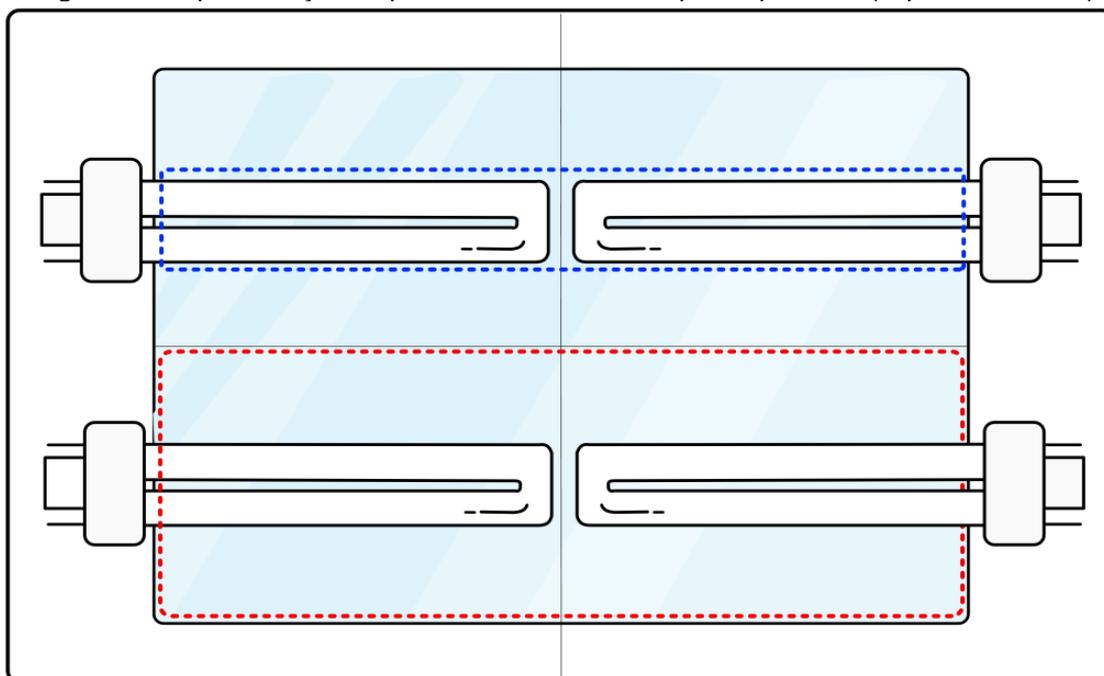
Com todos os elementos integrantes do conjunto elétrico-eletrônico da máquina separados, foi desenvolvido uma espécie de chassi em PVC para o acoplamento e suporte dos mesmos. Para melhorar a distribuição dos dispositivos e facilitar sua retirada, o chassi foi desenvolvido de modo a ser posicionado verticalmente, com os elementos fixados a ele com abraçadeiras de nylon. Os elementos (reatores, fontes, relés e placa-mãe) foram distribuídos espacialmente no chassi de modo sistêmico e organizado, sendo considerado, também, o posicionamento dos dispositivos de entrada e saída no sistema.

3.2.7 Instalação e chaveamento das lâmpadas

A respeito da instalação das lâmpadas, considerando-se que cada uma delas tem o tamanho aproximado de 18 cm de comprimento e 3 cm de largura, sendo que dos 18 cm, 16,5 cm corresponde ao comprimento do bulbo, planejou-se a disposição das lâmpadas de modo a iluminar simultaneamente o maior espaço possível da cabine. Por tal motivo, as lâmpadas foram instaladas em pares, uma frente a outra.

Na Figura 31 temos a representação do arranjo mencionando, em que a parte contornada em azul representa uma unidade de lâmpada criada e a área contornada em vermelho simboliza a hipotética área de cobertura luminosa oferecida por cada par.

Figura 30: Representação do posicionamento das lâmpadas por nível (superior e inferior).



Fonte: As autoras (2017).

Nessa configuração é como se existissem quatro grandes lâmpadas, duas em cima e duas embaixo, esse arranjo foi adotado para promover a distribuição uniforme da luz entre o centro e as extremidades do equipamento. Na busca da confirmação dessa tese, após a montagem, realizou-se um teste com um Luxímetro Digital, modelo Victor 1010A do fabricante Victor do Brasil (Figura 32) a fim de checar a uniformidade da distribuição luminosa no interior da cabine tanto da parte inferior quanto superior da zona de exposição.

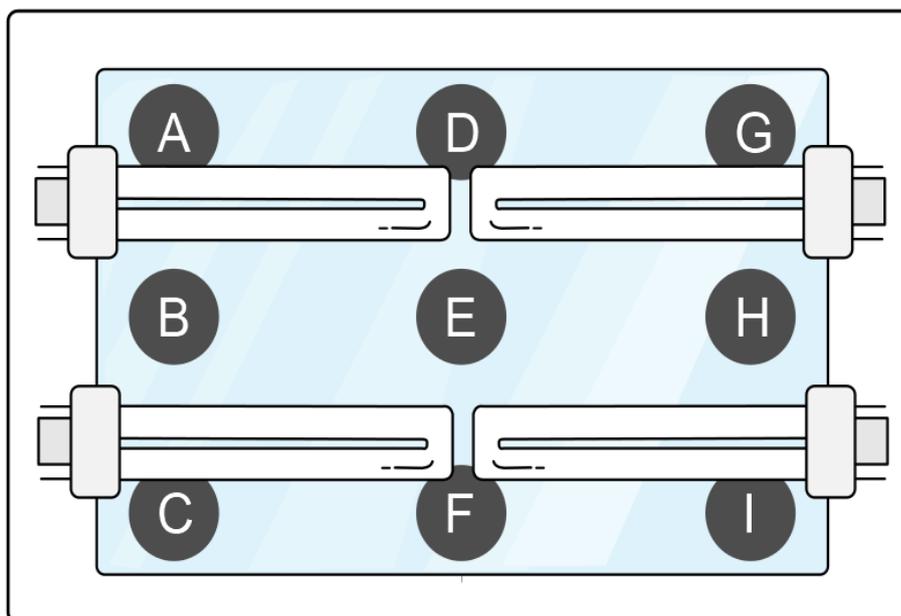
Figura 31: Luxímetro Digital utilizado.



Fonte: As autoras (2017).

O teste com o luxímetro foi realizado da seguinte forma: Foram adotados 9 pontos distintos sobre o plano do vidro, esses foram nomeados de “A” a “I” (Figura 33). Sobre essas regiões, de maneira individual, o luxímetro foi posicionado e mantido pelo período de 5 minutos (300 s). O tempo de 5 minutos foi dotado para garantir a estabilidade da iluminância em todos os pontos de medição.

Figura 32: Pontos do teste do luxímetro.



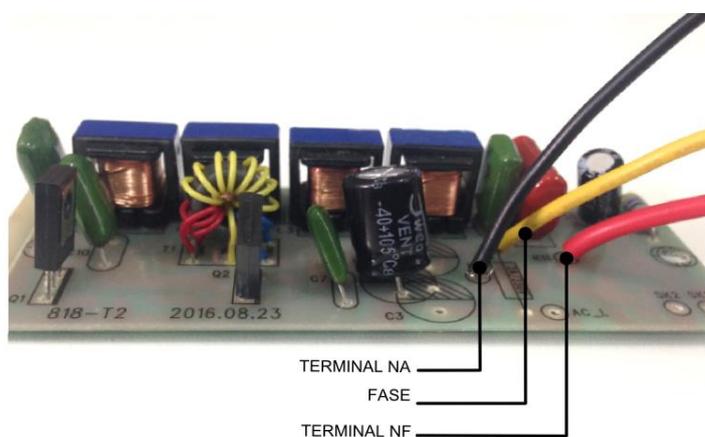
Fonte: As autoras (2017).

Como não havia a possibilidade de fazer todos os testes em simultâneo (pela quantidade de luxímetros existentes), para colaborar com a idoneidade entre o primeiro teste e o último, o equipamento foi previamente ligado por 5 minutos e desligado por 1 minuto e meio, e entre um teste e outro foi estabelecido um intervalo padrão de mesmo tempo. É importante salientar que esses valores de tempo foram estabelecidos de maneira empírica, ou seja, quando da realização dos testes. Os dados obtidos foram plotados com o auxílio do software de análise de dados Origin® 2017.

Para o chaveamento das lâmpadas foram utilizados dois módulos relés fazendo a interface entre os sistemas de controle e de potência da FUV. Em fase experimental, utilizou-se lâmpadas convencionais para testar o chaveamento dos relés e, tendo-se a certeza da funcionalidade do código, instalou-se os dispositivos eletrônicos supracitados diretamente nos reatores das lâmpadas, acionando assim quatro delas por vez.

Os reatores extraídos das cabines UV possuíam três cabos de alimentação, um conectando o reator à fase da rede elétrica e os outros dois conectados ao neutro através de contatos NA e NF de um interruptor. O esquema de ligação original foi reproduzido substituindo os interruptores por relés utilizando seus contatos NA e NF. A Figura 34 indica, no reator, os pontos que foram conectados aos relés, sendo eles: Terminal NA (cabo preto), terminal da fase (amarelo) e terminal NF (cabo vermelho).

Figura 33: Indicação dos terminais do reator que são conectados ao relé.



Fonte: As autoras (2017).

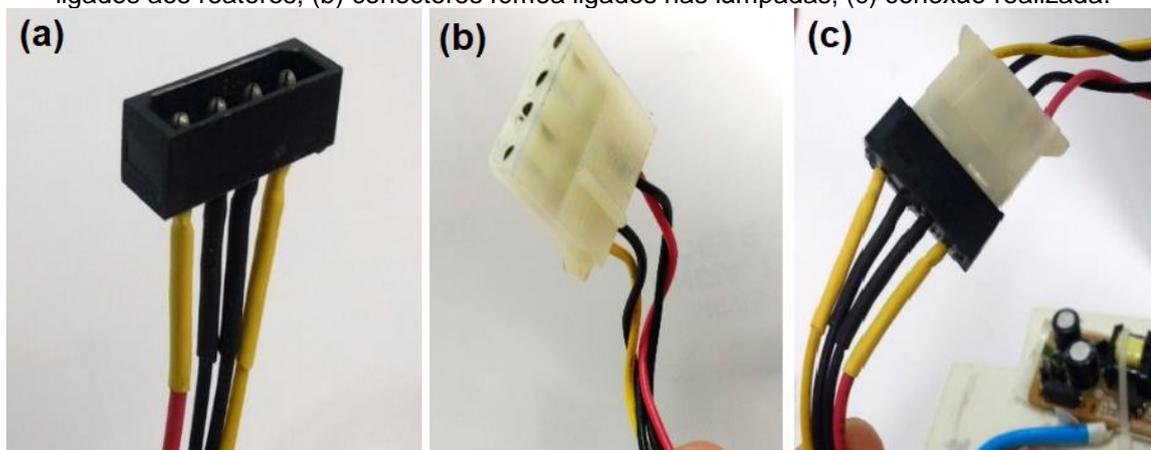
Para instalação elétrica das lâmpadas utilizou-se um par de cabos elétricos (de cores amarela e azul) de seção transversal 1,0 mm² para cada lâmpada, resultando num todo de oito pares, esses foram nomeados alfabeticamente de “A” a “H”, onde à sequência “A”, “B”, “C” e “D” refere-se as lâmpadas superiores e as demais as inferiores. Esses pares foram distribuídos organizadamente nos cantos internos da cabine, percorrendo-a até o compartimento lateral do equipamento onde foram convenientemente conectados aos seus respectivos reatores.

Buscando-se a flexibilidade na instalação das lâmpadas, facilidade na retirada do conjunto de placas e simplificação nos procedimentos de manutenção, o acoplamento das lâmpadas aos reatores foi feito utilizando-se conectores. Para essa função, poderia-se facilmente utilizar, por exemplo, uma barra de conectores *Sindal*²³ no entanto ainda na temática de redução de custos e reutilização de componentes, optou-se por utilizar conectores de alimentação AMP MATE-N-LOK,

²³ Conectores *Sindal* são conectores de ligações e prolongamento elétrico, formados por parafusos que fixam os cabos em terminais metalizados podendo ter sua superfície isolamento em polietileno, poliamida, baquelite ou porcelana (CONECTORES, 2017).

também obtidos no projeto *E-lixo*, que, por possuírem cabos próprios para alimentação, se mostraram suficientemente adequados à necessidade apontada, e mesmo possuindo uma menor espessura que o restante dos cabos já instalados, são aptos a suportarem a corrente das lâmpadas (aproximadamente 40 mA), além dos conectores serem robustos e seguros. No mais, após soldados, os cabos foram isolados com tubos termocontráteis, a fim de proporcionar o melhor acabamento possível. A Figura 35 representa as conexões descritas.

Figura 34: Conectores utilizados para conexão dos reatores as lâmpadas. (a) Conectores macho ligados aos reatores; (b) conectores fêmea ligados nas lâmpadas; (c) conexão realizada.



Fonte: As autoras (2017).

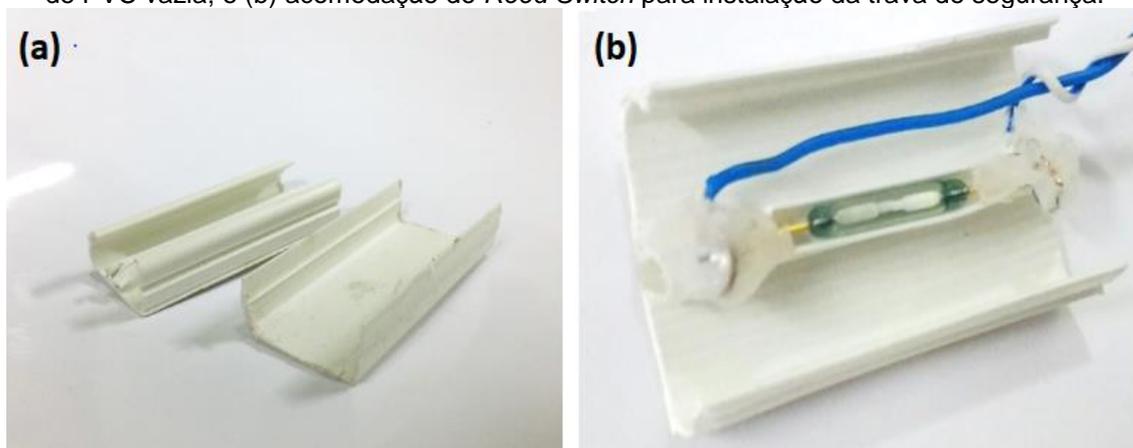
3.2.8 Instalação do *Reed Switch*

O *Reed Switch* foi instalado de modo a ser acionado por um ímã posicionado na parte posterior da gaveta do equipamento, o dispositivo teve um dos terminais conectado a 5 V e o outro ao terminal 13 do Arduino (configurado como entrada), com o fechar da gaveta, o campo magnético gerado pelo ímã comuta o Switch aplicando 5 V ao pino 13 do Arduino.

Para a aplicação do sistema de trava ilustrado, primeiramente elaborou-se uma estrutura de encapsulamento para o *Reed Switch* a fim de protegê-lo — por ele ser consideravelmente frágil — e também facilitar o seu acoplamento à estrutura final. Para esse encapsulamento foi utilizado um pedaço de canaleta de PVC do tipo 20x10 mm com 30 mm de comprimento de modo que o *Reed Switch* fosse acomodado na fenda central da canaleta — como mostra a Figura 36 —, para isso, um par de fios foi soldado aos terminais do *Reed Switch*, sendo posteriormente

aplicada uma camada de isolamento sobre as junções. Esse encapsulamento com canaleta de PVC teve um caráter experimental tendo sido, depois, substituído.

Figura 35: Partes constituintes do encapsulamento de PVC: (a) Partes complementares da canaleta de PVC vazia; e (b) acomodação do *Reed Switch* para instalação da trava de segurança.



Fonte: As autoras (2017).

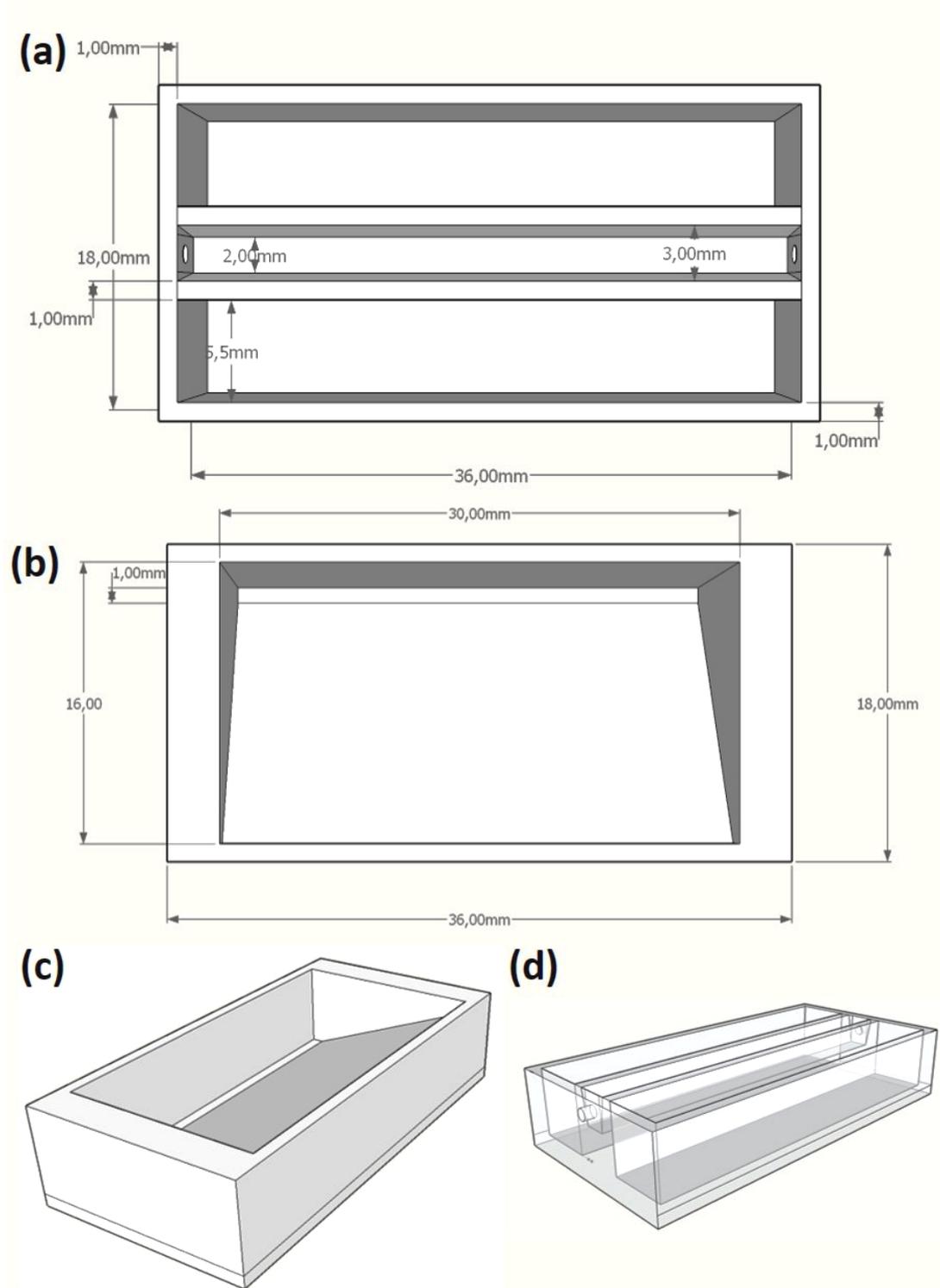
Após o encapsulamento, foi feito o ajuste do mesmo com um ímã de fim de curso. Foram testados diversos ímãs, dos mais variados tamanhos, a fim de encontrar a forma mais adequada ao acionamento do *Reed Switch*, pois, sendo o ímã pequeno demais, o acionamento poderia nem mesmo chegar a acontecer, e sendo de um tamanho exacerbado, o acionamento poderia ocorrer de maneira precoce, ou seja, o *Reed Switch* ser acionado antes do fechamento completo da gaveta, dessa forma o ímã selecionado, ao fim, foi um fragmento de um ímã de neodímio (retirado de um HD de computador) com aproximadamente 2 mm de espessura, 10 mm de largura e 15 mm de comprimento. Além do tamanho do ímã seu posicionamento em relação ao *Reed Switch* também foi um agente influenciador à ação do campo magnético e com isso tal parâmetro também teve de ser observado, definindo-se inclusive o ângulo de inclinação do ímã em relação ao *Reed Switch*.

Posteriormente à seleção empírica dos fatores citados, com todos os parâmetros definidos, as peças de canaleta foram substituídas por duas peças de plástico ABS²⁴ seguindo os parâmetros de tamanho e angulação encontrados, ou seja, as medidas totais de cada bloco foram as mesmas da canaleta de PVC (30 mm de largura, 20 mm de altura e 10 mm de profundidade) e o ângulo de inclinação do ímã foi de aproximados 65°. Essas peças foram confeccionadas na Impressora

²⁴ O plástico **ABS** é um terpolímero formado a partir da copolimerização de três monômeros: acrilonitrina, butadieno e estireno. Esse é pode ser utilizado em filamentos para impressoras 3D, produção de peças de Lego etc (MORASSI, 2013).

Sethi3D AiP - 1.75 mm, sem nenhum custo adicional, visto que o equipamento pertence ao instituto e foram utilizados insumos adquiridos para outros projetos. A Figura 37 exibe o projeto 3D dos blocos em questão. Os blocos foram fixados ao equipamento utilizando-se fita dupla face VHB da marca 3M.

Figura 36: Projeto 3D do conjunto de blocos Reed Switch: (a) Compartimento para o Reed Switch, visão frontal; (b) compartimento para o ímã, visão frontal; (c) compartimento para o ímã, superior lateral; e (d) compartimento para o Reed Switch, superior lateral.



Fonte: As autoras (2017).

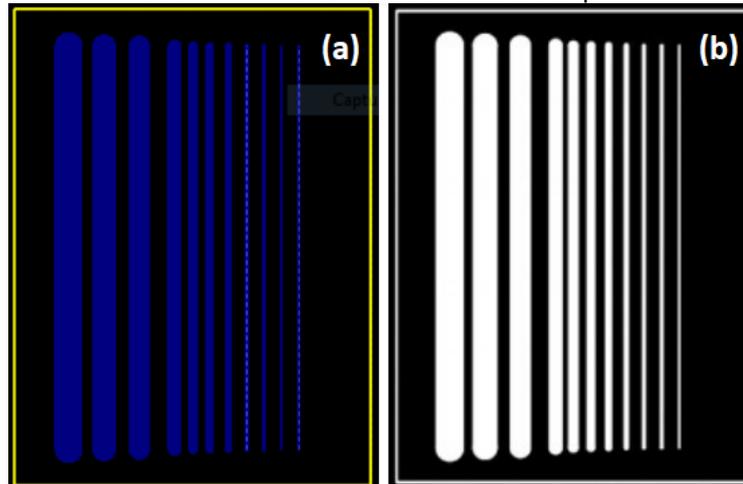
3.2.9 Testes e análise de funcionamento

Com o equipamento montado fizeram-se necessários testes ao seu funcionamento. Esses testes tiveram o intuito de validar a funcionalidade do equipamento frente aos objetivos propostos. Dessa forma, os testes de exposição se dividiram em duas etapas, sendo ambas contempladas com a utilização de fotolitos que foram confeccionados de acordo com o processo descrito por Cavalcante e Silva (2017). Deste modo, desenvolveu-se esquemáticos e *layouts* das PCBs utilizando a ferramenta de CAD PROTEUS versão 8.3, criou-se o negativo desses *layouts* através ferramenta de inversão de cores do programa ADOBE PHOTOSHOP CC 2017 e imprimiu-se esses padrões em um filme transparente de alto brilho tamanho A4, marca Filipaper, impresso em impressora jato de tinta. Como elemento fotossensível, foi utilizado um Papel Filme Seco Fotossensível que foi aplicado nas placas conforme instruções do fornecedor. Isto feito executou-se as duas etapas mencionadas.

Etapa 1: Tempo de exposição e precisão da transferência

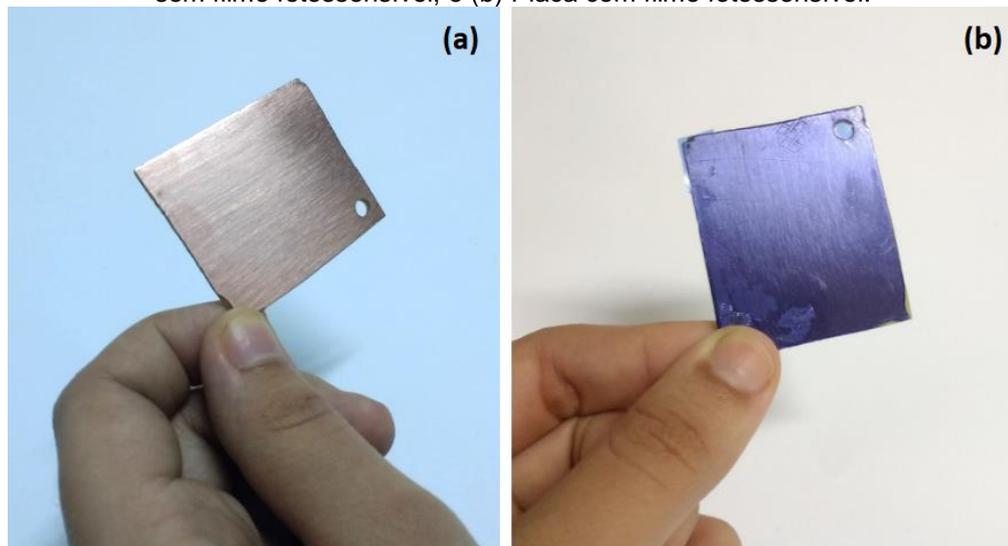
A primeira etapa visou analisar a eficiência do equipamento em transferir o padrão para a placa, o tempo ideal de exposição e a espessura mínima de trilhas capaz de ser impressa (a mais fina possível). Para isso, foi desenvolvido um padrão (Figura 38) contendo uma gradação de 11 trilhas sendo os valores de sua espessura — da mais espessa para a menos espessa — 80 th (2,032 mm), 70 th (1,778 mm), 60 th (1,524 mm), 50 th (1,270 mm), 40 th (1,016 mm), 30 th (0,762 mm), 25 th (0,635 mm), 20 th (0,508 mm) 15 th (0,381 mm), 10 th (0,254 mm) e 8 th (0,203 mm), conforme indicado no CAD. O padrão do fotolito foi transferido para 7 placas contendo filme fotossensível, com aproximadamente 9 cm² cada (Figura 39).

Figura 37: Fitolito do padrão gradiente: (a) Projeto do CAD Ares Proteus; e (b) Negativo invertido com o auxílio do Photoshop.



Fonte: As autoras (2017).

Figura 38: Placas de fibra de vidro com cobertura de cobre usadas na etapa 1 dos testes: (a) Placa sem filme fotossensível; e (b) Placa com filme fotossensível.



Fonte: As autoras (2017).

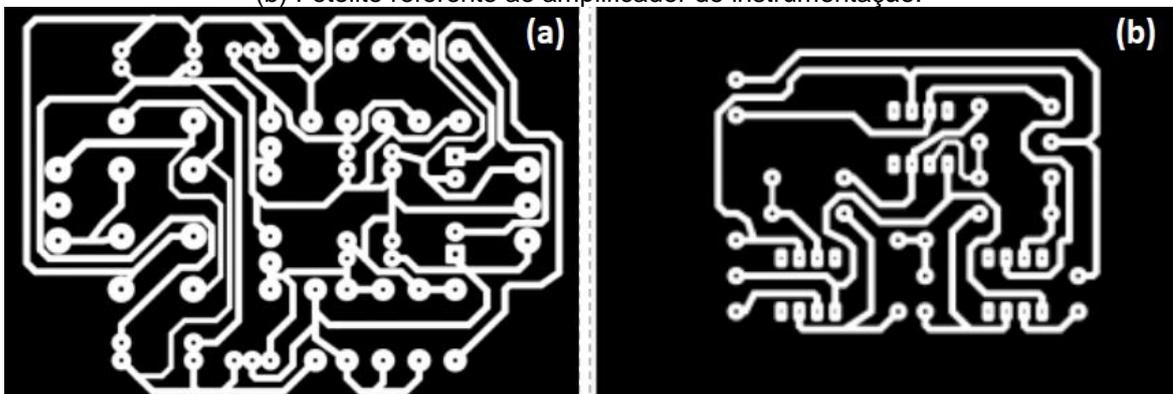
Essas placas foram expostas em diferentes tempos, sendo estes 30 s, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min e 6 min, depois foram reveladas, lavadas e corroídas conforme procedimento descrito na literatura mencionada. Concluídos os processos, as placas foram analisadas para verificar a precisão dos procedimentos de transferência de padrão realizados.

Etapa 2: *Layout* múltiplo e *double side*

A segunda etapa foi realizada a fim de verificar a funcionalidade da expositora em confeccionar placas *double side* e placas com múltiplos *layouts*, para isso foram

desenvolvidos dois fotolitos contendo 06 placas cada, sendo um referente a um projeto de uma fonte linear (Figura 40 (a)) e outro a um amplificador de instrumentação (Figura 40 (b)). Utilizou-se dos mesmos procedimentos metodológicos presentes na etapa um, porém, de acordo com o tempo que foi definido como o mais adequado no teste anterior, ou seja, 4 minutos, além de ter sido aplicado o segundo vidro para a fixação dos fotolitos e terem sido utilizados os gabaritos graduados presentes nas gavetas (Tópico 3.2.5). Para esse procedimento, foi utilizada uma placa de fibra de vidro com dimensões 18 cm por 20 cm com filme de cobre depositado nas duas faces (Figura 41).

Figura 39: Fotolitos utilizados para a etapa 2 de testes: (a) Fotolito referente à fonte linear; e (b) Fotolito referente ao amplificador de instrumentação.



Fonte: As autoras (2017).

Figura 40: Placa de fibra de vidro com cobertura de cobre nas duas faces.



Fonte: As autoras (2017).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esse capítulo disserta detalhadamente acerca dos resultados obtidos em cada etapa do projeto desenvolvido. Trata-se de uma parte de suma importância do trabalho, pois, utilizando-se os métodos descritos no capítulo anterior serão confirmadas e solucionadas todas as problemáticas apresentadas no capítulo da introdução.

4.1 PESQUISA DE CAMPO

O questionário aplicado no início do projeto, disponível no Apêndice A, foi muito bem-sucedido dentro das expectativas nele postas. Através das respostas individuais de 54 pessoas, entre alunos e ex-alunos do curso técnico em eletrônica do IFRN e alunos de nível superior da mesma área, fez-se possível constatar que 92,6% dos entrevistados acreditam que a confecção de PCIs dentro da área da eletrônica é importante.

Dentre os entrevistados, 75,9% afirmaram produzir PCIs com alguma frequência. No que diz respeito aos métodos de produção utilizados, como previsto, mais da metade (51,9%) faz o uso do método de termotransferência. O método de desenho manual, e outros não citados neste trabalho, como adesivo, corresponderam a menos de 15% cada. Surpreendentemente, 27,8% dos entrevistados informou já usar o método de fototransferência, porém, esses afirmaram não possuir um equipamento profissional para tal, dessa forma, fazendo uso de métodos improvisados de exposição à luz UV.

No mais, duas respostas extremas chamaram a atenção: “Prototipadora” e “Nunca fiz uma PCI”. Isto pois, juntas somam o total de 5,6% das respostas, o que aponta respectivamente uma e duas respostas para cada. A discrepância existente entre a frequência dessas duas respostas e das demais evidencia a escassez de métodos sofisticados como a prototipadora e os raros casos de pessoas da área que nunca necessitaram produzir PCIs.

Em seguida, sobre talvez um dos questionamentos mais importantes, 63% dos entrevistados responderam que o maior problema enfrentado na confecção de PCIs é transferir o *layout* de maneira perfeita à placa, o que revela a ineficiência dos

processos utilizados. Por fim, 94,4% responderam ter interesse em dispor de um método de confecção mais profissional.

Esse questionário, produzido no início do projeto, foi crucial na decisão de seguir com o trabalho, pois confirmou a problemática apontada e as hipóteses levantadas que indicavam a necessidade de implementação do sistema proposto.

4.2 CONFIGURAÇÕES BÁSICAS E DESENVOLVIMENTO DA LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

Retomando as configurações básicas inicialmente planejadas tem-se no teclado matricial uma parte substancialmente importante, pois, somado ao LCD formam o imo da interface com o usuário. Consciente disso e também para garantir melhor acabamento ao equipamento, o teclado foi reconfigurado fazendo o uso de adesivos, como explicado na metodologia.

Isso resultou nas seguintes modificações: As teclas não numéricas “A”, “B”, “C”, “#” e “*” foram substituídas na devida ordem pelos símbolos “↑” (Up), “↓” (Down), “↑↓” (All) “✓” (Ok), “✕” (Cancelar) e a tecla “D”, por não ter recebido função, foi adesivada com a logo do projeto desenvolvida pelas autoras. As teclas numéricas também foram adesivadas, mas não com o objetivo de mudar os caracteres originais, mas sim, visando a uniformização das teclas. A Figura 42 apresenta o resultado das modificações realizadas.

Figura 41: Demonstração das modificações feitas no teclado matricial utilizado.



Fonte: As autoras (2017).

No que se refere propriamente à programação desenvolvida, pode-se afirmar que essa, além de se mostrar totalmente eficiente, traz a funcionalidade que foi ambicionada desde o momento inicial de elaboração do projeto. O uso de estruturas básicas pecou no sentido de tornar o código muito extenso, porém a aplicação de títulos aos blocos de programação ajudou a mantê-lo organizado.

Em termos mais específicos, a estrutura formada pelas instruções “*label*” e “*goto*” utilizada para executar o comando cancelar, não é muito utilizada atualmente e poderia ser melhor substituída por uma função, até mesmo para diminuição do código, no entanto ela foi escolhida por ser mais familiar às autoras. Com isso, surgiu como a forma mais pragmática encontrada para a implementação da lógica presente nesse comando.

Quanto ao painel de controle, formado pelo teclado, o display LCD e os LEDs, representando a parte mais aparente do código, ele se mostrou funcional e autoexplicativo, o que possibilita que qualquer pessoa seja capaz de operar a máquina sem a necessidade de um manual ou instruções prévias. Para a comprovação dessa tese 5 pessoas foram chamadas para fazer uso do equipamento e todas conseguiram operá-lo na primeira tentativa, o que demonstra o cumprimento da demanda: “Boa interface com o usuário e facilidade de manuseio”. A Figura 43 exibe fotografias das telas exibidas pelo LCD durante um uso hipotético do equipamento.

Figura 42: Telas exibidas no display LCD em 8 momentos seguidos do processo de exposição.

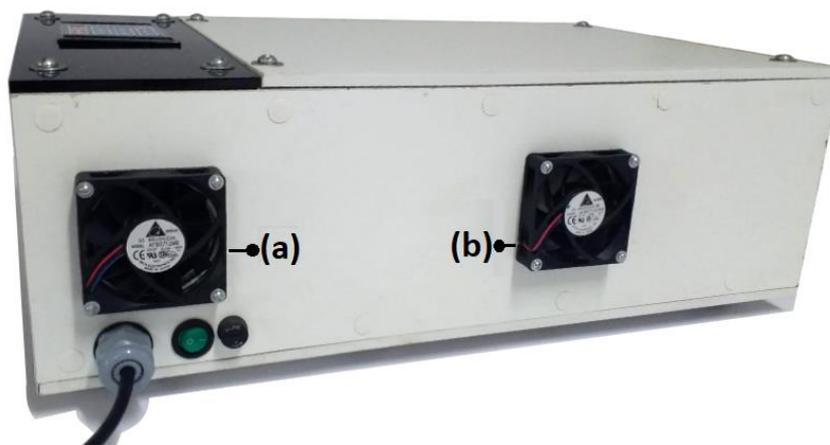


Fonte: As autoras (2017).

4.3 OBTENÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS COOLERS

Conforme pode-se observar na Figura 44, os *coolers* obtidos foram instalados na face posterior do equipamento, sendo configurados para realizar a exaustão dos compartimentos. Os resultados obtidos foram satisfatórios em razão do atingimento dos objetivos propostos, ou seja, a realização da troca gasosa quando do processo de exposição das PCs à radiação UV, tendo como consequência a melhora do desempenho das lâmpadas, assim como, o resfriamento dos componentes internos do equipamento provocado pela constante renovação do ar no interior desse.

Figura 43: Coolers instalados no equipamento: (a) Cooler de resfriamento dos circuitos; e (b) Cooler de exaustão da câmara de exposição UV.

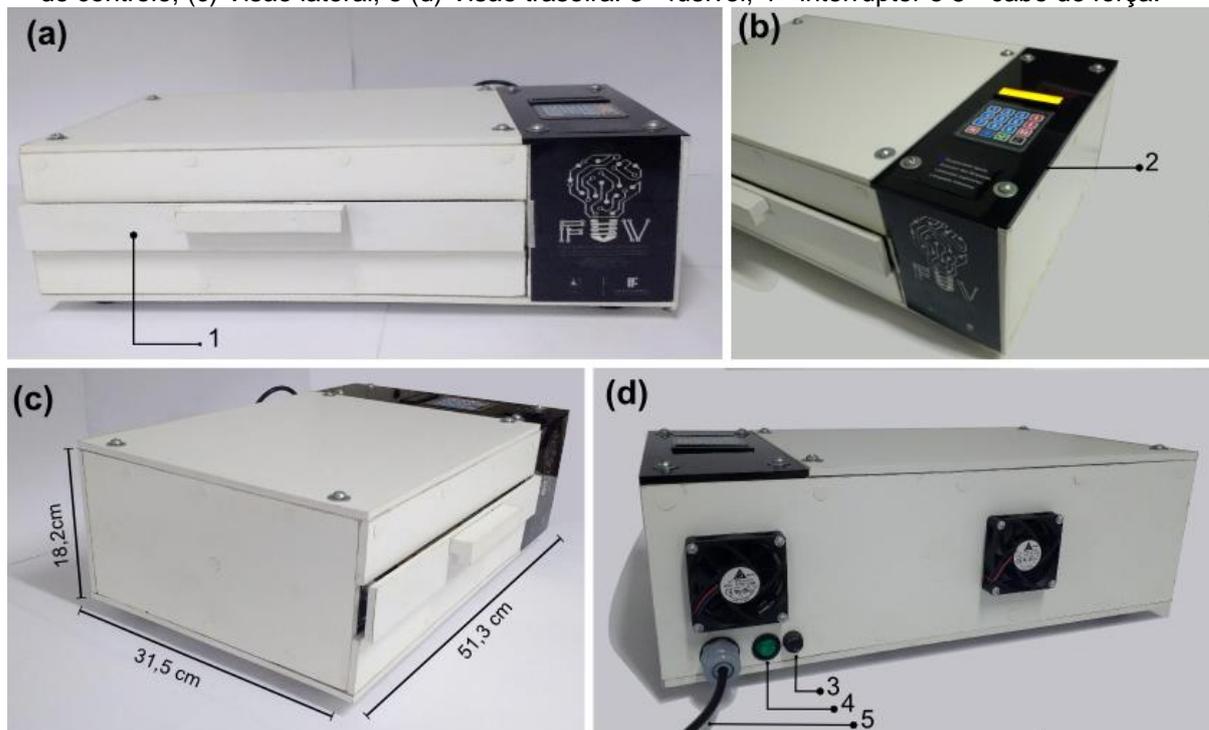


Fonte: As autoras (2017).

4.4 DESENVOLVIMENTO ESTRUTURAL

Conforme demonstrado na Figura 45, o equipamento foi desenvolvido de maneira a oferecer maior funcionalidade e segurança, garantindo também as menores dimensões físicas possíveis. Ou seja, o equipamento possui 18,2 cm de altura, 51,3 cm de largura, 31,5 cm de profundidade, e pesa 7,1 Kg. Nele, temos um compartimento para a realização das exposições UV que contém uma gaveta moldada para o posicionamento das placas — com medidas máximas em torno de 22 cm x 25 cm — e um espaço específico para acomodação dos circuitos, com aproximadamente 11,2 cm x 31,5 cm.

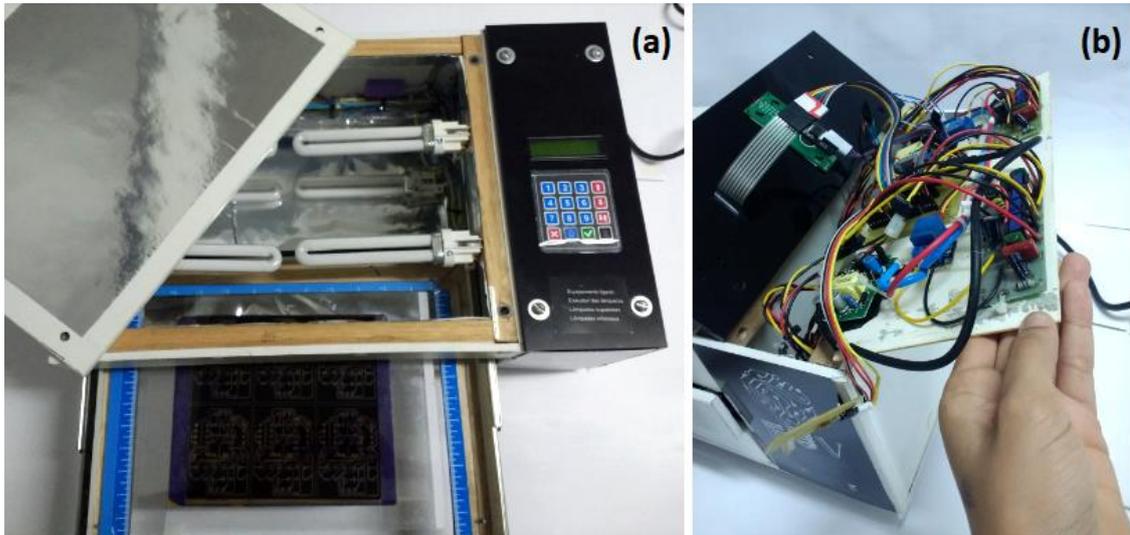
Figura 44: Equipamento montado: (a) Visão frontal: 1 - gaveta; (b) Visão superior: 2 - painel de controle; (c) Visão lateral; e (d) Visão traseira: 3 - fusível, 4 - interruptor e 5 - cabo de força.



Fonte: As autoras (2017).

O compartimento de exposição do equipamento obedece ao arranjo de lâmpadas descrito no item 3.2.7, possibilitando a intensificação da quantidade de luz emitida, além disso, através da Figura 46 (a) é possível observar o resultado do revestimento refletor presente no referido compartimento. Conforme observa-se nas Figuras 46 (b) e 47 (b), o compartimento destinado à acomodação dos circuitos apresentou um resultado extremamente satisfatório em organização, funcionalidade e facilidade de manutenção.

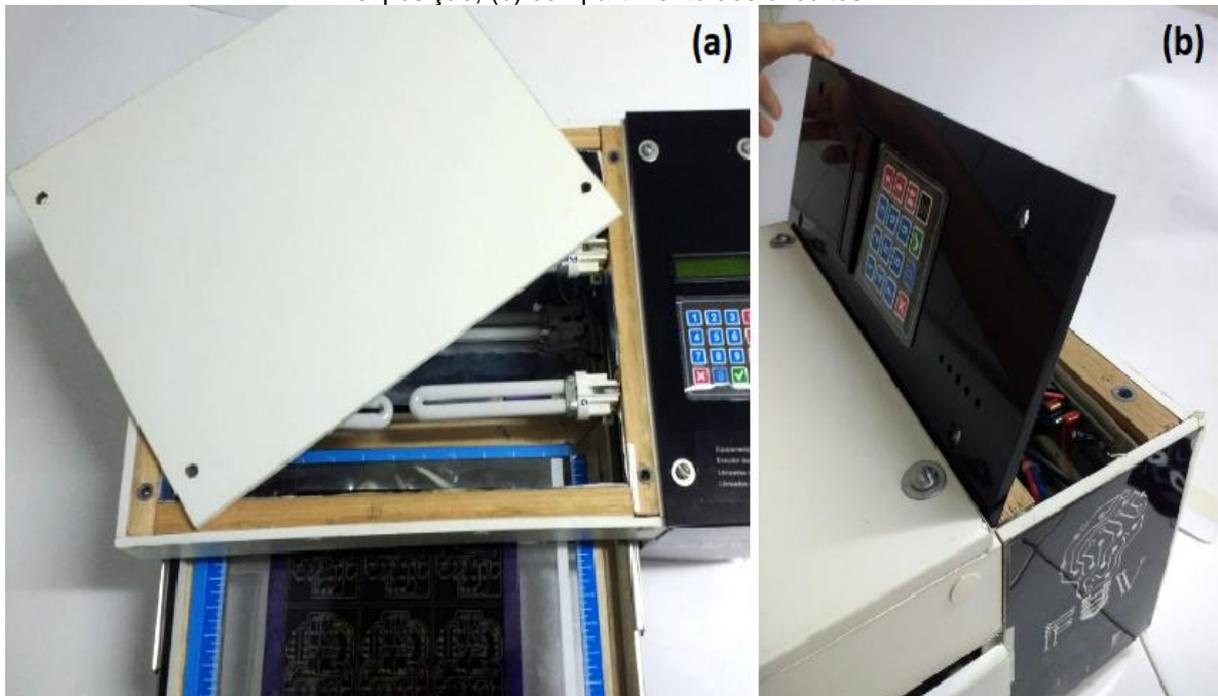
Figura 45: Vista interna do equipamento:(a) Compartimento de exposição UV; e (b) compartimento dos circuitos.



Fonte: As autoras (2017).

Observa-se na Figura 47 que o acesso aos compartimentos é feito por meio da remoção de parafusos de fixação das tampas, sendo quatro em cada uma, tal procedimento facilita tanto a limpeza quanto o acesso ao conteúdo desses espaços.

Figura 46: Tampas removíveis dos compartimentos da cabine, (a) compartimento de exposição, (b) compartimento dos circuitos.

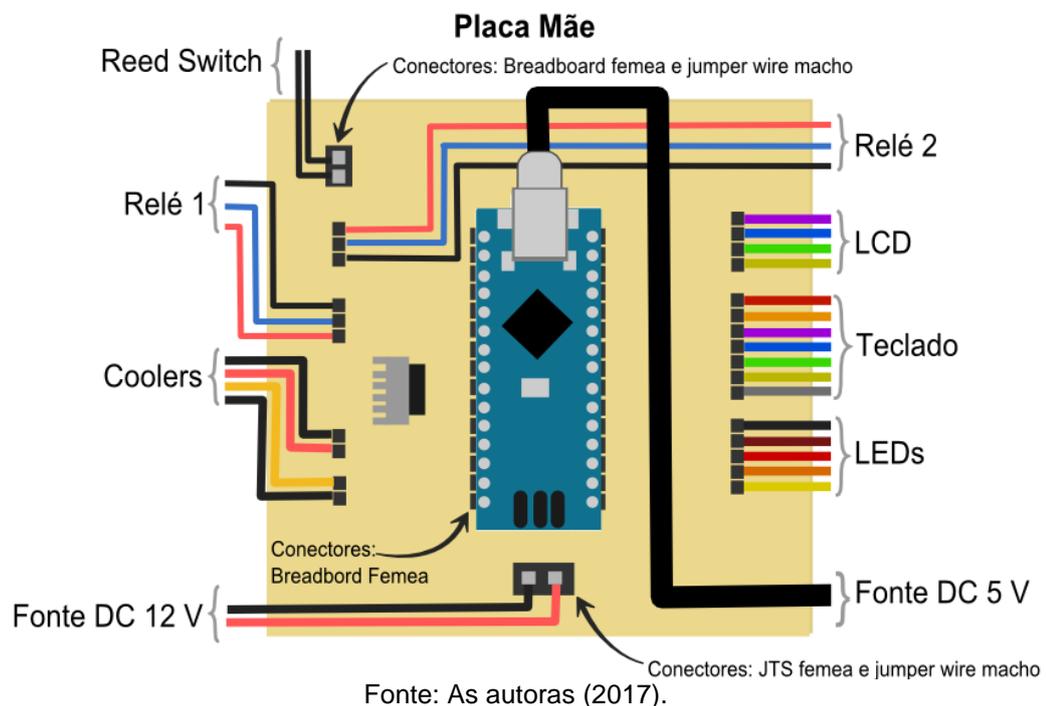


Fonte: As autoras (2017).

4.5 DESENVOLVIMENTO DA PLACA-MÃE

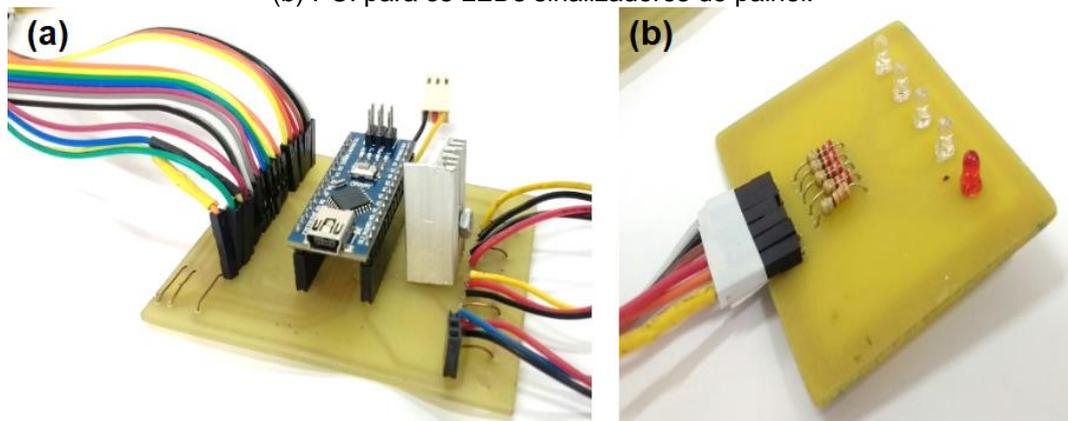
A placa-mãe mostrou-se bastante exitosa dentro do objetivo para o qual foi pensada, sendo a peça central da parte de controle do sistema. Analisando a Figura 48 é possível compreender melhor a disposição sistemática da placa como um todo. Pode-se identificar os dois pontos principais que garantem sua eficiência: Sua característica modular de fácil desconexão e sua distribuição espacial estratégica.

Figura 47: Representação esquemática da PCI da Placa-Mãe.



A natureza totalmente modular dá-se em função de que todos os elementos inseridos na placa, incluindo o Arduino, podem ser desconectados, essa característica se mostrou indispensável para suprir necessidades de vistorias e reparos, além de facilitar a manutenção do código. Sobre o posicionamento estratégico, observando-se as Figuras 46 (b) e 47 (b) que os componentes do painel de controle (LCD, teclado e LEDs) estão posicionados ao mesmo lado e na sequência correspondente a organização do painel, assim ocorre com todas as demais partes da placa. Isso foi extremamente significativo no que concerne a evitar o estofamento ou repuxo dos cabos. Com a visualização da Figura 49, é possível constatar o resultado das duas placas que foram confeccionadas e montadas, e cujo funcionamento ocorreu conforme previsto em projeto.

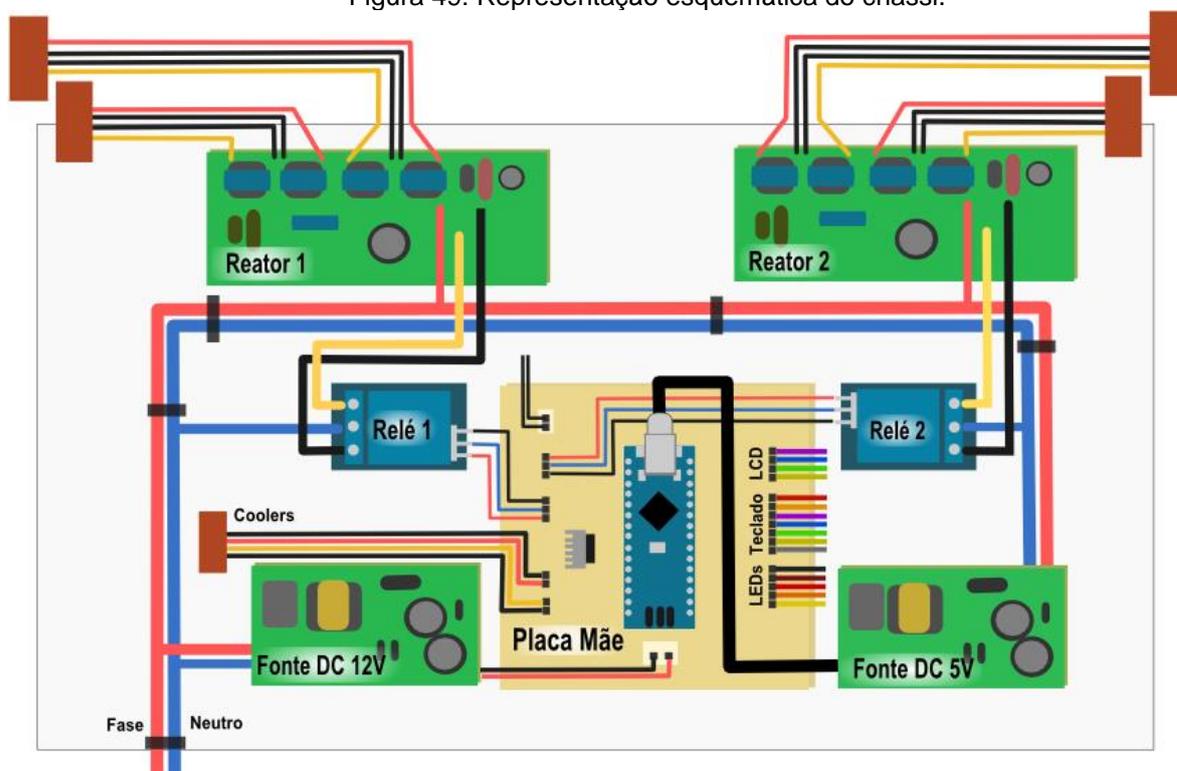
Figura 48: Placas de circuito impresso produzidas. (a) Conexão do Arduino e dos periféricos; (b) PCI para os LEDs sinalizadores do painel.



Fonte: As autoras (2017).

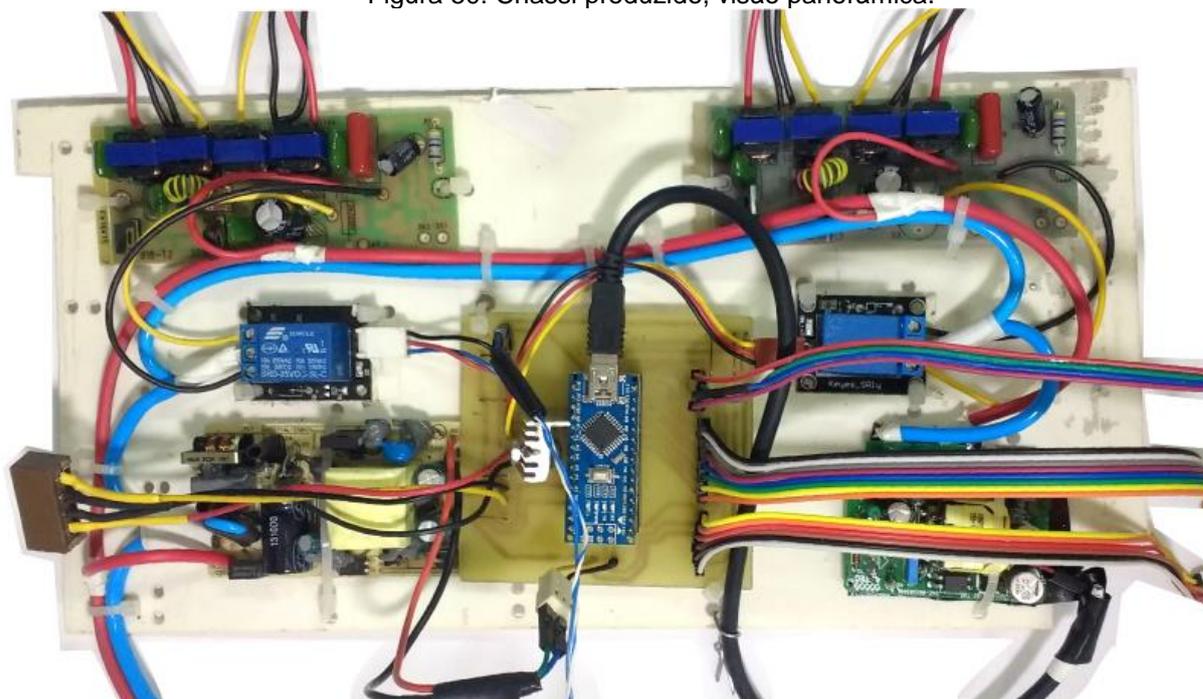
Seguindo a mesma concepção de montagem sistêmica da placa-mãe, conforme observa-se nas Figura 50 (representação) e Figura 51 (real), os resultados obtidos para o chassi foram satisfatórios, aliando às características de usabilidade, dissipação de calor e manutenção.

Figura 49: Representação esquemática do chassi.



Fonte: As autoras (2017).

Figura 50: Chassi produzido, visão panorâmica.



Fonte: As autoras (2017).

A escolha dos conectores AMP MATE-N-LOK para o acoplamento das lâmpadas e dos *coolers* ao sistema de controle demonstrou ter sido uma escolha bastante satisfatória, pois, principalmente na fase de testes, onde seu uso foi mais demandado, demonstraram praticidade e grande resistência. De certa forma, os momentos iniciais de montagem e testes simulam momentos de manutenção do equipamento, e os conectores juntamente com o chassi forneceram um importante conjunto, oferecendo agilidade no manuseio, já que esses são totalmente removíveis.

4.6 ESCOLHA, AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DAS LÂMPADAS

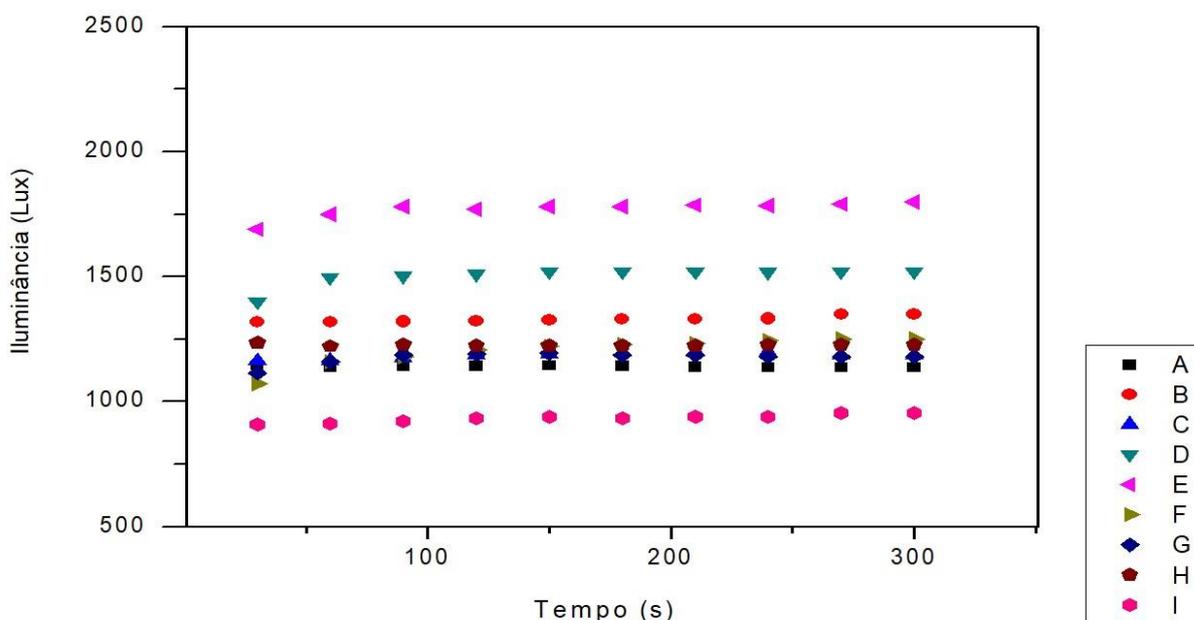
Quando da aquisição das cabines para utilização das lâmpadas, surgiram diversos questionamentos de pessoas externas ao projeto em relação ao porquê de não serem utilizadas as próprias cabines para a fabricação das placas. Esses questionamentos foram rapidamente respondidos pois são muitos os argumentos que levaram ao desenvolvimento do FUV. De imediato, pode-se apontar a possibilidade viabilizada pela FUV de produção *layouts* grandes, múltiplos e dupla face, facilidades essas que não estariam disponíveis no caso da utilização das cabines.

As lâmpadas utilizadas atenderam aos pré-requisitos postos, uma vez que são vigorosas fontes luminosas e não produzem calor excessivo.

No que tange à sua aquisição, ela deu-se de maneira fácil, por sua abundância no mercado virtual como um todo, tanto da cabine quanto das lâmpadas, individualmente falando.

Conforme mostrado nas Figuras 46 (a) e 47 (a), a instalação das lâmpadas, obedeceu a configuração descrita na metodologia. Os testes com o luxímetro foram executados para avaliar a distribuição luminosa no interior da câmara de exposição e, os resultados obtidos são demonstrados no gráfico da Figura 52, em que o eixo das abscissas corresponde ao tempo de análise, dado em segundos, e o eixo das ordenadas corresponde a intensidade luminosa, ou iluminância, dada em lux.

Figura 51: Gráfico dos resultados do teste de uniformidade de distribuição luminosa no interior da cabine.

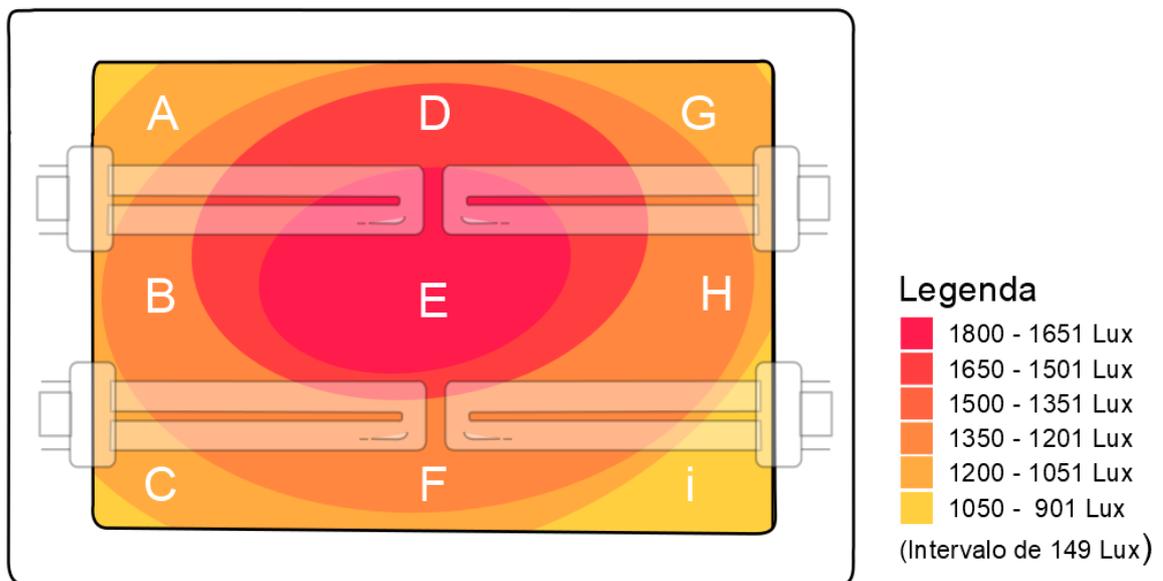


Fonte: As autoras (2017).

Ao observar o gráfico, nota-se de imediato que a distribuição de luz não se dá de maneira cem por cento homogênea. Entretanto, analisando o diagrama de iluminância da Figura 53 constata-se que a distribuição de luz no interior da câmara de exposição está de acordo com a disposição das lâmpadas e seus respectivos diagramas de radiação, ou seja, o valor máximo de iluminância observado no centro da câmara (região E) deve-se ao somatório das contribuições das quatro lâmpadas, enquanto que nas regiões periféricas (regiões A, C, G e I) onde o efeito aditivo é menos significativo, observa-se os menores valores de intensidade luminosa.

Contudo, é válido ressaltar que o gradiente de iluminância observado, por mais que não tenha sido planejado, não representa um problema ao funcionamento do equipamento, ou seja, não impede a realização do processo de transferência de padrões (fotolitografia), conseqüentemente, quaisquer medidas tomadas no sentido de reduzir a variação de iluminância deve ser considerado apenas como melhorias aplicadas ao equipamento.

Figura 52: Diagrama de densidade luminosa na face de exposição das placas.

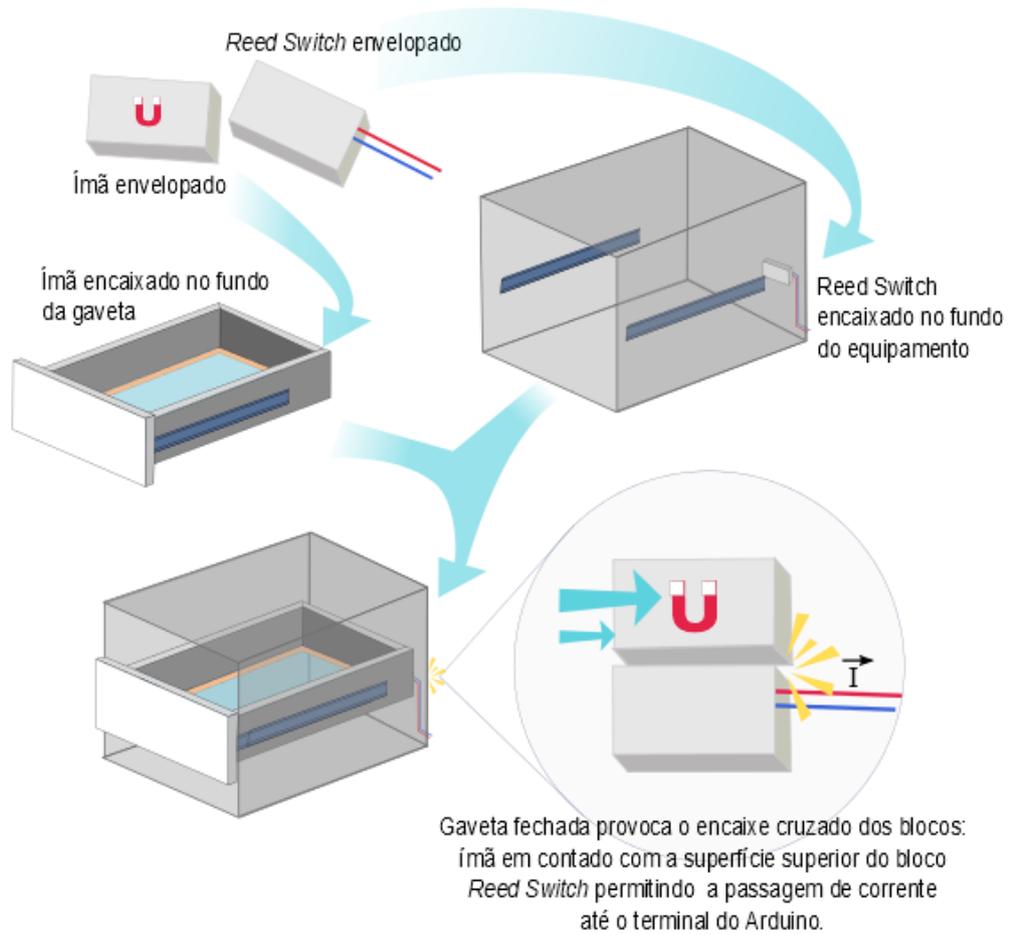


Fonte: As autoras (2017).

4.7 INSTALAÇÃO DO REED SWITCH

O encaixe cruzado dos módulos, demonstrado no esquemático da Figura 54, mostrou-se a alternativa mais eficaz para o preciso intertravamento do sistema. Nessa configuração o ímã ficou encaixado na parte posterior da gaveta e o *Reed Switch* na parte interna do compartimento de exposição, estando, respectivamente, um acima do outro. Como consequência, o sistema de controle só permite o acendimento das luzes quando a gaveta está completamente fechada, resultado que não foi alcançado quando o encaixe frontal foi tentado, situação em que as lâmpadas acenderam com a gaveta ainda aberta e distante cerca de 3 cm a 5 cm do final de curso.

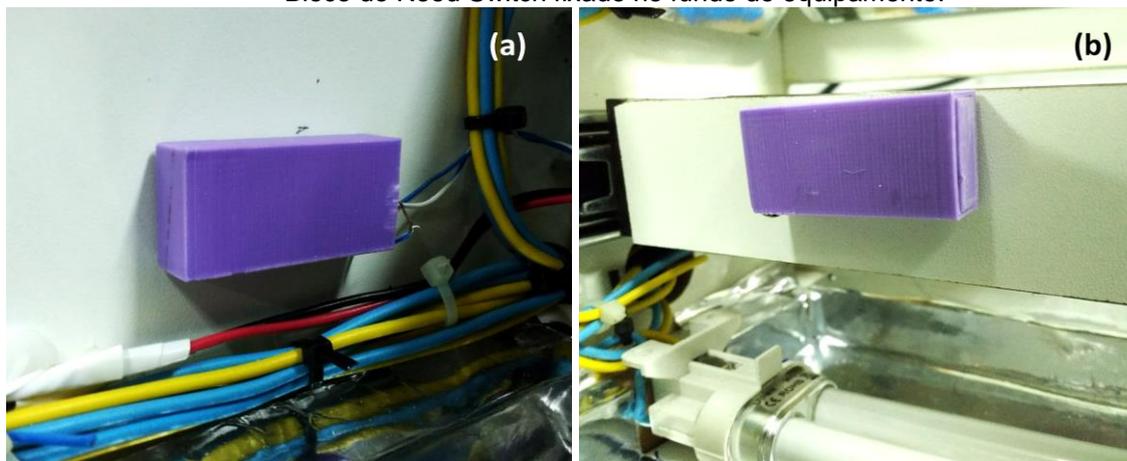
Figura 53: Representação esquemática da instalação conjunto Reed Switch-ímã (encaixe cruzado).



Fonte: As autoras (2017).

No mais, os blocos produzidos na impressora 3D desempenharam excelente funcionamento, oferecendo ao sistema de travamento a robustez necessária para uma instalação do tipo, localizada em um ponto tão vulnerável como é o fim de curso da gaveta, sendo este submetido constantes impactos. A Figura 55 exibe a instalação final dos blocos no equipamento.

Figura 54: Blocos do conjunto Reed Switch – Ímã: (a) Bloco do ímã fixado no final da gaveta; e (b) Bloco do Reed Switch fixado no fundo do equipamento.



Fonte: As autoras (2017).

4.8 TESTES E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Os testes foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (LAPERN) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Campus Natal Zona Norte.

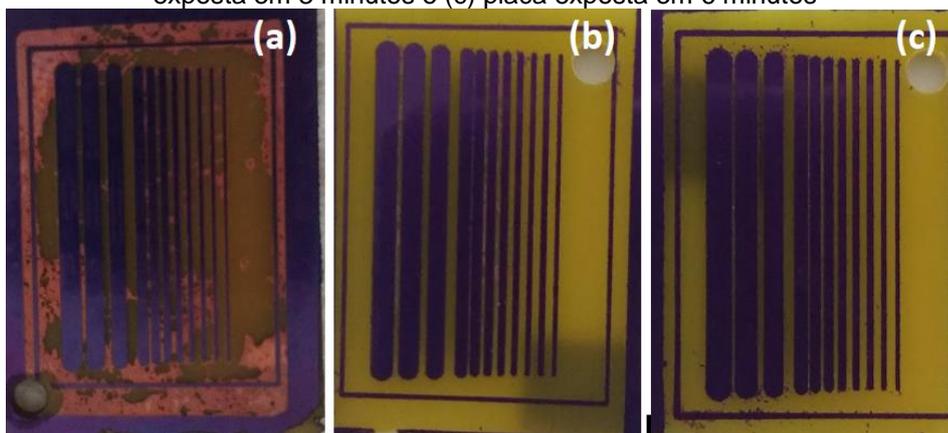
Etapa 1: Tempo de exposição e precisão da transferência

Como descrito na metodologia, com a finalidade de averiguar o melhor tempo de exposição à radiação UV, foram realizados diversos processos com diferentes tempos. Inicialmente, verificou-se que todos os processos realizados permitiram a transferência do *layout*, ou seja, foram suficientes para a sensibilização total e/ou parcial do polímero fotossensível. Porém, nos momentos de revelação e corrosão, as placas apresentaram diferentes comportamentos.

As placas submetidas a tempos de exposição de até 4 minutos passaram pelo processo de revelação em tempo hábil. No entanto, as que foram expostas por tempos superiores (5 minutos e 6 minutos) apresentaram maior dificuldade no momento da revelação química, tal fato decorre da maximização dos efeitos da difração da luz e da transmissão através das regiões opacas do fotolito que não conseguem bloquear inteiramente a radiação UV, ou seja, com a exposição demasiada ocorre a sensibilização indevida de certas regiões do polímero fotossensível utilizado.

Quanto ao processo de corrosão, as placas expostas com tempo inferior a três minutos apresentaram dificuldades, havendo a necessidade de passar por um período de corrosão cerca de 4 vezes maior que o padrão (10 min) e ainda assim não conseguiram ser corroídas por completo. A falha observada no processo de corrosão demonstra que a exposição com tempos muito curtos acarreta a incompleta sensibilização das regiões expostas do polímero fotossensível, impedindo, conseqüentemente, sua completa remoção quando da etapa de revelação, ou seja, tais regiões se mantêm, ainda, recobertas por uma fina camada de polímero, não sendo convenientemente atacadas pela solução corrosiva, conforme esperado. Na Figura 56 é possível observar o resultado da corrosão das placas nos tempos extremos (30 segundos, 3 minutos e 6 minutos).

Figura 55: Placas com o padrão gradiente pós corrosão, (a) Placa exposta em 30 segundos, (b) placa exposta em 3 minutos e (c) placa exposta em 6 minutos



Fonte: As autoras (2017).

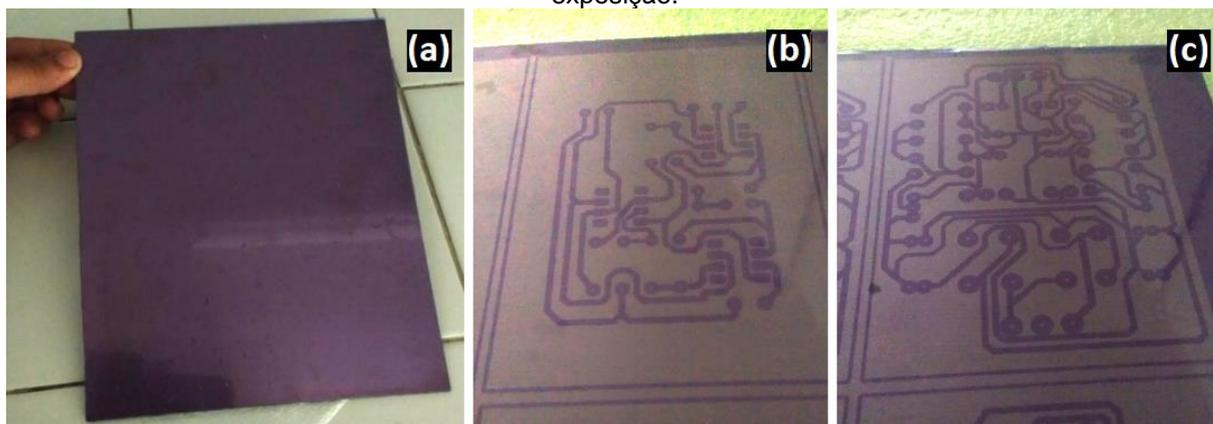
A Etapa 1 do procedimento de teste da FUV demonstrou que para o polímero fotossensível utilizado o tempo de exposição deve ser ajustado na faixa de 3 a 4 minutos. Além da definição da faixa de tempo de exposição, o teste também permitiu observar que todos os seguimentos do gradiente foram transferidos com a qualidade adequada. Isso demonstra que além de *layouts* de placas a FUV também é capaz de transferir a legenda de componentes, cuja espessura padrão é de 8 th a 10 th, ou seja, tem a espessura dos segmentos mais finos do gradiente.

Etapa 2: *Layout* múltiplo e *double side*.

Quando da primeira tentativa de realização do processo (sem o vidro superior), apenas a parte inferior da placa foi gravada com precisão, a parte superior apresentou-se bastante borrada e desalinhada. Foi constatado, portanto, a importância de garantir o completo contato do fotolito com a superfície do polímero fotossensível, removendo por completo eventuais bolhas de ar que acarretam fenômenos de refração indesejados. A utilização do segundo vidro, como descrito no tópico 3.2.5, trouxe uma nova demanda ao projeto: Uma forma mais prática de realizar sua colocação e retirada. A inclusão do gabarito graduado trouxe melhorias significativas ao processo quanto ao alinhamento dos fotolitos, o desenvolvimento do novo procedimento foi fundamental uma vez que eventuais desalinhamentos acarretam problemas em etapas posteriores da fabricação das PCIs - por exemplo quando do corte e perfuração.

Conforme mostrado na Figura 57, após os ajustes feitos no processo, a transferência simultânea dos padrões inferior e superior foi realizada com sucesso. O êxito obtido, demonstra a possibilidade de utilização da FUV para a fabricação de PCIs *double side*, além de confirmar que o gradiente de nível de iluminação observado no interior da câmara de exposição (ver item 4.6) não afeta de forma significativa o processo de transferência de padrões por fotolitografia.

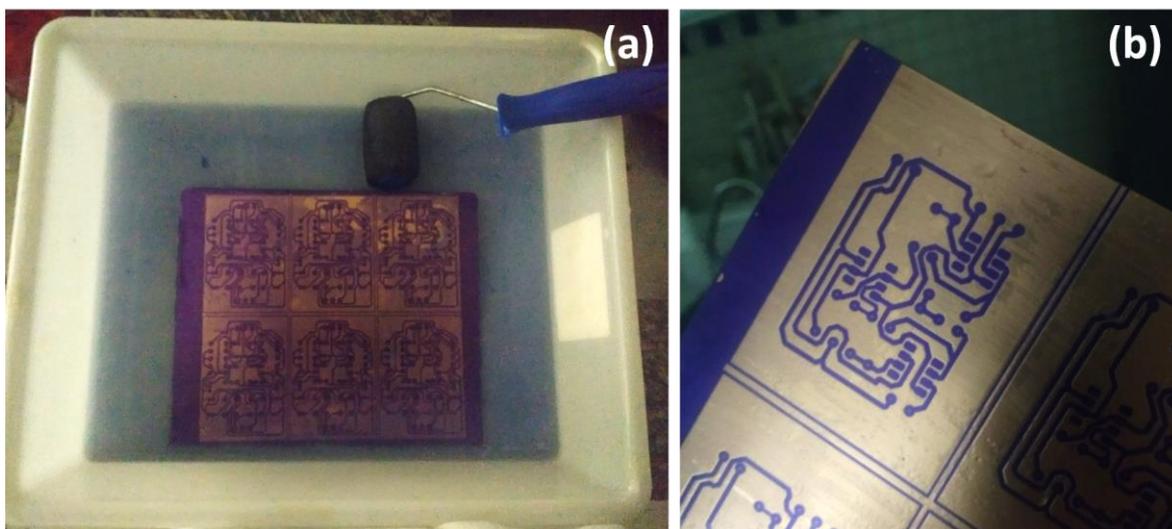
Figura 56: Placa utilizada no teste 2: (a) Placa revestida com material fotossensível nas duas faces antes da exposição, (b) Lado inferior da placa após a exposição (c) Lado superior da placa após a exposição.



Fonte: As autoras (2017).

Nas Figuras 58 (a) e (b) podemos observar, respectivamente, o seguimento e o resultado do processo de revelação dos padrões transferidos à placa. A revelação ocorreu como esperado, ou seja, o layout se manteve intacto e firmemente fixado à placa, sem falhas ou borrões.

Figura 57: Processo de revelação do segundo teste. (a) Durante o procedimento (b) Após o procedimento²⁵.



Fonte: As autoras (2017).

Quanto ao processo de corrosão que foi subsequentemente realizado, pode-se dizer que este ocorreu certa forma deficiente, visto que o percloro de ferro disponível no LAPERN estava bastante saturado, tornando-o inadequado ao processo de corrosão de uma placa de dimensões tão ampliadas quanto a utilizada. Conseqüentemente, a corrosão não ocorreu por completo, mesmo após horas de ataque químico. No entanto, embora não fornecendo o resultado esperado, esse processo se fez útil ao apontar a resistência do padrão transferido para a placa, que se manteve intacto, sem nenhuma ruptura, mesmo após um longo período de exposição à substância corrosiva.

4.9 CUSTOS

A contabilização dos custos de um trabalho como este, é imprescindível pois é ela quem expõe a real viabilidade de execução do projeto. Assim, inicialmente foi verificado o valor unitário de cada componente e material que foi necessário à fabricação do equipamento. A Tabela 4 exhibe os custos de toda a estrutura física interna e externa do projeto. Tais valores foram obtidos com base no site do *AliExpress*, do *Mercado Livre* e do *Natal Makers*, além de compras presenciais. No Anexo A segue as imagens dos links dos produtos obtidos virtualmente.

²⁵ A baixa qualidade das fotos decorre do ambiente escuro onde foram tiradas, procedimento adotado para evitar a exposição indesejada do filme fotossensível à luz.

Tabela 1: Custos para a fabricação da FUV.

| Material | Quantidade | Preço unitário (R\$) | Preço total (R\$) |
|---------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Adaptador módulo I2C | 1 | 7,41 | 7,41 |
| Arduino Nano | 1 | 12,35 | 12,35 |
| <i>Cooler</i> | 2 | ** | ** |
| Cabine da Fuv | 1 | 241,51 | 241,51 |
| Fonte DC 12 V | 1 | ** | ** |
| Fonte DC 5 V | 1 | ** | ** |
| Placa de fenolite 10 cm x 10 cm | 1 | 5,00 | 5,00 |
| Interruptor | 1 | 3,45 | 3,45 |
| Cabine UV | 2 | 38,99 | 77,98 |
| Conectores | 9 (pares) | ** | ** |
| LCD 16x2 | 1 | 10,00 | 10,00 |
| LEDs | 5 | 0,24 | 1,20 |
| Módulo relé | 2 | 3,97 | 7,94 |
| Papel para reflexão | 3 | 2,00 | 6,00 |
| <i>Reed Switch</i> | 1 | 1,10 | 1,10 |
| Resistores | 5 | 0,10 | 0,50 |
| Teclado Matricial 4x4 | 1 | 7,15 | 7,15 |
| Transistor BD135 | 1 | 1,80 | 1,80 |
| | Total | 335,07 | 383,39 |

Os espaços na tabela preenchidos com duplos asteriscos (**) indicam "Material de reuso - adquirido por meio de doação ou coleta".

Fonte: As autoras, 2017.

Como observado na tabela o valor total demandado para a confecção do projeto foi de aproximadamente R\$ 383,39, valor significativamente inferior ao do equipamento comercial cujo preço estimado é de R\$ 4297,87 (sem considerar

impostos e taxas de importação). Todavia, é indispensável a afirmação de que as grandezas citadas referem-se apenas a valores estimados. Além disso, é um fato indiscutível a não possibilidade de comparação entre os valores de um equipamento de procedência industrial com os do equipamento produzido, visto que, no primeiro citado estão impressos os custos relacionados à produção, à mão de obra empregada, além dos referentes às pesquisas e tecnologias aplicadas. Porém, mesmo assim, ainda é importante discorrer sobre os custos, pois estes revelam a aplicabilidade do projeto em questão dentro do contexto mencionado, dado que, desde o princípio, o projeto visava a oportunização do acesso da comunidade acadêmica à técnica de produção de placas de circuito impresso por meio da fotolitografia, tendo como maior alvo a reprodução autônoma desse projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Examinando o resultado de montagem e funcionamento do equipamento, é possível afirmar que o objetivo principal do presente trabalho foi devidamente cumprido, isto é, desenvolver uma câmara de exposição eletronicamente controlada para aplicação de radiação ultravioleta em processos de fabricação de placas de circuito impresso.

Além disso pode-se destacar, também, a total viabilidade econômica da confecção do equipamento, levando em consideração o preço de todos os componentes eletrônicos e dos demais materiais utilizados. De modo que, o custo de produção da FUV veio ficar em torno de R\$ 383,39 o que representa apenas 8,9% do valor de uma fotoexpositora comercial, cujas características foram mencionadas na introdução, e pode custar cerca de R\$ 4.297,87.

A FUV cumpriu seu objetivo também no que diz respeito à redução das dimensões físicas do equipamento, pois suas medidas finais, quando comparadas ao modelo comercial foram reduzidas em 2,8 cm de sua altura, 8,7 cm de largura, 25,5 cm em seu comprimento e 26,9 Kg em seu peso. Isso, sem dispensar nenhum dos recursos planejados inicialmente e sem reduzir as dimensões máximas de placas a serem produzidas, sendo de 20 cm x 20 cm. Ou melhor dizendo, o equipamento superou todas as expectativas de produção e dimensões pois tem espaço para a confecção de placas com até 22 cm x 25 cm sem prejuízos observados à revelação provenientes da desuniformidade na luz propagada.

Mencionando os testes realizados é possível analisar a funcionalidade da FUV em produzir placas sob as especificações prenunciadas e com o profissionalismo e a rapidez almejados. Pois, dentre outras coisas, manifestou-se como apta à transferência de padrões de até 0,203 mm, de acordo com as informações fornecidas pelo CAD. Esse dado é de suma relevância no tocante de assinalar a viabilidade concedida à confecção de placas com tecnologia SMT ou outras tecnologias que exigem padrões com dimensões reduzidas.

Todavia, deve-se considerar que o equipamento está sujeito a diversas melhorias, provenientes, principalmente, de dificuldades enfrentadas no decorrer do projeto. Tais como: Melhorar a forma de alimentação do Arduino compactando-a à placa-mãe através do V_{in} - isso não foi feito de imediato pois buscou-se a alternativa

mais simples no momento, porém suficientemente eficaz -, estudar e aplicar outras alternativas de revestimento reflectante para o interior de exposição da cabine - com a finalidade de melhorar a uniformização da luz distribuída e se possível eliminar as focalizações criadas -, desenvolver um mecanismo de encaixe e fixação do segundo vidro - visando tornar mais prático o seu uso, conforme apontado nos resultados -, adicionar um botão externo voltado ao reset do Arduino, e isolar os cabos de alimentação das lâmpadas da ação da luz emitida objetivando a conservação desses, visto que estando expostos à radiação UV poderão sofrer envelhecimento precoce com conseqüente ressecamento de sua isolação - tal *insight* só surgiu após a estrutura montada, razão pela qual é apresentado como sugestão de trabalho futuro.

Outro problema enfrentado está presente no que se refere ao desenvolvimento da lógica de programação e do código fonte. Pois, apesar de ter fornecido excelentes resultados, o código desenvolvido foi elaborado fazendo uso apenas de estruturas básicas de programação, isso foi feito com o intuito de simplificar a execução da lógica pensada, no entanto tal escolha resultou em um código extenso e pouco otimizado. Dessa forma, é necessário buscar, em trabalhos futuros, o aprimoramento da lógica de programação criada no que se refere a aplicar-lhe recursos de síntese e otimização ao código, no mais, como já dito em seção anterior, o código atual vem sendo capaz de satisfazer todas as necessidades postas ao equipamento.

Ademais, não há como negar a importância que o questionário levantado inicialmente teve em toda a realização do processo laboral. Com ele foi possível mostrar, com dados mais consistentes, a seriedade de projeto desenvolvido e quão impactante ele se mostraria dentro do ambiente em que foi desenvolvido.

Isto posto, o equipamento desenvolvido passa a compor o elenco de ferramentas do Laboratório de Processos de Fabricação de Sistemas Eletrônicos - instalado provisoriamente no LAPERN, ambiente considerado o mais apropriado para tal em razão do seu caráter salubre e do fato de já acomodar atividades relativas à produção de placas de circuito impresso como por exemplo as etapas de corrosão, revelação, aplicação e secagem de polímeros fotossensíveis, e soldagem de componentes eletrônicos pelo processo de refusão.

Em síntese, dada a relevância do assunto, apresentam-se diversas sugestões para tornar o equipamento cada vez mais inteligente e robusto; para isso é necessário não apenas realizar a compactação do código, mas também optar pela realização de testes com outros tipos de lâmpadas e materiais para observar como o equipamento se comporta em situações diversas, conseqüentemente, garantindo a continuidade e otimização da pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, André Souza; FREITAS, Pedro Augusto Ramos de. **Levantamento Histórico da Eletrônica**: Principais Inventores e Suas Contribuições. Disponível em: <<http://editora.iftm.edu.br/index.php/sepit/article/view/288/144>>. Acesso em: 19 out. 2017.

AMBIENTAL, Astral Controle. **Sistema de Exaustão**. Disponível em: <<http://www.astralambiental.com.br/produtos/sistema-de-exaustao/>>. Acesso em: 03 out. 2017.

ARDUINO Nano. Disponível em: <<https://multilogica-shop.com/arduino-nano>>. Acesso em: 26 out. 2017.

ARDUINOBR. Disponível em: <<http://arduinocbr.blogspot.com.br/2016/05/barramento-ic.html>>. Acesso em: 26 out. 2017.

ARDUINO: EEPROM. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/EEPROM>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BALASTRO magnético. Disponível em: <<https://weedmania.cl/tienda/iluminacion/ballast/balastro-magnetico-sodiohaluro-400-w-certificado/>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

BARROSO, Lidiane Bittencourt; WOLFF, Delmira Beatriz. Radiação ultravioleta para desinfecção de água. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2009.

BASSAN, Guilherme Morgado; CUSTÓDIO, Luís Paulo. **Tutorial**: Confecção de Placas de Circuito Impresso Pelo Processo de Fototransferência. 2014. 12 p. Relatório (Graduando em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/268054383/Tutorial-Confeccao-Pcb>>. Acesso em: 29 out. 2017.

BERG, Hermann. **Johann Wilhelm Ritter-the founder of scientific Electrochemistry. Review of Polarography**, v. 54, n. 2, p. 99-103, 2008.

BON, Ary Luiz. **Cura UV nas artes gráficas: Vantagens da Tecnologia**. TEC SCREEN. FIEPAG, 2001.

BD135 Transistor: Medium Power Silicon NPN Transistor. Disponível em: <<http://circuit-diagramz.com/bd-135-transistors/>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BRAGA, Newton C. **Relés**: Circuitos e aplicações. São Paulo: NCB, 2012. 179 p. Disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/arquivos/relés_previa.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2017.

BRAGA, Newton C. **Como funciona o Reed-Switches**. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/3860-mec089>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

BRITANNICA, Encyclopædia. **Sir John Ambrose Fleming**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/John-Ambrose-Fleming>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

BIOGRAPHY - Edward Davy. Canberra: Melbourne University, 1966. Disponível em: <<http://adb.anu.edu.au/biography/davy-edward-1966>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

CAMPBELL, Lewis; GARNETT, William. **The Life of James Clerk Maxwell**. Disponível em: <<https://www.sonnetsoftware.com/bio/maxbio.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2017.

CARVALHO, Marco Antônio Alves de. **O Conceito de Representação na Física de Heinrich Hertz**: Uma Abordagem Histórica. 2007. 111 p. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CAVALCANTE, Gustavo Araújo. **Desenvolvimento de Circuitos Planares Sobre Substratos Têxteis**. 2014. 115 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

CAVALCANTE, Marcus Vinícius Guedes; SILVA, Ricardo Queiroz de Farias Henrique. **MINIMIZE - Método Manual para Redução de Dimensões Físicas, Peso e Dissipação de Potência Elétrica em Sistemas Eletrônicos**. 2017. 62 f. TCC - Curso de Técnico Integrado em Eletrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Campus Natal – Zona Norte, Natal, 2017.

CONECTORES. Disponível em: <<http://www.sindal.com.br/empresa.html>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

CONVERSOR de onda dupla. Disponível em: <<https://www.daisalux.com/pt-pt/pages/productos/soluciones.aspx?DB=DaisaluxProPt&Cest=6&GAsp=41&Asp=76&Sol=8482>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

CURCIO, Henry; CARDOSO, Jessica Piffer; BATISTA, David. **A história do telégrafo**. Disponível em: <<https://ahistoriadacomunicacao.wordpress.com/2013/04/01/a-historia-do-telegrafo/comment-page-1/>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

CURSI, Igor Brum. **Fototerapia**. Disponível em: <<http://www.dermatologiaesaude.com/fototerapia>>. Acesso em: 19 out. 2017.

CUSTÓDIO, Luís Paulo. **Teclado matricial**. [20--]. 9 p. Material teórico (Sistemas Microcontrolados) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Paraná, Brasil, [20--]. Disponível em: <<http://file:///D:/Usu%C3%A1rios/20151042060125/Downloads/Teclado%20Matricial.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2017.

DARTORA, César Augusto. **Teoria do campo eletromagnético e ondas**. Curitiba: UFPR, 2015. 294 p. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/Documentos/TE053/Ondas_Eletromagneticas>. Acesso em: 23 out. 2017.

DIMENSIONAMENTO de sistema de ventilação local exaustora (VLE): estudo de caso de uma indústria de móveis, em STa Terezinha de Itaipu, PR, Brasil. **Estudos Tecnológicos**, Paraná, v. 7, n. 1, p. 1-11, abr. 2011. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiUsMO5mZzYAhXGQpAKHXm-AUAQFgg0MAI&url=http%3A%2F%2Frevistas.unisinos.br%2Findex.php%2Festudos_tecnologicos%2Farticle%2Fview%2F4509%2F1732&usg=AOvVaw0NyvTnxNX3dbMvWUJFVXtu>. Acesso em: 12 dez. 2017.

ELECTRIC telegraph: The history of the communications device. Disponível em: <<http://www.telegraph.co.uk/technology/connecting-britain/first-electric-telegraph/>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

FUENTES, Rodrigo Cardozo; NASCIMENTO, Claudio Rodrigues do. **Eletrônica**. Santa Catarina - RS: [s.n.], 2013. 92 p. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_automacao/terceira_etapa/eletronica_2012.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

INDUSTRY, Direct. **Double Side Exposure UV Exposure Unit**. Disponível em: <http://www.directindustry.com/prod/cif-circuit-imprime-francais/product-34422-1149091.html#product-item_1168181>. Acesso em: 14 set. 2017.

I2C Bus. Disponível em: <<http://dlnware.com/i2c>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

I2C módulo. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/2014/12/modulo-i2c-display-16x2-arduino.html>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

JESZENSKY, Paul Jean Etienne. **Sistemas Telefônicos**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2004. 651 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ZoCtCwdWhX0C&oi=fnd&pg=PR17&dq=sistemas+telefonicos+-+paul+jean+etienne+jeszensky&ots=1CXe7stolO&sig=9FSjHSZxG0YiJONQ4xVBhzOHQQo#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

KUGLER, Mauricio. **Método de desmontagem de placa de circuito provenientes de resíduos de equipamentos eletrônicos para reciclagem**. 2014. 185 P. Tese (Doutorado) (Pós-graduação em engenharia elétrica) - Escola de engenharia de São Carlos, USP, São Paulo, Brasil, 2014.

KRASNHAK, Vagner. **Tutorial: Módulo I2C com LCD**. Disponível em: <<http://www.up.edu.br/blogs/engenharia-da-computacao/2016/09/29/tutorial-modulo-i2c-com-lcd/>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

LÁZARO, Marcos Vinícius G.; SUMAR, Rodrigo Rodrigues. **Prototipadora LPKF S63**. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/cornelioproccio/eventos-anteriores/seminario-de-pesq.-jr/iv-seminario-de-pesquisa-junior-2013/trabalhos/18.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2017.

LEMOS, Manoel. **Como Fazer Suas Próprias PCBs – Placas de Circuito Impresso**. Disponível em: <<http://blog.fazedores.com/como-fazer-suas-proprias-pcb-placas-de-circuito-impresso/>>. Acesso em: 29 out. 2017.

LIMA, Luis Cláudio Moreira de. **Montagem e Manutenção de Computadores**. Paraná: IFPR, 2012. 70 p. Disponível em: <<http://www.cedaf.ufv.br/pronatec/anexos/pagina/arquivos/259843.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

LOPES, Jorge Miguel Abreu. **Guia para a elaboração de placas de circuito impresso**. [s.d.]. 27 p. Tese (Doutorado) (Centro de Competência de Ciências Exactas e da Engenharia) - Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, [20--].

Disponível em: <http://www.cee.uma.pt/hardlab/wp-content/uploads/tutorials/guia_placas_circuito_impresso_v1.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

LUQUETA, Gerson Roberto. **Curso Básico de Eletrônica Analógica**. Disponível em: <http://gerson.luqueta.com.br/index_arquivos/eletronica.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2017.

LUZ, Jeanine Marchiori da. **Luminotécnica**. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

LCD GDM1602K. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/GDM1602K.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2017.

MARTINS, Robson de Souza. **Fabricação de PCB Através de Transferência Térmica**. Disponível em: <<http://www.robsonmartins.com/eletr/transfterm/>>. Acesso em: 29 out. 2017.

MEHL, Ewaldo Luiz de Mattos. **Conceitos Fundamentais Sobre Placas De Circuito Impresso**. Departamento de Engenharia Elétrica Universidade Federal do Paraná. 2011.

MELO, João Luiz Glovacki Graneman de; BARANIUK, Jame. **Arduino**. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/~james/Laboratorio%20V/arquivos/Mini%20Curso%20Arduino.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

MESQUITA, Camila Cantarino. **Fundamentos da Produção Gráfica**. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5951965/fundamentos-da-producao-grafica>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

MÓDULO Relé 5v. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-1-canal/>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

MORASSI, Odair José. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. São Paulo/SP: SINGUIP, 2013. 158 p. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2017

MCDONALD, Donald; HUNT, Leslie B.. **A History of Platinum and its Allied Metals**. London: Johnson Matthey, 1982. 450 p. Disponível em: <<http://www.technology.matthey.com/wp-content/uploads/00-Foreword-Contents.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

MCLAUGHLIN, Dean B.. Obituaries. **Physics Today**, EUA, p. 153-155, jan. 1966. Disponível em: <<http://physicstoday.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.3047942>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

NANO Arduino. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>>. Acesso em: 09 dez. 2017.

PANIAGO, Gabriela Lopes. **Sistema de Exaustão**. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/direito/sistema-de-exaustao/15633>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

PENTEADO, Paulo Cesar M.; TORRES, Carlos Magno A.. **Física: ciência e tecnologia**. Não consumível. ed. São Paulo: Moderna, 2005. 44 p. v. 3.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Programando em C**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2010. 358 p.

REED Switch. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/8642>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

REED Switch Databook. Tokyo: OKI Sensor Devide, 2010. 197 p. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/downloads/OKI.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

RODRIGUES, Eliane de Campos; LIMA, Stephani Belém de; SILVA, Tony Inácio da. **Circuitos de controle de uma Fresa para confecção de Placas de circuito Impresso**. Departamento de Eletro-Eletrônica, CEFET - Mato grosso, Cuiabá, 2008.

SEMICONDUTOR, ON. **BD135G**. Disponível em: <<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/BD135-D.PDF>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

SOUZA, Beijamim Rodrigues de. **Etapas do Processo Fotolitográfico**. 2008. 108 p. Monografia (Especialização em Microeletrônica com ênfase em Microfabricação de Circuitos Integrados)- UFMG, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://lilith.fisica.ufmg.br/posgrad/Monografias/dec2000/beijamim-souza/mono-BeijaminSouza.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

SCRIVEN, Laurence Edward. **Physics and applications of dip coating and spin coating**. MRS Online Proceedings Library Archive, v. 121, 1988.

SEELING, Marina. **Radiação Ultravioleta**. Disponível em: <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-uv-seelig.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

SILVA, Welington Clayton,. **Radiação ultravioleta**: Inserção de física moderna no ensino médio por meio de efeitos biológicos da radiação UV. 2017. 77 p. PRODUTO (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) - Departamento de Física, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, 2017.

SPEEDOMETER, Odometer, and VSS sensor testing. Disponível em: <<http://www.fixkick.com/sensors/tests/vss-testing.html>>. Acesso em: 20 out. 2017.

TECHNOLOGY, Dalesway Print. **Vacuum Bed UV Exposure Units**. Disponível em: <<http://www.dalesway.co.uk/xeros.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino?**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 30 out. 2017.

VEIT, Hugo Marcelo. **Reciclagem de cobre de sucatas de placas de circuito impresso**. 2005.

WOODFORD, Chris . **Reed switches**. Disponível em: <<http://www.explainthatstuff.com/howreedswitcheswork.html>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

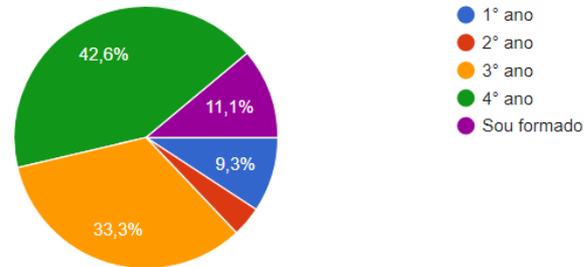
XAVIER, Marcelo Moreira. **Válvula Eletrônica para Medida de e/m**. 2005. 25 f. Relatório de Disciplina (Instrumentação para Ensino) - Unicamp, São Paulo, Brasil, 2005.

APÊNDICE A - Pesquisa realizada

Figura 58: Enquete - Pergunta 1.

Qual ano de eletrônica você cursa?

54 respostas

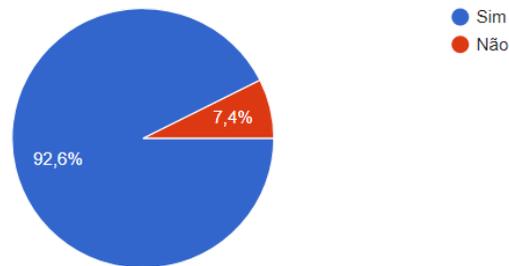


Fonte: As autoras (2017).

Figura 59: Enquete - Pergunta 2.

Há importância, para um profissional da área de eletrônica, em construir PCIs?

54 respostas

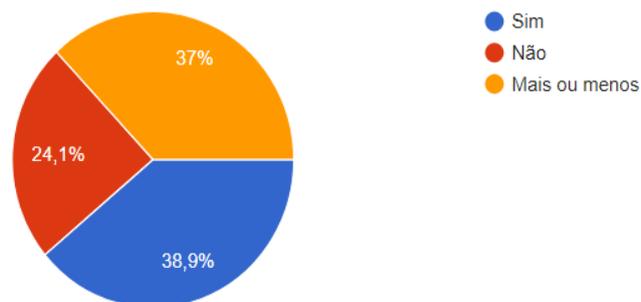


Fonte: As autoras (2017).

Figura 60: Enquete - Pergunta 3.

Você tem necessidade de produzir PCIs frequentemente para atividades acadêmicas?

54 respostas

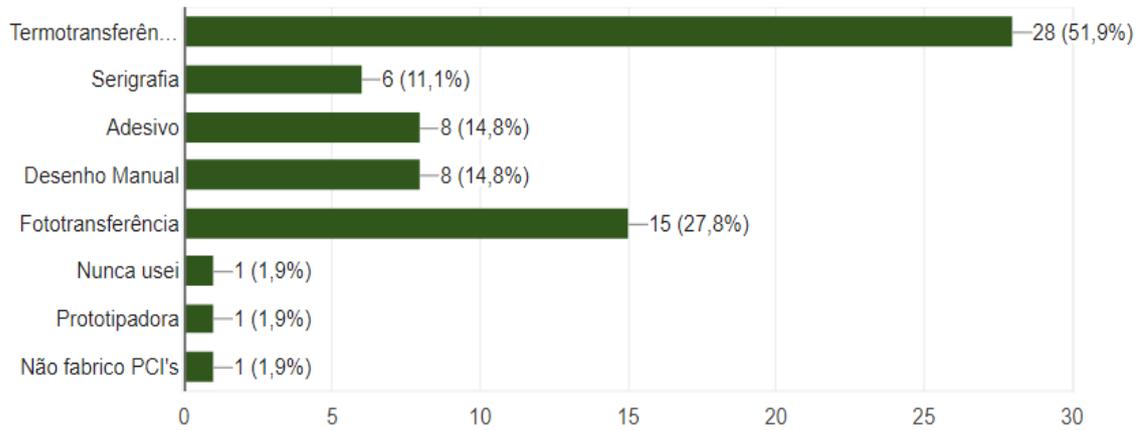


Fonte: As autoras (2017).

Figura 61: Enquete - Pergunta 4.

Atualmente, qual o método que você mais utiliza na fabricação de PCBs?

54 respostas

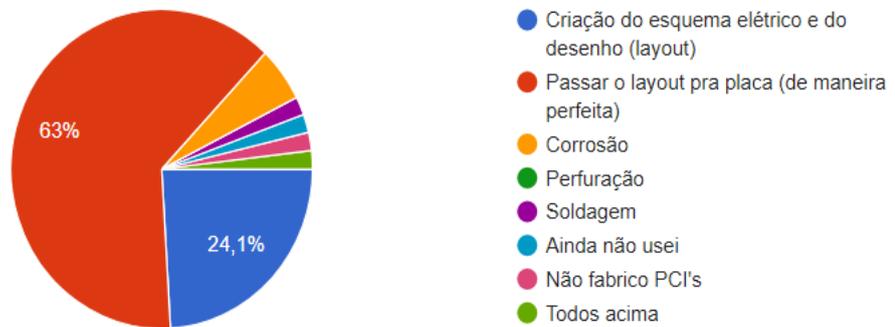


Fonte: As autoras (2017).

Figura 62: Enquete - Pergunta 5.

Quais dificuldades você mais enfrenta na fabricação de PCBs?

54 respostas

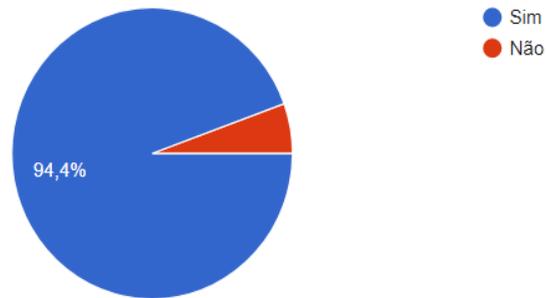


Fonte: As autoras (2017).

Figura 63: Enquete - Pergunta 6.

Você tem interesse em conhecer um método mais profissional e simples para confecção dessas PCIs?

54 respostas



Fonte: As autoras (2017).

APÊNDICE B - Código fonte

```
// Título: Código fonte FUV
// Autoras: Gabriela Tabita e Luciana Gomes

// ----- Inserção de Bibliotecas -----
#include <Keypad.h> //Biblioteca do teclado
#include <Wire.h> // Biblioteca auxiliar do I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Biblioteca do adaptador I2Cc + LCD

// ----- Variáveis globais -----
int i1; // Sinalizador do ciclo "ESCOLHA AS LÂMPADAS"
int i2; // Sinalizador do ciclo "SELEÇÃO DO TEMPO"
int i3; // Sinalizador do ciclo "CONVERSÃO DO TEMPO"
int tempo; // Cálculo do tempo
int minu; // Conversão do tempo em minutos
int segu; // Conversão do tempo em segundos
int tempu; // Conversão do tempo geral
int unis = 0; // Unidades de segundos
int dezs = 0; // Dezenas de segundos
int unim = 0; // Unidades de minutos
int dezm = 0; // Dezenas de minutos
int tecla; // Variável de adição dos números
int lamp1; // Estado da lâmpada superior
int lamp2; // Estado da lâmpada inferior
int rele1 = A0; // Relé superior (aciona a lâmpada)
int rele2 = A1; // Relé Inferior (aciona a lâmpada)
int vento; // Estado do cooler
int cooler = A2; // Chaveamento do cooler
int REED = 13; // Variável da trava
int x; // Variável de incremento p/ for
int opcao; // sinalizador para a escolha das lâmpadas
byte comando = 0; // Tipo de comando dos leds

// ----- Variáveis do teclado -----
const byte Coluna = 4;
const byte Linha = 4;
byte Pino_linha[Linha] = {12, 11, 10, 9};
```

```

byte Pino_coluna[Coluna] = {8, 7, 6, 5};

// ----- Mapa do teclado -----
char Teclas[Linha][Coluna] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};

//----- Display LCD -----
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Pinos para ligação do arduino com o
adaptador e com o display
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(Teclas), Pino_linha, Pino_coluna, Linha, Coluna );

// -----
void setup()
{
  pinMode(rele1, OUTPUT); // Define o relé superior como saída
  pinMode(rele2, OUTPUT); // Define o relé inferior como saída
  pinMode(cooler, OUTPUT); // Define o cooler como saída
  pinMode(REED, INPUT); // Define o botão de trava como entrada
  lcd.begin(16, 2); // Define o número de colunas e linhas do lcd
}

// -----
void loop() {
label: //bloco 'label'
  i1 = 0; // Definindo o estado de i1 como zero
  i2 = 0; // Definindo o estado de i2 como zero
  i3 = 0; // Definindo o estado de i3 como zero
  unis = 0; // Definindo o estado de unis como zero
  dezs = 0; // Definindo o estado de dezs como zero
  unim = 0; // Definindo o estado de unim como zero
  dezm = 0; // Definindo o estado de dezm como zero
  lamp1 = 0; // Resetando as lâmpadas superiores
  lamp2 = 0; // Resetando as lâmpadas inferiores

// ----- Tela inicial -----

```

```

lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
lcd.setCursor(0, 0); // Posiciona o cursor na coluna 0, linha 0
lcd.print("Bem Vindo ao FUV"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
lcd.setCursor(0, 1); // Posiciona o cursor na coluna 0, linha 1
lcd.print("Aperte 'ok' P/Ir"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
delay (1000); // Espera 1000 milissegundos (um segundo)

// ----- APERTE "OK" -----
char teclaPressionada; // Declarando "teclaprecionada"
for (i1 = 0; i1 < 1;) { // Aguarda "teclaprecionada" ser precionada
  teclaPressionada = keypad.getKey(); // Atribui "teclaprecionada" à matriz do teclado
  if (teclaPressionada != NO_KEY) { // Verifica se foi precionada alguma tecla
    if (teclaPressionada == '#'){ // Verifica se foi #
      i1 = 1;
    }
  }
}

// ----- Segunda tela ESCOLHA AS LÂMPADAS -----
if (i1 = 1) // Se tecla "ok" for precionada
{ i1 = 0; // Zerar a variável
  lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
  lcd.setCursor(4, 0); // Posiciona o cursor na coluna 4, linha 0
  lcd.print("Lampadas"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
  lcd.setCursor(0, 1); // Posiciona o cursor na coluna 0, linha 1
  lcd.print("Up, Down ou All"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
  delay (1000); // Espera 1000 milissegundos (um segundo)

  char teclaPressionada1; // Declarando "teclaprecionada1"
  for (int x = 0; x <= 100;) {
    teclaPressionada1 = keypad.getKey(); // Atribui "teclaprecionada1" à matriz do teclado
    if (teclaPressionada1 != NO_KEY) { // Verifica se foi precionada alguma tecla

      if (teclaPressionada1 == 'A'){ // Verifica se foi A
        opcao = 1;
      }

      if (teclaPressionada1 == 'B'){ // Verifica se foi B
        opcao = 2;
      }
    }
  }
}

```

```

if (teclaPressionada1 == 'C'){ // Verifica se foi C
    opcao = 3 ;
}

if (teclaPressionada1 == '#'){ // Verifica se foi #
    i2 = 1;
    x = 100;
}
if (teclaPressionada1 == '*') // Verifica se foi *
{
    goto label; // Vai para o bloco 'label'
}

// ----- Terceira tela: CONFIRMAÇÃO DAS LÂMPADAS -----

// ----- LÂMPADAS UP -----
if (opcao == 1 ){// Botão UP
    lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
    lcd.setCursor(0, 0); // Posiciona o cursor na coluna 0, linha 0
    lcd.print("Lamp. Superiores"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd

    lcd.setCursor(5, 1); // Posiciona o cursor na coluna 5, linha 1
    lcd.print("OK?"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd

    lamp1 = 1; // Estado das lâmpadas superiores ligado
    lamp2 = 0; // Estado das lâmpadas inferiores desligado
    vento = 1; // Estado do cooler ligado
}

// ----- LÂMPADAS DOWN -----
if (opcao == 2 ){ // Botão DOWN
    lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
    lcd.setCursor(0, 0); // Posiciona o cursor na coluna 0, linha 0
    lcd.print("Lamp. Inferiores"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd

    lcd.setCursor(5, 1); // Posiciona o cursor na coluna 5, linha 1
    lcd.print("OK?"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd

```



```

if (teclaPressionada2 == '2'){ // Verifica se foi 2
    tecla = 2;
}

if (teclaPressionada2 == '3'){ // Verifica se foi 3
    tecla = 3;
}
if (teclaPressionada2 == '4'){ // Verifica se foi 4
    tecla = 4;
}
if (teclaPressionada2 == '5'){ // Verifica se foi 5
    tecla = 5;
}
if (teclaPressionada2 == '6'){ // Verifica se foi 6
    tecla = 6;
}
if (teclaPressionada2 == '7'){ // Verifica se foi 7
    tecla = 7;
}
if (teclaPressionada2 == '8'){ // Verifica se foi 8
    tecla = 8;
}
if (teclaPressionada2 == '9'){ // Verifica se foi 9
    tecla = 9;
}
if (teclaPressionada2 == '0'){ // Verifica se foi 0
    tecla = 0;
}
if (teclaPressionada2 == '#'){ // Verifica se foi #
    i3 = 1;
    i = 5;
}
if (teclaPressionada2 == '*'){ // Verifica se foi *
    goto label; // Vai para o bloco 'label' (Botão de cancelar)
}

// ----- COLOCAÇÃO DE UNIDADES NO TEMPO -----
if (i == 0){

```

```

    unis = tecla; // Primeiro numero precionado = unis
}

if (i == 1){
    dezs = unis; // Primeiro número precionado = dezs
    unis = tecla; // Segundo número precionado = unis
}

if (i == 2){
    unim = dezs; // Primeiro número precionado = unim
    dezs = unis; // Segundo número precionado = dezs
    unis = tecla; // Terceiro número precionado = unis
}

if (i == 3){
    dezm = unim; // Primeiro número precionado = dezm
    unim = dezs; // Segundo número precionado = unim
    dezs = unis; // Terceiro número precionado = dezes
    unis = tecla; // Quarto número precionado = unism
}

// ----- EXIBIÇÃO DO TEMPO NA TELA -----
lcd.setCursor(5, 1); // Posiciona o cursor na coluna 5, linha 1
lcd.print(dezm); // Envia a informação para o lcd

lcd.setCursor(6, 1); // Posiciona o cursor na coluna 6, linha 1
lcd.print(unim); // Envia a informação para o lcd

lcd.setCursor(7, 1); // Posiciona o cursor na coluna 7, linha 1
lcd.print(":"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd

lcd.setCursor(8, 1); // Posiciona o cursor na coluna 8, linha 1
lcd.print(dezs); // Envia a informação para o lcd

lcd.setCursor(9, 1); // Posiciona o cursor na coluna 9, linha 1
lcd.print(unis); // Envia a informação para o lcd

tecla = 0;
i++;
}

```

```

    }
}

// ----- CONVERSÃO DO TEMPO EM SEGUNDOS -----

while (i3 == 1){
    tempo = unis * 1 + dezs * 10 + unim * 60 + dezm * 600; // Cálculo de conversão
    for (int a = 0; a < tempo; )
    {
        char teclaPressionada3; // Declarando "teclaprecionada3"
        teclaPressionada3 = keypad.getKey(); // Atribui "teclaprecionada3" à matriz do teclado
        if (teclaPressionada3 != NO_KEY) { // Verifica se foi pressionada alguma tecla
            if (teclaPressionada3 == '*'){ // Verifica se foi *
                goto label; // Vai para o bloco 'label' (Botão de cancelar)
            }
        }
    }

    lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
    lcd.setCursor(0, 0); // Posiciona o cursor na coluna 0, linha 0
    lcd.print("Tempo restante:"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
    tempu = tempo - a;
    minu = tempu / 60;
    segu = tempu % 60;
    lcd.setCursor(5, 1); // Posiciona o cursor na coluna 5, linha 1
    lcd.print(minu); // Envia a informação para o lcd
    lcd.setCursor(7, 1); // Posiciona o cursor na coluna 7, linha 1
    lcd.print(":"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
    lcd.setCursor(8, 1); // Posiciona o cursor na coluna 8, linha 1
    lcd.print(segu); // Envia a informação para o lcd
    if (digitalRead(13) == HIGH) {
        digitalWrite(rele1, lamp1);
        digitalWrite(rele2, lamp2);
        digitalWrite(cooler, vento);
        delay(1000); // Espera 1000 milissegundos (um segundo)
        a++;
    }
    else {
        lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
        lcd.setCursor(1, 0); // Posiciona o cursor na coluna , linha 1
        lcd.print("Feche a gaveta!"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
    }
}

```

```

    delay(1000); // Espera 1000 milissegundos (um segundo)
    digitalWrite(cooler, LOW); // Atribui nível lógico baixo ao pino do cooler, desligando-o
    digitalWrite(rele1, LOW); // Atribui nível lógico baixo ao pino do rele1, desligando-o
    digitalWrite(rele2, LOW); // Atribui nível lógico baixo ao pino do rele2, desligando-o

}
}

// ----- EXIBIÇÃO DO TEMPO NA TELA -----
digitalWrite(rele1, LOW); // Atribui nível lógico baixo ao pino do rele1, desligando-o
digitalWrite(rele2, LOW); // Atribui nível lógico baixo ao pino do rele2, desligando-o
lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
lcd.setCursor(2, 0); // Posiciona o cursor na coluna 2, linha 0
lcd.print("Finalizando"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
delay(10000); // Espera 10000 milissegundos (dez segundos)
digitalWrite(cooler, LOW); // Atribui nível lógico baixo ao pino do cooler, desligando-o
lcd.clear(); // Limpa a tela do lcd
lcd.setCursor(4, 0); // Posiciona o cursor na coluna 4, linha 0
lcd.print("Pronto!"); // Envia o texto entre aspas para a tela do lcd
delay(5000); // Espera 5000 milissegundos (cinco segundos)
i3 = 0;
}
}

```

ANEXO A - Componentes adquiridos virtualmente

Figura 64: Módulo I2C.



Free shipping! New IIC/I2C / Interface LCD1602 1602A 2004 LCD Adapter Plate for Arduino Wholesale Electronic
★★★★★ 5.0 (89 votos) | 158 pedidos

Preço: **US \$0.55** / item
Aproximadamente R\$ 1,83 / item

Expedição: **US \$1.68 para Brazil** via AliExpress Standard Shipping
Estimativa de Entrega: 40-60 dias

Quantidade: item (348 itens disponível)

Preço total: **US \$2.23** (Aproximadamente R\$ 7,41)

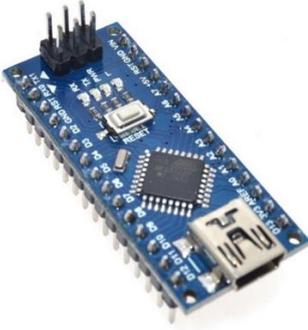
[Comprar agora](#) [Adicione ao carrinho](#)

Adicione a lista de desejos (181 adicionados)

Promoção da loja: [Obter cupons vendedor](#)

Fonte: <https://pt.aliexpress.com>

Figura 65: Arduino Nano.



NANO 3.0 controlador compatível com nenhuma CABO turno CH340 USB controlador arduino NANO V3.0 NANO
[Ver título original em Inglês](#)
★★★★★ 4.9 (1161 votos) | 1544 pedidos

Preço: **US \$2.18** / item
Aproximadamente R\$ 7,29 / item

Expedição: **US \$1.51 para Brazil** via China Post Registered Air Mail
Estimativa de Entrega: 34-60 dias

Quantidade: item (5234 itens disponível)

Preço total: **US \$3.69** (Aproximadamente R\$ 12,34)

[Comprar agora](#) [Adicione ao carrinho](#)

Adicione a lista de desejos (861 adicionados)

Devoluções: [Aceitamos o retorno se o produto não for como descrito, o comprador pagará pelo o envio; ou manterá o produto e aceitará o reembolso do vendedor.](#)

Fonte: <https://pt.aliexpress.com>

Figura 66: Interruptor.



JOYING LIANG Verde Redondo com Luz Rocker Switch 6A 3 Pé 20mm de Diâmetro Pequeno Luz Switches 2 pcs/lote

[Ver título original em Inglês](#)

Preço: ~~US \$1,28 / lote~~ (2 itens / lote, US \$ 0,51 / item)

Preço com desconto: **US \$1.01** / lote -21% 14h:58m:14s

Aproximadamente R\$ 3,45 / lote

[Baixe nosso App para ter preços exclusivos](#) | Preço em quantidade ▾

Cor: 

Expedição: **US \$1.37 para Brasil via China Post Registered Air Mail** ▾
Estimativa de Entrega: 34-60 dias

Quantidade: lote (200 lotes disponível)

Preço total: Depende das especificações selecionadas

[Comprar agora](#) [Adicione ao carrinho](#)

[Adicione a lista de desejos \(1 adicionados\)](#)

Fonte: <https://pt.aliexpress.com>.

Figura 67: LCD 16X2.



Frete Grátis 1 PCS LCD1602 módulo 1602 tela Azul 16x2 Display LCD Character Módulo Controlador HD44780 azul backlight

[Ver título original em Inglês](#)

★★★★★ 5,0 (164 votos) | 120 pedidos

Preço: **US \$1.75** / item

Aproximadamente R\$ 5,85 / item

Expedição: **US \$1.51 para Brasil via China Post Registered Air Mail** ▾
Estimativa de Entrega: 34-60 dias

Quantidade: item (6907 itens disponível)

Preço total: **US \$3.26** (Aproximadamente R\$ 10,90)

[Comprar agora](#) [Adicione ao carrinho](#)

[Adicione a lista de desejos \(509 adicionados\)](#)

Devoluções: [Aceitamos o retorno se o produto não for como descrito, o comprador pagará pelo o envio; ou manterá o produto e aceitará o reembolso do vendedor.](#)

Fonte: <https://pt.aliexpress.com>

Figura 68: Teclado matricial 4x4.



Waygat

Frete Grátis Novo 16 Chave Teclado Interruptor de Membrana 4x4 4x4 4*4 Matrix Matrix Matrix teclado

[Ver título original em Inglês](#)

★★★★★ 4,9 (180 votos) | 198 pedidos

Preço: **US \$0.65** / item

Aproximadamente R\$ 2,16 / item

Preço em quantidade ▾

Expedição: **US \$1.51 para Brasil via China Post Registered Air Mail** ▾
Estimativa de Entrega: 34-60 dias

Quantidade: item (9852 itens disponível)

Preço total: **US \$2.16** (Aproximadamente R\$ 7,17)

[Comprar agora](#) [Adicione ao carrinho](#)

[Adicione a lista de desejos \(208 adicionados\)](#)

Devoluções: [Aceitamos o retorno se o produto não for como descrito, o comprador pagará pelo o envio; ou manterá o produto e aceitará o reembolso do vendedor. Ver detalhes](#)

Q. Passe o mouse em cima para dar zoom

Fonte: <https://pt.aliexpress.com>

Figura 69: Módulo relé.



Início / Módulos /

Módulo Relé 5V 10A 1 Canal - GBK Robotics

Código: GT01873

R\$ 12,90
até 2x de R\$ 6,61
ou R\$ 12,26 via depósito

Qtde: 1

Comprar

Estoque: Disponível

| | |
|---------------------------|-----------|
| VISA | Parcelas |
| 1x de R\$ 12,90 sem juros | |
| 2x de R\$ 6,60 | |
| Depósito Bancário | R\$ 12,26 |
| Pagar na Entrega | R\$ 12,90 |

Fonte: <https://nataalmakers.lojaintegrada.com.br/>

Figura 70: LED 3 mm vermelho.



Início / Componentes Eletrônicos / Leds /

Led 3mm transparente Vermelho

Código: LD15300

R\$ 0,25
ou R\$ 0,24 via depósito

Qtde: 1

Comprar

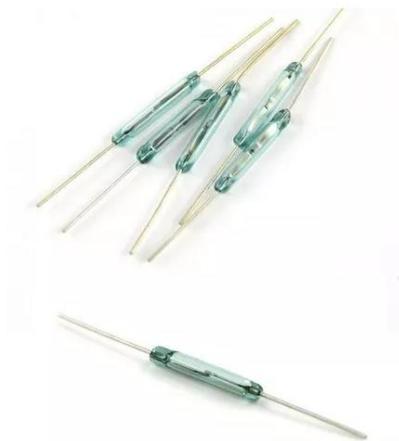
Estoque: Disponível

| | |
|-------------------|----------|
| Depósito Bancário | R\$ 0,24 |
| Pagar na Entrega | R\$ 0,25 |
| VISA | R\$ 0,25 |

Calcule o frete CEP OK

Fonte: <https://nataalmakers.lojaintegrada.com.br/>

Figura 71: Reed Switch.



Novo - 16 vendidos

Sensor Magnético Reed
Switch Na 2x14mm
*192001

R\$ 1¹⁰

1x R\$ 1¹⁰

VISA

Mais opções

Envio para todo o país

Saiba os prazos de entrega e as formas de envio.
Calculador de frete.

Quantidade:

1

Comprar agora

Adicionar ao carrinho

Compra Garantida, receba o produto que está esperando ou devolvemos o dinheiro.

Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/>

Figura 72: Cabine UV.



Novo - 50 vendidos

**Cabine Estufa Forno Uv
Para Gel/acrygel 36w Só
Branca 220v**

★★★★★ 1 opinião

R\$ 38⁹⁹

6x R\$ 6⁵⁰ sem juros

VISA   

Mais opções

Envio R\$ 29⁹⁰
Chegará entre os dias 27 e 29 de dezembro.
Modificar

Quantidade:

1

Compra Garantida: receba o produto que está esperando ou devolvemos o dinheiro.

Você ganha 19 Mercado Pontos.

Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/>