



PROJETO ELÉTRICO DE ILUMINAÇÃO EM LED DE ALTA POTÊNCIA PARA DETECÇÃO DE FLUXO HEMORRÁGICO

Trabalho de Conclusão de Curso

Engenharia da Computação

André Fellipe Lima de Oliveira Ramos
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Campello Oliveira



**Universidade de Pernambuco
Escola Politécnica de Pernambuco
Graduação em Engenharia de Computação**

**ANDRÉ FELLIPE LIMA DE OLIVEIRA
RAMOS**

**PROJETO ELÉTRICO DE ILUMINAÇÃO
EM LED DE ALTA POTÊNCIA PARA
DETECÇÃO DE FLUXO
HEMORRÁGICO**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

Recife, Dezembro de 2016.

De acordo

Recife

____/____/____

Orientador da Monografia

(Na versão final esta página deve ser substituída pela folha de aprovação digitalizada.)

*Dedico este trabalho a toda minha família e namorada que sempre me incentivaram
ao logo desta caminhada.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido até aqui, muita saúde e força para que pudesse estar concluindo mais esta etapa em minha vida.

Agradeço também a todos os familiares que me apoiam minha caminhada acadêmica, e também à minha namorada Maria Cecília Reis, pela paciência e sacrifícios durante toda graduação.

Agradeço a todo o corpo docente da Universidade de Pernambuco pelo esforço e empenho em proporcionar a cada aluno, o melhor de si através de uma ótima qualidade de ensino. E por fim, um agradecimento especial ao Prof. Dr. Sérgio Campello e Tiago Ribeiro por toda ajuda e conselhos dados durante todo o período deste projeto.

Resumo

Um longo histórico de laudos médicos mostra que ao longo dos anos, grande parte das complicações e situações inesperadas são ocorridas durante procedimentos de exames internos ou cirúrgicos, causando principalmente *hemorragias e futuras infecções*. Dentre as principais atuações médicas, destacam-se as: *endoscopias, colonoscopias e laringoscopias*. Estes utilizam equipamentos flexíveis de introdução, iluminação, lavagem e captura, que muitas vezes acabam não sendo suficientes e eficientes em situações em que a visibilidade seja comprometida, como por exemplo, ambientes tomado por sangue ou fluídos. Visto isso, este trabalho propõe a elaboração de um sistema de iluminação em *Light Emitting Diode* (LED) de emissão luz branca e infravermelha (IR), que possa ser acoplado aos equipamentos já utilizados. O novo conjunto de iluminação irá permitir uma visualização mais adequada de cenários não esperados, graças aos efeitos que o infravermelho possui em ambientes hemorrágicos e de visibilidade comprometida. Este projeto propõe a utilização de um *hardware* simples, onde o controle das intensidades das luzes será feita através de um microcontrolador em conjunto a transistores para permitir maiores correntes de acionamento dos LEDs de alta potência. Na utilização do vinho como fluido de simulação de sangue, é possível através dos emissores branco e IR, visualizar e identificar todo o cenário envolta do meio imerso, assim como a origem do fluxo do líquido. Portanto, através deste trabalho, torna-se bastante atrativo a utilização deste tipo de projeto em operações reais, onde a visibilidade em meios imersos é comprometida e se objetiva aplicar técnicas de contenção com segurança.

Abstract

A long history of medical reports shows that over the years, most of the medical errors and accidents are usually occur during internal examinations procedures, they can cause, in most cases, bleeding and future infections. the main medical performances stand out at: endoscopies, colonoscopies and laryngoscopy. These devices use flexible input, lighting, and capture cleaning which often end up not being sufficient and effective in situations where visibility is compromised, for example , environments taken for blood and fluids. Therefore, this academic work proposes the development of a lighting system in Light Emitting Diode (LED) with the emission of white and infrared light (IR), which can be coupled to the equipment already used. The new set of illumination will allow a better visualization of non-expected scenarios, due to the effect that the infrared has in bleeding and impaired visibility environments . This design proposes the use of a simple hardware, which the control of the intensity of light will be done by using a microcontroller in conjunction transistors to maximize the output current thereof, high-power LEDs and increased pedal or decreased signal. In the use of wine as a fluid of simulation of blood, it is possible through the white and IR emitters, to visualize and identify the entire scenario involved in the immersed enviroment, as the origin of the liquid flow. Therefore, through this work, the utilization of this kind of Project in real operations is very attractive and useful, when you have a compromised visibility in immersed areas, and its intended to apply real techniques of containment with security.

Sumário

Capítulo 1	Introdução	1
Capítulo 2	LEDs	5
2.1	Funcionamento e Estrutura Básica	5
2.2	Composição	7
2.3	LEDs de Alta Potência e suas aplicações	8
2.4	Conceitos e grandezas	10
2.5	Vantagens técnicas dos LEDs	14
2.6	LEDs x Laser	15
Capítulo 3	Luz Infra Vermelha – IR	17
3.1	Características e divisões	18
3.2	Aplicações	19
3.3	Aspectos físicos das imagens com NIR	20
Capítulo 4	Desenvolvimento	25
4.1	Projeto Elétrico	27
4.1.1	Arquitetura do Circuito	27
4.1.2	Escolha dos componentes eletrônicos	31
4.1.3	Elaboração e Montagem do circuito elétrico	33
4.1.4	Implementação do PWM – <i>Pulse With Modulation</i>	36
4.1.5	Montagem do circuito Elétrico	36
4.1.6	Descrição do Experimento	37
4.1.7	Experimento Secundário: Escolha do Vinho	42
4.1.8	Experimento Principal: Identificação do Fluxo Indesejado	47
4.2	Resultados Obtidos	50
Capítulo 5	Conclusão e Trabalhos Futuros	55
5.1	Conclusão	55
5.2	Trabalhos Futuros	56
	Bibliografia	58
	Apêndice A Código PWM do Arduino	63

Índice de Figuras

Figura 1.	Princípio de funcionamento do LED	6
Figura 2.	Estrutura básica dos LEDs	7
Figura 3.	Cores de LEDs e suas composições [Fonte: retirado de [31]]	7
Figura 4.	Exemplos dos tipos de LED: (a) LED Indicador, (b) LED de Alto Brilho e (c) LED de Potência	8
Figura 5.	Estrutura do LED de Potência	9
Figura 6.	Temperaturas de Cor	13
Figura 7.	Exemplo de amostra de cores do IRC	14
Figura 8.	Faixas do espectro eletromagnético	17
Figura 9.	(a) Imagem de captura convencional. (b) A mesma imagem sob as mesmas condições, agora apenas com espectro NIR.	21
Figura 10.	(a) Imagem apenas no espectro visível. (b) A mesma imagem, agora com espectro visível e NIR. (c) E por fim a mesma imagem, agora apenas com espectro NIR.	22
Figura 11.	(a) Copo de Coca-Cola Diet com apenas com luz visível. (b) A mesma imagem, agora apenas com espectro NIR.	23
Figura 12.	Espectro de Transmissão do Vinho e do refrigerante em comparação ao da água.	24
Figura 13.	Gráfico ilustrativo das grandezas do Duty Cycle.	28
Figura 14.	Exemplo de valores do Duty Cycle.	28
Figura 15.	Diagrama de blocos do Projeto Elétrico	30
Figura 16.	Dissipador tipo <i>estrela</i> para LEDs de alta potência.	33

Figura 17.	Esquema Elétrico do circuito.....	35
Figura 18.	Circuito Elétrico montado e atuando em alguns testes.....	37
Figura 19.	Níveis de Transmitância do Sangue.....	39
Figura 20.	Dimensões e Medidas do Aquário utilizado.....	40
Figura 21.	WebCam Hercules Optical Glass já com suas modificações.....	41
Figura 22.	Estrutura principal para os experimentos.....	42
Figura 23.	Vinho Tinto Chalise Seco apenas com LED Branco a 25% (a), 50% (b), 75% (c) e 100% (d).	44
Figura 24.	Vinho Tinto Chalise Suave apenas com LED Branco a 25% (a), 50% (b), 75% (c) e 100% (d).	45
Figura 25.	Vinho Tinto Quinta do Morgado Seco apenas com LED Branco a 25% (a), 50% (b), 75% (c) e 100% (d).....	46
Figura 26.	Estrutura do Experimento Principal.....	48
Figura 27.	Visualização dos Flúidos apenas com LED Branco, onde: (a) 20% do <i>DutyCycle</i> ; (b) 50% do <i>DutyCycle</i>	50
Figura 28.	Visualização dos Flúidos apenas com LED Branco fixo a 20% do <i>DutyCycle</i> e LED IR a 10% de seu <i>DutyCyle</i>	51
Figura 29.	Visualização dos Flúidos apenas com LED Branco fixo a 20% do <i>DutyCycle</i> e LED IR a 30%, 40% e 50% de seu <i>DutyCyle</i> , respectivamente.....	52

Índice de Tabelas

Tabela 1. LEDs e suas características elétricas.....	32
Tabela 2. Valores de Corrente e Potência no LED Branco para os DutyCycles.	43
Tabela 3. Valores de Corrente e Potência no LED IR para os DutyCycles.	49

Tabela de Símbolos e Siglas

φ	- Fluxo Luminoso
η	- Eficiência Energética
A	- Ampère
CCT	- <i>Correlated Color Temperature (Temperatura Correlata de Cor)</i>
cm	- centímetros
DEP	- <i>Dispersão Espectral de Potência</i>
E_e	- <i>Energia Total Irradiada</i>
FIR	- <i>Far-Infrared (Infravermelho Distante)</i>
FPS	- <i>Frames Per Second (Infravermelho Distante)</i>
Hz	- Hertz
I_{cmáx}	- <i>Corrente de Coletor máxima em Ampère (A)</i>
IDE	- <i>Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)</i>
IR	- <i>Infra-Red (Infravermelha)</i>
IRC	- <i>Índice de Reprodução de Cor</i>
K	- Kelvin
L	- Litro
LASER	- <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada da Radiação)</i>
LED	- <i>Light Emitting Diode (Diodo emissor de Luz)</i>

lm	- <i>lúmens</i>
m	- <i>metros</i>
min	- <i>tempo em minutos</i>
MIR	- <i>Mid-Infrared (Infravermelho Médio)</i>
ml	- <i>mililitros</i>
MP	- <i>MegaPixels</i>
NIR	- <i>Near-Infrared (Infravermelho Próximo)</i>
PWM	- <i>Pulse With Modulation</i>
P	- <i>Potência em Watts (W)</i>
Pmáx	- <i>Potência máxima em Watts (W)</i>
R	- <i>Resistência em Ohms (Ω)</i>
SCIT	- <i>The Small Chamber Irrigation Technique</i>
SI	- <i>Sistema Internacional</i>
T	- <i>Temperatura de Cor</i>
USB	- <i>Universal Serial Bus (Porta Serial Universal)</i>
UV	- <i>Ultraviolet (Ultravioleta)</i>
Vceomáx	- <i>Tensão coletor-emissor máxima em Volts (V)</i>
V	- <i>Volts</i>
WHO	- <i>World Health Organization (Organização Mundial de Saúde)</i>
W	- <i>Watt</i>

Capítulo 1

Introdução

De acordo com [1], no ano de 2004 cerca de 234,2 milhões de intervenções cirúrgicas foram realizadas em 56 dos 192 países da *World Health Organization (WHO)*. Porém, esses números vêm sofrendo uma evolução gradativa e foi observado um acréscimo de 33,6% ao longo dos últimos anos. Ou seja, um valor com cerca 312,9 milhões de operações médicas, baseados agora, em 66 países da *WHO* que forneceram as informações de saúde locais [2].

Diante disso, observa-se o elevado volume cirúrgico e seu contínuo crescimento anualmente. Associado a este fato, os históricos de laudos médicos tem demonstrado que a grande maioria dos erros e acidentes estão ocasionalmente relacionados a processos cirúrgicos e/ou exames internos [3]. Em sua maioria, tais adversidades estão atreladas a diversos fatores, dos quais é importante destacar: *a prática da utilização de equipamentos, o controle de hemorragias e infecções*, e por fim *a aplicação e administração de anestésias* [4]. Desde o cenário de 2008, é estimado que haja um prejuízo crescente em torno de 17 a 29 bilhões de dólares em vítimas de erros operacionais ocasionados por um ou mais dos fatores citados [4]. Contudo, com o avanço tecnológico e a atual interdependência da medicina com as engenharias, há uma tendência de diminuição deste valor, em torno de 30%. Este decréscimo pode ser obtido através da adoção de melhores métodos e práticas para casos adversos de risco, como principalmente a contenção hemorrágica e técnicas mais apropriadas com baixa probabilidade de erros [6].

Dentre inúmeros procedimentos e exames, principalmente os de imagem interna, os mais realizados são as *Endoscopias, Colonoscopias e Laringoscopias*. Estes tratam-se de análises ou até intervenções operatórias, onde são realizados através do manuseio humano de alguns equipamentos em meio interno de risco e visibilidade bastante comprometida. Os instrumentos utilizados nestes exames são compostos por um duto flexível, chamado de *Laringoscópio*. Ele é composto por alguns artefatos, como: *câmeras, lâmpadas de iluminação, lentes, pinças para*

recolhimento de materiais, dutos para lavagens e cicatrização de sangramentos [7]. Grande parte desses utensílios é utilizado para proporcionar uma melhor iluminação nas captações das imagens e aumentar a segurança e a integridade do paciente. Toda via, ainda assim, em muitos casos ocorrem cenários inesperados e de risco ao paciente, como hemorragias não esclarecidas e presença de flúidos de outros órgãos [8] [9].

Dentre inúmeras situações de risco, umas das mais graves é o das hemorragias pontuais e hemorragias não esclarecidas. Esta última, causada pelo fluxo sanguíneo indesejável e desconhecido do paciente ou, não aparentemente visível, também chamados de obscuros. Assim sendo, ela é a responsável por grande parte das intervenções hospitalares com tal causa, e na maior parte das vezes é causada por motivos de falhas técnicas de operação ou lesões aparentes [10].

Técnicas e métodos de contenções de sangramento internos vêm evoluindo gradativamente ao longo dos anos, com o intuito de promover uma maior eficiência e rapidez no controle do fluxo não desejado [11] [12]. Mesmo assim, existe uma dificuldade muito grande na localização dos pontos causadores da sangria não controlada em meio líquido e interno. Este impasse se deve principalmente ao fator de visualização nestes tipos de locais, devido a não eficiência do conjunto de iluminação interna dos atuais equipamentos quando utilizados sob imersão a soluções inesperadas. Com a luminosidade comprometida são geradas então imagens cada vez menos precisas para a uma atuação segura e eficaz, não passando assim a garantia necessária para a atuação.

O objetivo deste estudo consiste na elaboração de um sistema de iluminação em *Light Emitting Diode – LED* de alta potência, para ser acoplado aos aparatos já citados. O projeto consiste na utilização de elementos eletrônicos simples para a emissão e controle da luz branca em conjunto com a luz *infravermelha – IR*. Ambas possuem atuação de comprimento de onda bem distantes, o que acarreta em características distintas a cada uma delas para um mesmo plano de vista. Em meios tomados por sangue e/ou flúidos de cores mais avermelhadas, o IR tem mostrado características interessantes na mudança de perspectiva de visualização das

imagens geradas, onde juntamente com uma emissão complementar de luz aumenta as possibilidades de aplicação [13].

Com isso, neste projeto serão utilizados alguns princípios ópticos do IR na captura de imagens e consequente detecção visual de todos os objetos que estão imerso a um fluido de cor escura. Através da elaboração de um Projeto elétrico simples e bem controlado, será possível a visualização do meio tomado por outra perspectiva. O líquido escolhido para este estudo, é o um vinho tinto onde apenas na presença de iluminação visível não se consegue obter clareza do meio submetido. Contudo, serão realizados experimentos para detecção visual através das imagens geradas com IR, de objetos e o ponto exato de origem do fluxo do fluido que está sendo gerado. Desta maneira, o sistema irá promover uma melhor nitidez e clareza nas imagens que serão geradas através da iluminação IR e branca, onde através de outra perspectiva de visualização será permitido uma atuação mais segura e eficaz das ações a serem realizadas.

Com isso, a proposta tem por objetivo maximizar a visão das imagens captadas em diversas situações comprometedoras, promovendo a confiança necessária para a tomada de decisão.

Uma das práticas utilizadas para localização de pontos de sangramento para sua cauterização é conhecida como *The Small Chamber Irrigation Technique - SCIT*. Esta por sua vez, é bastante utilizada em exames internos de imagens como, *endoscopias* e *laringoscopias*, devido aos equipamentos utilizados. Resumidamente, ela consiste na injeção contínua de soro fisiológico na região onde a hemorragia foi iniciada, de forma a gerar uma *bolha* entre o material de operação e o local do sangramento. Esta permite então um ambiente onde o equipamento com a câmera iluminada por luz branca consiga capturar uma imagem mais nítida para a localização e posterior finalização do fluxo indesejado [14]. Além de perigosa e de requerer uma boa habilidade do operador, esta técnica não consegue ser eficaz caso o ponto inicial do sangramento não seja localizado e o meio, consequentemente, seja tomado por sangue. Portanto, nota-se que não existe uma maneira segura de aplicá-la em situações que o ponto inicial tenha sido

localizado previamente para a injeção da solução para a consequente aplicação da técnica.

Como este tipo de iluminação já vem sendo bastante utilizada em diversos setores, incluindo nos blocos operatório e em detecção de anomalias em determinadas análises clínicas [15] [16] [17]. A elaboração do propósito deste trabalho, pode vir a substituir técnicas mais complexas e difíceis atuação para contenção hemorrágica, como a citada *SCIT*.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: os Capítulos 2 e 3 e seus respectivos subtópicos, consistem em todo o embasamento teórico deste trabalho juntamente com as revisões bibliográficas. Em todo o Capítulo 4 encontra-se o desenvolvimento do trabalho. Neste são apresentados os critérios de escolha dos componentes, montagem, cenários dos experimentos, execução dos experimentos e seus resultados. No Capítulo 5 encontram-se a Conclusão e Trabalhos futuros.

Capítulo 2

LEDs

Os LEDs, sigla para *Light Emitting Diode*, ou traduzido para o português, *diodo emissor de luz*, são componentes eletrônicos formados por uma combinação *p-n* de um semicondutor. Apesar do uso deste dispositivo estar crescendo exponencialmente nos últimos anos, seu surgimento é relativamente antigo e por volta do ano de 1920, através do russo *Oleg Vladimirovich Losev* [18]. Apesar da pesquisa ter sido ignorada na época, os princípios e os embasamentos teóricos foram propulsores para o avanço e surgimento das pesquisas em grande escala a partir do ano de 1955.

Seu princípio de ação está intimamente relacionado a eletroluminescência, ou seja, a emissão de luz através da combinação de elétrons e lacunas. Eles atualmente conseguem operar em uma faixa espectral de luz visível, IR e *ultraviolet - UV*¹ [19]. Esta variação da luz é dada através de fatores da composição de construção de cada LED, como: *composição química dos diodos, potência de atuação e tensão e corrente aplicadas* [20].

2.1 Funcionamento e Estrutura Básica

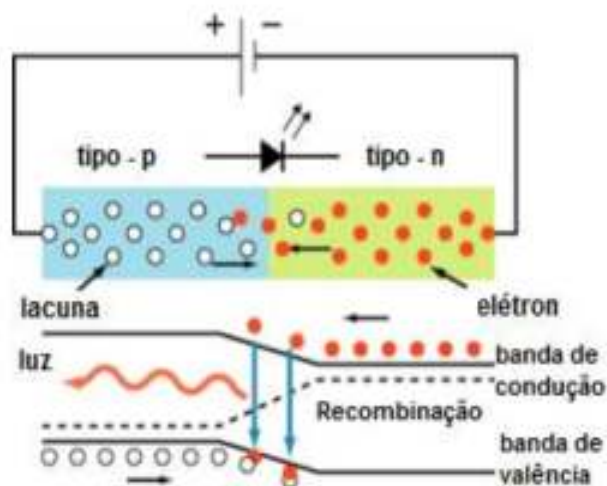
O seu funcionamento é estabelecido através da degradação de elementos com carga, podendo ser positiva ou negativa, assim eles se tornam relativamente carregados negativamente, com a presença de elétrons livres, ou positivamente, através da ausência de elétrons. Desta forma existirá dois tipos de materiais

¹ De acordo com [21] têm-se as seguintes faixas de comprimento de onda (λ): *luz visível* (400 a 700nm), *infravermelho* (750nm a 1mm) e *ultravioleta* (400nm a 10nm). De acordo com vários outros artigos, estes valores podem sofrer pequenas alterações em quantidade numérica para mais ou para menos, mas não em mudança de escala.

presentes na junção $p-n$: um com a carga positiva (*lacunas*) e outro com as cargas negativas [22].

A emissão de luz é estabelecida através da aplicação de tensão nos terminais do LED. Quanto esta é superior a tensão de ruptura, os elétrons na zona n , ou *cátodo*, serão atraídos pelas cargas positivas, ou as lacunas, da região p , conhecida como *ânodo*. Este processo de ionização do átomo e criação constante das lacunas nos próximos, é conhecido como *recombinação*, podendo ser *direta* ou *indireta* [18]. Ele se repete ocasionando a condução da corrente elétrica, como se pode observar através da Figura 1.

Figura 1. Princípio de funcionamento do LED

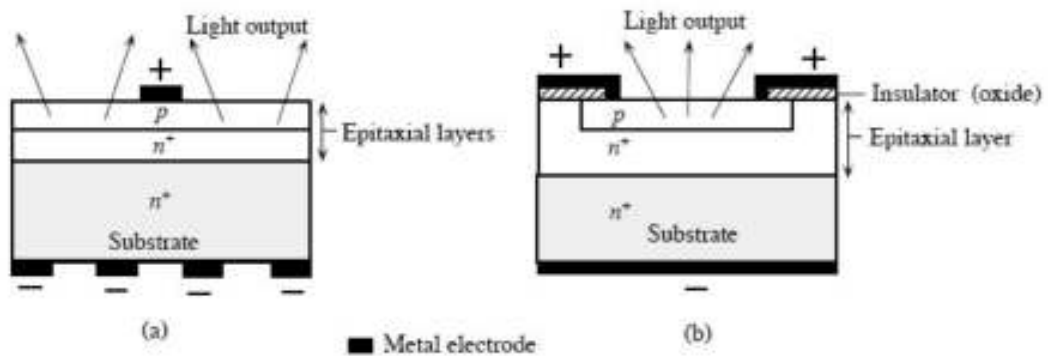


[Fonte: retirado de [31]]

Portanto, com o aumento da quantidade de corrente direta no diodo, aumenta-se na mesma proporção a quantidade das recombinações, liberando assim fótons e emitindo luz [15].

A estrutura da composição para a formação do Diodo Emissor de Luz está estreitamente relacionada com o seu princípio de funcionamento e atuação. Como mostra a Figura 2, eles são normalmente construídos sobre um substrato tipo n , com um eletrodo ligado diretamente a camada do tipo p (a), porém, apesar de menos comum, a região p também pode ser formada pela dopagem difusa destas partes (b) [18].

Figura 2. Estrutura básica dos LEDs



[Fonte: retirado de [18]]

2.2 Composição

Como dito no início deste capítulo, o espectro de luz gerado por um LED está inteiramente relacionado com a composição dos elementos semicondutores. Para cada combinação de elementos químicos é obtido comprimentos de ondas distintos, assim como na variação de tensão e corrente, como se pode ver na Figura 3 [20].

Figura 3. Cores de LEDs e suas composições

Cor	Comprimento de onda [nm]	Tensão Direta [$V_f@20mA$]	Material do LED
Infravermelho	940	1,5	GaAlAs/GaAs
Vermelho	635	2,0	GaAsP/GaP
Verde	570	2,0	InGaAlP
Azul	430	3,8	SiC/GaN
Branco	8000K	3,6	SiC/GaN

[Fonte: retirado de [31]]

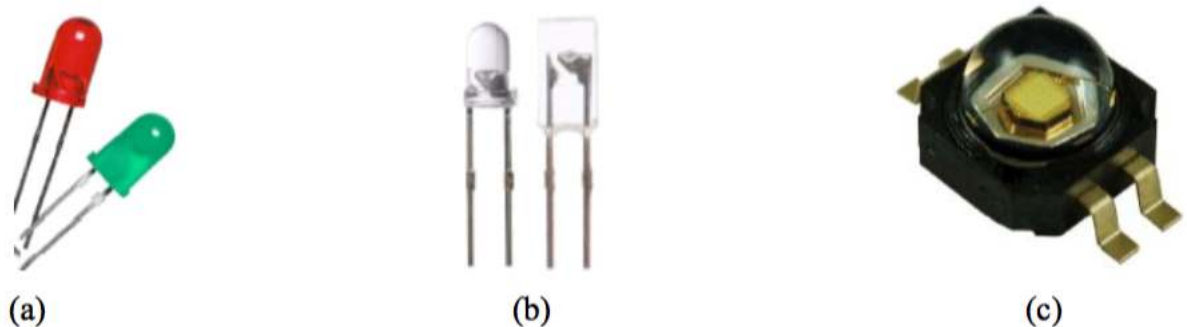
Essas propriedades são cada vez mais importantes quando trata-se da utilização de LEDs de alta potência. Pois nestes essas faixas de atuação precisam ser especificamente mais precisas e atuar com a menor variação possível, como é o caso para a obtenção de determinadas faixas de luz branca. E para isto, de acordo

com documentos emitidos pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, existem três formas desta reprodução mais consistente, sendo elas por: *conversão por fósforo*, *misturas de cores discretas* e *método híbrido*. Tais especificações técnicas fogem um pouco do contexto do trabalho, porém informações mais detalhadas podem ser obtidas através dos trabalhos [15] [22].

2.3 LEDs de Alta Potência e suas aplicações

Os LEDs podem ser tipificados em três classes distintas, que são: os *indicativos (a)*, os *de alto brilho (b)* e os *de alta potência (c)*, conforme Figura 4 a seguir:

Figura 4. Exemplos dos tipos de LED:
(a) LED Indicador, (b) LED de Alto Brilho e (c) LED de Potência



[Fonte: retirado de [31]]

Os de sinalização são normalmente os mais comuns em equipamentos eletrônicos, cujo objetivo é o aviso de funcionamento de determinado comportamento. Os de alto brilho já possuem objetivos diferentes o que leva a uma construção diferente em seus componentes. Eles são encapsulados por uma *resina epóxi*², sem cor e é integrada ao seu corpo uma lente concêntrica para minimizar a

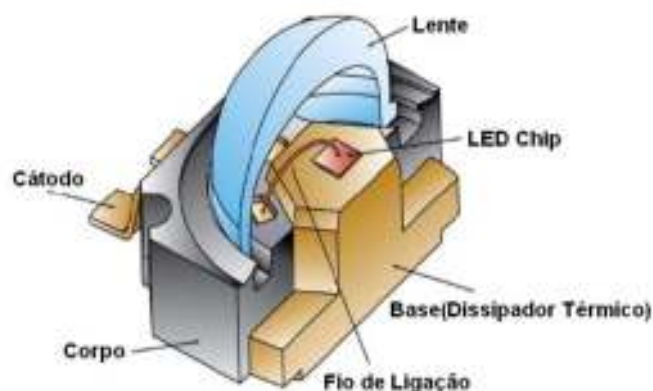
² Material plástico termofixo que se endurece quando se mistura com um agente catalisador. Possui propriedades vinculadas a resistência mecânica e ao calor, sendo assim utilizada nos LEDs com essas funções além aumentar o rendimento com as variações de cores [23].

dispersão da luz. Estes dois tipos citados possuem um regime de operação com correntes elétricas na faixa de 20 a 70 *miliampères* (A), com variações de potência entre 0,05 a 0,2 *watt* (W). Suas aplicações são mais voltadas a objetos sinalizadores onde sua visão deve ser efetivamente reconhecida e esclarecedora, como nos atuais *indicadores de trânsito, iluminações de emergência, painéis de instruções* etc [23].

Já estes equipamentos de alta potência, que está no âmbito e no uso deste trabalho, são geralmente utilizados nas potências de 1, 3 e 5 W; apesar de existir uma enorme variedade que podem chegar próximos de 100 W [24].

Diferentemente dos outros tipo citados acima, os LEDs de alto fluxo possuem características de construção e aplicabilidades bastante diferentes. Tais diferenciações ocorrem principalmente pelo fluxo luminoso bem superior aos demais, agregado ainda, a um maior ângulo de abertura, com a possibilidade de maior dispersão da luz. Esta grande quantidade de radiação emitida faz-se necessária a utilização de dissipadores de calor em sua estrutura, devido às altas temperaturas que o componente atinge [25], possuindo a seguinte estrutura exibida na Figura 5 abaixo:

Figura 5. Estrutura do LED de Potência



[Fonte: retirado de [31]]

A quantidade de calor dispensada pela área da própria estrutura do LED é bem pequena em relação ao que ele produz. Com isso, este fato pode alterar as

características ópticas e elétricas de atuação desses equipamentos, o que reforça a indispensabilidade de um projeto térmico para sua correta utilização.

Os fatores que vêm a comprometer ainda mais a temperatura da junção do LED são: *a temperatura ambiente, acoplamento a outras estruturas, a corrente e o caminho térmico* onde ele está localizado. Desta forma, diversos estudos comprovam e associam que as alterações de funcionamento mais comuns estão vinculadas à operação com elevadas temperaturas, além de reduzir consideravelmente sua vida útil [26] [27].

As aplicações dos LED de potência elevada estão em alto crescimento ao longo dos últimos anos, devido ao avanço e integração com dissipadores mais modernos. São elas:

- Área médica: em *cromoterapia*³, endoscopia, laringoscopia e colonoscopia; além de iliminação de salas cirúrgicas [15];
- Ambientes internos e externos em substituição das lâmpadas fluorescentes [25];
- Sistemas de iluminação pública [22];
- Laboratórios de pesquisas [19].

2.4 Conceitos e grandezas

A radiação emitida por uma fonte pode ser medida através de uma técnica de *distribuição espectral de potência (DEP)*, conhecida como *Espectroradiometria*. Esta medição é realizada por um instrumento, chamado de *espectroradiômetro* e, pode ser realizada de inúmeras maneiras, dependendo da coleta desta radiação e de seu consequente processamento. Para esclarecer: na captura feita pelo equipamento, ele pode efetuar uma mensuração de unidades radiométricas para cada comprimento de

³ Método de tratamento empregado contra várias afecções que utiliza luzes de cores e intensidades diversas.

onda encontrado. Porém esta informação pode ser convertida para valores fotométricos e mostrar como esta radiação pode ser percebida através do olho humano em termos de luminosidade, equivalência de cores, etc [28].

Esses aspectos fazem parte de duas vertentes da física: a *Radiometria* e a *Fotometria*. Ambas possuem tratamentos muito importantes para o seguimento e entendimento das propriedades da luz.

Em óptica, radiometria está atrelada ao conjunto de técnicas de medição quantitativa de energia eletromagnética radiante. Para isso ela leva em consideração todo o espectro de radiação emitido, quantificando e qualificando essas informações sem levar em consideração as características visuais [29].

Diferentemente da radiometria, a fotometria está atrelada ao balanço de energia nos processos de emissão, espalhamento e absorção da radiação emitida. Assim as quantidades podem ser mensuradas em unidades de energia ou através do seu efeito visual sobre os objetos receptores, seja ele o olho humano, sensores ou até películas captadoras. Com essa variedade de quem recebe a luz emitida, os resultados podem ser avaliados em unidades físicas comuns ou especiais [15].

A seguir serão explicitados alguns conceitos e grandezas, de maior relevância para o trabalho, das medidas de ambas as áreas citadas anteriormente. Todas as unidades de medição e símbolos estão no padrão pertencente ao *Sistema Internacional (SI)*:

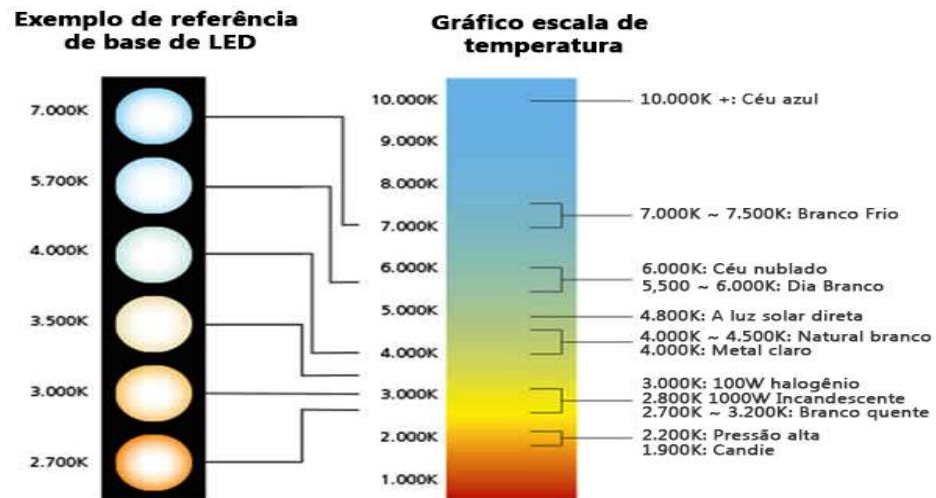
- *Fluxo Luminoso (ϕ)*: é a potência (W) da luz emitida de radiação sensível ao olho humano. Portanto, quando é dito que uma lâmpada possui determinada potência, quer-se dizer potência elétrica consumida, onde somente determinada parte dela é convertida em luz visível, e este é o *fluxo luminoso*. Para isto, então foi definido uma nova unidade, o *lúmen (lm)*, que toma como referência a radiação visível.
- *Eficiência Energética (η)*: é a razão entre o fluxo luminoso, em *lm*, e a potência consumida pela lâmpada em *W*, ou seja, com unidade em *lm/W*. De acordo com [15] o máximo valor teórico para os valores

sensíveis ao olho humano é de 683 lm/W, correlacionado a uma fonte de 555 nm.

- *Energia Total Irradiada (E_e)*: também conhecida como *iluminância*, é a relação entre a incidência total do fluxo energético em um elemento e a área da superfície dele. Portanto tem-se na razão as medidas de W/m^2 , e é medido a partir da quantidade total de luz irradiada.
- *Temperatura de Cor (T)*: é a relação derivada do radiador de corpo negro de Planck ⁴, onde é estabelecida através da correlação da cor da luz branca emitida pela fonte e a temperatura, unidades de *Kelvin (K)*, que o corpo negro possui. Este é um objeto ideal que captura toda energia e a emite de forma radiante, onde sua temperatura possui uma relação direta com a cor por ele emitida. Desta forma consegue-se obter a *Correlated Color Temperature (CCT)*, que é a temperatura de cor branca de uma fonte mais próxima da estabelecida pelo corpo negro citado [20]. Com esta associação, é dito que uma luz é *quente* ou *fria*, de acordo com a temperatura de cor representada por cada uma. Estas características podem ser observadas na Figura 6 a seguir:

⁴ É um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele, ou seja, ele não é capaz de refletir a radiação incidente.

Figura 6. Temperaturas de Cor



[Fonte: reproduzido de: <http://blog.novaeletronica.com.br/img/tabela-temperatura-de-cor-LED.jpg>]

As *quentes* possuem uma aparência mais amarelada, com temperatura de cor inferior a 3000K. Já as *frias*, são mais azul-violeta, com temperaturas de cor mais elevadas, acima dos 6000K [28]. Segundo [30], visto da Terra, o Sol se comporta como um corpo negro a uma temperatura de 5777K, sendo esta a temperatura de cor mais próxima da luz natural.

- **Índice de Reprodução de Cor (IRC):** quantifica em porcentagem (%), o quão fidedigno é a reprodução das cores emitidas por uma luz artificial se aproxima da luz natural. Tem-se por referência a luz solar como 100%, por ela conseguiu transmitir perfeitamente as cores dos objetos [31]. Esta medida explica o fato de lâmpadas com CCTs iguais possuírem IRCs distintos, ou seja, temperaturas de cor iguais não obriga na mesma reprodução de cor. Para as medições, existem 8 amostras de cores distintas (R1 a R8). Estas são dadas através de alguma fonte de luz de referência e partir destas amostras irá ocorrer as comparações. A média das diferenças é chamada de como R_a , e na atuação de focos cirúrgicos tem de está em torno de 85 a 100% [15]. Esta faixa corresponde a valores onde os LEDs de alta potência atuam,

por volta de 80 a 95%. Alguns fabricantes ainda estendem a quantidade de cores para as comparações, dependendo da qualificação e dos níveis de reprodução esperando e, podendo chegar até R15, como exemplifica a Figura 7 prosseguinte:

Figura 7. Exemplo de amostra de cores do IRC



[Fonte: retirado de [15]]

2.5 Vantagens técnicas dos LEDs

De acordo com documento emitido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, atualmente as tecnologias aplicadas no desenvolvimento dos LEDs estão permitindo que eles possuam vantagens técnicas bem superiores aos padrões aplicados atualmente [32]. Isto se deve não só ao fator financeiro, mas principalmente as características eletrônicas, físicas e ópticas. Neste trabalho serão destacadas as vantagens de maior relevância ao desenvolvimento do projeto proposto.

A primeira vantagem e mais chamativa é o *tamanho físico* que este dispositivo possui comparado a lâmpadas *incandescentes, halógenas, fluorescentes e de descarga*. A relação dimensões por quantidade de luz que pode ser obtida é bastante superior à área ocupada pelos modelos tradicionais. Isto vem permitindo a sua aplicação em diversos campos onde as proporções dos objetos possuem limitações, como por exemplo, circuitos eletrônicos, equipamentos médicos, sistemas de iluminação cirúrgicas, etc [22].

Mais uma vantagem que se pode destacar é a *vida útil* que estes componentes possuem. Pela não utilização de filamentos ou gás em sua composição, os LEDs acabam não se prejudicando pelo efeito da vibração, que pode ocasionar mudanças de funcionamento e reduzir bastante o tempo de vida das lâmpadas tradicionais. Outro fator importante que reduz o tempo de vida em alguns

emissores utilizados, é o ato de *ligar/desligar*, pois alguns deles se degradam e possuem ciclos limitados para estas ações. Estes fatos agregados a manutenção e durabilidade tem sido decisivo na escolha deste tipo de iluminação, pois o tempo de operação de um LED é bem superior, variando entre 30.000 a 50.000 horas de uso, resultando em uma vida útil 25 vezes maior que as tradicionais [22] [15].

Outro ponto positivo está na *quantidade de energia consumida*. Com a evolução no desenvolvimento dos semicondutores, cada vez mais encontra-se uma maior eficiência energética para um consumo cada vez mais reduzido. Portanto, o uso desse novo segmento trás um coeficiente bastante inferior na relação *R\$/quantidade de luz*.

Quanto às características físicas de atuação, os LEDs possuem uma excelente saturação de cor, emitindo o comprimento de onda em uma frequência determinada e específica. Ou seja, há uma precisão específica na pureza da cor da luz que se deseja atingir, sem que haja radiações em outros espectros não desejados. Isto é de extrema importância quando se deseja trabalhar com faixas muito rígidas de funcionamento, não só ao espectro visível, como também nas radiações IR e UV, bastante utilizadas em diversas técnicas médicas [15].

Por fim, o *aproveitamento térmico* convertido em luz é uma característica de suma importância quando comparado às lâmpadas em geral. O LED consegue uma proporção de eletricidade em luz bem superior as demais, pois emite o calor em forma de luz com uma precisão de atuação mais precisa. Porém, eles produzem calor e estes devem ser minimizados através de dissipadores térmicos [22].

2.6 LEDs x Laser

Os Lasers de 1 a 100 W, considerados de alta potência, evoluíram rapidamente desde a sua criação e são largamente utilizados na medicina, principalmente nas cirurgias oftalmológicas e odontológicas [34] [35]. Através da pontualidade de atuação da luz gerada, agregada a especificidade do comprimento de onda atingido, as propriedades *fotodérmicas* e *fotoablativas* se aplicam de forma efetiva em cortes, emendas e até destruição de tecidos, sendo largamente utilizados

em procedimentos operatórios [36] [37]. Eles também são fortes atuadores nos processos de cicatrização, atuando em espectros visíveis e IR, com diferentes resultados em ambas as faixas [38] [6].

Porém suas aplicações não estão restritas apenas a área médica. O uso na telemetria, cortes de materiais, comunicações e iluminação, fazem parte da utilização em massa dos Lasers. Contudo, para sua atuação no âmbito da geração de luz visível para iluminação de qualidade de ambientes, os Lasers acabam não tendo boa uma efetividade nem aplicabilidade, comparado a outras fontes, neste caso os LEDs. Isto ocorre justamente pelas características advindas dos Lasers, onde a radiação emitida é totalmente coerente e colimada a um determinado comprimento de onda. Isto resulta, por exemplo, que para a emissão de luz branca, tenham de ser utilizado 4 Lasers, onde cada um irá gerar singularmente as cores: *azul, vermelha, verde e amarela* [39]. Após a formação, todos os feixes serão agregados para a formação conjunta da luz branca. Essa junção deverá também de passar por lentes para que os feixes de luz se tornem difusos, para poder assim expandir a sua área de ação [34].

Portanto, diante dos fatos exibidos, fica claro que a utilização dos Lasers para uma geração não pontual de luz de branca não se mostra aplicável em comparação aos LEDs. As características e propriedades fazem com que sua aplicação não seja uma boa escolha para o propósito de emissão de radiação difusa. Agregado a isso, o custo financeiro desses equipamentos e suas adaptações para que se consiga atingir um nível de espectro de luz branca de qualidade, não torna atraente a sua aplicação. Contudo, também é importante destacar que a utilização de LEDs em aplicações onde os Lasers são bastante eficazes, ainda não os tornam viáveis para sua aplicação, principalmente pela não coerência da luz formada e sua dose energética[34].

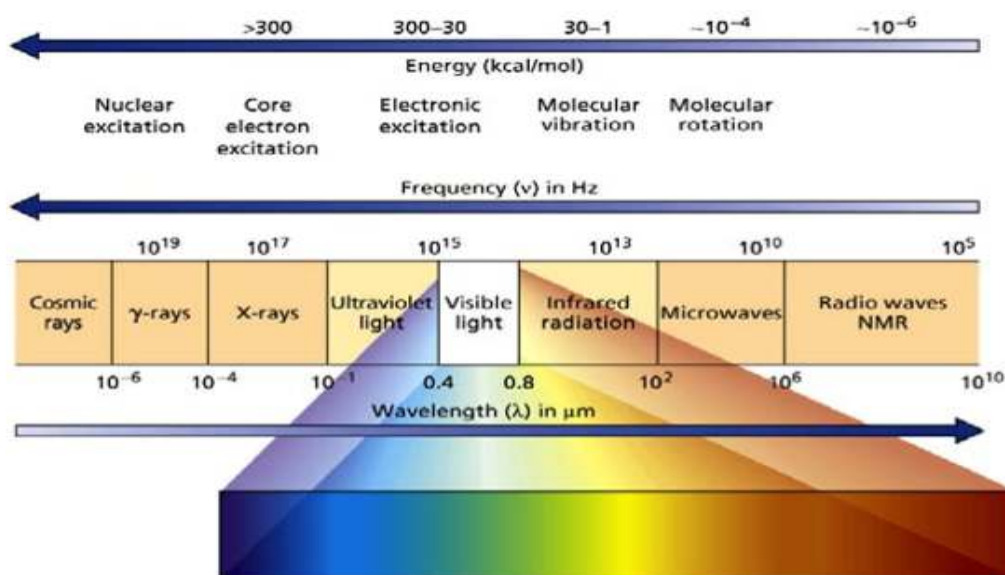
Capítulo 3

Luz Infra Vermelha – IR

A *radiação eletromagnética*, ou *energia radiante*, é uma das inúmeras adiações presentes e propagadas pelo vácuo e, pelo ar. Apesar de viajarem no vácuo a uma mesma velocidade (*velocidade da luz*), as diversas faixas do espectro eletromagnético produzem efeitos muito diferentes quando absorvidos pelos diversos tipos de matérias.

Cada uma dessas regiões possuem delimitações estabelecidas através de diversas formas de apresentação, contudo as mais utilizadas são: *comprimentos de onda*, *frequência de vibração*, *temperaturas de cor* ou *quantidade de energia*; como se pode observar na Figura 8 a seguir:

Figura 8. Faixas do espectro eletromagnético



[Fonte: reproduzido de: <https://encrypted->

[tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSrEYukFqOhzk94GsXTADDdLc5tz4tI3J9DLCdQ-jXaDYbj17-VIQ](https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSrEYukFqOhzk94GsXTADDdLc5tz4tI3J9DLCdQ-jXaDYbj17-VIQ)]

O estudo de todos esses níveis de energia é chamado de *espectroscopia*, onde é estabelecida através de toda interação das radiações com a matéria. Toda relação é analisada a nível de *transições* que os átomos e moléculas possuem em

cada intervalo de energia. Dentre as mais importantes, destacam-se: as *transições eletrônicas*, *vibracionais* e *rotacionais*; onde cada uma delas representa as regiões do ultravioleta ou visível, infravermelho e micro-ondas ou até o infravermelho longínquo, respectivamente [40].

Em 1880, William Herschel descobriu a radiação infravermelha através de um termômetro de mercúrio. Ele observou um aumento da temperatura para cores do lado do vermelho, e acabou capturando acréscimos de calor para faixas onde não havia mais luz visível [41]. Com este experimento, foi possível observar que existem intervalos de luz que emitem radiação com comprimentos de ondas não visíveis a olho nu, como no caso, a infravermelha.

3.1 Características e divisões

A luz infravermelha possui comprimento de onda entre *750 nm e 1mm*. Dentro deste intervalo, há subdivisões que classificam com mais detalhes essas faixas mais específicas. Novamente, as características espectroscópicas são determinísticas para o estabelecimento desta divisão, onde os aspectos das vibrações harmônicas das moléculas são de suma importância [42]. As subdivisões do infravermelho são:

- *Infravermelho Próximo* ou *Near-infrared (NIR)*: Está localizada entre *780 nm e 2500 nm* ou $3,8 \times 10^{14}$ e $1,2 \times 10^{14}$ Hz. A absorção nesta região é causada pelas transições harmônicas das vibrações moleculares;
- *Infravermelho Médio* ou *Meduim-infrared (MIR)*: Está localizada entre *2500 nm e 5000 nm* ou $1,2 \times 10^{14}$ e $6,0 \times 10^{12}$ Hz. A absorção nesta região é causada pelas transições de rotação das vibrações moleculares;
- *Infravermelho Distante* ou *Far-infrared (FIR)*: Está localizada entre *5000 nm e 100000 nm* ou $6,0 \times 10^{12}$ e $3,0 \times 10^{11}$ Hz. A absorção nesta região também é causada pelas transições de rotação das vibrações moleculares.

Existem ainda intervalos mais distantes, conhecidos como intervalos extremos. Contudo, suas delimitações acabam não sendo muito bem definidas por

conta do contato com a faixa das Microondas, ocasionando incertezas e pouca atração para suas aplicabilidades [43].

Visto isso, o espectro vibracional da maior parte das substâncias orgânicas está localizado no NIR e MIR. São nestas faixas que a maior parte das moléculas conseguem interagir de maneira mais efetiva com as frequências desses intervalos. Portanto, o espectro infravermelho possui uma grande aplicação não só na identificação físico-química dos compostos mas também na sua relação com as substâncias orgânicas que possuem um grande percentual de absorção no intervalo médio.

3.2 Aplicações

As aplicações do IR são diversas, como: na troca de informações em comunicações de sensores, no aquecimento de materiais, em fotografias e vídeos de câmeras, nos tratamentos odontológicos e, principalmente na medicina. Nesta última, o crescimento está sendo bastante elevado nesses anos, como forma de utilização em novas tecnologias para captura e manipulação de imagens [17].

A alta absorção do NIR nas biomoléculas, agregado a baixa refletividade que elas possuem está sendo um dos principais fatores para sua utilização na área médica. Diversas áreas já utilizam o IR em seus diversos espectros para realização de tratamentos dermatológicos e odontológicos, como mostram [21] [6]. Contudo, o NIR acaba sendo também de suma importância em outras áreas da saúde, como na de diagnósticos. Diante das diversas características ópticas que o IR possui, cada cenário específico acaba potencializando determinadas propriedades. Estas por sua vez, fazem com que a captura de imagens possua informações que não podem ser vistas através do uso apenas da radiação visível. Com isso, sua utilização está sendo cada vez mais importante, pois ela consegue obter uma maior quantidade de informações em detrimento aos métodos tradicionais.

A importância dos efeitos da luz infravermelha através da captura de imagens tem sido bastante promissora nestes últimos anos, principalmente agregada a tecnologias que permitem sua utilização com outros materiais e fontes de radiação.

Esta forma de utilização tem introduzido na medicina, novas propostas de equipamentos que façam a geração e monitoramento de imagens em tempo real de procedimentos cirúrgicos internos [17]. Desta forma, casos de atuações mais críticas ou com necessidades maiores de precisão, devem possuir margens de erros cada vez menores, garantindo assim uma maior segurança de atuação através de melhores alternativas para situações inesperadas.

Adjunto a todos os benefícios que sua utilização agrega, o fator custo também é um ponto bastante positivo. Pois assim como se pode observar na proposta de [16], o modelo apresentado se utiliza de equipamentos simples, de fácil operacionalidade e um valor agregado de projeto bastante insignificante às vantagens que se terá como retorno.

3.3 Aspectos físicos das imagens com NIR

Existe uma grande variedade na definição exata da faixa espectral visível, porém de acordo com [17] pode-se definir, com possíveis margens de erros valores entre $380nm$ a $780nm$. É sábio que a visão humana possui essas limitações a determinadas amplitudes de comprimentos de onda, porém equipamentos de captura de imagens como câmeras e filmadoras digitais possuem sensores de captação mais permissíveis, algo em torno dos $1100nm$. Grande parte destes dispositivos possui filtros para a luz IR, mais especificamente NIR, o que acarreta no bloqueio dessa radiação. Contudo, com a retirada desses filtros, a incidência da porção de luz é aumentada e a captação dos sensores podem ser feitas agora até suas próprias limitações. As imagens geradas possuem mudanças significativas para determinados tipos de cenários, onde informações anteriormente ocultas ou de visibilidade comprometida, podem possuir um novo aspecto através deste processo. Juntamente a retirada do filtro IR das câmeras para obtenção apenas da luz NIR, é feita a introdução nesses equipamentos, de filtros para radiação visível. Desta forma, toda a radiação sensível ao olho humano é bloqueada e apenas a faixa espectral do NIR é utilizada para a formação das imagens [13].

Algumas características físicas devem ser levadas em consideração para o uso correto na obtenção de imagens com NIR. São elas: a *reflexão*, *transmissão* e *absorção* da luz infravermelha. Esses aspectos variam bastante de cenário para cenário, onde dependendo das matérias presentes, irão possuir valores específicos para aquela captura. Segue abaixo Figura 9 que demonstra bem a mudança de aspectos nas imagens com NIR:

Figura 9. (a) Imagem de captura convencional. (b) A mesma imagem sob as mesmas condições, agora apenas com espectro NIR.



[Fonte: retirado de [13]]

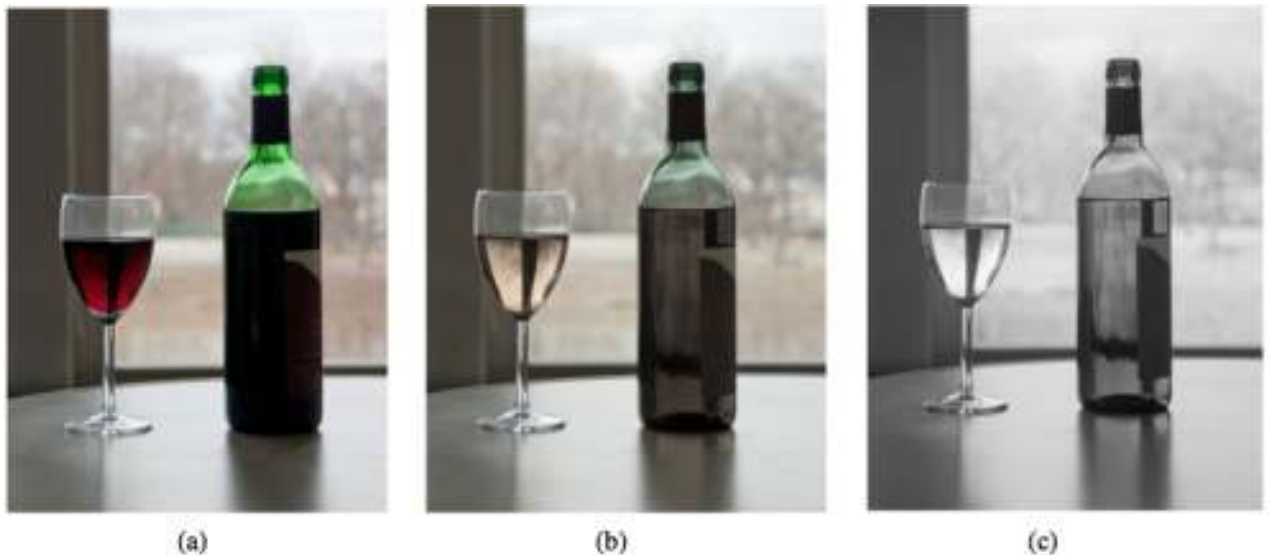
Nota-se na imagem (a), com a captação convencional do equipamento, o padrão das cores, brilho e contraste sem qualquer alteração externa. Na imagem (b) apenas com NIR, o padrão de cores, brilho e contraste é totalmente diferente. Nela há um aumento do brilho nas vegetações (*Wood Effect*), regiões do céu claro mais escuras e o maior contraste entre o céu e as nuvens. Outra característica que se

pode observar em (b), é o reflexo das árvores no fundo das janelas das casas, onde na imagem original não aparece [13].

Uma das características mais importante para o desenvolvimento deste trabalho está no efeito que o NIR possui nos líquidos, principalmente em fluidos de cores mais escuras, como vermelho e vinho. Os fatores de transmissão, reflexão e absorção do NIR nesses objetos é de extrema importância para os resultados. Através dessas propriedades, é possível aplicar e estender tais efeitos em outras propostas, como a de captura de imagens em tempo real de cenários de pouca ou baixa visibilidade, comprometidas por uma hemorragia não localizada, por exemplo.

Na Figura 10 abaixo, pode-se observar na prática o resultado obtido pelo NIR em líquidos de cores mais escuras, no exemplo uma garrafa e uma taça de vinho.

Figura 10. (a) Imagem apenas no espectro visível. (b) A mesma imagem, agora com espectro visível e NIR. (c) E por fim a mesma imagem, agora apenas com espectro NIR.



[Fonte: retirado de [13]]

A captura da imagem (a) é feita apenas com o espectro visível, e note-se a conservação das cores, brilho e contraste. Já em (c), percebe-se claramente os efeitos que o NIR foi capaz reproduzir no líquido. Tornou a cor avermelhada do vinho, tanto na taça quanto na garrafa, em aparência de água totalmente transparente, onde ainda se pode perceber os detalhes através dos vidros. Em (b)

observa-se uma mistura das duas imagens (a) e (b), onde as cores se tornam mais amenas assim como o brilho e o contraste [13].

Um outro exemplo dos efeitos do NIR em líquidos pode ser observado também através da Figura 11 a seguir, onde se tem um copo de Coca-Cola Diet como objeto de análise.

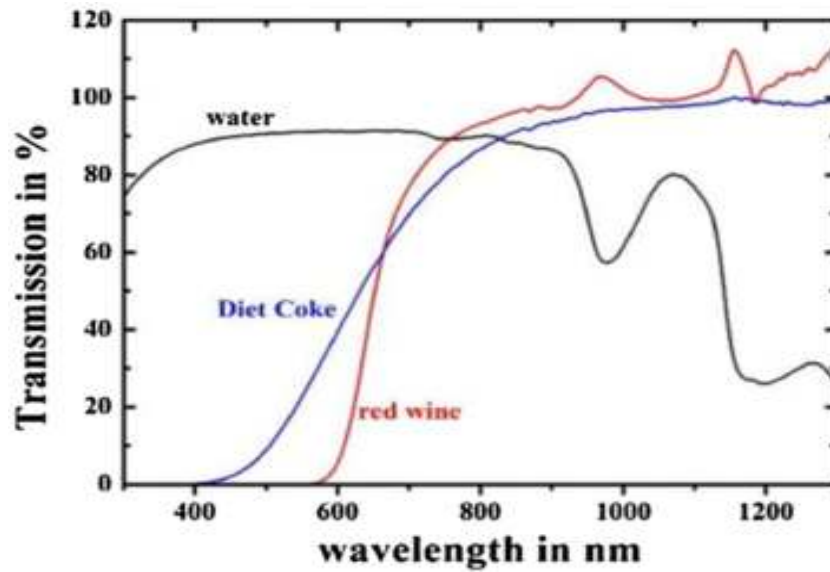
Figura 11. (a) Copo de Coca-Cola Diet com apenas com luz visível. (b) A mesma imagem, agora apenas com espectro NIR.



[Fonte: retirado de [13]]

Os mesmos efeitos causados na taça e na garrafa de vinho são observados no líquido marrom escuro do refrigerante. Ou seja, líquidos com cores mais fortes e escuras, tendem a ter aparência transparente na radiação NIR. Isto se deve, pela alta taxa percentual de transmissão desses líquidos na faixa do IR, tendendo várias vezes a 100% [13]. A Figura 12 abaixo mostra o gráfico referente ao grau de transparência pelo comprimento de onda de ambas as figuras anteriores com o da água:

Figura 12. Espectro de Transmissão do Vinho e do refrigerante em comparação ao da água.



[Fonte: retirado de [13]]

Apesar de ainda se observar a presença da espuma nas paredes do copo de refrigerante, isso é dado devido ao baixo pH presente. Assim como em contraponto, a presença do álcool no vinho, ajudou a aumentar o grau de porcentagem da transmissão da bebida.

Capítulo 4

Desenvolvimento

Diante de todo o embasamento teórico explanado nos capítulos anteriores, os LEDs juntamente com sua aplicação para geração de luz branca e infravermelho são alternativas de grande atração em diversas áreas. Contudo, dentre os diversos ramos de interesse, este trabalho terá como foco a aplicação dessas radiações como alternativa e solução para o acompanhamento em tempo real de imagens em cenários com visibilidade prejudicadas. Situações críticas em meios operatórios muito comumente são expostas às hemorragias de origem desconhecida, aumentando assim o nível de risco dos procedimentos [4].

De toda forma, como mostrado, o NIR agregado a uma fonte de luz visível possui efeitos muito úteis quando aplicados em líquidos escuros. De acordo com alguns estudos [17] [13] [16] [44], existem alternativas que comprovam a viabilidade da utilização da luz NIR em cenários onde o espectro visível não se torna eficaz. Além disso, técnicas atuais para retenção e contenção de hemorragias se mostram, muitas vezes, ineficazes e perigosas.

Portanto, de acordo com as dificuldades e limitações de atuação dos procedimentos atuais e, visando suprir e diminuir suas margens de risco, este trabalho têm por objetivo a elaboração de um sistema em LED através da aplicação dos efeitos causados pela consequente utilização conjunta da luz branca e IR. Sua composição é dada pela incorporação de elementos eletrônicos simples, tendo uma atuação e controle mais refinados para maximizar a segurança em sua utilização. Sua aplicação terá como foco identificar um fluxo sanguíneo indesejado e solucionar o comprometimento da visibilidade de imagens em meios hemorragicamente comprometidos ou imersos a soluções indesejadas, cujos efeitos das radiações mencionadas, foram expostos no capítulo anterior.

O projeto completo está subdividido em três etapas:

- *Projeto Elétrico:* consiste na criação e desenvolvimento de toda parte elétrica do conjunto, como:
 - Escolha da arquitetura eletrônica;
 - Escolha na utilização dos componentes;
 - Testes e simulações do circuito;
 - Programação para o *Pulse With Modulation – PWM* do micro-controlador;
 - Montagem do circuito elétrico;
 - Testes e resultados de imagens dos efeitos causados pelas emissões IR e luz branca na identificação do fluxo indesejado;
 - Minimização do calor nos LEDs através de dissipadores.
- *Projeto Mecânico:* consiste na elaboração de um objeto de incorporação para o LED branco e IR, em uma estrutura mecânica resistente e flexível. Esta terá de possuir um acoplamento seguro e firme para que possa ser fixado nos materiais cirúrgicos operacionais. Além disso, o material, a forma e os encaixes serão elaborados visando um maior aproveitamento mecânico da peça assim como um melhor fluxo para a dissipação do calor.
- *Projeto Óptico:* consiste no desenvolvimento do acoplamento entre os LEDs e a estrutura mecânica, com o objetivo de maximizar o aproveitamento da radiação por todo o objeto, onde os índices de refração da luz deverá ser o menor possível. Com isso, será exigido menos do circuito gerador, diminuindo a potência requerida e conseqüentemente uma menor geração de calor.

Como o trabalho de Conclusão de Curso, o foco deste estudo está voltado no desenvolvimento e elaboração do Projeto Elétrico. Têm-se por meta a comprovação

de sua simples construção, controle e estrutura para a obtenção dos resultados dos efeitos que essas radiações podem trazer através de imagens atuando na identificação de um fluxo hemorrágico indesejado, para atuar em meios pouco antes utilizados.

4.1 Projeto Elétrico

4.1.1 Arquitetura do Circuito

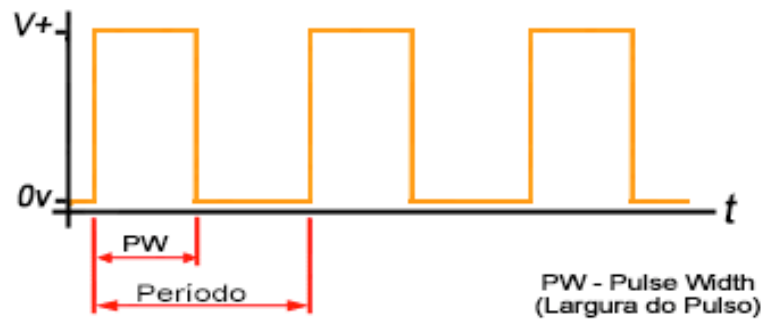
Como fator principal desta pesquisa, o ponto inicial deste, foi a elaboração e escolha da arquitetura do circuito eletrônico. A idéia é composta pela utilização de agentes emissores de luz através da tecnologia LED, onde fatores como tamanho, características de operação, eficiência e padrões de controle foram cruciais para esta escolha.

As intensidades dos LEDs serão controladas através de simples botões ou pedais, onde terão sua atuação controlada através do *PWM*. Esta técnica consiste no controle de carga desejada ao sistema em questão. Com ampla utilização atual, além de mais eficaz e controlável, ela substitui várias outras técnicas utilizadas, como: *modulação por frequência, on-off e até cargas em série com controle estabelecido por resistores*. Seu funcionamento consiste no gerenciamento da carga para o sistema através do controle da variação da onda quadrada. Para isto, deve-se variar a largura do pulso da onda, ou seja, o tempo em que o sinal está ligado, sobre o tempo de ciclo da onda, conforme equação abaixo:

$$\text{DutyCycle} = 100 \times (\text{LarguraDoPulso} / \text{Periodo}) \quad [1]$$

O *Duty Cycle*, ou intervalo de trabalho, é dado em porcentagem (%) através da razão da Largura do Pulso pelo Período da onda. Tais informações podem ser melhor compreendidas através da Figura 13 a seguir:

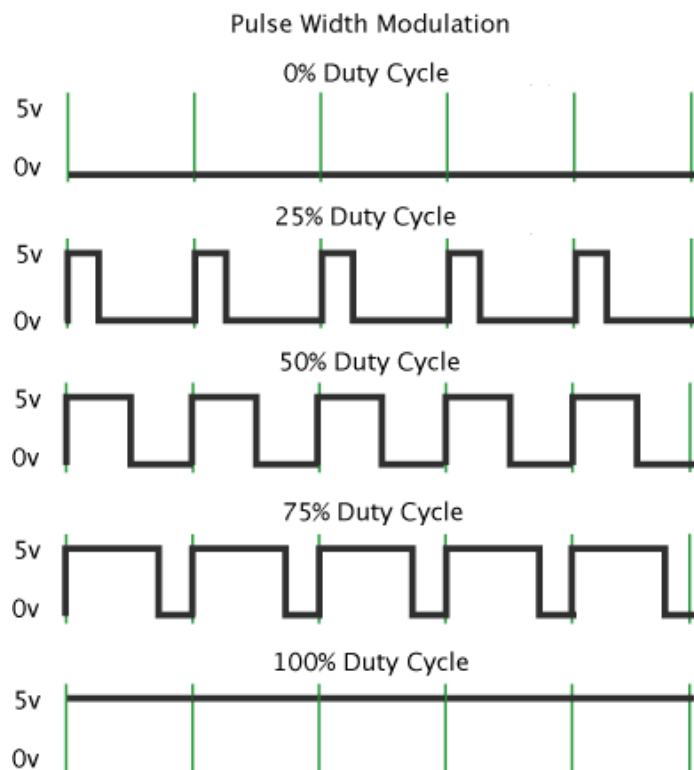
Figura 13. Gráfico ilustrativo das grandezas do Duty Cycle.



[Fonte: reproduzidor de: http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/image/pwm_v1.gif]

Com a variação das grandezas citadas, consegue-se calcular os valores de tensões (V) permitidas para cada valor de *Duty Cycle*. A Figura 14, a seguir, ilustra este comportamento ao longo do tempo, onde os valores de tensão máxima são limitados e para cada porcentagem referente a razão estabelecida, será calculado o valor de tensão média permitida para o sistema.

Figura 14. Exemplo de valores do Duty Cycle.



[Fonte: reproduzidor de: http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/image/pwm_exemplo.png]

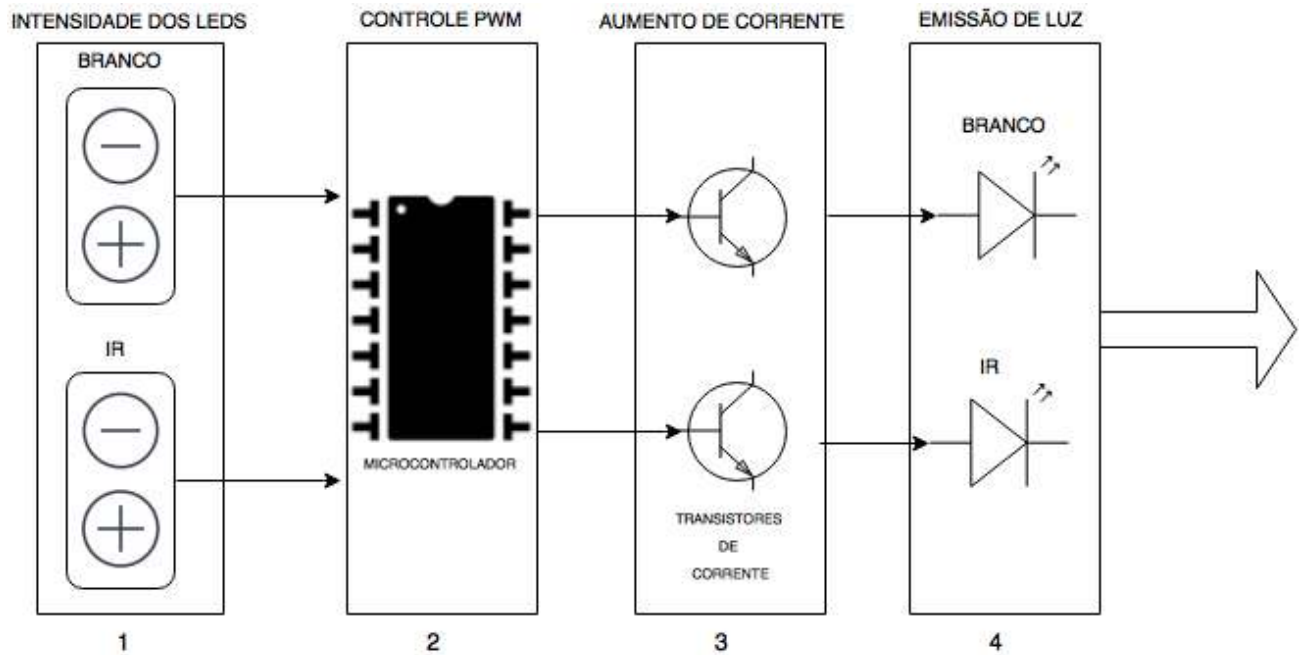
E por fim, para calcular o valor de tensão permitida para cada padrão do *Duty Cycle*, basta realizar o produto da porcentagem do ciclo pela tensão máxima permitida ao circuito, conforme abaixo:

$$\text{TensaoMedia} = \text{TensaoAplicada} \times \text{DutyCycle} \quad [2]$$

Portanto, para realizar este controle, foi escolhido o microcontrolador *Arduino UNO*. Sua escolha foi dada pela facilidade de utilização, e principalmente, de programação, onde já possui uma consolidação de atuação bem ampla em várias aplicações. Bibliotecas já consolidadas e uma programação mais alto nível, tornaram-se fatores bastante atraentes para os testes que serão realizados, onde dados de todo o circuito e controle podem ser gerados com facilidade. Contudo, este controle pode ser realizado por qualquer microcontrolador onde se possa utilizar o *PWM*.

A idéia central da arquitetura do circuito é baseada na atuação precisa das intensidades dos LEDs através do estímulo gerado em suas entradas, ou seja, através dos comandos impostos pelos botões de cada uma das fontes. A Figura 15 abaixo, expõe toda esta idéia em forma de diagrama de blocos.

Figura 15. Diagrama de blocos do Projeto Elétrico.



No item 1 têm-se o estímulo de entrada do circuito, onde os botões de “ + ” e “ - ” (acréscimo e decréscimo respectivamente) de cada LED serão os sinais de saída e, de entrada para o microcontrolador, item 2. Neste, os sinais de cada entrada serão manipulados e tratados através das portas de *PWM* para que as progressões dos sinais possuam estabilidade e não sofram variações indesejadas. Após o tratamento dos sinais pelo componente do bloco 2, os sinais de saída deste não possuirão um valor de corrente suficiente para o funcionamento adequado dos LEDs. As corrente de saída dos microcontroladores são insuficientemente baixas e precisam ser elevadas a níveis corretos de atuação de acordo com o sinal de entrada desde o item 1. Portanto, a saída do item 2 para entrada no item 3 é dado para que através dos transistores haja um aumento no fluxo de corrente, a partir deste ponto, para a mesma tensão em que o sistema se encontra. Desta forma, com os valores de sinais tratados e ajustados, e um fluxo de corrente adequado para correta atuação dos LEDs, estes poderão atuar dentro de seus valores nominais, emitindo a quantidade *lúmens* de acordo com os sinais de entrada estimulados, como mostra o item 4.

4.1.2 Escolha dos componentes eletrônicos

A escolha dos materiais eletrônicos foi estabelecida apenas após o firmamento da arquitetura adotada. Esta etapa foi estabelecida em paralelo a montagem e simulação do circuito em software, através do *ISUS Proteus*⁵.

Inicialmente, a escolha dos LEDs foram analisadas de acordo com as propriedades citadas no Referencial Teórico deste trabalho, principalmente em relação a *temperatura de cor e comprimentos de onda*. Estes fatores têm influência direta na iluminação de objetos e em sua consequente captura de imagens, principalmente tratando-se de comprimentos de onda específicos para atuação da faixa espectral do IR e da luz branca.

Para o experimento foi decidido a utilização de LEDs de Potência, cuja potência máxima utilizada será de 1W, pois com este valor já se consegue uma Eficiência Energética de cerca de 100-120lm/W. Em pesquisa para seleção dos LEDs brancos, foi dado ênfase em temperaturas de cor, dos mais quentes (3000K – 4500K) até os mais frios (5000K – 6500K). Portanto, valores fora destes intervalos não foram considerados de relevância para os experimentos, visto as referências de luz natural em torno de 5777K [30]. Contudo, é de interesse desta pesquisa também a análise destes valores na influência de uma melhor visibilidade com a utilização conjunta com o IR. Para os LEDs de emissão IR, foram escolhidos comprimentos de onda do espectro NIR. Dentro desta faixa e da disponibilidade de venda, foram escolhidos LEDs também com Eficiência Energética de 100-120lm/W e atuação espectral de *850nm* e *940nm*. Estas escolhas também foram feitas para que se possa estabelecer um melhor comprimento de onda de atuação conjunta com a luz branca, promovendo assim uma melhor conjuntura na formação das imagens.

Portanto, as variações na escolha e nos parâmetros destes emissores foram dadas, para que através dos resultados dos experimentos se consiga pontuar também qual o melhor conjunto (*par de LEDs*). Ou seja, quais emissores

⁵ Software de simulação de circuitos eletrônicos, microcontroladores, captura esquemática e elaboração de placas de circuito impresso, desenvolvido pela [Labcenter Electronics](http://www.labcenter.com.br) e amplamente utilizado em simulações de hardware.

conseguiram uma melhor eficiência na atuação, promovendo os efeitos esperados e uma melhor facilidade na localização do fluxo hemorrágico nas imagens.

Na tabela abaixo, pode-se observar as características dos LEDs utilizados neste projeto:

Tabela 1. LEDs e suas características elétricas

LED (MODELO)	POTÊNCIA MÁX (W)	CORRENTE DIRETA (mA)	TENSÃO DIRETA (V)	TEMPERATURA DE COR (K) ou COMPRIMENTO DE ONDA (nm)
ZM-P3W32220-P45T	3W	600-700mA	3,2 –3,6V	3000K–3200K
ZM-P3W52220-P45T	3W	600-700mA	3,2 –3,6V	5000K–5500K
ZM-P3W62220-P45T	3W	600-700mA	3,2 –3,6V	6000K–6500K
LS-P3IRG423514-850	3W	900mA	2,3 –2,5V	850nm
LS-P3IRDY403514-940	3W	900mA	2,3 –2,5V	940nm

Além da proposta de utilização do *Arduino UNO* para estabelecer o controle dos sinais via *PWM* (*pelos motivos citados no tópico anterior*), alguns outros componentes foram tiveram de ser analisados para a montagem do circuito de acordo com as especificações dos emissores, como alguns resistores e transistores NPN TIP122.

Por fim, para uma melhor eficiência e dissipação de calor dos LEDs brancos foram escolhidos dissipadores do tipo *estrela*. Nestes são encaixados de forma simples e direta às bases dos emissores, de forma a propagar o fluxo do calor para o material que o compõe, como se pode observar na Figura 16 seguinte:

Figura 16. Dissipador tipo *estrela* para LEDs de alta potência.



[Fonte: reproduzido de:

https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/415660/39_2_20150518100935.jpg]

4.1.3 Elaboração e Montagem do circuito elétrico

Com a escolha dos componentes e suas respectivas características de funcionamento, estabeleceu-se então a elaboração e a montagem dos componentes.

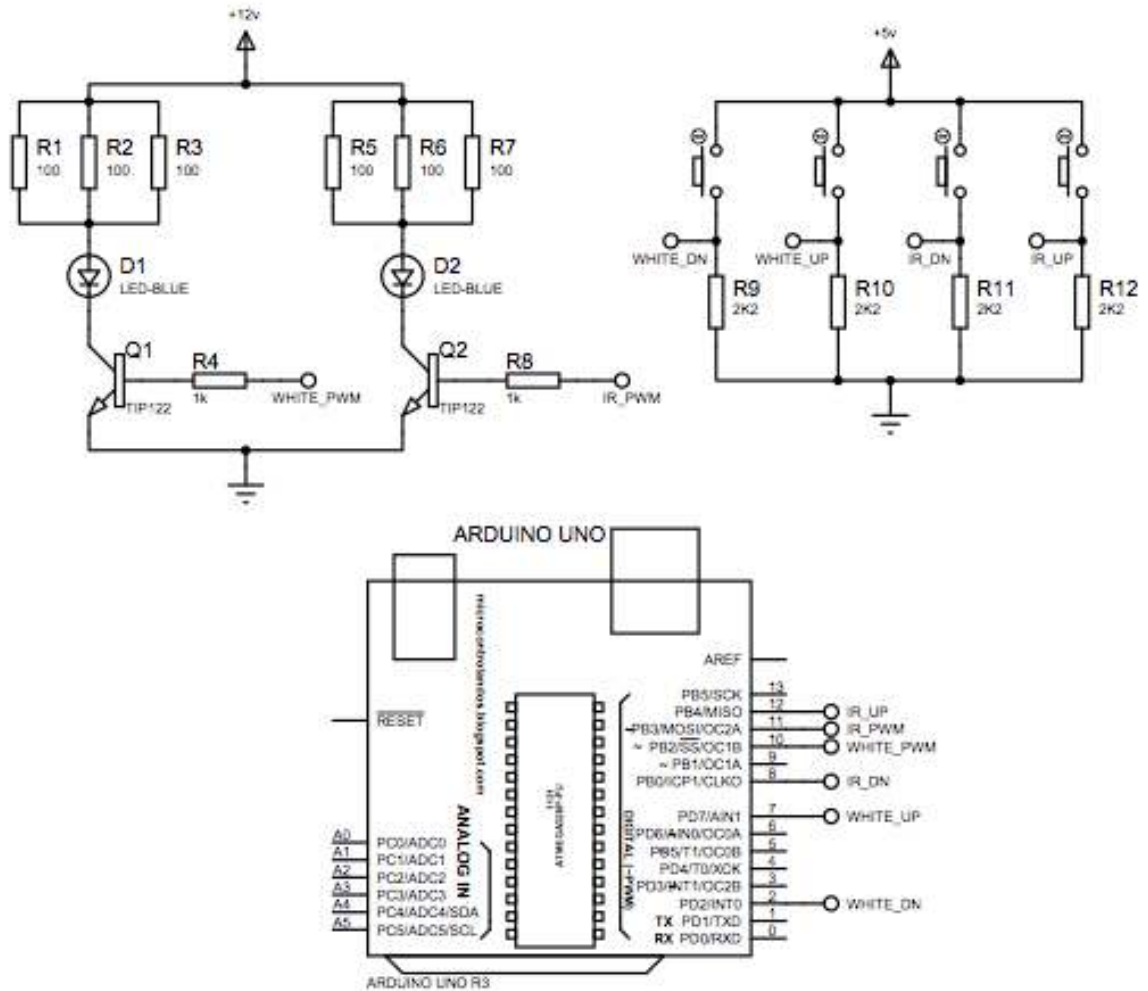
Nesta etapa, inicialmente foi estabelecido implementação do circuito via software, através do *ISUS Proteus*. Nele foi possível implementar e realizar testes prévios de funcionamento de acordo com a arquitetura e equipamentos escolhidos. Alguns parâmetros externos são fixos para que se consiga atingir a potência necessária requerida, como a tensão de alimentação do circuito ou tensão de alimentação da fonte, com exatos 12V.

Através das simulações conseguiu-se amadurecer a montagem e melhor posicionamento dos componentes, assim como a análise dos parâmetros de entrada e saída para que o mesmo possua estabilidade em seu funcionamento. A incorporação do *Arduino UNO* a todo o controle dos equipamentos também fez parte dos testes em software. Resistores de $2K2\Omega$ foram utilizados com o objetivo de minimizar a interferência de ruídos nos sinais. Já os de $1K\Omega$ são os resistores de base (R_b) dos transistores NPN. Estes foram incorporados para atuarem como amplificadores de corrente, pois os valores de correntes das saídas do microcontroladores são insuficientemente baixos para os padrões de atuação dos LEDs. Outra importante função dos transistores são a de chave de saturação para a corrente de saturação, ocasionando assim um limite máximo de operação.

Para o funcionamento do microcontrolador, o mesmo possui uma alimentação fixa de 5V provida pelo conector *Universal Serial Bus – USB*, do tipo B. Esta conexão além da alimentação do *Arduino UNO*, promove também a comunicação do microprograma de controle implementado para no circuito. Após feita a compilação em máquina, o programa passa a ser armazenado e executado no *ATMEGA328P*, responsável então por toda reprodução implementada em código.

Após a conclusão desta etapa, tem-se então um modelo do circuito elétrico do projeto consolidado e controlado em sua atuação. Para uma melhor análise e visualização do esquema do circuito elétrico, segue abaixo a Figura 17 o esquema elétrico do circuito após sua conclusão:

Figura 17. Esquema Elétrico do circuito.



[Fonte: elaboração própria]

4.1.4 Implementação do PWM – *Pulse With Modulation*

Como já dito anteriormente, a técnica de PWM é utilizada através do microcontralador escolhido, o *Arduino UNO*. Este utiliza a linguagem de programação de alto nível C++, já consolidado e amplamente utilizada, com algumas modificações. A implementação do código é realizada através do *Arduino 1.6.12*, uma *Integrated Development Environment – IDE*; ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, que possui todas as ferramentas para desenvolver e compilar o microprograma da linguagem de alto nível para a linguagem de máquina.

O código completo implementado para a realização do controle mencionado está totalmente disponível através da seção de Apêndices deste trabalho.

4.1.5 Montagem do circuito Elétrico

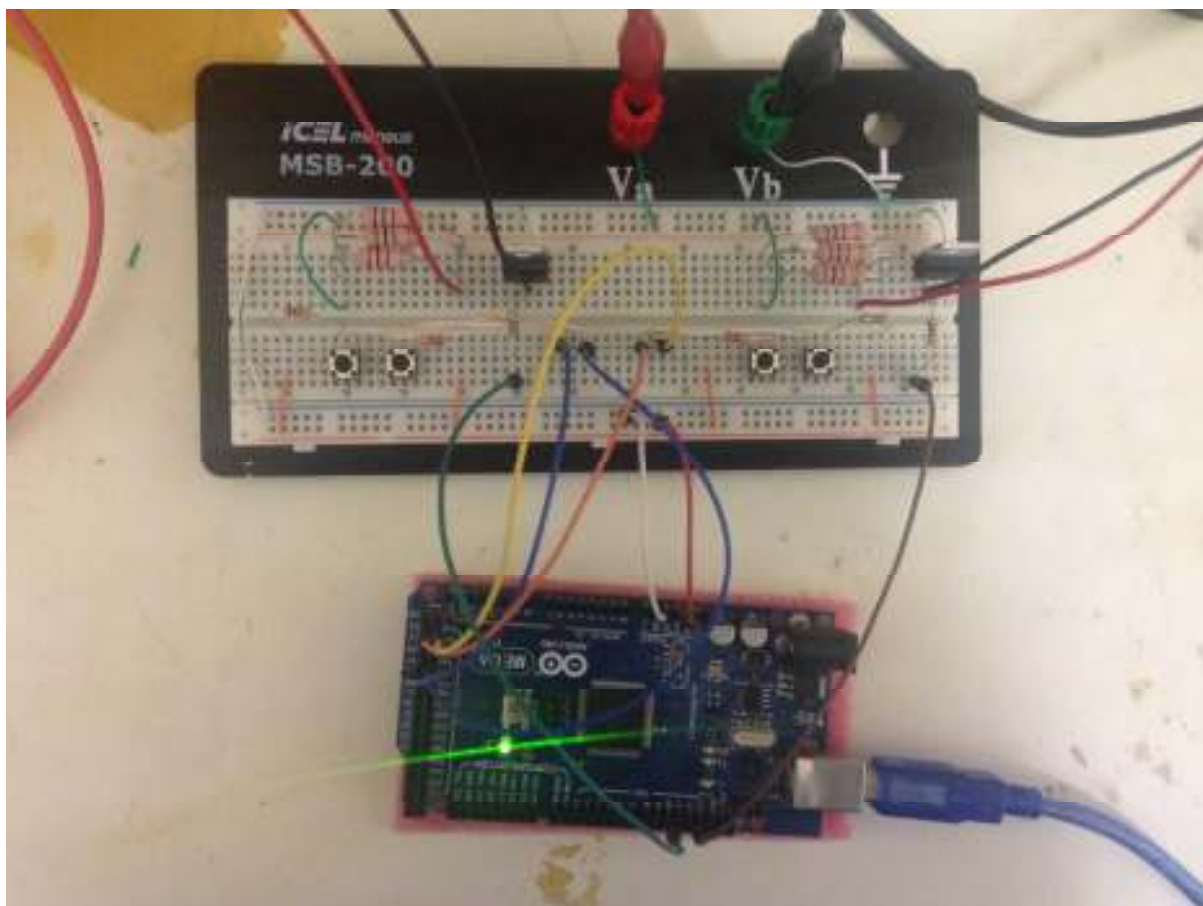
Para fins de testes e consequente obtenção dos resultados, a montagem física do circuito elétrico adoto foi realizada através da *Protoboard Icel MSB-200*. Esta possui as seguintes características abaixo:

- **Nº de furos:** 840;
- **Espessura:** 0.15mm;
- **Bitola de fio:** de 0,4mm até 0,7mm;
- **Rigidez Dielétrica:** 1.000Vrms por 60 segundos;
- **Resistência de Contato:** <1mOHM a 1KHz;
- **Tensão Máxima:** 250V.

Tais características atendem de forma simples e eficaz os valores de entrada e saída do circuito elétrico montado, assim como seus valores fixos. Além da facilidade de possíveis alterações, o acomplamento com o microcontrolador também pode ser feito de forma a garantir um posicionamento variável dos pinos de entrada. Com isso, têm-se uma maior liberdade de alterações e ajustes para futuramente conceber este circuito elétrico em uma Placa de Circuito Impresso consolidada.

Após a montagem e firmamento de todos os componentes pertencentes ao circuito elétrico, os LEDs são agregados a Protoboard em seus devidos pinos para que possam atuar na emissão das radiações. A Figura 18 por seguinte exhibe o circuito elétrico montado e atuando em alguns testes.

Figura 18. Circuito Elétrico montado e atuando em alguns testes.



[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

4.1.6 Descrição do Experimento

O objetivo do experimento é demonstrar que os efeitos do NIR explicitados no Capítulo 3 podem servir na prática de inúmeras maneiras. No âmbito desta pesquisa, será demonstrado sua utilização para identificação de um fluxo hemorrágico não desejado e/ou não esperado, onde a operacionalidade e visualização do meio não irá sofrer danos visuais significativos.

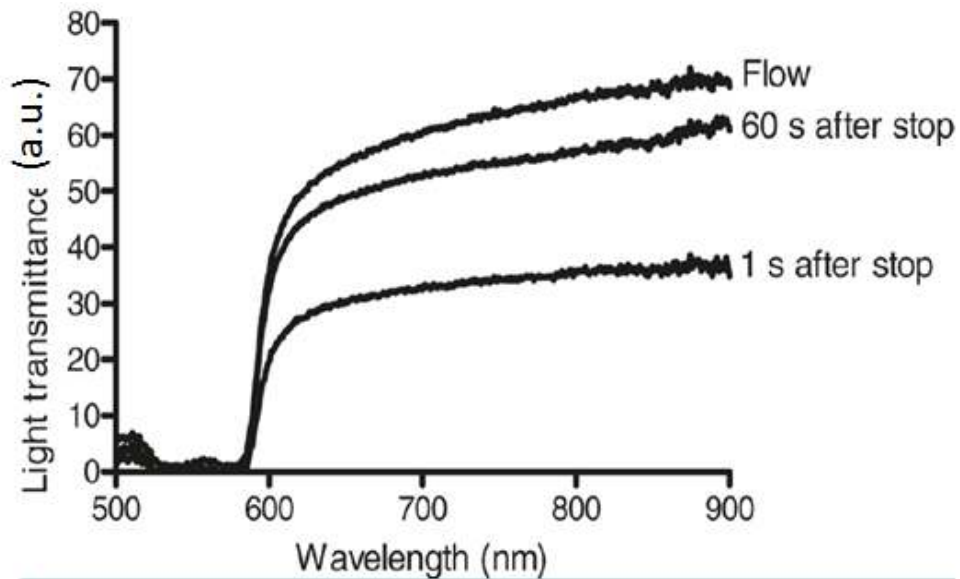
Por questões éticas e burocráticas para liberação de certa quantidade de sangue para a realização de experimentos, é decidido então utilizar um fluido que possuísse as características ópticas bastante próximas a do sangue. Para esta decisão é necessário o entendimento das seguintes grandezas abaixo:

- **Transmitância:** é a fração da radiação em determinados comprimentos de onda que consegue atravessar determinada matéria. Ou seja, a passagem inalterada do comprimento de onda pelo material em frações de penetração. Esta grandeza está intimamente relacionada com a *Absorbância* e *Reflectância*;
- **Absorbância:** é a fração da radiação em determinados comprimentos de onda que determinados materiais consegue absorver. Esta grandeza está bastante relacionada às composições químicas analíticas da matéria;
- **Reflectância:** é a fração da radiação em determinados comprimentos de onda que incide em determinada superfície pela parte da mesma que é refletida.

Como visto acima, essas grandezas estão inteiramente relacionadas entre si, de forma que para: *Transmitância (TR) + Absorbância (AB) + Reflectância (RF) = 100%*. Portanto, a escolha de um fluido onde se tenha um alto valor de Transmitância nos comprimentos de onda do NIR, conseqüentemente possui valores de Absorbância e Reflectância baixos. Esta relação é a ideal para a escolha de um líquido que mais se aproxime das características ópticas do sangue no intervalo de radiação do Infravermelho próximo.

Esses valores e a idéia explicitada pode ser comprovada pela Figura 19 a seguir onde se comprova os níveis de Transmitância do sangue através de cada comprimento de onda.

Figura 19. Níveis de Transmitância do Sangue.

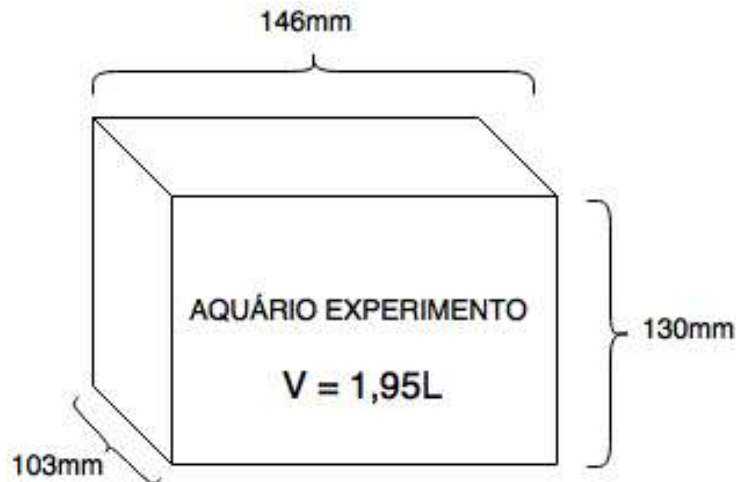


[Fonte: retirado de [13]]

De acordo com [13], experimentos com vinhos e refrigerantes geraram números bastante próximos de Transmitância comparados aos níveis do sangue, como se pode observar na Figura 12 já citadas no Capítulo 3 .

Diante disso, pode-se concluir que líquidos como o Sangue e o Vinho Tinto possuem características ópticas em determinadas regiões espectrais muito semelhantes. Portanto, para demonstração e utilização nos experimentos deste estudo o Vinho Tinto é o que mais se aproxima do sangue para fidelização dos resultados na geração das imagens com NIR.

Para o experimento, além dos equipamentos eletrônicos já mencionados, foi utilizado um *pequeno aquário* para armazenar a imersão dos líquidos. Este possui dimensões e medidas expostas na Figura 20 a seguir:

Figura 20. Dimensões e Medidas do Aquário utilizado.

[Fonte: elaboração própria]

Na captura e geração de imagens foi utilizado um dispositivo de captação simples, uma *WebCam – Câmera Web*. O modelo utilizado é uma *Hercules Optical Glass* com as seguintes características importantes para este estudo: Sensor CMOS VGA; Resolução máxima de vídeo de 800 x 600; 1,3 *MegaPixel – MP*, com até 30 *Frames per Second – FPS*; 4 Diodos de Iluminação; Anel de lente removível com foco manual.

Primeiramente foram realizadas algumas adaptações físicas na estrutura deste equipamento. Foram inseridas fitas isolantes elétricas de alta fixação e baixíssima refração nos 4 Diodos de iluminação integrados ao corpo do material, com o objetivo de eliminar o acionamento desta iluminação extra nos experimentos.

Outra modificação de suma importância, foi a retirada e substituição da lente original, pois esta possui filtro para visualização apenas do espectro de radiação visível. Foi inserida então, uma nova lente do tipo *wide (visualização larga)* sem qualquer tipo de restrição aos comprimentos de onda incidentes nela. Ou seja, com isso ficou permissível a captura de espectros visíveis e não visíveis a olho nu, onde a geração das imagens serão então responsáveis por expor as imagens capturadas e seus efeitos com a junção da luz branca e NIR. O dispositivo utilizado e suas modificações, podem ser observado na Figura 21 seguinte:

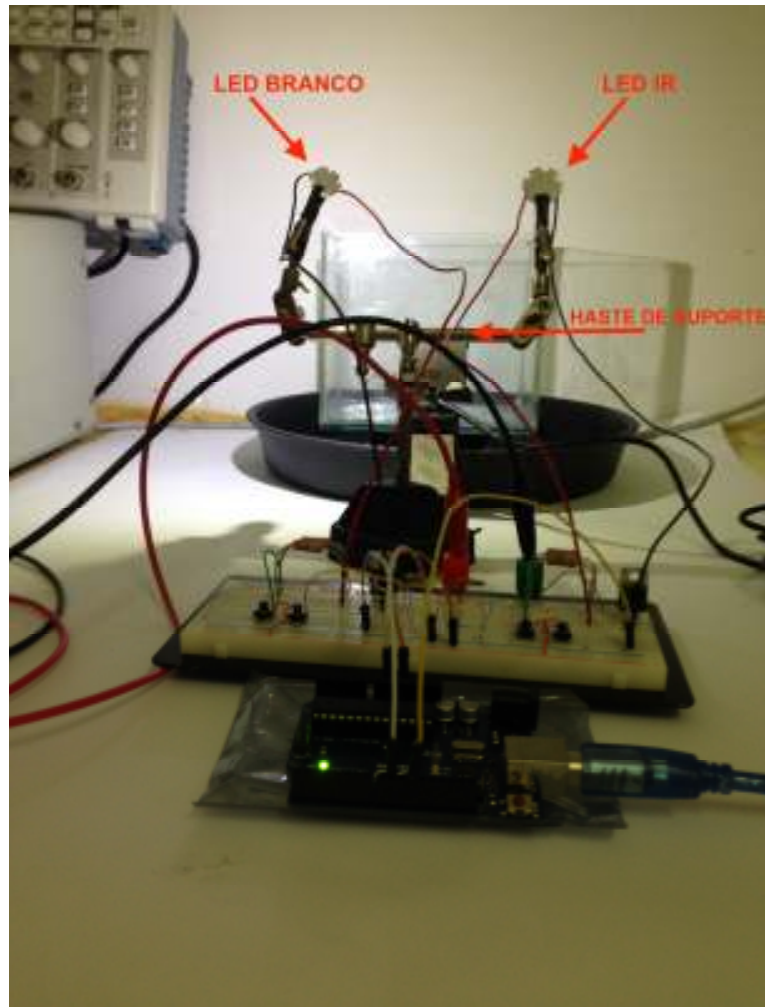
Figura 21. WebCam Hercules Optical Glass já com suas modificações.



[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

Por fim, todos os equipamentos elétricos e os materiais utilizados são agregados e formam a seguinte estrutura exibida na Figura 22 para o início da realização dos experimentos.

Figura 22. Estrutura principal para os experimentos.



[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

4.1.7 Experimento Secundário: Escolha do Vinho

A última etapa para o início do experimento foi a escolha do Vinho Tinto a ser utilizado. Esta escolha teve por base os princípios de *Transmitância* explicado anteriormente, onde o Vinho que obtivesse a maior dificuldade de propagação da luz, ou seja, o aspecto mais encorpado e escuro, seria o fluido escolhido para os experimentos com a geração do fluxo. Para tal, foram escolhidos então 3 tipos de Vinho Tinto no mercado, de valores entre R\$ 15 – 30 reais, foram estes: *Chalise Tinto Suave*; *Chalise Tinto Seco*; *Quinta do Morgado Tinto Seco*.

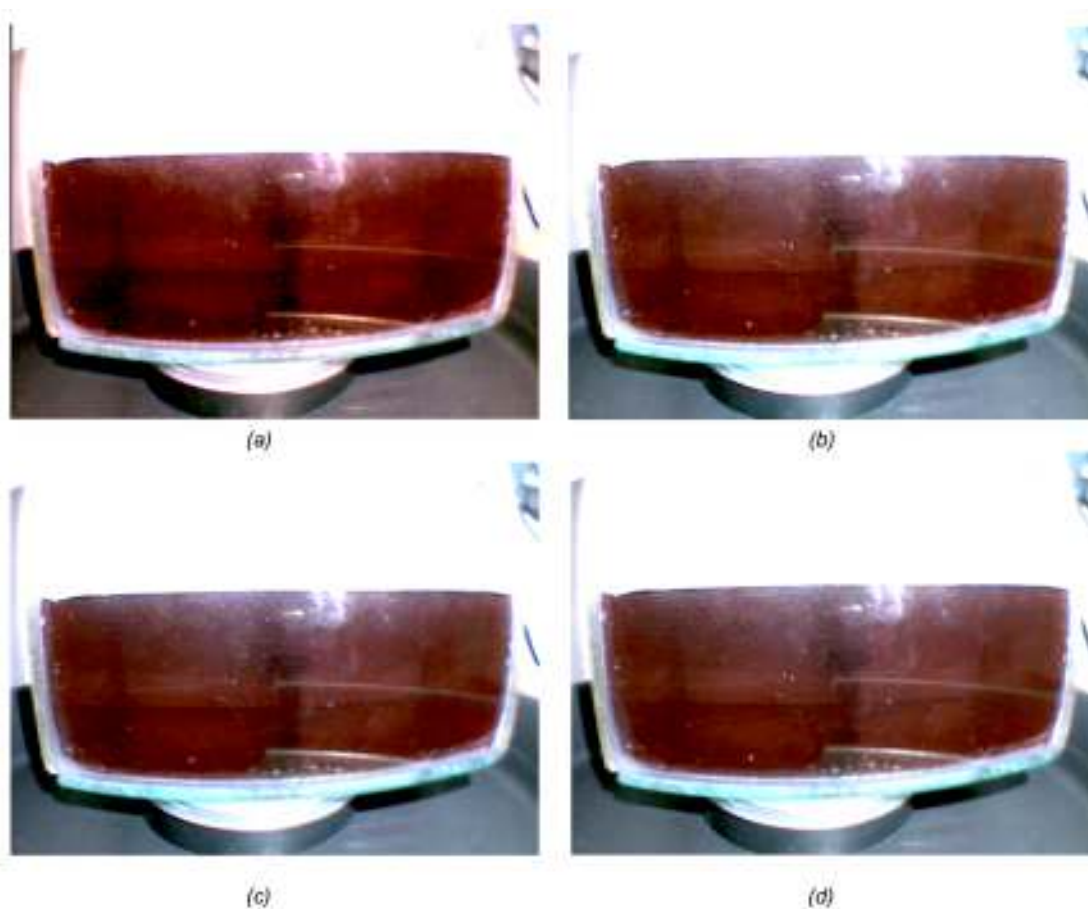
Dentre os 3 tipos e marcas de Vinhos Tinto escolhidos, 750ml (uma garrafa) foram submetidos a uma excitação de luz Branca, de cor mais próxima ao natural de 6000K (ZM-P3W62220-P45T), correspondente a:

Tabela 2. Valores de Corrente e Potência no LED Branco para os DutyCycles.

DUTYCYCLE (%)	CORRENTE NO LED BRANCO (mA)	POTÊNCIA NO LED BRANCO (W)
25%	~ 60mA	~0,2W
50%	~ 120mA	~0,51W
75%	~ 180mA	~0,77W
100%	~ 240mA	~ 1,0W

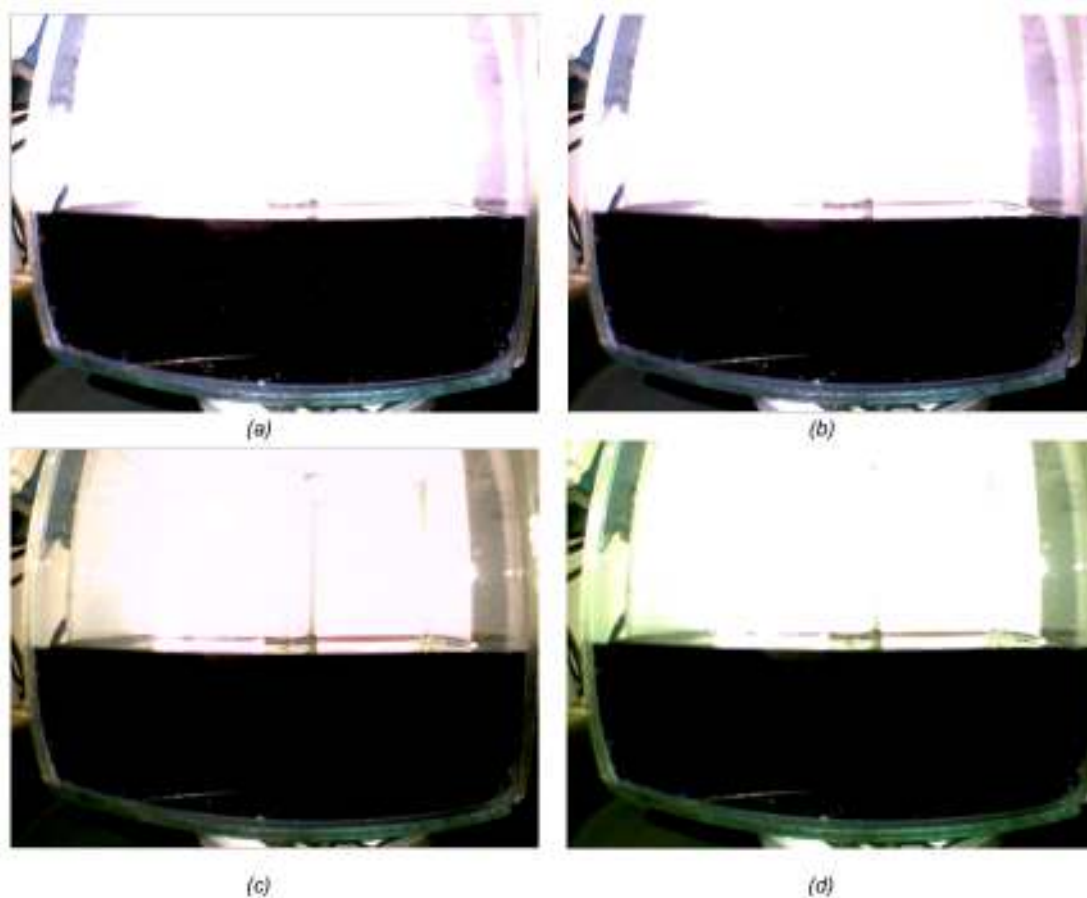
Diante destes valores de excitação do LED Branco, foram obtidas então as imagens correspondentes a cada um dos Vinhos a uma distância da câmera ao objeto de 10cm e com filmagens realizadas a cerca de 13 FPS, conforme as imagens a seguir:

Figura 23. Vinho Tinto Chalise Seco apenas com LED Branco a 25% (a), 50% (b), 75% (c) e 100% (d).



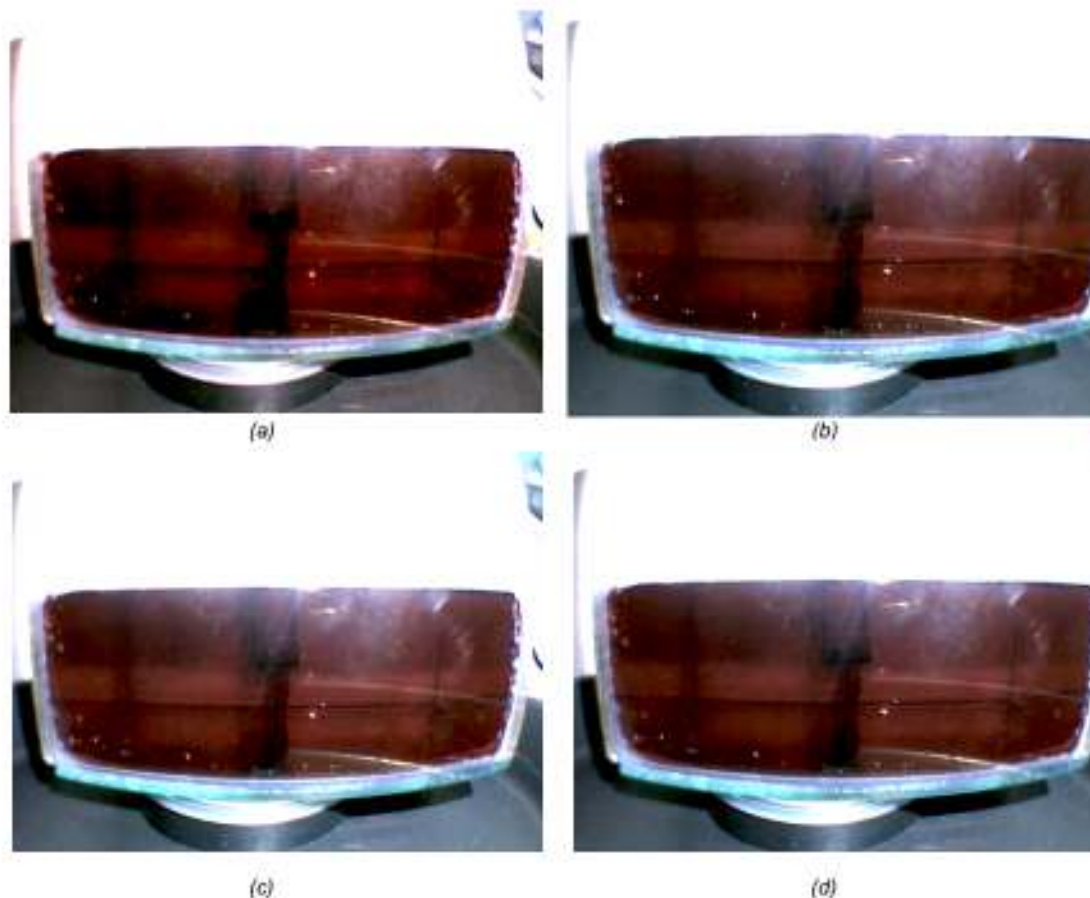
[Fonte: fotografias tiradas pelo autor]

Figura 24. Vinho Tinto Chalise Suave apenas com LED Branco a 25% (a), 50% (b), 75% (c) e 100% (d).



[Fonte: fotografias tiradas pelo autor]

Figura 25. Vinho Tinto Quinta do Morgado Seco apenas com LED Branco a 25% (a), 50% (b), 75% (c) e 100% (d).



[Fonte: fotografias tiradas pelo autor]

De acordo com as figuras: Figura 23, Figura 24, Figura 25; pode-se concluir que a melhor solução para o experimento de identificação da origem do fluido indesejado é a que possuiu o aspecto mais escuro diante de todas as porcentagens do *DutyCycle*, neste caso o *Vinho Tinto Chalise Suave*. Um outro fator importante a ser destacado é a pouca mudança de visibilidade a partir de uma excitação de 50% do sistema, onde as modificações visíveis são ínfimas.

Portanto, com todos os artefatos montados e preparados, pode-se dar início a etapa da realização do Experimento Principal, onde serão realizados vários procedimentos de ajustes e padrões para sua replicação.

4.1.8 Experimento Principal: Identificação do Fluxo Indesejado

O Experimento Principal deste estudo, consiste basicamente na identificação da origem de um fluxo indesejado de fluido de Vinho, na simulação do sangue, imerso em solução aquosa onde o meio acaba sendo tomado pelo líquido de cor forte e escura. Com isso, a visualização através do espectro visível se torna ineficaz na identificação da origem do fluxo gerador, acometendo então para a necessidade do uso do espectro NIR e seus efeitos nestes meios.

Com todos os aparatos escolhidos, estruturados e montados foi-se então estabelecido alguns padrões de testes para o experimento. Estes foram sempre os mesmos para todas as análises realizadas ao longo deste trabalho.

A fonte de alimentação do circuito elétrico possui uma tensão fixa de 12V, onde a potência distribuída para os emissores de luz são alteradas de acordo com portentagem distribuída para o *DutyCycle*. O LED Branco utilizado foi o **ZM-P3W62220-P45T** com temperatura de cor de 6000K – 6500K, o mais próximo da luz natural [7] dentre os LEDs Brancos deste trabalho. O LED IR utilizado foi o **LS-P3IRG423514-850** com comprimento de onda de *850nm*, sendo o LED mais próximo da zona do NIR. Tais escolhas foram estabelecidas por meio de estudos referenciais para uma melhor visibilidade dentro dos intervalos de luz utilizados na pesquisa.

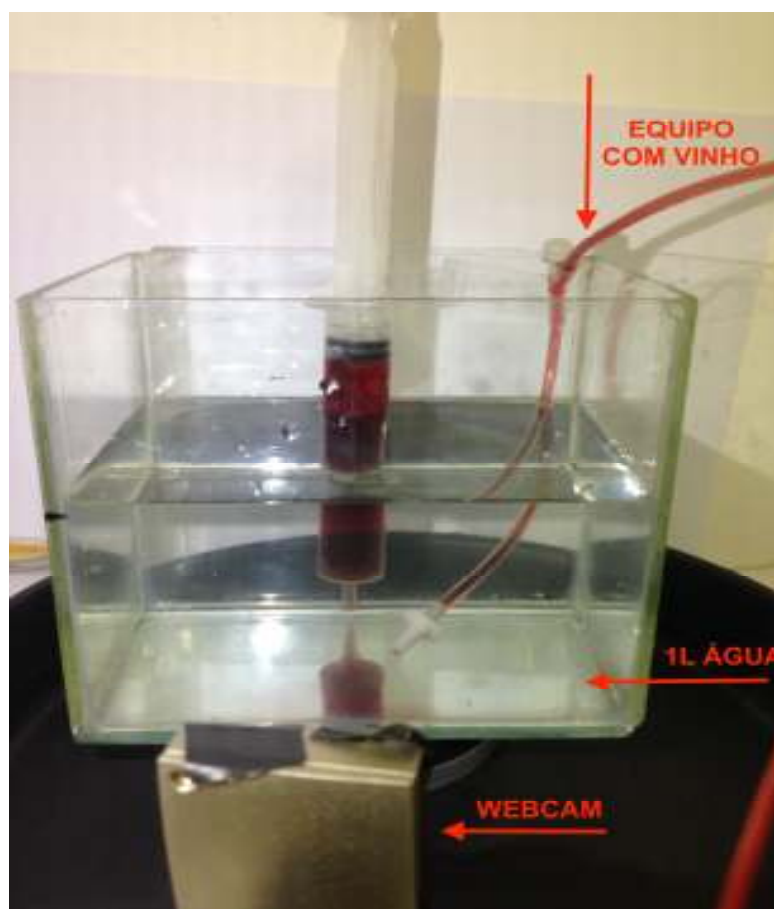
A fonte de captura e geração das imagens também foi estabelecida através da *WebCam Hercules Optical Glass* com a lente focal de ajuste manual sem restrição alguma de comprimento de onda. Ou seja, as imagens geradas não são provenientes de algum tipo de filtro, seja ele físico ou gerado através de algum algoritmo de Processamento de Imagem. A distância entre a câmera e o objeto é de 10cm e as imagens gravadas a aproximadamente 13 *FPS*.

O vinho utilizado é o *Vinho Tinto Chalise Suave* o qual obteve melhor resultado através do Experimento realizado para escolha do líquido mais escuro dentre os analisados, como se pode observar no tópico 4.1.7. Este então será o líquido que sofrerá o gotejamento em uma solução aquosa, fazendo com que o meio se torne turvo e completamente comprometido através de sua inserção proposital O gotejamento é realizado através de um equipamento hospitalar, conhecido como *Equipo de Soro*.

O processo para geração do fluxo neste tipo de equipamento é realizado através de *Sifonamento*. Este acontece pela diferença de altura e de pressão em que se encontra o líquido de maior porção, onde ele irá fluir da maior altura para menor altura, tendo a sua vazão controlada pela limitação do diâmetro da mangueira. Nesta pesquisa foi utilizado uma taxa de vazão máxima de aproximadamente 50 ml/min para o preenchimento máximo de 750 ml de Vinho. A diferença de altura para o processo de gotejamento foi de 1 m limitada pelo comprimento do Equipo.

O recipiente utilizado para o armazenamento do líquido é o mesmo da Figura 20 onde inicialmente ele está previamente preenchido com aproximadamente 1 L de água e recebe mais cerca de 750 ml do Vinho. Toda estrutura montada e pronta para início dos experimentos, pode-ser observada na Figura 26 abaixo:

Figura 26. Estrutura do Experimento Principal.



[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

Portanto, por fim foram adotados alguns padrões para as fontes luminosas, em termos de porcentagens do *DutyCycle*. Com a variação deste, valores de potência e correntes são alteradas dinamicamente, contudo apenas para o LED IR. Ou seja, para este experimento o *DutyCycle* do LED Branco é fixo em 20% enquanto a luz NIR sofre incrementos de 10%, desde 0 a 100%. Com esta quinta parte, o LED Branco atua com aproximadamente 48mA e 0,2W de corrente e potência máxima, respectivamente. Desta forma, pode-se demonstrar paulatinamente a total influência dos efeitos do IR na detecção do fluxo, sem o acréscimo de radiação externa, ou seja, com um padrão fixo e inalterável.

De acordo com a Tabela 3 a seguir, têm-se os parâmetros de atuação do LED IR por todos os valores estabelecidos do seu *DutyCycle*:

Tabela 3. Valores de Corrente e Potência no LED IR para os DutyCycles.

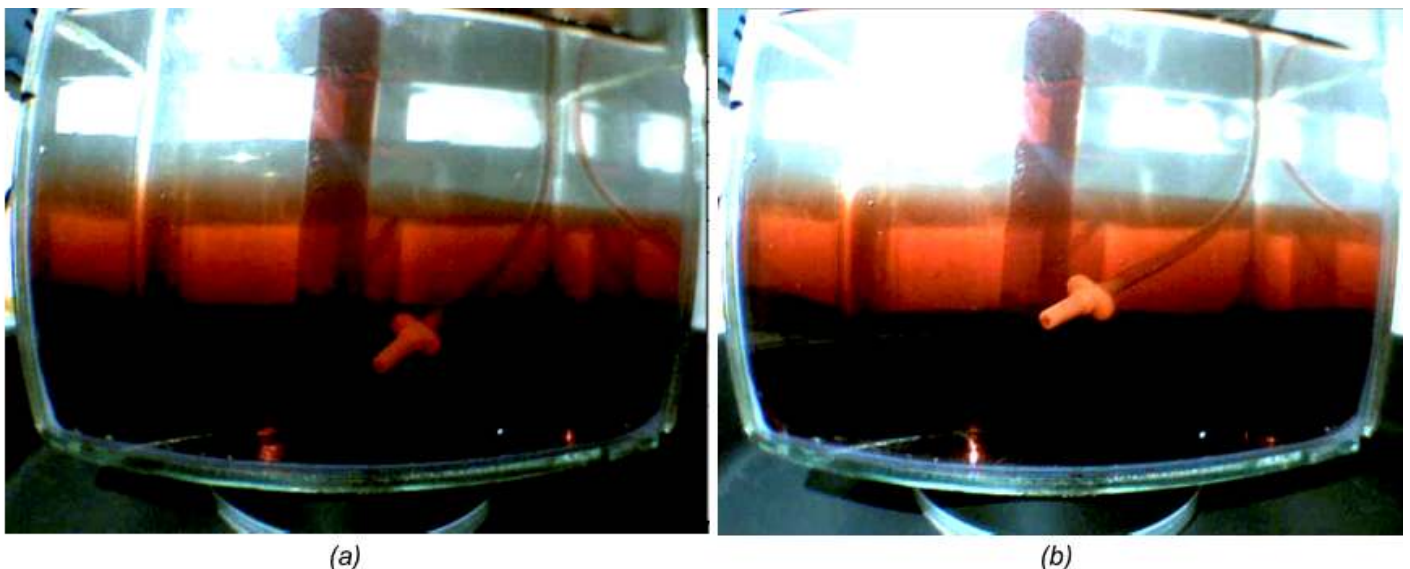
DUTYCYCLE (%)	CORRENTE NO LED IR (mA)	POTÊNCIA NO LED IR (W)
10%	~ 28mA	~0,1W
20%	~ 56mA	~0,2W
30%	~ 84mA	~0,3W
40%	~ 112mA	~ 0,4W
50%	~ 140mA	~ 0,5W
60%	~ 168mA	~ 0,6W
70%	~ 196mA	~ 0,7W
80%	~ 224mA	~ 0,8W
90%	~ 252mA	~ 0,9W
100%	~ 280mA	~ 1,0W

4.2 Resultados Obtidos

Diante do Experimento Principal descrito no tópico 4.1.8, foi gravado, através da *WebCam* citada, um vídeo com cerca de *14min* de duração, seguindo todo o padrão descrito através da Tabela 3. Todas as imagens a seguir foram resultados da coleta feita pelo vídeo gerado.

Na Figura 27 abaixo, tem-se o *DutyCycle* do LED Branco em 20% (a) e 50% (b), enquanto 0% do LED IR. Mesmo após a imersão de cerca de *400ml* do Vinho e apesar da diferença de densidade entre ele e água, não se consegue obter nenhuma visibilidade do local de onde o fluxo está sendo gerado e nem uma clareza a respeito do local da imersão. Ou seja, o LED Branco por si só não é capaz de gerar a clareza e a identificação do fluxo indesejado, tão pouco uma visibilidade segura dentre os fluidos.

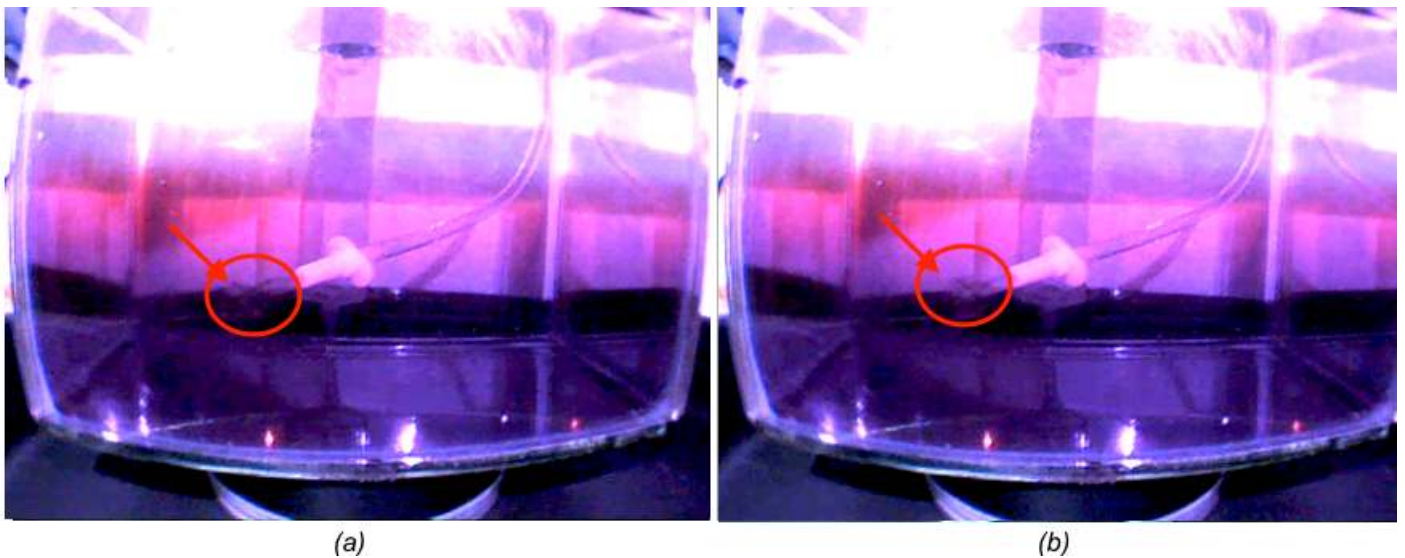
Figura 27. Visualização dos Flúidos apenas com LED Branco, onde: (a) 20% do *DutyCycle*; (b) 50% do *DutyCycle*.



[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

Em contraposto, em relação a atuação do LED IR no Experimento tem-se outro cenário. Através de mais de 500ml do líquido adicionado, ele conseguiu retornar uma clareza do cenário imerso e visibilidade do fluxo indesejado, já com 10% de seu *DutyCycle*. A identificação do fluxo do Vinho pode ser facilmente visualizado através de seu *turbilhonamento* no líquido já imerso, como pode-se observar na Figura 28 a seguir:

Figura 28. Visualização dos Flúidos apenas com LED Branco fixo a 20% do *DutyCycle* e LED IR a 10% de seu *DutyCycle*

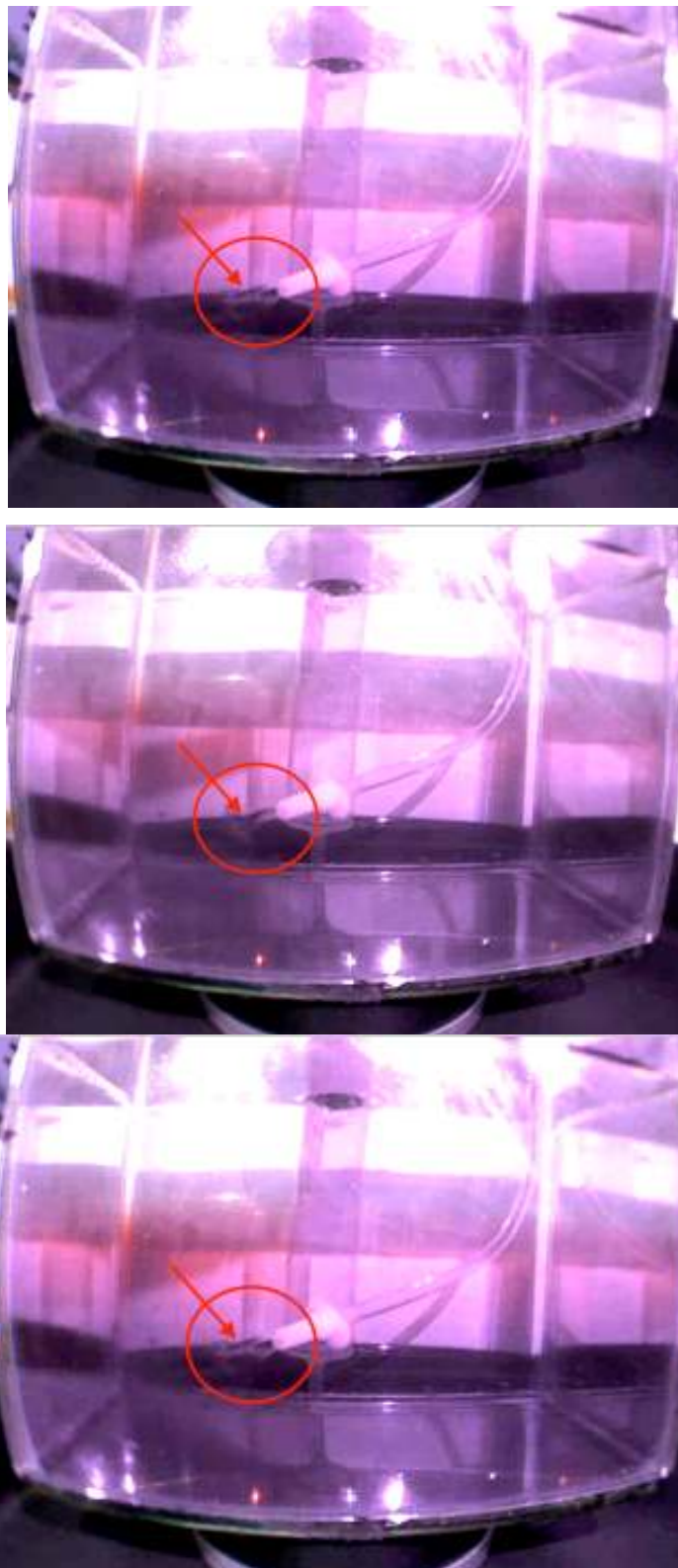


[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

Já é claro a diferença entre as duas últimas imagens, onde nesta é possível já compreender o ambiente imerso, em termos de visibilidade, limites e também na identificação do fluxo gerador, que é o intuito deste trabalho.

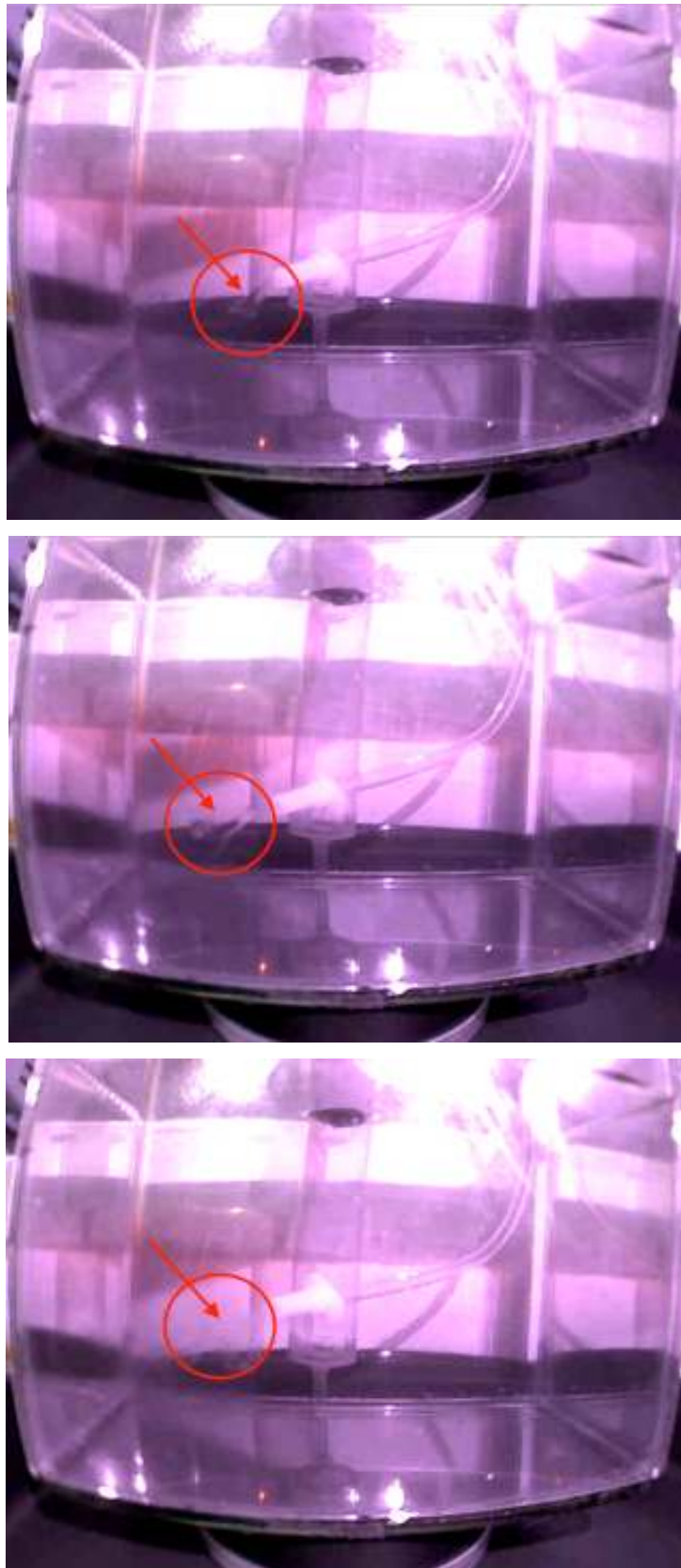
Contudo, foi possível notar que valores entre 10% e 50% do *DutyCycle* do IR, houve melhorias nas identificações do fluxo e também na visualização interna do recipiente. Porém, valores acima de 50%, para o objetivo deste Experimento, não foram observados diferenças de relevância, como se pode observar nas imagens em sequência.

Figura 29. Visualização dos Flúídos apenas com LED Branco fixo a 20% do *DutyCycle* e LED IR a 30%, 40% e 50% de seu *DutyCyle*, respectivamente.



[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

Figura 30. Visualização dos Flúídos apenas com LED Branco fixo a 20% do *DutyCycle* e LED IR a 70%, 80% e 90% de seu *DutyCyle*, respectivamente.



[Fonte: fotografia tirada pelo autor]

Portanto, fica evidente através imagens anteriores, a eficiência do LED IR na observação através de líquidos de alta Transmitância, onde neste estudo, o Vinho em simulação do sangue. Com o auxílio do LED Branco, a atuação em conjunto pode agregar ao IR, uma melhor visibilidade em termos de cores e ação de brilho, com o objetivo de maximizar a visibilidade na identificação da origem do fluxo do fluido e sua conseqüente atuação, com mais segurança e rapidez no processo.

Capítulo 5

Conclusão e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusão

Este trabalho propõe a elaboração de um Sistema de Iluminação com LEDs para utilização em procedimentos cirúrgicos e médicos, utilizando os efeitos do IR no auxílio da identificação de um fluxo hemorrágico indesejado.

O Projeto de foco deste estudo é a construção e implementação de Projeto Elétrico, onde estão presentes os materiais eletrônicos e seus artefatos para o controle do sistema, bem como a prova de conceito da identificação de fluxos em meio líquidos com uso de luz infravermelha. Toda sua elaboração tem por intuito a utilização de equipamentos eletrônicos simples e já consolidados, para que o objetivo deste seja atingido. A concepção do *hardware* de atuação e controle foi concebida sem preocupações estéticas, apenas o foco em um funcionamento correto e estável do conjunto e a correta dissipação de calor dos LEDs.

Os testes realizados, foram feitos em laboratórios específicos de eletrônica, para um melhor uso dos materiais. Nos experimentos foi possível observar um bom desempenho do sistema, sem que houvesse problemas com temperaturas de atuação ou falha de algum componente. Porém, houve um pouco de dificuldade no posicionamento correto dos LEDs para a captação das imagens, o que a rigor, pode ser um fator de alteração em alguns resultados.

Contudo, pode-se observar através das imagens geradas que os aspectos de iluminação se saíram muito bem, onde foi possível observar claramente a origem do fluxo indesejado com apenas alguns pequenos valores do *DutyCycle* do IR. Ou seja, os resultados desta pesquisa demonstram que a atuação conjunta dos LEDs Brancos e IR são complementares entre si, onde os efeitos do espectro NIR consegue trazer uma outra perspectiva de visibilidade, permitindo a identificação de um possível fluxo indesejado com a noção espacial completa do local de atuação.

Desta maneira, o objetivo principal pode ser atingido, de forma que aprimoramentos e melhorias na atuação da idéia implementada, possam vir assim a complementar e refinar cada vez mais o funcionamento do conjunto. Além disso, esta pesquisa pode servir de ponto de partida para inúmeras outras aplicabilidades, onde os efeitos do NIR podem ser utilizados, tratados e conseqüentemente amplificados para determinados objetivos.

5.2 Trabalhos Futuros

O primeiro trabalho a ser feito com o Projeto Elétrico é o levantamento dos resultados do mesmo Experimento com a utilização autorizada de Sangue juntamente com a aplicação de soro fisiológico. Desta maneira, os resultados irão mostrar dados comparativos em relação aos obtidos nesta pesquisa.

Por conseguinte, será necessária a compactação e aprimoramento do circuito para sua concepção em uma placa de circuito impresso. Componentes como os botões e a interface com o microcontrolador devem ser artefatos externos de encaixe e comunicação com o aparato, uma vez que a sua utilização não será fixa e nem a um único objetivo.

Por seguinte a elaboração do Projeto Mecânico e Óptico mencionado no Capítulo 4, onde pode ser descrito nas etapas abaixo:

- Escolha de um material que promova uma boa dissipação térmica e reflexão da luz incidente;
- Estudo e testes do melhor tamanho e formato dos encaixes dos LEDs Brancos e IR;
- Estudo e implementação do melhor posicionamento da estrutura que será encaixada, de forma a promover minimização na perda de luz;
- Elaboração do encaixe dos LEDs para fixação nos equipamentos já utilizados nos procedimentos médicos;

- Realização de testes de rendimento e calor com a estrutura montada e incorporada aos equipamentos médicos.

Bibliografia

- [1] WEISER, Thomas G et al. An estimation of the global volume of surgery: a modelling strategy based on available data. *The Lancet*, Massachusetts, v. 372, n. 9633, p.139-144, jul. 2008.
- [2] WEISER, Thomas G et al. Estimate of the global volume of surgery in 2012: an assessment supporting improved health outcomes. *The Lancet*, Massachusetts, v. 385 p. 27, 27 abr. 2015.
- [3] FRAGATA, José I., Martins L. *O erro em medicina*, Coimbra: Edições Almedina; 2004.
- [4] FRAGATA, José I. G.. Erros e acidentes no bloco operatório: revisão do estado da arte. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, Coimbra, v. 10, n. 10, p.17-26, set. 2010.
- [5] CATCHPOLE, K. R. et al. A method for measuring threats and errors in surgery. *Cognition, Technology & Work*. London, p. 295-304. out. 2008.
- [6] AMIR, Abraham et al. The influence of helium-neon laser irradiation on the viability of skin flaps in the rat. *British Journal Of Plastic Surgery*. Edinburgh, p. 58-62. dez. 1999.
- [7] Boas Práticas de Funcionamento para Serviço de Endoscopia. Disponível em: <<http://www.jundiai.sp.gov.br/saude/wp-content/uploads/sites/17/2015/01/1-Endoscopia-Boas-PráticasS.pdf>>. Acesso em 30 de ago. de 16
- [8] FORREST, John A.h; FINLAYSON, N.d.c; SHEARMAN, D.j.c. ENDOSCOPY IN GASTROINTESTINAL BLEEDING. *The Lancet*. Edinburgh, p. 394-397. set. 2003.
- [9] ZAMAN, Atif; KATON, Ronald M.. Push enteroscopy for obscure gastrointestinal bleeding yields a high incidence of proximal lesions within reach of a standard endoscope. *Gastrointest Endosc*. Portland, p. 372-376. maio 1998.

- [10] RAJU, Gottumukkala S. et al. American Gastroenterological Association (AGA) Institute medical position statement on obscure gastrointestinal bleeding. *Gastroenterology*. Bethesda, p. 1694-1696. nov. 2007.
- [11] PASHA, Shabana F. et al. The role of endoscopy in the patient with lower GI bleeding. *Gastrointestinal Endoscopy*, p. 875-885. jun. 2014.
- [12] SPAHN, Donat R et al. Management of bleeding and coagulopathy following major trauma: an updated European guideline. *Spahn Et Al. Critical Care. S I*, p. 1-45. abr. 2013.
- [13] MANGOLD, Klaus; A SHAW, Joseph; VOLLMER, Michael. The physics of near-infrared photography. *Iop Science. Germany*, p. 51-71. jul. 2013.
- [14] MANWARING, Jotham C. et al. The Small-Chamber Irrigation Technique (SCIT): A Simple Maneuver for Managing Intraoperative Hemorrhage During Endoscopic Intraoperative Surgery. *Operative Technique. Si*, p. 375-379. set. 2014.
- [15] CATAPAN, Anderson; KLAESIUS, Thomas George. PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM FOCO CIRÚRGICO AUXILIAR UTILIZANDO A TECNOLOGIA DE DIODOS EMISSORES DE LUZ. 2009. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná Departamento de Engenharia Elétrica, Curitiba, 2009.
- [16] GRAND, Alec M. de; FRANGIONI, John V.. An Operational Near-Infrared Fluorescence Imaging System Prototype for Large Animal Surgery. *Technology In Cancer Research & Treatment*. p. 553-562. dez. 2003.
- [17] GIOUX, Sylvain; CHOI, Hak Soo; FRANGIONI, John V.. Image-Guided Surgery Using Invisible Near-Infrared Light: Fundamentals of Clinical Translation. *Molecular Imaging*. p. 237-255. out. 2010.
- [18] Light Emitting Diodes (LEDs). Disponível em: <http://www.ele.uri.edu/~vijay/ELE432_Report_LED.pdf>. Acesso em 08 de set. de 16

- [19] PINHEIRO, L. C. S. et al. Uso de diodos emissores de luz (LED) de potência em laboratório de Óptica. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, p.60-67, abr. 2014.
- [20] SCHUBERT, E. Fred. Light-Emitting Diodes. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2006.
- [21] CATORZE, Maria Goreti. Laser: fundamentos e indicações em dermatologia. Med Cutan Iber Lat. Am., Lisboa, v. 37, n. 1, p.5-27, set. 2009.
- [22] LOPES, Leonardo Barbosa. UMA AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA. 2014. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- [23] JACOB, E. Manual de utilização de LED e fontes de alimentação. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/126196698/Manual-de-Utilizacao-de-Leds-e-Fontes-de-Alimentacao>>. Acesso em: 08 set. 2016.
- [24] Leds de Potência. Disponível em: <<http://www.siled.com.mx/catalogos/potencia/files/leds%20de%20potencia.pdf>>. Acesso em 08 de set. de 16
- [25] PINTO, Rafael Adaime. SISTEMAS ELETRÔNICOS PARA ILUMINAÇÃO DE EXTERIORES EMPREGANDO DIODOS EMISSORES DE LUZ (LEDS) ALIMENTADOS PELA REDE ELÉTRICA E POR BATERIAS. 2012. 252 f. Tese (Doutorado) - Curso de Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Santa Maria, 2012.
- [26] NARENDRAN, Nadarajah; GU, Yimin. Life of LED-based white light sources. Eee/osa Journal Of Display Technology. p. 167-171. set. 2005.
- [27] WU, F et al. Failure Modes and Failure Analysis of White LEDs. The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments. IEEE, 2009.

- [28] Fundamentos da Colorimetria. Disponível em: < http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9324/9324_3.PDF>. Acesso em 10 de set. de 16
- [29] SILVA, Patrícia Rodrigues da. TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E RADIOMETRIA APLICADAS A VINHEDOS EM DUAS REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, 2006.
- [30] DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A.. Solar Engineering of Thermal Processes. 4. ed. New Jersey: Wiley, 2013.
- [31] DIAS, Marcelo Paschoal. AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE UM PRÉ-REGULADOR BOOST DE BAIXA FREQUÊNCIA NO ACIONAMENTO DE LEDS DE ILUMINAÇÃO. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.
- [32] NAVIGANT CONSULTING, INC. Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Applications. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/nichefinalreport_october2008.pdf>. Acessado em: 11 set. 2016.
- [33] GOULD, R. Gordon. The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. In Franken, P.A. and Sands, R.H. (Eds.). The Ann Arbor Conference on Optical Pumping, the University of Michigan. p.128. jun. 1959.
- [34] CORAZZA, Alberto Viera. Fotobiomodulação comparativa entre Laser e LED de baixa intensidade na angiogênese de feridas cutâneas de ratos. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bioenergia, Escola de Engenharia de São Carlos/ Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/ Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2005.

- [35] MESCHEDE, Dieter. Optics , Lighs and Lasers: The Pratical Approach to Modern Aspects of Photonics and Lasers Physics. 2. ed. Wiley-vch, 2007.
- [36] PASCU, M.L. Lasers in medicine and dentistry: basic and up-to-date clinical application of low energy-level laser therapy LLLT. Laser physics. SIMUNOVIC, Z. Croatia. Vitgraf. p.23-74
- [37] GENOVESE, Walter João. Laser de Baixa Intensidade Aplicações Terapêuticas Em Odontologia. São Paulo: Lovise, 2000.
- [38] MUSZYNSKI, S.; GLADYSZEWSKA, B.. Representation of He-Ne laser irradiation effect on radish seeds with selected germination indices. International Agrophysics. p. 151-157. fev. 2007.
- [39] High-quality white light produced by four-color laser source. Disponível em: <<http://phys.org/news/2011-10-high-quality-white-four-color-laser-source.html>>. Acesso em 16 de set. de 16
- [40] Espectroscopia no Infravermelho. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/4432/4432_4.PDF>. Acesso em 18 de set. de 16
- [41] FINKENTHAL, Daniel et al. Introduction to the Electromagnetic Spectrum. aGeneral Atomics, 1996. 96 p.
- [42] VIANA, Lívia Cássia. USO DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA PREDIÇÃO DE PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE Eucalyptus. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- [43] O espectro infravermelho. Disponível em: <<http://www.las.inpe.br/~cesar/Infrared/espectro.htm>>. Acesso em 17 de set. de 16
- [44] UYUKLU, Mehmet et al. Wavelength selection in measuring red blood cell aggregation based on light transmittance. Journal Of Biomedical Optics. p. 1-11. out. 2011.

Apêndice A

Código PWM do Arduino

```
1  int ledB = 10;
2  int buttonUpB = 7;
3  int buttonDownB = 2;
4
5  int ledI = 11;
6  int buttonUpI = 12;
7  int buttonDownI = 8;
8
9  int intensityB = 0;
10 int intensityI = 0;
11
12 int timeStart = 0;
13 int timeFinish = 0;
14
15 int debounceTime = 50;
16
17 void setup() {
18     pinMode(ledB, OUTPUT);
19     pinMode(buttonUpB, INPUT);
20     pinMode(buttonDownB, INPUT);
21
22     pinMode(ledI, OUTPUT);
23     pinMode(buttonUpI, INPUT);
24     pinMode(buttonDownI, INPUT);
25 }
26
27 void loop() {
28     if(digitalRead(buttonUpB) == HIGH) {
29         timeStart = millis();
30         while(digitalRead(buttonUpB) == HIGH) {
31             timeFinish = millis();
32             if(timeFinish - timeStart > debounceTime) {
33                 if(intensityB < 255)
34                     intensityB++;
```

```
35         break;
36     }
37 }
38 }
39
40 if(digitalRead(buttonDownB) == HIGH) {
41     timeStart = millis();
42     while(digitalRead(buttonDownB) == HIGH) {
43         timeFinish = millis();
44         if(timeFinish - timeStart > debounceTime) {
45             if(intensityB > 0)
46                 intensityB--;
47             break;
48         }
49     }
50 }
51
52 analogWrite(ledB, intensityB);
53
54 if(digitalRead(buttonUpI) == HIGH) {
55     timeStart = millis();
56     while(digitalRead(buttonUpI) == HIGH) {
57         timeFinish = millis();
58         if(timeFinish - timeStart > debounceTime) {
59             if(intensityI < 255)
60                 intensityI++;
61             break;
62         }
63     }
64 }
65
66 if(digitalRead(buttonDownI) == HIGH) {
67     timeStart = millis();
68     while(digitalRead(buttonDownI) == HIGH) {
```

```
69     timeFinish = millis();
70     if(timeFinish - timeStart > debounceTime) {
71         if(intensityI > 0)
72             intensityI--;
73         break;
74     }
75 }
76 }
77
78 analogWrite(ledI, intensityI);
79 }
```