



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROJETO DE ILUMINAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO PARA
DESENVOLVIMENTO DE SERES FOTOSSINTETIZANTES**

MURILO ALVES PINTO VERONEZ

**UBERLÂNDIA
2019**

MURILO ALVES PINTO VERONEZ

**PROJETO DE ILUMINAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO PARA
DESENVOLVIMENTO DE SERES FOTOSSINTETIZANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Graduação em Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Uberlândia - UFU,
Faculdade de Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Adélio José de Moraes

Assinatura do orientador

MURILO ALVES PINTO VERONEZ

**PROJETO DE ILUMINAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO PARA
DESENVOLVIMENTO DE SERES FOTOSSINTETIZANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Graduação em Engenharia Elétrica
do Universidade Federal de Uberlândia - UFU,
Faculdade de Engenharia Elétrica.

Data de Aprovação: 05/07/2019

Banca Examinadora

Prof. Dr. Adélio José de Moraes - UFU - Engenharia Elétrica
Orientador

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares- UFU- Engenharia Elétrica
Membro da Banca

Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes- UFU- Engenharia Elétrica
Membro da Banca

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro certo na hora da angústia, ao meu pai Delvando Veronez, minha mãe Marly Veronez e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar força e determinação todas as vezes que o desespero chegou.

A todos os meus familiares que me apoiaram e me deram incentivo para chegar até aqui, em especial aos meus pais por me amarem tanto e acreditarem em mim quando tantos já haviam desistido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adélio José de Moraes, por toda a paciência e dedicação em me ajudar na construção deste trabalho.

A todos os meus amigos que sempre me incentivaram, em especial, Bruna, Camila, Rogério e Breno, que sempre estiveram por perto me dando forças para a conclusão.

O orgulho é a fonte de todas as fraquezas, por
que é a fonte de todos os vícios.

Santo Agostinho

RESUMO

Este trabalho detalha o estudo necessário para o desenvolvimento e construção de uma luminária LED (*Light Emitter Diode*) de alto desempenho para o correto desenvolvimento de seres fotossintetizantes. A intenção desse projeto é melhorar a taxa de crescimento dos seres vivos produzidos em fazendas verticais de alimentos e fazendas de corais, fornecendo iluminação com alto PAR (*Photosynthetically Active Radiation*), aumentando a velocidade e volume destes seres que utilizam a luz como fonte de energia para crescimento. O foco principal é o estudo e construção do protótipo levando em consideração todos os comprimentos de cores essenciais para atingir as organelas responsáveis pela fotossíntese. Este trabalho visa simular o fotoperíodo de um dia utilizando a luminária, sendo assim ela acompanha as características do sol, variando a potência e temperatura de cor ao longo do dia, dentro do possível se comparando e fazendo o papel do sol, porém *in loco*.

Palavras-chave: LED. PAR. Fotossíntese. Fazenda. Luz. Luminária. Coral. Fotoperíodo.

ABSTRACT

This work details the construction and all the study necessary for the development of a high performance luminaire LED(Light Emitter Diode) for the correct development of photosynthetic beings. The intent of this project is to improve the growth rate of living things produced on vertical food farms and coral farms by providing high PAR(Photosynthetically Active Padiation), increasing the speed and bulk of these beings using light as a source of energy for growth. The main focus is the study and construction of the prototype taking into account all the color lengths essential to reach the organelles responsible for photosynthesis. This work aims to simulate the photoperiod of a day using the luminaire, so it accompanies the characteristics of the sun, varying the power and temperature of color throughout the day, within the possible if comparing and playing the role, but in loco.

Keywords: LED. PAR. Photosynthesis. Farm. Light. Luminaire. Coral. Photoperiod.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Faixa de ondas eletromagnéticas e a faixa de luz visível.	14
Figura 2 – Comprimentos de ondas absorvidos pela Clorofila A, B e β – <i>Caroteno</i> . . .	15
Figura 3 – Cultivo Indoor de hortaliças em Galpão.	16
Figura 4 – Fazenda de corais.	17
Figura 5 – Aquário Plantado após 6 meses de montagem.	18
Figura 6 – Aquário Marinho após 5 meses de montagem.	19
Figura 7 – Maça exposta a lâmpadas com diferentes CRIs.	22
Figura 8 – Temperatura de cor variando de 1000K a 10000K	22
Figura 9 – Zooxantela em simbiose.	24
Figura 10 – Gráfico: Comprimento de onda (nm) x Profundidade(m).	25
Figura 11 – Gráfico: Absorção de luz pelas zooxantelas.	26
Figura 12 – Gráfico: Absorção e emissão de comprimentos de ondas pelas cromoproteínas.	27
Figura 13 – Comparação lâmpadas T12, T10, T8 e T5.	28
Figura 14 – Gráfico: Absorção e emissão de comprimentos de ondas pelas cromoproteínas.	29
Figura 15 – Protótipo PCI LEDs SMD	31
Figura 16 – Confeção da PCI	32
Figura 17 – Solda dos LEDs	33
Figura 18 – Gráfico - Corrente x Tensão - LEDs	34
Figura 19 – Gráfico - Corrente x Fluxo Luminoso - LEDs	35
Figura 20 – Limitador de Corrente - LM317	35
Figura 21 – Circuito proposto pelo fabricante - PT4115	37
Figura 22 – Drive pronto - PT4115	38
Figura 23 – Convecção e Irradiação	39
Figura 24 – Circuito Térmico	40
Figura 25 – Dados dissipador HS19013	41
Figura 26 – Termômetro - Temperatura 0h	42
Figura 27 – Lente Convergente e Divergente	43
Figura 28 – Lente - Ângulos de abertura	43
Figura 29 – Lente - Área de cobertura	44
Figura 30 – Lente - Objeto cilíndrico no plano z	45
Figura 31 – Lente - Objeto cilíndrico no plano z	46
Figura 32 – Fotoperíodo diário	47
Figura 33 – Duty Cycle - PWM	48
Figura 34 – Placa de controle	49
Figura 35 – Modelo 3D conceitual	50
Figura 36 – Capa plástica	51
Figura 37 – Capa plástica	52
Figura 38 – Protótipo acabado	52

Figura 39 – Tela de controle	53
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – LEDs Utilizados	30
Tabela 2 – Tensão e Corrente dos LEDs	30
Tabela 3 – Canais por cores de LEDs	31
Tabela 4 – Tensão e Corrente dos LEDs	36
Tabela 5 – Corrente por canal	36
Tabela 6 – Corrente aferida	36
Tabela 7 – Corrente aferida	38
Tabela 8 – Relação entre grandezas	40
Tabela 9 – Variação de temperatura	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HQI	Halogen Quartz Iodide
CO ²	Dióxido de carbono
NBR	Norma Brasileira
LED	Light Emitting Diode
LPS	Large Polyps Stony Coral
SPS	Small Polyps Stony Coral
PAR	Photosynthetically Active Radiation
CRI	Índice de Reprodução de Cor
PPFD	Photosynthetic Photon Flux Density
SMD	Surface Mounting Device
PCI	Placa de Circuito Impresso
UV	Ultra-Violeta
PWM	Pulse Width Modulation
CI	Circuito Integrado
MOSFETs	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
FETs	Field Effect Transistor
CFM	Cubic Feet per Minute)
PMMA	Polimetilmetacrilato
nm	Nanômetro
CNC	Computer Numeric Control

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	14
1.2	ILUMINAÇÃO PARA CULTIVO INDOOR	15
1.3	ILUMINAÇÃO PARA AQUÁRIOS	16
1.3.1	O Aquário Plantado	17
1.3.2	O Aquário Marinho	18
1.4	OBJETIVOS	19
1.4.1	Objetivo Geral	19
1.4.2	Objetivos Específicos	19
1.5	METODOLOGIA	20
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	20
2	DESENVOLVIMENTO	21
2.1	LUMINOTÉCNICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	21
2.1.1	A Luz	21
2.1.1.1	Luz e cores	21
2.1.1.2	Temperatura de cor	22
2.1.2	Eficiência energética	23
2.2	ILUMINAÇÃO PARA CORAIS	23
2.2.1	Zooxantelas e sua importância	23
2.2.2	Luz presente nos corais de recifes	24
2.2.3	Medida de potência utilizada como parâmetro	27
2.2.4	LEDs vs. Tubular Fluorescente	28
3	PROTÓTIPO	29
3.1	Espectro de cor e LEDs escolhidos.	29
3.1.1	Confecção Placa de Circuito impresso	30
3.2	Acionamento dos LEDs	33
3.2.1	Características para acionamentos de LEDs	33
3.2.2	Driver Analógico - LM317	34
3.2.3	Driver Digital - PT4115	37
3.3	Dissipador de Calor - Dimensionamento	39
3.3.1	Dissipadores de Calor	39
3.3.2	Calculo de Dissipadores	40

3.4	Dimensionamento de lentes	43
3.4.1	Lentes - Conceito	43
3.4.2	Ângulo de abertura	44
3.5	SIMULAÇÃO DO FOTOPERÍODO	46
3.5.1	Fotoperíodo	46
3.6	Controlador	47
3.6.1	<i>Pulse Width Modulation</i> - PWM	48
3.6.2	Protocolo I2C	48
3.6.3	Desenvolvimento do controlador	49
3.7	Desenho e construção do Modelo	50
3.7.1	Modelo 3D	50
3.7.2	Modelo Real	50
4	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE - CONTROLADOR FOTOPERÍODO	57

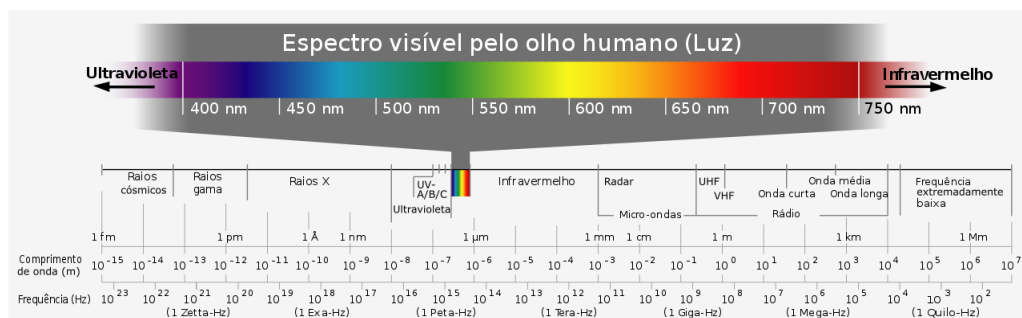
1 INTRODUÇÃO

1.1 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A iluminação artificial está presente no dia a dia do ser humano(MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA,2013,), e é de fundamental importância para iluminar objetos e locais fornecendo condições adequadas para a visão humana de tal forma que a locomoção e trabalho possam ser realizados corretamente. Com o avanço tecnológico a iluminação artificial começou a ser usada na produção de alimentos em estufas, aumentando a produção dos alimentos e necessitando ainda menos de espaços e insumos agrícolas.

São largamente aplicadas em pesquisas e desenvolvimento de novas plantas geneticamente modificadas, sempre visando reproduzir fielmente o espectro solar em laboratório. Não é tão simples reproduzir o espectro solar, uma vez que a faixa de ondas eletromagnéticas são imensas e algumas prejudiciais para o ser humano. A faixa de ondas eletromagnéticas que o olho humano consegue captar através de seus cones e bastonetes é muito estreita, visto que pela Figura 1, a faixa é compreendida entre 360nm(nanômetros) e 760nm.

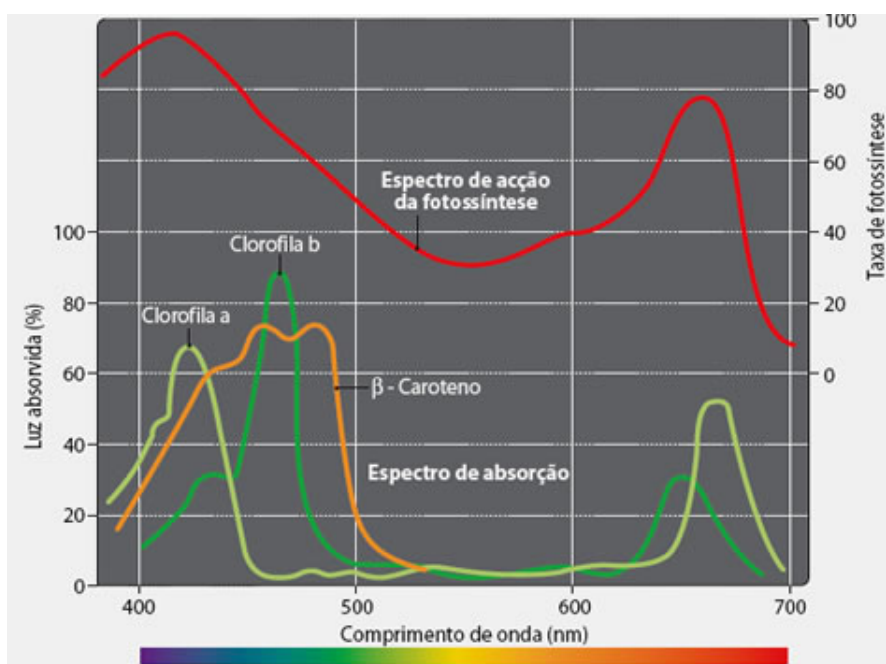
Figura 1 – Faixa de ondas eletromagnéticas e a faixa de luz visível.



Fonte: (FRANK, 2011,)

Todos os seres fotossintetizantes utilizam basicamente o espectro compreendido entre 380nm e 750nm para realizar a fotossíntese, porém alguns comprimentos de onda são essenciais e conseguem fazer com que o organismo produza mais alimento e possa se desenvolver mais rápido. Nas plantas os pigmentos predominantes para a fotossíntese são a Clorofila A e a Clorofila B(FILHO, MIRANDA E SILVEIRA,2012,), os comprimentos de ondas que as sensibiliza com maior eficiência fica entre, 400nm á 460nm (Faixa Azul) e entre 640nm á 670nm (Faixa Vermelha). A taxa de fotossíntese é elevada nas duas faixas de comprimento de ondas, a Figura 2 exemplifica como o espectro de ação é intenso nas faixas citadas.

Figura 2 – Comprimentos de ondas absorvidos pela Clorofila A, B e β – Caroteno.



Fonte: (VIRTUOUS, 2009,)

1.2 ILUMINAÇÃO PARA CULTIVO INDOOR

O cultivo *Indoor* é amplamente utilizado em estufas de micro e grande porte (LEGNAI-OLI, 2014,). Tal método realiza o controle de variáveis fundamentais para o correto desenvolvimento de plantas, dentre elas a temperatura e iluminação.

Encontram-se inúmeras estufas de pequeno porte em apartamentos e casas, para cultivo próprio de hortaliças e demais plantas, entretanto muitos produtores de diversas culturas utilizam tal método em larga escala como na Figura 3.

Os LEDs (*Light Emitting Diode*) são utilizados atualmente como fonte de luz para tais cultivos, pela alta eficiência na fotossíntese, uma vez que a luz aplicada aos vegetais contemplam os comprimentos de onda ideais, usualmente o espectro vermelho e azul, descartando os comprimentos de onda que não sensibilizam com eficiência as organelas responsáveis pelas fotossíntese. A potência pode ser reduzida quando comparada as lâmpadas HQI (*Halogen Quartz Iodide*), que compreendem todos os comprimentos de ondas de 350 - 700nm.

Figura 3 – Cultivo Indoor de hortaliças em Galpão.



Fonte: (EVE, 2015,)

O conceito de fazendas verticais, está sendo aplicado em grandes centros urbanos onde se tem poucas áreas para o cultivo de alimentos. A tecnologia do cultivo *indoor* e vertical é vista como a tecnologia responsável por alimentar a população mundial conforme o crescimento populacional toma proporções cada vez maiores. Ela consiste em estruturas que fornecem nutrientes, iluminação e atmosfera para o ponto ótimo de fotossíntese dos vegetais, tais estruturas são dispostas em forma de pilhas, tornando uma pequena área de $10m^2$ em $100m^2$, para isso basta empilhar 10 estruturas para cultivo.

1.3 ILUMINAÇÃO PARA AQUÁRIOS

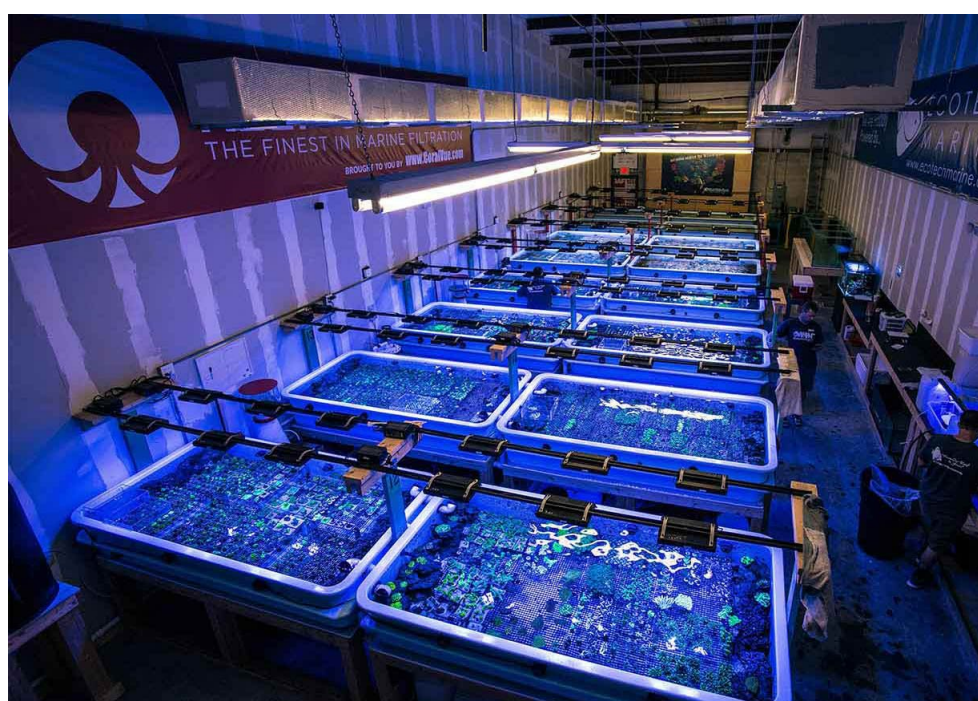
Assim como nos campos de pesquisas a iluminação artificial é amplamente utilizada no Aquarismo. O *hobby* cresce a cada dia e com ele a exigência dos consumidores, que visam reproduzir em um espaço confinado um pequeno ambiente aquático. O Aquário é um sistema fechado, sendo necessário que nele contenha vários sistemas para sua manutenção, dentre eles o termostato, responsável por manter a temperatura constante, filtros contendo mídias biológicas, químicas e mecânicas, para a devida manutenção da qualidade da água, dentre uma infinidade de equipamentos e acessórios que tentam copiar os parâmetros encontrados na natureza.

O componente fundamental para a reprodução de um sistema aquático é a ilumina-

ção, pois os seres ali presentes precisam se desenvolver, sejam plantas ou corais. Tal reprodução/crescimento se dá através de organelas, a Clorofila A e B nas plantas e as Zooxantelas nos casos dos corais.

É necessário um balanço de cores na iluminação para aquários, uma vez que cada ecossistema apresenta uma necessidade distinta. Para Aquários Plantados os picos de vermelho se sobressaem, em contrapartida o Aquário Marinho apresenta um espectro azulado como na Figura 4 que demonstra a fazenda de corais da empresa *World Wide Corals*(WWC).

Figura 4 – Fazenda de corais.



Fonte: (WWC, 2018,)

1.3.1 O Aquário Plantado

O Aquapaisagismo é um estilo no aquarismo onde se usam elementos em harmonia criando uma paisagem submersa contendo troncos, rochas, substrato e plantas, compondo assim um *layout*. Todas as plantas utilizadas(NUNES,2013,) precisam se desenvolver e para que isso ocorra é necessário injetar CO^2 (Dióxido de Carbono) , iluminação adequada e nutrientes na proporção correta. O aquário plantado da Figura 5 exemplifica o estilo Aquarismo Plantado, notam-se vários elementos compondo um jardim submerso, sendo necessárias algumas podas ao longo do tempo.

Figura 5 – Aquário Plantado após 6 meses de montagem.



Fonte: O próprio autor.(2018)

1.3.2 O Aquário Marinho

Sabe-se que o mar contém a maior quantidade de seres vivos e muitos ainda são desconhecidos. O aquário marinho visa recriar as barreiras de corais levando a paisagem submersa para dentro de uma caixa de vidro. Diferente do aquário plantado, o aquário marinho é dividido em três subgrupos de corais, *Soft's*, *LPS (Large Polyps Stony Coral)* e *SPS (Small Polyps Stony Coral)*.

Diferente de todos os outros estilos o marinho requer uma atenção especial, devido a sensibilidade dos corais, sendo necessários apenas minutos para que todos os corais morram. A iluminação inadequada pode queimar os corais, levando-os a morte. A importância do balanço de cores e potência é primordial para que os corais tenham um bom desenvolvimento. Um aquário com corais mistos como o da Figura 6 requer ainda mais pesquisas e desenvolvimento.

Figura 6 – Aquário Marinho após 5 meses de montagem.



Fonte: O próprio autor.(2018)

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Projetar uma luminária utilizando LEDs de potência com cores específicas para atender o desenvolvimento de seres fotossintetizantes, utilizando o circuito integrado PT4115 como *Driver* de acionamento para os LEDs, além de contar com um controlador lógico programável que realiza a simulação de um fotoperíodo semelhante ao solar.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral são necessários estudos aprofundados sobre alguns elementos, dentre eles:

- Estudo sobre luminotécnica, contendo a evolução dos tipos de lâmpadas e o correto dimensionamento de lentes e dissipadores para os LEDs.
- Os comprimentos de ondas que os seres fotossintetizantes mais utilizam para a fotossíntese, explanando sobre o espectro de cores e diferenciando os tipos de ambientes estudados.
- Eficiência energética dos LEDs e estudo sobre os diferentes tipos de acionamentos utilizados para LEDs.
- Simulação do fotoperíodo solar e a programação necessária para o correto funcionamento.

- Aspectos construtivos e acabamento.

1.5 METODOLOGIA

O trabalho de pesquisa terá como base exploratória e explicativa, visto que serão apresentados estudos e desenvolvimento de um equipamento. A metodologia do trabalho pode ser dividida em 4 etapas, sendo:

1ª Etapa: Análise geral sobre luminotécnica, com foco nos estudos sobre iluminação de alto IRC(Índice de Reprodução de Cor), picos de fotossíntese e utilização de lentes.

2ª Etapa: Dimensionamento dos componentes necessários para a construção da luminária LED com alto PAR(*Photosynthetically Active Radiation*).

3ª Etapa: Montagem, testes e parâmetros obtidos.

4ª Etapa: Programação e estudo sobre a utilização do fotoperíodo na luminária.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O documento está dividido em 4 capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se uma breve explicação do problema encontrado e as soluções propostas para a sua resolução, também contempla os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

No segundo capítulo encontra-se todo o estudo sobre luminotécnica e a físico-química dos corais, assim como a importância de cada comprimento de cor para o correto desenvolvimento.

O terceiro capítulo demonstra todo o passo a passo necessário para a construção do protótipo, apresentando os resultados obtidos e as dificuldades encontradas.

Por fim o quarto capítulo expõe as considerações finais deste trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

O projeto da luminária de alto desempenho é dividido em três grupos distintos, sendo o dimensionamento do dissipador, a parte mecânica, o projeto dos drives de potência, fonte e LEDs referentes a parte eletrônica e o último item, o software necessário para a simulação do fotoperíodo solar.

O projeto contém um estudo relativo a luminotécnica e biologia, fornecendo dados suficientes para a escolha correta da gama de cores utilizadas na luminária. Ateu-se ao campo de iluminação específica para aquários marinhos.

2.1 LUMINOTÉCNICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

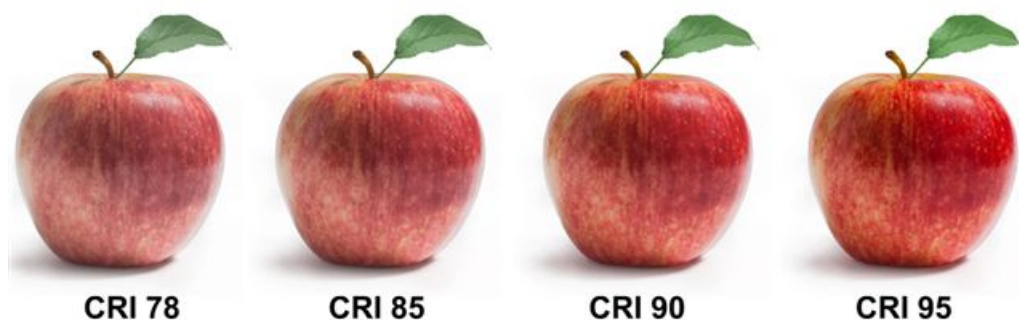
2.1.1 A Luz

A luz é a emissão de radiação eletromagnética com a capacidade de produzir sensação visual (OSRAM,2000,). A sensibilidade do olho humano em reconhecer cores e a intensidade da fonte luminosa depende do comprimento de onda, e as características do material onde a luz está incidindo. O olho reconhece uma faixa muito estreita de ondas, sendo reconhecida de 360nm a 760nm segundo Prof. Antônio Augusto Aguilar Dantas(DANTAS, CARVALHO E NETO, 2003,), como já demonstrado na Figura 1. Os demais comprimentos de onda são produzidos ao longo do sistema solar e chegam a superfície da terra, porém muitos dos raios oriundos do espaço são filtrados pelas camadas de gases, presentes na atmosfera.

2.1.1.1 Luz e cores

As cores dos objetos são compostas pela luz refletida no material, sendo a onda refletida a cor interpretada pelo olho humano. O fator determinante para a interpretação das cores pelo olho está ligada ao Índice de Reprodução de Cor (IRC), o mesmo objeto pode ser iluminado por diferentes fontes de luz com IRCs diferentes, provocando uma diferença na cor interpretada entre as fontes luminosas. A escala de CRI varia de 0 a 100, sendo a lâmpada de metal sólido o padrão 100. Na Figura 7 a maçã recebe a luz de lâmpadas com a mesma temperatura de cor, porém com diferentes índices de reprodução de cor, a maçã da esquerda está opaca devido ao baixo IRC, já a com o IRC elevado está com cores vivas e definidas.

Figura 7 – Maça exposta a lâmpadas com diferentes CRIs.

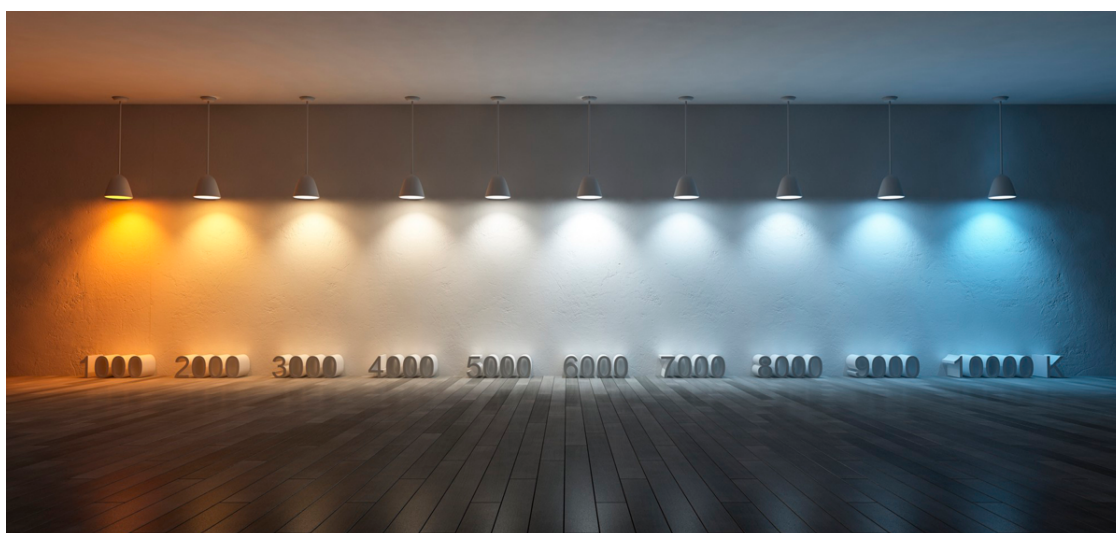


Fonte: (BENEL, 2015,)

2.1.1.2 Temperatura de cor

A Temperatura de cor (Kelvin) caracteriza as tonalidades das lâmpadas, sendo que uma lâmpada fria tem um tom mais azulado e é indicada para ambientes onde a atenção ou precisão são primordiais, como por exemplo uma sala cirúrgica ou um escritório. As lâmpadas com temperaturas mais quentes são recomendadas para ambientes que requerem calma e relaxamento, são muito empregadas em Spa's, salas de esperas, dentre outros. Pela Figura 8 nota-se a diferença em as tonalidades das lâmpadas(ANDREW,2002,).

Figura 8 – Temperatura de cor variando de 1000K a 10000K .



Fonte: (RODRIM, 2018,)

2.1.2 Eficiência energética

A eficiência energética pode ser definida como a quantidade de energia necessária para realizar um trabalho. Quanto menos energia gasta no processo, mais eficiente o equipamento. As lâmpadas com o passar dos anos sofreram modificações e a forma de se produzir uma fonte de luz se alterou drasticamente.

A primeira lâmpada foi inventada por Thomas Edison em 1879, utilizando um carvão pelo qual aplicou-se uma corrente elétrica, deixando o filamento de carbono incandescente dentro de um bulbo de vidro à vácuo. A lâmpada incandescente tem uma eficiência energética muito baixa, pois produz muito calor e pouca luz (Medida em Lumens), sendo a relação potência (Watts) e o fluxo luminoso (Lumens) muito baixa.

Com a evolução das lâmpadas fluorescentes pode se encontrar T5(Diâmetro comercial de 12mm) com eficiência maior que 90lm/W (Lâmpada T5 HE - Osram), porém temos LEDs com mais de 100lm/W (LED Cree XLamp XM-L). A maior diferença está na vida útil, sendo que a lâmpada citada tem uma vida média de 24000h, contra 50000h do LED. Nota-se que atualmente as lâmpadas LEDs estão presentes em praticamente todas as casas, escritórios, fábricas e até em vias públicas.

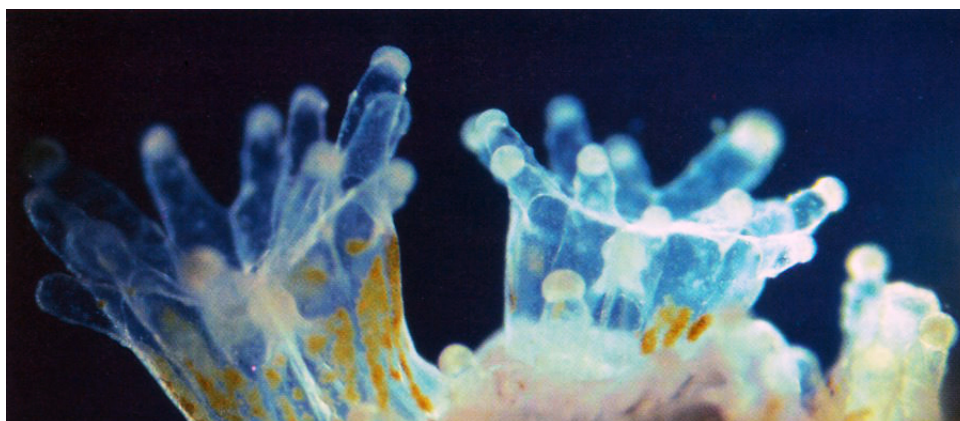
2.2 ILUMINAÇÃO PARA CORAIS

2.2.1 Zooxantelas e sua importância

A luz(TROPICA,2012,) é fundamental para a vida no planeta terra, diversos seres utilizam a energia solar para produção de alimento. Os corais se encaixam nesse processo, utilizando-se das zooxantelas encontradas em simbiose com os pólipos dos corais, tal estrutura é capaz de fornecer alimento e oxigênio através da fotossíntese(DMITRY AND GANAPETYAN,2012,).

As zooxantelas são seres com cerca de 0,005mm, compostas de uma casca fina, um núcleo, um cloroplasto amarelado e outros nutrientes(reservas de amido). Na Figura 9 notamos as zooxantelas presentes nos pólipos de um coral, tal estrutura é amarelada.

Figura 9 – Zooxantela em simbiose.



Fonte: (2.BP, 2016,)

A formação do esqueleto calcário se dá através de íons de cálcio e dióxido de carbono, a principal fonte de consumo de CO_2 é oriunda de zooxantelas através da fotossíntese.

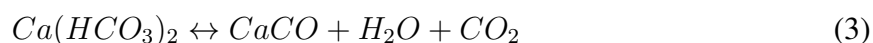
O dióxido de carbono em contato com a água reage formando ácido carbônico (1):



A equação (1) é muito instável se desassociando em íons como em (2):



Com a interação dos íons Ca^{2+} e HCO_3^- forma-se bicarbonato de cálcio. Como é muito solúvel, facilmente se torna carbonato de cálcio como em (3):

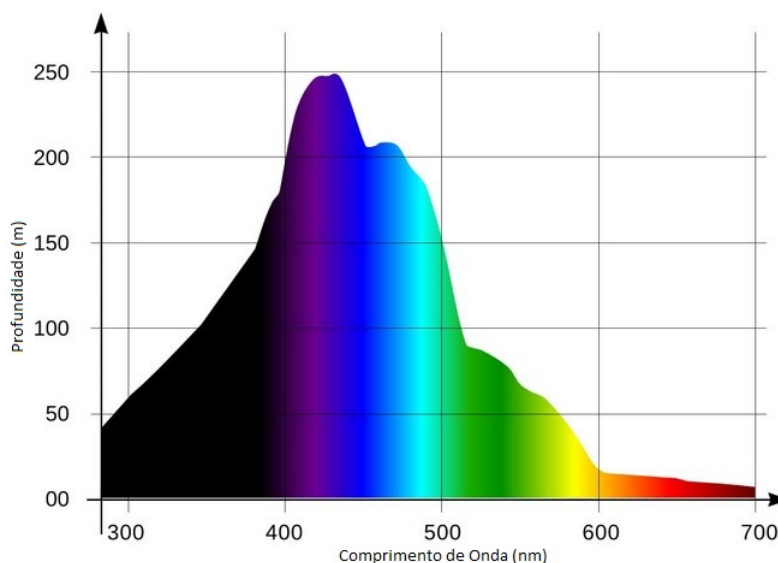


Quanto menor a concentração de CO_2 presente na água maior a calcificação dos corais, pois a reação (3) se desloca para a esquerda, por ser uma reação muito desequilibrada, o deslocamento acontece a todo instante conforme a mudança de parâmetros.

2.2.2 Luz presente nos corais de recifes

A luz incidente nos oceanos é abundante, porém a penetração da luz na água salgada varia conforme a profundidade. A faixa compreendida entre 370nm e 500nm tem um alcance maior, conforme o gráfico compilado do *Institute for Environment and Sustainability of the European Commission*, presente na Figura 10.

Figura 10 – Gráfico: Comprimento de onda (nm) x Profundidade(m).

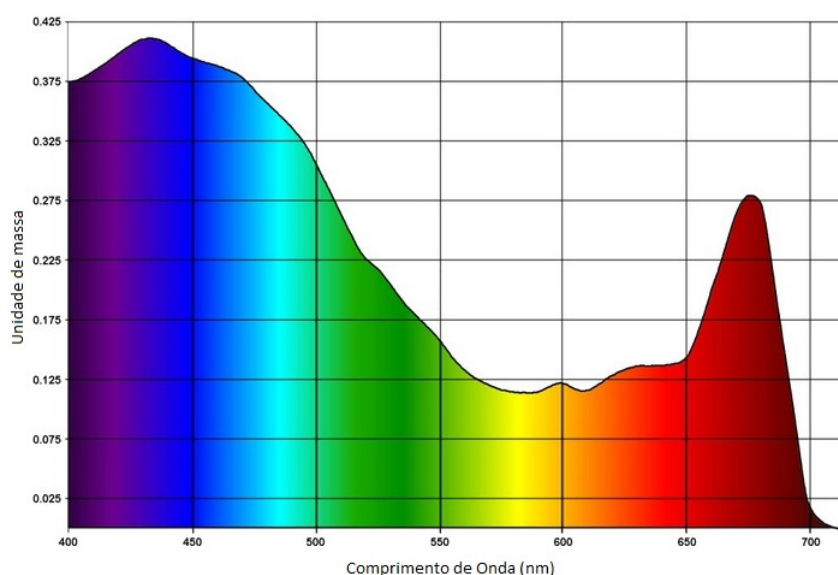


Fonte: (DMITRY, 2012, b)

Os corais que utilizam a luz como fonte de alimento são encontrados em até 15m, acima disso os corais utilizam outros mecanismos para obter energia. As zooxantelas se adaptaram para aproveitar a maior quantidade de luz disponível que atravessa a coluna d'água, sendo os picos de violetas e azul os mais utilizados para a fotossíntese, como mostra o gráfico da Figura 11. Entretanto a faixa de vermelho, pouco abundante, entre 660-680nm é utilizada também para a produção de energia.

A iluminação artificial adequada faz com que o coral possa se desenvolver, porém os picos de cores de 370-500nm e 660-680nm são percebidos pelo olho humano com pouca intensidade. A estrutura do olho humano compõe 3 bastonetes diferentes responsáveis por identificar diferentes cores, entretanto o pico de melhor percepção está entre 500-620nm, exatamente a faixa de luz que os corais tem o menor aproveitamento. Um dos objetivos da luminária é apresentar as cores reais dos peixes e corais. Para que isso ocorra o IRC deve ser maior que 85, de forma a obter um valor elevado com toda a gama de cores presente.

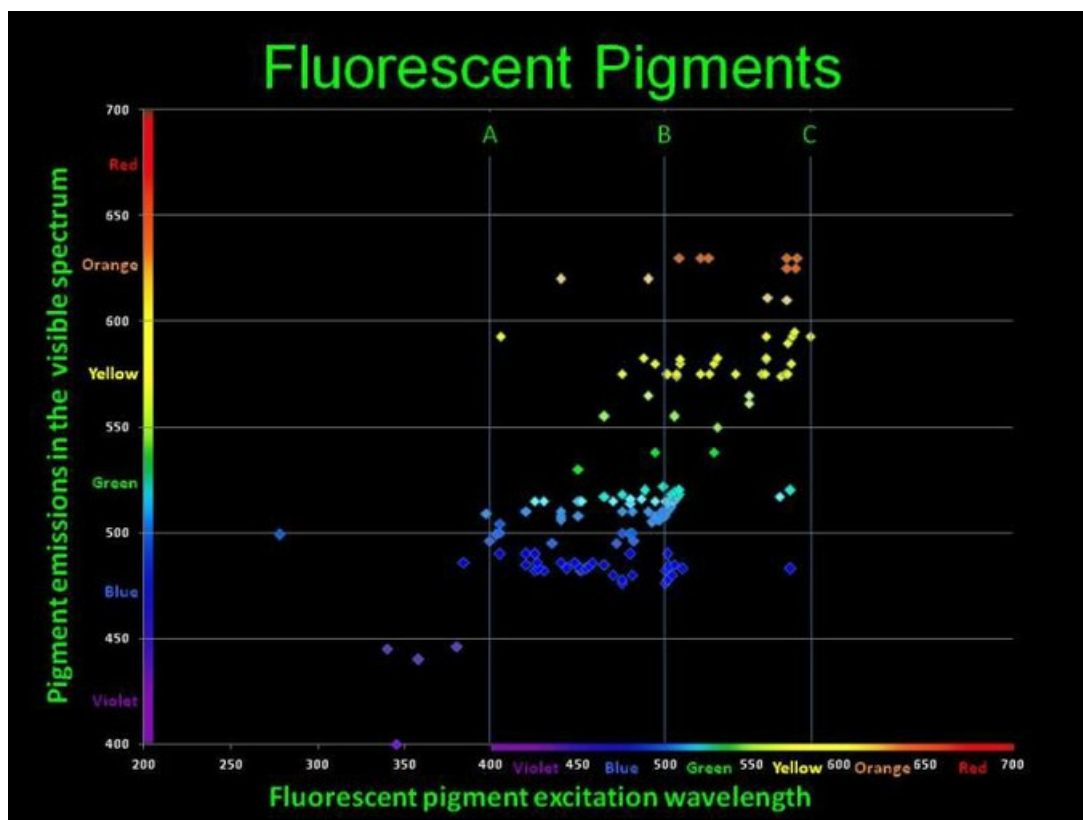
Figura 11 – Gráfico: Absorção de luz pelas zooxantelas.



Fonte: (DMITRY, 2012, a)

Os corais também são compostos de pigmentos fluorescentes que expostos a luz actínica (400-430nm) irradiam suas proteínas e ao olho humano parecem brilhantes, como se tivessem luz própria. O gráfico da Figura 12 demonstra a faixa de cores que os pigmentos absorvem e irradiam com intensidade. O eixo horizontal demonstra a frequência de cor que irradiam as proteínas causando a fluorescência (Cromoproteínas), já o eixo vertical relaciona as cores emitidas pelas cromoproteínas. A faixa que causa maior fluorescência está compreendida entre os pontos A e B do gráfico, nota-se que a luz azul é absorvida e irradiada quase na mesma faixa, sendo assim o olho humano não é capaz de identificar os aspectos fluorescentes emitidos pelas cromoproteínas, uma vez que os bastonetes percebem um aspecto cinza e opaco, o coral se apresenta escuro, uma vez que a luz absorvida e emitida por ele é igual. Porém o mesmo comprimento de onda azul faz com que algumas cromoproteínas irradiem o comprimento de onda verde, o qual é perceptível pela visão humana como um verde fluorescente intenso. Sendo o olho humano muito sensível para o comprimento entre 500-620nm, se a fonte de luz incidente nos corais tiver um comprimento dentro dessa faixa, menor será a percepção da fluorescência do coral.

Figura 12 – Gráfico: Absorção e emissão de comprimentos de ondas pelas cromoproteínas.



Fonte: (KELLEY, 2012,)

2.2.3 Medida de potência utilizada como parâmetro

A forma de medição de uma fonte luminosa mais difundida e utilizada é por meio do luxímetro sendo $Lux = Lumens/m^2$, muito utilizado para medir lâmpadas convencionais que apresentam um espectro completo. Já para medir a radiação luminosa incidente em aquários utiliza-se a quantidade de fótons por segundo que atinge uma superfície de $1m^2$, denominada de *Photosynthetic Photon Flux Density* (PPFD).

$$PPFD = \mu mol.fotons/m^2.s \quad (4)$$

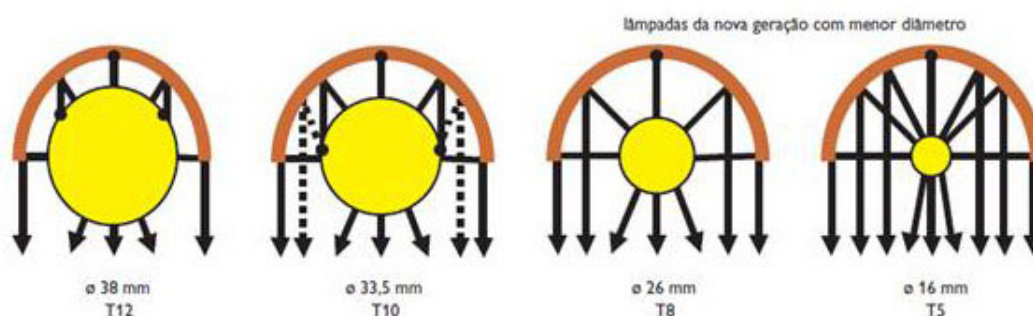
Para o desenvolvimento correto dos corais é necessário no mínimo $80-100 \frac{\mu mol.fotons}{m^2.s}$, sendo um valor médio entre $150-200 \frac{\mu mol.fotons}{m^2.s}$ e o valor ótimo de $300-400 \frac{\mu mol.fotons}{m^2.s}$. Usa-se o medidor de PAR dado por $PAR = W/m^2$, diferente do PPFD faz a leitura de energia somente em uma faixa delimitada de onda, estimada entre 400-700nm. O PAR é utilizado em lavouras e aquários plantados, para interpretar a qualidade de luz efetiva para a fotossíntese.

2.2.4 LEDs vs. Tubular Fluorescente

As lâmpadas tubulares utilizadas em aquários marinhos tem uma vida útil muito reduzida, estima-se entre 4 a 6 meses. Após esse período deve-se substituir a lâmpada, pois a quantidade de lumens produzida cai drasticamente. Tais fluorescentes tem um custo elevado, sendo a substituição pelos LEDs vantajosa, tendo em vista que a vida útil de uma luminária LED é de até 5 anos.

Os LEDs ao contrário das tubulares emitem luz apenas em um sentido, nota-se através da Figura 13 que até mesmo nas T5 (Lâmpadas modernas) há perda através da reflexão na calha espelhada, a produção de luz em um único sentido fica comprometida. O LED tem menos perdas e com a utilização de lentes, se pode restringir uma área a ser iluminada, sem que a penetração da luz seja comprometida.

Figura 13 – Comparação lâmpadas T12, T10, T8 e T5.



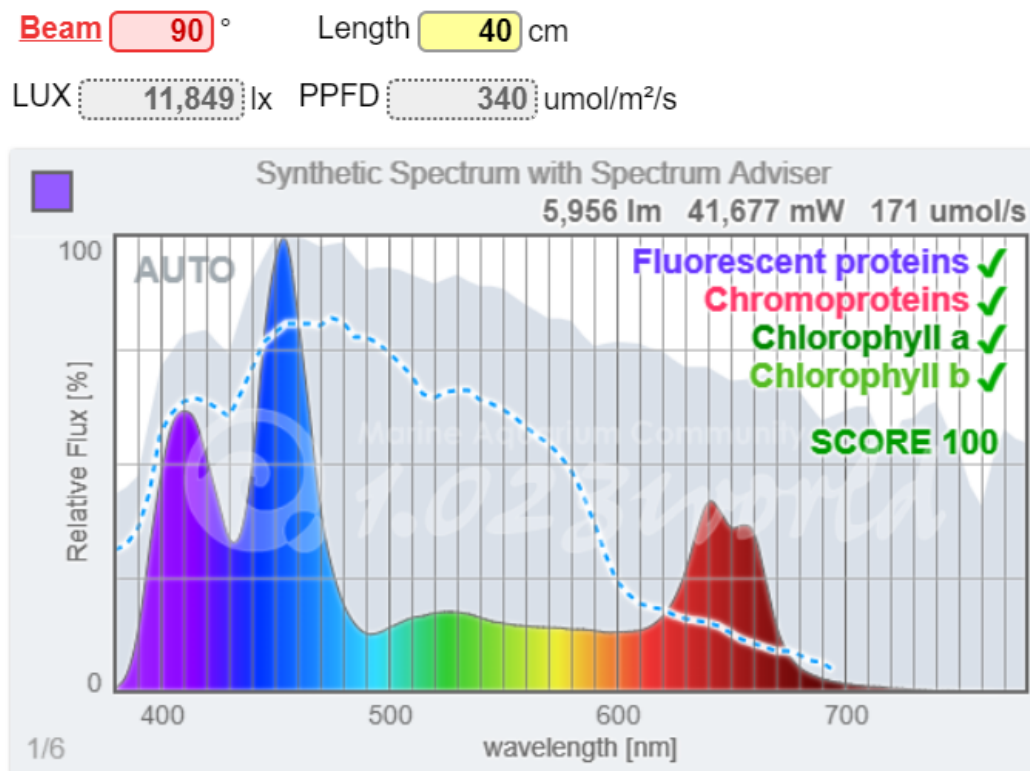
Fonte: (DECOR, 2015,)

3 PROTÓTIPO

3.1 ESPECTRO DE COR E LEDS ESCOLHIDOS.

Através dos estudos apresentados e da utilização do software online spectra.1023world.net escolheu-se os LEDs necessários para atender os melhores picos de desenvolvimento dos corais. Como observa-se na Figura 14, o espectro de cor selecionado condiz com a linha pontilhada que represente a luz solar, priorizando-se a faixa de 400-480nm. O software Spectra verificou através dos 14 LEDs selecionados os elementos essenciais para a fotossíntese, dentre eles a Cromoproteína, Proteínas Fluorescentes, Clorofila A e Clorofila B, calculou-se o PPFD que situou-se em $340 \frac{\mu\text{mol.fotons}}{\text{m}^2.\text{s}}$, utilizou-se o ângulo de 90° para as lentes durante os cálculos.

Figura 14 – Gráfico: Absorção e emissão de comprimentos de ondas pelas cromoproteínas.



Fonte: O próprio autor.(2018)

Utilizou-se LEDs Cree conforme listado na Tabela 1, produzidos nos Estados Unidos, a escolha deve-se ao fato da qualidade e durabilidade do LED Cree frente aos demais LEDs que possuem uma vida útil muito reduzida por ter seu cristal de baixa qualidade.

Tabela 1 – LEDs Utilizados

LEDs	Potência	Quantidade	Potência Total
Cree Royal Blue 460nm	5W	3	15W
Cree Blue 440nm	3W	3	9W
Cree XM-L Cool White 8300K	5W	2	10W
Cree XM-L Warm White 3700K	5W	2	10W
SemiLEDs 400-420nm	3W	2	6W
Cree Green 530nm	3W	1	3W
Cree Red 620nm	3W	1	3W
Total	-	14	56W

A Tabela 1 demonstra a potência de cada LED, o comprimento de onda e a quantidade utilizada de cada cor. Ao total são 56W de LEDs distribuídos sobre uma placa de circuito impresso. Como a potência é considerável, faz-se necessária a utilização de dissipadores e ventilação forçada. Os LEDs UVs de 420nm não são da marca Cree, uma vez que a empresa não produz LEDs nesse comprimento de onda, porém a empresa SemiLEDs produz tais comprimentos de onda, variando sua faixa de 365-420nm. A corrente dos LEDs variam de acordo com a sua cor e potência como pode-se ver na Tabela 2, onde apresentam-se os dados necessários para o acionamento correto dos LEDs.

Tabela 2 – Tensão e Corrente dos LEDs

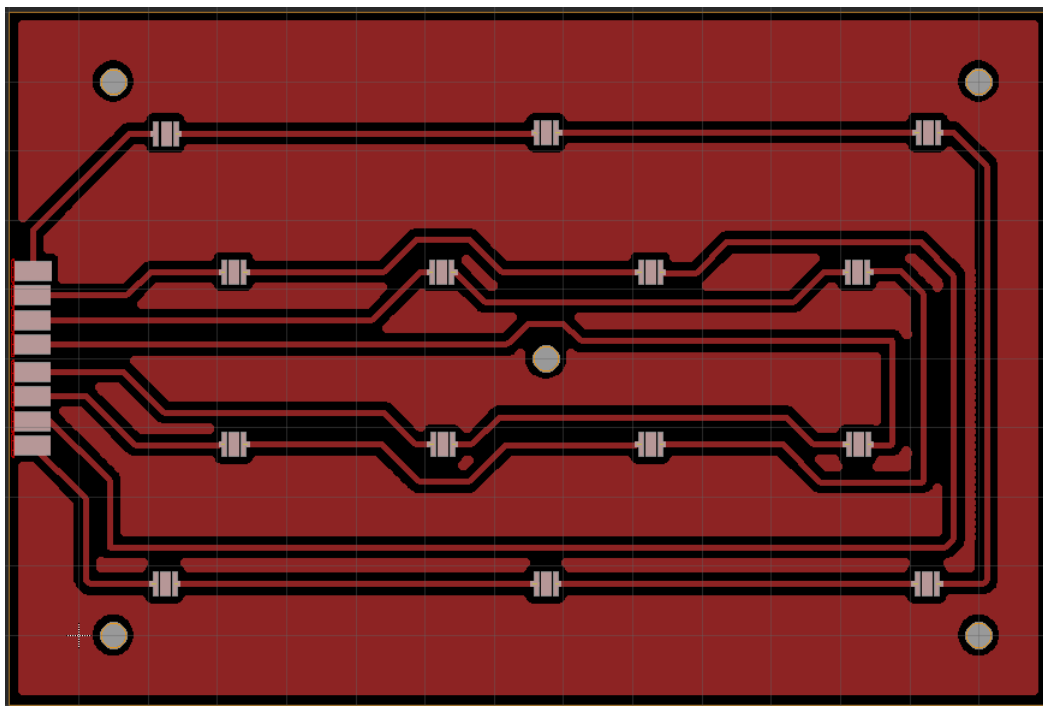
LEDs	Potência	Corrente Direta	Tensão Direta
Cree Royal Blue 460nm	5W	1500mA	3,5-3,8V
Cree Blue 440nm	3W	1000mA	3,5-3,8V
Cree XM-L Cool White 8300K	5W	1500mA	3,5-3,8V
Cree XM-L Warm White 3700K	5W	1500mA	3,5-3,8V
SemiLEDs 400-420nm	3W	700mA	3,5-3,8V
Cree Green 530nm	3W	1000mA	3,5-3,8V
Cree Red 620nm	3W	700mA	2,3-2,5V

3.1.1 Confecção Placa de Circuito impresso

Desenvolveu-se para os LEDs uma PCI(Placa de Circuito Impresso) de MetalCore(Base de Alumínio) de 1,5mm de espessura, utilizando-se o software Eagle versão 8.5.1. Conforme

Figura 15 nota-se que os LEDs foram separados por canais pois o projeto contempla a simulação do nascer e do por do sol, sendo portanto 4 canais separados conforme a Tabela 3.

Figura 15 – Protótipo PCI LEDs SMD



Fonte: O próprio autor.(2018)

Tabela 3 – Canais por cores de LEDs

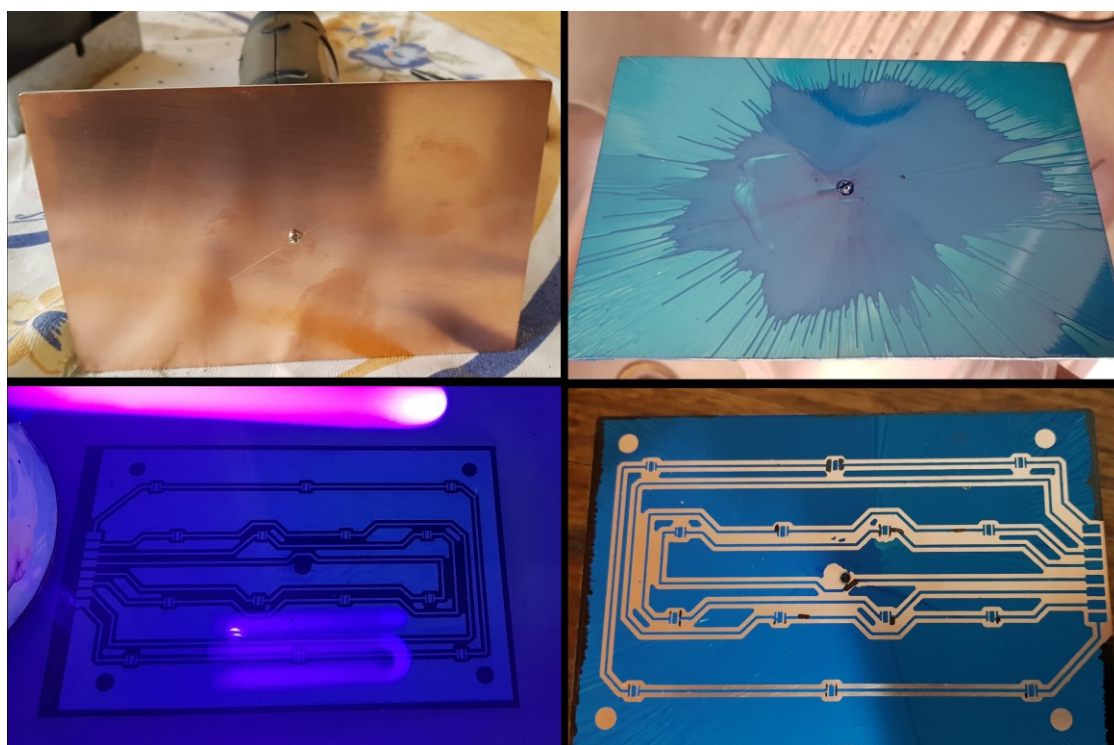
Cores	Canal
Cree Royal Blue 460nm	Ch1
Cree Blue 440nm	Ch1
Cree XM-L Cool White 8300K	Ch2
Cree XM-L Warm White 3700K	Ch2
SemiLEDs 400-420nm	Ch3
Cree Green 530nm	Ch4
Cree Red 620nm	Ch4

As cores agrupadas por canais são essenciais para o controle dinâmico durante o fotoperíodo. Os canais Ch1 e Ch3 são acionados no início e desligados no final do fotoperíodo sendo os canais utilizados por mais tempo e com maior potência. Já os canais Ch2 e Ch4 são utilizados em potência reduzida dependendo da aplicação, pois alguns corais são mais sensíveis a esses comprimentos de onda, podendo queimar seus tecidos.

Utilizou-se o método de foto transferência para confeccionar a PCI. O primeiro processo consistiu em delimitar o centro da placa de circuito onde realizou-se um furo, pela qual a

placa é fixada à Micro Retífica. O segundo processo é aplicar na superfície da PCI a tinta UV fotossensível e centrifugar a placa com a Micro Retífica dentro de uma caixa de papelão, para que o excesso de tinta possa sair e deixar uma camada fina e uniforme. Com um soprador térmico seca-se a tinta, preparando-se a camada para receber o fotolito, o Eagle gerou o arquivo necessário para confeccionar o fotolito impresso em papel vegetal. Posicionou-se o fotolito sobre a camada de tinta já seca e aplicou-lhe uma fonte de luz com comprimento de ondas Ultra Violeta, no processo empregou-se uma luz negra fluorescente compacta de 15W. Após 15 min a luz é desligada e a placa mergulhada em uma solução com água e carbonato de sódio. A solução solta a tinta não sensibilizada pela luz negra, revelando os pontos de cobre onde em contato com o percloreto de ferro sofrerá corrosão. A Figura 16 ilustra o processo descrito anteriormente.

Figura 16 – Confeção da PCI



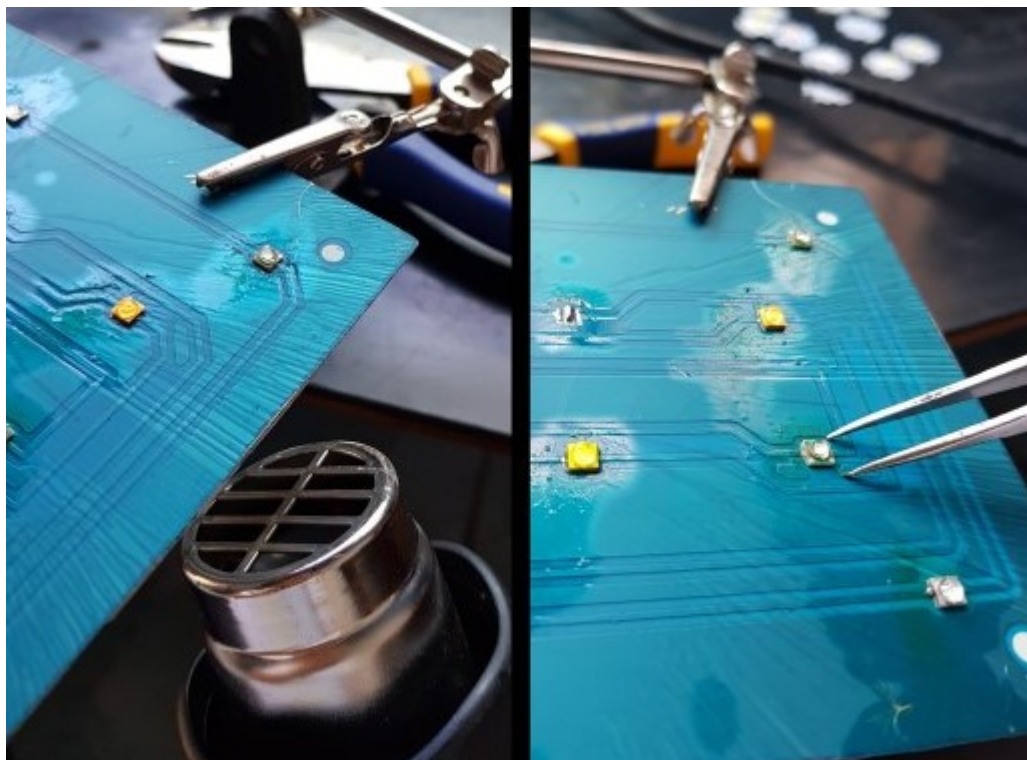
Fonte: O próprio autor.(2018)

Após a corrosão o processo anterior é refeito, porém para a aplicação da máscara de solda.

Realizou-se as soldas com o auxílio de uma pinça e um soprador térmico para atingir a temperatura de fusão do estanho (231,9 °C). O processo consiste na aplicação de fluxo de solda nos pontos onde receberá estanho. Em seguida deposita-se uma pequena quantidade de solda nesses pontos. Com a pinça posiciona-se os LEDs nos locais, o soprador no segundo estágio de temperatura (550°C) joga ar abaixo da placa, com a temperatura superior a de fusão do estanho,

o mesmo se liquefaz e os LEDs são posicionados e aderem ao estanho. A Figura 17 exemplifica o processo descrito anteriormente, nota-se que os LEDs são ligados em série, caso haja falha em um dos diodos emissores de luz, todo o canal se apagará.

Figura 17 – Solda dos LEDs



Fonte: O próprio autor.(2018)

3.2 ACIONAMENTO DOS LEDS

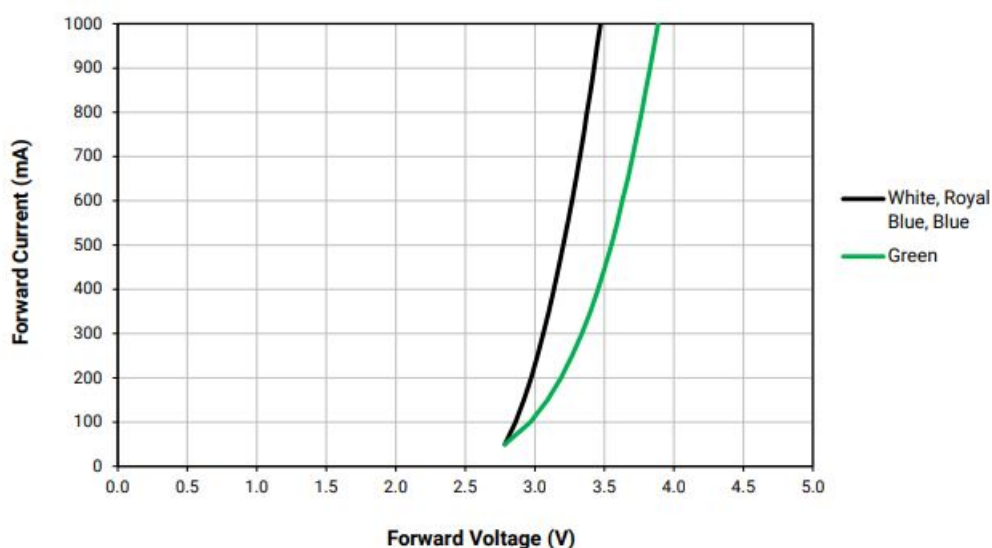
A vida útil dos LEDs está intimamente ligada ao tipo de acionamento utilizado. No mercado estão presentes várias tecnologias baseadas no controle da corrente aplicada ao LED. Serão abordadas duas tecnologias, uma analógica e outra com controle digital via PWM (*Pulse Width Modulation*).

3.2.1 Características para acionamentos de LEDs

O LED é um diodo emissor de luz, seu comportamento é muito semelhante aos diodos utilizados em eletrônica, sendo que com um baixo valor de tensão (acima de 1,2V) aplicado em seus terminais acarreta em uma característica condutiva idêntica há um curto. Com os LEDs o comportamento não é diferente, como nota-se pelo gráfico da Figura 18. Com uma pequena variação de tensão a corrente toma grandes proporções, dificultando executar algum controle utilizando tensão. Sendo assim, os LEDs devem trabalhar próximo do valor máximo de corrente,

porém nunca maior, visto que uma vez submetido a corrente maior que o projetado a sua vida útil decai consideravelmente.

Figura 18 – Gráfico - Corrente x Tensão - LEDs



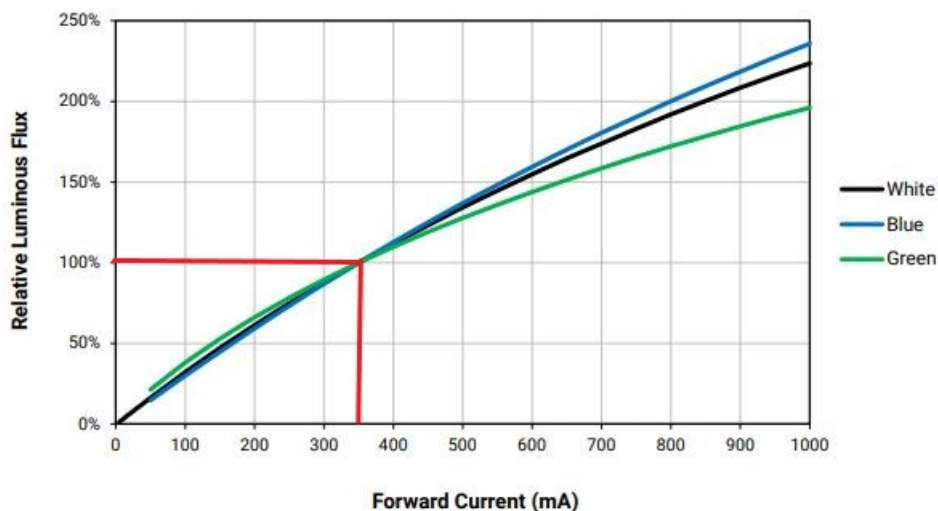
Fonte: (CREE, 2017,PG.16,)

Portanto o controle por corrente, tornando mais fácil o controle para o acionamento dos LEDs. Chamam-se *Drivers* de LEDs, os circuitos projetados para a alimentação dos LEDs. Alguns são analógicos, não contemplando um controle mais efetivo e outros são digitais que possuem dimerização via PWM.

3.2.2 Driver Analógico - LM317

O LM317 é um CI(Circuito Integrado) que possui inúmeras aplicações, sendo fabricado pela *Texas Instruments*, dentre elas reguladores de tensão, carregadores de bateria, entre outros. Para acionar os LEDs corretamente usou-se na configuração de limitador de corrente que consegue trabalhar até 1,2A e ser submetido a uma tensão de 40V. Conforme a Tabela 2 do tópico 3.1, referente a corrente máxima permitida para cada LED, encontram-se três LEDs com corrente de 1,5A, sendo superior a suportada pelo LM317 que vai até 1,2A. Entretanto a pequena diferença de 300mA não influencia, Conforme informação do gráfico da Figura 19, extraída do Datasheet do fabricante. Por questão de segurança estipulou-se que a corrente de trabalho dos LEDs será 90% do valor especificado pelo fabricante, com exceção dos LEDs com corrente máxima de 1,5A. Para tais LEDs utilizou-se 1,2A.

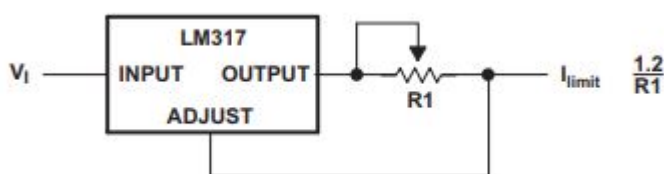
Figura 19 – Gráfico - Corrente x Fluxo Luminoso - LEDs



Fonte: (CREE, 2017,PG.18,)

O circuito da Figura 20 é de baixa complexidade, sendo sugerido pelo próprio fabricante. Calculou-se a corrente de saída (I_s) pela fórmula $I_s = \frac{1,2}{R}$, sendo R a resistência utilizada. A Tabela 4 demonstra os valores de resistores encontrados e seu respectivo valor comercial mais próximo.

Figura 20 – Limitador de Corrente - LM317



Fonte: (TI, 2016,PG.12,)

A corrente que percorre os resistores gera aquecimento e por isso os resistores tem sua potência calculada pela fórmula $P_{dr} = R * I_s^2$, sendo P_{dr} a potência dissipada pelo resistor em Watts(W). A potência do resistor também foi aproximada para a de valor comercial.

Como os LEDs se encontram em série faz-se necessário que toda a sequência opere na mesma corrente, forçando o conjunto a trabalhar com a corrente de menor valor dos LEDs. A Tabela 5 demonstra a corrente utilizada por canal, para que os LEDs de menor corrente não se danifiquem.

Tabela 4 – Tensão e Corrente dos LEDs

LEDs	Corrente de cálculo	R Calculado	R Comercial	Corrente Real
Blue 460nm	1200mA	1Ω -1,44W	1Ω -2W	1200mA
Blue 440nm	900mA	$1,333\Omega$ -1,07W	$1,5\Omega$ -2W	800mA
White 8300K	1200mA	1Ω -1,44W	1Ω -2W	1200mA
White 3700K	1200mA	1Ω -1,44W	1Ω -2W	1200mA
UV 400-420nm	630mA	$1,904\Omega$ -0,769W	2Ω -1W	600mA
Green 530nm	900mA	$1,333\Omega$ -1,07W	$1,5\Omega$ -2W	800mA
Red 620nm	630mA	$1,904\Omega$ -0,769W	2Ω -1W	600mA

Tabela 5 – Corrente por canal

Cores	Canal	Corrente
Cree Royal Blue 460nm	Ch1	800mA
Cree Blue 440nm	Ch1	800mA
Cree XM-L Cool White 8300K	Ch2	1200mA
Cree XM-L Warm White 3700K	Ch2	1200mA
SemiLEDs 400-420nm	Ch3	600mA
Cree Green 530nm	Ch4	600mA
Cree Red 620nm	Ch4	600mA

Realizou-se os testes utilizando uma fonte chaveada de 24V - 5A para a alimentação do conjunto Driver/LED, um multímetro Minipa Et-2082e com a chave de seleção posicionada na escala de 20A em corrente contínua e a PCI com os LEDs.

Os dados coletados pelo amperímetro demonstram valores um pouco discrepantes dos calculados anteriormente, isso se deve a precisão dos resistores que possuem uma tolerância de $\pm 5\%$. A Tabela 6 demonstra os valores encontrados.

Tabela 6 – Corrente aferida

Canal	Corrente
Ch1	670mA
Ch2	700mA
Ch3	690mA
Ch4	700mA

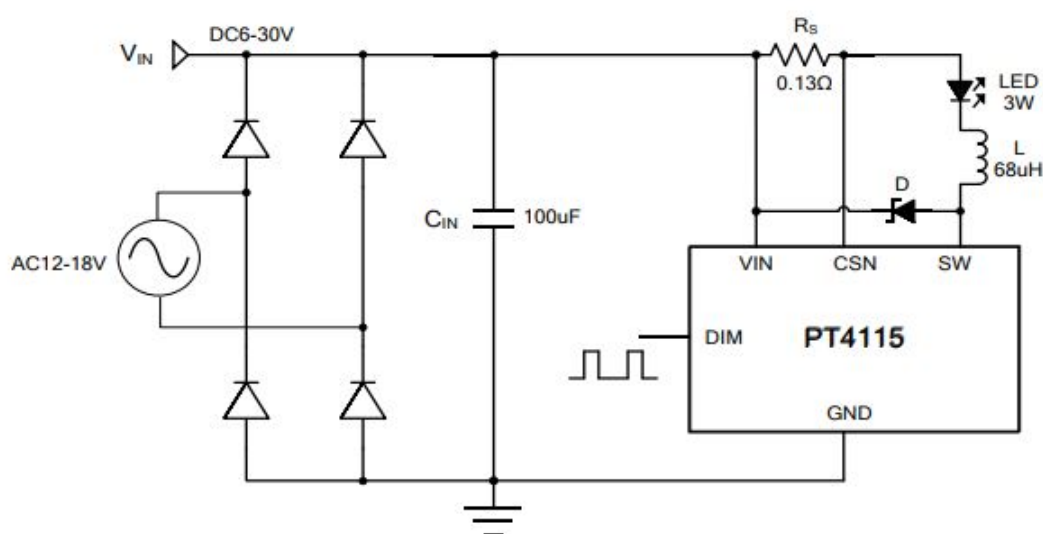
Apesar dos valores discrepantes, os drivers são adequados para o acionamento dos LEDs, o driver por ser simples não possui controle por largura de pulso PWM, mas pode ser aplicado no acionamento de LEDs que não requerem controle de intensidade.

3.2.3 Driver Digital - PT4115

O PT4115 é um CI desenvolvido pela *PowTech*, sendo um conversor *Step-Down* que pode alimentar LEDs em série ou individualmente. Opera de 6-30V, entretanto a tensão de entrada deve ser maior que a queda de tensão nos LEDs e sua corrente máxima de saída de 1,2A. Assim, como o LM317 encontra-se o fator limitante de corrente na saída em 1,2A, logo a Tabela 4 é empregada nos cálculos dos componentes do driver utilizando o PT4115. O CI PT4115 possui dimerização via PWM, facilitando o controle de brilho dos LEDs. O pino de dimerização é integrado ao próprio CI facilitando a integração com controladores lógicos programáveis como o Arduino, sendo necessária a adição de um resistor entre os pinos. A Figura 22 apresenta o circuito sugerido pelo fabricante. Realizou-se o dimensionamento de apenas 3 componentes, R_s (Resistor), L (Indutor) e D (Diodo).

A corrente de saída é dada por $I_{out} = \frac{0,1}{R_s}$ com $R_s \geq 0,082\Omega$. Os resistores encontrados estão na Tabela 7 e o Datasheet indica a utilização de um indutor de $68H$ e o diodo com tensão superior a aplicada ao circuito. Sendo assim, o diodo escolhido foi 1n5819. Todos os componentes são SMDs (*Surface Mounting Device*), a PCI foi desenvolvida no software Eagle.

Figura 21 – Circuito proposto pelo fabricante - PT4115



Fonte: (POWTECH, 2015,PG.1,)

Tabela 7 – Corrente aferida

Canais	Corrente utilizadas	R_s
Ch2	1200mA	0,083 Ω
Ch1	800mA	0,125 Ω
Ch3 e Ch4	600mA	0,166 Ω

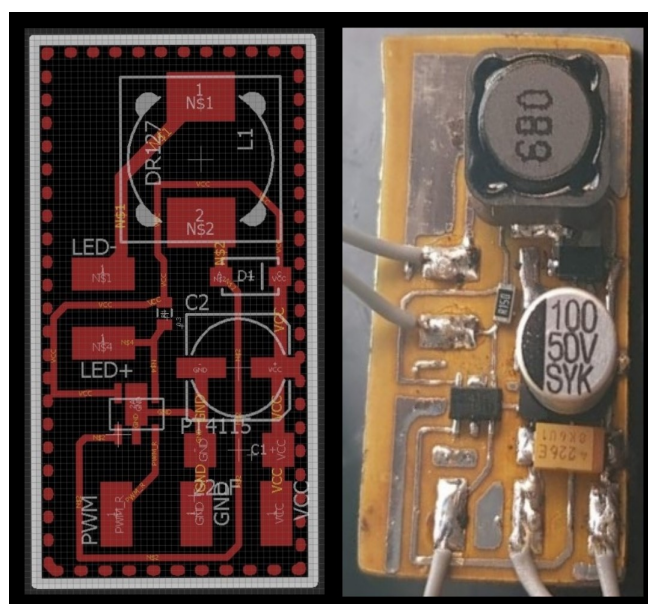
A Figura 23 apresenta a PCI desenvolvida no Eagle à esquerda e ela pronta à direita, já com os componentes soldados. Nota-se que a confecção de uma PCI com componentes SMDs exige uma certa experiência com solda, uma vez que os componentes são pequenos e estão muito próximos uns dos outros.

Utilizou-se uma estação de solda com controle de temperatura, modelo Hikari Hk-936a na montagem, para auxiliar e facilitar o processo. Utilizou-se também um soprador térmico para pré aquecer a PCI e a solda em pasta com micro esferas de estanho (63Sn/37Pb) para a pré fixação, sendo própria para soldas em componentes SMDs.

Infelizmente só localizou-se resistores de precisão de 0,150 Ω , fornecendo assim para todos os LEDs a corrente de 667mA.

Mediu-se a corrente fornecida pelo Drive PT4115, da mesma forma feita com o LM317.

Figura 22 – Drive pronto - PT4115



Fonte: O próprio autor.(2018)

3.3 DISSIPADOR DE CALOR - DIMENSIONAMENTO

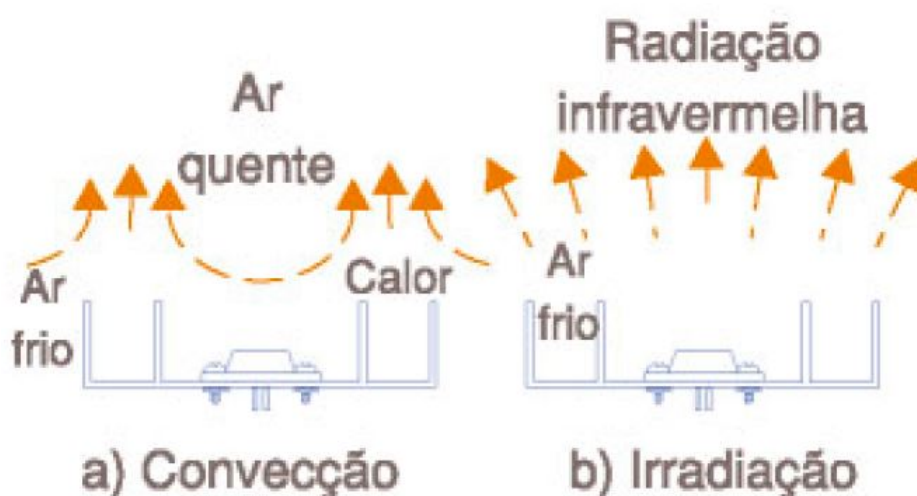
3.3.1 Dissipadores de Calor

Os dissipadores de calor são largamente empregados em componentes eletrônicos de potência, MOSFETs(*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), FETs(*Field Effect Transistor*), Transistores, Diodos, entre outros(MELLO,1965,). O objetivo principal é reduzir a temperatura de operação do componente para um patamar aceitável, onde a temperatura não irá danificá-lo.

São produzidos normalmente de metais não ferrosos, o material mais utilizado é o alumínio e o cobre por ter uma alta taxa de troca de calor com o ambiente. Alguns processos químicos podem diminuir a resistência térmica do dissipador. Pode-se, por exemplo anodiza-lo em preto fosco o que melhora o desempenho entorno de 15 vezes, além de isolá-lo eletricamente, frente ao alumínio não tratado.

A transferência de calor se dá por três meios, irradiação, convecção e contato conforme a Figura 25. A irradiação é a transferência de calor na forma de ondas eletromagnéticas na faixa infravermelha. Utilizando as propriedades de um corpo negro que absorve toda a energia entende-se o motivo dos dissipadores anodizados em preto fosco terem um melhor coeficiente de troca de calor. A convecção atua trocando calor através do ar. O ar entra em contato com as aletas do dissipador e aquece, tornando-o mais leve, o ar sobe e faz com que haja uma troca por um ar mais frio, levando assim o calor para o ambiente.

Figura 23 – Convecção e Irradiação

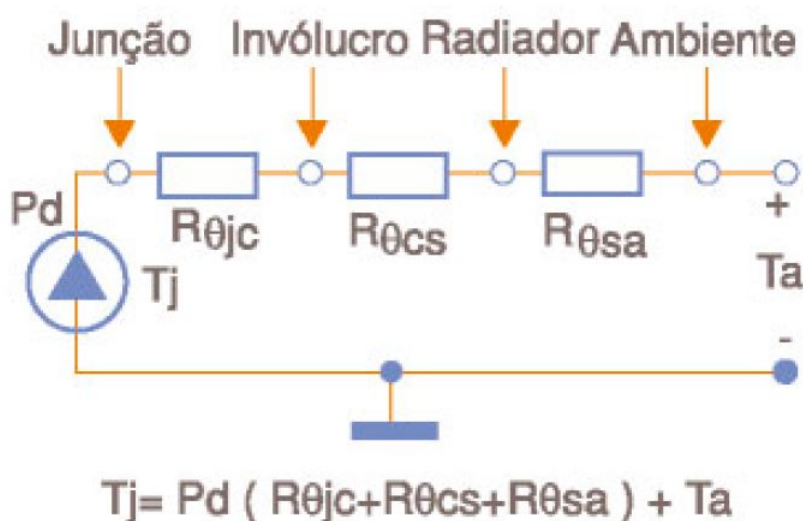


3.3.2 Cálculo de Dissipadores

Pode-se fazer uma analogia entre os elementos necessários para se dimensionar o dissipador, comparando-o com um circuito elétrico, conforme a Figura 26.

Com analogia ao circuito elétrico pode-se calcular diversos pontos de temperaturas, além do mais importante, o coeficiente de resistência térmica do dissipador, para então escolher através de um catálogo.

Figura 24 – Circuito Térmico



Fonte: (SABER ELETRÔNICA, 2011, PG.22,)

A relação térmica dos dissipadores com os componentes dos circuitos elétricos estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Relação entre grandezas

Grandeza Térmica	Grandeza Elétrica	Símbolo
Potência Térmica	Corrente	P (W)
Temperatura	Tensão	T (°C)
Resistência Térmica	Resistência Elétrica	$R\theta$ (°C/W)

Pela Equação 5 temos que encontrar alguns dados para realizar os cálculos, dentre eles a temperatura máxima de junção, temperatura ambiente máxima, dentre outros. Para adquirir tais dados consultou-se os Datasheets dos componentes. Abaixo encontram-se os dados necessários para o preenchimento da Equação 6:

t_j = Temperatura Máxima de Junção: 120 °C

t_a = Temperatura Máxima do Ambiente: 40 °C

P_d = Potência Dissipada: 27,3 W (Utilizou-se 42W como base, multiplicado por 0,65)

$R\theta_{Led}$ = Resistência térmica dos 14 LEDs: 0,357 °C/W

$R\theta_{PCI}$ = Resistência térmica PCI: 1,5 °C/W

$R\theta_{Adesivo}$ = Resistência térmica Pasta térmica: 0,246 °C/W

$R\theta_{Dissipador}$ = Resistência térmica do Dissipador: A ser calculado °C/W

$$(T_j - T_a) = P_d(R\theta_{Led} + R\theta_{PCI} + R\theta_{Adesivo} + R\theta_{Dissipador}) \quad (5)$$

$$(120 - 40) = 27,3(0,357 + 1,5 + 0,246 + R\theta_{Dissipador}) \quad (6)$$

$$\frac{80}{27,3} = 2,103 + R\theta_{Dissipador} \quad (7)$$

$$R\theta_{Dissipador} = 0,827^\circ\text{C/W} \quad (8)$$

O resultado da Equação 8 é utilizado para encontrar o dissipador ideal para o projeto. Foi escolhido o dissipador HS19013, da empresa HS Dissipadores.

Através do site da empresa HS Dissipadores calculou-se a resistência térmica do dissipador, já com ventilação forçada através de um cooler de 80x80x15mm, 12v da Botto Brasil com 21CFM (*Cubic Feet per Minute*). Pela Figura 27 temos os dados fornecidos pela página da empresa.

Figura 25 – Dados dissipador HS19013

Resistência térmica: 0,15°C/W

Produto = HS19013

Velocidade do ar = 21 pes/min

comprimento = 200 mm

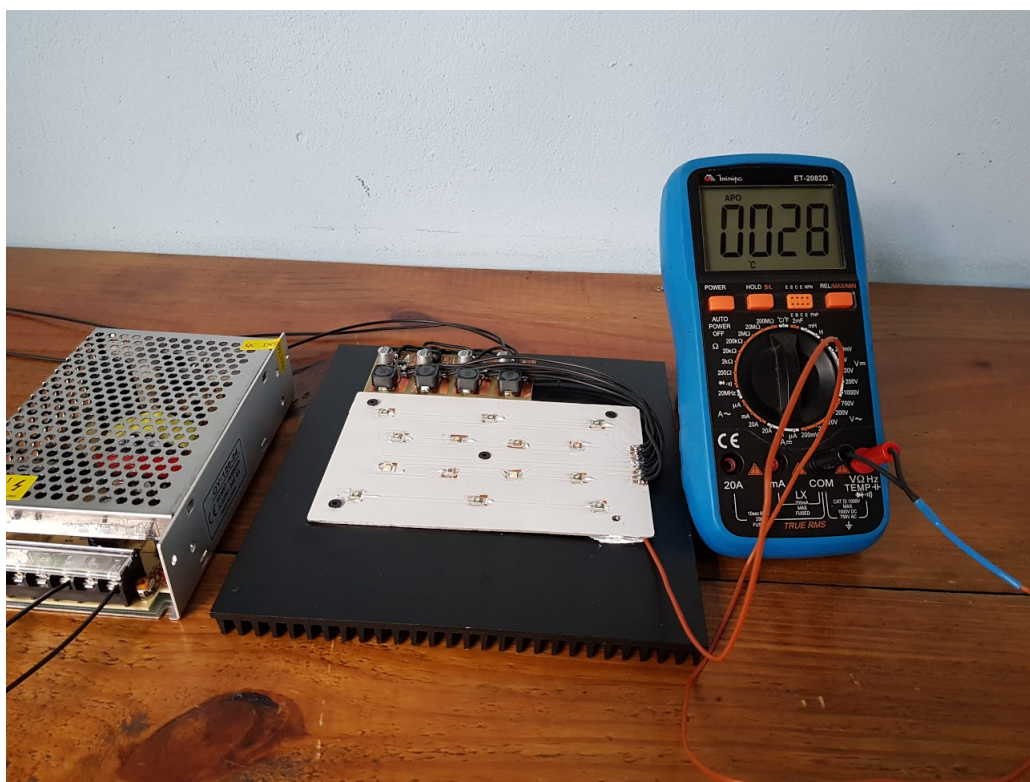
Fonte: O próprio autor.(2018)

Sendo a resistência térmica do dissipador HS19013 menor do que a calculada pela equação 8, pode-se afirmar que os LEDs trabalham em temperatura ideal, sem diminuição da sua vida útil.

Após os cálculos é realizado um ensaio técnico, colocando a PCI dos LEDs devidamente acoplada ao dissipador e acionados em potência máxima, mantendo o cooler desligado. Foi

utilizado o Multímetro Minipa ET-2082D na escala de temperatura, usando seu termopar que acompanha o kit do multímetro para medir a temperatura durante 7h. Realizando a coleta e dados a cada 1h, nota-se pela Figura 28 e pela Tabela 9 que a variação de temperatura é pequena após atingir a temperatura de equilíbrio.

Figura 26 – Termômetro - Temperatura 0h



Fonte: O próprio autor.(2018)

Tabela 9 – Variação de temperatura

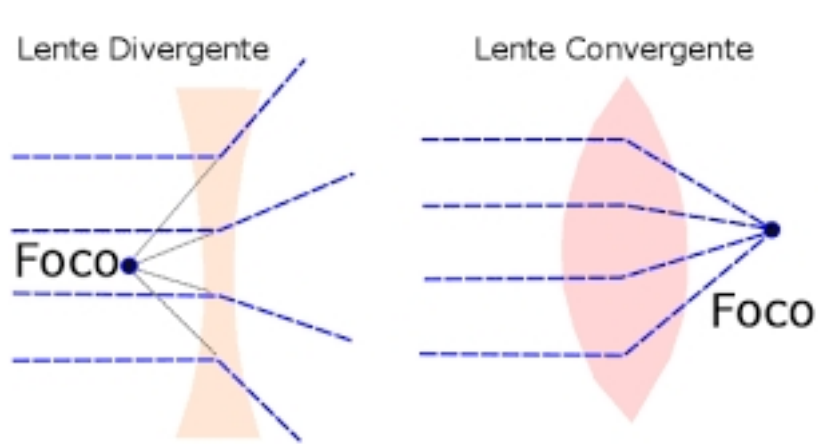
Tempo de operação	Temperatura
0h	28°C
1h	47°C
2h	57°C
3h	60°C
4h	62°C
5h	62°C
6h	63°C
7h	62°C

3.4 DIMENSIONAMENTO DE LENTES

3.4.1 Lentes - Conceito

A lente é um objeto constituído de vidro ou plástico, translucido ou fosco, convergente ou divergente. É um elemento que atua por refração, permitindo a passagem da luz e direcionando-a conforme o aspecto construtivo. Na Figura 29 nota-se os dois tipos construtivos mais comuns. As lentes divergentes fazem com que os raios se espalhem, já as convergentes direcionam os raios em um único ponto focal. Para o protótipo escolheu-se a lente divergente, uma vez que a luz produzida nos LEDs são concentradas em um ponto e o intuito é justamente espalhar essa luz.

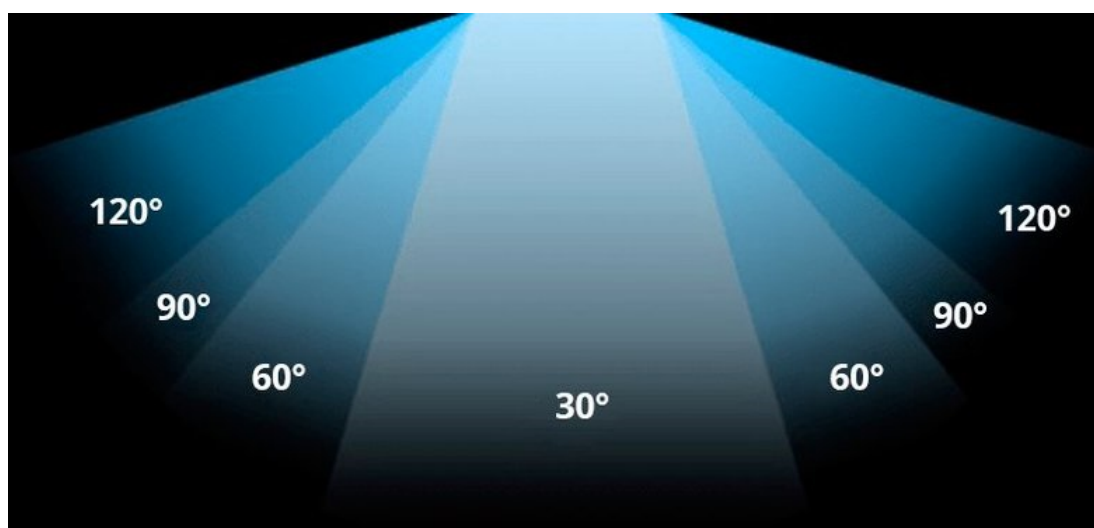
Figura 27 – Lente Convergente e Divergente



Fonte: (ARANDA, 2018, PG.1,)

Nota-se na Figura 30 como o ângulo de uma lente divergente consegue influenciar na potência e na área de cobertura em que a luz chega a um objeto. Conforme o ângulo aumenta maior é a área de cobertura, porém menor a intensidade de luz.

Figura 28 – Lente - Ângulos de abertura



Fonte: (SXLIGHTING, 2017,)

3.4.2 Ângulo de abertura

O ângulo de abertura é fundamental para a aplicação na qual a luminária será empregada, a altura em que o equipamento é instalado influencia diretamente na área de cobertura de sua luz.

O protótipo atende uma área de 60x60cm, para isso necessita ser instalado na altura correta, a lente de 90° foi selecionada para tal aplicação .

Utilizando-se do teorema de Pitágoras temos a relação abaixo dada pela Equação 9:

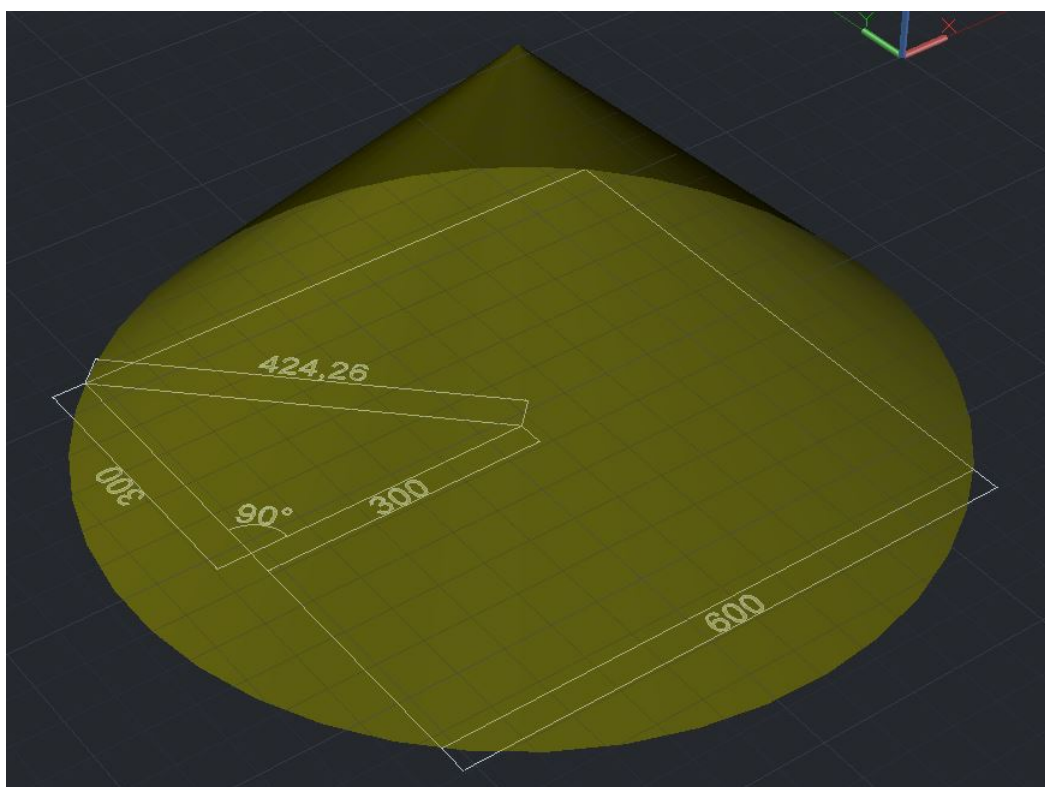
$$\frac{b^2 + c^2}{a^2} = 1 = \cos^2\theta + \sin^2\theta \quad (9)$$

Pelo teorema da identidade trigonométrica temos $\sin\theta = \frac{b}{c}$ e $\cos\theta = \frac{a}{c}$, sendo $c = x$ e $\theta = 90^\circ$ a Equação 10 deixa claro que a altura da luminária será o raio de abertura do feixe de luz:

$$\sin(90^\circ) = \frac{b}{c} \rightarrow 1 = \frac{b}{x} \rightarrow x = b \quad (10)$$

A Figura 31 desenvolvida no Software AutoCad da AutoDesk, exemplifica a altura e a abertura da luz que a lente de 90° é fixada para obter-se a cobertura total do plano de 60x60cm.

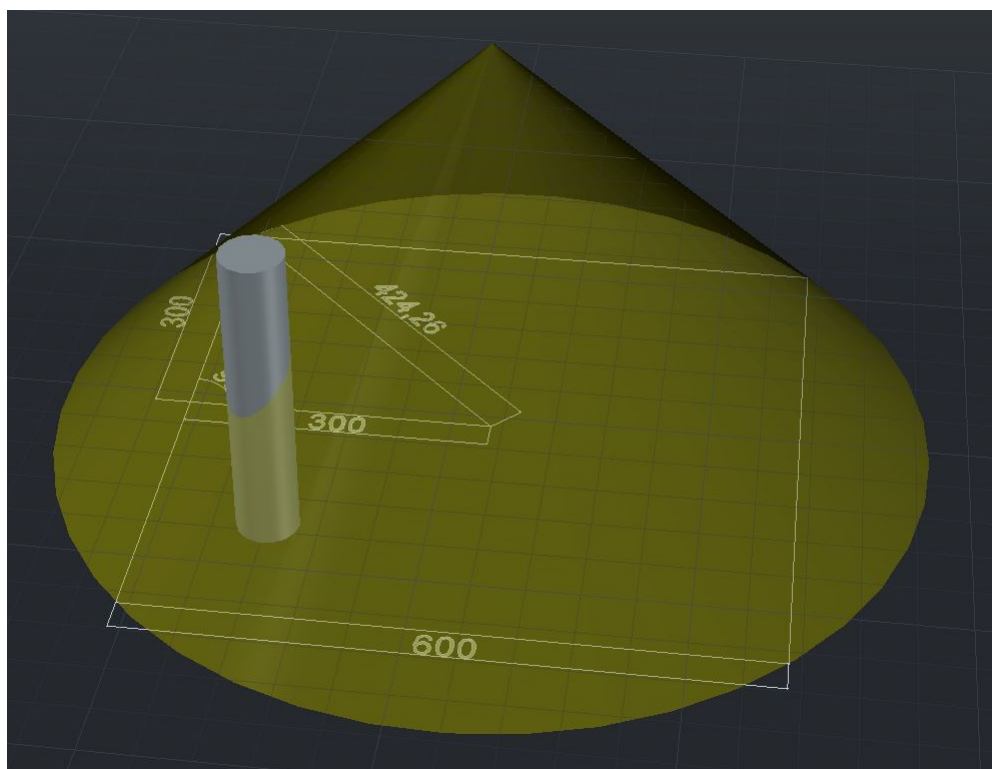
Figura 29 – Lente - Área de cobertura



Fonte: O próprio autor.(2019)

Contudo, estuda-se caso a caso, uma vez que esse plano pode conter objetos em suas extremidades e que não se encontram dentro da faixa de cobertura. Na Figura 32 verifica-se um caso desses, cujo objeto é um cilindro com 300mm de altura, posicionado na extremidade, nota-se que a parte superior do objeto não recebe luz adequadamente, devido a isso, deve-se verificar novamente a altura da luminária com a finalidade de cobrir os objetos no plano z.

Figura 30 – Lente - Objeto cilíndrico no plano z



Fonte: O próprio autor.(2019)

Utilizou-se da lente de polimetilmetacrilato(PMMA) de 90° de alta transmitância: 90 a 93%, Figura 33. Efetuou-se a compra com a empresa DualShop com sede em Curitiba - PR. A alta transmitância da lente é ideal para que a luz ultrapasse o material PMMA sem grandes perdas. Tal lente permite a passagem de 90 a 93% de toda a luz gerada pelo LED com perda média de 8,5% da luz.

A luz ao atravessar os meios gera grandes perdas. Pode-se mensurar algumas, entretanto o feixe de luz ao atravessar a coluna d'água é influenciado por diversos fatores. Segundo o Prof. Dr. José Fernandes Bezerra Neto da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), especialista em limnologia, são cinco os fatores que atrapalham a penetração da luz na água:

1º Da quantidade de luz que chega ao espelho d'água.

- 2º Zona Fótica.
- 3º Transparência da água.
- 4º Dispersão pelas moléculas de água.
- 5º Bactérias e pigmentos de algas.

Figura 31 – Lente - Objeto cilíndrico no plano z



Fonte: (DUALSHOP, 2018,)

Infelizmente neste trabalho não se dispôs de nenhum equipamento para medir os parâmetros citados. O equipamento correto para aferição da potência e eficiência de fotossíntese é o PAR com a sonda IP68. O grau de proteção IP são padrões internacionais definidos pela norma IEC 60529. Um equipamento com grau IP68 pode sofrer imersão na água por 2h até 3m.

Como disposto acima realizou-se cálculos através do software Spectra1023. Os dados de entrada do programa estão dispostos nesse trabalho.

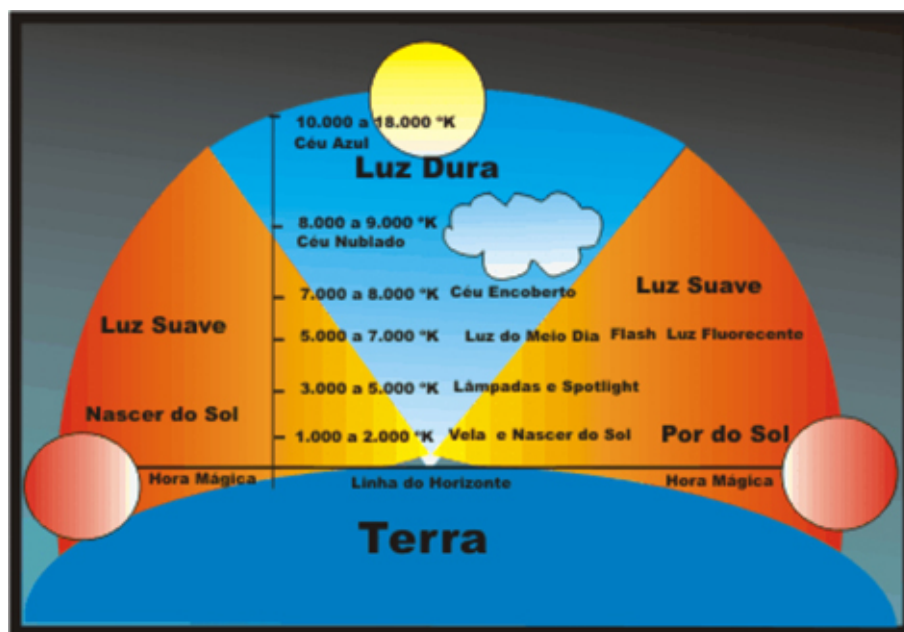
3.5 SIMULAÇÃO DO FOTOPERÍODO

3.5.1 Fotoperíodo

O fotoperíodo é o termo botânico utilizado para designar o tempo em exposição a luz solar que os seres vivos exigem para se desenvolverem de modo adequado. A luz solar sofre grandes variações ao longo do dia, em intensidade, e temperatura de cor, influenciada pela latitude e época do ano. Cada organismo habituou-se a um determinado fotoperíodo, caso o tempo de luz seja maior ou menor o ser vivo sofre alterações, podendo se desenvolver mais ou menos, dependendo de cada ser.

Ao longo do dia a temperatura de cor muda drasticamente, como observado na Figura 34, variando de 2000 a 15000K. Tal processo é fundamental para que os organismos possam se regular. O ser humano também sofre com as tais alterações, regulando o seu relógio interno tal processo libera quantidades de hormônios responsáveis pelo sono e o despertar.

Figura 32 – Fotoperíodo diário



Fonte: (EDNA, 2010,)

A intensidade solar varia conforme o fotoperíodo, apresentando baixa intensidade no início do dia e pico máximo ao meio dia. Nuvens e qualidade do ar interferem diretamente na quantidade de luz que adentra a atmosfera do planeta, a qual atenua os raios solares. A maior atenuação se dá na faixa Ultra-Violeta (UV), evitando-se mutações genéticas nos seres vivos.

Diante das informações apresentadas, constata-se a necessidade de um controlador, para que a luminária inicie em potência e temperaturas de cor baixas e ao longo do fotoperíodo suba tais valores até o pico máximo e depois decair até o seu término.

3.6 CONTROLADOR

O driver PT4115 apresentado neste trabalho possui controle via PWM para controle da intensidade de luz, escolheu-se a placa de desenvolvimento Arduino Nano V3.0, controlada pelo Chip ATmega328. O ATmega328 é dotado de saídas digitais para controle PWM e demais protocolos para comunicação com periféricos.

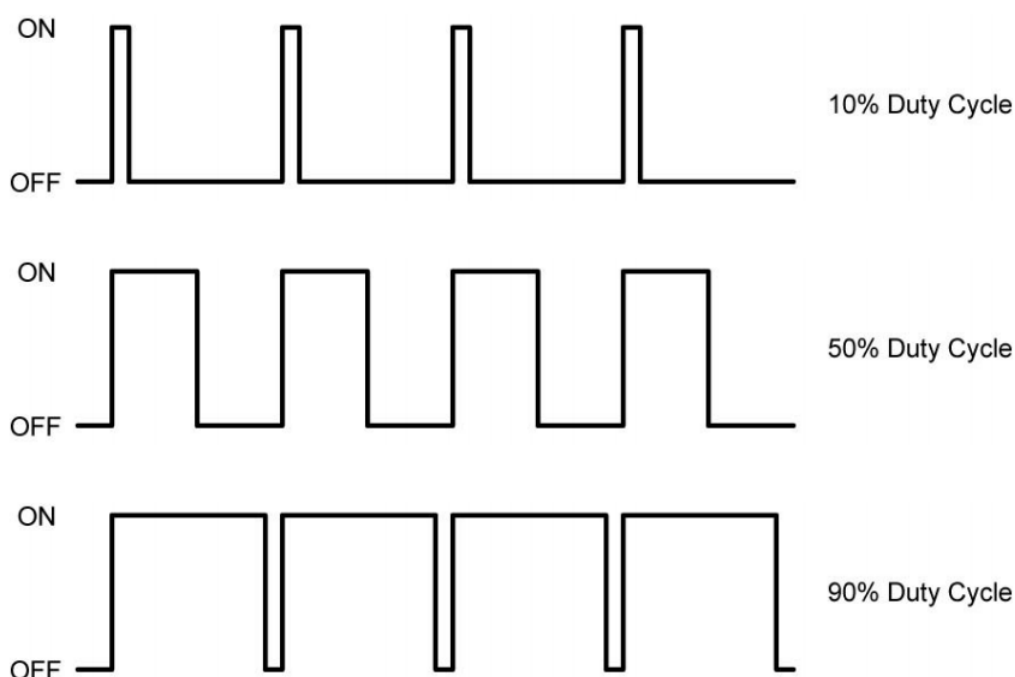
3.6.1 Pulse Width Modulation - PWM

A modulação por largura de pulso permite o controle de cargas, através de chaveamento em alta frequências. Tal técnica é utilizada para permitir o controle de iluminação, servomotores, inversores de frequência, dentre outras aplicações no campo da eletrônica de potência.

O *duty cycle* (Ciclo Ativo) é a relação entre o tempo de fornecimento de energia (*on*) e o sem energia (*off*). A soma dos dois tempos t_{on} e t_{off} corresponde há um período T , sendo $T = (t_{on}) + (t_{off})$.

Verifica-se pela Figura 35 alguns valores de *duty cycle*. Nota-se que sendo maior o tempo t_{on} maior a energia fornecida para a carga, sendo maior o t_{off} menor a energia.

Figura 33 – Duty Cycle - PWM



Fonte: (MECAWEB, 2015,)

3.6.2 Protocolo I2C

O protocolo I2C é responsável por estabelecer uma relação hierárquica entre Mestre/Escravo, utilizando-se de um barramento com duas vias. O mestre tem a função de requisitar e coletar as informações provenientes dos dispositivos escravos. Esse ultimo submete-se entregando dados ao mestre.

O barramento é endereçável. Pode-se controlar até 112 dispositivos no intervalo hexadecimal de 0x08 a 0x77. O barramento é composto pelo SDA (*Serial Data*), o qual é responsável

pela troca de dados entre os dispositivos conectados ao arranjo. O outro barramento denominado SCL (*Serial Clock*) é responsável por sincronizar os dados, afim de evitar dados corrompidos.

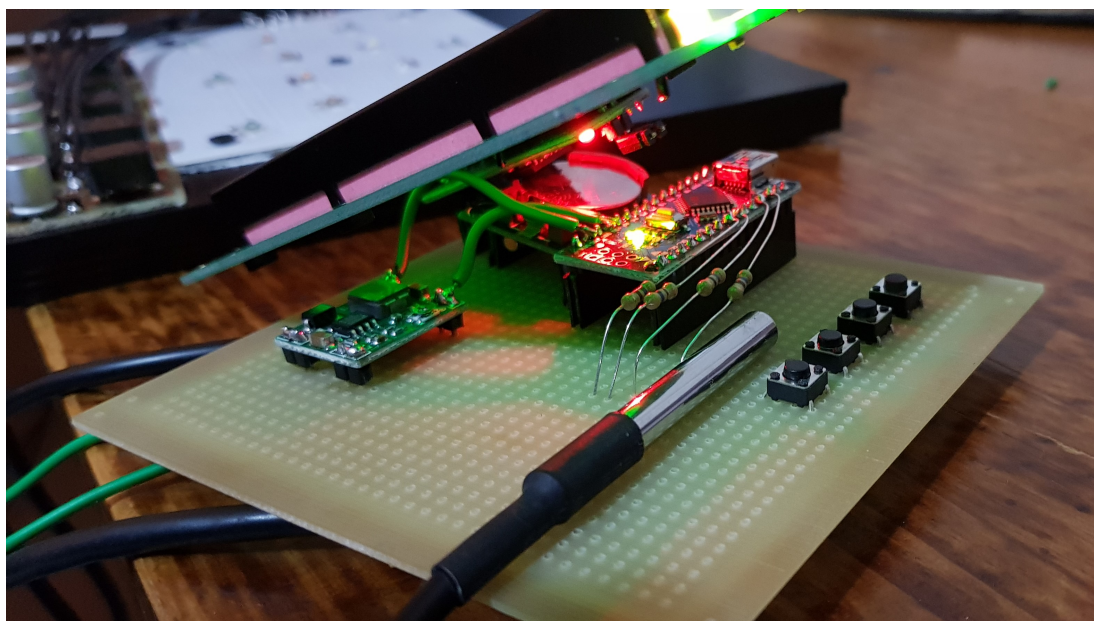
3.6.3 Desenvolvimento do controlador

O controlador baseado no Arduino Nano V3.0, utiliza-se de dispositivos periféricos, os intens utilizados estão listados abaixo:

- 1º Arduino Nano V3.0;
- 2º Display LCD 20x4 caracteres - I2C;
- 3º *Real Time Clock* - DS1307 - I2C;
- 4º Sonda de temperatura - DS18B20 - I2C;
- 5º Conversor *Step Down* - MP1584EN.

Nota-se pela Figura 36 que os dispositivos utilizados foram dispostos em uma placa perfurada para montagem de componentes eletrônicos.

Figura 34 – Placa de controle



Fonte: O próprio autor.(2019)

O pinos responsáveis pelo controle PWM (D5,D6,D9 e D10) foram conectados aos *Drivers* PT4115 da luminária. A programação responsável por todos os controles encontra-se no Apêndice A, utilizou-se a linguagem C e C++ no desenvolvimento de todo o código. Nota-se no programa que bibliotecas auxiliares foram incorporadas, uma vez que cada periférico contempla um código próprio para cada comando.

O ambiente de compilação utilizado neste trabalho foi a o Software IDE do Arduino,

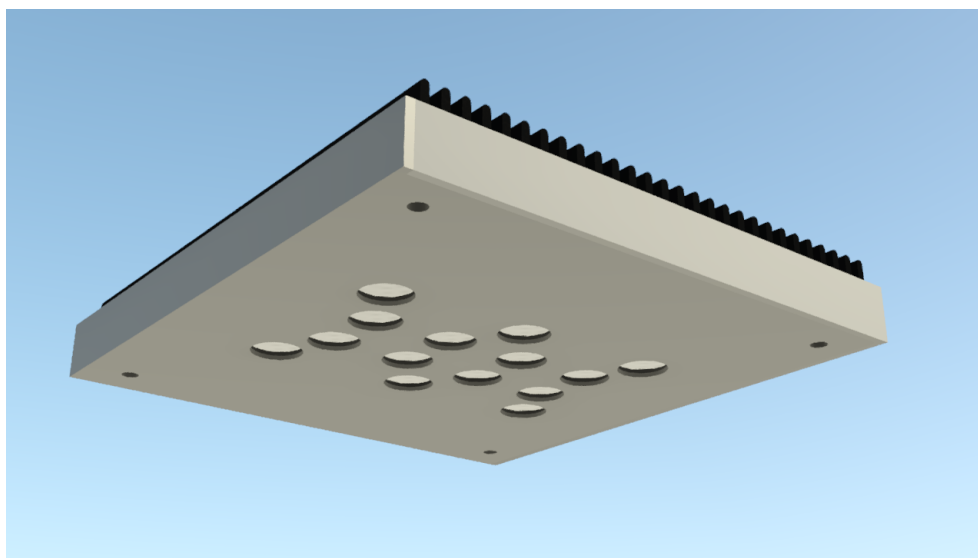
sendo *open source* (Código Aberto) de versão 1.8.7 encontrado para download gratuito em: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

3.7 DESENHO E CONSTRUÇÃO DO MODELO

3.7.1 Modelo 3D

Através de todos os estudos já realizados neste trabalho, pode-se planejar o desenho em 3D utilizando o software Autocad. O modelo apresentado pela Figura 37 demonstra as características externas da luminária. Nota-se que o acabamento realizado esconde todos os fios e componentes eletrônicos presentes dentro de sua capa plástica, permitindo somente a passagem da luz através das lentes.

Figura 35 – Modelo 3D conceitual



Fonte: O próprio autor.(2019)

3.7.2 Modelo Real

Vários processos foram empregados durante a montagem. Fez-se necessário o uso de furadeira com broca para aço rápido de 2,5mm, uma vez que utilizou-se um macho de rosca M3 realizando assim as roscas para a fixação adequada da MCPCB(*Metal Core Printed Circuit Board*) com os leds. Cortou-se a capa plástica de Poliestireno (PS) utilizando uma CNC(*Computer Numeric Control*) laser de 90w, baseados no desenho feito no AutoCad 2d.

Com as peças em mãos fez-se necessário o uso da cola Sinteglas S-320 para união dos cortes e lentes, formando assim a capa utilizada. Na Figura 38, apresenta o processo de colagem.

Figura 36 – Capa plástica



Fonte: O próprio autor.(2019)

Para a alimentação de todo o circuito, escolheu-se a fonte chaveada de 24V de 120w pico, fornecendo a tensão para todo o sistema inclusive o controlador. A Figura 39 mostra a luminária em teste de temperatura, onde percebe-se a fonte de alimentação e os LEDs em funcionamento.

Constatou-se após o teste de temperatura que mesmo que o cooler trave ou queime a temperatura do sistema fica abaixo da crítica, preservando assim a vida útil dos leds.

O *Driver* PT4115, é dotado de comparadores e caso a fonte de alimentação não possa fornecer a tensão correta o mesmo começa a piscar os LEDs, durante os primeiros 5 minutos. Com a luminária na potência máxima observou-se tal efeito, e foi necessário o ajuste na fonte de alimentação de 24,8V para 26,7V. Após o aumento de tensão o problema findou-se.

Para a alimentação do cooler de 12v fez-se necessário um Conversor *Step Down DC-DC*, que permite o ajuste de tensão. O ajuste foi feito e a tensão fixada em 11,5V. Esse valor somente é valido tomando como base a tensão de entrada da fonte de 26,7V.

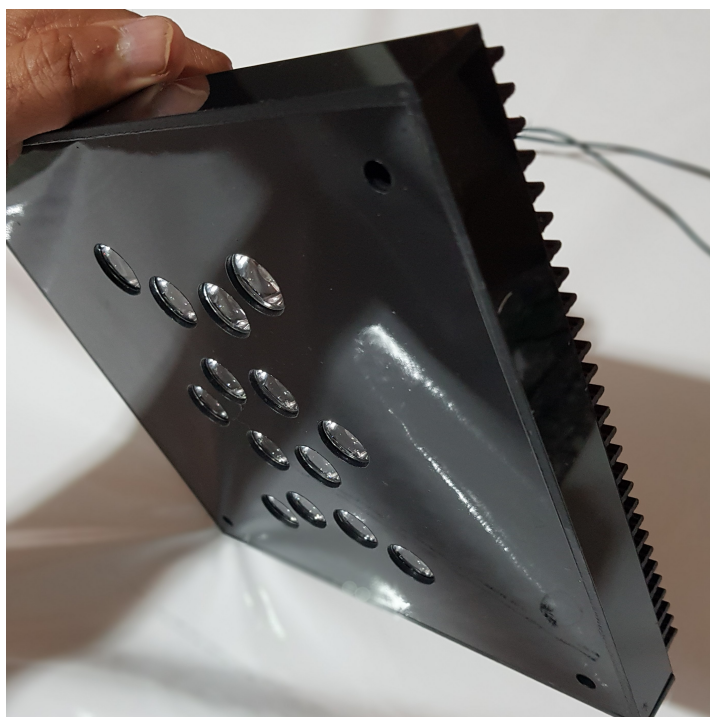
Figura 37 – Capa plástica



Fonte: O próprio autor.(2019)

Observa-se através da Figura 40 o acabamento final que a luminária recebeu ao se colocar a capa de PS e as respectivas lentes. Pode-se comparar o modelo real com o virtual, uma vez que o mesmo está em acordo com o projetado.

Figura 38 – Protótipo acabado



Fonte: O próprio autor.(2019)

A Figura 41 apresenta o display com as informações, sendo o Arduino o responsável pelo controle e dimerização dos LEDs. O equipamento encontra-se funcional e operando em um pequeno mudario de corais.

Figura 39 – Tela de controle



Fonte: O próprio autor.(2019)

4 CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido neste trabalho, atende todos os aspectos dispostos anteriormente, todo o estudo prévio foi aplicado em cada etapa do desenvolvimento do modelo real. Nota-se a semelhança de resultados obtidos entre valores calculados e os encontrados através das medições. Entretanto deve-se realizar a proteção dos componentes com grau IP66 para que os vapores de água salgada não danifique o equipamento.

Este trabalho permite o uso de luz artificial de qualidade para manter e reproduzir corais, sendo eles SPS ou LPS, facilitando assim estudos in loco nas universidades, não sendo necessário deslocar uma grande quantidade de material e equipamentos até a costa marinha.

Limitou-se o estudo apenas aos corais, porém pode-se estender para cultivos vegetais como grandes e pequenas estufas hidropônicas, start de sementes através da intensidade de luz e outras aplicações que necessitem de uma fonte luminosa de qualidade com um alto PAR. Todo o estudo e desenvolvimento relacionado ao acionamento e demais itens externos a cores dos LEDs, podem ser aplicados para outras culturas de seres vivos, porém faz-se necessário o estudo prévio dos elementos essenciais para o correto desenvolvimento deles.

Sugere-se um estudo mais aprofundado sobre o espectro luminoso fornecido pelo sol ao longo do ano, pois a intensidade e demais parâmetros variam com as estações, tal estudo é fundamental para que se possa obter resultados melhores e assim fornecer uma iluminação de alta eficiência e que garanta a coloração dos corais e seres vegetais idênticas às encontradas na natureza.

Os processos necessários para o desenvolvimento deste projeto, abrange áreas muito distintas, pois foi necessário o estudo aprofundado de biologia, conhecendo os processos físico-químicos dos corais para assim escolher os parâmetros de luz, além é claro de todos os tópicos relacionados a Eng. mecânica, como o dimensionamento do dissipador, tópicos não explanados durante a graduação.

REFERÊNCIAS

- 2.BP, 2016. *Zooxantela*. Disponível em: <<https://2.bp.blogspot.com/-s1jhKsL6M2s/VsaQQxc1ptI/AAAAAAAAACkU/J9b46x8pyyk/s1600/zooxan.jpg>>. Acesso em: 22 de out. 2018.
- ANDREW,2002. **Propeties of lighth**. Disponível em: <<http://reefkeeping.com/issues/2002-03/atj/index.php>>. Acesso em: 05 de dez. 2018.
- ARANDA, 2018, PG.1. **Lentes convergentes y divergentes**. Disponível em: <<https://docplayer.es/85967310-Lentes-convergentes-y-divergentes.html>>. Acesso em: 13 de jun. 2019.
- BENEL, 2015. **CRI**. Disponível em: <<https://www.benel.nl/bestanden/afbeelding/Adviespagina/822-cri.jpg>>. Acesso em: 22 de out. 2018.
- CREE, 2017,PG.16. **Electrical Characteristics**. Disponível em: <<https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampXPE-25A.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2018.
- CREE, 2017,PG.18. **Electrical Characteristics**. Disponível em: <<https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampXPE-25A.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2018.
- DANTAS, CARVALHO E NETO, 2003. **Radiação solar**. Disponível em: <http://deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/Agrometeorologia/5%20-%20RADIACAO%20SOLAR.pdf>. Acesso em: 28 de nov. 2018.
- DECOR, 2015. **Lâmpadas menor diâmetro**. Disponível em: <<http://construindodecor.com.br/wp-content/uploads/2014/07/lampadas-menor-diametro.jpg>>. Acesso em: 03 de nov. 2018.
- DMITRY, 2012. **Light absorption by zooxanthellae**. Disponível em: <http://reefclub.com.br/portal/wp-content/uploads/2015/11/04_Fig.-4-Absor%C3%A7%C3%A3o-de-luz-pelas-zooxantelas.jpeg>. Acesso em: 22 de out. 2018.
- DMITRY, 2012. **Penetration of light into seawater, depending on wavelength**. Disponível em: <http://reefclub.com.br/portal/wp-content/uploads/2015/11/02_Fig.-2-Penetra%C3%A7%C3%A3o-da-luz-na-%C3%A1gua-salgada-em-fun%C3%A7%C3%A3o-do-comprimento-de-onda.jpeg>. Acesso em: 22 de out. 2018.
- DMITRY AND GANAPETYAN,2012. **Feature Article: Light in the Reef Aquaria**. Disponível em: <<https://www.advancedaquarist.com/2012/10/aafeature>>. Acesso em: 22 de out. 2018.
- DUALSHOP, 2018. **Lente 90 Graus**. Disponível em: <<https://www.dualshop.com.br/lente-colimadora-em-pmma-jr-20-90-20mm-p-leds-edison>>. Acesso em: 13 de jun. 2019.
- EDNA, 2010. **Temperatura de cor**. Disponível em: <<http://ednaabreuucga.blogspot.com/2010/04/temperatura-de-cor.html>>. Acesso em: 13 de jun. 2019.
- EVE, 2015. **Indoor farming**. Disponível em: <<https://inhabitat.com/philips-groundbreaking-new-growwise-indoor-farm-will-revolutionize-food-production/>>. Acesso em: 10 de jun. 2019.
- FILHO, MIRANDA E SILVEIRA,2012. **Fotossíntese**. Disponível em: <<http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/FOTOSSINTESE.pdf>>. Acesso em: 02 de dez. 2018.

FRANK, 2011. **Espectro visível pelo olho humano(Luz)**. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/36/Electromagnetic_spectrum_-pt.svg/1280px-Electromagnetic_spectrum_-pt.svg.png>. Acesso em: 12 de out. 2018.

KELLEY, 2012. **Adsorption and emission wavelengths for fluorescent pigments available in marine organisms**. Disponível em: <http://reefclub.com.br/portal/wp-content/uploads/2015/11/08_Fig.-8-Absor%C3%A7%C3%A3o-e-emiss%C3%A3o-de-comprimentos-de-onda.jpeg>. Acesso em: 22 de out. 2018.

LEGNAIOLI, 2014. **Fazenda vertical: o que é, vantagens e desvantagens**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/6180-fazenda-vertical>>. Acesso em: 14 de jun. 2019.

MECAWEB, 2015. **Duty Cycle - PWM**. Disponível em: <http://www.mecaweb.com.br/electronica/content/e_pwm>. Acesso em: 13 de jun. 2019.

MELLO, 1965. **Dissipadores de calor para componentes de semicondutores**. Disponível em: <<http://hamello.com/PDF/DissipadoresdeCalor.pdf>>. Acesso em: 05 de dez. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013. **Características de sistemas de iluminação artificial**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/CARACT%20DE%20SIST%20DE%20ILUM%20ARTIF-%20CEPEL_CATE%20-%202013.pdf>. Acesso em: 25 de out. 2018.

NUNES, 2013. **Luz para plantas**. Disponível em: <<http://www.bussinesstour.com.br/uploads/arquivos/ab76bad84d40c949d0a114265b94840a.pdf>>. Acesso em: 25 de out. 2018.

OSRAM, 2000. **Manual luminotécnico prático**. Disponível em: <<https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 15 de nov. 2018.

POWTECH, 2015, PG.1. **Typical Application Circuit**. Disponível em: <<https://people.xiph.org/~xiphmont/thinkpad/PT4115E.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2018.

RODRIM, 2018. **Temperatura de cor**. Disponível em: <<http://www.trancil.com.br/wp-content/uploads/2018/06/temperaturadacor-1200x565.png>>. Acesso em: 22 de out. 2018.

SABER ELETRÔNICA, 2011, PG.21. **Convecção e Irradiação**. Disponível em: <RevistaSaberEletrônicaEd.458>. Acesso em: 21 de nov. 2018.

SABER ELETRÔNICA, 2011, PG.22. **Circuito Térmico**. Disponível em: <RevistaSaberEletrônicaEd.458>. Acesso em: 21 de nov. 2018.

SXLIGHTING, 2017. **Lente - Ângulos de abertura**. Disponível em: <<https://sxlighting.com.br/>>. Acesso em: 13 de jun. 2019.

TI, 2016, PG.12. **Precision Current-Limiter Circuit**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2018.

TROPICA, 2012. **Light**. Disponível em: <<https://tropica.com/en/guide/make-your-aquarium-a-success/light/>>. Acesso em: 2 de nov. 2018.

VIRTUOUS, 2009. **Aborção clorofilas**. Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/figuras/bioquimica/aborcao_clorofifas.jpg>. Acesso em: 15 de out. 2018.

WWC, 2018. **Coral farming from World Wide Corals(WWC)**. Disponível em: <<https://cdn.shopify.com/s/files/1/0021/4958/0912/files/farmtopdown.jpg>>. Acesso em: 10 de jun. 2019.

APÊNDICE A – Código fonte - Controlador Fotoperíodo

```

#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <math.h>
#include <EEPROM.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Porta do pino de sinal do DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 12

// Define uma instancia do oneWire para comunicacao com o sensor
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(oneWire);
DeviceAddress sensor1;
RTC_DS1307 RTC;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3,POSITIVE); Define os pinos utilizados pelo
lcd.

int a=0;
int led_6500k = 5; ///////////////////////////////////
int led_15000k = 6; ////////////////////////////////// PWM LEDS //////////////////////////////////
int led_red = 9; ///////////////////////////////////
int led_blue = 10; ///////////////////////////////////
int bot_pwm = 2; // Botão para variar a potência dos leds.
int bot_mais = 4; // Botão para incrementar.
int bot_menos = 7; // Botão para decrementar.
int bot_timer = 8; // Botão para ajuste do timer.
int val_pwm = 0; ///////////////////////////////////
int val_mais = 0;//////////////////////////////// Variaveis para ler////////////////////////////////
int val_menos = 0;//////////////////////////////// os botões////////////////////////////////
int val_timer = 0;/////////////////////////////////
int lm35cooler=7 ; // Define A7 como o ponto do lm 35 sensor dos coolers.
float temp1=0; ///////////////////////////////////

```

```

float Vsensor1=0;//////// Variaveis Temperatura////////
float media1=0;////////////////////////////////////////
int i=0;////////////////////////////////////////
int d=0;
float media=0;////////////////////////////////////////
float led_6=0; //////////////////////////////////
float led_15=0;/// Armazena o valor do PWM //////////
float led_r=0;////////////////////////////////////////
float led_b=0; //////////////////////////////////
float led_60=0; //////////////////////////////////
float led_150=0; //Armazena o valor do PWM subida //
float led_r0=0;////////////////////////////////////////
float led_b0=0; //////////////////////////////////
float valor_pwm = 0;
int valor_min = 0;
int valor_hora = 0;
int horaon = 0;
int minutoon = 0;
int horaoff = 0;
int minutooff = 0;
int horareal = 0;
int minutoreal = 0;
int temporeal=0;
int tempoon=0;
int tempooff=0;
int porc = 0;
int cont=0;
void mostra_endereco_sensor(DeviceAddress deviceAddress)
for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
// Adiciona zeros se necessário
if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
void setup ()

```

```

Serial.begin(9600);

lcd.begin(20, 4); // Diz para o Arduino que o display é 20x4;.

lcd.print("Control. Fotoperiodo"); // Manda o texto para a tela do display

pinMode(lm35cooler,INPUT); // A0 como entrada.

pinMode(bot_pwm,INPUT);

pinMode(bot_mais,INPUT);

pinMode(bot_menos,INPUT);

pinMode(bot_timer,INPUT);

pinMode(led_6500k,OUTPUT);

pinMode(led_15000k,OUTPUT);

pinMode(led_red,OUTPUT);

pinMode(led_blue,OUTPUT);

Wire.begin();

RTC.begin(); // Localiza e mostra enderecos dos sensores

Serial.println("Localizando sensores DS18B20...");

Serial.print("Foram encontrados ");

Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);

Serial.println("sensores.");

if (!sensors.getAddress(sensor1, 0))

Serial.println("Sensores nao encontrados !");

// Mostra o endereco do sensor encontrado no barramento

Serial.print("Endereco sensor: ");

mostra_endereco_sensor(sensor1);

Serial.println();

Serial.println();

if (! RTC.isrunning())

lcd.print("RTC Desconectado!");

// following line sets the RTC to the date time this sketch was compiled

RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));

void Temp1()

// Le a informacao do sensor

sensors.requestTemperatures();

float tempC = sensors.getTempC(sensor1);

```

```

lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Temp.: ");
lcd.print(tempC);
Serial.println(tempC);
Serial.flush();
lcd.print("C ");
void rtc()
DateTime now = RTC.now();
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(now.day(), DEC);
lcd.print('/');
lcd.print(now.month(), DEC);
lcd.print('/');
lcd.print(now.year(), DEC);
lcd.print();
lcd.print(now.hour(), DEC);
lcd.print(':');
lcd.print(now.minute(), DEC);
lcd.print(':');
lcd.print(now.second() , DEC);
lcd.print();
float signal()
while(val_pwm==LOW)
val_pwm=digitalRead(bot_pwm);// ler o valor.
val_mais=digitalRead(bot_mais);
delay(100);
if(val_mais == HIGH)
valor_pwm = valor_pwm + (12.75);
porc=porc+5;
if(porc > 100)
valor_pwm=255;
porc=100;
val_menos=digitalRead(bot_menos);

```

```

delay(100);
if(val_menos == HIGH)
valor_pwm = valor_pwm - (12.75);
porc=porc-5;
if(porc < 0)
valor_pwm=0;
porc=0;
lcd.setCursor(16,3);
lcd.print(porc);
lcd.print("
return (valor_pwm);
void pw()
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Escolha o Led ");
delay(500);
while(cont!=5)
val_pwm=digitalRead(bot_pwm);// ler o valor.
delay(200);
if(val_pwm == HIGH)
cont++;
if(cont==1)
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Led Branco: ");
led_15 = signal();
EEPROM.write(0,led_15);
analogWrite(led_15000k, led_15);
if(cont==2)
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Led UV: ");
led_6 = signal();
EEPROM.write(1,led);
analogWrite(led_6500k, led_6);
if(cont==3)

```

```

lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Led Azul: ");
led_b = signal();
EEPROM.write(2,led_b);
analogWrite(led_blue, led_b);
if(cont==4)
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Led G/R: ");
led_r = signal();
EEPROM.write(0,led_r);
analogWrite(led_red, led_r);
float timer_min()
while(val_timer==LOW)
val_timer=digitalRead(bot_timer);// ler o valor.
val_mais=digitalRead(bot_mais);
delay(100);
if(val_mais == HIGH)
valor_min ++;
if(valor_min > 59)
valor_min = 0;
val_menos=digitalRead(bot_menos);
delay(100);
if(val_menos == HIGH)
valor_min --;
if(valor_min < 0)
valor_min = 59;
lcd.setCursor(12,3);
lcd.print(valor_min);
lcd.print();
return (valor_min);
float timer_hora()
while(val_timer==LOW)
val_timer=digitalRead(bot_timer);// ler o valor.

```

```

val_mais=digitalRead(bot_mais);
delay(100);
if(val_mais == HIGH)
    valor_hora ++;
if(valor_hora > 23)
    valor_hora = 0;
val_menos=digitalRead(bot_menos);
delay(100);
if(val_menos == HIGH)
    valor_hora --;
if(valor_hora < 0)
    valor_hora = 23;
lcd.setCursor(10,3);
lcd.print(valor_hora);
lcd.print();
return (valor_hora);
void timer()
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("Timer ON/OFF ");
    delay(500);
    while(cont!=5)
        val_timer=digitalRead(bot_timer);// ler o valor.
        delay(200);
        if(val_timer == HIGH)
            cont++;
        if(cont==1)
            lcd.setCursor(0,3);
            lcd.print("Hora ON: ");
            horaon = timer_hora();
            EEPROM.write(6,horaon);
        if(cont==2)
            lcd.setCursor(0,3);
            lcd.print("Minuto ON: ");

```

```

minutoon = timer_min();
EEPROM.write(7,minutoon);
if(cont==3)
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Hora OFF: ");
horaoff = timer_hora();
EEPROM.write(8,horaoff);
if(cont==4)
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Minuto OFF: ");
minutooff = timer_min();
EEPROM.write(9,minutooff);
void relogio()
DateTime now = RTC.now();
horareal=(now.hour());
minutoreal=(now.minute());
horaon = EEPROM.read(6);
minutoon = EEPROM.read(7);
horaoff = EEPROM.read(8);
minutooff = EEPROM.read(9);
led_15 = EEPROM.read(0);
led_6 = EEPROM.read(1);
led_b = EEPROM.read(2);
led_r = EEPROM.read(3);
temporeal=((horareal)*60)+(minutoreal);
tempoon=((horaon)*60)+(minutoon);
tempooff=((horaoff)*60)+(minutooff);
if((temporeal>=tempoon) (temporeal<=tempooff))
subida();
else
descida();
void subida()
led_15 = EEPROM.read(0);

```

```

led_6 = EEPROM.read(1);
led_b = EEPROM.read(2);
led_r = EEPROM.read(3);
if(led_60<led_6)
led_60 ++;
delay(100);
analogWrite(led_6500k, led_60);
if(led_150<led_15)
led_150++;
delay(100);
analogWrite(led_15000k, led_150);
if(led_r0<led_r)
led_r0++;
delay(100);
analogWrite(led_red, led_r0);
if(led_b0<led_b)
led_b0++;
delay(100);
analogWrite(led_blue, led_b0);
void descida()
if(led_60!=0)
led_60--;
delay(100);
analogWrite(led_6500k, led_60);
if(led_150!=0)
led_150--;
delay(100);
analogWrite(led_15000k, led_150);
if(led_r0!=0)
led_r0--;
delay(100);
analogWrite(led_red, led_r0);
if(led_b0!=0)

```

```

led_b0--;
delay(100);
analogWrite(led_blue, led_b0);
void Azul()
a=1;
analogWrite(led_6500k,0);
analogWrite(led_15000k, 0);
analogWrite(led_red, 0);
analogWrite(led_blue, 255);
if(a=1)
delay(30000);
void loop ()
val_pwm=digitalRead(bot_pwm);// ler o valor.
delay(20);
if(val_pwm == HIGH)
pw();
cont=0;
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print();
val_timer=digitalRead(botz_timer);// ler o valor.
delay(20); if(valz_timer == HIGH)
timer(); cont=0;
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print();
val_menos=digitalRead(bot_menos);
delay(20);
val_mais=digitalRead(bot_mais);
delay(50);
if(val_mais == HIGH)
Azul();
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print();
lcd.setCursor(0,3);

```

```
lcd.print("Modo Azul ");  
rtc();  
Temp1();  
relogio();  
delay(200);
```