

Universidade Federal do Paraná

Vinicius Renan de Souza

Desenvolvimento de driver para LED de potência com dimerização e comunicação remota

Curitiba

2018

Vinicius Renan de Souza

**Desenvolvimento de driver para LED de potência com controle de
potência e sistema de comunicação remota**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica no curso de graduação de Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas Eletrônicos Embarcados, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk

Curitiba

2018

RESUMO

O presente trabalho refere-se ao projeto e construção de protótipo de fonte controlada de corrente de forma remota capaz de controlar a intensidade luminosa de um LED de potência. A fonte de corrente foi dimensionada para entregar 50 W para o LED aplicado em sua saída no caso de maior brilho para o mesmo, sendo este controlado por forma serial ou Wi-Fi, permitindo o controle de qualquer lugar via internet. A aplicação deste protótipo tem como foco as luminárias utilizadas para a cenotecnia em que tem-se a preocupação com ruídos sonoros e qualidade visual da luz, de forma que não seja afetada a qualidade do espetáculo ou peça onde esse projeto se encontra. Essas são duas qualidades as quais fazem parte dos desafios deste projeto, considerando a grande potência requisitada para um LED e a grande quantidade de temperatura concentrada no entorno do emissor de luz, a qual facilmente pode vir a queimar ou danificar o equipamento, fato o qual foi observado na exposição “Luz, Ciências e Emoção”, em que pretende-se aplicar este projeto para corrigir fatos como este e facilitar o gerenciamento a distância desta exposição. A metodologia aplicada no projeto foi dividida em levantamento teórico-bibliográfico, dimensionamento do conversor tipo *boost* e principais componentes do sistema, elaboração de código de programação para o microcontrolador, elaboração de um primeiro protótipo funcional e testes, dimensionamento do sistema de dissipação de calor e por fim elaboração de um protótipo final e testes finais. O Protótipo foi capaz de controlar a luminosidade do LED, dado comando recebidos por duas formas remotas, sendo feito também o controle e monitoramento da temperatura no emissor de luz e seu entorno e, por fim, foi capaz de efetuar uma comunicação por via serial com um outro driver de mesmo modelo após receber um comando via internet, alterando assim a corrente de saída deste segundo *driver*.

Palavras-chave: *Drive* para LED, LED de potência, automação de Iluminação, Iluminação técnica.

ABSTRACT

The present work refers to the design and construction of a prototype controlled current source remotely, capable of controlling the luminous intensity of an LED. The current source is scaled to provide 50 W for the LED applied to its output, in the case of higher brightness, being controlled in series or Wi-Fi, this way it allows control of the intensity of the LED from anywhere in the world over the Internet. The application of this prototype focuses on the luminaires used for cinematographic lighting, in which there is concern about noise and visual quality of light, so that the quality of the show or piece is not affected. These are two qualities which are part of the challenges of this project, considering the great power required for an LED and the large amount of temperature concentrated in the surroundings of the light emitter, which can easily burn or damage the equipment, which fact was observed in the exhibition "Light, Sciences and Emotion", in which it is intended to apply this project to correct facts like this and facilitate the remote management of this exhibition. The methodology applied in the project was divided in bibliographical survey, sizing of the boost type converter and main components of the system. Elaboration of programming code for the microcontroller, elaboration of a first functional prototype and tests. Dimensioning of the heat dissipation system, elaboration of a final prototype and final tests. The prototype was able to control the luminosity of the LED, given the command received by two remote forms, being also made the control and monitoring of the temperature in the emitter of light and its environment. Finally, it was able to perform a serial communication with another driver of the same model after receiving a command over the internet, thus changing the output current of this second driver.

Keywords: LED Driver, Power LED, automated lighting, Technical Lighting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA EM 2012.....	10
FIGURA 2 – ILUSTRAÇÃO DO OBJETIVO ALMEJADO.....	14
FIGURA 3 – EXEMPLO DE CONTROLE DA CORRENTE NO TEMPO.....	18
FIGURA 4 – REDE INTERLIGADA PELO DALI.....	19
FIGURA 5 – MÓDULO ESP8266.....	20
FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO.....	24
FIGURA 7 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO FUNCIONAMENTO.....	25
FIGURA 8 – CORRENTE DE SAÍDA A 100%.....	26
FIGURA 9 – CORRENTE DE SAÍDA A 75%.....	26
FIGURA 10 – CORRENTE DE SAÍDA A 50%.....	26
FIGURA 11 – PRIMEIRA PLACA PROTÓTIPO DE POTÊNCIA.....	28
FIGURA 12 – PLACA DE POTÊNCIA COM COMPONENTES.....	28
FIGURA 13 – MÓDULO DE COMUNICAÇÃO.....	29
FIGURA 14 – PERFIL DO HS 14050.....	33
FIGURA 16 – TESTE DE COMUNICAÇÃO PARA DISTÂNCIA APROXIMADA DE 98 METROS.....	35
FIGURA 17 – PÁGINA WEB PARA CONTROLE DE INTENSIDADE DO LED.....	36
FIGURA 18 – PÁGINA WEB PARA CONTROLE DE INTENSIDADE DO LED.....	37
FIGURA 19 – PLACA DO MÓDULO DE POTÊNCIA.....	40
FIGURA 20 – PLACA DO MÓDULO DE CONTROLE E DE COMUNICAÇÃO.....	40
FIGURA 21 – MÓDULO DE CONTROLE E DE COMUNICAÇÃO.....	41
FIGURA 22 – PLACA DO MÓDULO DE POTÊNCIA.....	42
FIGURA 23 – MÓDULO DE CONTROLE E DE COMUNICAÇÃO SEPARADO DO ESP.....	42
FIGURA 24 – IMAGEM TÉRMICA – 19,4 °C.....	43
FIGURA 25 – IMAGEM TÉRMICA –40,1 °C.....	43
FIGURA 26 – IMAGEM TÉRMICA – 56.5 °C.....	43
FIGURA 27 – IMAGEM TÉRMICA – 103 °C.....	43
FIGURA 28 – CENÁRIOS E MÓDULOS DO ESP.....	48
FIGURA 29 – PÁGINA WEB - SERIAL.....	50
FIGURA 30 – PÁGINA WEB - WIFI.....	52
FIGURA 31 – DISSIPADOR DE CALOR.....	54
FIGURA 32 – CONJUNTO VENTONHA E DISSIPADOR.....	54
FIGURA 33 – CÓDIGO DE CORES PARA TEMPERATURA.....	55
FIGURA 34 – TENSÃO DE ENTRADA E SAÍDA DO <i>DRIVER</i>	56
FIGURA 35 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 0%.....	57
FIGURA 36 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 25%.....	57
FIGURA 37 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 50%.....	58
FIGURA 38 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 100%.....	59
FIGURA 39 – DOIS MÓDULOS DE POTÊNCIA CONTROLADOS POR UM MÓDULO DE CONTROLE.....	60
FIGURA 40 – CIRCUITOS RESPONSÁVEIS PELA COMUNICAÇÃO RS-485.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	–	VALOR DE TEMPERATURA E SUA CONVERSÃO DIGITAL.....	47
TABELA 2	–	VALOR DE REFERÊNCIA E TEMPERATURA CALCULADA.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	– <i>Analog to Digital Converter</i>
CC	– Corrente Contínua
CI	– Circuito Integrado
ESP	– Microcontrolador da empresa Espressif Systems
FB	– <i>Feedback</i>
HTML	– <i>HyperText Markup Language</i>
IEC	– <i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	– Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IP	– <i>Internet Protocol</i>
LAN	– <i>Local Area Network</i>
LED	– <i>Light Emitting Diode</i>
NTC	– <i>Negative Temperature Coefficient</i>
MAC	– <i>Media Access Control</i>
MQTT	– <i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
PCB	– <i>Printed Circuit Board</i>
PWM	– <i>Pulse-Width Modulation</i>
RS	– <i>Recommended Standard</i>
SMD	– <i>Surface Mounting Device</i>
TCP	– <i>Transmission Control Protocol</i>
UART	– <i>Universal asynchronous receiver/transmitter</i>
WLAN	– <i>Wireless Local Area Network</i>

SÚMARIO

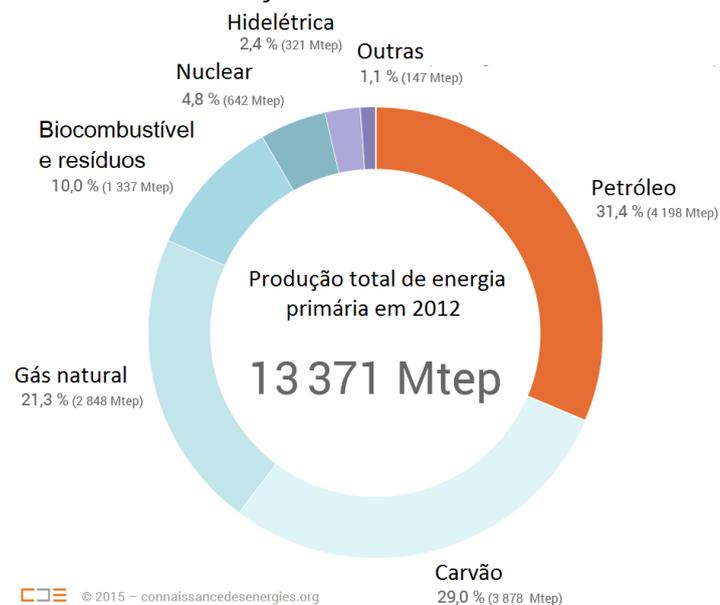
1	INTRODUÇÃO	10
1.1	DIFERENCIAIS DO PROJETO	11
1.2	JUSTIFICATIVA	11
1.3	CONTRIBUIÇÃO PARA A ÊNFASE E IMPORTÂNCIA PARA FORMAÇÃO. Erro! Indicador não definido.	
2	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS	14
4	PÚBLICO ALVO	15
5	REVISÃO TEÓRICA	16
5.1	EFICIÊNCIA LUMINOSA	16
5.2	LED	16
5.3	DRIVER DE LED	17
5.4	DIMERIZAÇÃO	17
5.5	RS-485	18
5.6	DALI	19
5.7	ESP8266	20
5.8	PROTOCOLO 802.11	21
5.9	LINGUAGEM LUA	21
6	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	23
6.1	DO FUNCIONAMENTO	23
6.2	DO FUNCIONAMENTO DO XL6006	25
6.3	MÓDULOS DE TRABALHO	27
6.3.1	MÓDULO DE POTÊNCIA	27
6.3.2	MÓDULO DE COMUNICAÇÃO	29
6.3.3	MÓDULO DE CONTROLE	30
6.4	DO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DISSIPACÃO DE CALOR	30
6.5	DO TESTE PARA O PRIMEIRO PROTÓTIPO	33
6.5.1	TESTE DO MÓDULO DE POTÊNCIA	33
6.5.2	TESTE DO MÓDULO DE COMUNICAÇÃO	34
6.5.3	TESTE DO MÓDULO DE CONTROLE	35

6.6	DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FORÇADO DE DISSIPACÃO.....	37
6.7	DA ELABORAÇÃO DE PLACAS DO PROTÓTIPO FINAL.....	39
6.8	MODELAGEM DA CURVAVA PARA O SENSOR TÉRMICO.....	42
6.9	DA PROGRAMAÇÃO.....	45
7	RESULTADOS OBTIDOS.....	49
7.1	INTERFACE WEB.....	49
7.2	DISSIPACÃO DE CALOR.....	53
7.3	CONTROLE DE INTENSIDADE LUMINOSA.....	55
7.4	CONTROLE DE MÚLTIPLOS LED'S NO MESMO PROTÓTIPO.....	59
7.5	COMUNICAÇÃO SERIAL.....	60
7.6	MÓDULO DE CONTROLE.....	62
8	CONCLUSÃO.....	64
9	CRONOGRAMA.....	666
	REFERÊNCIAS.....	677
	APÊNDICE 1 – CRONOGRAMA PROPOSTO PARA 2018.....	711

1 INTRODUÇÃO

Dado o constante crescimento da população e seu desenvolvimento econômico de um país, torna-se cada vez maior a demanda energética do mesmo. Em consequência a isso, a demanda de geração de energia aumenta. Em uma escala global, a geração de energia é oriunda principalmente de termelétricas (FDEAPLCDE,2015), número que pode ser observado na figura 1. Essa forma de geração acarreta uma série de problemas ambientais e socioeconômicos, portanto, novas fontes de geração de energia elétrica e modificação no modo de consumo de forma eficiente, são ações necessárias para o equilíbrio do sistema de alimentação atual.

FIGURA 1 - PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA EM 2012



FONTE: FSEAPLCDE (2015)

Nota-se atualmente o crescimento mundial do interesse pela iluminação oriunda de LED's em vários seguimentos, dado que são consideradas as mais econômicas fonte de luz artificial da atualidade (ABILUX, 2015).

Com o intuito de reduzir o consumo de energia vários países, incluindo o Brasil, baniram as lâmpadas do tipo incandescente visto seu consumo. Por meio da Portaria Interministerial 1.007/2010 as lâmpadas incandescentes foram banidas do mercado brasileiro, fato que abriu um grande espaço para o LED mostra sua eficiência e ganhar espaço no mercado nacional e internacional.

O considerável aumento na procura dos LED's levou então a necessidade de novos *drivers* de controle (Fontes CC) para essa tecnologia, visto que as lâmpadas do tipo LED não trabalham em corrente alternada, corrente a qual é encontrada nas tomadas de uso geral. Dado esse crescimento da utilização do LED as tecnologias de controle para o mesmo vêm crescendo também.

1.1 DIFERENCIAIS DO PROJETO

Neste trabalho o foco foi sobre o funcionamento e controle de fontes de corrente em CC, em que a corrente será dimerizada de forma a criar um número mínimo de distúrbios na rede elétrica e na visão, como *flashes* de luz, portanto, o *driver* que foi aqui aplicado não transmite energia para o LED em forma de PWM com um sinal pulsado, mas sim um sinal contínuo, sendo este um dos diferenciais do drive empregado.

Outro diferencial foi a capacidade de controlar o *drive* de forma remota, permitindo a comunicação com o mesmo à distância por via serial e por meios sem fio, qual permite o ajuste de sua potência e intensidade luminosa, sem precisar de um responsável no local.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os emissores luminosos são cada vez mais fortes (potentes), com isso, precisam de um controle mais fino, econômico e que forneça luz de forma harmônica para a visão evitando cintilações e outros efeitos negativos.

Essa necessidade faz com que haja a sofisticação dos *drivers* de controle. Estes controladores encontram-se de diversas formas e potência no mercado, sejam elas baixas ou altas. Entretanto, os *drivers* controlados remotamente, dimerizável e de grande potência, 30V e 1500 mA por exemplo, são dificilmente encontrados a venda e disponíveis no mercado brasileiro, portanto viu-se a necessidade de produzir um *driver* como esse para suprir a deficiência do mercado e possibilitar a criação de novos equipamentos, fortalecendo o mercado brasileiro, qual sofre

dominação por equipamentos estrangeiros de marcas americanas ou chinesas por exemplo.

2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente projeto foi orientado pelo objetivo geral de desenvolver um *driver* dimerizável para LED de potência, integrado por uma rede de controle por rádio seguindo o padrão 802.11 e também via comunicação serial RS-485.

Neste projeto foi trabalhado com um LED de potência de 50W, com o ESP como microcontrolador e o *driver* baseado no CI XL6006. Sendo estes os componentes principais utilizados neste projeto para viabilizar a aplicação deste *driver* em produtos principalmente de iluminação cênica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

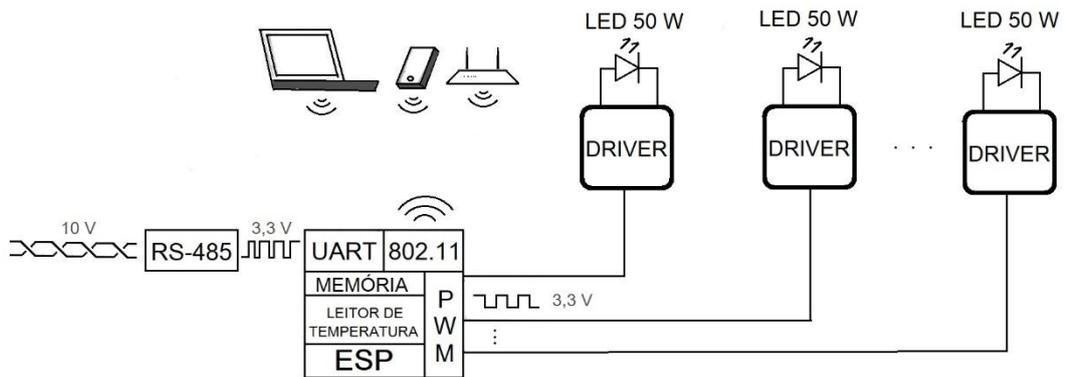
Para alcançar os objetivos gerais, o projeto foi subdividido em objetivos específicos a serem realizados:

- Revisão teórica sobre os principais temas que envolvem o projeto;
- Criação de código de programação para o microcontrolador;
- Dimensionamento de componentes;
- Projeto de desenvolvimento de *PCB's*;
- Implementação do protocolo RS-485 e 802.11;
- Controle da intensidade luminosa;
- Testes de funcionamento do conjunto completo;
- Análise dos resultados obtidos.

3 RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS

Para especificar os resultados finais que foram almejados e para clarear a ideia do projeto, foi desenvolvido a figura abaixo:

FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO DO OBJETIVO ALMEJADO



FONTE: O AUTOR (2017)

Como pode ser observado na figura anterior, o objetivo almejado a ser atingido foi um sistema onde o ESP recebe dados via RS-485 ou via WLAN enviada de um computador ou celular, interpretando-os e em seguida enviando um pulso do tipo PWM para cada *driver* qual controlará a intensidade luminosa do LED ligado a este *driver*.

Pode-se observar também que o ESP conta com um leitor de temperatura para evitar que os LEDs sobre aqueçam. Caso uma dada temperatura seja observada, o sistema reduzirá a luminosidade dos LEDs, assim evitando que os mesmos queimem.

É válido enfatizar que a fonte que alimenta os circuitos não foi o foco deste trabalho, mas sim o controle da corrente que serão recebidas nos LEDs.

4 PÚBLICO ALVO

Tendo em vista os motivos citados anteriormente e por ser fascinado por tecnologia e iluminação, tive motivos para implementar esse *driver* controlado, que tem como objetivo beneficiar o mercado brasileiro de iluminação, ao disponibilizar uma ferramenta de grande utilidade e flexível do ponto de vista da corrente, inicialmente sua aplicação será como o coração por trás da exposição “Exposição Luz, Ciência e Emoção” onde permitirá o controle da mesma a distância.

Podendo ser usado futuramente pela comunidade luminotécnica em seus equipamentos para iluminação cênica, proporcionando a possibilidade da produção, por exemplo, de um refletor tipo “Par LED”, o qual é encontrado apenas como produto de marcas estrangeiras, podendo permitir assim a desenvolvimento de produtos pioneiros deste gênero com marcas brasileiras e diminuindo a dependência do Brasil em relação aos países estrangeiros.

Nos capítulos seguintes deste trabalho serão abordados os conceitos utilizados para fundamentar este trabalho, em seguida a metodologia aplicada a ele, os resultados obtidos com este trabalho, sua conclusão e por fim as referências utilizadas para a elaboração deste trabalho.

5 REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados alguns conceitos básicos aplicados a este trabalho observado seus objetivos e funcionalidades que foram necessárias para a criação dos protótipos.

5.1 EFICIÊNCIA LUMINOSA

Eficiência ou rendimento luminoso é um coeficiente que permite indicar a eficiência da fonte luminosa de converter energia em luz, este parâmetro relaciona o fluxo luminoso desta fonte que é medido em lúmens e a potência dissipada medida em watts, portanto sua unidade é dada por lúmens/watts (lm/W) (BLATT, 2014), portanto quanto mais lúmens por cada watt consumido mais eficiente.

Esta grandeza é um parâmetro relevante para projetos de iluminação de baixo consumo e grande eficiência, pois ela relaciona a potência elétrica de entrada do sistema a potência luminosa que esse sistema vai fornecer, portanto é possível averiguar e comparar a eficiência entre tipos distintos de emissores de luz. (LUMIDEC, 2010), neste projeto não tem-se o foco sobre o aumento da eficiência luminosa do LED, mas serve de inspiração para o uso do LED que ao uso de lâmpadas incandescentes e outra.

5.2 LED

A sigla LED vem do inglês *Light Emitting Diode* que se traduz em português como diodo emissor de luz, esse componente eletrônico emite luz por meio de fotoluminescência, quando a corrente passa pelo material semicondutor ela é convertida em fótons são emitidos produzindo luz.

Em 1962 o primeiro LED foi desenvolvido, inicialmente os LED não eram utilizados para iluminação, dado sua baixa potência e temperatura de cor, entretanto após a descoberta do LED em cor azul em 1994, permitiu por fim atingir a cor branca utilizando a soma de LED's (GRANDJEAN, 2010) permitindo assim a criação de lâmpadas LED e portanto possibilitando a sua utilização na iluminação geral.

Pode se citar como vantagens do LED a sua longa vida útil, alta eficiência luminosa, gama de cores, pequena dimensão, grande resistência a choques físicos e a vibração, ausência de radiações ultravioleta e infravermelha, baixo consumo energético e pequena dissipação de calor. (BENDER et al ,2015)

5.3 DRIVER DE LED

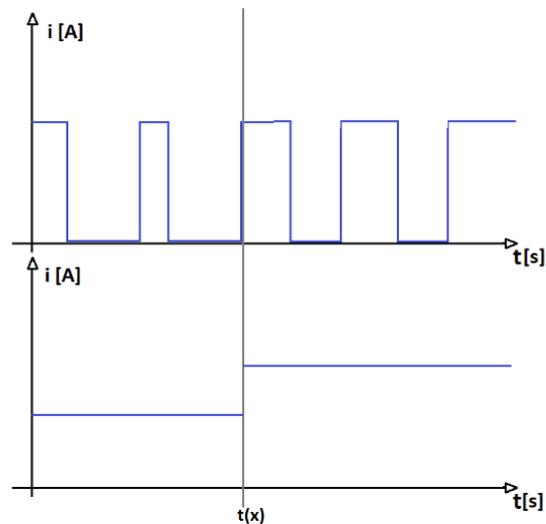
Driver atua como fonte de alimentação para o LED, ele tem como finalidade transformar ou condicionar a energia oriunda da entrada que pode ser do tipo CC ou AC direcionando a corrente para o LED na saída do *driver*. O *driver* aparece como um componente importante para o LED, ele afeta a vida útil, o efeito visual, o controle da potência e a tolerância a ruídos e surtos energéticos. (DILLOUIE, 2015)

Vários tipos de *drivers* podem ser encontrados, em grande parte esses *drivers* fornecem corrente fixa, entretanto existem *drivers* controlados ou dimerizados, os quais podem variar a corrente fazendo assim um controle da quantidade de luz emitida pelo LED.

5.4 DIMERIZAÇÃO

Dimerização é o controle da intensidade luminosa da fonte de luz utilizada, dado o controle da tensão ou corrente como pode ser observado na figura 3 abaixo, o nome se aplica tanto para LED quanto para a lâmpadas incandescentes. Pode se dizer que todos os LED's são dimerizáveis, entretanto existem *drivers* que não possuem essa capacidade ou não permitem que a dimerização seja feita. Apesar da intensidade luminosa do LED ser dimerizável sua temperatura de cor não varia quando este processo ocorre. (BERGMANN BLEY, 2012)

FIGURA 3 - EXEMPLO DE CONTROLE DA CORRENTE NO TEMPO



FONTE: O autor (2017)

Pode-se observar que para o caso do primeiro a gráfico a corrente está sendo controlado por PWM, já para a segunda temos o controle da corrente de uma forma mais fina, assim a corrente média observada é praticamente constante, diferente do caso do PWM que está possui o valor mínimo e depois de um dado tempo passa ao valor máximo.

5.5 RS-485

Como viu-se no início deste trabalho, foi aplicamos como uma das formas de comunicação remota o RS-485, esta sigla se refere a *Recommended Standard* traduzindo para português “padrão recomendado”, em 1983 a *Electronics Industries Association* (EIA) aprovou este padrão de comunicação balanceada, esta forma de comunicação foi amplamente aceita e utilizada nas indústrias e outras áreas, sendo considerada uma ferramenta industrial. (KUGELSTADT, 2016)

Este padrão determina características elétricas dessa comunicação sendo elas:

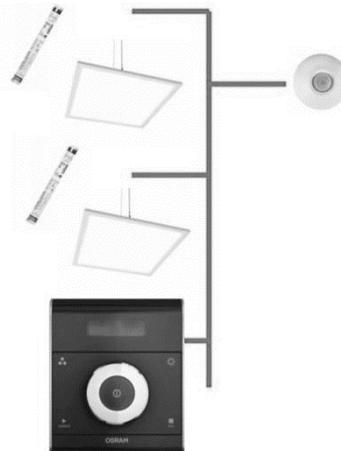
- Interface balanceada (sinais de mesma intensidade mas espelhado quanto ao seu sentido);
- Operação multiponto a partir de uma única alimentação de 5 V;
- -7-V a + 12-V intervalo de modo comum de barramento;

- Até 32 unidades de dados;
- Taxa de dados máxima de 10 Mbps;
- Comprimento máximo de cabo de 1219,2 m (a 100 kbps).

5.6 DALI

O nome DALI é a sigla para *Digital Addressable Lighting Interface* que se traduz do inglês para o português como Interface de iluminação endereçável, esta interface é padronizada pela IEC 62386 e tem como objetivo ser um protocolo global de iluminação digital. (DINIS,2015)

FIGURA 4 - REDE INTERLIGADA PELO DALI



FONTE: DINIS (2015)

Este protocolo apresenta as seguintes características:

- Até 64 dispositivos por *subnet*;
- Alcance da comunicação máximo de 300 m;
- Consumo máximo de 250 mA para todos dispositivos;
- Dados e potência no mesmo par de cabo;
- Sem polaridade & Topologia *Free wiring*;

Este protocolo não foi implementado neste projeto, mas ficará indicado como uma implementado em trabalhos futuros caso aplicado para automação residencial e no caso deste trabalho o foco foi sobre iluminação cênica.

5.7 ESP8266

ESP8266 é um módulo da empresa Espressif Systems, dotado do protocolo 802.11 (WLAN) e com antena RF na própria placa (*on-board*) preparado para a comunicação remota, o qual pode ser visto na figura 5, tem-se então um microcontrolador já integrado com a antena e os protocolos necessários para a comunicação via WLAN, tornando assim o sistema mais robusto e preparado para o funcionamento adequada comunicação remota, ocupando pouco espaço no produto final. (Espressif Systems, 2017)

Além das características ideais para o funcionamento do protocolo 802.11, este microcontrolador conta com saídas PWM, sendo esta feita com seu periférico, assim tendo um baixo custo de processamento, deixando o microcontrolador livre para analisar outros dados.

FIGURA 5 - MÓDULO ESP8266



FONTE: O autor (2017)

O módulo também possui um conversor Analógico-Digital (ADC), permitindo assim a implementação de um sistema para a leitura de um sensor de temperatura com baixo custo, qual informa se a temperatura máxima permitida pelo LED foi atingida, onde caso isso ocorra, o LED é então desligado para evitar a queima do mesmo.

Outra vantagem deste módulo é que ele apresenta a possibilidade de implementação de um protocolo de comunicação serial UART, assim sendo possível a implementação do protocolo de comunicação RS485 com maior eficiência.

O ESP pode ser programado em algumas linguagens, entre elas estão a Lua e o Python, onde neste projeto foi utilizada a linguagem Lua.

5.8 PROTOCOLO 802.11

O padrão IEEE 802.11, derivado do 802, teve sua aprovação pelo IEEE em 1997, ele atua na camada física e na camada enlace, qual faz o controle de acesso ao meio (MAC), este protocolo tem seu foco na comunicação sem fio à uma frequência de 2.4 GHz e largura de banda de 22 MHz. (IEEE, 1997)

Na camada física este protocolo define vários padrões de transmissão e codificação aplicados a comunicação sem fio, como parâmetros para a sincronização, especificação do meio de transmissão, a recepção e transmissão de bits e a codificação e decodificação.

Já para a camada de enlace, este protocolo somente define função para a subcamada MAC, qual trata da reunião de dados em um pacote com endereços no caso da transmissão, abertura do pacote e reconhecimento dos endereços para a recepção, e propriamente dito, o controle de acesso ao meio de transmissão LAN. (GAST, 2005)

Este protocolo possui diversos subprotocolos com frequências e larguras de bandas um pouco diferentes da versão original, como o 802.11 a, b, g, n e ac, que trabalham entre 2,4 e 5,8 GHz.

5.9 LINGUAGEM LUA

A linguagem Lua tem uma característica muito interessante, que é ser uma linguagem desenvolvida no Brasil por uma equipe da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, mas o motivo de sua escolha foi para esse projeto dada sua velocidade, leveza e robustez. (LUA, 2017)

Essa linguagem permite programação procedural, programação orientada a objetos, programação funcional, programação orientada a dados e descrição de dados. (LUA, 2017)

Esta linguagem se assemelha ao Python, não necessitando de ponto e vírgula ao fim de uma linha de comando e é muito intuitiva e de fácil compreensão, entretanto isto não a faz uma linguagem fraca, pelo contrário, esta linguagem de programação da liberdade e potencializa os códigos. (LUA, 2017)

Comparada a outra linguagem e IDE utilizada para programar o ESP, a Lua proporciona a gravação e compilação de códigos para o ESP em poucos segundos, já outra IDE leva cerca de quatro minutos para realizar o mesmo processo.

6 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Para realizar o controle da intensidade luminosa com eficiência foi utilizado o CI XL6006, este CI apresenta função interna capaz de realizar a dimerização da sua carga ao receber um sinal externo. O XL6006 apresenta baixo custo comparado a outros controladores como ele e foi indicado por um especialista em projetos de iluminação. Além da sua capacidade de proporcionar uma fonte de corrente dimerizada, este CI está capacitado a trabalhar com potências “elevadas”, nos permitindo atingir a corrente almejada de 1500 mA, para a alimentação do LED de alta potência, sendo a potência destes de 50 W.

O CI XL6006 recebe um sinal em formato PWM, o qual tem a função de modificar e estabelecer quantos mA serão disponibilizados na saída do *driver* para consumo do LED. O PWM foi modulado por um microcontrolador, o qual serviu de “cérebro” do *driver*, permitindo a comunicação por RS-485 e WLAN.

Como dito anteriormente, o microcontrolador faz o controle do *driver* permitindo assim o aumento e diminuição da corrente para o LED, para isso é feita a interpretação dos dados recebidos através da comunicação RS-485 ou WLAN, traduzindo-os em PWM. O valor recebido pelo microcontrolador é salvo, desta forma caso a comunicação seja interrompida, o valor da corrente de saída continuará o mesmo, evitando assim, pisques indesejados e desligamento do LED, medida que proporciona mais harmonia ao resultado visual obtido.

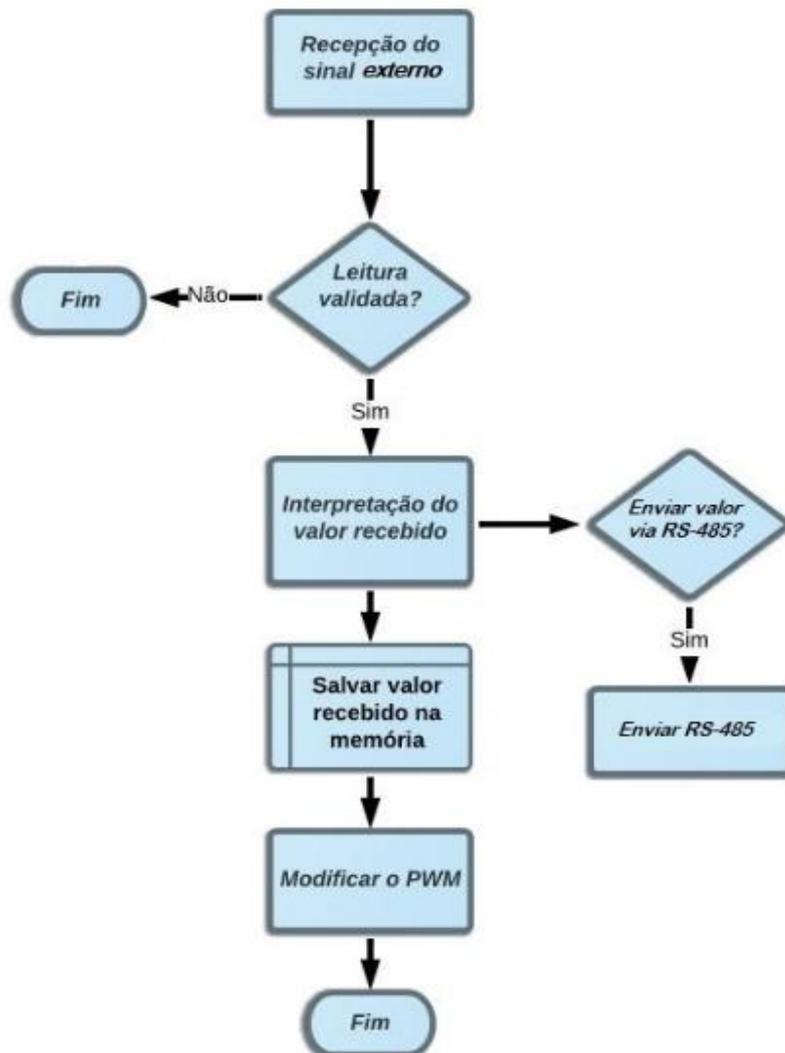
Para planificar e consolidar esse *driver* foi feito o *design* e produção de *PCB's*, que visam o perfeito funcionamento do sistema como um todo, seu *design* é pensado para evitar ruídos eletromagnéticos, que podem vir a atrapalhar o funcionamento do *driver* e proporcionar resultados perceptíveis ao olho humano.

6.1 DO FUNCIONAMENTO

O Funcionamento do protótipo consiste em receber um comando externo à ele, oriundo da comunicação remota, em seguida este comando é validado se este se refere ao protótipo que o lê, interpretado o comando, altera-se o valor da corrente

de saída do *driver* e por fim é salvar este valor em sua memória. No caso de recebimento do comando por vias sem fio e esse não se refira a este protótipo, o mesmo é enviado via saída serial. Este funcionamento está representado no fluxograma da figura 6 que segue abaixo.

FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO



FONTE: O autor (2017)

Onde lê-se RS-485 pode se substituir por WLAN no caso da comunicação via protocolo 802.11.

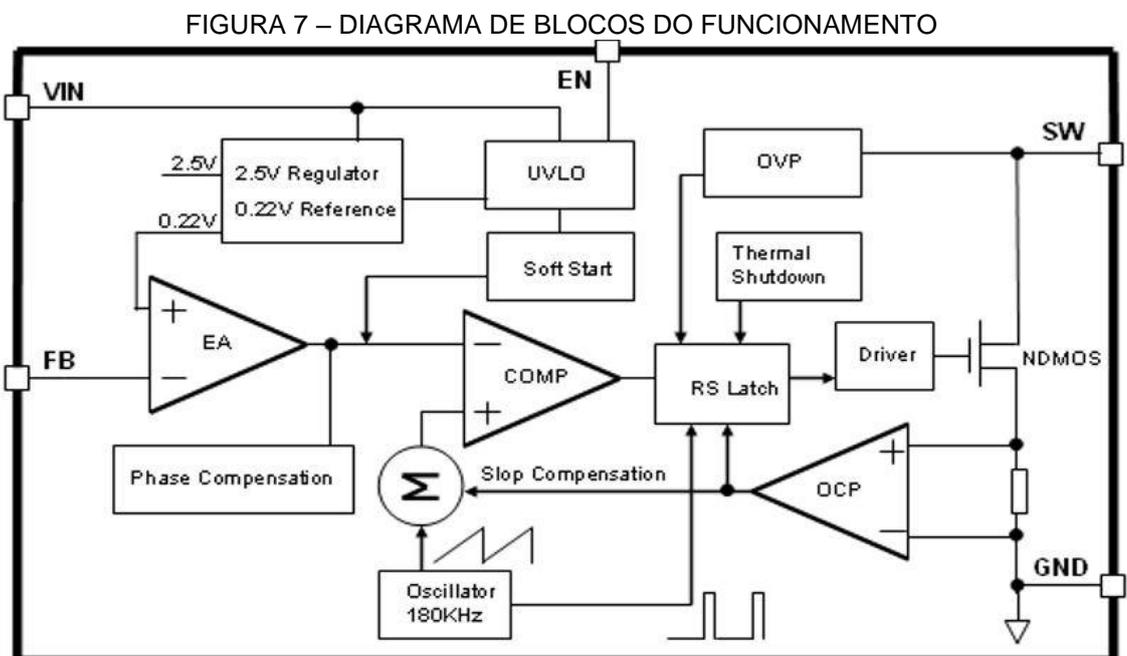
Para atingir este funcionamento foi necessário a utilização do ESP8266 como controlador, o qual interpreta as comunicações recebidas, em seguida interpreta as

informações, as válida, em seguida guardar este valor em sua memória, por fim modificar sua saída de controle do *driver*, já no *driver* o mesmo percebe esta mudança, altera seu valor de corrente e assim causar uma mudança na intensidade do brilho do LED sendo estes os Resultados fundamentais deste projeto.

6.2 DO FUNCIONAMENTO DO XL6006

Neste projeto foi utilizado o XL6006 que é um conversor CC-CC do tipo *Boost*, este tipo de conversor tem tensão média de saída maior que a tensão de entrada, onde a mínima tensão de saída é teoricamente a mesma da entrada, com a ajuda de um indutor e um diodo o sistema consegue gerar uma tensão de saída maior que a de entrada ao efetuar o chaveamento da tensão de entrada que passa pelo indutor. (BARBI, 1999)

Portanto o XL6006 faz o controle da corrente do nosso circuito elevando a tensão da saída e entregando a corrente requisitada pelo LED, cerca de 32 V e 1,5 A, este processo ocorrem de acordo com o diagrama de blocos da figura 7 a seguir.



FONTE: XLSEMI (2016)

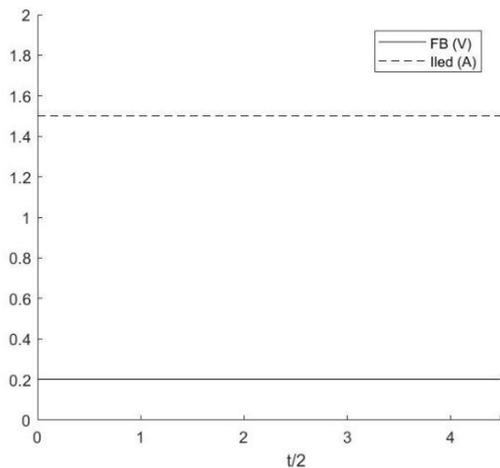
Este esquemático nos informa que dado a entrada V_{IN} , gera-se uma referência de 0,22 V, a qual é utilizada para comparar o valor da entrada FB, qual é

o *feedback* da saída, ou seja, informa qual tensão é observada na saída do *driver*, este valor é comparado com a referência e caso o mesmo esteja abaixo de 0,22 V tem-se o aumento da corrente na saída do circuito e o contrário para o caso de FB maior que a referência.

Portanto para controlarmos a corrente de saída do nosso *driver* aplicamos uma tensão no FB maior que 0.22 V, com isso temos a redução da corrente na saída, assim permitindo o controle da intensidade luminosa do nosso LED.

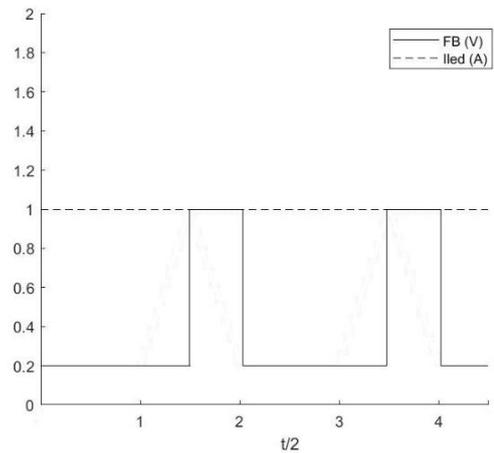
Este processo foi ilustrado nas figuras 8, 9 e 10 na sequência.

FIGURA 8 – CORRENTE DE SAÍDA A 100%



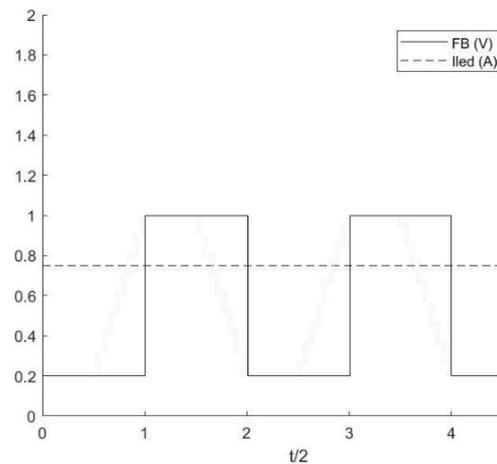
FONTE:O AUTOR (2018)

FIGURA 9 – CORRENTE DE SAÍDA A 75%



FONTE:O AUTOR (2018)

FIGURA 10 – CORRENTE DE SAÍDA A 50%



FONTE:O AUTOR (2018)

Observa-se na primeira figura entre as três que a saída apresenta o valor de corrente máximo para o LED, entretanto na segunda figura por existir uma tensão maior que 0.22 V no FB a corrente de saída vem a diminuir. Para a segunda figura esta tensão diferenciada representa apenas 25% do ciclo do período, com isso a corrente de saída cai para 75% da corrente máxima, já no caso da última figura temos a tensão diferenciada representando 50% portanto a corrente de saída reduz para 50% da corrente máxima.

6.3 MÓDULOS DE TRABALHO

Este projeto foi dividido em três módulos aqui chamado de módulo de trabalho, cada módulo compreende de a uma placa de circuito impresso e tem suas funções e características específicas.

Essa divisão foi feita com o intuito de aumentar a flexibilidade do protótipo final e isolar os circuitos de tensão mais elevada e de baixa frequência dos circuitos de baixa tensão e frequências altas, assim garantindo maior segurança para o projeto e facilidade para a manutenção caso necessário seja.

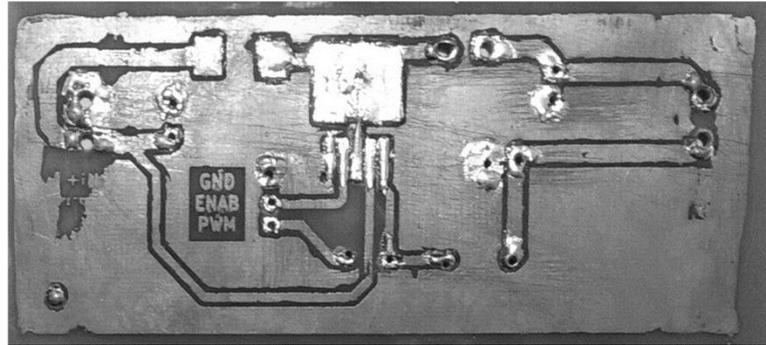
Esses três módulos foram nomeados como controle, potência e comunicação e serão abordados a seguir.

6.3.1 MÓDULO DE POTÊNCIA

Este módulo corresponde ao circuito do *drive*, qual controla a corrente para o LED, portanto é composto do XL6006 e os componentes ao seu redor, por ter tensões por volta de 6 e 9 vezes a tensão de alimentação dos outros módulos, escolheu-se manter esse circuito isolado dos demais, de forma física e elétrica.

Como primeiro protótipo deste módulo, foram feitas duas *PCB's* idênticas, sendo uma delas apenas usada caso a outra viesse a apresentar algum problema de confecção ou no uso da mesma, sendo assim uma placa de segurança. Estas duas placas são como a *PCB* da figura 11.

FIGURA 11 – PRIMEIRA PLACA PROTÓTIPO DE POTÊNCIA



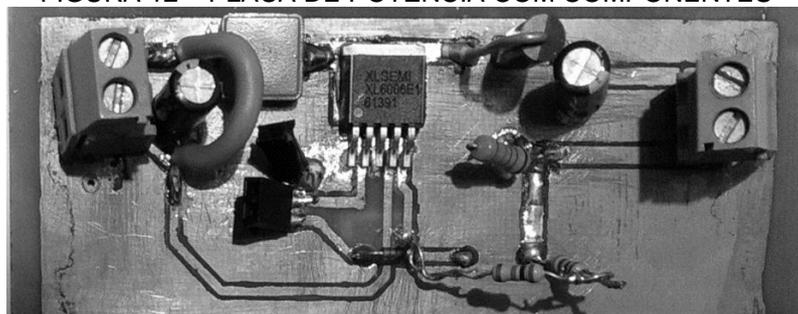
FONTE: O autor (2018)

Essas placas foram elaboradas passando por um processo de corrosão utilizando como reagente o perclorato de ferro, neste processo, para garantir que somente a área desejada mantenha o cobre do circuito, é feito um processo onde imprime-se o negativo do circuito em questão, assim toda a região que deve conter cobre ao final do processo fica protegida por uma camada de tinta, qual não sofre ataque do perclorato de ferro. Neste processo o perclorato de ferro retira as moléculas de cobre que estão fixadas na placa de fibra de vidro e mantém então aquelas protegidas pela tinta, assim o cobre continua permanecendo apenas nos pontos desejados.

Este processo todo foi realizado de forma artesanal, dada sua delicadeza justifica-se ainda mais a necessidade de se realizar duas placas gêmeas.

O resultado final do primeiro protótipo pode ser visto na figura 12, qual se encontra a seguir.

FIGURA 12 – PLACA DE POTÊNCIA COM COMPONENTES



FONTE: O autor (2018)

Por se tratar da primeira placa protótipo, alguns componentes finais não foram adicionados e seu tamanho é maior que o da placa da versão final almejada

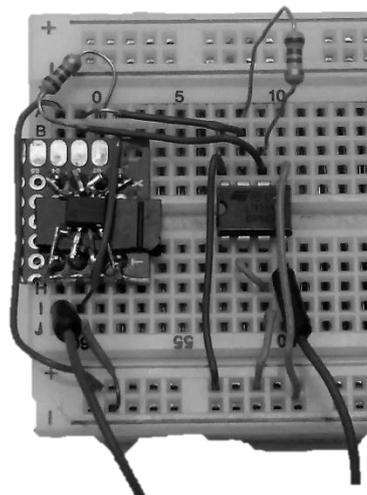
neste projeto, por se tratarem de componentes *Through Hole* (componentes que necessitam de furos na placa).

6.3.2 MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

O módulo de comunicação é responsável pelo recebimento e transmissão do sinal do protocolo RS-485. É neste módulo que o sinal RS-485 é traduzido para serial de baixa potência e enviado para o módulo de controle e também é responsável pelo caminho inverso desta tradução.

Para realizar estas duas traduções foram usados CI's *transceivers* comumente encontrados na indústria. Por se tratar de um circuito com riscos menores e quantidade de componentes também menor, o primeiro protótipo foi realizado com ajuda de uma *protoboard* e pode ser visto na figura 13.

FIGURA 13 – MÓDULO DE COMUNICAÇÃO



FONTE: O autor (2018)

Nota-se que o circuito possui dois CI's, sendo um deles responsável pela transmissão e outro pela recepção de sinal RS-485. Esta escolha de se usar dois CI's foi feita para economizar em relação a quantidade de portas utilizadas no módulo de controle, assim sendo necessário apenas o uso de duas portas para a comunicação, sendo elas a porta de transmissão e recepção de sinal serial.

6.3.3 MÓDULO DE CONTROLE

O módulo de controle é onde o microcontrolador se encontra, ele tem como função receber e enviar sinais seriais, comunicar-se via WLAN fazer o controle da luminosidade do LED e monitorar a temperatura que o LED se encontra.

Ele é composto apenas pelo ESP e pelo circuito de medição de temperatura, seus periféricos são interligados com os demais módulos, assim pode-se controlar os outros módulos a partir deste.

Para fins de primeiro protótipo foi-se utilizado também a protoboard, pois o ESP apresenta uma limitação quanto a conexão de suas portas, esta limitação é dada pelo fato que não podemos gravar um novo código na memória do ESP se suas portas de transmissão e recepção de sinal serial estiverem conectadas a qualquer componente ou recebendo qualquer tensão nas mesmas.

Assim sempre que se deseja gravar o microcontrolador, estas portas devem estar livres e em nosso caso temos o módulo de comunicações conectados à mesma, portanto faz-se necessário desconectar as mesmas para efetuar a gravação.

Como citado anteriormente, o sensor de temperatura tem como objetivo medir a temperatura no dissipador, assim caso uma certa temperatura seja atingida, este sensor reportará ao microcontrolador, o qual reduzirá a corrente recebida pelo LED, levando o mesmo a reduzir sua temperatura, evitando assim que o LED venha a sobreaquecer e queimar.

6.4 DO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DISSIPACÃO DE CALOR

Dado o efeito Joule, o LED sofre aquecimento, fato que afeta a luminosidade do LED e também diminuí a vida útil do mesmo podendo levá-lo a queimar, deixando assim de funcionar. Para minimizar estes efeitos e anular a possibilidade de queima do componente, duas medidas foram tomadas, entre elas estão um

sensor de temperatura que será abordado posteriormente e a utilização de um dissipador de calor.

Para adequar o tamanho e capacidade de dissipação do dissipador ao nosso circuito, foi realizado o cálculo térmico do dissipador no LED em questão. De início, foi estimado a potência dissipada no emissor de luz, este cálculo foi realizado com base em um diodo de potência, visto que o LED tem o comportamento semelhante. Esta potência P é respeita a equação que se encontra abaixo onde temos a soma de três diferentes potências, sendo elas P_1 , P_2 e P_3 , onde P_1 é a potência em condução, P_2 é de transitório de bloqueio e P_3 é de transitório de condução. (BARBI, 2006)

Com isso temos a seguinte equação:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ [W]}$$

No nosso caso P_2 pode ser ignorada, dado que nosso LED encontra-se em tensão contínua e não é alimentado por tensão reversa e P_3 também pode ser ignorado pois este acontece apenas quando a comutação é de uma carga com características de fonte de corrente, fato que não se aplica aqui. (BARBI, 2006)

Por fim nos resta apenas P_1 que é dado pela equação $P_1 = V_f * I_{med}$, donde V_f se refere-se à tensão direta e I_{med} corresponde ao valor médio da corrente no diodo. Para fim de cálculos considerou-se P_1 igual a 50 W, dado o caso de condição de maior luminosidade descrito pelo *datasheet* do LED utilizado.

Conhecida a potência dissipada podemos agora calcular a resistência térmica entre a junção e o ambiente R_{ja} aplicando a fórmula que se encontra abaixo onde T_j é a temperatura da junção e T_a representa a temperatura ambiente.

$$R_{ja} = (T_j - T_a) / P \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

Para o valor de T_a foi escolhido a temperatura de 25 °C considerando condições normais de temperatura do ambiente e 125 °C para a T_c , que não foi encontrado no *datasheet* do LED empregado mas a qual foi dada pelo *datasheet* do POWER LED BRANCO 50W (CROMATECK,201?) que apresenta características muito semelhantes com as do componente utilizado neste trabalho.

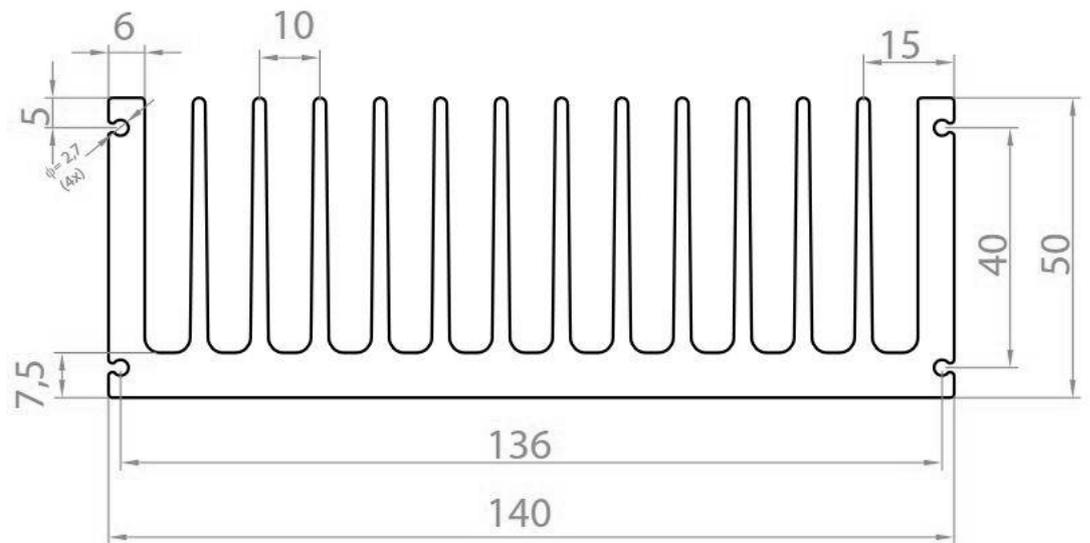
Com isto encontra ao valor de $R_{ja} = 2$ °C/W este valor indica que a resistência térmica entre a junção e o ambiente máxima que pode ser observada na soma das resistências térmicas do o conjunto LED, pasta térmica e dissipador. A soma destas resistências deve ser menor que o valor da R_{ja} , com isso o componente não ultrapassará a temperatura máxima na junção, portanto estará protegido de danos indesejáveis.

Para encontrar o dissipador ideal deve-se calcular R_{da} que é a resistência térmica entre o dissipador e o ambiente utilizando-se a equação abaixo, onde R_{jc} é a resistência térmica entre a junção e cápsula qual para o POWER LED BRANCO 50W é de 0,7 °C/W e R_{cd} é a resistência térmica entre o cápsula e dissipador, que tem o valor 0,31 °C/W para cada cm² referente a resistência do isolador dissipador *thermalpad – silglass* (IMPLASTEC, 201?), ou seja dada a área do LED tem-se $0,31/4 = 0,0775$ °C/W para R_{cd} .

$$R_{da} = R_{ja} - R_{jc} - R_{cd} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

Obeve-se portanto $R_{da} = 1,2225$ °C/W, com isso foi encontrado o dissipador de código HS 14050 da marca HS Dissipadores que apresenta uma resistência térmica de 1,06 °C/W/4”, o qual foi empregado neste projeto com o comprimento de 100 mm, que de acordo com o fabricante reflete-se em um fator corretivo de 1,04 fornecendo portanto uma resistência térmica de $1,06 * 1,04 = 1,1024$ °C/W, garantindo assim o bom funcionamento do sistema. Portanto o dissipador escolhido apresenta como dimensões 100 x 140 x 50 mm. O perfil deste dissipador e suas características podem ser vistos na figura 14, vista a seguir.

FIGURA 14 – PERFIL DO HS 14050.



FONTE:HS DISSIPADORES (201?)

6.5 DO TESTE PARA O PRIMEIRO PROTÓTIPO

Para testar os módulos envolvidos no primeiro protótipo foram realizados alguns processos quais serão abordados nos subtópicos a seguir, observa-se que para o teste do módulo de controle, este foi realizado também ao testar os outros dois módulos envolvidos no protótipo.

6.5.1 TESTE DO MÓDULO DE POTÊNCIA

Para testar o módulo de potência, inicialmente foi realizado o teste com o auxílio de uma fonte de tensão variável disponível no laboratório do bloco de Engenharia Elétrica da UFPR, onde este alimentou o circuito do *driver*, permitindo o mesmo a alimentar o LED de 50 W.

Com esse teste foi observado o funcionamento do módulo como desejado, estando este em potência máxima, visto que não estava sendo controlado, entretanto constatou-se que as condições de saída para o circuito se faziam diferentes das esperadas, onde foi observado a potência no LED cerca de 10 W inferior ao valor correto.

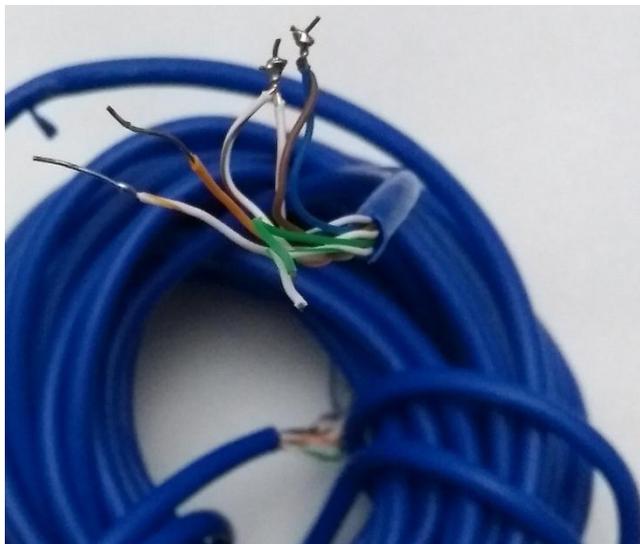
Esse fato foi observado dado o resistor de referência para o circuito, o qual deveria ter a resistência de $0,1466 \Omega$ (XLSEMI, 2016) entretanto o resistor empregado tem a resistência aferida de aproximadamente $0,6 \Omega$, portanto para o protótipo final deve-se encontrar um resistor de maior precisão para ser aplicado ao circuito.

Para o segundo teste foi utilizado o módulo de controle, com o intuito de realizar a dimerização da luz do LED, neste teste foi observado o funcionamento como esperado da parte do LED com relação a resposta ao PWM efetuado no pino de *Feedback*, portanto foi possível de realizar o controle da corrente de saída de 0 a 100% sem imprevistos, sendo regulado como indicado no *datasheet* do componente.

6.5.2 TESTE DO MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

Para testar o módulo de comunicação utilizado no primeiro protótipo, foi estabelecida a comunicação entre dois módulos de controle, qual foi feita através de um cabo padrão para ethernet (IEEE 803.2), onde o mesmo foi soldado em suas extremidades com o objetivo de atingir maior distância de comunicação utilizando menor quantia de material. Esse teste portanto simulou a transmissão de dados em uma distância de aproximadamente 98 metro no cabo que pode ser visto na figura 15 a seguir.

FIGURA 15 – CABO PARA PADRÃO IEEE 803.2.

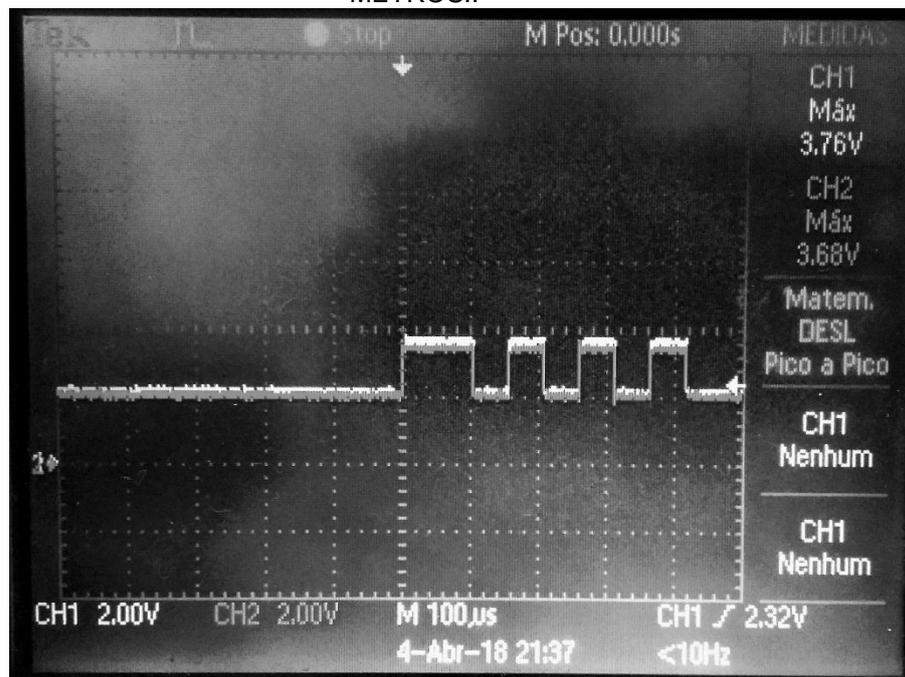


FONTE:O AUTOR (2018)

Utilizando este cabo portanto como linha de transmissão se obteve um sinal recebido com 3,68 V na sua extremidade onde se encontra o receptor, dado um sinal enviado na extremidade com o receptor com 3,76 V. Obteve-se portanto cerca de 2,2% de queda de tensão para uma transmissão com uma distância de aproximadamente 98 m, portanto em uma aplicação em um cenário de 1000 metros a perda estimada seria de cerca de 22% da tensão inicial, onde seria observado no receptor algo próximo a 2.9 V. Valor que seria interpretado sem nem uma dificuldade pelo transdutor, visto que o mesmo necessita apenas de uma tensão diferencial de 0,2 V para identificar se o sinal recebido se trata de um 0 ou um 1.(MAXIM,1994)

Portanto o módulo de transmissão foi validade e os resultados obtidos podem ser observados na figura 16.

FIGURA 16 – TESTE DE COMUNICAÇÃO PARA DISTÂNCIA APROXIMADA DE 98 METROS..



FONTE:O AUTOR (2018)

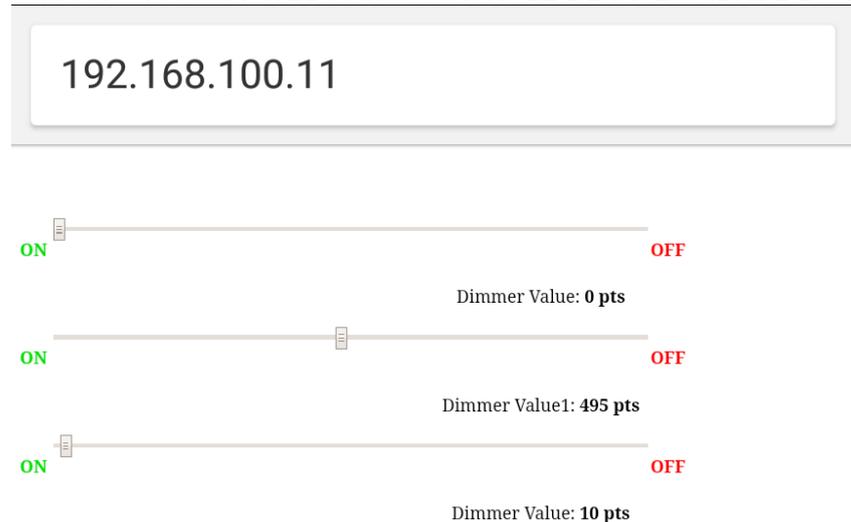
6.5.3 TESTE DO MÓDULO DE CONTROLE

Além dos testes realizados anteriormente no módulo de controle, foi também realizado testes relacionados ao protocolo 803.11.

Para realizá-los foram implementados códigos que permitisse que esse módulo gerasse uma rede, na qual foi possível conectar-se e informar ao módulo a senha de uma segunda rede para que ele se conectasse a essa rede via Wi-Fi e permitindo-o então estar *on-line* a partir desta segunda rede.

A partir do momento que o módulo se encontra conectado à internet foi possível de acessá-lo por meio de um servidor TCP, que capacitou a possibilidade passar informações referentes a intensidade luminosa para o módulo qual pode controlar a potência do LED. A página HTML utilizada para realizar esse controle pode ser vista na figura 17.

FIGURA 17 – PÁGINA WEB PARA CONTROLE DE INTENSIDADE DO LED



FONTE:O AUTOR (2018)

Nesta página existem três botões deslizantes, quais podem controlar teoricamente três sistemas distintos dado o auxílio da comunicação RS-485, sendo esse controle efetuado de 0 a 1024, onde nesse momento 0 representa 100% de intensidade luminosa e 1024 0%.

6.6 DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FORÇADO DE DISSIPACÃO

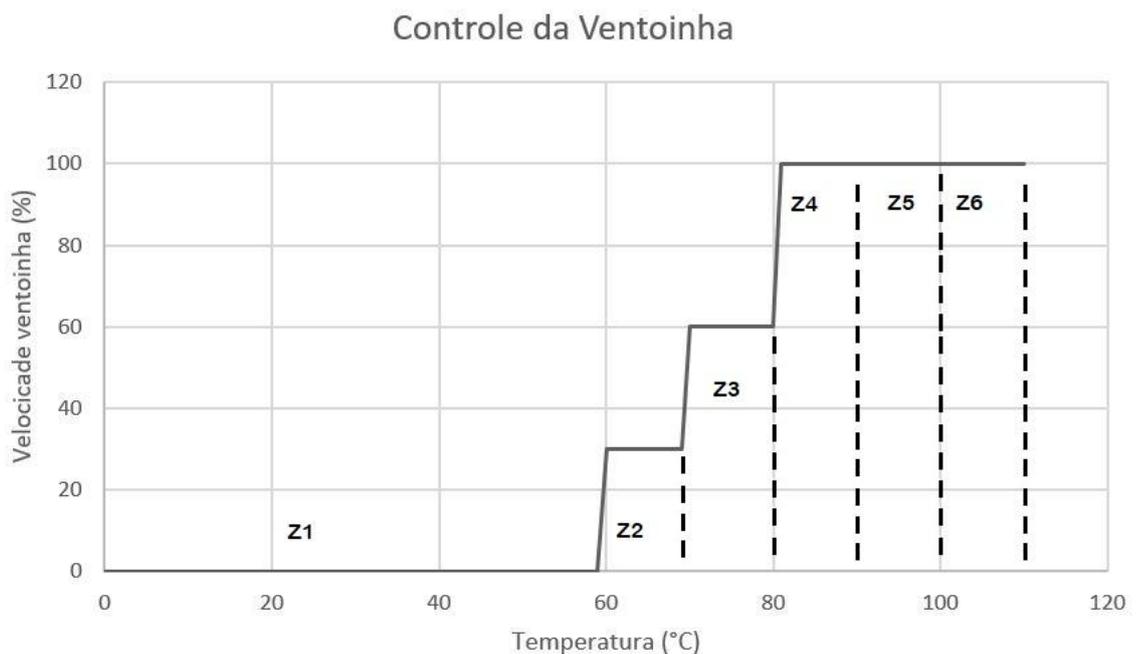
Seguindo a sugestão da banca envolvida neste projeto, foi estudado a implementação de uma ventoinha para ajudar no sistema de dissipação de calor do projeto.

Apesar da ideia inicial deste projeto ser de não utilizar um sistema como esse, decidiu-se implementar o mesmo, entretanto não com o intuito de estar ligado a todo tempo, mas apenas no momento onde anteriormente o sistema iria diminuir a potência de saída do LED.

Portanto ao invés de reduzir a potência de saída do circuito, inicialmente será ligada a ventoinha em velocidade reduzida e acelerando-a caso a temperatura não sofra reduções. Se mesmo assim a temperatura no LED continue alta, a potência do mesmo será reduzida, assim mantendo a integridade do LED e do projeto.

O controle de temperatura foi dividido em seis zonas, baseando-se nas temperaturas indicadas no *datasheet* do emissor de luz, com a finalidade de garantir o melhor funcionamento do mesmo e evitar danos a ele. Essas zonas foram divididas conforme a figura 18.

FIGURA 18 – PÁGINA WEB PARA CONTROLE DE INTENSIDADE DO LED



FONTE: O AUTOR (2018)

Para cada zona existe uma faixa e funcionamento diferente, as mesmas estão classificadas da seguinte forma:

- Z1: Temperatura no LED de 0 a 59 °C, Ventoinha parada e LED em potência máxima;
- Z2: Temperatura no LED de 60 a 70 °C, Ventoinha à 30% de sua velocidade máxima e LED em potência máxima;
- Z3: Temperatura no LED de 71 a 80 °C, Ventoinha à 60% de sua velocidade máxima e LED em potência máxima;
- Z4: Temperatura no LED de 81 a 90 °C, Ventoinha em sua velocidade máxima e LED em potência máxima;
- Z5: Temperatura no LED de 91 a 100 °C, Ventoinha em sua velocidade máxima e LED em potência de 70% máxima;
- Z6: Temperatura no LED de 101 a 110 °C, Ventoinha em sua velocidade máxima e LED em potência de 40% máxima;

Caso a temperatura de 110 °C seja atingida, o módulo de potência será totalmente desligado e o mesmo irá retornar apenas quando a Z3 seja novamente atingida, assim podemos garantir a integridade do LED e também do ambiente ao seu redor.

Como indicado no *datasheet*, foram aplicados as faixas de temperatura de trabalho do emissor de luz aquelas zonas onde a ventoinha apresenta ruído reduzido, dada que esta não está trabalhando em velocidade máxima, acima dessas temperaturas foram tomadas medidas para redução imediata da temperatura. Assim podemos garantir menor quantidade de ruídos sonoros emitidos pelo equipamento em suas faixas comuns de trabalho.

Para melhorar a experiência do operador do equipamento, foi implementado na página *web* a temperatura atual do sistema.

O processo de caracterização da curva de temperatura será descrito na continuação deste trabalho.

6.7 DA ELABORAÇÃO DE PLACAS DO PROTÓTIPO FINAL

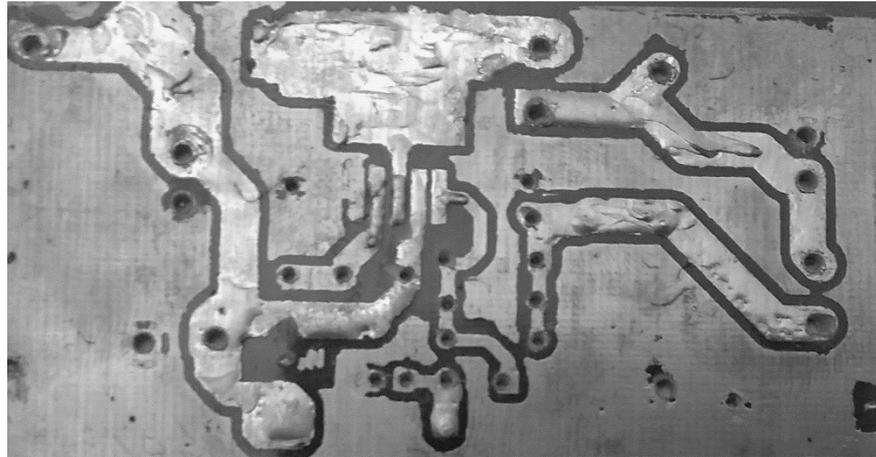
Dado os testes realizados no protótipo inicial e seus resultados, foi possível então passar para o protótipo final, neste o foco foi a redução do módulo de potência, implementação do módulo de controle e de comunicação a apenas uma placa de circuito impresso e aperfeiçoamento dos sinais de controle e de saída para o circuito.

Ambas as placas foram projetadas para conterem em maior parte componentes *SMD's*, entretanto ao visitar o comércio local de Curitiba de componentes eletrônicos, encontrou-se grande dificuldade de adquirir esses tipos de componentes, portanto vários tiveram de ser trocados por componentes do tipo *Through-Hole* e mesmo alguns que estavam inicialmente disponíveis no mercado como *SMD*, não foram encontrados no momento da compra final dos componentes, como foi o caso do Regulador utilizado para a ventoinha.

Os módulos foram divididos em duas placas sendo uma exclusiva para o módulo de potência e outra para os módulos de controle e comunicação. Essa opção foi tomada com o intuito de manter os sinais de maior amplitude e mais ruidosos do módulo de potência longes dos sinais mais vulneráveis dos outros dois módulos, assim diminuindo a influência de um circuito no outro, evitando então erros de comunicação e mal funcionamento do microcontrolador envolvido no projeto.

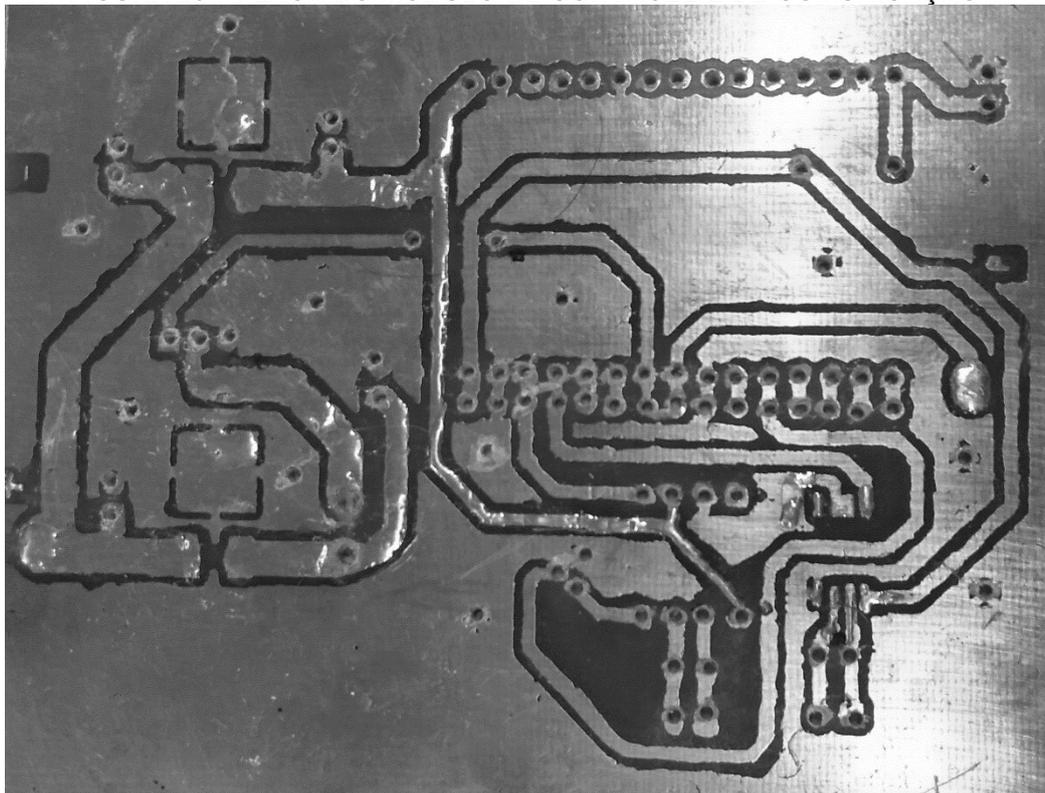
As duas placas do protótipo final podem ser vistas nas figuras a seguir.

FIGURA 19 – PLACA DO MÓDULO DE POTÊNCIA



FONTE:O AUTOR (2018)

FIGURA 20 – PLACA DO MÓDULO DE CONTROLE E DE COMUNICAÇÃO



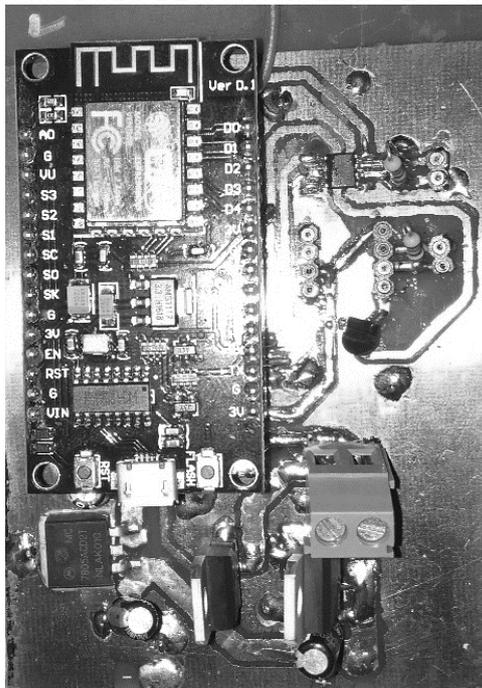
FONTE:O AUTOR (2018)

Para a construção destas placas foi utilizada o processo de corrosão por perclorato de ferro como no protótipo inicial, observou-se que neste protótipo as placas sofreram ataques maior do perclorato, fato que enfraqueceu as trilhas de cobre. Para torna-las mais resistente, as mesma foram cobertas por estanho, assim tonando as mais resistentes e retornando sua capacidade de condução.

Para evitar futuras corrosões causadas pelo clima, foi aplicado uma camada de verniz para placas em ambas as faces das *PCB's*.

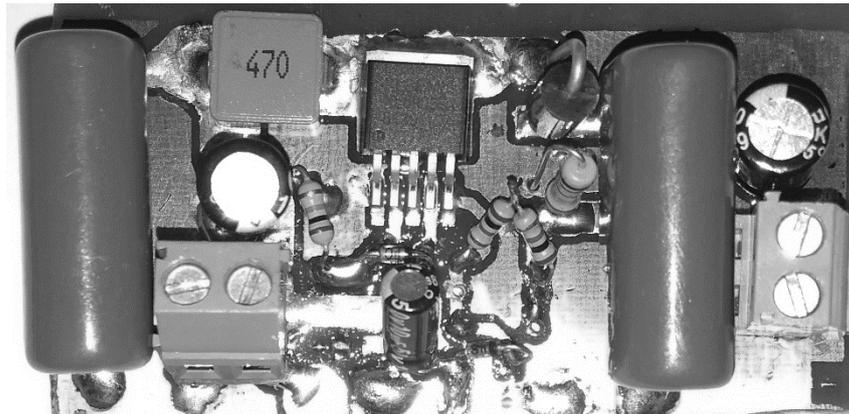
A solda foi feita com o auxílio de duas ferramentas, sendo elas o ferro de solda para os componentes do tipo *Through-Hole* e o soprador para os componentes *SMD*. O processo começou pelos componentes *SMD*, assim evitando possíveis danos a outros componentes visto a temperatura elevada do ar que sai deste equipamento de solda. Em seguida foram feitas as soldas para os componente *Through-Hole* os resultados desse processo podem ser vistos nas figuras 21 e 22 a seguir, qual é a versão final para os módulos deste projeto.

FIGURA 21 –MÓDULO DE CONTROLE E DE COMUNICAÇÃO



FONTE:O AUTOR (2018)

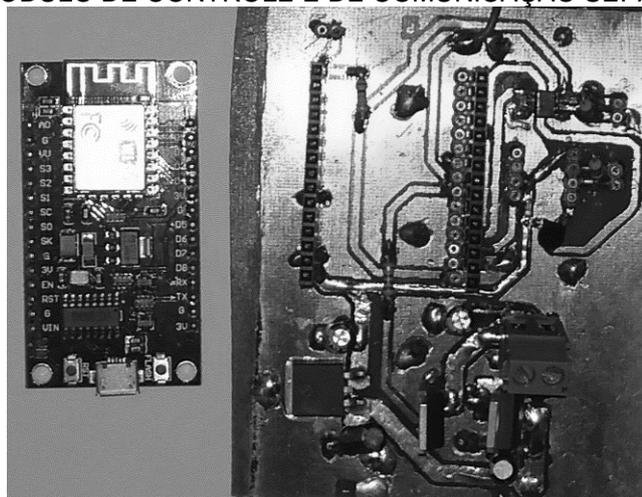
FIGURA 22 – PLACA DO MÓDULO DE POTÊNCIA



FONTE:O AUTOR (2018)

Para o módulo de controle e comunicação o microcontrolador ESP pode ser removido, pois o mesmo está conectado por um *Pin Header* ao módulo, portanto o ESP pode ser removido quando necessário. Essa medida foi implementada pois o microcontrolador não pode ser gravado se suas portas referentes a comunicação serial apresentem impedância diferenciadas da impedância padrão, por exemplo se um resistor estiver conectado a uma dessas portas não será possível gravar o microcontrolador. Uma figura do módulo separado ao ESP pode ser visto a seguir na figura 23.

FIGURA 23 –MÓDULO DE CONTROLE E DE COMUNICAÇÃO SEPARADO DO ESP



FONTE:O AUTOR (2018)

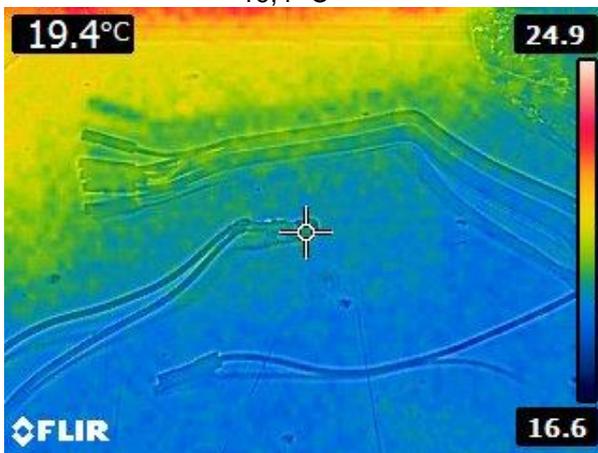
6.8 MODELAGEM DA CURVAVA PARA O SENSOR TÉRMICO

Dado a necessidade de se controlar a temperatura para indicar esta ao operador do sistema e também atuar de forma a mitigar possíveis problemas de

sobre aquecimento foi realizado a caracterização e modelagem da curva de temperatura para o sensor térmico.

Como sensor térmico foi utilizado um NTC com resistência de 10 k Ω , para sua caracterização foi utilizado uma Câmera de imagens térmicas infravermelhas FLIR 63901-0101. Com o auxílio desta ferramenta foram capturadas imagens, quais podem ser vistas nas figuras seguintes.

FIGURA 24 –IMAGEM TÉRMICA –
19,4 °C



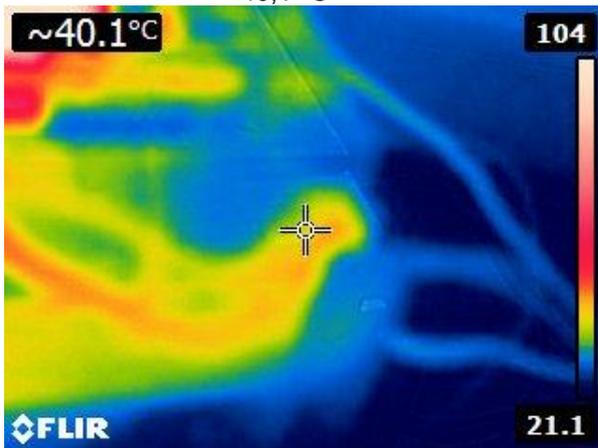
FONTE:O AUTOR (2018)

FIGURA 26 –IMAGEM TÉRMICA –
56.5 °C



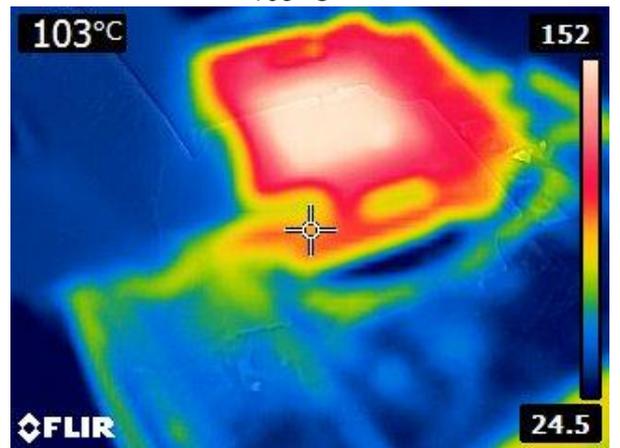
FONTE:O AUTOR (2018)

FIGURA 25 –IMAGEM TÉRMICA –
40,1 °C



FONTE:O AUTOR (2018)

FIGURA 27 –IMAGEM TÉRMICA –
103 °C



FONTE:O AUTOR (2018)

Para a primeira figura entre as quatro, o sensor esteve em contato direto com o ar do ambiente, para a segunda e terceira o sensor foi colocado em contato com o dissipador em momentos diferentes e para a última figura o sensor foi posicionado

diretamente na parte metálica do LED. Para ambas as medidas o ponto de medição da câmera estava sob o sensor térmico NTC.

Em paralelo a medição de temperatura pela câmera, foi feito a leitura com o sensor e convertido seu sinal em um valor digital por meio do conversor analógico digital do microcontrolador. Os valores obtidos foram os seguintes:

TABELA 1 – VALOR DE TEMPERATURA E SUA CONVERSÃO DIGITAL

Temperatura medida pela câmera	Valor digital obtido no microcontrolador
19 °C	564
40 °C	750
55 °C	806
100 °C	900

FONTE:O AUTOR (2018)

Conhecido esses valores, foi aplicado o método polinomial de interpolação de Lagrange com base na seguinte equação:

$$P(X) = \sum_{j=0}^n Y_j \left(\prod_{i=0, i \neq j}^n \frac{X-x_i}{x_j-x_i} \right)$$

Com o auxílio deste método aplicado aos valores de 1,2 e 4, onde X representa o valor digital e Y a temperatura. Encontrou-se então a equação de segundo grau que melhor representa a curva de mediação de temperatura para nosso sistema. A equação encontrada foi a seguinte:

$$\text{Temperatura} = 0,00085445 x^2 - 1.00985023 x + 315,75691244$$

Para validar esta curva foi reaplicando os pontos anteriores no valor x da equação. A curva foi validada visto que os resultados encontrados foram os seguintes:

TABELA 2 – VALOR DE REFERÊNCIA E TEMPERATURA CALCULADA

Valor digital obtido no microcontrolador	Temperatura Calculada
564	19 °C
750	40 °C
806	57,6 °C
900	100 °C

FONTE:O AUTOR (2018)

Calculando o erro médio sobre esses quatro pontos encontra-se o valor de 1,18% que é um erro amplamente aceitável, visto que o mais importante para nós é saber em quem área a temperatura se encontra e não a temperatura exata.

6.9 DA PROGRAMAÇÃO

Para a programação do ESP foi utilizado a linguagem Lua, como citado anteriormente, sua lógica foi dividida em três cenários, sendo eles, Wi-Fi, Serial e Uso compartilhado.

Para o caso do cenário Uso compartilhado, como o próprio nome indica, este funciona tanto no cenário Wi-Fi quanto no Serial, nele existem quatro módulos sendo eles os seguintes:

- Verificador de conexão Wi-Fi;
- Leitor de temperatura;
- Controle de temperatura;
- PWM LED.

O módulo Verificador de conexão Wi-Fi tem a finalidade de identificar as redes disponíveis e se conectar a uma rede previamente conhecida, se este módulo for incapaz de se conectar a uma rede o microcontrolador entrará no cenário Serial. Caso a conexão seja estabelecida em uma rede, então este módulo irá encaminhar o ESP ao cenário Wi-Fi.

Para o módulo Leitor de temperatura, seu papel é fazer a leitura do conversor analógico digital e calcular a temperatura atual do LED e seu sistema de dissipação,

em seguida esse valor é enviado para o módulo de Controle de temperatura. Caso o cenário Wi-Fi esteja ativo, a temperatura será enviada também para o módulo Indicador de temperatura.

Recebido o valor da temperatura, o módulo de Controle de temperatura deve então interpretar o valor da temperatura e classificar em qual zona o sistema se encontra. Conhecido a zona de temperatura este deve atuar ou não na velocidade da ventoinha e na potência máxima para LED. Caso seja necessário atuar na intensidade luminosa, este módulo envia esta informação para o PWM LED.

O controle da intensidade luminosa é dado pelo módulo PWM LED, que recebe informações do Controle de temperatura, do Interpretador de entrada web e também do serial. Ele interpreta esses valores e controla então o tamanho do pulso do PWM que é enviado ao pino de *Feedback* do *driver*.

Para o caso do cenário Wi-Fi, este apresenta quatro módulos, sendo eles os seguintes:

- Página *Web online*;
- Indicador de temperatura;
- Interpretador de entrada web;
- Transmissor serial.

O módulo Página *web* online é responsável por criar uma página, a qual consta a informação da temperatura atual do sistema, o botão de desconexão da rede atual e também as barras de controle para os LED's. Caso seja solicitada a modificação da intensidade luminosa, este módulo enviara o sinal recebido para o Interpretador de entrada web.

Recebido a temperatura, o módulo Indicador de temperatura deve então alterar o valor da temperatura atual. Este tem a função também de qualificar a temperatura de forma visual ao escolher entre as cores preta, laranja e vermelha de acordo com a zona que o sistema se encontra.

Em caso do recebimento do sinal vindo do módulo *Página web online*, o Interpretador de entrada *web* deve então converter essa informação para um valor esperado pelo módulo PWM LED e enviar para este caso a solicitação recebida seja esse sistema. Para o caso onde a solicitação recebida foi de mudança de outro emissor diferente do que se encontra nesse equipamento, o valor recebido será então enviado para o Transmissor de sinal.

O módulo Transmissor de sinal, como seu nome já indica, tem a finalidade de transmitir de forma serial o sinal recebido do Interpretador de entrada *web*. É neste módulo que os sinais são traduzidos para uma mensagem compatível com o RS-485 e então enviadas.

Para o último cenário, *Serial*, existem outros cinco módulos, sendo eles os seguintes:

- *Página Web* local;
- Recuperador de senha;
- Receptor serial;
- Identificador de endereço serial;
- Interpretador de entrada serial.

Página Web local é responsável por gerar um servidor local, qual não está conectado à internet e criar um ponto de acesso para a conexão à este servidor, ele também cria uma página onde são listados todos os pontos de acesso encontrados pelo microcontrolador. Caso o operador venha a escolher uma rede para acessar, este módulo enviará um sinal para o Recuperador de senha e posteriormente entrará em cenário Wi-Fi. Na página criada existe também a possibilidade de modificar o endereço serial deste sistema.

Ao ser acionado o módulo Recuperador de senha tem a função de guardar no arquivo de configurações a rede escolhida e a senha para a conexão para essa rede.

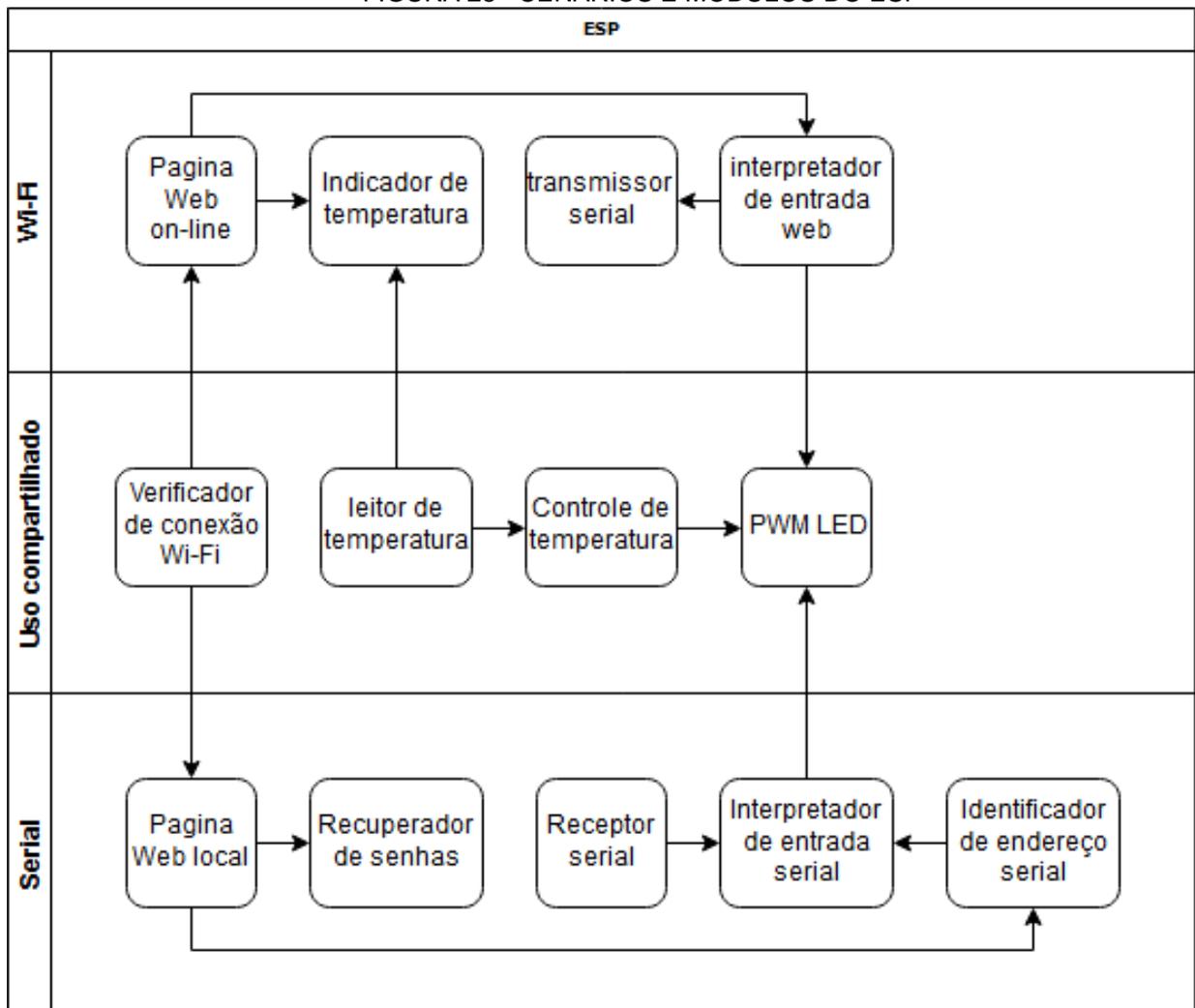
O módulo Receptor serial tem a finalidade de traduzir a informação recebida via protocolo RS-485 e em seguida passar para o Interpretador de entrada serial.

Recebido o sinal do módulo *Página Web* o Indicador do endereço serial troca o valor do endereço para este sistema. Sua outra função é informar ao Interpretador de entrada serial o endereço atribuído a si.

Ao receber um sinal do Receptor serial o interpretador de saída irá então verificar se o valor é pertinente a este sistema, caso seja ele irá tratar o sinal e enviar para o PWM LED.

Todas esses módulos, cenários e interligações podem ser vistos na figura 28.

FIGURA 28 –CENÁRIOS E MÓDULOS DO ESP



7 RESULTADOS OBTIDOS

Após a elaboração de ambas as placas de circuitos impressos e o desenvolvimento de códigos de programação para o ESP o protótipo final foi concluído. Os resultados obtidos serão apresentados no decorrer deste tópico.

7.1 INTERFACE WEB

A interface de controle do sistema foi dividida em duas páginas *Web*, sendo uma para o cenário Wi-Fi e outra para o Serial.

Para página *Web* do cenário Serial, qual está disponível quando o módulo não se encontra conectado à internet tem-se seu acesso disponível ao se conectar ao ponto de acesso criado pelo ESP, que pode ser realizado com qualquer dispositivo, seja ele um computador, notebook ou smartphone. Após a efetivação da conexão, deve-se acessar o site de IP “192.168.0.3”.

Ao conectar ao site, a página *web* que pode ser vista na figura 29 exibida a seguir.

FIGURA 29 –PÁGINA WEB - SERIAL



Configure WiFi for LED 2

Available APs:

- Oi WiFi Fon
- NET_2GDDA3CA
- CARLA
- Fique Bem
- Tiago Moraes
- net_virtua_ap504
- GVT-FAAB
- Zinthos_EXT
- vBETA
- Doni
- tomasi01
- bel-vina_
- GVT-B43C

Enter wifi SSID:
Enter wifi password:
Enter LED Adress 2-32:

FONTE:O AUTOR (2018)

Na parte superior pode-se observar o endereço atual para esse sistema referente a comunicação serial RS-458. Para o caso da figura seu endereço é o de número 2, portanto caso uma mensagem seja enviada por via serial ao endereço 2, esse sistema acarretará a mensagem recebida.

Logo abaixo estão listados todos os pontos de acesso encontrado pelo módulo de controle. Caso se deseje conectar a um destes pontos, basta o operador entrar com o nome do ponto (SSID) no seu referido campo, preencher a senha de acesso e por fim clicar em “Save”.

O último campo preenchível é responsável pela modificação do endereço para a comunicação RS-485 deste aparelho, o usuário pode entrar com valores de 2 a 32. Caso a troca seja efetivada automaticamente a página será atualizada e o novo endereço será apresentado no topo da página.

Portanto esta página tem o intuito de configurar o ESP, possibilitando assim que ele se conecte à internet ou referenciá-lo quanto a comunicação serial.

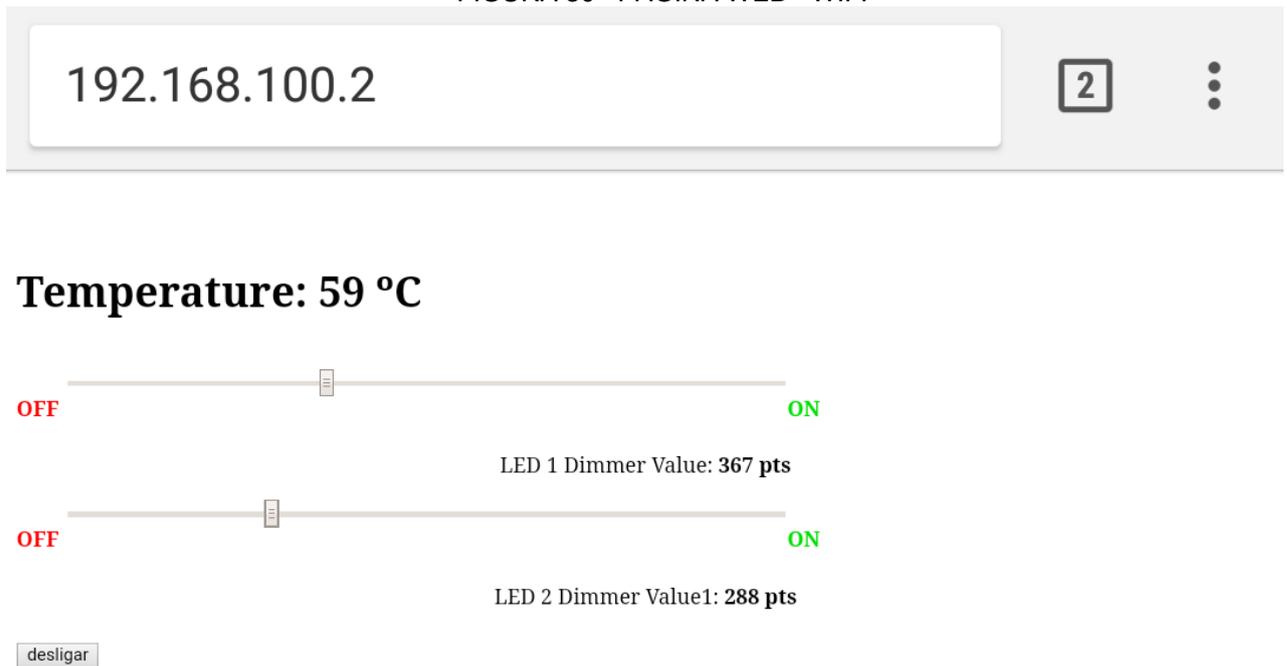
Para ambos os casos as configurações modificadas são salvas em memória, portanto não é necessário realizar o processo de configuração a cada vez que o equipamento é religado.

É importante enfatizar que independente do acesso a essa página *web*, o módulo mantém todas suas funções atuando, como controle de temperatura, controle de intensidade luminosa e sua comunicação serial.

Para a página do cenário Wi-Fi, essa apresenta características um pouco diferente, ela possui funcionalidades de controle ao contrário da citada anteriormente que tem foco na configuração.

Após que a conexão com ponto de acesso selecionado anteriormente seja estabelecida, o ESP disponibiliza o acesso a esta por via do IP disponível para ele, sendo este IP no formato “192.162.100.X” donde X é o primeiro valor livre encontrado pelo módulo, este costuma apresentar valores entre 1 e 10. O IP da página não pode ser mantido fixo como configuração de fábrica, pois caso exista mais de um protótipo conectado à mesma rede, seria impossível acessar a página de ambos.

FIGURA 30 –PÁGINA WEB - WIFI



FONTE:O AUTOR (2018)

A figura 30 acima ilustra a página *web* para o cenário Wi-Fi, ao topo é apresentado a temperatura atual do LED, qual tem o intuito de alertar o operador quanto ao sobreaquecimento do sistema. Para melhor indicar os casos de cautela quanto ao uso do aparelho, foi implementado uma função que troca a cor da temperatura de acordo com a utilização da ventoinha. Caso a velocidade de rotação esteja em máxima, a temperatura apresenta a cor vermelha. Para caso de baixa velocidade, a cor apresentada é a laranja. Já para o caso da ventoinha sem rotação a cor sua cor é a preta.

Ao meio existem dois botões deslizantes, um para o LED 1, qual obrigatoriamente se encontra neste aparelho. O outro botão é endereçado ao LED 2, o mesmo pode estar conectado a este sistema ou se encontra em outro módulo, qual recebe informações por vias seriais.

Cada botão varia de 0 a 1023 de forma independente, seu valor atual é apresentado em negrito logo abaixo do mesmo, este valor corresponde a intensidade do emissor de luz, sendo 0 desligado e 1023 o caso de maior brilho.

Portanto para o botão de número dois, como citado anteriormente, este tem seu valor enviado via RS-458, para controlar assim todos os sistemas que apresentarem o endereço 2 e também um segundo LED que possa estar ligado ao módulo atual.

Ambos os valores dos botões são salvos na memória do ESP, assim caso algo aconteça e o módulo venha a desligar, o mesmo irá retornar com os valores de saída apresentados anteriormente ao ocorrido, fornecendo assim maior estabilidade quanto a iluminação.

Por fim, tem-se o botão de “*Disconnect*”, qual realiza a desconexão do ponto de acesso à internet. Ao ser clicado, o mesmo também apaga os dados salvos anteriormente e por fim retorna o aparelho ao cenário Serial, sendo possível assim o configurá-lo novamente.

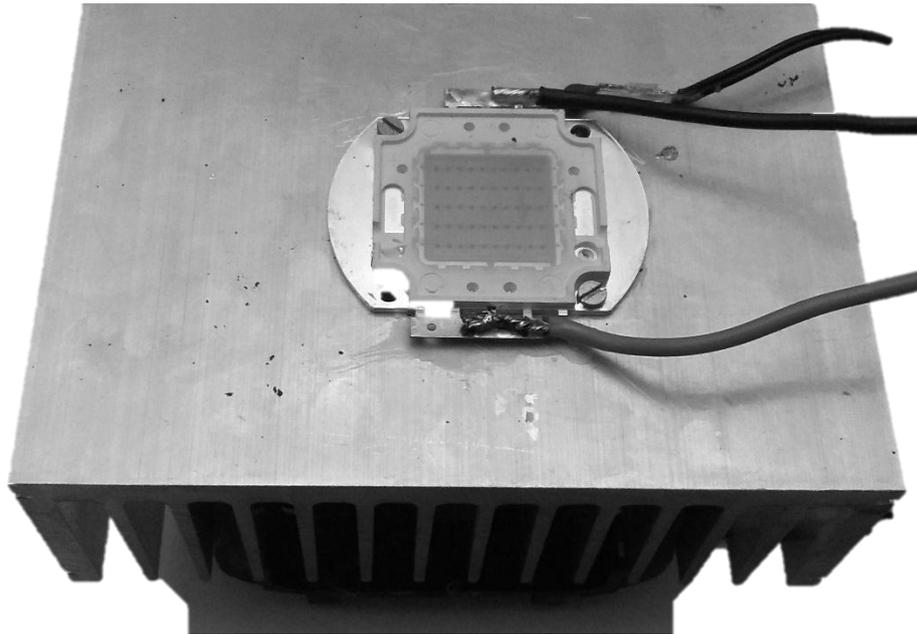
7.2 DISSIPACÃO DE CALOR

Conhecido a resistência térmica necessária para o dissipador de calor, foi adquirido o dissipador com as características necessárias para o projeto.

De acordo com os cálculos realizados o dissipador consegue por si só suprir a dissipação do sistema, entretanto foi adicionado também um ventilador de baixa emissão de ruídos sonoros qual atua somente em casos de grande temperatura.

O Conjunto pode ser visto nas figuras de número 31 e 32.

FIGURA 31 – DISSIPADOR DE CALOR



FONTE:O AUTOR (2018)

FIGURA 32 –CONJUNTO VENTONHA E DISSIPADOR



FONTE:O AUTOR (2018)

O controle da temperatura é feito pelo sensor NTC qual se encontra disposto próximo ao LED assim fornecendo maior confiabilidade nas medições. Ao ler e interpretar o valor da temperatura o ESP atua ou não na potência do LED e também na velocidade da ventoinha.

Para sinalizar ao operador do sistema foi implementado um código de cores sobre a apresentação da temperatura na página *web*. Estas mudanças podem ser vistas na figura 33 em seguida.

FIGURA 33 – CÓDIGO DE CORES PARA TEMPERATURA

42 °C 75 °C 91 °C

FONTE:O AUTOR (2018)

Para o caso da coloração preta o sistema está em opera normal. Ao apresentar a coloração laranja, tem-se o sistema qual tem a sua ventoinha em velocidade média. Já para o caso da coloração vermelha a ventoinha está em alta rotação e logo pode ter a sua intensidade luminosa reduzida, portanto é um caso de maior risco e precisa de maior atenção do operador.

O sistema foi testado por meio do aquecimento do sensor com um isqueiro. Neste teste a temperatura subiu de valor e os sistemas de proteção atuou forçando inicialmente o funcionamento da ventoinha em baixa velocidade, em seguida média e alta, por fim foi reduzida a potência do emissor de luz.

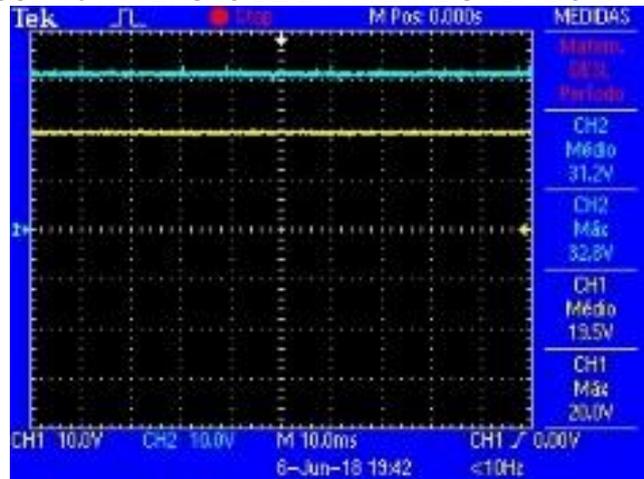
Foi planejado a execução de um teste de estresse do LED, onde o mesmo seria submetido a longo tempo em intensidade máxima, entretanto por causa da greve dos caminhoneiros passada em meados de Abril, houve o atraso do recebimento do dissipador, fato que ocasionou a não possibilidade de realização do teste devido ao pouco tempo disponível.

7.3 CONTROLE DE INTENSIDADE LUMINOSA

Facilmente pode ser verificar o funcionamento do controle de intensidade luminosa apenas observando o brilho do emissor de luz, mas para comprovar que o controle realmente ocorre como o esperado foi observado a corrente no LED de acordo com o PWM enviado para o pino de *Feedback* do conversor.

O conversor *boost* ao receber uma entrada de 20 V apresentou uma saída de em média 31.2 V como pode ser visto na figura 34, qual apresenta o CH1 como a entrada do circuito e CH2 como a saída do elevador de tensão.

FIGURA 34 – TENSÃO DE ENTRADA E SAÍDA DO *DRIVER*



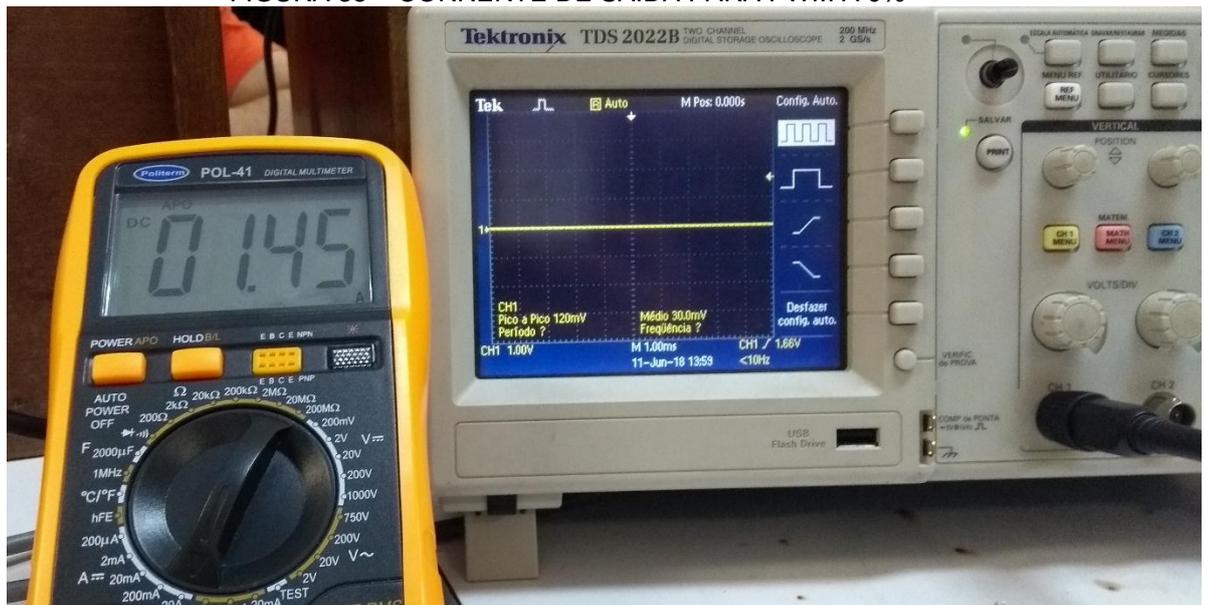
FONTE:O AUTOR (2018)

O valor encontrado se revela dentro do esperado e planejado, portanto a tensão de saída se apresenta como necessária para o funcionamento do LED.

Para o caso da corrente, foi observado no primeiro protótipo que essa não apresentava a corrente almejada, este fato foi dado devido ao resistor utilizado no circuito. Conhecido esse problema foi adquirido um resistor mais próximo do valor ideal calculado anteriormente, sendo o valor do resistor atual igual a 0,15 Ω .

Para este resistor obteve-se uma corrente de saída de 1,45 A para o cenário de máxima intensidade do LED. Para este caso o comprimento do PWM foi de 0% do comprimento total, assim obteve-se a potência de 45,24 W para o LED próxima aos 50 W almejados, sendo essa diferença causada pela diferença de valor entre resistor aplicado e o valor do resistor calculado. A corrente medida pode ser vista na figura 35 que se encontra abaixo.

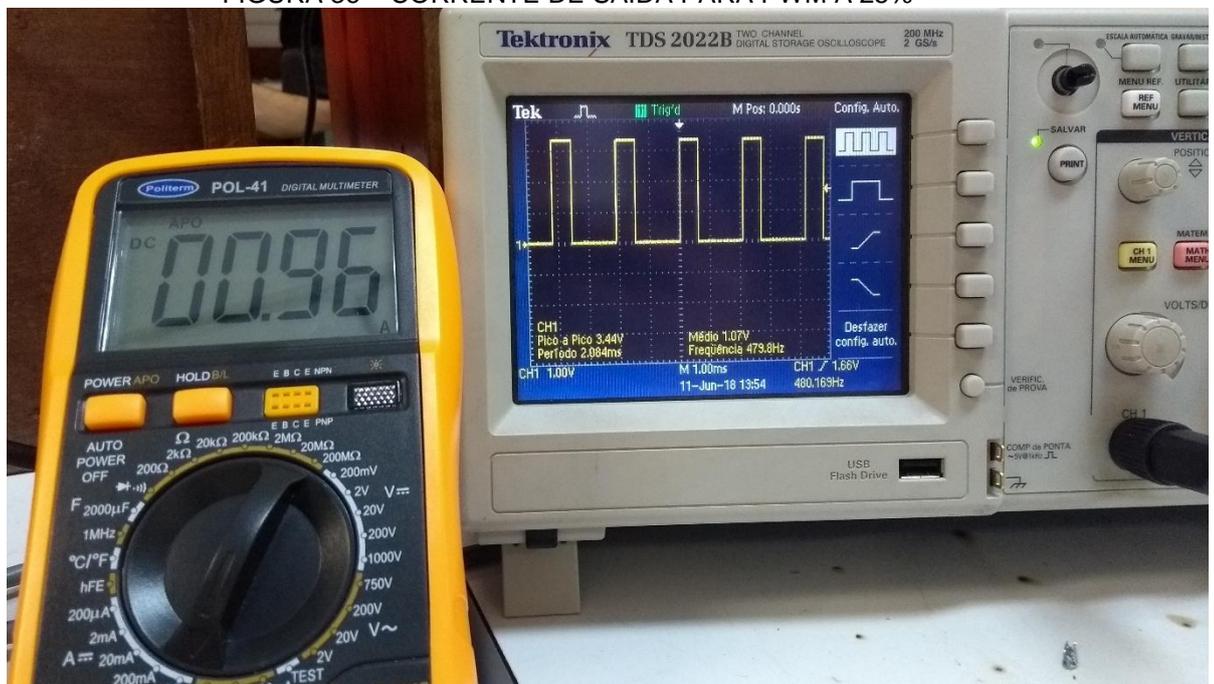
FIGURA 35 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 0%



FONTE:O AUTOR (2018)

Como explicado anteriormente ao entrarmos com um PWM cada vez maior no *Feedback* do nosso *boost*, mais sua corrente sofre redução. Esse fato pode ser comprovado nas figuras de número 36, 37 e 38.

FIGURA 36 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 25%

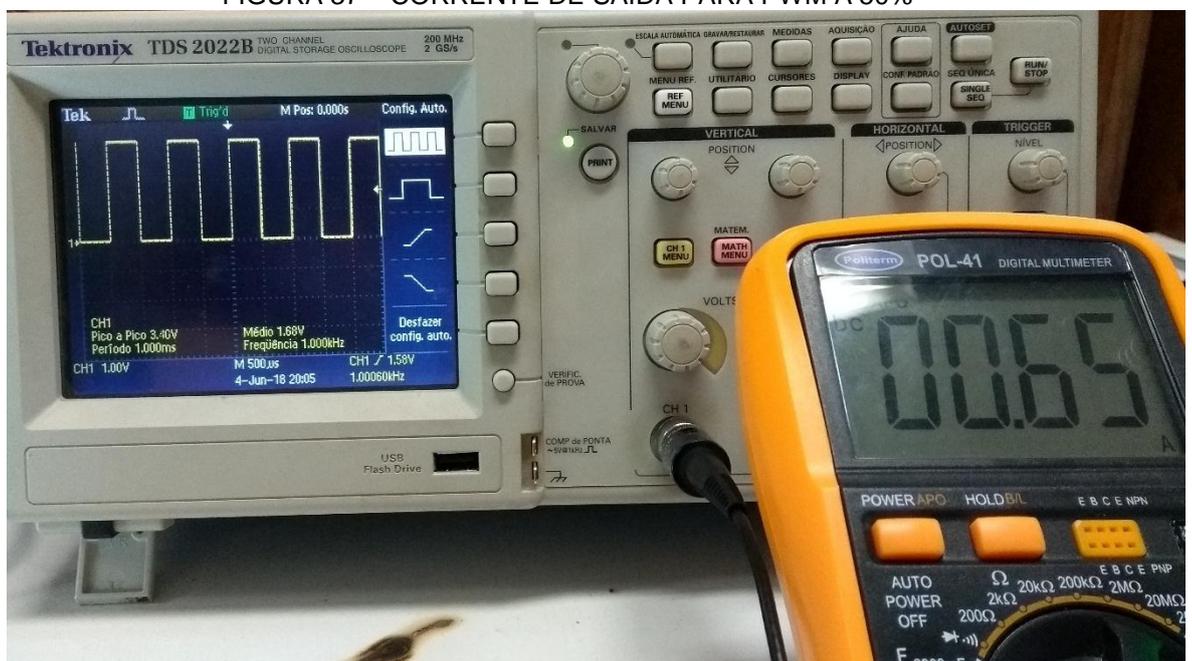


FONTE:O AUTOR (2018)

Na figura acima tem-se um PWM com tamanho de ciclo de 25%, portanto a corrente do Emissor de luz é reduzida em cerca de 75% como indicado na figura 36 comprovando que o controle funciona como o esperado.

Para o caso da figura 37, tem-se um ciclo de 50% do comprimento total, qual ocasiona a redução da corrente para o entorno de 50% da máxima. Sendo este fato averiguado na figura abaixo.

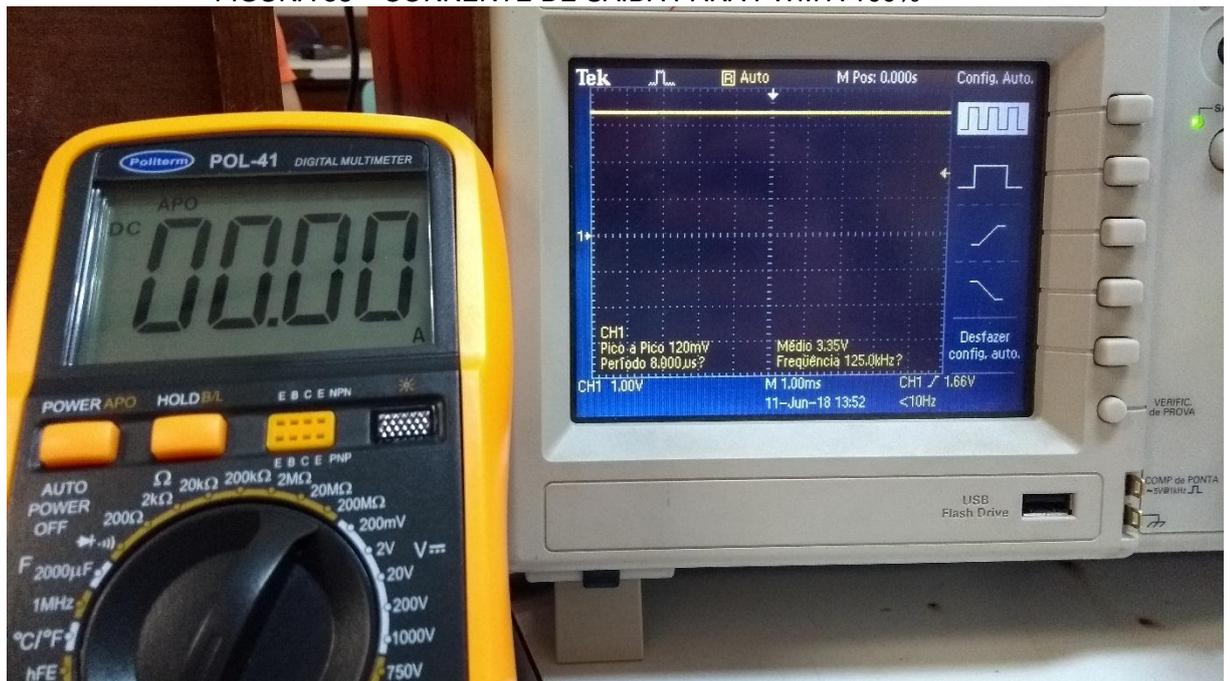
FIGURA 37 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 50%



FONTE:O AUTOR (2018)

O último ponto de validação estabelecido foi o de corrente mínima, ou seja, 0 A, tornando assim a lâmpada ao estado desligado. Para atingir este patamar, o PWM utilizado foi de 100%, portanto totalmente ligado. O resultado desta ação pode ser visto na figura de número 38.

FIGURA 38 – CORRENTE DE SAÍDA PARA PWM À 100%



FONTE:O AUTOR (2018)

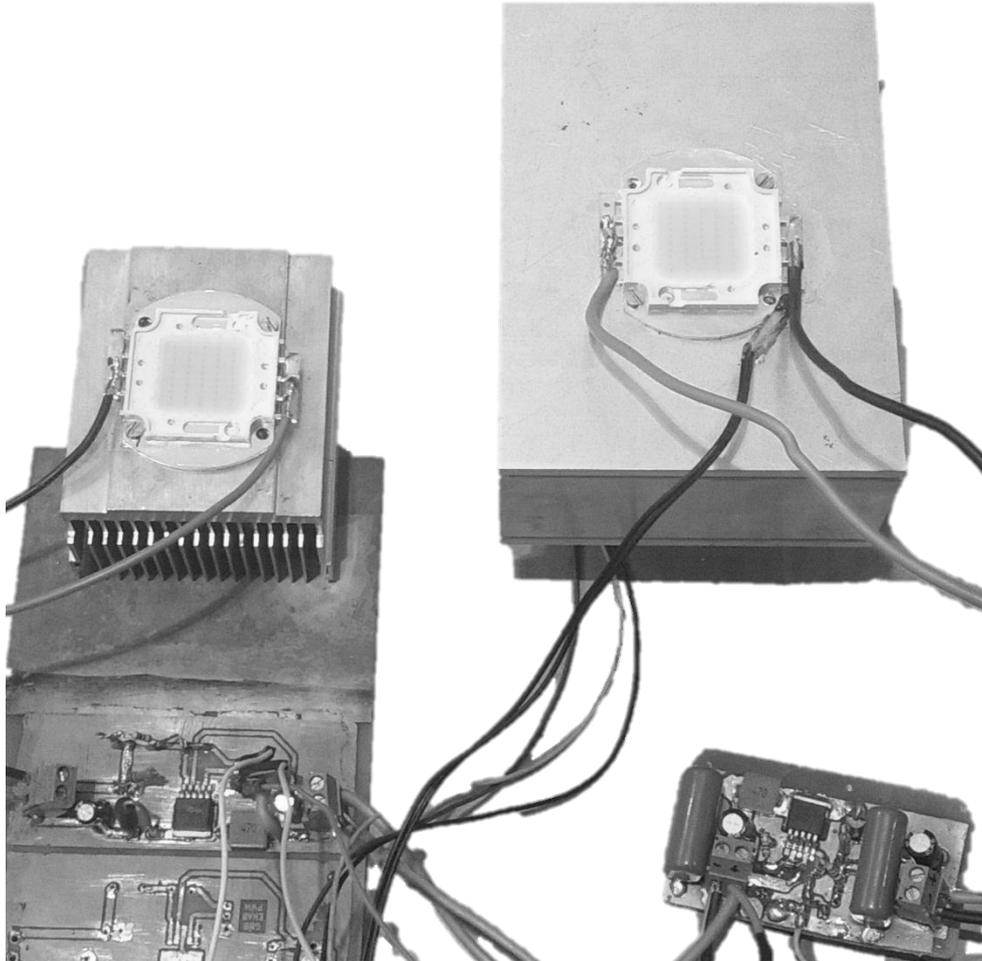
Portanto foi validado com êxito o controle da intensidade luminosa para o *driver* utilizado no projeto.

7.4 CONTROLE DE MÚLTIPLOS LED'S NO MESMO PROTÓTIPO

Para permitir o controle de múltiplos LED's com somente um módulo de controle foram utilizados ambos botões deslizantes da página *web*, onde cada botão controlava um módulo de potência diferente, portanto controlando emissores de luzes diferentes.

Com isso pôde-se controlar a intensidade luminosa de cada um dos LED's de forma independente um do outro, validando-se então esta funcionalidade do equipamento como observado na figura 39.

FIGURA 39 – DOIS MÓDULOS DE POTÊNCIA CONTROLADOS POR UM MÓDULO DE CONTROLE



FONTE:O AUTOR (2018)

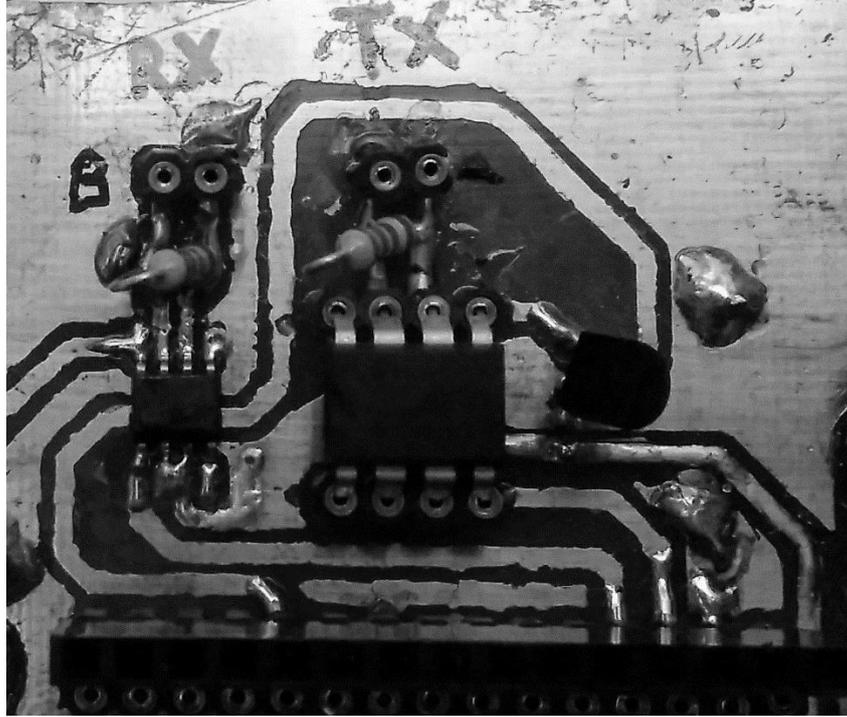
Nota-se na figura 39 que para o segundo módulo de potência foi utilizado o primeiro protótipo, este fato ocorreu pois apenas um protótipo final foi produzido, entretanto seu funcionamento é idêntico ao módulo de potência do protótipo final.

7.5 COMUNICAÇÃO SERIAL

O módulo de comunicação foi implementado utilizando dois CI ao invés de somente um, essa atitude foi tomado com o intuito de reduzir a quantidade de pinos a serem utilizadas do microcontrolador, visto que este possui uma limitação quanto ao número de pinos disponíveis para uso, sendo então necessário a utilização de somente três pinos, obtendo um ganho de ao menos uma porta do ESP.

Tem-se então um CI responsável pela transmissão de dados e outro para a recepção, onde o primeiro apresenta maior nível de tensão de alimentação, assim possibilitando envio a maiores distâncias. Ambos os circuitos podem ser vistos na figura 40.

FIGURA 40 – CIRCUITOS RESPONSÁVEIS PELA COMUNICAÇÃO RS-485



FONTE:O AUTOR (2018)

Para a recepção do sinal o CI escolhido apresenta um encapsulamento compatível com a tecnologia SMD, qual se desejava aplicar a todos componentes entretanto ficou-se limitado por causa do mercado de componentes em Curitiba como citado anteriormente. Este receptor trabalha com tensão de 3,3 V, fato que permite a comunicação direta deste com o ESP, evitando então a necessidade de um circuito de redução de tensão para evitar a queima da porta do microcontrolador.

A escolha entre o receptor e o transmissor é feita pelo microcontrolador, qual modifica suas portas de entrada e saída com o intuito de desconectar o circuito não utilizado, assim apresentando uma alta impedância e evitando ruídos na linha de sinal. Para o transmissor foi utilizado também um transistor, qual remove a referência para o CI transmissor tornando-o inoperável.

A comunicação foi então validada com a ajuda de dois protótipos, onde um estava conectado à rede, ou seja estava em cenário Wi-Fi, portanto capacitado a enviar sinais de RS-485 e desabilitado para o recebimento. O outro operou em cenário Serial, portanto estava desconectado da rede e somente seu circuito receptor estava ativo. Por meio da página *web* foi enviado sinais para modificação da intensidade luminosa do protótipo desconectado, esse recebeu então o sinal por via serial e então alterou a corrente do LED, validando então o funcionamento da comunicação serial.

7.6 MÓDULO DE CONTROLE

Apesar da falta familiaridade do autor com o microcontrolador utilizado no trabalho e as limitações do ESP quando a portas e velocidade de processamento, o módulo de controle foi implementado apenas com a utilização do ESP, sendo dispensada a utilização de um segundo microcontrolador de apoio como sugerido pela banca deste trabalho.

Facilmente pode-se dizer que a implementação de um segundo microcontrolador para realizar algumas tarefas facilitaria muito a implementação deste módulo, entretanto com o planejamento, estudo das funcionalidades e aperfeiçoamento dos códigos implementados no ESP, o mesmo foi capaz de realizar todas as funções propostas à ele como a comunicação serial, conexão com a internet, apresentação de uma página *web* para interface com usuário, controle de intensidade luminosa e outras funções.

Foi realizado um trabalho árduo para manter somente o ESP no protótipo, esta conquista garante para o protótipo um valor reduzido comparado com a utilização de um segundo microcontrolador, provavelmente ao aplicá-lo, o custo do projeto aumentaria em 10 a 30 reais, o que implica em maior custo de venda, diminuindo então a competitividade do protótipo em um cenário de concorrência com outros produtos da linha cênica.

Por fim obteve-se um módulo de controle capaz de realizar todas funções proposta, quais foram validadas e abordadas nos tópicos anteriores.

8 CONCLUSÃO

Apesar de todas dificuldades passadas com relação a linguagem de programação Lua qual não é abordada curso de Engenharia Elétrica, limitações do microcontrolador, dimensionamento de componentes e sistema de controle de temperatura, não disponibilidade de componentes SMD no mercado local e outras dificuldades encontradas na evolução do trabalho, foi atingido de forma integral todos os objetivos gerais e específicos almejados no começo do trabalho como o desenvolvimento de placas de circuito impressos, controle da intensidade luminosa com grande precisão, comunicação de acordo com os protocolos RS-485 e 802.11 e outros objetivos, portanto foram atendidos todos os objetivos gerais e específicos propostos no início do trabalho.

Em ambos cenários de trabalho do equipamento suas funcionalidades foram testadas e validadas com auxílio de testes e ensaios de funcionamento, para ambos os testes o projeto respondeu da forma como se desejava. O protótipo final foi capaz de criar um ponto de acesso e uma página *web* para ser configurado por um operador, onde neste cenário respondeu a comunicação serial alterando a intensidade luminosa do seu LED. O protótipo conseguiu também se conectar a uma rede de acordo com as informações passadas pelo operador, criando assim uma página *web* que permite ao operador controlar um ou mais LED's atrelados a este equipamento, controlar também outros equipamentos conectados a ele por via serial, permitiu também a visualização da temperatura pelo operador e alertá-lo de forma visual em caso de sobreaquecimento do sistema. Todas estas funcionalidades foram implementadas dentro do ESP, tarefa que foi muito trabalhosa visto a indisponibilidade de pinos de saída e entrada do microcontrolador e por não se tratar do processador de maior velocidade disponível no mercado, entretanto graças a um trabalho árduo e muito bem planejado, o ESP permitiu a implementação de todas as funções desejadas.

Como trabalho futuro, sugere-se o embelezamento da interface homem-máquina relacionada a página *web*, a capacitação desta para comandar até 32 equipamentos, a possibilidade de implementar o protocolo IPV6 ou MQTT para aperfeiçoar a comunicação do equipamento com a rede e a implementação de um

protocolo de automação do endereço do RS-485 de cada LED existente no barramento serial.

9 CRONOGRAMA

O cronograma idealizado para este projeto pode ser visto no anexo 1 deste trabalho, ele trata sobre o desenvolvimento do projeto para o semestre onde o trabalho foi avaliado, onde cada semana do ano está representada pelo seu respectivo número.

O Cronograma real se diferenciou da semana 20 a 26, pois não foi adicionado ao idealizado as datas referentes a placa do protótipo final, onde está ocupou duas semanas. Portanto o período da semana 20 a 26 foi comprimido entre a semana 22 a 26.

REFERÊNCIAS

Abilux, **Uso de lâmpadas Led deve crescer 30% em 2015**. [S.l.], Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/portal/abilux-na-midia/10/uso-de-lampadas-led-deve-crescer-30-em-2015>>. Acesso em 23 abr. 2017

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE: Resolução Normativa N 556**. Brasília, DF, 2013.

BARBI, Ivo; SOUZA, Fabiana Pöttker de. **Conversores CC-CC isolados de alta frequência com comutação suave**. Florianópolis: Ed. dos Autores, 1999. Cap. 3. p. 103-107.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**; 6ª Edição, UFSC, 2006.

BENDER, V. C.; MARCHESAN, T. B.; ALONSO, J. M. **Solid-State Lighting: A Concise Review of the State of the Art on LED and OLED Modeling**. IEEE Industrial Electronics Magazine, [s.l.], v. 9, n. 2, p.6-16, jun. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7134817/>>. Acesso em 02 fevereiro de 2018.

BERGMANN BLEY, F. **LEDs versus Lâmpadas Convencionais Viabilizando a troca, Artigo (Pós-graduação em Iluminação e Design de Interiores)**, Revista OnLine Especialize. Disponível em <<https://www.ipog.edu.br>> Acesso em Abril de 2017.

BLATT, R. **Eficiência Luminosa e Energética**, [S.l.], Disponível em <<http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/eficiencia-luminosa-e-energetica/78651/>>. Acesso em Abril de 2017.

CROMATECK. **POWER LED BRANCO COM DISSIPADOR**, Disponível em <http://www.cromatek.com.br/site/components/com_jshopping/files/demo_products/P_L50W.pdf>. Acesso em Março de 2018.

DILOUIE, C. **In the Driver's Seat: LED Drivers, Driver Service Is Integral To LED Operation**. [S.l.], Disponível em: <<http://www.ecmag.com/section/lighting/drivers-seat-led-drivers>>. Acesso em Abril de 2017.

DILOUIE, C. **WHAT'S NEW IN LED DRIVERS**. [S.l.], Disponível em: <<http://www.lightnowblog.com/2017/01/whats-new-in-led-drivers/>>. Acesso em abril de 2017.

DINIS, P. **Novo protocolo DALI - IEC 62386 (DALI2)**, Ostran Portugal, Disponível em <http://d20g1hcwzqzdk.cloudfront.net/sites/www.voltimum.pt/files/01_dali_edition_2_-_nova_edicao_dali.pdf>. Acesso em Abril de 2017.

Espressif Systems IOT Team. **ESP8266EX Datasheet**. [S.l.], Disponível em <https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf> Acesso em dezembro de 2017.

FSEAPLCDE - FONDATION D'ENTREPRISE ALCEN POUR LA CONNAISSANCE DES ÉNERGIES. **Production d'énergie dans le monde**. [S.l.], Disponível em: <<http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/chiffres-cles-production-d-energie>>. Acesso em Abril de 2017.

GAST, M. **802.11 Wireless Networks: the Definitive Guide**. 2. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2005.

GRANDJEAN, N. **LED light sources (light for the future)**. Journal Of Physics D: Applied Physics, [s.l.], v. 43, n. 35, p.350301-350302, 19 ago. 2010. IOP Publishing.

GUO et al. **An Application of Communication System on the Navigation Light's Filament Status Based on RS-485**. 2012 2nd International Conference On Remote Sensing, Environment And Transportation Engineering, [s.l.], p.1-3, jun. 2012. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

HATMMAN et al. **SISTEMA MICROCONTROLADO PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DE AMBIENTES**, Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática Setembro de 2014.

HS DISSIPADORES. **Dissipadores de calor**, Disponível em <<http://www.hsdissipadores.com.br/catalogo.pdf>>. Acesso em Março de 2018.

IEEE. **IEEE Std 802.11-1997** New York, Estados Unidos 1997.

IMPLASTEC. **ISOLADOR DISSIPADOR THERMALPAD – SILGLAS**, Disponível em <<http://implastec.com.br/revenda-eletronica/isolador-silglass/>>. Acesso em Março de 2018.

KUGELSTADT, T. **The RS-485 Design Guide**, Texas Instruments [S.l.], Fev. de 2008–rev. Out. de 2016.

Lua. **A Linguagem de Programação Lua**. Rev. Fevereiro de 2017. Disponível em <<https://www.lua.org/portugues.html>>. Acesso em Janeiro de 2018.

MAXIM, “**3.3V-Powered, 10Mbps and Slew-Rate-Limited True RS-485/RS-422 Transceivers**” Rev. 0, Dezembro de 1994. Disponível em <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/73221/MAXIM/MAX3485.html>>. Acesso em Abril de 2018.

TICA et al. **An arduino platform for remote control and bus testing of programmable instruments**. 2016 IEEE 22nd International Symposium For Design And Technology In Electronic Packaging (siitme), [S.l.], p.1-4, out. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

XLSEMI, **180KHz 60V 5A Switching Current Boost LED Constant Current Driver XL6006 Datasheet**. Rev. Julho de 2016. Disponível em <
<http://www.xlsemi.com/datasheet/XL6006%20datasheet.pdf>>. Acesso em Março de 2017.

