

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE APRENDIZAGEM PARA AUXÍLIO NAS DISCIPLINAS DE SISTEMAS EMBARCADOS

João Carlos de Souza Filho¹

Vagner da Silva Rodrigues²

Resumo: Para que o estudante de sistemas embarcados tenha sucesso durante o desenvolvimento de seus projetos, ele deve ter uma lógica de programação condizente com o hardware utilizado. No entanto, a montagem de protótipos com placas de ensaio (protoboards) podem acarretar diversos problemas físicos como mau contato nos terminais dos componentes, montagem inadequada, inversão de polaridade e queima de componentes. Dessa forma, o presente artigo visa desenvolver uma placa eletrônica, de forma modular e expansível, no intuito de tornar a experiência do estudante de sistemas embarcados mais eficaz e didática. Além disso, será disponibilizado um repositório online contendo documentações como esquemáticos, layouts e exemplos de algoritmos. Como etapas de desenvolvimento, serão apresentados os requisitos, desenvolvimento do esquemático e layout, confecção da PCI, validação de funcionamento e criação do repositório. Sob tal ótica, com a placa confeccionada, iniciou-se as validações das medições das grandezas elétricas. Utilizando um multímetro, validou-se possíveis curto-circuitos em todos os módulos eletrônicos a fim de identificar possíveis erros do processo de corrosão da PCI e, além disso, validou-se que a alimentação estava dentro dos resultados esperados. Nas simulações de tempo de montagem dos circuitos eletrônicos, foi observado que uma quantidade expressiva de tempo é dedicada para a montagem do hardware. Além disso, evidenciou-se que esse processo de montagem manual está passível de problemas físicos e que o tempo de identificação e resolução do problema pode aumentar ainda mais o tempo de montagem. Este projeto enfatiza as dificuldades no processo de aprendizagem de Sistemas Embarcados e Algoritmos, apresentando uma solução didática e eficaz de prototipar projetos, podendo ser utilizado em ambiente acadêmico e pela comunidade *hobbista*.

Palavras-chave: Plataforma de Aprendizagem. Sistemas Embarcados. Eletrônica. Circuitos Eletrônicos. ESP32.

1 INTRODUÇÃO

A eletrônica está presente, de forma direta ou indireta, na vida de grande parte da população. Computadores, smartphones, tablets, geladeiras inteligentes,

¹ Graduando em Engenharia da Computação no semestre letivo de 2024-01. E-mail: jcsfjoao@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: vagner.rodrigues@satc.edu.br

relógios e controladores são apenas alguns dos exemplos que o estudo dessa tecnologia pode nos fornecer. Dessa forma, instigar e disseminar o estudo da eletrônica possibilitará continuar o avanço da indústria, seja melhorando processos, produtos ou fornecendo inovações tecnológicas.

Em 2023, durante a abertura da 31ª FIEE (Feira Internacional da Indústria Elétrica), o mestre em Direito pela Universidade de Harvard, Ronaldo Lemos, afirmou que o Brasil necessita deixar de ser apenas um grande consumidor de tecnologia para tornar-se também um grande produtor nos setores de inovação e a indústria eletroeletrônica é essencial para que isso ocorra (LEMOS, 2023). Nesse cenário, evidencia-se a necessidade de profissionais qualificados e preparados para as inovações e necessidades do mercado.

Com o advento da Indústria 4.0 no final da década passada, a eletrônica requisitou cada vez mais o conhecimento multidisciplinar dos profissionais da área. Tornou-se necessário que, além do conhecimento analógico, físico e químico dos componentes e circuitos eletrônicos, incorporasse a esse escopo a lógica digital e o estudo da programação.

Unindo-se os dois grandes conceitos de hardware (circuitos e componentes) com os de software (lógica de programação), a eletrônica torna-se uma área de estudo completa, no entanto, complexa. Sobretudo quando adicionamos os conceitos de *Internet of Things* (IoT), que, de acordo com Wanzeler, Fülber e Merlin (2016) trata-se de dispositivos eletrônicos do dia a dia interligados à internet, através do uso de sensores e outros equipamentos, para gerar uma base de dados que auxilie nas tomadas de decisões.

Sob tal ótica, sabendo-se da importância da eletrônica para o desenvolvimento da indústria brasileira e a necessidade de uma base de dados cada vez mais concisa para o auxílio na tomada de decisões, faz-se necessário uma forte base teórica e prática do profissional de sistemas embarcados.

Para que o estudante de sistemas embarcados tenha sucesso durante o desenvolvimento de seus projetos, ele deve ter uma lógica de programação condizente com o hardware utilizado. No entanto, a montagem de circuitos protótipos utilizando ferramentas como placas de ensaio (protoboards), podem acarretar em diversos problemas físicos como mau contato nos terminais dos

componentes, montagem inadequada, inversão de polaridade e queima de componentes.

O presente artigo visa desenvolver, através de técnicas de eletrônica, um hardware fixo, de forma modular e expansível, no intuito de tornar a experiência do estudante de sistemas embarcados mais eficaz e didática. Uma vez que o conceito de hardware será simplificado, facilitará e possibilitará o entendimento de lógica de programação de forma focada para que posteriormente, com um entendimento mais sólido, concilie os conceitos de forma integral e completa.

Nesse contexto, este trabalho possui como objetivos específicos projetar e confeccionar uma placa eletrônica contendo microcontroladores, sensores e atuadores. Além disso, desenvolver um repositório online contendo documentação como esquemáticos, exemplos de códigos e tutoriais para apoiar o processo de aprendizado, estimulando a comunidade de estudantes e entusiastas de sistemas embarcados a criar um ambiente colaborativo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção tem por finalidade apresentar uma revisão da literatura acerca dos assuntos tratados na introdução. As informações foram reunidas de modo que forneçam o embasamento teórico necessário para o trabalho.

2.1 SISTEMAS EMBARCADOS

Os sistemas embarcados tratam-se de dispositivos eletrônicos que combinam software e hardware no intuito de executarem tarefas específicas. Ou seja, sistemas microprocessados que comportam uma aplicação específica (CARRO e WAGNER, 2003). Dessa forma, através dessa definição, podemos diferenciá-los de computadores pessoais como notebooks, pois não possuem um propósito específico, permitindo o usuário utilizá-lo para inúmeras aplicações.

Os sistemas embarcados, devido à grande demanda gerada por eletrônicos, estão cada vez mais presentes nos produtos atuais. Isso ocorre devido a sua grande gama de soluções no mercado, permitindo que desempenhem apenas as funções necessárias para o projeto, de forma que evite custos com funções que

não serão utilizadas, reduzindo assim, o custo do projeto (CARRO e WAGNER, 2003).

São diversas as aplicações de sistemas embarcados. Temos por exemplo, sistemas com pequenas e simples funções, como por exemplo termômetros digitais e controles remotos, quanto para sistemas mais complexos, como veículos autônomos, equipamentos industriais, eletrodomésticos e sistemas hospitalares.

2.1.1 A importância de Sistemas Embarcados

Dependendo da aplicação, o projeto de hardware deve ser robusto o suficiente para manter seu funcionamento em ambientes extremamente hostis, exposto à alta temperatura, vibração e umidade. Já o software, deve ser sofisticado o suficiente para manter seu funcionamento pleno com os componentes físicos da placa de forma que evite comportamentos como leituras, escritas e acionamentos indevidos (DOUGLASS, 2004).

Visto que a camada de software está cada vez mais expressiva nesses cenários em relação à hardware, engenheiros de software com conhecimentos de hardware terão mais maestria do que engenheiros de hardware com conhecimentos em software (CHANG, 2003). Dessa forma, faz-se necessário um estudo aprofundado e especializado na camada de software, de forma eficiente e orientada.

2.2 PLATAFORMAS DE ENSINO

Ambientes de ensino que utilizam ao seu favor a tecnologia, tais como plataformas, programas, aplicativos ou sites, podem melhorar a eficiência do ensino e instigar habilidades tal como a motivação e a autonomia do estudo (PEARSON, 2019; PASSEY, 2021). Tais ferramentas auxiliam na diminuição de problemas comuns envolvendo cursos técnicos e de graduação, como por exemplo, desinteresse e evasão (BARBOSA, MEZZOMO e LODER, 2011).

Com o advento da indústria eletroeletrônica nas últimas décadas, buscou-se a criação de plataformas que facilitam cada vez mais e que fossem

amigáveis ao usuário, trazendo benefícios como baixo custo e fácil manipulação, através de interfaces de desenvolvimento (IDE) (GEDDES, 2017).

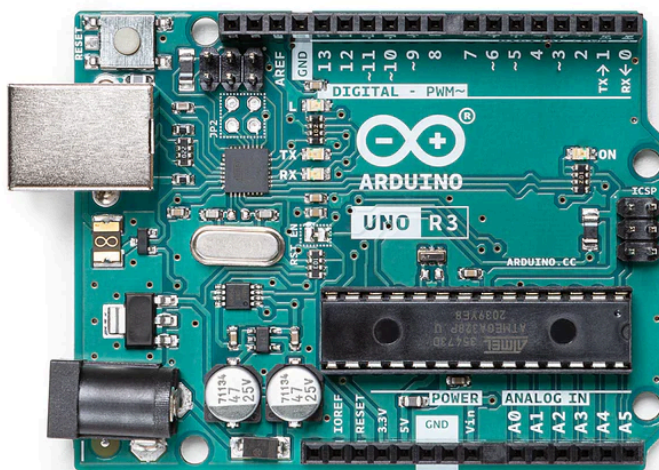
2.2.1 Placas de desenvolvimento

Visto a necessidade de dispositivos cada vez mais eficientes e modulares, visando a fácil manipulação e prototipação, expandiu-se a elaboração de placas de desenvolvimento. Tais placas tratam-se de circuitos eletrônicos projetados em um circuito impresso possuindo um SoC (*System-on-Chip*) de forma que, através do software implementado, possa controlar as entradas e saídas do microcontrolador (FILIPEFLOP, 2022).

2.2.2 Arduino Uno

Uma plataforma de desenvolvimento muito utilizada na atualidade, tanto para hobby quanto para acadêmicos de engenharias é o Arduino, visto seu grande potencial de versatilidade e dinamicidade (BRIDI, 2013). Dessa forma, o Arduino trata-se de uma plataforma de desenvolvimento e prototipação de projetos eletrônicos, constituindo os conceitos de hardware e software (LOUSADA, 2020). A Fig. 1 demonstra um dos modelos de Arduino mais utilizados no mercado.

Figura 1: Arduino Uno ver3.



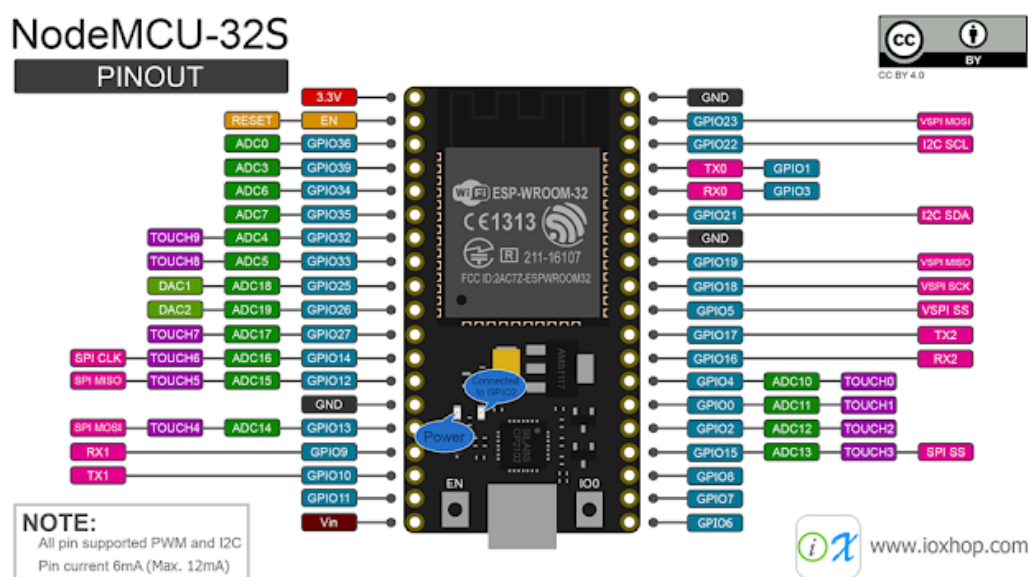
Fonte: Arduino (2024).

2.2.3 NodeMCU-32S

Um dos microcontroladores utilizados atualmente nas placas de desenvolvimento é o ESP32, que possui um alto desempenho e é fabricado pela empresa Espressif Systems, tendo como principais vantagens os módulos Wireless Fidelity (WiFi) e *Bluetooth* integrados. Suas principais características são o baixo consumo de energia, 36 portas, uma CPU dual-core, 4 MB de memória flash, 448 Kbytes de memória ROM e 520 Kbytes de memória RAM (SYSTEMS, 2023).

O NodeMCU-32S é um exemplo de placa de desenvolvimento que utiliza o ESP32. Um de seus principais benefícios é já possuir uma interface Universal Serial Bus (USB). Utilizando um cabo mini USB, pode-se facilmente programar o microcontrolador através de uma IDE utilizando as bibliotecas correspondentes. A Fig. 2 demonstra um diagrama do NodeMCU-32S.

Figura 2: NodeMCU-32S.



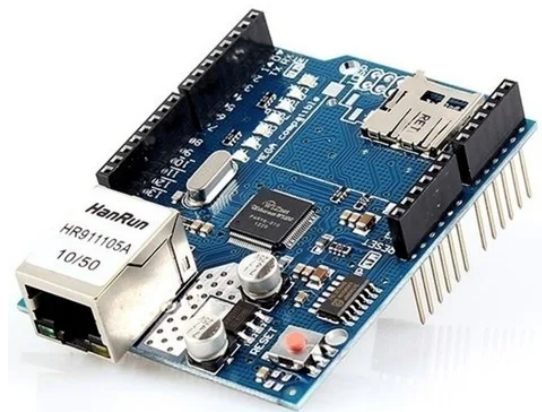
Fonte: KOYANAGI (2018).

2.3 PLACAS SHIELD

Placas denominadas *shield*, na eletrônica, tratam-se de um hardware desenvolvido que pode ser acoplado diretamente nos pinos das placas de

desenvolvimento no intuito de expandir suas funcionalidades e características (MCROBERTS, 2011). Temos diversos *shields* disponíveis no mercado contendo componentes, como por exemplo, módulos Wi-Fi, *bluetooth*, expansão de portas do microcontrolador, dispositivos de acionamento de cargas e circuitos digitais. A Fig. 3 exemplifica um modelo de Shield Ethernet para o Arduino Uno.

Figura 3: Shield Ethernet.



Fonte: Do autor (2024).

Dessa forma, um fator em comum existente entre placas *shield* e placas de desenvolvimento é que em ambos os casos elas são constituídas de Placas de Circuito Impresso (PCI).

2.4 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Placas de Circuito Impresso (PCI) trata-se de uma forma de organizar o circuito elétrico ou eletrônico em uma placa, de forma compacta e eficiente. As PCIs são responsáveis por realizar toda a interligação dos componentes de um circuito, através de técnicas de solda elétrica dos componentes em uma camada de trilhas de cobre dispostas sobre um material não condutor (RIGO, 2019). Segue abaixo na Fig. 4 a estrutura básica de uma PCI.

Figura 4: Diagrama de uma PCI de face dupla.



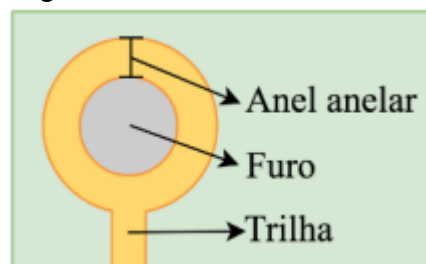
Fonte: RIGO (2019).

O cobre nas PCIs refere-se às finas camadas que são separadas por dielétricos que, por sua vez, é um isolante elétrico. O dielétrico serve para que não haja contato elétrico indesejado entre partes dos circuitos. Essas placas podem ser de face simples ou dupla, como no exemplo da Fig. 4. No entanto, para projetos mais complexos, podem ser utilizadas inúmeras faces (ALTIUM, 2020).

2.4.1 Trilhas

Trilhas são as finas camadas de cobre que interligam os PADS, também chamados de Anel anelar, dos componentes, servindo de condutores de energia elétrica, de acordo com a Fig. 5. Seus tamanhos podem mudar de acordo com a necessidade de corrente que fluirá nela.

Figura 5: Trilha em uma PCI.



Fonte: RIGO (2019).

2.4.2 Componentes PTH

Componentes PTH (*Pad with a Through-Hole*) são os componentes eletrônicos na qual seus terminais necessitam atravessar a placa entre suas faces para realizar a conexão, como mostrado na Fig. 6. Essa conexão ocorre através do

PAD, que se trata de um ponto de conexão onde ocorre uma solda elétrica (LEMOS, 2022).

Figura 6: Resistor com terminal PTH.

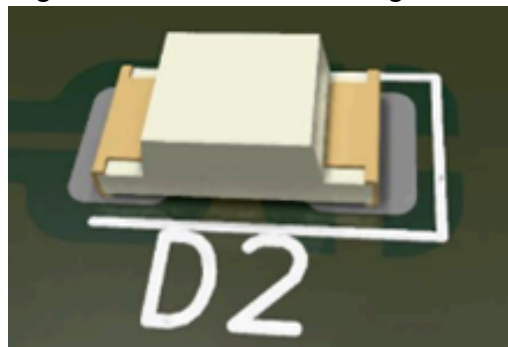


Fonte: LEMOS (2022).

2.4.3 Componentes SMD

Componentes SMD (*Surface Mount Device*) é o método de montagem que permite que um componente possa ser soldado na placa estando em apenas uma das faces da PCI, fazendo com que o circuito seja muito mais compacto e tenha-se componentes menores (LEMOS, 2022), como apresentado na Fig 7.

Figura 7: LED com tecnologia SMD.



Fonte: LEMOS (2022).

A estrutura física dos componentes SMD costumam possuir dimensões menores que os PTH e por isso são muito utilizados em placas que utilizam montagens automatizadas e industriais.

2.4.4 Software de design de layout de PCI

Antes do desenvolvimento das placas de circuito impresso, as placas eram construídas manualmente, através de técnicas de fitas adesivas condutivas e solda de fios condutores. Com o avanço da indústria eletrônica e dos computadores, surgiram softwares especializados chamados de softwares de desenho assistido por computadores, ou do inglês Computer-Aided Design (CAD) (JONES, 2004).

A partir disso, a maneira manual de produção deixou de ser utilizada e apenas os programas baseados em CAD passaram a ser utilizados. Visto a grande flexibilidade na forma de manipular a ferramenta, ações que antes levavam horas, passaram a serem feitas em apenas alguns segundos (JONES, 2004).

O CircuitMaker, por exemplo, trata-se de um software gratuito de design de hardware open-source, desenvolvido pela empresa Altium. Ele possui uma vasta biblioteca de componentes prontos, além de possuir tecnologias como visualização 3D nativa e uma base de projetos desenvolvidos pela comunidade.

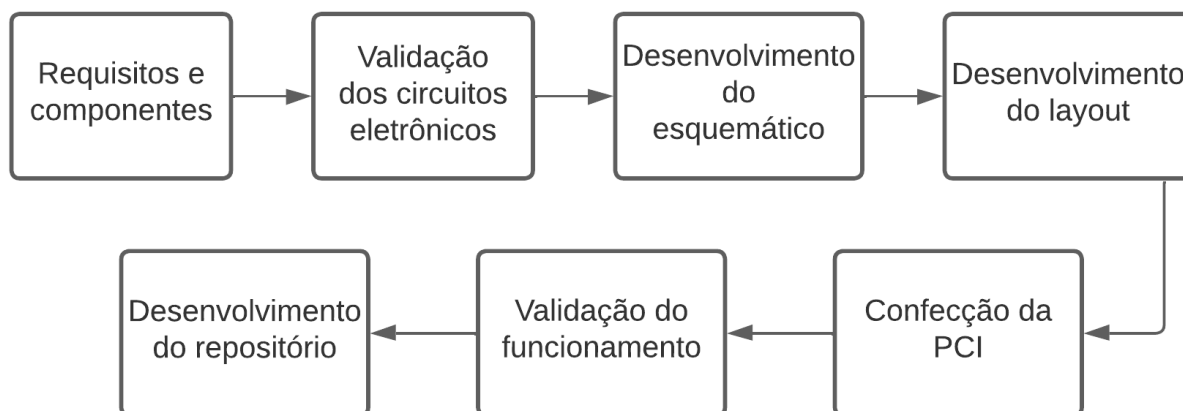
Nesses softwares, inicia-se o projeto desde o esquemático, projetando o circuito eletrônico e escolhendo cada componente e suas especificações. Uma vez que esta etapa esteja pronta, inicia-se o desenvolvimento do circuito impresso, posicionando componentes, criando trilhas e ajustando regras de layout (SILVESTRE, SALAZAR e MARZO, 2019).

A última etapa antes da fabricação de um projeto de circuito impresso é gerar o *Gerber Files*, que são arquivos contendo todas as informações possíveis referente à placa que pode ser encaminhada para um fabricante. Tais informações possuem as medidas da placa, componentes, localização, PADS, camadas, trilhas, entre outros (SILVESTRE, SALAZAR e MARZO, 2019). No entanto, também pode-se optar por não gerar o Gerber Files e fabricar a placa manualmente, porém, o resultado será menos preciso.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão descritos todas as etapas e procedimentos que serão adotados para o desenvolvimento da plataforma. O fluxograma presente na Fig. 8 descreve todas as etapas envolvidas.

Figura 8: Etapas de desenvolvimento do projeto.



Fonte: Do autor (2023).

3.1 REQUISITOS E COMPONENTES

Como primeira etapa, foram validadas as necessidades e os requisitos do projeto como um todo. Inicialmente, buscou-se definir quais circuitos e componentes eletrônicos fariam parte do hardware, tendo em vista contemplar o máximo de conceitos de sistemas embarcados simulando situações reais possíveis.

Dessa forma, baseado em alguns componentes do emulador de placas de desenvolvimento PICSimLab (LOPES, 2023), na qual possui diversos tipos de placas e componentes, foi possível chegar nos seguintes circuitos:

- Microcontrolador com Wi-Fi
- Botões
- LED comum e RGB
- Displays de 7 segmentos multiplexados
- Sensor de umidade e temperatura DHT11
- Sensor de distância ultrassônico HC-SR04
- Sensor de luminosidade com um LDR
- Acionamento de cargas com Relé

A partir dessas definições, foi necessário escolher um microcontrolador na qual já possuísse um módulo de Wi-Fi integrado, no intuito de evitar ter que desenvolver um circuito periférico para conseguir essa funcionalidade. Além disso, visto a grande demanda de circuitos e componentes definidos para o projeto,

optou-se pela placa de desenvolvimento NodeMCU-32S, visto que já possui o módulo Wi-Fi, além de possuir 38 pinos para interagir com os circuitos externos, que é um ponto crítico pela demanda de I/O's necessárias.

Outro requisito definido foi que todos os componentes utilizados na plataforma serão do tipo PTH, devido ao entendimento de que, por ser um projeto destinado a estudantes e *hobbistas*, essa placa será confeccionada de forma manual. Essa decisão deve-se ao fato de ser mais fácil realizar a solda elétrica dos componentes com o ferro de solda e estanho. Devido a esse requisito, a PCI será de face simples. Isso faz com que ela tenha um tamanho físico maior do que se fosse utilizado componentes SMD, no entanto, dificultaria o processo de confecção.

A Tab.1 lista todos os componentes definidos para serem utilizados no desenvolvimento do projeto.

Tabela 1: Componentes a serem utilizados

Material	Quantidade (unidade)	Preço total (R\$)
ESP32-WROOM-32D NodeMCU	1	40,90
Relé 3,3V	1	9,90
Headers 2.54mm 19 pinos fêmea	4	7,60
Sensor HC-SR04	1	11,90
Sensor DHT11	1	10,90
DIP switch 4 vias	1	3,10
Display 7 segmentos (Catodo comum)	2	2,50
Potenciometro linear 100K	1	2,50
Resistor 120R 1/4W	15	2,40
Diodo 1N4007	1	2,00
Conector KRE 3 vias	1	1,90
Transistor BC548CG	3	1,50
Resistor 10K 1/4W	7	1,20
LED RGB 5mm (Anodo comum)	1	1,20
Resistor 1K 1/4W	3	1,20
LED RED 5mm (Catodo comum)	3	1,00
Headers 2.54mm 5 pinos macho	2	1,00
Tact switch 6x6x5mm	4	0,76
Resistor LDR	1	0,60
Jumper 2.54mm	1	0,20

Fonte: Do autor (2024).

Os componentes contidos na Tab. 1 foram definidos visando a disponibilidade no mercado brasileiro, tal como a sua vasta utilização em produtos eletrônicos. Além disso, o preço foi adquirido baseado em simulações de compra de

sites brasileiros especializados em produtos eletrônicos em Abril de 2024, totalizando R\$ 104,26.

3.2 VALIDAÇÃO DOS CIRCUITOS ELETRÔNICOS

Nesta etapa, com os requisitos e componentes bem estabelecidos, foi definido e feito uma pré validação em bancada, com o auxílio de placas de ensaio (protoboard), o funcionamento básico de cada módulo do circuito eletrônico de forma isolada. Dessa forma, definiu-se quais pinos do microcontrolador são possíveis para cada função, de forma que não ocorram conflitos ao utilizar mais de um módulo do hardware ao mesmo tempo.

Para garantir que todos os pinos da placa de desenvolvimento escolhida possuem de fato interface com o microcontrolador, utilizou-se os algoritmos básicos de exemplo da IDE do Arduino para testar a leitura e escrita de todos os pinos de entrada e saída, tanto as digitais quanto as analógicas.

Durante os testes, constatou-se que de acordo com a documentação do NodeMCU-32S, os pinos do microcontrolador que se comunicam com o módulo Wi-Fi são os mesmos do módulo de leitura e conversão analógica digital ADC2. Sob tal ótica, caso o módulo Wi-Fi seja utilizado, o módulo ADC2 fica inutilizado para leituras analógicas. Isso significa que os circuitos de leitura de temperatura e umidade, luminosidade e do potenciômetro não podem estar nesse módulo. Consequentemente, optou-se por utilizar os pinos do ADC1 a fim de usar os módulos simultaneamente.

Após a pré validação, definiu-se quais pinos são possíveis de utilizar para cada função necessária para o projeto, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: Definição de pinos validados para cada função

Função	Pinos validados
Entradas digitais	IO35, IO14, IO2, IO0, IO4
Saídas digitais	IO32, IO33, IO25, IO26, IO13, IO14, IO2, IO0, IO4, IO16, IO17, IO5, IO18, IO19, IO21, IO03, IO01, IO22, IO23
Entradas analógicas	VP, VN, IO34
Saídas analógicas	IO14, IO2, IO0, IO4
Pinos livres	IO14, IO12

Fonte: Do autor (2024).

3.3 DESENVOLVIMENTO DO ESQUEMÁTICO

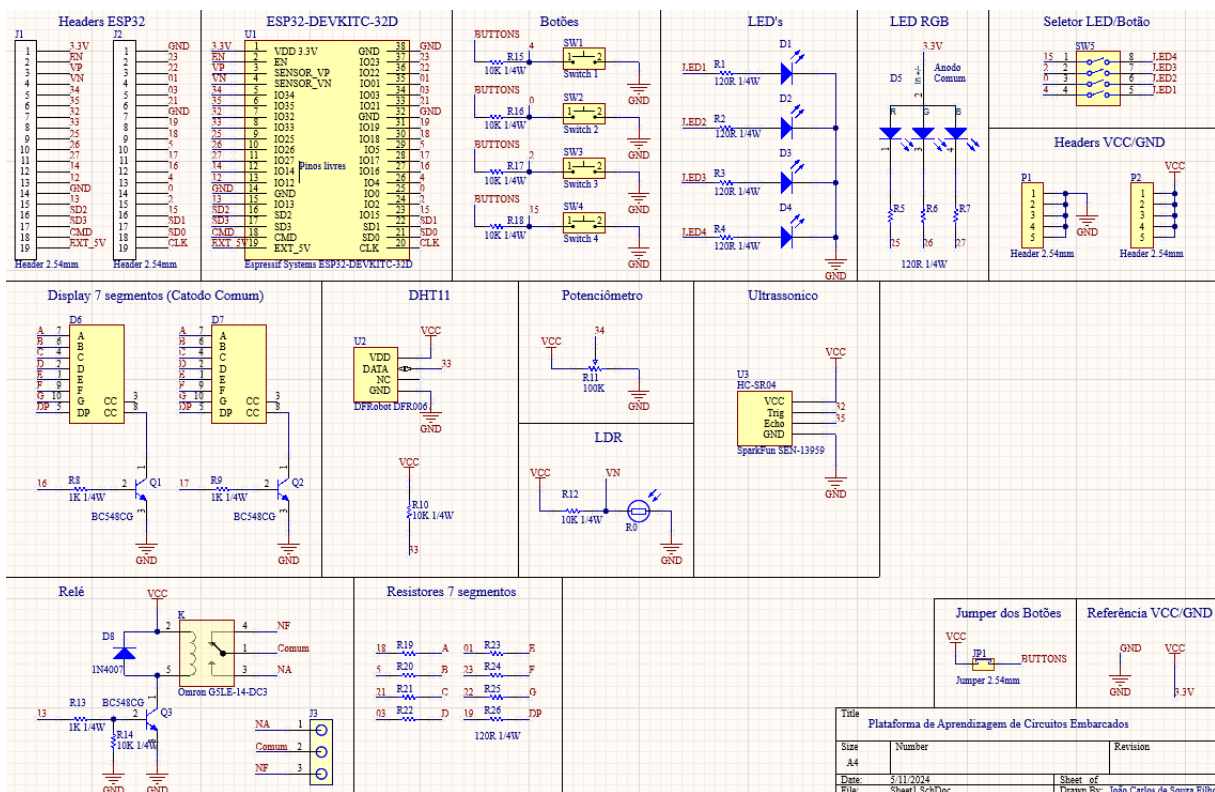
Baseado nos requisitos definidos para o projeto, o diagrama esquemático foi idealizado e construído utilizando o software CircuitMaker. Nesse diagrama esquemático estão contidos todos os circuitos eletrônicos mencionados anteriormente divididos em blocos, de forma organizada e de fácil compreensão. Para isso, utilizou-se como orientação as boas práticas difundidas e recomendadas pelo software, tal como a orientação e identificação de todos os componentes.

Para a construção do esquemático, o objetivo trata-se em ser o mais compreensível possível, de forma que caso necessite manutenções ou expansões de hardware, seja facilmente consultado e implementado pelos docentes, discentes ou entusiastas com interesse pelo projeto. Dessa forma, de acordo com a Fig. 9, nota-se a modularização dos circuitos eletrônicos, de forma que foque nos entendimentos micro de cada parte, de forma a construir um conhecimento sólido.

Para a escolha dos símbolos dos componentes, utilizou-se a própria biblioteca disponível no software. Pelo fato de haver a possibilidade de a comunidade desenvolver componentes personalizados e disponibilizá-los na ferramenta, não houve a necessidade de construir os componentes manualmente, visto as inúmeras opções.

Após concluir a interface dos pinos do ESP32 com os circuitos propostos no esquemático, os pinos IO12 e IO24 e ficaram sobressalentes. Dessa forma, esses pinos podem ser ignorados ou utilizados pelo usuário para acoplar circuitos externos para adicionar novas funcionalidades para a placa.

Figura 9: Diagrama esquemático.



Fonte: Do autor (2024).

3.4 DESENVOLVIMENTO DO LAYOUT

Ao fim de todas as definições necessárias quanto ao diagrama esquemático, chega-se à etapa de definir as características físicas da placa e dos componentes.

De acordo com o requisito estabelecido, a PCI será de face simples e possuirá apenas componentes PTH. Isso significa que os corpos físicos dos componentes estarão posicionados na camada superior da placa e seus terminais atravessam a placa através dos furos para a realizar a conexão elétrica com as vias na camada inferior, através da solda elétrica.

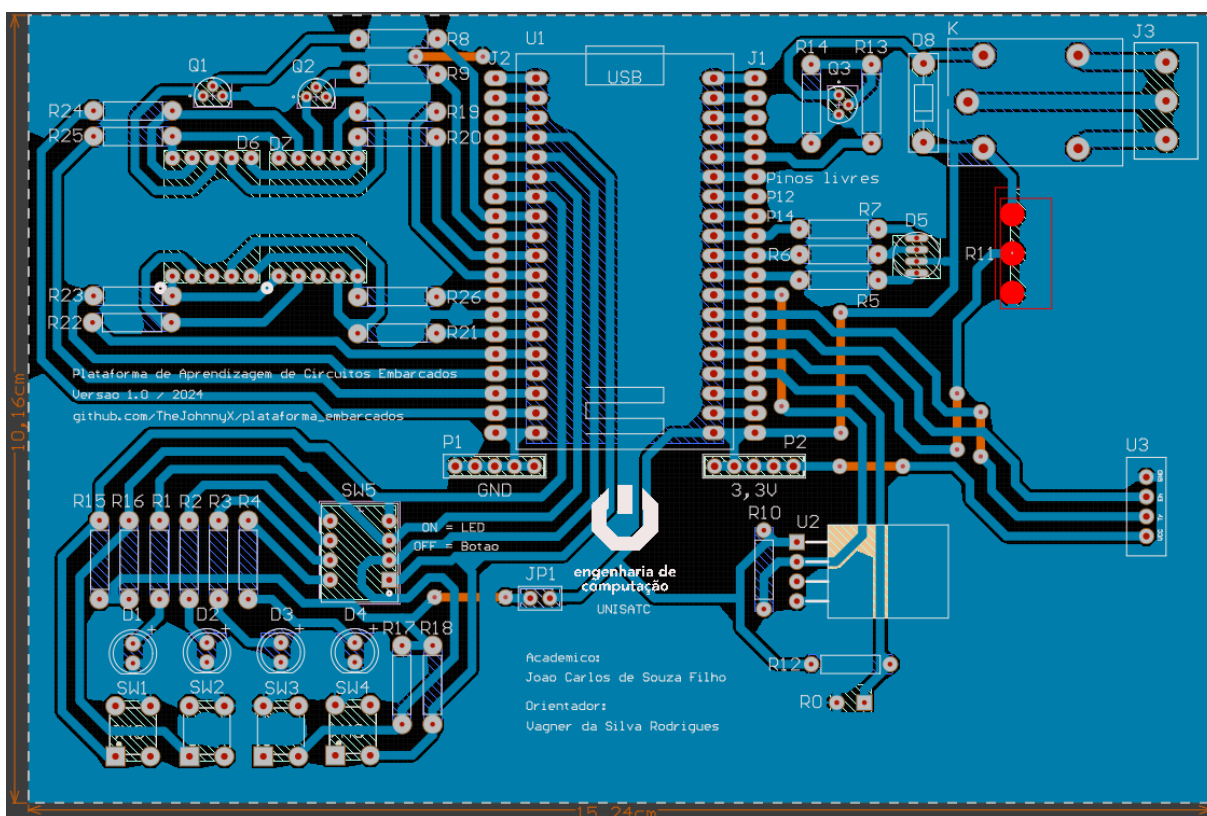
Para realizar o desenvolvimento do layout 2D, iniciou-se posicionando o ESP32 no centro da placa, por ser o componente do projeto que mais possui interação elétrica com os outros componentes, com o conector USB orientado para a borda mais próxima da placa. Após isso, posicionou-se os componentes que terão

interação com o usuário direta, tal como os conectores, botões e potenciômetro de forma que fique próxima a borda, facilitando o seu uso.

Após isso, posicionou-se os componentes que fazem parte do mesmo módulo de circuito de forma adjacente, de maneira a impedir que as trilhas tivessem que percorrer uma grande distância para realizar sua ligação. Além disso, tomou-se o cuidado de posicionar os componentes em uma orientação na qual as vias evitassem de se cruzar o máximo possível, sem necessitar utilizar muitas ligações pelo lado superior da placa.

A Fig. 10 apresenta uma captura de tela do layout 2D desenvolvido no CircuitMaker. A placa eletrônica possui dimensões de 15,24x10,16 cm.

Figura 10: Layout da PCI em visão 2D no CircuitMaker.



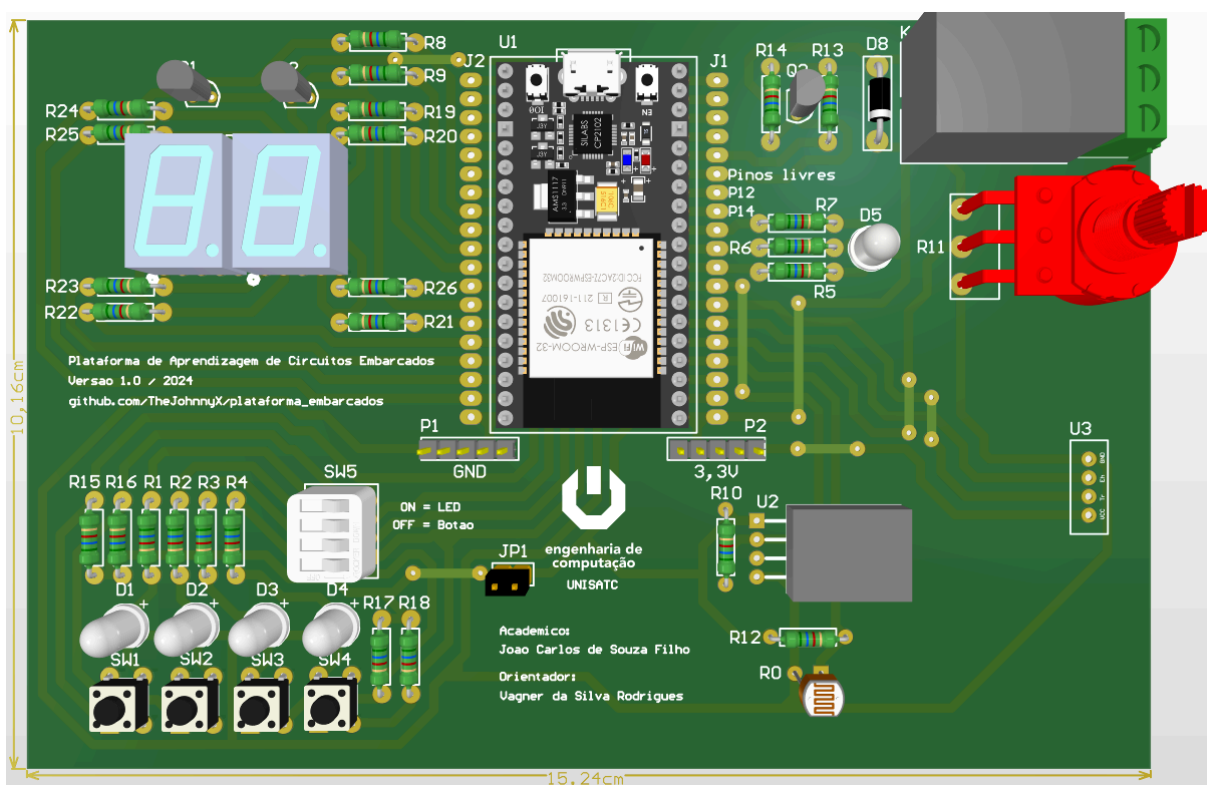
Fonte: Do autor (2024).

Já a Fig. 11 apresenta uma captura de tela do layout 3D desenvolvido no CircuitMaker. Nela é possível verificar que não foi encontrado um modelo 3D para o sensor ultrassônico HC-SR04, no entanto, foi alocado o espaço físico na placa

condizente com o tamanho do componente, evitando conflitos com os componentes próximos.

Durante seu desenvolvimento, prezou-se para que a identificação dos componentes da placa ficasse na vertical e o mais próximo e visível possível, de forma a manter um aspecto visual agradável para o usuário. Ademais, possibilitar que a reprodução da placa ocorra sem problemas e com fácil identificação como um todo.

Figura 11: Layout da PCI em visão 3D no CircuitMaker.



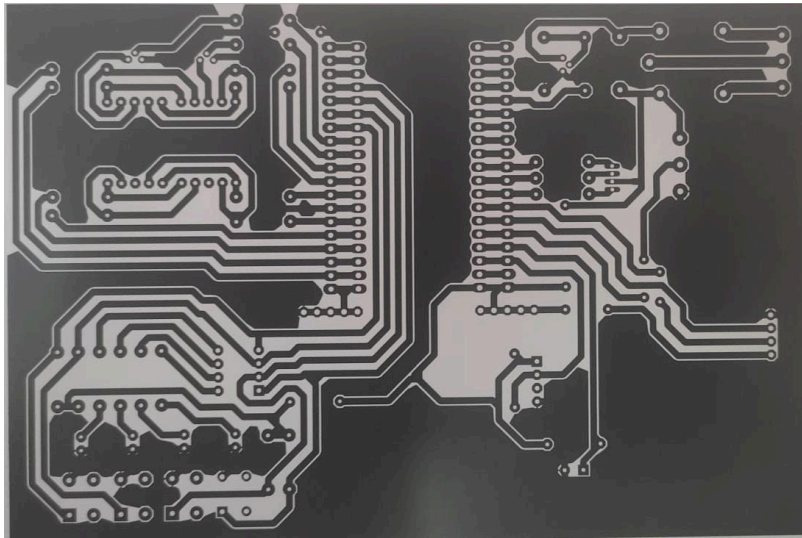
Fonte: Do autor (2024).

3.5 CONFECÇÃO DA PCI

Finalizando todas as características projetuais da PCI, chega-se à etapa de confecção, podendo ela ser feita de maneira manual ou utilizar serviços de montagem profissionais a partir dos arquivos do projeto (*Gerber Files*). Optou-se por desenvolver o projeto de forma manual a fim de detectar possíveis erros de projeto.

Inicialmente o layout foi impresso utilizando um papel fotográfico A4 em uma impressora laser, de acordo com a Fig. 12.

Figura 12: Layout da PCI impresso em papel fotográfico.



Fonte: Do autor (2024).

A Fig. 13 demonstra uma foto capturada com um celular a placa de cobre e fenolite que foi utilizada para a confecção da PCI.

Figura 13: Placa de cobre e fenolite.



Fonte: Do autor (2024).

A placa de cobre e fenolite foi serrada nas dimensões da PCI para que então fosse posicionado o papel fotográfico com o lado da impressão direcionado para o cobre.

Para que o layout seja transferido para o cobre é necessário que tanto a PCI quanto o papel fotográfico sejam fornecidos calor. Dessa forma, foi utilizado um ferro de passar roupas comum, em potência máxima, tomando cuidado para que

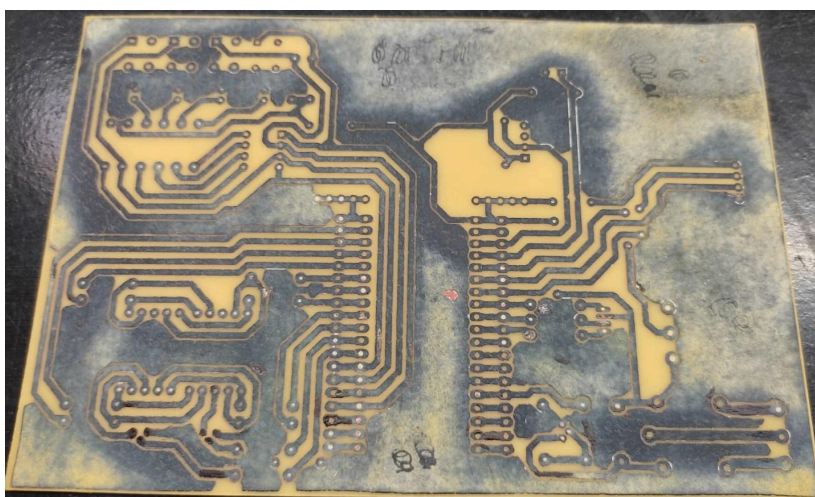
todas as partes da placa sejam esquentadas, evitando falhas grotescas no processo de transferência.

Como este processo é realizado de maneira manual e artesanal sem o auxílio de máquinas especializadas, ele é passível de falhas. Dessa forma, é necessário que após a transferência térmica o papel fotográfico seja removido e sejam realizados ajustes com uma caneta marcador permanente, já que nem toda a tinta é transferida corretamente. No entanto, o layout pode ser ajustado com a tinta do marcador.

Após essa etapa, é necessário inserir a placa em uma solução aquosa de Percloreto de Ferro. O Percloreto de Ferro é utilizado para a corrosão das partes de cobre do layout onde não foram cobertos de tinta transferidas no processo térmico. O Percloreto de Ferro é fornecido em pó, sendo necessário diluir em água para a sua utilização.

Com a PCI submersa na solução, é necessário aguardar no mínimo 20 minutos, a fim de garantir que todo o cobre seja corroído, sobrando apenas as trilhas, PADS e outras partes cobertas pela tinta. Após esse tempo, retira-se a PCI e limpa-se a solução com Álcool Isopropílico. A Fig 14. demonstra a placa após a realização das etapas descritas.

Figura 14: PCI após transferência térmica e corrosão.



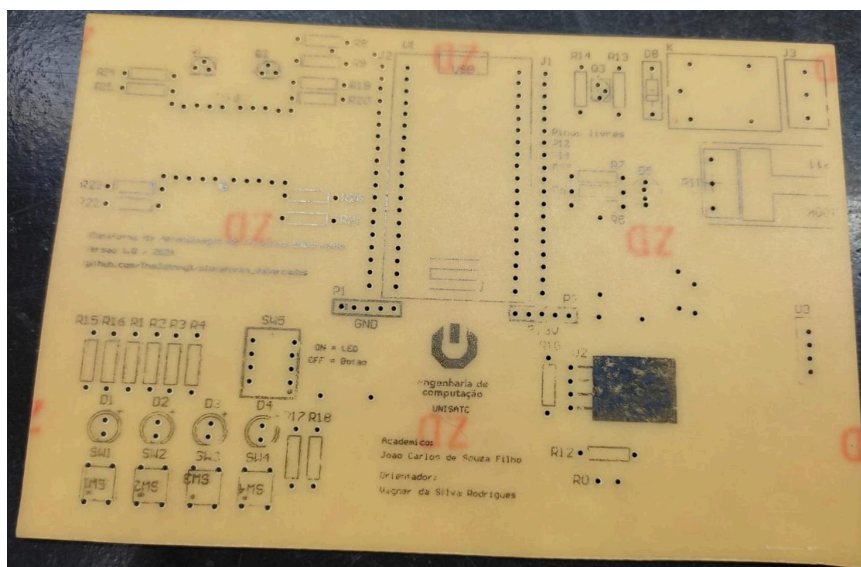
Fonte: Do autor (2024).

Terminando essa etapa, é necessário remover toda a tinta da PCI utilizando uma palha de aço para que, então, sejam realizadas todas as furações

dos PADS da placa. Para essa etapa, foi utilizado uma mini furadeira com uma broca de 1mm, tomando cuidado para que os furos não arranquem o cobre ao redor dos furos.

Também se realizou o mesmo processo de transferência térmica na camada superior da placa, a fim de servir de identificação e guia dos componentes da placa, de acordo com a Fig. 15. No entanto, como nessa camada não possui cobre, não foi necessário realizar o processo de corrosão.

Figura 15: Transferência térmica da camada superior da PCI.



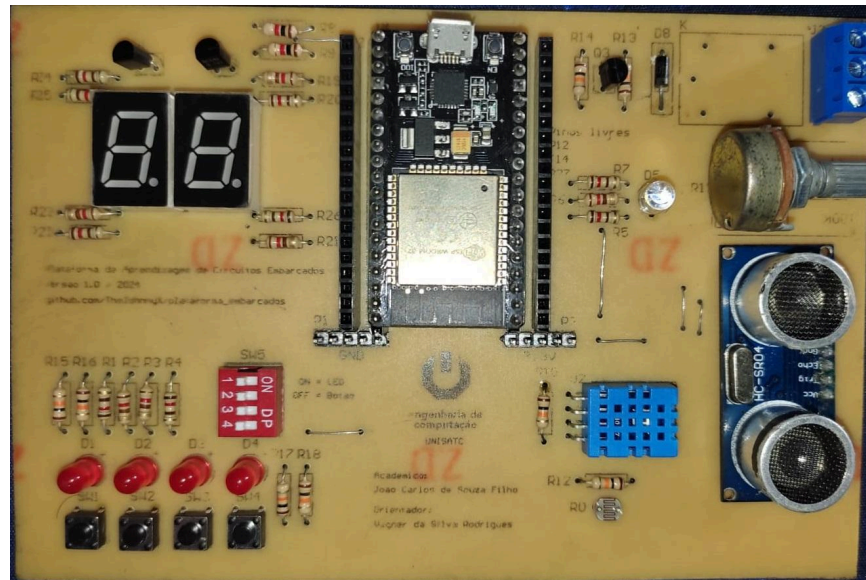
Fonte: Do autor (2024).

Como etapa final de montagem, foi necessário inserir todos os componentes do projeto nos seus respectivos locais. Como todos os componentes da placa são PTH, os componentes são inseridos a partir da camada superior. Desse modo, a solda elétrica dos componentes foi realizada na camada inferior, garantindo a condução elétrica entre a camada de cobre e os componentes.

Posteriormente, foi necessário cortar os terminais dos componentes sobressalentes com um alicate e realizar a limpeza dos resíduos e impurezas deixados pela solda, utilizando Álcool isopropílico e uma escova anti estática.

A Fig.16 demonstra uma foto capturada com um celular, o resultado final da camada superior da montagem da PCI.

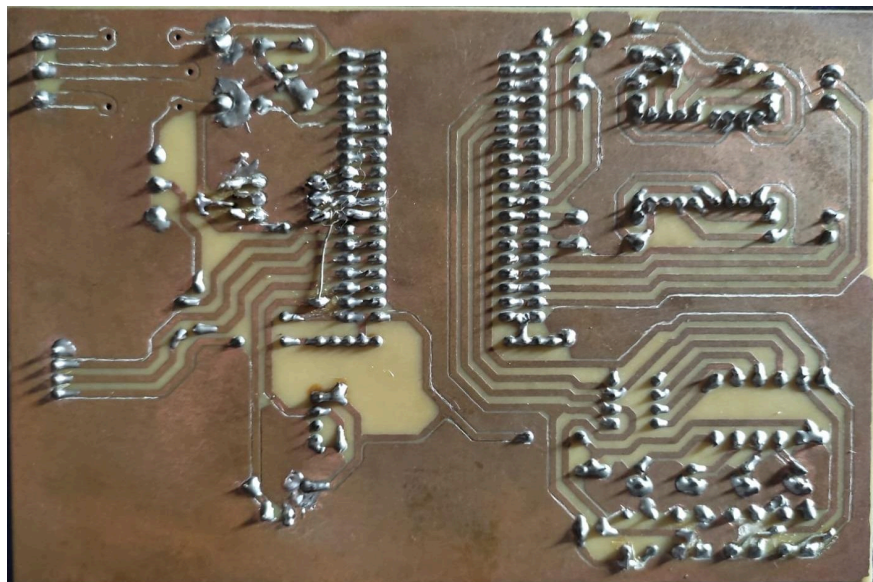
Figura 16: Camada superior da PCI.



Fonte: Do autor (2024).

A Fig.17 demonstra uma foto capturada com um celular o resultado final da camada inferior da montagem da PCI.

Figura 17: Camada inferior da PCI.



Fonte: Do autor (2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MEDIÇÕES DE GRANDEZAS ELÉTRICAS DA PLACA

Com a placa eletrônica pronta, iniciou-se os testes para validação do projeto proposto. Os primeiros testes realizados foram relacionados aos circuitos do hardware. O objetivo desses testes foi garantir que todos os módulos de circuitos da placa estivessem funcionando de acordo com o esperado.

Para os testes foi utilizado um multímetro na escala de continuidade e realizado medições em várias trilhas e PAD's da placa para garantir que o processo de transferência térmica e corrosão tenha ocorrido corretamente, garantindo que não haja curtos-circuitos indesejados.

Após garantir que não havia nenhum curto-circuito que possivelmente poderia danificar algum componente eletrônico, a placa foi alimentada através de sua conexão USB a um notebook. Dessa forma, realizou-se medições com o multímetro na escala de tensão para garantir que a alimentação 3,3V fornecida pelo microcontrolador esteja chegando corretamente em todos os componentes. O Quadro 2 abaixo demonstra os resultados obtidos.

Quadro 2: Aferição de tensão nos módulos de circuito da placa

Módulo de Circuito	Tensão medida (V)	Resultado
Display de 7 segmentos	3,27V	Ok
DHT11	3,25V	Ok
Potenciômetro	3,27V	Ok
LDR	3,28V	Ok
Ultrassônico	3,24V	Ok
Relé	3,25V	Ok

Fonte: Do autor (2024).

Nota-se que as medições aferidas possuem uma variação. Isso ocorre pois os valores de tensão dependem do tamanho e largura das trilhas da PCI do ponto de alimentação até cada componente. Dessa forma, de acordo com a resolução e precisão do multímetro, tolerância dos componentes e a perda de tensão devido às trilhas da placa, utilizou-se como objetivo uma medição de no mínimo 3,20V. Tendo esse valor como referência, as medições apresentaram resultados dentro do esperado.

4.2 SIMULAÇÃO DO TEMPO DE MONTAGEM DOS CIRCUITOS ELETRÔNICOS

Foram também realizados testes com o intuito de simular em uma protoboard o tempo de montagem de cada módulo dos circuitos eletrônicos utilizados no projeto caso a plataforma desenvolvida não fosse utilizada.

Os testes foram realizados simulando uma situação real, na qual os componentes que foram utilizados na montagem já estavam separados de acordo com a necessidade de cada circuito, tal como a protoboard, condutores elétricos e o diagrama esquemático.

Dessa forma, para adquirir o tempo, utilizou-se o cronômetro de um celular. O cronômetro foi iniciado momentos antes de iniciar cada montagem. Para finalizar o teste, considerou-se como fim o momento em que cada montagem foi concluída, sem realizar a validação e teste do circuito. Os resultados obtidos estão presentes no Quadro 3.

Quadro 3: Aquisição do tempo de montagem de cada módulo do circuito

Módulo de Circuito	Tempo de montagem (min:s)
Displays de 7 segmentos	19:56
DHT11	03:00
Potenciômetro	02:10
LDR	01:53
Ultrassônico	01:55
Relé	09:45
LED's	05:06
LED RGB	02:59
Botões	05:56

Fonte: Do autor (2024).

Após as montagens, foram desenvolvidos algoritmos que estão disponíveis no repositório online da plataforma a fim de validar a montagem correta dos circuitos. Dessa forma, com os algoritmos desenvolvidos, foi possível realizar a gravação do microcontrolador e validação dos circuitos. O Quadro 4 descreve os problemas encontrados.

Quadro 4: Problemas de montagens adquiridos durante os testes

Módulo de Circuito	Incidência de erros (unidade)
Mau contato	7
Montagem indevida	1

Fonte: Do autor (2024).

A partir dos tempos adquiridos, percebe-se que uma quantidade expressiva de tempo é dedicada para a camada de hardware. Além disso, evidenciam-se os problemas físicos ocasionados pelas protoboards durante as montagens. Ao utilizar a plataforma desenvolvida, não haverá mais gasto de tempo com montagens e identificação de possíveis erros na camada de hardware.

É importante salientar que os resultados de tempo foram adquiridos sem a posterior constatação de erro de montagens. Isso significa que um dos principais fatores que interferem no tempo de montagem é que caso o circuito apresente erros, o tempo de identificação e resolução do problema aumentará, dependendo apenas da experiência e expertise de hardware do usuário. Além disso, as montagens foram realizadas por alguém com certa experiência de montagem de circuitos eletrônicos, contribuindo para que os tempos não fossem tão altos quanto alguém sem experiência.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO REPOSITÓRIO ONLINE

No intuito de facilitar ainda mais o processo de aprendizagem, foi desenvolvido um repositório online na plataforma GitHub. Essa plataforma foi escolhida pelo fato de ser popular, gratuita e open-source. O repositório possui toda a documentação referente ao desenvolvimento do trabalho, tal como o diagrama esquemático, layout, arquivos de confecção da placa, exemplos de algoritmos e como utilizar a plataforma.

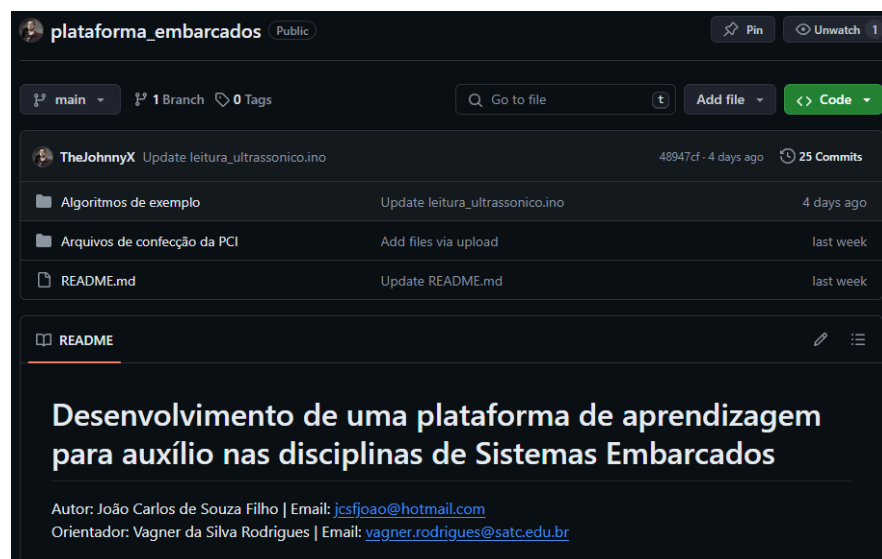
Através do repositório, será possível verificar quais circuitos eletrônicos foram projetados para cada pino do ESP32, de forma visual, através do diagrama e algoritmos. Além disso, foi disponibilizado um algoritmo para cada módulo de circuito da placa, de forma a ensinar a utilizar a placa.

Os algoritmos também podem ser utilizados para que a placa possa ser validada. Ou seja, caso o algoritmo desenvolvido pelo utilizador da placa não

funcione, é possível utilizar os algoritmos de exemplo de forma a validar os erros, identificando se algum componente na placa foi danificado ou se o erro é no algoritmo desenvolvido pelo utilizador.

A Fig.18 mostra uma captura de tela demonstrando a página inicial do repositório desenvolvido.

Figura 18: Captura de tela do repositório desenvolvido.



Fonte: Do autor (2024).

5 CONCLUSÃO

O projeto utilizando os componentes e requisitos estabelecidos apresentaram bons resultados, podendo ser aplicados em ambientes acadêmicos reais, além da possibilidade de ser utilizado por hobbistas e entusiastas. A placa eletrônica apresenta os componentes de forma bem organizada, facilitando seu uso e compreensão. A escolha de utilizar apenas componentes PTH faz com que seja possível confeccionar as placas de maneira manual e com baixo custo, sem a necessidade de contratar serviços de montagem de empresas especializadas em placas de circuito impresso.

O repositório online desenvolvido busca melhorar a experiência do usuário da placa, mostrando os passos necessários para utilizar a placa, tal como diagrama esquemático, layout e algoritmos de exemplo. Por tratar-se de um

repositório público, instiga a disseminação de conhecimentos e práticas de desenvolvimento de algoritmos.

Este projeto ajuda a enfatizar as dificuldades no processo de aprendizagem de Sistemas Embarcados e Algoritmos que, por se tratar de uma área multidisciplinar, faz com que seja necessário entender todas as suas camadas de forma integral. Também evidencia como a tecnologia aplicada na educação melhora a eficácia do aprendizado, tal como a melhor utilização de tempo, gerando uma maior produtividade.

A integração de conhecimentos adquiridos durante a graduação de Engenharia de Computação foi essencial para o desenvolvimento da presente pesquisa através das disciplinas cursadas. Dentre as disciplinas cita-se: Sistemas Embarcados, Circuitos Eletrônicos, Sistemas Eletrônicos, IoT e IoT Aplicada que foram de suma importância para a conclusão desse projeto.

Para a continuação deste projeto, o desenvolvimento de uma biblioteca (.lib) para atuar em conjunto com a Interface de Desenvolvimento (IDE) poderia melhorar ainda mais a usabilidade da placa, criando funções e rotinas específicas para as especificações da placa. Além disso, aplicar o seu uso em ambientes de estudo reais com o intuito de disseminar suas vantagens.

Como pontos de melhorias, o desenvolvimento de um repositório com exemplos e tutoriais mais complexos e didáticos envolvendo o módulo Wi-Fi integrado do ESP32 são necessários, podendo expandir o alcance e público-alvo do projeto, sendo uma sugestão a subdivisão em nível iniciante, intermediário e avançado. Além disso, esse projeto abre um leque para que projetos semelhantes sejam desenvolvidos, utilizando outros componentes e módulos baseados em diferentes requisitos.

REFERÊNCIAS

ALTIUM. **Understanding the makeup of a Printed Circuit Board**. 2020. Disponível em: <https://rb.gy/j0k9g>. Acesso em: 25 Setembro 2023.

BARBOSA, P. V.; MEZZOMO, F.; LODDER, L. L. **Motivos de Evasão no curso de Engenharia Elétrica – Realidade e perspectivas**. XXXIX Congresso Brasileiro de

Educação em Engenharia. Blumenau:[s.n.]. 2011.

BRIDI, E. **Oficina de Arduino como ferramenta interdisciplinar no curso de engenharia elétrica da UFMT – A experiência do Pet-Elétrica**. XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: [s.n.]. 2013.

CARRO, L.; WAGNER, F. **Sistemas Computacionais Embarcados**. In: **Jornadas de Atualização em Informática**. Campinas, Brasil: Sociedade Brasileira de Computação, 2003. p.45-94.

CHANG, N. and LEE, I. **Embedded System Hardware Design Course Track for CS Students**. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education, March 2003. Online. Internet. Disponível em: <https://rb.gy/tczd7>. Acesso em: 18 Setembro 2023.

DOUGLASS, B. P. **Real Time UML: Advances in The UML for Real-Time Systems, 3 edn**. Boston, 2004.

FILIFELOP. **Placas de Desenvolvimento**. 2023. Disponível em: <https://rb.gy/1krag>. Acesso em: 18 Setembro 2023.

GEDDES, M. **Manual de Projetos do Arduino: 25 projetos práticos para começar**. São Paulo: Novatec, 2017.

JONES, D. L. **PCB design tutorial**. Revision A, 2004. Disponível em: <https://rb.gy/e3rey>. Acesso em: 25 Setembro 2023.

KOYANAGI, F. **ESP32: Detalhes internos e pinagem**. 2018. Disponível em: <https://rb.gy/d5467>.

LEMONS, G. O. **PROJETO DE UMA PLACA DE DESENVOLVIMENTO PARA MINI DRONE**. 2022. Disponível em: <https://rb.gy/5w9vd>. Acesso em: 25 Setembro 2023.

LEMOS, R. **Fórum Abinee TEC 2023 destaca importância da tecnologia.** 2023. Disponível em: <https://rb.gy/ar8sd>. Acesso em: 14 Agosto 2023.

LOUSADA, R. **O que é Arduino: Para que serve, vantagens e como utilizar.** Eletrogate. Brasil, 2020. Disponível em: <https://rb.gy/kaz9i>. Acesso em: 11 Setembro 2023.

MCROBERTS, M. **Arduino básico.** São Paulo: Novatec, 2011. Disponível em: <https://rb.gy/fjpld>. Acesso em: 26 Outubro 2023.

PASSEY, D. **Digital technologies-And teacher wellbeing?** Education Sciences. 2021. Disponível em: <https://rb.gy/1dqx6>. Acesso em: 4 Setembro 2023.

PEARSON. **The global learner survey.** London, 2019. Disponível em: <https://rb.gy/8rvmp>. Acesso em: 9 Setembro 2023.

PROVOST, F; FAWCETT, T. **Data Science for Business.** Sebastopol: O'Reilly Media, 2013. 409 p. Disponível em: <https://rb.gy/4zxnr>. Acesso em: 18 Setembro 2023.

RAVINDRA, S. **Understanding the relationship between IoT and Big Data.** 2017. Disponível em: <https://rb.gy/nsspm>. Acesso em: 19 Setembro 2023.

RIGO, C. A. **Projeto de placas de circuito impresso com FPGAs para uso em ambiente espacial.** 2019. Disponível em: <https://rb.gy/a978z>. Acesso em: 25 Setembro 2023.

SILVESTRE, S; SALAZAR, J; MARZO, J. **Printed Circuit Board (PCB) Design Process and Fabrication.** 2019. Disponível em: <https://rb.gy/n78cu>. Acesso em: 25 Setembro 2023.

SYSTEMS, E. **ESP32 Series datasheet.** 2023. Disponível em: <https://rb.gy/co7vo>. Acesso em: 18 Setembro 2023.

WANZELER, T; FÜLBER, H; MERLIN, B. **Desenvolvimento de um sistema de automação residencial de baixo custo aliado ao conceito de Internet das Coisas (IoT)**. 2016. Disponível em: <https://rb.gy/63d1u>. Acesso em: 22 Agosto 2023.

LOPES, L. C. G. **PICSimLab 0.9.1**. 2023. Disponível em: https://lcgamboa.github.io/picsimlab_docs/stable/picsimlab.html#Introduction.html. Acesso em: 04 de Abril de 2024.

FILHO, J. C. D. S. **Desenvolvimento de uma plataforma de aprendizagem para auxílio nas disciplinas de Sistemas Embarcados**. 2024. Disponível em: https://github.com/TheJohnnyX/plataforma_embarcados. Acesso em: 23 de Maio de 2024.