



Mateus Froncek Zarth

**MINIFICAÇÃO EM INTERNET DAS COISAS PARA CAPTAÇÃO E ENVIO
AUTÔNOMO DE DADOS EM HIDRÔMETROS ANALÓGICOS**

Horizontina-RS

2022

Mateus Froncek Zarth

**MINIFICAÇÃO EM INTERNET DAS COISAS PARA CAPTAÇÃO E ENVIO
AUTÔNOMO DE DADOS EM HIDRÔMETROS ANALÓGICOS**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia de Controle e Automação da Faculdade Horizontina, sob orientação do professor Alexandre Kunkel da Costa, Me.

Horizontina-RS

2022

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

**“MINIFICAÇÃO EM INTERNET DAS COISAS PARA CAPTAÇÃO E ENVIO
AUTÔNOMO DE DADOS EM HIDRÔMETROS ANALÓGICOS”**

Elaborada por:

Mateus Froncek Zarth

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Controle e Automação

Aprovado em: dd/mm/20aa
Pela Comissão Examinadora

Titulação. Nome do orientador
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Titulação. Nome do Examinador Interno
FAHOR – Faculdade Horizontina

Titulação. Nome do Examinador Interno
FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS
2022

Aos meus pais, que acreditaram e me apoiaram para chegar até aqui. Aos amigos que me apoiaram e acreditaram que um dia eu conseguiria. E aos grandes amigos que me incentivaram a não desistir e continuar até o fim.

Agradeço aos professores que me mostraram o caminho certo nesse longo percurso. Aos companheiros da equipe Sinuelo pelo crescimento e desafios do caminho acadêmico. Em especial ao meu orientador. Me Alexandre Kunkel pelo suporte, não apenas nesse projeto, mas em toda a trajetória.

“Há uma forma de fazer isso melhor –
encontre-a”.

(Thomas Edison)

RESUMO

Protótipos são desenvolvidos para provar que uma ideia ou tecnologia são aplicáveis, mas normalmente não são desenvolvidos para trabalhar com a melhor eficiência de espaço e consumo de energia. Tendo esta ideia em mente, observou-se que é possível minificar estes protótipos para aumentar sua eficiência de espaço e elétrica, além da possibilidade da implementação de um conjunto de baterias para o protótipo trabalhar sem a necessidade de estar conectado a uma rede de energia. Utilizando componentes menores e mais eficientes, uma tecnologia de comunicação a distância e a implementação de um sistema de baterias, se faz capaz de atingir o objetivo de minificação e aumento de eficiência do sistema. Também possibilita e implementação de um sistema de bateria capaz de manter o dispositivo operando por um período de noventa dias.

Palavra-chave: minificação, LoRa, Hidrômetro analógico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Protótipo do nó	17
Figura 2 – Comparação de componentes do tipo PPF e DMS	17
Figura 3 - Vias em placas de duas faces	18
Figura 4 -Microcontrolador STM32F100RCT6	20
Figura 5 - Ambiente de desenvolvimento <i>Proteus</i>	21
Figura 6 – Ferramenta <i>componentsearchengine</i>	22
Figura 7 - Bateria chumbo-ácido selada	23
Figura 8 - Fluxograma da metodologia	25
Figura 9 - Programa <i>Library Loader</i>	28
Figura 10 - Componentes conectores de 2, 3 e 4 vias, resistor DMS	28
Figura 11 - Chips STM32F100RCT6 e STM32F100RCT6	29
Figura 12 - Conector “Programador e conector “Bateria”	30
Figura 13 - Botão de reset e resistor de “ <i>pulldown</i> ”	30
Figura 14 - Conector sensor	30
Figura 15 - Microcontrolador e suas conexões	31
Figura 16 - Chip <i>LoRa</i> e suas conexões	32
Figura 17 - PCB do protótipo	34
Figura 18 - Vista superior do modelo da PCB	35
Figura 19 - Vista inferior do modelo da PCB	35
Figura 20 - Opção para desativar a simulação do componente	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações STM32F100RCT6	20
Quadro 2 - Comparação de baterias semelhantes no uso automobilístico	24
Quadro 3 - Resultados da simulação de comunicação	37
Quadro 4 - Consumo do circuito	38
Quadro 5 - Tempo até a carga disponível no conjunto de baterias acabar	39
Quadro 6 – Comparação entre o protótipo de referência e a minificação	40

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

3D - Desenho tridimensional

A - Amperes

C++ - Linguagem de programação C++

CHIP - Circuito integrado

cm - Centímetros

E32 - Módulo LoRa

EDA - do inglês *Electronic design automation* ou software de projeto de circuito integrado

g - Grama

GND - Malha de terra

IDE - do inglês *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado

Kb - KiloBit

KB - KiloByte

Kg - Quilograma

k Ω - Kiloohms

LoRa - tecnologia de rede de área ampla de baixa potência

mA - MiliAmperes

MHz - MegaHertz (10⁶ Hertz)

mm - Milímetros

PCBs - Placas de circuito impresso

PINOS - Conector para componentes eletrônicos

PPF - Pino pelo furo

Pulldown - Método eletrônico para manter um circuito conectado ao GND

DMS - dispositivos de montagem em superfície

SRAM - memória de acesso aleatório estática

UART - Transmissor/receptor assíncrono universal

V - Volts

VCC - Tensão em corrente contínua

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.4 HIPÓTESES	15
1.5 JUSTIFICATIVA	15
1.6 OBJETIVOS	15
1.6.1 OBJETIVOS GERAIS	15
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. REVISÃO LITERÁRIA	16
2.1 PROJETO DE REFERÊNCIA	16
2.2 COMPONENTES DE MONTAGEM EM SUPERFICIE	17
2.3 COMUNICAÇÃO A DISTÂNCIA	18
2.4 MICROCONTROLADOR STM32	19
2.5 PROGRAMA ELETRONICO PARA DESINE DE CIRCUITOS	21
2.5.1 <i>PROTEUS</i>	21
2.5.2 FERRAMENTA DE PESQUISA DE COMPONENTES	22
2.6 BATERIAS	23
2.6.1 BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO	23
2.6.2 BATERIAS DE LITIO	24
3. METODOLOGIA	24
3.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO	25
3.1.1 PESQUISA TEÓRICA	25
3.1.2 PROTOTIPAGEM	26
3.1.3 VALIDAÇÃO	26
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	27
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	27
4.1 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO	27
4.2 COMPONENTES	28
4.3 MODELAGEM DA ESQUEMÁTICA	29
4.3.1 MICROCONTROLADOR	29
4.3.2 Chip LORA	31
4.4 MODELAGEM PCB	33

4.5 MODELAGEM 3D	34
4.6 SIMULAÇÕES	35
4.6.1 SIMULAÇÃO DE COMUNICAÇÃO	36
4.6.2 SIMULAÇÃO DE CONSUMO	38
CONCLUSÃO	40
SUGESTÃO DE MELHORIA E TRABALHOS FUTUROS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico cada vez maior e mais rápido, novas tecnologias e dispositivos são criados para facilitar o dia a dia, assim como a necessidade de criar dispositivos menores e com maior eficiência energética também aumenta. Nesse ritmo de avanço, o projeto apresentado aqui, vem com o enfoque em reduzir um protótipo do seu tamanho físico, reduzindo assim os seus componentes e aumentar a sua eficiência energética.

Seguindo esse raciocínio, o propósito deste trabalho é desenvolver um protótipo minificado comparado ao protótipo de referência sem perder suas características e funcionalidades, permitindo assim que possa ser utilizado em ambientes menores e tendo uma melhor eficiência.

Em conjunto da minificação, está a implementação de um sistema de alimentação de energia interna, isto é, implementar um conjunto de baterias para que o protótipo possa funcionar sem a necessidade de haver uma fonte de energia externa por um longo período.

Para minificar o protótipo, o foco dá-se a implementação de componentes menores e mais eficientes, além de substituir os módulos, isto é, componentes com placas de circuito próprias, por apenas os seus respectivos componentes principais.

Em questão da bateria supõe-se que a implementação de uma bateria de lítio sem a necessidade de manutenção possa suprir o protótipo com energia por um grande período sem perder sua estabilidade.

Durante o andamento do projeto é apresentado os aspectos da pesquisa, a escolha dos componentes, métodos do desenvolvimento, testes e as simulações do comportamento do protótipo e os resultados encontrados.

1.1 TEMA

Minificação de sistema eletroeletrônico para captação de dados de hidrômetro analógicos com implementação de um sistema de alimentação interno de energia.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este estudo se delimita em minificar o protótipo desenvolvido por Caio Penning (2020), se limitando em projetar uma nova placa com a implantação de uma fonte de energia interna para o protótipo.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Um dos problemas encontrados, é a necessidade de estar conectado a uma fonte de energia externa, mas um grande número de hidrômetros não estão próximos de um ponto de energia.

Outro problema encontrado é que o local onde são instalados os hidrômetros normalmente tem um espaço físico limitado, que não permite a instalação do dispositivo adequadamente.

Também é possível encontrar locais com muitos hidrômetros no mesmo ambiente, que prejudica ou até mesmo inviabiliza a instalação de um grande número de dispositivos se o tamanho dele for muito grande.

Considerando o que foi exposto, o presente estudo tem a seguinte questão norteadora: é possível minificar o dispositivo e implementar uma alimentação de energia elétrica interna para facilitar a instalação e manutenção do dispositivo no hidrômetro sem comprometer as funcionalidades originais do projeto?

1.4 HIPÓTESES

Considerando o problema de pesquisa e as hipóteses originais do projeto, se cria as proposições a serem confirmadas mediante a simulações digitais,

Hipótese 1: o dispositivo será funcional e manterá as funcionalidades originais depois de ser minificado.

Hipótese 2: a fonte de energia interna consegue manter o dispositivo funcionando por um longo período sem necessidade de fonte de alimentação externa.

1.5 JUSTIFICATIVA

A necessidade de implementar dispositivos com espaço físico limitado e/ou falta de fontes de energia elétrica próxima, mas que tem a necessidade de estar conectada a outros dispositivos é cada vez maior.

Sendo assim, analisando os protótipos desenvolvidos atualmente, observa-se o seguinte cenário: Os protótipos são desenvolvidos para provar que a tecnologia atende a necessidade do usuário, sem a preocupação do tamanho físico do protótipo ou se vai haver alguma fonte de energia próximo ao local de funcionamento do protótipo.

Como o método de minificação é uma possível solução para este problema, o projeto não deve perder as características e funcionalidades do protótipo de referência. Assim o protótipo irá funcionar na mesma tecnologia, com o mesmo algoritmo e sensor utilizado no protótipo de referência, mas com seu consumo de energia reduzido.

A implementação de um sistema de alimentação interno, permite que o dispositivo possa ser instalado em locais remotos onde não é possível conectar a uma fonte de alimentação conectada à rede elétrica.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral do estudo é realizar a minificação de um protótipo para captação de dados higrométricos realizando a implantação de uma fonte de energia interna no mesmo.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Buscando-se alcançar o objetivo geral foram especificados os seguintes objetivos:

- I. Reduzir o número de componentes mantendo as características de funcionabilidade.
- II. Definir um microcontrolador capaz de gerenciar o protótipo sem a necessidade de um microcontrolador adicional.
- III. Verificar o consumo de energia e elétrica do protótipo e definir uma bateria para alimentação interna.
- IV. Simular o dispositivo em software e validar seu comportamento.

2. REVISÃO LITERÁRIA

2.1 PROJETO DE REFERÊNCIA

Desenvolvido por Caio Penning (2020), o projeto de referência traz o objetivo de solucionar um problema na coleta de dados em hidrômetros analógicos, implementando um dispositivo “nó”, figura 1, capaz de coletar o valor de vazão da água que passar por um hidrômetro.

Este dispositivo conta com um módulo *LoRa*, ou seja, uma placa de circuito que contém um chip capaz de transmitir dados pela tecnologia *LoRa* (tecnologia de rede de área ampla de baixa potência), para um outro dispositivo chamado concentrador e após isso ser enviado para a internet.

Figura 1 – Protótipo do nó



Fonte: Caio Penning (2020)

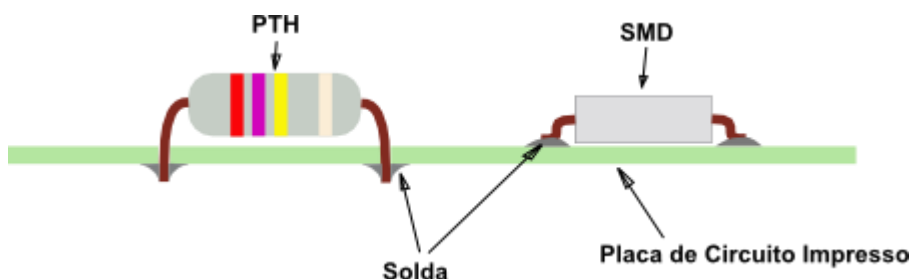
Seu objetivo era desenvolver um dispositivo dotado de comunicação LoRa, sendo confiável e de fácil aplicação nas redes hídricas. Uma das sugestões de melhoria era a de implementar um sistema de baterias e minificação do sistema.

O dispositivo funciona conectado a uma fonte de alimentação externa e conta com dispositivos da categoria módulo, isto é, componentes com placa de circuito própria capaz de funcionar independentemente.

2.2 COMPONENTES DE MONTAGEM EM SUPERFÍCIE

Componentes da tecnologia DMS (dispositivos de montagem em superfície) são soldados diretamente na superfície da placa de circuito, dispensando furos, na placa, para conectar os terminais dos componentes, assim tendo componentes mais compactos que os tradicionais PPF (pino pelo furo), como demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Comparação de componentes do tipo PPF e DMS



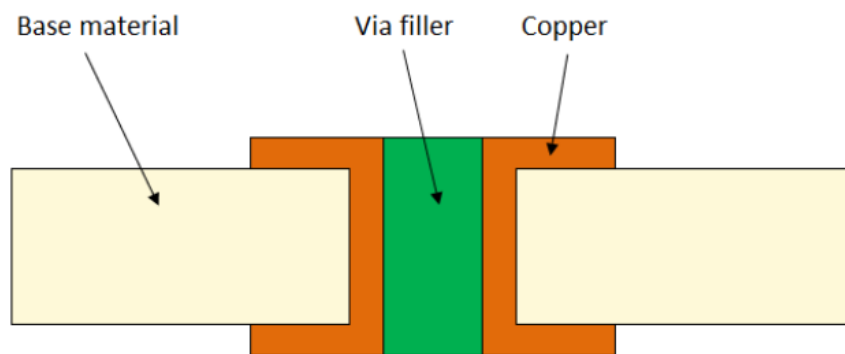
Fonte: ELETROPI (2022)

Segundo Prasad (1997), utilizar essa tecnologia proporciona um melhor aproveitamento da área útil da placa, pois o tamanho dos componentes apresenta

tamanho reduzido, e permite criar placa de face dupla, tendo componentes e trilhas dos dois lados do circuito sem causar interferência.

Como o circuito conta com trilhas e componentes dos dois lados, é necessário o uso de vias, um modelo de via é demonstrado na figura 3. As vias consistem em furos na placa preenchidos com cobre que permitem interligar trilhas em lados opostos da placa (TRAISTER, 1990).

Figura 3 - Vias em placas de duas faces



Fonte: eurocircuits.com (2022)

As vias podem diversos tamanhos e formatos, podendo ser completamente preenchidas com matérias ou simplesmente ocas. Outras funções como diminuição de material e auxiliar na refrigeração das placas, também são motivos para o uso das vias.

2.3 COMUNICAÇÃO A DISTÂNCIA

De acordo com Augustin et. al. (2016), LoRa é um sistema de comunicação sem fio, que atinge grandes distancias com um baixo consumo energético. Seu uso vem aumentando no decorrer dos anos pois pode operar independente, apenas com dois dispositivos já é possível criar uma rede LoRa.

Com uma boa taxa de confiabilidade, longo alcance e baixo consumo, o uso da tecnologia LoRa é adequado a uso em dispositivos pequenos que necessitam estarem conectados a outros dispositivos remotamente.

No mercado pode-se encontrar uma grande variedade de chips e módulos para atender adequadamente as demandas e necessidades diversas.

O modelo E32-TTL-100, foi utilizado no protótipo de referência por conta das suas características, ele é baseado no chip SX1278 da SEMTECH. Podendo trabalhar nas frequências de operação permitidas no Brasil, de 433 MHz, com estabilidade de potência e ótima performance no quesito anti-interferência.

O funcionamento do módulo E32 é baseado no chip SX1278, sendo que as diferenças entre os dois que o módulo E32 pode operar sozinho, enquanto o chip SX1278 necessita de um microcontrolador auxiliar para operar.

2.4 MICROCONTROLADOR STM32

O protótipo original tem como microcontrolador o *ATTINY85* que atendia adequadamente as especificações do projeto, mas para as mudanças propostas por essa pesquisa o mesmo não atende mais às necessidades.

Ao utilizar apenas o chip *SX1278IMLTRT* e não mais o módulo LoRa E32, se faz necessário que o microcontrolador assumisse o papel de controlar toda comunicação, pois no módulo E32 havia um microcontrolador responsável por controlar isso.

A recomendação do fabricante do chip *SX1278IMLTRT* é que o microcontrolador que acompanhe o chip precisa ter 1 Kb de memória SRAM e 4 Kb de memória flash apenas para a biblioteca.

Como o microcontrolador *ATTINY85* tem 512 bytes de memória SRAM e 8 Kb de memória flash, suas especificações não são compatíveis para suportar a biblioteca do chip *SX1278IMLTRT*.

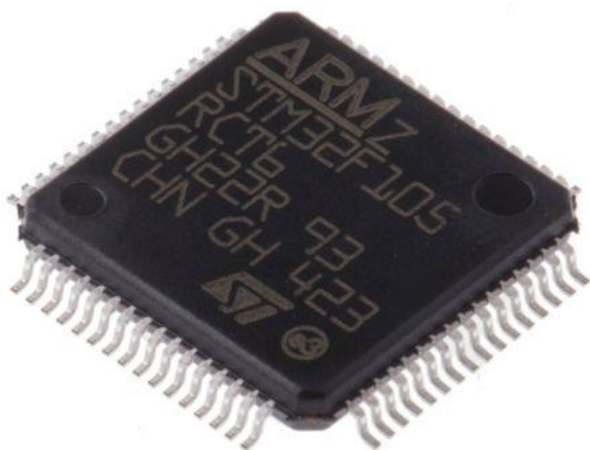
Por esse motivo foi substituído o microcontrolador pelo *STM32F100RCT6*, figura 4, no quadro 1 contém as especificações do microcontrolador.

Quadro 1 - Especificações STM32F100RCT6

	STM32F100RCT6
SRAM	32Kb
Memória flash	256Kb
Tensão de operação	3,3V
Dimensões	53 mm x 22,5 mm x 11 mm

Fonte: st.com (2022)

Figura 4 -Microcontrolador STM32F100RCT6



Fonte: octopart.com (2022)

A escolha deste microcontrolador foi por suas funções extras, como o protocolo de comunicação UART (do inglês *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*, ou transmissor/receptor assíncrono universal), oscilador de cristal de 8MHz interno, sistema integrado para falha de comunicação e a possibilidade de desativar funcionalidades que não estão sendo utilizadas.

2.5 PROGRAMA ELETRONICO PARA DESINE DE CIRCUITOS

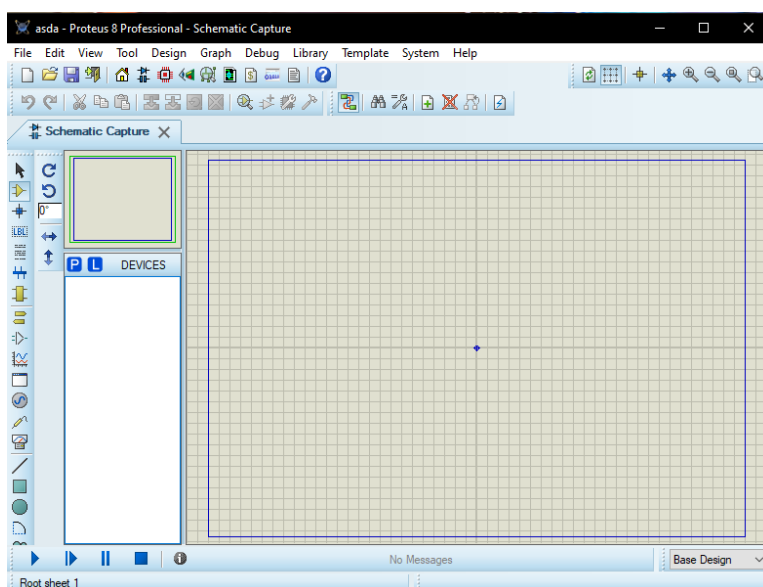
Segundo Lapa (2008), um programa de projeto de circuito integrado (EDA) é um conjunto de ferramentas capaz de desenvolver sistemas eletrônicos, desde um circuito integrado até desenhos de placas de circuito, participando do projeto, concepção e produção dos sistemas.

Existe uma grande variedade de EDAs disponíveis no mercado, nelas contém funções e finalidades diferentes dependendo do tipo de projeto que precisa ser desenvolvido, uma das funcionalidades principais dos maiores EDAs disponíveis é a capacidade de simulação do projeto.

2.5.1 PROTEUS

De acordo com Lima e Furtado (2011), *Proteus* é uma ferramenta EDA, desenvolvido pela *Labcenter Electronics* desde o ano de 1989, é um dos EDAs mais completos atualmente, permitindo criar a esquemática de projetos, elaborar PCBs (placas de circuito impresso), visualização 3D do projeto, simulações e várias outras ferramentas. Na figura 5 podemos ver o ambiente de desenvolvimento *Proteus*.

Figura 5 - Ambiente de desenvolvimento *Proteus*



Fonte: Autor (2022).

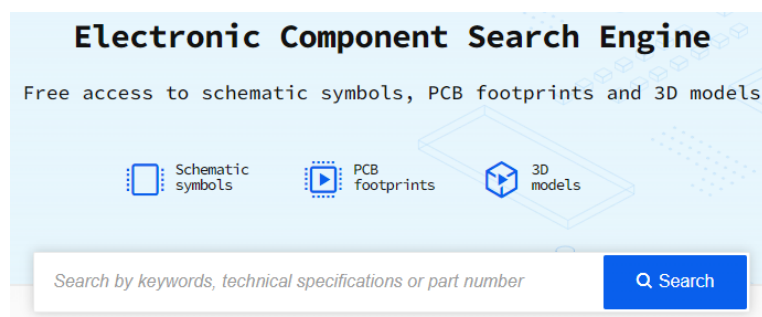
A escolha do *Proteus* se deu pela sua variedade e fidelidade em simulações, permitindo que o projeto fosse testado sem a necessidade de manufaturar o circuito. Outro ponto positivo na escolha do EDA foi a facilidade de conseguir os componentes para utilizar na elaboração e simulação.

2.5.2 FERRAMENTA DE PESQUISA DE COMPONENTES

O *Proteus* contém uma grande variedade de componentes para serem utilizados, mas alguns componentes não estão disponíveis ou não estão com todas as funcionalidades funcionando, para resolver esse problema se faz uso da integração do *Proteus* com o *SamacSys*.

De acordo com Alex MacDougall (2018), *SamacSys* é uma plataforma de compartilhamento de componentes eletrônicos que atualmente está integrada com os maiores EDAs disponíveis hoje. A plataforma conta com um banco de dados de componentes e uma ferramenta de pesquisa que podemos ver na figura 6, disponibilizando assim componentes completos, com todas as suas funcionalidades, de forma rápida e gratuita.

Figura 6 – Ferramenta *componentsearchengine*



Fonte: Autor (2022).

O uso da ferramenta é gratuito e aberto para todos os públicos, permitindo o uso em ambientes de estudo até ambientes de produção.

2.6 BATERIAS

No final do século 18, Benjamin Franklin (1706-1790) cunhou o termo bateria para se referir a um conjunto de unidades conectadas capazes de descarregar energia, basicamente é um dispositivo capaz de armazenar energia elétrica e disponibilizar posteriormente a outros componentes.

De acordo com Eduardo Granich (2010), existe muitos tipos de baterias, para diversas finalidades, divididas em grupos e tecnologias. Os dois grupos são de baterias primárias e baterias secundárias.

O grupo das baterias primárias é formado por aquelas que são descartáveis e não é possível recarregá-las, são conhecidas como pilhas e sua energia é proveniente de uma reação química que ocorre internamente.

O segundo grupo, das baterias secundárias, são das baterias que podem ser recarregadas, esse grupo é subdividido pela tecnologia utilizada para a fabricação das mesmas, pois isso altera suas características, principalmente a dos ciclos de vida que é a quantidade de vezes que uma bateria consegue ser recarregada.

2.6.1 BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

De acordo com Cynthia (2020), as baterias de chumbo-ácido têm sido muito utilizadas historicamente pela sua alta capacidade, robustez mecânica, facilidade de fabricação e um custo relativamente baixo, um exemplo de baterias de chumbo-ácido pode ser visto na figura 7.

Figura 7 - Bateria chumbo-ácido selada



Fonte: unipower.com.br (2022)

Suas desvantagens são pelo baixo nível de ciclos, necessidade de manutenção, dimensões físicas e peso elevado e a maior desvantagem é no seu valor de autodescarga, que pode chegar até 25% dentro de 30 dias caso não receba manutenções adequadas.

2.6.2 BATERIAS DE LITIO

De acordo com Cynthia (2021), as baterias Li-Ion são feitas a partir de sais de lítio, seus primeiros modelos foram criados em 1970 e atualmente estão substituindo as baterias de chumbo-ácido.

Com seu tamanho físico e peso serem bem menores, como mostra na comparação de duas baterias no uso automobilístico no quadro 2, seu uso em dispositivos móveis, como laptops e celulares, é praticamente indispensável.

Quadro 2 - Comparação de baterias semelhantes no uso automobilístico

Título	Chumbo-ácido	Li-íon
Dimensões	30 cm x 10 cm x 10 cm	10 cm x 5 cm x 5 cm
peso	5 Kg	150 g
Tensão/Corrente	12 V / 7 A	12 V / 7 A

Fonte: Autor (2022)

3. METODOLOGIA

Foi aplicada a metodologia de pesquisa explicativa, escolhido por ser o método que se alinha mais com a realidade e a prática porque explica a razão e o funcionamento dos elementos, está com o enfoque em descobrir e identificar como é o funcionamento de um objeto posto a estudo. Assim este possibilita bons resultados científicos, da forma que cometer erros é um risco mais propenso e que pode afetar o resultado obtido. (GIL, 2017)

Adotado o delineamento conhecido como pesquisa experimental, de acordo com GIL (2017), consiste na escolha de um objeto com as respectivas variáveis, e

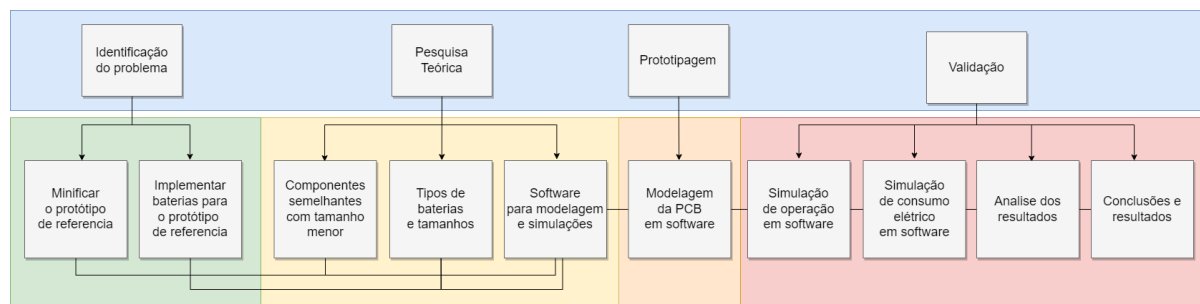
então realizar uma experimentação controlada com a finalidade de observar os efeitos produzidos a fim de gerar resultados.

Esta pesquisa dispõe de características e propriedades que devem ser seguidas durante o seu desenvolvimento, sendo elas distribuição aleatória, manipulação e controle. Resumidamente, a distribuição aleatória indica que os elementos escolhidos para a fase de controle e a fase de manipulação devem ser escolhidos de forma aleatória, a fase de manipulação retrata a necessidade do pesquisador alterar variáveis no objeto de estudo e o controle diz que o pesquisador deve ter um ou mais controle durante a experimentação.

3.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO

Para elaborar o projeto, foi criado o escopo da figura 8, onde se identificou os problemas a serem trabalhados, levando a uma necessidade de pesquisa teórica para propor uma solução aos mesmos, a prototipagem da PCB em programa e simulações do sistema. Com exceção dos problemas, que já foram explicados anteriormente, os demais pontos são retratados a seguir.

Figura 8 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor (2022).

3.1.1 PESQUISA TEÓRICA

Foi necessário a pesquisa de componentes com as mesmas funcionalidades e características do protótipo de referência, mas que fossem da categoria DMS. Na questão do microcontrolador, foi necessário a pesquisa de outro modelo que se

comporta o algoritmo do protótipo de referência mais as bibliotecas necessárias para comportar o chip LoRa.

Para a pesquisa da bateria, foi procurado baterias com a menor taxa de autodescarga, grande capacidade energética, pouca ou nenhuma manutenção e tamanho físico reduzido.

No programa para prototipagem e simulação, procurou-se o que era capaz de fazer as duas tarefas e tinha os componentes escolhidos à disposição para modelagem e simulações, além de ter uma boa taxa de confiabilidade nas simulações.

3.1.2 PROTOTIPAGEM

O protótipo foi desenvolvido com o intuito de reduzir o tamanho físico do protótipo de referência e substituir os componentes por semelhantes, mas do tipo DMS, substituindo o módulo LoRa E32 por apenas o chip LoRa *SX1278IMLTRT*.

Também se trabalhou na troca do microcontrolador para um que atendesse às novas necessidades. Outro ponto da prototipagem é a implementação de conectores para facilitar manutenções e substituições de sensores e baterias.

3.1.3 VALIDAÇÃO

Para simulações e validações, foi preparado um ambiente em programa capaz de simular o protótipo e medir as suas especificações estavam corretas com o protótipo de referência. Para isso foi utilizado leitores digitais para verificar a potência emitida na antena do protótipo, e decodificadores digitais para interpretar e validar a leitura.

Também foi simulado, em tempo acelerado, quanto tempo a bateria seria capaz de manter o sistema energizado sem a necessidade de manutenção ou recarga da mesma. Para isso foi simulado o protótipo conectado a bateria e acelerado o tempo para validar o tempo que o protótipo se manteria energizado. Com o intuito de

melhorar a simulação, a cada 30 dias simulados se faz necessário descontar a taxa de autodescarga da bateria.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Nesta seção são listados os principais materiais e equipamentos utilizados no desenvolvimento do protótipo e validações.

- a) Computador;
- b) Programa de eletrônica e simulação;
- c) Plataforma de banco de componentes;
- d) Algoritmo do protótipo de referência;
- e) Bibliotecas de algoritmos dos fabricantes dos componentes;

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

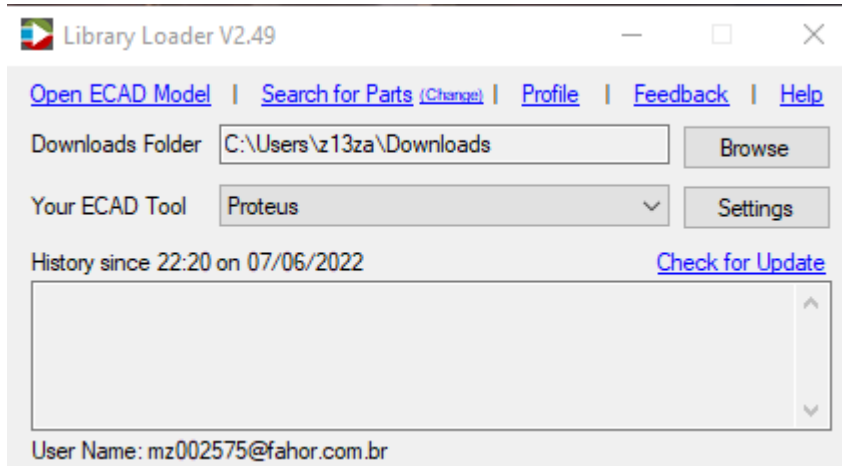
Nessa seção são abordados os resultados dos métodos e planejamentos discutidos anteriormente, mostrando o desenvolvimento e validação do protótipo em programa e resultados obtidos através das simulações.

4.1 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Para iniciar o desenvolvimento, foi necessário preparar o ambiente de desenvolvimento dentro do *Proteus*. Para isso foi necessário criar um novo projeto sem nenhum modelo de esquemática e nenhum modelo de PCB. Também não foi selecionado nenhum modelo de *firmware*, criando assim um projeto completamente em branco.

O próximo passo para preparar o ambiente de desenvolvimento foi o de adicionar o *SamacSys* ao *Proteus*, para isso funcionar o *Proteus* precisa estar na versão 8.5 ou superior, no caso desse projeto estamos utilizando a versão 8.9.

Acessando o site da *SamacSys* conseguimos baixar e instalar o “*Library Loader*” que é a ferramenta que conecta o *Proteus* ao *SamacSys*, uma vez instalado ele automaticamente importará os componentes baixados através do site da *SamacSys*, na Figura 9 podemos ver a interface do programa *Library Loader*.

Figura 9 - Programa *Library Loader*

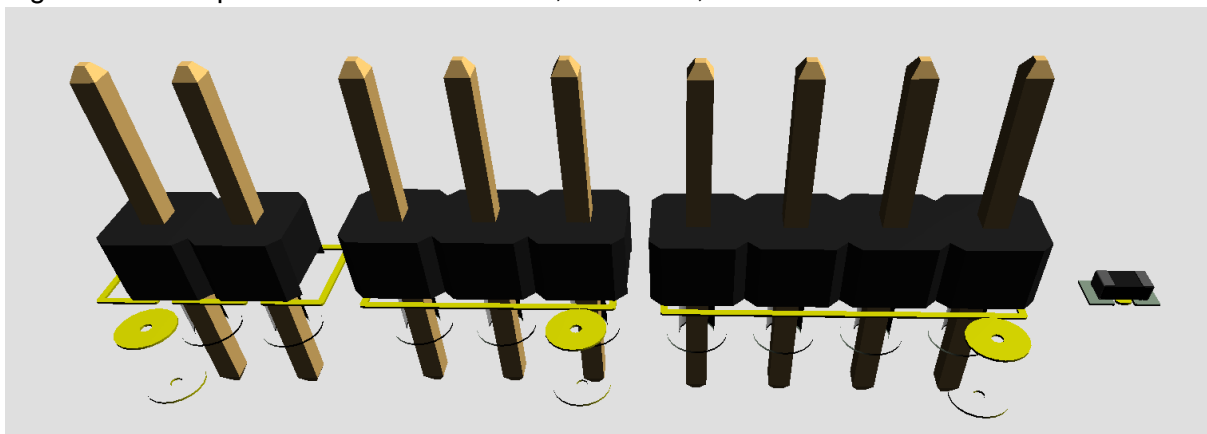
Fonte: Autor (2022).

Sua interface é simples e com poucas configurações necessárias. É necessário se cadastrar na plataforma e selecionar qual programa será utilizado, e assim todas as configurações estão finalizadas.

4.2 COMPONENTES

Primeiramente foi verificado quais componentes já estavam presentes na biblioteca padrão do *Proteus*, e se os mesmos estavam com suas versões DMS, destes foram utilizados o resistor e os conectores, conforme na figura 10 sua representação.

Figura 10 - Componentes conectores de 2, 3 e 4 vias, resistor DMS

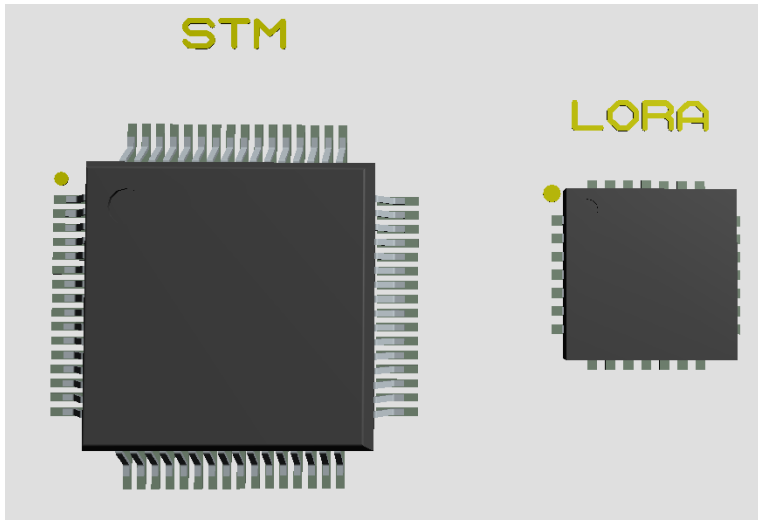


Fonte: Autor (2022)

Outros componentes se fez a necessidade de buscar no sistema da *SamacSys*, no qual foi dado preferência a componentes que continham a esquemática, modelo PCB e modelo 3D, para os chips *STM32F100RCT6* e

STM32F100RCT6 também se deu preferência aqueles que continham o *firmware*, na figura 11 podemos ver os chips que foram utilizados.

Figura 11 - Chips *STM32F100RCT6* e *STM32F100RCT6*



Fonte: Autor (2022)

Não foi possível localizar a bateria nas bibliotecas padrões do *Proteus*, nem no site da *SamacSys*, para isso foi utilizado uma bateria genérica do próprio *Proteus* e configurada a mesma para as especificações da bateria de li-íon. Essa escolha foi feita pois para a prototipagem não se faz o uso da bateria, e nas simulações basta ter as mesmas especificações.

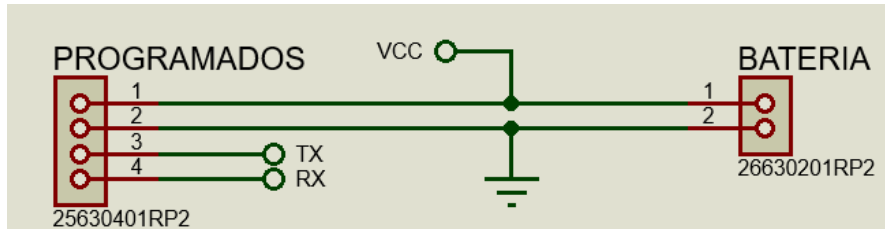
4.3 MODELAGEM DA ESQUEMÁTICA

4.3.1 MICROCONTROLADOR

A modelagem da esquemática iniciou-se pelo chip *STM32F100RCT6* pois ele é o microcontrolador do circuito e comanda todos os demais componentes. Foi conectado aos pinos “*VBAT*”, “*VSS_1*”, “*VDD_1*”, “*VSS_2*”, “*VDD_2*”, “*VSS_3*”, “*VDD_3*”, “*VSS_4*” e “*VDD_4*” ao conector positivo da bateria. De acordo com o *datasheet* do componente, os pinos “*VDD*” do 1 ao 4 são responsáveis em energizar o chip com 3,6 volts, os pinos “*VSS*” 1 ao 4 são responsáveis para comparadores e oscilador interno do microcontrolador e o pino “*VBAT*” é responsável em manter o relógio interno ligado. Essas conexões vão ser chamadas de *VCC* neste projeto.

Os pinos “PC11” e “PC10” estão conectados ao conector de 4 pinos chamado "programador", figura 12, esse conector também está interligado às conexões VCC e GND. Esse conector tem o papel de permitir que o microcontrolador possa ser conectado a um computador para receber o algoritmo e/ou fazer manutenções futuras.

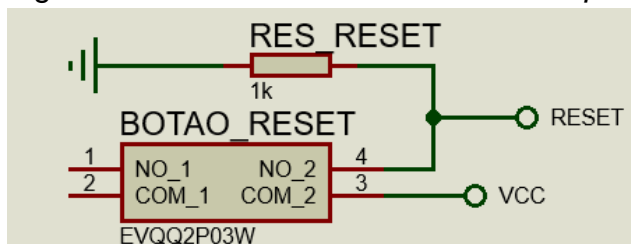
Figura 12 - Conector “Programador e conector “Bateria”



Fonte: Autor (2022)

O pino “NRST” está conectado a um botão normalmente aberto, este botão trabalha junto a um resistor de “pull-down” de 1kΩ. O botão tem a funcionalidade de reiniciar todo o circuito caso seja necessário em manutenções futuras do protótipo, demonstrado na figura 13.

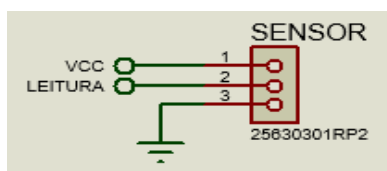
Figura 13 - Botão de reset e resistor de “pull-down”



Fonte: Autor (2022)

O pino “PC0”, está conectado ao conector de três vias chamado "Sensor", figura 14, este conector também está ligado às conexões VCC e GND, ele é o responsável em conectar e energizar o sensor ao microcontrolador.

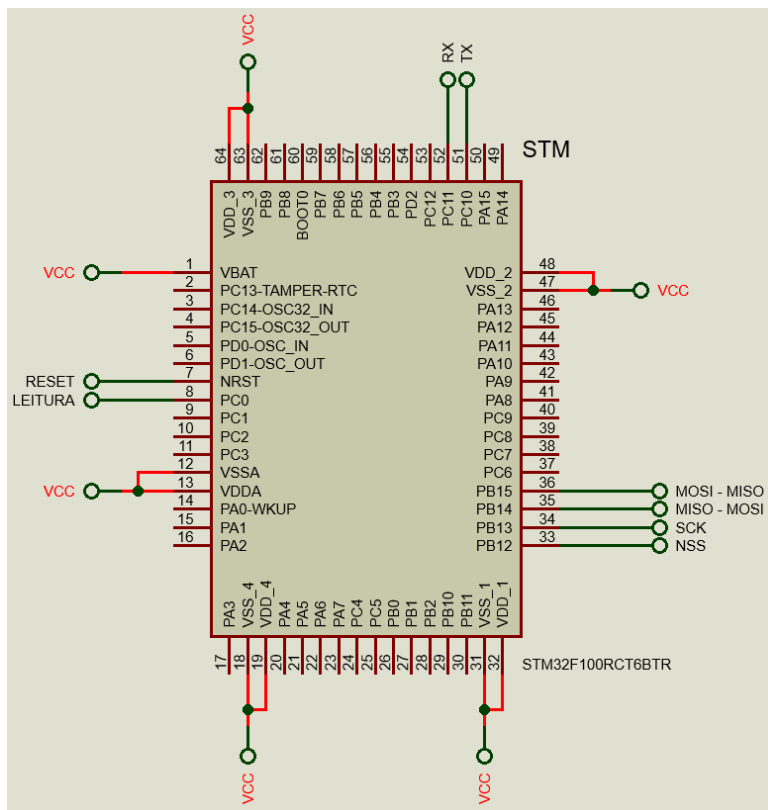
Figura 14 - Conector sensor



Fonte: Autor (2022)

As últimas conexões utilizadas do microcontrolador foram as dos pinos “PB12’, “PB13”, “PB14” e “PB15’, estas foram conectadas ao chip SX1278IMLTRT, estas são responsáveis em conectar e sincronizar o microcontrolador com o chip LoRa pelo protocolo UART, na figura 15 podemos ver a esquemática completa do microcontrolador.

Figura 15 - Microcontrolador e suas conexões



Fonte: Autor (2022)

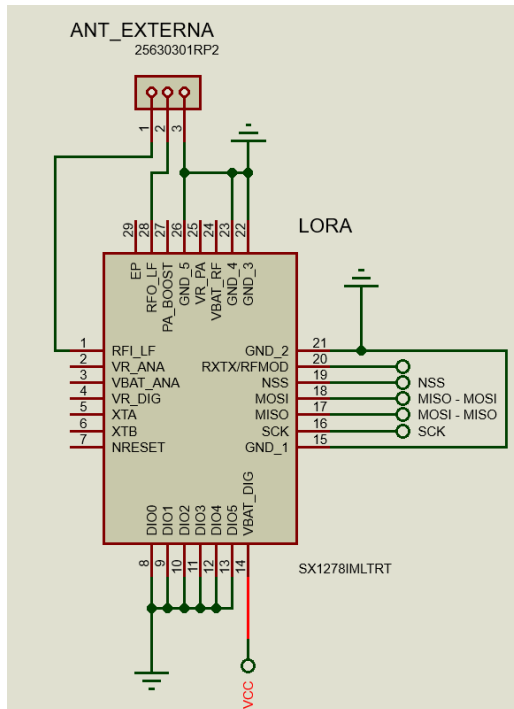
Os pinos não utilizados do microcontrolador foram desativados através do algoritmo, permitindo assim, que possam ser utilizados futuramente.

4.3.2 Chip LoRa

Partindo para o chip SX1278IMLTRT, figura 16, o pino “VBAT_DIG” foi conectado a conexão VCC e os pinos “GND_1”, “GND_2”, “GND_3”, “GND_4” e “GND_5” foram conectados à conexão GND. Os pinos “GND_3” ao “GND_5” também

podem ser utilizados para antenas de baixa frequência, mas não é o caso deste protótipo.

Figura 16 - Chip LoRa e suas conexões



Fonte: Autor (2022)

os pinos “NSS”, “SCK”, “MOSI” e “MISO” estão conectados aos seus respectivos pinos no microcontrolador, que são os “PB12” ao “PB15”, lembrando que o pino “MOSI” precisa ser conectado ao pino “MISO” (PB14) do microcontrolador e o pino “MISO” ao pino “MOSI” (PB15) do microcontrolador.

Os pinos digitais “DIO0” ao “DIO5” estão conectados a conexão GND pois não serão utilizados neste projeto, assim como o pino “NRESET” não será conectado a nada pois no momento que o microcontrolador reiniciar o chip LoRa reiniciará junto.

Para a conexão da antena, será utilizado um conector de 3 vias chamado de “ANT_EXTERNA”, o mesmo terá os pinos “RFI_LF”, “RFO_LF” do chip LoRa conectado nele e também a conexão com o GND.

4.4 MODELAGEM PCB

A placa de circuito foi desenvolvida pensando em reduzir o espaço sem gerar interferências. Alguns pontos adicionais foram implementados pensando na melhoria do protótipo. Primeiramente foi posicionado o microcontrolador mais próximo ao centro e sua orientação, isto é, o ponto onde indica o pino 1, posicionado no canto inferior direito, essa posição permite que os pinos da comunicação UART estejam posicionados para a esquerda da placa.

O chip LoRa está posicionado à direita do microcontrolador com sua orientação para o canto superior esquerdo, deste modo os pinos de comunicação UART do chip LoRa estão direcionados para a direita da placa, facilitando assim a conexão entre o microcontrolador e o chip LoRa.

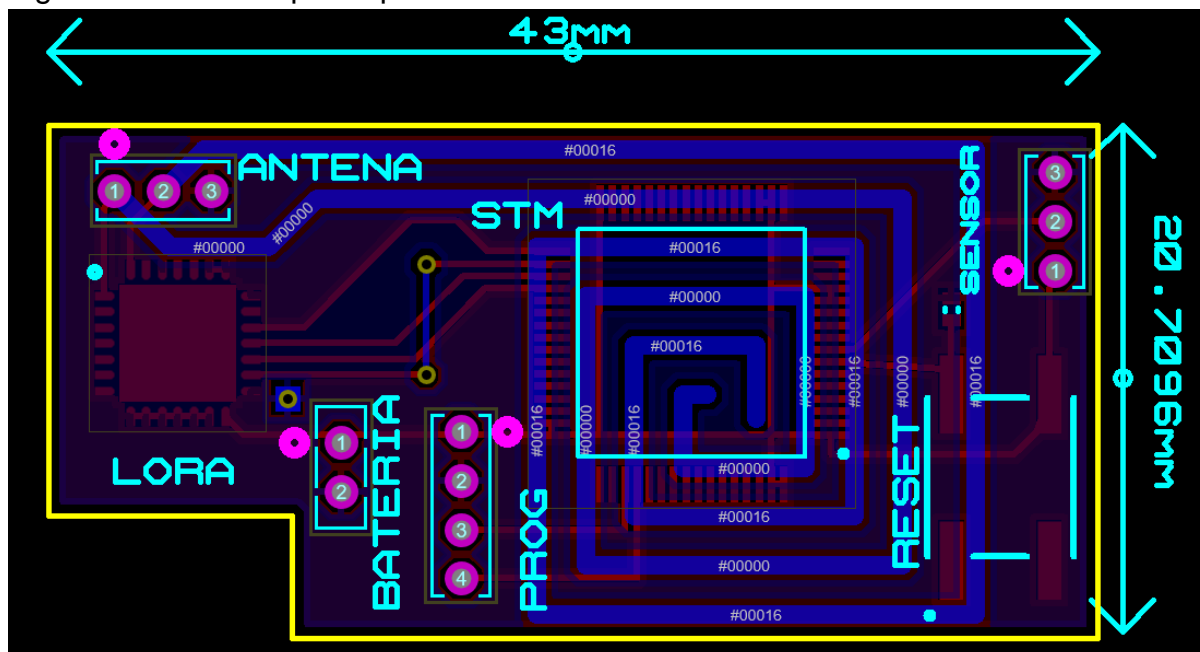
O conector “Sensor”, o botão de reset e o resistor de “*pulldown*” foram posicionados à direita do microcontrolador, sua posição é justificada pelos pinos do microcontrolador que estão à direita.

Os conectores “Bateria” e “Programador” foram posicionados entre o microcontrolador e o chip LoRa, mas um pouco abaixo para não interferir nas conexões UART. Essa posição foi escolhida para que a alimentação da bateria ou da conexão com o computador não estejam longe dos componentes principais. O circuito inteiro conta com uma malha negativa nos dois lados, proporcionando uma barreira contra a interferência que pode ser gerada.

O conector “*ANT_EXTERNA*” está posicionado acima do chip LoRa, também foi projetado uma antena interna, isto é, uma antena já acoplada na placa, o seu desenho foi feito na parte de trás da placa, aproveitando a maior parte da área disponível.

Na figura 17 é apresentado o resultado da modelagem, as conexões e componentes na cor azul estão na parte de trás da placa, e na cor vermelha estão as conexões e componentes na parte de cima da placa. em rosa estão os componentes e conexões do tipo PPF, que estão acessíveis dos dois lados da placa.

Figura 17 - PCB do protótipo



Fonte: Autor (2022).

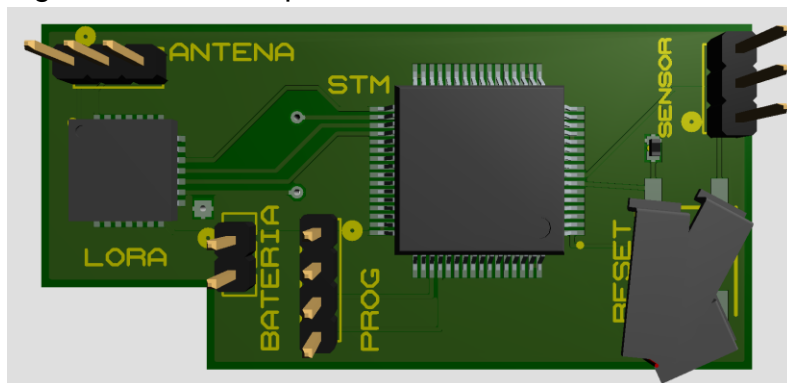
A placa ficou nas dimensões da placa e ficou em 43 milímetros de comprimento e 20,7 de largura. Comparado ao protótipo de referência que tem 65 milímetros de comprimento e 34 milímetros de largura, temos o total de 22 milímetros de comprimento e 13,3 milímetros de largura menor que o protótipo de referência.

4.5 MODELAGEM 3D

O *Proteus* conta com uma ferramenta de modelagem 3D, essa ferramenta apenas funciona se os componentes utilizados tiverem os seus modelos carregados na biblioteca. O modelo do circuito é gerado automaticamente a partir da PCB, podendo assim ser exportado e utilizado em outros programas.

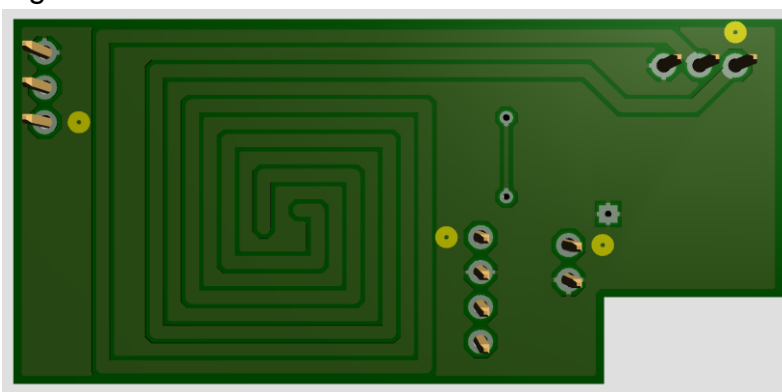
Todos os componentes utilizados no protótipo continham o modelo 3D adequado, com exceção ao botão, este está com um modelo genérico e é por isso que sua apresentação não está muito adequada. A figura 18 apresenta a vista superior da placa enquanto a figura 19 representa a vista inferior.

Figura 18 - Vista superior do modelo da PCB



Fonte: Autor (2022)

Figura 19 - Vista inferior do modelo da PCB



Fonte: Autor (2022)

A renderização tridimensional pode conter algumas diferenças da placa manufaturada, por conta que alguns componentes podem várias suas aparências, mas não suas concepções.

4.6 SIMULAÇÕES

As simulações foram divididas em 2 partes, a simulação de comunicação e a simulação de consumo. Ambas foram realizadas dentro do *Proteus*.

Para as simulações, o protótipo precisa rodar o mesmo algoritmo que o protótipo de referência utiliza, mas com algumas modificações para se adequar ao novo microcontrolador.

Primeiramente foi iniciado o algoritmo na IDE *arduino*, um programa desenvolvido pela Arduino para programar algoritmos aos dispositivos que eles desenvolvem e semelhantes que são baseados em na linguagem C++. O motivo por

ser aberto nesta IDE é que o algoritmo foi desenvolvido nela e o microcontrolador do projeto de referência funciona nativamente nessa IDE.

As modificações necessárias para darmos continuidade é a adição da biblioteca disponibilizada pelo fabricante do chip *SX1278IMLTRT*, e modificar as portas da comunicação serial. Outra modificação necessária é a troca do pino que o sensor utiliza, que originalmente está no “2” e passa para o “PC0”.

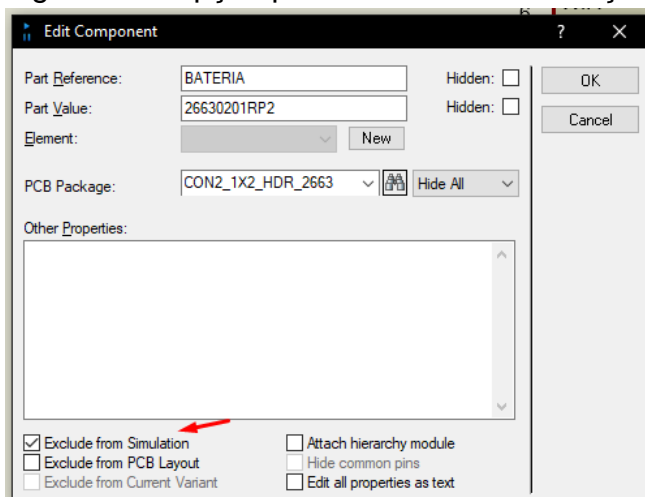
Ao finalizar as modificações, precisa apenas alterar nas configurações o microcontrolador para STM32 e salvar em binário.

No *Proteus* deve ser acessado a aba “*Source Code*” e criar um novo projeto, na opção “*Family*” selecionar “*Cortex-M3*” e em “*Controller*” selecionar “*STM32F103C6*”. Após isso, deve-se importar os arquivos e selecionar o arquivo binário que a IDE *arduino* gerou.

4.6.1 SIMULAÇÃO DE COMUNICAÇÃO

Para se conseguir rodar a simulação de comunicação, deve-se excluir os componentes que não são possíveis de simular, no caso deste projeto são os conectores de 2 vias, 3 vias e 4 vias. Para excluir da simulação, basta entrar nas propriedades do componente e marcar a opção “*Exclude from simulation*”, demonstrado na figura 20.

Figura 20 - Opção para desativar a simulação do componente



Fonte: Autor (2022)

Para substituir o sensor do protótipo de referência, será adicionado um gerador de pulso quadrado no pino de leitura do microcontrolador. O sensor de referência emite 450 pulsos para cada litro de água, o gerador de pulso receberá a configuração de emitir 1 pulso a cada segundo, totalizando 0,13 litros por minuto.

Aplicando um leitor de frequência no esquemático da placa e criando uma tabela de leitura, podemos verificar os dados e comportamento da antena e aplicando um leitor de serial na conexão UART entre o microcontrolador e o chip LoRa podemos verificar os dados transmitidos.

Foram realizadas três simulações de dez minutos cada, os dados foram anotados a cada dois minutos de simulação rodada e tivemos os resultados no quadro 3.

Quadro 3 - Resultados da simulação de comunicação

	Simulação 1		Simulação 2		Simulação 3	
Tempo de simulação	Frequência do sinal	Valor medido do sensor	Frequência do sinal	Valor medido do sensor	Frequência do sinal	Valor medido do sensor
0	433MHz	0	432MHz	0	433MHz	0
2	432MHz	0,13	433MHz	0,13	433MHz	0,13
4	433MHz	0,26	432MHz	0,26	432MHz	0,26
6	433MHz	0,39	433MHz	0,39	432MHz	0,39
8	432MHz	0,52	433MHz	0,52	433MHz	0,52
10	433MHz	0,65	432MHz	0,65	433MHz	0,65

Fonte: Autor (2022)

Comparando os dados da simulação, foi possível verificar que a frequência do sinal do chip LoRa se manteve igual ao especificado do módulo LoRa E32 utilizado no projeto de referência. Também se constatou que o valor que está sendo enviado pelo LoRa é coerente com o valor que o sensor está captando.

4.6.2 SIMULAÇÃO DE CONSUMO

Para a simulação de consumo, foi utilizado uma configuração semelhante para manter o microcontrolador e o chip LoRa com a mesma carga de trabalho, e assim, o mesmo consumo energético.

Como na esquemática não temos o sensor utilizado no protótipo de referência, foi adicionado uma luz genérica configurada com os mesmos parâmetros de consumo do sensor de referência, sendo tensão e corrente 3,6 volts e 15 miliamperes.

Foi realizada a simulação durante 10 minutos e anotado o valor de consumo do microcontrolador, chip LoRa e do circuito total a cada 2 minutos. O quadro 4 mostra os valores coletados.

Quadro 4 - Consumo do circuito

Tempo em minutos	Consumo Microcontrolador	Consumo LoRa	Consumo total
0	22 mA	8 mA	47 mA
2	18 mA	6 mA	41 mA
4	16 mA	5 mA	38 mA
6	19 mA	6 mA	42 mA
8	17 mA	6 mA	41 mA
10	18 mA	5 mA	40 mA
Média	18 mA	6 mA	41 mA

Fonte: Autor (2022)

Calculando a média do consumo total, foi encontrado o valor de 41 mA, que é o valor que o protótipo consome a cada hora que estiver em funcionamento. Multiplicando esse valor por 24 horas, que o protótipo ficará em operação, temos o valor de 984 mA e 29520 mA a cada 30 dias.

As baterias de li-ion do tipo células podem ser encontradas de 3600 mA até 14400 mA com o auto descarregamento de 5% a cada 30 dias de operação e podendo ser utilizada várias células em conjunto, calcula-se que utilizando o conjunto de 7 células o protótipo consiga ficar suprido com energia no mínimo 90 dias, conforme o quadro 5.

Quadro 5 - Tempo até a carga disponível no conjunto de baterias acabar

Dias de operação	Carga disponível em mA	Dias de operação	Carga disponível em mA	Dias de operação	Carga disponível em mA
0	100800	31	66732	61	35302
1	99816	35	62796	65	31366
5	95880	40	57876	75	21526
15	86040	45	52956	80	16606
30	71280	60	38196	90	6766
Autodescarga	67716	Autodescarga	36286	Autodescarga	6427

Fonte: Autor (2022).

Conforme o resultado dos cálculos, o conjunto com 7 células consegue manter o sistema suprido de energia por um pouco mais de 90 dias, mas para aumentar ainda mais o tempo de suprimento de energia seria necessário adicionar mais células o que aumenta mais ainda o tamanho do protótipo.

CONCLUSÃO

O estudo apresentado buscou desenvolver uma solução de uma minificação de um projeto de referência sem perder as funcionalidades e implementação de um sistema de alimentação interno de energia para um longo período de funcionamento.

Obteve-se que a minificação do protótipo se comporta de maneira satisfatória, com as funcionalidades do protótipo deste projeto funcionando com similaridade com as funcionalidades do protótipo de referência.

Em relação a placa de circuito impresso, seu tamanho está 22 milímetros de comprimento e 13,3 milímetros de largura menor que a placa de referência. Além de estar utilizando componentes, a maior parte deles, do tipo DMS. No quadro 6 podemos ver o comparativo entre o protótipo de referência e a minificação.

Quadro 6 – Comparação entre o protótipo de referência e a minificação

	Protótipo de referência	Minificação
Comprimento	65 mm	43 mm
Largura	34 mm	20.7 mm
Corrente	135 mA	41 mA

Fonte: Autor (2022)

O sistema de alimentação interno de energia, com o total de 7 células, suporta 90 dias de operação. Mesmo este sendo um bom período de operação, este pode não ser um período longo o suficiente para ser vantajoso aos consumidores da solução.

Em conclusão, os objetivos foram todos atingidos, sendo alguns com maior maestria que outros, contudo o período de longa duração pode não ser o real desejado pelo consumidor da solução. Com este projeto a ideia inicial da minificação se mostrou válida e a implementação de um sistema de energia interna se mostrou funcional para um período de 90 dias, podendo ser melhorado com novas implementações futuras.

SUGESTÃO DE MELHORIA E TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de melhoria cita-se em manufaturar o protótipo e realizar em teste em ambientes reais, com características distintas de construções ao redor do ponto de testes. Além disso, realizar o teste com distâncias diferentes do concentrador.

Para trabalhos futuros sugere-se alguns pontos. Primeiramente a implementação de um sistema de alimentação de energia elétrica renovável junto do sistema de alimentação interno, como por exemplo o uso de um mini painel solar, ou um minigerador eólico.

O segundo ponto é a implementação da comunicação nó-a-nó, permitindo que os dados passem de um dispositivo para outro até chegar no gateway, permitindo assim que a potência do sinal emitido do dispositivo possa ser menor e economizar mais energia com isso.

REFERÊNCIAS

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

BERTOLETI, Pedro. **Projetos com ESP32 e LoRa**. 1. Ed. São Paulo: Instituto Newton C Braga, 2019.

DUNN, William C. **Fundamentos de Instrumentação industrial e Controle de Processos**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GEORGIU, Orestis; RAZA, Usman. **Low Power Wide Area Network Analysis: Can LoRa Scale?**, Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/780360>>. Acesso em: 16 abril. 2022.

TRAISTER- TRAISTER, J. E. **Design guidelines for surface mount technology**. Academic Press, Inc. San Diego, California. 1990

PENNING, Caio Henrique. **PROTÓTIPO DE SOLUÇÃO EM INTERNET DAS COISAS PARA AUTOMAÇÃO DA CAPTAÇÃO DE DADOS EM HIDRÔMETROS ANALÓGICOS**. Disponível em: <https://fahor.com.br/publicacoes2/23-tfcs/tfcs-engenharia-de-controle-automacao/3063-tfcs-de-automacao-outras?ano=2020&doc=36-66b4a1138658b64c22cf592b1cdba5f4>. Acesso em: 03 abr. 2022.

GRANICH, Eduardo. **ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO PARA MONITORAMENTO DE TENSÃO E CORRENTE DE BATERIA**. Disponível em: <https://fahor.com.br/publicacoes2/23-tfcs/tfcs-engenharia-de-controle-automacao/3063-tfcs-de-automacao-outras?ano=2020&doc=35-3eee27d86ebb9b399d66a2df287c50a6>. Acesso em: 04 abr. 2022.

CANSSI, Ânderson. **IMPLEMENTAÇÃO DE TELEMETRIA EM UM VEÍCULO BAJA SAE ATRAVÉS DA TECNOLOGIA LORA**. 2019. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Fahor, Horizontina, 2019.

PRASAD, Ray . **Surface Mount Technology: principles and practice**. 2. ed.: Springer Science & Business Media, 2013, 2013. 772 p. Disponível em: <https://books.google.co.ck/books?id=cVHtBwAAQBAJ&lpg=PR3&hl=pt-BR&pg=PR9#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 01 maio 2022.

STMicroelectronics . **Datasheet - STM32F100xC STM32F100xD STM32F100xE** . 2018. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f100rc.pdf> . Acesso em: 04 abr. 2022.

Semtech Corporation. **SX1279 SX1278 SX1276 SX1277 SX1279IMLTRT SX1277IMLTRT SX1278IMLTRT SX1276IMLTRT Semtech Datasheet**. 2015. Disponível em: <https://datasheet.datasheetarchive.com/originals/distributors/DKDS-37/728736.pdf> . Acesso em: 04 abr. 2022.

Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., Ltd. **E32-TTL-100_Datasheet_EN_v1.2** . 2019. Disponível em: <https://pdf.direnc.net/upload/e32-ttl-100-datasheet-en-v1-0.pdf> . Acesso em: 04 abr. 2022.

OLIVEIRA, Marcelo Manoel de. **ESTIMATIVA DO ESTADO DE CARGA DE BATERIAS EM ROBÔS MÓVEIS AUTÔNOMOS**. 2013. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-27072016-133537/publico/marcelomanoeldeoliveira.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2022.

KASZUBA, J. L. M.; AZEVEDO, C. R. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VOZ UTILIZANDO MLP**. Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/14441>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MAI, Leonardo Sostmeyer *et al.* **UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA DMS PARA MINIATURIZAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUÍTO IMPRESSO**. 5. ed. Ijuí: Seminário de Inovação e Tecnologia, 2013. 5 p.

BARACY, Yago Lafourcade. **Análise e desenvolvimento de placas de circuito impresso de um multimedidor de grandezas elétricas**. 2016. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/157836>. Acesso em: 04 abr. 2022.

SANTOLIN, Lucas Fernando. **LoRaWAN: Análise da Camada Física e Estudo de Coexistência**. 2019. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/234074/001101556.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 abr. 2022.

THAMIRES, Cynthia Da Silva. **BATERIAS DE LÍTIO ÍON**. 2021. Curso de Engenharia Elétrica, FATEC, Santo André. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/baterias-de-chumbo-acido/>. Acessado em: 19 maio. 2022.

TEIXEIRA, G. B.; ALMEIDA, J. V. P. de. **REDE LORA® E PROTOCOLO LORAWAN® APLICADOS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL** [artigo científico]. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8436/1/PG_COELE_2017_2_01.pdf. Acesso em: 18 maio. 2022.

THAMIRES, Cynthia Da Silva. **BATERIAS DE CHUMBO-ACIDO**. 2020. Curso de Engenharia Elétrica, FATEC, Santo André. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/baterias-de-chumbo-acido/>. Acessado em: 19 maio. 2022.

LAPA, J. M. **Laboratórios virtuais no ensino de Física: novas veredas didático-pedagógicas**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2008.

LIMA, C.B FURTADO, A.O. **Avaliação de software educativo para educação profissional: uma abordagem cognitiva.** II ENINED – Encontro Nacional de Informática e Educação. São Paulo, 2011.

MacDougall, Alex. **Who is SamacSys?**. 2018. Disponível em:
<https://www.wevolver.com/article/alex-macdougall-is-on-a-mission-to-solve-a-problem-at-the-core-of-the-electronics-industry>. Acessado em: 23 maio. 2022