

DAS Departamento de Automação e Sistemas
CTC **Centro Tecnológico**
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

Codificação de rede para transmissão de dados utilizando redes de sensores sem fio aplicadas em um sistema de armazenamento de energia.

*Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a aprovação da disciplina:
DAS 5511: Projeto de Fim de Curso*

Maria Alice dos Santos Duz

Florianópolis, Agosto de 2019

**Codificação de rede para transmissão de dados
utilizando redes de sensores sem fio aplicadas em um
sistema de armazenamento de energia.**

Maria Alice dos Santos Duz

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina
DAS 5511: Projeto de Fim de Curso
e aprovada na sua forma final pelo
Curso de Engenharia de Controle e Automação

Prof. Carlos Barros Montez

Banca Examinadora:

Vicenzo Collodel Benetti
Orientador na Empresa

Prof. Carlos Barros Montez
Orientador no Curso

Prof. Ricardo José Rabelo
Responsável pela disciplina

Odilson Tadeu Valle
Avaliador

Davinder Singh Chandhok
Debatedor

Filipe Eduardo Moecke
Debatedor

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a minha família por todo o apoio e carinho durante minha formação. Sem vocês não teria me tornado a pessoa que sou hoje. Agradeço especialmente meus pais, João e Maria Bernardete, que em nenhum momento mediram esforços para que eu atingisse meus objetivos.

A Atlas Power pela oportunidade de realizar o projeto na empresa, e principalmente ao Vincenzo Benetti e ao Gabriel Manoel pela paciência durante os momentos difíceis, apoio e tempo dedicado durante a elaboração do projeto.

Agradeço ao professor Carlos Barros Montez, meu orientador, pela disponibilidade, pelo apoio nos momentos de dúvidas e pela ajuda ao longo do projeto.

Meu muito obrigada também ao Bruno Candido, pelo companheirismo, carinho e compreensão durante os últimos anos e principalmente no último semestre. Aos meus amigos, por entenderem quando não pude estar presente e por todo o apoio, compreensão e amizade demonstrados ao longo do tempo.

Ao Departamento de Automação e Sistemas e à Universidade Federal de Santa Catarina por me proporcionarem oportunidades de crescimento profissional e pessoal.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação e para o desenvolvimento deste projeto.

Resumo

Sistemas de armazenamento de energia podem ser desenvolvidos utilizando-se uma série de tecnologias. Dentre essas, as baterias apresentam-se como uma excelente alternativa por apresentarem diversas características desejáveis, como eficiência e longa vida útil. Com a crescente importância da geração distribuída de eletricidade, especialmente a da energia fotovoltaica, o armazenamento distribuído de energia deverá tornar-se cada vez mais presente e com isso, diferentes tecnologias e aplicações serão desenvolvidas e estudadas. Com os avanços tecnológicos dos últimos anos, as redes de sensores sem fio (RSSF) vem sendo cada vez mais utilizadas em diferentes aplicações. Essas apresentam diversas vantagens e são caracterizadas pelo uso da comunicação sem fio entre seus dispositivos no lugar das redes cabeadas, tradicionalmente utilizados nas redes industriais.

Nesse contexto, este projeto propõe a implementação de uma rede de sensores sem fio para a transmissão de dados referentes ao funcionamento de sistemas de armazenamento de energia que utilizam o sistema de gerenciamento de baterias (BMS) desenvolvido pela Atlas Power. O projeto tem como objetivo avaliar a possibilidade de implementação de um sistema de armazenamento de energia descentralizado capaz de ser monitorado a partir de um computador base através de um servidor web.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio. Sistema de Gerenciamento de Baterias. Codificação de Redes. Armazenamento de Energia. Transmissão de Dados.

Abstract

Energy storage systems can be developed applying different technologies. Among these, batteries are an excellent alternative because they present several desirable characteristics, like high efficiency and long lifespan. With the increasing importance of distributed power generation, especially photovoltaic energy, distributed energy storage will become more evident and with this, different technologies and applications will be developed and studied. With the technological advances in recent years, wireless sensor networks (WSNs) have been applied in many different applications. These networks present several advantages and are characterized by the use of wireless communication between their devices instead of the wired networks traditionally used in industrial networks.

In this context, this project proposes the implementation of a wireless sensor network for the transmission of data related to the operation of energy storage systems using the battery management system (BMS) developed by Atlas Power. The project aims to evaluate the possibility of implementing a decentralized energy storage system capable of being monitored from a base computer through a web server.

Keywords: Wireless Sensor Network. Battery Management System. Network Coding. Energy Storage System. Data Transmission.

Lista de ilustrações

Figura 1 – BMS desenvolvido pela empresa Atlas Power	24
Figura 2 – Rede de Sensores Sem Fio	27
Figura 3 – Componentes do Nó Sensor	27
Figura 4 – Topologia Estrela	30
Figura 5 – Topologia em malha	31
Figura 6 – Topologia com agrupamentos em árvore	31
Figura 7 – Exemplo de Codificação de Rede	34
Figura 8 – Camadas da Arquitetura TCP/IP	35
Figura 9 – Modelo Proposto do Sistema	37
Figura 10 – Módulo ESP8266	37
Figura 11 – Módulos RF Transmissor e Receptor	39
Figura 12 – Fluxograma nó configurado como access point	42
Figura 13 – Circuito dos Nós Sensores	43
Figura 14 – Algoritmo Nós Sensores	44
Figura 15 – Pacote de Dados Transmitido	44
Figura 16 – Circuito Nó Relay	46
Figura 17 – Fluxograma Nó Relay	47
Figura 18 – Comparação entre as taxas de sucesso com e sem o uso da retransmissão de 1 pacote codificado	50
Figura 19 – Comparação entre as taxas de sucesso com e sem o uso da retransmissão de 2 pacotes codificados	51
Figura 20 – Comparação entre as taxas de sucesso com e sem o uso da retransmissão de 1 pacote não codificado	52
Figura 21 – Comparação entre as taxas de sucesso com a retransmissão de 1 e 2 pacotes codificados	53
Figura 22 – Comparação entre as taxas de mensagens recuperadas com a retrans- missão de 1 e 2 pacotes codificados	53

Lista de tabelas

Tabela 1 – Descrição dos Componentes do Nó Sensor	28
Tabela 2 – Comparação entre Wi-Fi e ZigBee	32
Tabela 3 – Erro 10% com retransmissão de 1 pacote codificado	61
Tabela 4 – Erro 20% com retransmissão de 1 pacote codificado	61
Tabela 5 – Erro 30% com retransmissão de 1 pacote codificado	61
Tabela 6 – Erro 40% com retransmissão de 1 pacote codificado	61
Tabela 7 – Erro 10% com retransmissão de 2 pacotes codificados	63
Tabela 8 – Erro 20% com retransmissão de 2 pacotes codificados	63
Tabela 9 – Erro 30% com retransmissão de 2 pacotes codificados	63
Tabela 10 – Erro 40% com retransmissão de 2 pacotes codificados	63
Tabela 11 – Erro 10% com retransmissão de 1 pacote sem codificação	65
Tabela 12 – Erro 20% com retransmissão de 1 pacote sem codificação	65
Tabela 13 – Erro 30% com retransmissão de 1 pacote sem codificação	65
Tabela 14 – Erro 40% com retransmissão de 1 pacote sem codificação	65

Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

AP - *Access Point*

BMS - *Battery Management System*

CAN - *Controller Area Network*

ICS - *Information Conveying Section*

IEEE - *Institute of Electrical and Eletronic Engineers*

IOT - *Internt of Things*

IP - *Internet Protocol*

IRS - *Information Recording Section*

MAC - *Machine Access Control*

SOC - *State of Charge*

SOH - *State of Health*

RCS - *Radio Communication Section*

RF - *Radio Frequêcia*

RSSF - *Redes de Sensores sem Fio*

SSID - *Service Set Identifier*

TCP - *Transmission Control Protocol*

UDP - *User Datagram Protocol*

XOR - *Exclusive OR*

WPAN - *Wireless Personal Area Networks*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação e Justificativa	18
1.2	Descrição da empresa	18
1.3	Objetivos	19
1.3.1	Objetivo Geral	19
1.3.2	Objetivos Específicos	19
1.4	Método Utilizado	20
1.5	Estrutura do Documento	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Armazenamento de Energia	23
2.2	Sistema de Gerenciamento de Baterias	24
2.3	Redes de Sensores Sem Fio	26
2.3.1	Nó Sensor	27
2.3.2	Nó Relay	28
2.3.3	Aplicações	29
2.4	Topologia de Rede	29
2.5	Padrões de Comunicação	32
2.5.1	Padrões IEEE	32
2.5.2	Rádio Frequência	33
2.6	Codificação de Rede	33
3	PROPOSTA DO SISTEMA	35
3.1	Projeto da Rede	35
3.2	Modelagem do Sistema	36
3.3	Aquisição de Componentes	37
3.3.1	Módulo WiFi ESP8266 NodeMcu ESP-12	37
3.3.2	Módulos RF Transmissor e Receptor 433MHz AM	39
4	IMPLEMENTAÇÃO	41
4.1	Ponto de Acesso e Servidor Web	41
4.2	Aquisição e Transmissão dos Dados	43
4.2.1	Algoritmo Básico dos Nós Sensores	43
4.3	Codificação e Retransmissão	45
4.3.1	Algoritmo Básico do Nó Relay	46

5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
5.1	Experimentos	49
5.1.1	Retransmissão de 1 Pacote Codificado	50
5.1.2	Retransmissão de 2 Pacotes Codificados	50
5.1.3	Retransmissão de 1 pacote sem codificação	51
5.2	Análise dos Resultados	52
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	55
6.0.1	Perspectivas Futuras	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICES	59
	APÊNDICE A – ERRO NO ENVIO PELA WIFI COM RETRANSMISSÃO DE 1 PACOTE CODIFICADO	61
	APÊNDICE B – ERRO NO ENVIO PELA WIFI COM RETRANSMISSÃO DE 2 PACOTES CODIFICADOS	63
	APÊNDICE C – ERRO NO ENVIO PELA WIFI COM RETRANSMISSÃO DE 1 PACOTE SEM CODIFICAÇÃO	65

1 Introdução

Nos últimos anos houve um crescimento no uso de baterias. Com isso, é possível observar sua utilização nas mais variadas aplicações, como em veículos híbridos e elétricos, aparelhos eletrônicos e sistemas de armazenamento de energia. Elas podem ser classificadas em dois grupos principais: baterias não recarregáveis (primárias), que só podem ser utilizadas uma vez, e as recarregáveis (secundárias). Nessas, o sistema pode ser regenerado, através da passagem de uma corrente elétrica que reverte as reações químicas responsáveis pela geração de energia elétrica (AFONSO; BUSNARDO; BUSNARDO, 2004). Com os avanços tecnológicos e dos materiais utilizados é possível constatar melhoras consideráveis na performance e capacidade das baterias mais modernas.

Com a importância da geração distribuída de eletricidade crescendo, especialmente a da energia fotovoltaica, o armazenamento distribuído de energia deverá tornar-se cada vez mais presente. No Brasil os estados que mais aderiram à micro e à minigeração, superando 10 mil unidades consumidoras, foram Minas Gerais (com 16,7 mil unidades de geração e 212,3 MW de potência instalada), Rio Grande do Sul (com 12 mil unidades e 144,4 MW) e São Paulo (com 14,5 mil unidades e 117,4 MW). Ao todo, existem 82,9 mil usinas geradoras no país, com 114,3 mil unidades consumidoras que recebem os créditos pela energia gerada (ANEEL, 2019).

No armazenamento de energia, o excesso de energia é armazenado e usado quando o consumo excede a produção, efetivamente desacoplando geração e consumo (SILVA; HENDRICK, 2016). Nesse e em outros tipos de aplicações mais complexas que utilizam baterias de íons de lítio, como em veículos elétricos, as baterias contam com um BMS (Sistema de gerenciamento de baterias, ou do inglês *Battery Management System*), um sistema eletrônico capaz de monitorar e gerenciar o uso das baterias garantindo o bom funcionamento das mesmas. Esse circuito auxiliar garante a operação do sistema dentro de sua área segura de funcionamento, monitorando seu estado de carga (SOC), seu estado de saúde (SOH) e calculando dados secundários, como temperatura e tensão das células (LU et al., 2013).

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, as áreas de aplicação para redes de sensores sem fio vem crescendo e novas aplicações estão surgindo. Tais avanços possibilitam o uso de sensores e microprocessadores cada vez menores, mais baratos e que não necessitam de fios para se comunicarem. As RSSF podem ser aplicadas em locais de difícil acesso ou perigosos sendo utilizadas para o monitoramento de fenômenos físicos e ambientais, para monitoração e controle industrial, em áreas de desastres e que apresentam risco para vidas humanas entre outros. Características como autonomia, versatilidade, e principalmente

baixo custo mostram-se como condições favoráveis para sua utilização.

Nesse contexto, o objetivo deste projeto é desenvolver uma rede de sensores sem fio para avaliar sua possível aplicação em um sistema de armazenamento de energia.

1.1 Motivação e Justificativa

O mercado de energia está constantemente buscando novas tecnologias e aplicações capazes de promover um desenvolvimento mais sustentável. A Atlas power é uma empresa que possui foco no mercado de gerenciamento de energia, oferecendo serviços voltados a soluções em gerenciadores de baterias de íons de lítio. Como produto a empresa oferece um BMS (Sistema de gerenciamento de baterias) capaz de monitorar e gerenciar o uso de baterias. Com o objetivo de aumentar sua vida útil, evitando o desgaste acentuado ou a sua utilização indevida, o BMS controla as etapas de carregamento e descarregamento das baterias, de modo que não haja excesso de carga e evitando danos.

O BMS desenvolvimento utiliza, atualmente, o protocolo CAN para a comunicação entre o BMS e um Raspberry Pi, que é responsável por receber os dados da bateria. Tal protocolo de comunicação foi primeiramente utilizado por estar presente em veículos elétricos, sendo utilizado para a troca de dados entre seus módulos eletrônicos (DUAN; XIAO; ZHANG, 2007). Além disso, é amplamente utilizado em aplicações industriais e produtos envolvendo microcontroladores.

Após a execução de um sistema de armazenamento de energia de pequeno porte, no qual baterias de segunda vida eram utilizadas como fonte de energia para aparelhos elétricos, percebeu-se a possibilidade da implementação de um sistema de armazenamento descentralizado. Nesse sistema, vários módulos poderiam ser utilizados em um determinado ambiente e monitoradas de um Raspberry Pi base sem a necessidade de cabeamento. Para isso, uma rede de sensores sem fio poderia ser utilizada para a transmissão de dados juntamente com a aplicação de técnicas de codificação de redes para aumentar a confiabilidade do sistema.

1.2 Descrição da empresa

A Atlas Power Gerenciadores de Baterias LTDA, é uma empresa situada em Florianópolis que oferece soluções para o setor de energia, com o objetivo de fornecer gerenciadores de baterias de íons de lítio com tecnologia avançada para o armazenamento de energia.

A empresa surgiu no início de 2018 após aprovação no programa Sinapse da Inovação,

cujo objetivo é o incentivo ao empreendedorismo inovador oferecendo recursos financeiros, capacitações e suporte para transformar ideias inovadoras em empreendimentos de sucesso ([Fundação CERTI](#),).

Apesar de ser uma empresa relativamente nova, a Atlas Power já contribuiu significativamente para área de sistemas gerenciadores de energia no mercado. Em menos de 6 meses de operação, a empresa iniciou uma parceria com a Nissan e com o Laboratório Fotovoltaica UFSC, para a construção de um BMS para um sistema de armazenamento de pequeno porte. Esse BMS foi utilizado no Salão Internacional do Automóvel em 2018, apresentando uma aplicação para as baterias já utilizadas nos carros elétricos Nissan Leaf.

Além disso, a empresa também desenvolveu um BMS para a empresa Mobilis para ser utilizado no Li, o primeiro carro elétrico 100% desenvolvido no Brasil e movido por baterias de íons de lítio.

1.3 **Objetivos**

1.3.1 **Objetivo Geral**

O objetivo do trabalho é desenvolver uma rede de sensores sem fio com mensagens codificadas responsável pela transmissão de dados provenientes de um sistema de gerenciamento de baterias desenvolvido pela Atlas Power. Pela rede serão transmitidos os dados das baterias, que serão enviados a um servidor web responsável por exibir os principais parâmetros das baterias. Com isso, o trabalho busca avaliar a possibilidade da implementação de um sistema de armazenamento descentralizado que pode ser monitorado de um computador base sem a necessidade de cabeamento. Além disso, também avalia se sua utilização traria maiores benefícios ao sistema de armazenamento.

1.3.2 **Objetivos Específicos**

Para o desenvolvimento e conclusão do projeto será necessário realizar as seguintes atividades:

- Revisar a literatura sobre redes de sensores sem fio.
- Revisar a literatura sobre os métodos utilizados para codificação de redes.
- Identificar as tecnologias de RSSF e codificação de redes que melhor se enquadram na finalidade do projeto.

- Obter um modelo de rede do sistema para alcançar os objetivos propostos, definindo componentes a serem utilizados.
- Desenvolver a estrutura da RSSF.
- Aplicar técnicas de codificação de redes.
- Avaliar a viabilidade de implementação do projeto com o BMS já desenvolvido.

1.4 Método Utilizado

O presente trabalho foi desenvolvido seguindo 4 etapas. Na primeira etapa foi desenvolvido o sistema de aquisição dos dados das baterias provenientes do BMS projetado pela empresa. Além disso, houve o desenvolvimento de um servidor web capaz de mostrar as informações obtidas.

Na segunda etapa, foi realizado o desenvolvimento da rede de sensores sem fio, buscando implementar a comunicação entre os nodos da rede. Na terceira etapa utilizou-se a técnica de codificação XOR na rede para implementar a retransmissão das mensagens.

Por fim foram realizados pequenos testes para avaliar o funcionamento da rede. Além disso, analisou-se a viabilidade da implementação do sistema descentralizado de armazenamento de energia e foram tiradas conclusões sobre o trabalho.

1.5 Estrutura do Documento

Os capítulos seguintes deste trabalho são organizados da seguinte forma:

- **Fundamentação Teórica:** Este capítulo apresenta conceitos teóricos de redes de sensores sem fio, codificação de rede, padrões de comunicação, armazenamento de energia e sistemas de gerenciamento de baterias.
- **Proposta do Sistema:** Descreve as etapas estabelecidas para o projeto da rede, além dos componentes utilizados.
- **Implementação:** Apresenta os passos necessários para o desenvolvimento do sistema concebido.
- **Resultados:** Apresenta os resultados obtidos ao utilizar-se a RSSF codificada e avalia-se a viabilidade de implementação do projeto no BMS já desenvolvido pela empresa.

- Conclusões: Expõe as conclusões deste projeto, além de definir sugestões para trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

O presente capítulo tem como objetivo introduzir os principais conceitos estudados para a contextualização do projeto. Serão explicados conceitos sobre armazenamento de energia, sistemas de gerenciamento de baterias, redes de sensores sem fio, e codificação de redes.

2.1 Armazenamento de Energia

O armazenamento de energia oferece uma abordagem para melhorar a confiabilidade e a utilização da rede. Enquanto os sistemas de transmissão e distribuição são responsáveis por levar a eletricidade até os usuários finais, os sistemas de armazenamento de energia elétrica fornecem eletricidade quando necessário. Um estudo recente identificou uma série de aplicações de alto valor para o armazenamento de energia, desde a integração de fontes de energia renováveis até a qualidade e confiabilidade da energia (DUNN; KAMATH; TARASCON, 2011).

O desenvolvimento e a utilização de energias renováveis vem experimentando um rápido crescimento nos últimos anos. A produção elétrica descentralizada, a partir de fontes de energia renováveis, gera um fornecimento mais seguro para os consumidores e com menos riscos ambientais. No entanto, a eletricidade gerada a partir dessas fontes raramente fornece uma resposta imediata à demanda, uma vez que essas fontes não fornecem um suprimento regular facilmente ajustável às necessidades de consumo (IBRAHIM; ILINCA; PERRON, 2008). Com o crescimento da produção descentralizada, surgem novos problemas de estabilidade na rede o que faz com que sistemas de armazenamento de energia sejam um elemento crucial no gerenciamento de energia de fontes renováveis.

É possível utilizar uma série de tecnologias no armazenamento para permitir que a energia gerada possa ser utilizada em outros momentos. Isso traz inúmeras vantagens, principalmente de custo e confiabilidade do sistema. As baterias apresentam-se como uma excelente forma de armazenamento de energia pois possuem uma série de características desejáveis, incluindo alta eficiência, vida útil longa e baixa manutenção. Segundo Dunn, Kamath e Tarascon (2011), embora o alto custo limite a expansão no mercado, a modularidade e escalabilidade de diferentes sistemas de baterias prometem uma queda nos custos nos próximos anos.

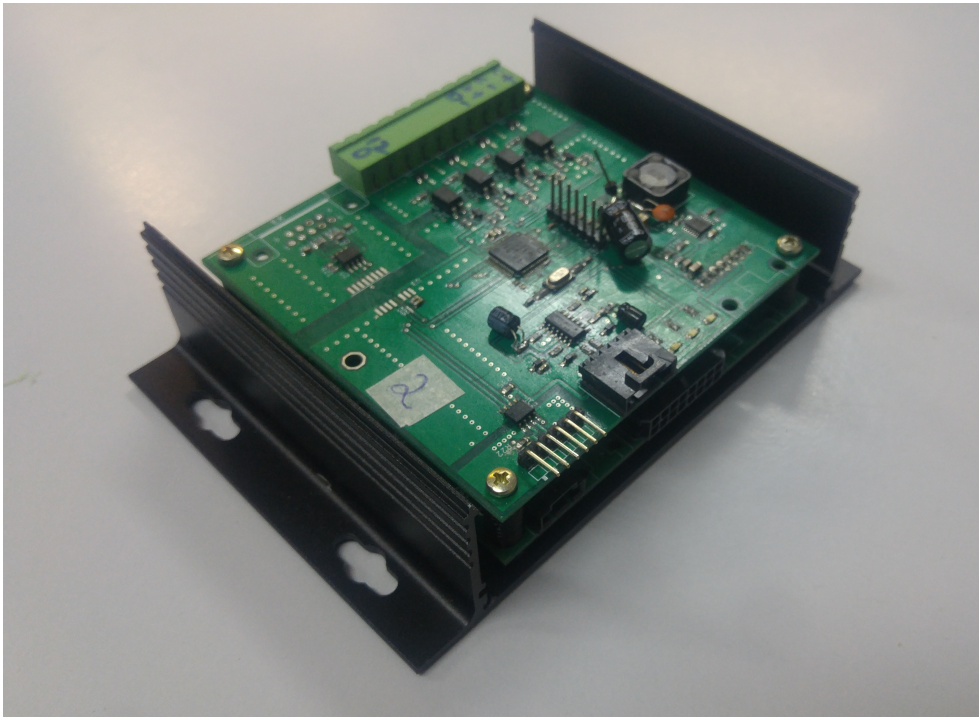
O armazenamento de energia é uma das principais peças para a transição do uso de energias não renováveis para energias limpas, permitindo a substituição de fontes caras

e poluentes por fontes limpas e economicamente competitivas, tornando o setor mais sustentável e resiliente.

2.2 Sistema de Gerenciamento de Baterias

Um BMS é um sistema eletrônico capaz de monitorar e gerenciar o uso de baterias, podendo ser uma única célula ou um agrupamento de baterias, protegendo-as de operar fora de sua área segura, monitorando seu estado de carga (SOC), seu estado de saúde (SOH), calculando dados secundários, controlando e equilibrando seu ambiente de operação (LU et al., 2013).

Figura 1 – BMS desenvolvido pela empresa Atlas Power



Fonte: Arquivo Atlas Power

O BMS possui como principal objetivo aumentar a vida útil da bateria, evitando o desgaste acentuado ou a sua utilização indevida. De uma forma geral, permite que o número de recargas normalmente anunciadas para diferentes tipos de baterias (lítio, chumbo ácido) seja atingido, com impactos relativamente reduzidos no desempenho e eficiência das baterias.

O BMS gerencia a etapa de carregamento das baterias, de modo que não haja excesso de carga, e a etapa de descarregamento, evitando danos. A tensão da bateria, a

corrente e a temperatura máximas devem ser monitoradas com o intuito de garantir que as baterias funcionem dentro de uma região segura de operação ou *Safety Operating Area* (SOA), para a qual é minimizada a degradação da célula da bateria. A tecnologia utilizada, o modo como é operada e o ambiente onde se encontra, condicionam o funcionamento das células e definem os parâmetros dessa região segura, descritos a seguir (CARVALHO, 2015):

- Máxima tensão por célula: Para cada tipo de química existe uma tensão de operação que não deve ser excedida. Uma célula que não cumpra este requisito não garante o desempenho esperado nas condições normais de funcionamento comprometendo o seu tempo de vida útil.
- Máxima corrente de descarga: define a corrente máxima de descarga suportada por uma célula sem interrupção do funcionamento, respeitando o limite superior de temperatura devido ao calor dissipado por efeito de Joule.
- Resistência interna: determina a eficiência em cada ciclo de carga e de descarga devido às perdas de energia por efeito de Joule. Limita a capacidade efetiva traduzindo-se na diminuição da tensão aos terminais da célula durante a descarga e no aumento da tensão necessária para a recarga, e num aumento da temperatura interna que precisa ser controlada.
- Temperatura de funcionamento: Independentemente da química da bateria o desempenho decai significativamente para baixas temperaturas, podendo provocar uma redução permanente da capacidade, pelo que é fundamental estabelecer um limite mínimo para a temperatura de operação. No que se refere ao limite máximo, se esse for ultrapassado, os materiais podem deteriorar-se, provocar uma fuga térmica e destruir a bateria. Entre estes limites de temperatura o desempenho das células melhora geralmente com o aumento da temperatura, em consequência da diminuição da resistência interna.

Exceder os limites dessa região de operação, levará a rápida atenuação do desempenho da bateria e até mesmo resultar em problemas de segurança, como a explosão das baterias ou a perda de sua capacidade. Se um dos limites é ultrapassado, o circuito desabilita a bateria, prevenindo a ocorrência desses riscos (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

Os principais parâmetros obtidos pelo sistema são:

- *State of charge* (SOC): estado de carga, indicador do nível de carga da bateria;
- *State of health* (SOH): estado de saúde, indicador da capacidade restante da bateria em relação a sua capacidade original;

- Tensão total e individual das células;
- Temperatura individual das células;
- Corrente total de cada pack em paralelo de baterias;

Por meio de algoritmos eficientes e de alta exatidão, o estado de carga (SOC) e o estado de saúde (SOH) da célula são estimados e utilizados para o balanceamento das baterias do sistema. Através da corrente são monitoradas as operações de carga e descarga das células para evitar o excesso de carregamento do bloco de baterias e que as baterias sejam descarregadas para além dos limites permitidos, assegurando assim, maior vida útil as mesmas.

2.3 Redes de Sensores Sem Fio

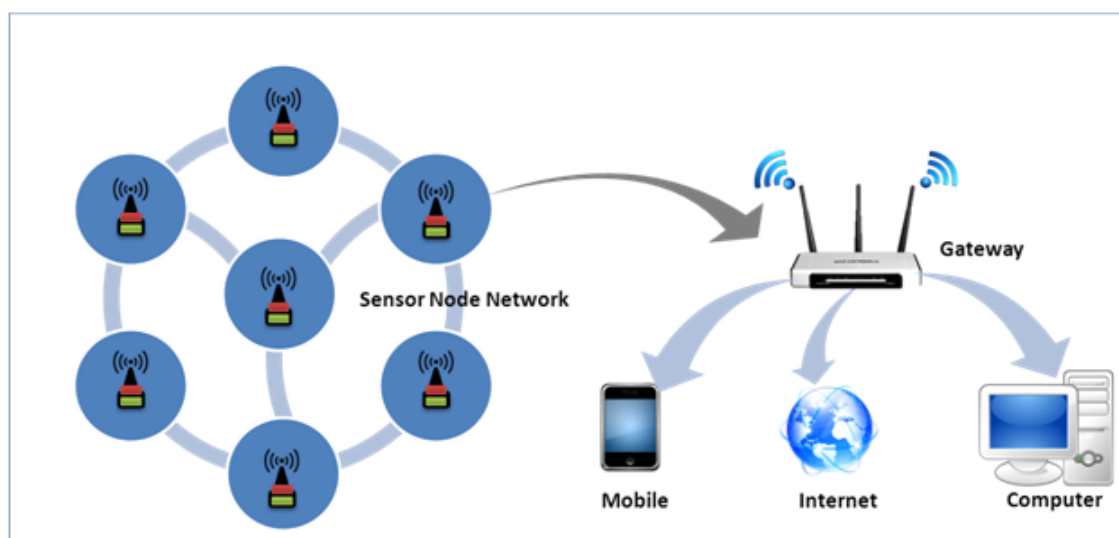
Redes de sensores sem fio são utilizadas para monitorar condições físicas ou ambientais. Em geral, são formadas por um grande número de dispositivos autônomos chamados nós sensores capazes de monitorar e, eventualmente, controlar um ambiente, normalmente, sem intervenção humana direta (RUIZ et al., 2004). É apropriada para situações onde não se pode ou não se deseja uma instalação com fios. Essas redes são mais suscetíveis a interferências causadas pelo meio externo, uma vez que o meio pelo qual a informação trafega não possui nenhuma proteção física.

O principal objetivo dessas redes é realizar tarefas de sensoriamento de forma distribuída; portanto, funcionam como poderosos sistemas de aquisição de dados. Os dados são coletados através dos sensores que estão acoplados aos nós, esses por sua vez são distribuídos e entregues aos pontos de saídas da rede, chamados de estação base (FLORIDO, 2008).

As RSSF diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente essas possuem um grande número de nodos distribuídos, têm restrições de energia, e devem possuir mecanismos para auto-configuração e adaptação devido a problemas como falhas de comunicação e perda de nós (LOUREIRO et al., 2003). Esses nós podem ser colocados dentro do fenômeno a ser analisado ou próximo a ele, diferentemente das redes de sensores tradicionais.

As RSSF apresentam vantagens sobre as redes com fio, pois eliminam altos custos com cabeamento e podem ser implantadas em locais de difícil acesso, dependendo da aplicação. Uma típica RSSF pode ser observada na Figura 2.

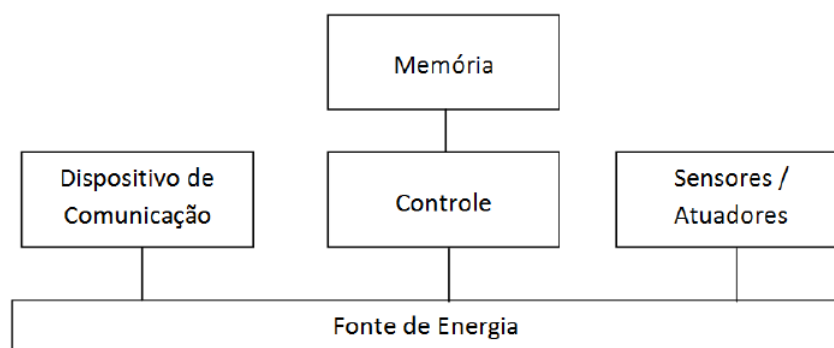
Figura 2 – Rede de Sensores Sem Fio

Fonte: ¹

2.3.1 Nó Sensor

Segundo Karl e Willig (2007), os dispositivos que formam uma RSSF são chamados de nós sensores e são constituídos por cinco componentes principais: Controle, Memória, Sensores e Atuadores, Comunicação e Fonte de Energia. Tais componentes podem ser observados na Figura 3 e são descritos na Tabela 1.

Figura 3 – Componentes do Nó Sensor



Fonte: (MOTA, 2017)

¹ <http://irmadwmulyanti.it.student.pens.ac.id/index5.html>

Tabela 1 – Descrição dos Componentes do Nó Sensor

Componente	Descrição
Controle	Controle para processar todos os dados relevantes, capaz de executar código arbitrário.
Memória	Armazenamento de programas e dados imediatos. São utilizados diferentes tipos de memórias para programas e dados.
Sensores e Atuadores	Interface real para o mundo físico, dispositivos que podem observar ou controlar parâmetros físicos do ambiente.
Comunicação	Transformar os nós em uma rede requer dispositivos capazes de enviar e receber informações nos canais sem fio.
Fonte de Energia	Como geralmente nenhuma fonte de alimentação com fio está disponível, alguma forma de bateria é necessária para fornecer energia.

Fonte: (MOTA, 2017)

Os nodos das RSSFs devem ser de pequenas dimensões e de baixo custo levando a fortes restrições em vários aspectos, dentre as quais: baixo poder computacional, baixa capacidade de armazenamento de dados e baixa disponibilidade de energia (VALLE et al., 2014). Os dados são coletados através dos sensores que estão acoplados aos nós, que por sua vez são distribuídos e entregues aos pontos de saída da rede, chamados de estação base (MOTA, 2017).

2.3.2 Nó Relay

Para garantir e incorporar a tolerância a falhas nas redes de sensores sem fio, são utilizados nós retransmissores, chamados de relay. Esses nós aumentam a confiabilidade da rede e as chances dos pacotes de dados de chegarem ao receptor final.

Dependendo da aplicação, a posição dos nós e a topologia de comunicação são cuidadosamente projetados. Além disso, a exigência das aplicações influencia o número de nós retransmissores implantados na rede, chegando até mesmo a centenas.

Segundo Vallimayil et al. (2011), o nó relay funciona como um nó de retransmissão e executa três seções de operações. Eles incluem uma seção de comunicação via rádio (*Radio Communication Section*, ou RCS) para transmitir/receber informações, uma seção de registro de informações (*Information Recording Section*, IRS) para armazenar as informações recebidas do nó sensor e uma seção de transporte de informações (*Information Conveying Section*, ICS) para determinar o destino da informação.

2.3.3 Aplicações

O potencial de observação e controle do mundo real permite que as RSSFs apresentem-se como uma solução para diversas aplicações: monitoramento ambiental, gerenciamento de infra-estrutura, biotecnologia, controle industrial, segurança pública e de ambientes em geral, áreas de desastres e risco para vidas humanas, transporte, medicina e controle militar (RUIZ et al., 2004).

Existem aplicações para redes cabeadas e para redes sem fio, sendo possível encontrar aplicações onde haja a utilização de ambas. Estima-se que com o passar do tempo, ocorra a migração de boa parte dos sistemas cabeados para sistemas sem fio, a medida que novas tecnologias apareçam e sua confiabilidade aumente. A seguir, são relacionados alguns setores onde já existem exemplos práticos de aplicações de RSSF (LOUREIRO et al., 2003).

- **Produção industrial:** Monitoramento em indústrias petroquímicas, fábricas, refinarias e siderúrgicas de parâmetros como fluxo, pressão, temperatura, e nível, identificando problemas como vazamento e aquecimento.
- **Distribuição de energia, gás e água:** Monitoramento de linhas de distribuição de energia e sistemas de distribuição de gás e água, de parâmetros como fluxo, pressão, temperatura, e nível.
- **Áreas industriais:** Monitoramento de dados em áreas de difícil acesso ou perigosas.
- **Extração de petróleo e gás:** Principalmente em plataformas em alto mar, onde o monitoramento da extração de petróleo e gás é crítico.
- **Aviação:** Na indústria de aviação, cada vez mais é utilizada a tecnologia *fly-by-wire*, onde transdutores (sensores e atuadores) são largamente utilizados. Sensores sem fio estão começando a ser utilizados para solucionar o problema com a quantidade de cabos necessários para essa interconexão.

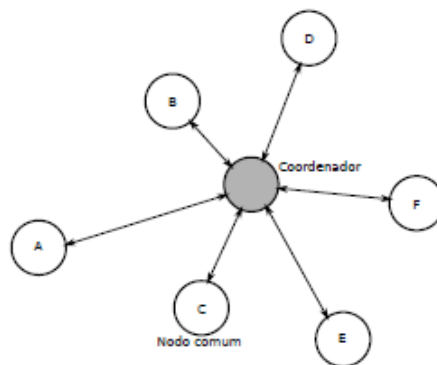
2.4 Topologia de Rede

As topologias descrevem o arranjo dos elementos de uma rede, podendo ser descrita física ou logicamente. A topologia física se refere à disposição física dos componentes da rede, enquanto a topologia lógica se refere a forma como os dados trafegam na rede, independente da topologia física empregada. As principais topologias que podem ser observadas nas redes de sensores sem fio tradicionais são: ponto a ponto, estrela, malha e agrupamento em árvore.

Na topologia ponto-a-ponto, ou *peer-to-peer*, cada um dos pontos ou nós da rede funciona tanto como cliente quanto como servidor, permitindo compartilhamentos de serviços e dados sem a necessidade de um servidor central.

Na Figura 4, é possível observar a topologia estrela, na qual existe um nodo central que assume o papel de coordenador da rede. Toda a informação que trafega pela rede deve obrigatoriamente passar pelo coordenador, para que este reencaminhe a mensagem ao nodo destino.

Figura 4 – Topologia Estrela

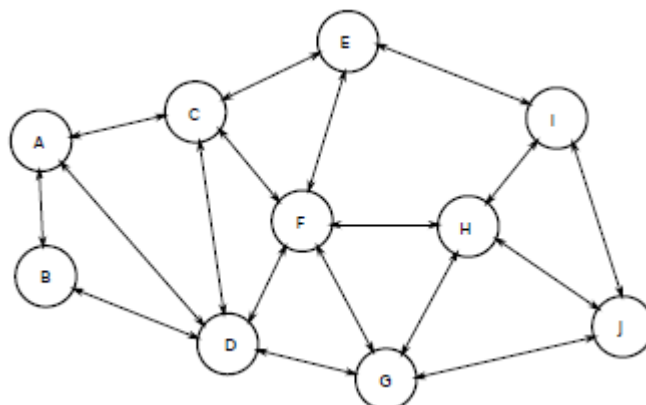


Fonte: (VALLE et al., 2014)

A topologia em malha (Figura 5), não existe o papel do coordenador. A rede é composta de vários nós/roteadores que têm a função de repetidores, correspondendo a várias conexões ponto a ponto. Cada nó está conectado a um ou mais dos outros nós que passam a se comportar como uma única e grande rede, possibilitando a conexão a qualquer um destes nós. Desta maneira é possível transmitir mensagens por diferentes caminhos determinados por protocolos de roteamento.

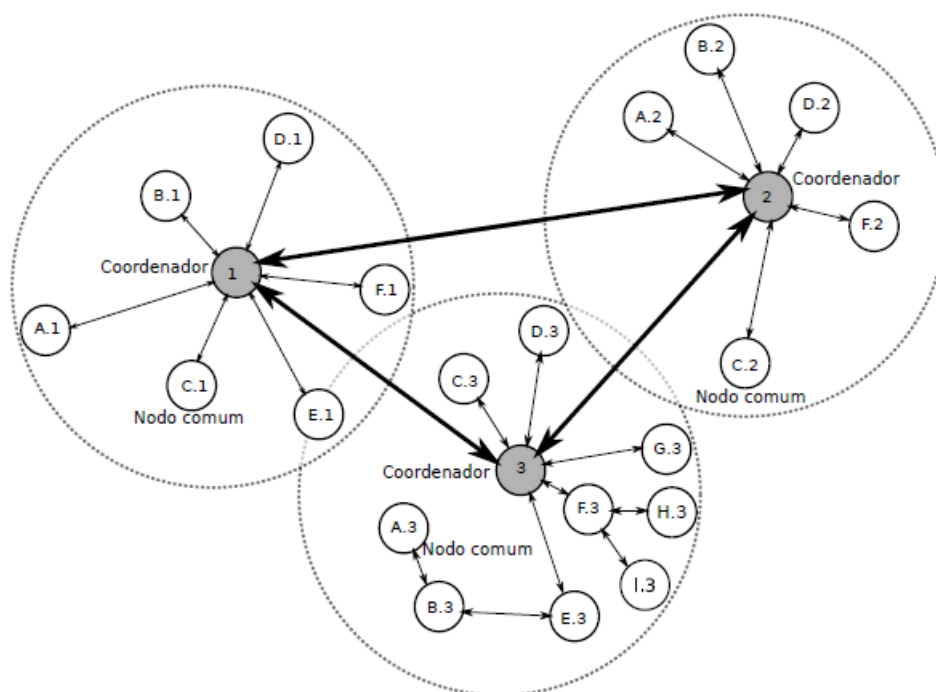
Já na topologia com agrupamentos em árvore (cluster-tree), representada na Figura 6, há a junção de várias redes estrela e/ou malha num outro agrupamento (*cluster*) entre seus coordenadores. Neste tipo de rede, a exemplo da topologia em estrela, existem dois tipos de nodo: comum e coordenador. Os nodos coordenadores podem trocar mensagens entre coordenadores do mesmo nível hierárquico, com o coordenador do nível superior e com os nodos comuns pertencentes a seu agrupamento. Tal topologia também é conhecida como híbrida (VALLE et al., 2014).

Figura 5 – Topologia em malha



Fonte: (VALLE et al., 2014)

Figura 6 – Topologia com agrupamentos em árvore



Fonte: (VALLE et al., 2014)

2.5 Padrões de Comunicação

Padrões de comunicação são um conjunto de regras para trocar informações através de uma rede que determinam o tratamento físico dado aos dados e o acesso ao meio. A maioria das redes sem fio existentes são projetadas com base em ZigBee, Radio Frequência (RF) e Wi-Fi ([THAKER, 2016](#)).

2.5.1 Padrões IEEE

Foram analisados dois padrões estabelecidos pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE): o IEEE 802.11 e o IEEE 802.15.4. Ambos padrões determinam o tratamento físico dos dados e o acesso ao meio e estão altamente difundidos nas aplicações que utilizam redes sem fio.

Segundo ([PARK; LEE; LEE, 2009](#)), o padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi) vem destacando-se como uma tecnologia de transmissão *wireless* em potencial para sistemas de fabricação devido a sua alta taxa de transmissão de dados e longo alcance de comunicação. Além disso, protocolos de redes sem fio pessoais (WPAN), como o padrão IEEE 802.15.4 (base para as especificações ZigBee), surgiram como alternativa de baixo consumo de energia para a conexão sem fio de dispositivos sensores. Uma breve comparação entre estes padrões é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre Wi-Fi e ZigBee

	Wi-Fi	ZigBee
Alcance	50 - 100 metros	10 - 100 metros
Taxa de Transferência	11 & 54 Mbps	20, 40 & 250 Kbps
Frequência de Transmissão	2,4 e 5 GHz	2,4 GHz
Complexidade	Alta	Baixa
Consumo de Energia	Alta	Muito baixo

Fonte: ([THAKER, 2016](#))

A IEEE 802.11 suporta dois tipos diferentes de estrutura: o tipo independente (ou ad-hoc) e o tipo infra-estruturado. O ad-hoc consiste de estações conectadas no modo *peer-to-peer* comunicando-se diretamente umas com as outras. No tipo infraestruturado as estações comunicam-se através de um ponto de acesso comum, o *Access Point* (AP) ([DEMARCH et al., 2007](#)).

2.5.2 Rádio Frequência

Rádio é um meio ou recurso tecnológico de telecomunicações utilizado para propiciar comunicação por intermédio da transmissão e recepção de dados e informações previamente codificadas em sinal eletromagnético que se propaga através do espaço físico material e imaterial.

As ondas de rádio são fáceis de gerar, podem percorrer longas distâncias; portanto, são amplamente utilizadas para comunicação, seja em ambientes fechados ou abertos. As ondas de rádio também são omnidirecionais, o que significa que elas viajam em todas as direções a partir da fonte; desse modo, o transmissor e o receptor não precisam estar cuidadosa e fisicamente alinhados (TANENBAUM, 2003).

Os elementos básicos que permitem a comunicação entre dois pontos são o transmissor e o receptor:

- Receptor: responsável pela decodificação dos sinais eletromagnéticos recebidos do espaço, captados pela antena, transformando-os em ondas sonoras, sinais digitais ou analógicos.
- Transmissor: responsável por converter os sinais sonoros, analógicos ou digitais em ondas eletromagnéticas, enviando-os para o espaço através de uma antena transmissora.

2.6 Codificação de Rede

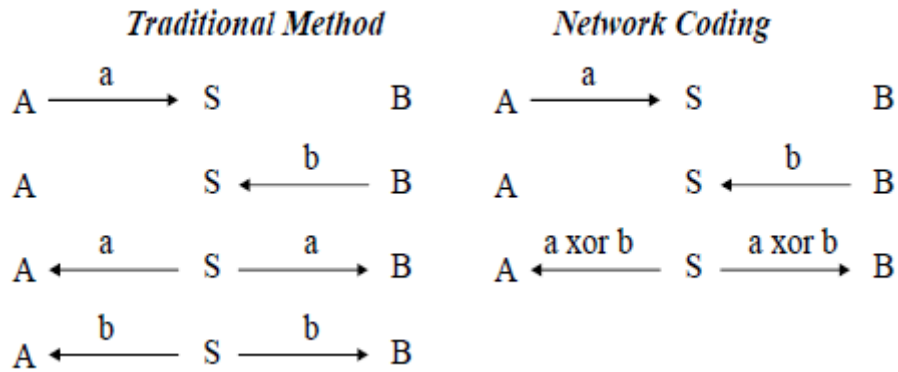
A codificação de rede é uma nova área de pesquisa que pode ter aplicações industriais em sistemas de rede práticos. Baseia-se em algoritmos nos quais o objetivo é melhorar a vazão e o desempenho da rede, para que sistemas de comunicação, tais como telefonia, Internet e redes móveis, aproveitem melhor a capacidade do canal de comunicação entre o transmissor e o receptor (SILVA et al., 2017).

A codificação propõe que em muitas situações é possível aumentar a taxa de transmissão fim-a-fim sem aumentar a taxa de transmissão ponto-a-ponto da rede. O princípio básico é realizar combinações entre pacotes de tal modo que o destino consiga decodificá-los. Com a transmissão de um pacote combinado, a rede apresentará menos pacotes trafegando no mesmo período de tempo, porém com a mesma quantidade de informação (VALLE et al., 2014). Com isso, é possível obter benefícios como o aumento da taxa de transmissão de dados e um alto grau de robustez.

A Figura 7 apresenta um exemplo de codificação simples em um contexto de rede sem fio com três nós. A codificação de rede simples é eficiente, em termos de sobrecarga, e

é aceitável para *multicast*, *broadcast* ou comunicação bidirecional.

Figura 7 – Exemplo de Codificação de Rede



Fonte: (FRAGOULI; BOUDEC; WIDMER, 2006)

Os nós A e B desejam trocar informações através do nó S intermediário. Os nós A e B enviam suas mensagens para o nó S, que possuindo as duas mensagens, manipula os dados por meio da operação XOR (*exclusive or*) para combinar os pacotes recebidos. O XOR executa a operação lógica em cada par de bits correspondentes dos pacotes, atribuindo um número “1”, se os dois bits forem diferentes, e “0” se forem iguais. Por fim, o nó S transmite a XOR b em vez dos pacotes a e b em sequência. Para a decodificação, o nó de destino realiza outra operação XOR dos dados recebidos com o pacote mantido na memória, da maneira a obter o pacote completo. Assim, tanto A como B podem recuperar o pacote de interesse, enquanto o número de as transmissões são reduzidas.

Outra técnica de codificação é a codificação de rede linear, semelhante a apresentada no exemplo, com a diferença de que a operação XOR substituída pela combinação linear dos pacotes de dados. A codificação linear estende a codificação de rede simples, incorporando informações adicionais e incluindo-as na carga útil do pacote dados (WINGER, 2015). Tal técnica permite um grau maior de flexibilidade na forma como os pacotes podem ser combinados.

Além dos benefícios de taxa de transferência, a codificação de rede também é muito adequada para ambientes em que somente informações parciais ou incertas estão disponíveis para a tomada de decisões. A recepção bem sucedida dos pacotes de dados não depende do conteúdo dos pacotes recebidos, mas sim em receber um número suficiente de pacotes independentes para a decodificação (FRAGOULI; BOUDEC; WIDMER, 2006).

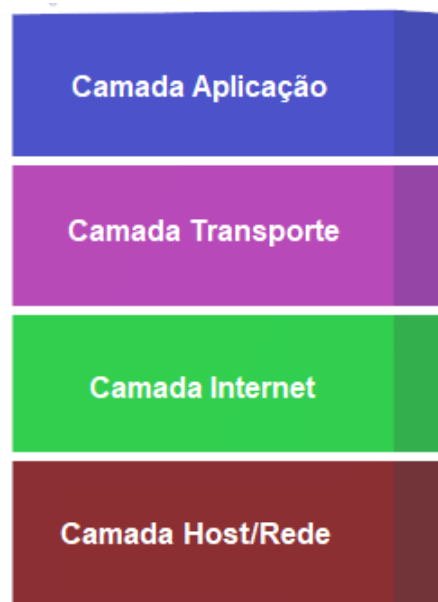
3 Proposta do Sistema

Neste capítulo serão apresentados o projeto da rede, a modelagem do sistema, e a definição dos componentes utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Projeto da Rede

Fundamentada na Arquitetura TCP/IP, uma comunicação de dados é executada através das relações entre quatro camadas lógicas (Figura 8): Camada de Aplicação, Camada de Transporte, Camada Internet e a Camada Host/Rede (MOTA, 2017).

Figura 8 – Camadas da Arquitetura TCP/IP



Fonte: Própria

A camada host/rede trata das tecnologias usadas para as conexões e é gerida pelo padrão de comunicação aplicado. No sistema proposto, os nós sensores serão desenvolvidos a partir de uma plataforma gerida pelo módulo ESP8266, baseado no padrão 802.11.

A camada internet permite que os *hosts* injetem pacotes em qualquer rede e garantem que eles trafegarão independentemente até o destino (TANENBAUM, 2003). É gerida através do *Internet Protocol* (IP), que determina o destino final da mensagem, sendo assim possível executar o roteamento da mensagem.

A camada de transporte é responsável pela comunicação inter-processos em execução nos sistemas finais, ou seja, pacotes recebidos pela camada internet são repassados para a camada de transporte, que realizará a entrega (confiável ou não) para a aplicação correspondente (MOTA, 2017). Dois protocolos podem ser utilizados para o transporte das mensagens: o *Transmission Control Protocol* (TCP) ou o *User Datagram Protocol* (UDP).

O TCP oferece um serviço de transporte confiável que implementa mecanismo de conexão virtual entre os processos comunicantes: estabelecimento de conexão, transferência de dados e encerramento de conexão. Fornece garantia na entrega de todos os pacotes e caso o receptor não receba um pacote corretamente, a informação é enviada novamente até que chegue ao destino. Já o UDP é um protocolo mais simples e que por si só não fornece garantia na entrega dos pacotes. Esse protocolo acelera o processo de envio de dados, uma vez que não realiza todas as etapas de comunicação necessárias para verificar a chegada do pacote ao receptor. No projeto da rede optou-se por utilizar o protocolo UDP, uma vez que seria utilizada a retransmissão codificada dos pacotes e pelo protocolo UDP ser mais ágil na aquisição e na transmissão de dados. Além disso, o UDP também fornece os serviços de broadcast e multicast, permitindo que um único cliente envie pacotes para vários outros na rede.

A camada de aplicação é a camada mais próxima do usuário, colocando os dados no formato usado pelo programa (MOTA, 2017). Foi utilizado o *HyperText Transfer Protocol* (HTTP) que estabelece uma comunicação cliente-servidor, proporcionando a transferência de dados entre aplicações remotas.

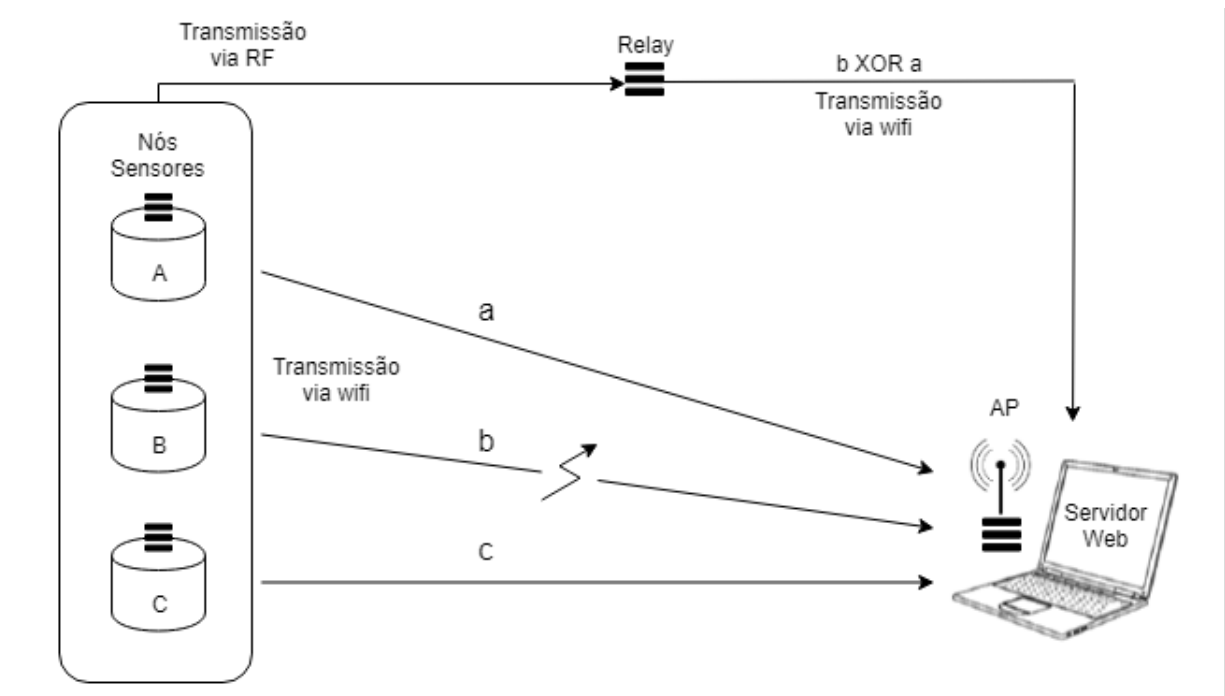
Para aumentar a confiabilidade do sistema, o nó relay será utilizado para a retransmissão dos pacotes de dados codificados ao servidor. Com isso, espera-se aumentar as chances dos pacotes de dados de chegarem ao receptor final.

3.2 Modelagem do Sistema

O sistema proposto foi desenvolvido com base em cinco atividades principais: Recebimento dos dados via serial, Transmissão e codificação dos dados, Recepção e decodificação, Tratamento e Apresentação. A Figura 9 ilustra o modelo proposto:

O sistema funciona da seguinte maneira: Os nós sensores são acoplados aos packs de baterias e as informações são obtidas através do BMS. Os dados são então transmitidos ao ESP conectado ao computador base através da rede WiFi, e ao nó relay pelo segundo canal de comunicação, que utiliza radio frequência. O nó relay realiza a combinação dos pacotes de dados através da codificação XOR e os transmite para o módulo ESP conectado ao ponto final da rede. Por fim, os dados são processados, decodificados e apresentados no servidor web implementado.

Figura 9 – Modelo Proposto do Sistema



Fonte: Própria

3.3 Aquisição de Componentes

3.3.1 Módulo WiFi ESP8266 NodeMcu ESP-12

Figura 10 – Módulo ESP8266



Fonte: ¹

¹ <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-esp-12/>

O módulo WiFi ESP8266 NodeMCU (Figura 10) é uma placa de desenvolvimento de baixo custo que combina o microchip ESP8266, uma interface usb-serial e um regulador de tensão 3.3V. É fabricado pela empresa Espressif Systems em Shangai na China e têm sido cada vez mais utilizado em projetos de automação e robótica para conectar diferentes dispositivos, sendo altamente utilizado em projetos de IOT (*Internet of Things*).

Possui uma antena embutida, além de 11 pinos de I/O e conversor analógico-digital. A comunicação é realizada através de uma antena WiFi que opera com base no padrão IEEE 802.11. A transmissão é suportada pela pilha de protocolos da arquitetura TCP/IP já integrados e com suporte para a versão de IP com quatro zonas para definição do endereço físico (IPv4). A conexão opera a uma frequência de 2,4GHz, com suporte aos padrões de segurança Wi-Fi Protected Access (WPA) e Wi-Fi Protected Access II (WPA2) (MOTA, 2017).

O ESP8266 pode se comunicar com outros dispositivos em uma rede de sensores sem fio de duas maneiras diferentes: como um *access point* ou como uma *station*. No modo *station*, o módulo ESP conecta-se a um ponto de acesso de uma rede sem fio já existente através de variáveis de autenticação. É possível conectar-se a uma rede WiFi e também comunicar-se com outros dispositivos conectados na mesma rede. *Access Points* (ou pontos de acesso) funcionam como um ponto central para que uma ou mais *stations* possam se conectar. Pode ser conectado a uma rede com fio e integrado a um roteador para providenciar acesso à internet para as estações conectadas. O módulo ESP pode operar como um *soft access point* (*Soft AP*) e suportar até 8 dispositivos clientes ou estações conectadas a ele. Para isso, é necessário criar uma nova rede wifi utilizando as variáveis de autenticação escolhidas e configurar o modo como a rede será utilizada. Além disso, o módulo ESP também pode operar em ambos os modos, como *AP station*, ao mesmo tempo.

3.3.2 Módulos RF Transmissor e Receptor 433MHz AM

Figura 11 – Módulos RF Transmissor e Receptor



Fonte: ²

Para o canal secundário utilizado pelo relay, foram utilizados módulos para comunicação via rádio frequência de 433MHz (Figura 11). Esses módulos podem ser encontrados em sistemas de alarmes, controle remoto, aquisição de dados e robótica em geral. Possuem um alcance variado de 20 a 200 metros, conforme a tensão aplicada que pode variar de 3,5 a 12 V. Além disso, fazem modulação AM e possuem uma frequência de transmissão de 433MHz.

² <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz-am/>

4 Implementação

Este capítulo tem como objetivo apresentar as etapas de implementação do sistema com base nas atividades realizadas pelos componentes da rede de sensores sem fio. Com a finalidade de facilitar a implementação da rede como um todo, a programação do projeto foi feita através da IDE do arduino utilizando as linguagens C e HTML, visto que o módulo ESP8266 pode ser similarmente implementado como um arduino. Para a implementação do servidor web, também foi utilizado o Bootstrap, um *framework* web com código-fonte aberto para desenvolvimento de componentes de interface e *front-end* para sites e aplicações web usando HTML, CSS e JavaScript.

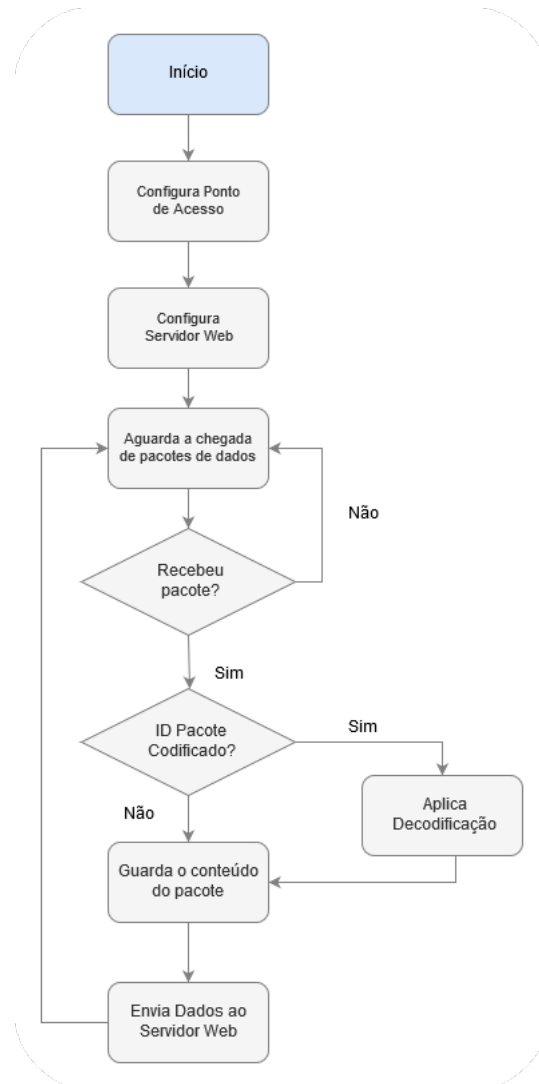
4.1 Ponto de Acesso e Servidor Web

O início da implementação se deu pela configuração do ponto de acesso à rede e do servidor. A Figura 12 apresenta o fluxograma do algoritmo implementado para o ponto final da rede, composto por um módulo ESP8266 conectado a um computador base.

Utilizando a biblioteca "ESP8266WiFi", o módulo é configurado como ponto de acesso para estabelecer a rede específica para a aplicação. Em seguida, cria-se através da função "WiFi.softAP()" a rede utilizando o SSID e senha especificadas, na qual os nós sensores e o relay da RSSF irão se conectar. Além disso, o número máximo de dispositivos que podem ser conectados a rede também é configurado. Após a configuração do ponto de acesso, uma instância nomeada da classe "WiFiUDP" é inicializada para receber os pacotes de dados na porta especificada. A mesma porta será utilizada pelos nós sensores para o envio dos dados a rede WiFi.

Para receber os pacotes de dados, implementou-se uma rotina para o servidor utilizando-se as funções "UDP.parsePacket()", que verifica a presença de um pacote UDP na rede, e da "UDP.read()", que lê pacotes de dados UDP do buffer especificado. Caso o pacote recebido seja identificado como um conjunto de pacotes codificados, aplica-se a função de decodificação para a obtenção dos pacotes de dados originais. Caso contrário, o conteúdo dos pacotes de dados é guardado para que possam ser enviados ao servidor web.

Figura 12 – Fluxograma nó configurado como access point



Fonte: Própria

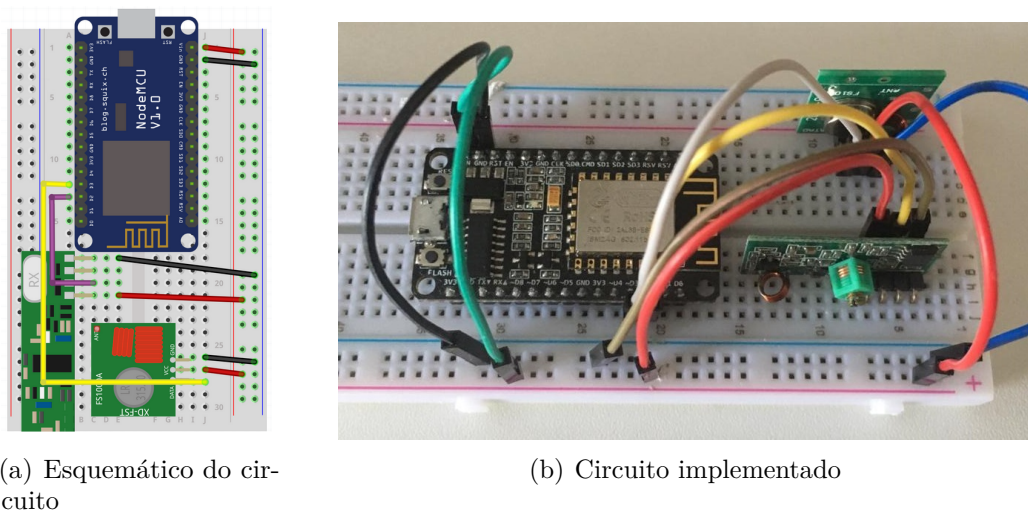
A função implementada para a decodificação dos pacotes funciona de maneira similar a implementada no relay para a codificação dos pacotes. Caso o AP possua o pacote que funciona como chave para a decodificação, aplica-se a operação XOR bit a bit entre o conteúdo do pacote codificado e o do pacote chave. Dessa forma, é possível recuperar o conteúdo original dos pacotes codificados. Por fim, os pacotes de dados obtidos, são enviados ao servidor web implementado que atualiza os dados da bateria apresentados ao usuário.

Para a implementação do servidor web, utilizou-se a biblioteca "ESPWebServer" que apresenta funcionalidades para criação de um servidor web simples, no qual é possível lidar com solicitações HTTP. Além disso, o Bootstrap foi utilizado na criação dos componentes do servidor com o intuito de facilitar sua implementação.

4.2 Aquisição e Transmissão dos Dados

O nó sensor é responsável pela aquisição e transmissão dos dados das baterias. É composto por um módulo ESP8266 e um conjunto de módulos transmissor e receptor RF (Figura 13).

Figura 13 – Circuito dos Nós Sensores



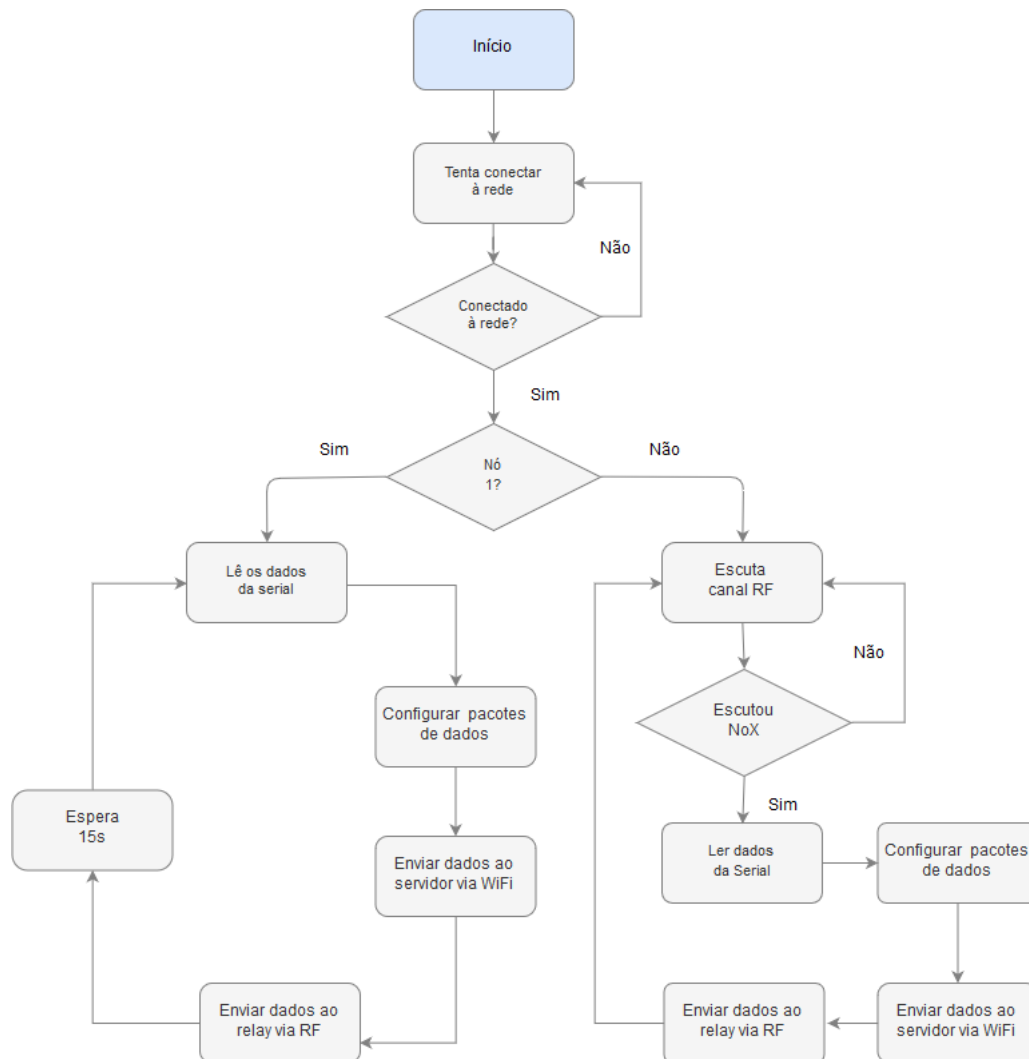
Fonte: Própria

Conforme mencionado anteriormente, diferentes informações referentes ao sistema de armazenamento de energia serão obtidos pelo BMS. Para que as informações sejam transmitidas pela rede e exibidas no servidor web, foi necessário implementar um método para a aquisição via serial.

4.2.1 Algoritmo Básico dos Nós Sensores

Na Figura 14, é possível observar o fluxograma do algoritmo implementado para os nós sensores. O início se dá quando o sistema é ligado. Primeiramente o módulo é configurado no modo *station*, e em seguida, realiza a conexão com a rede WiFi criada para a aplicação, utilizando os valores SSID e senha específicos através da função "WiFi.begin()" disponíveis na biblioteca "ESP8266WiFi".

Figura 14 – Algoritmo Nós Sensores



Fonte: Própria

Após conectar-se a rede, os dados das baterias, enviados via serial pelo BMS, são obtidos e através de um protocolo implementado os pacotes de dados são configurados. O protocolo é responsável por criar pacotes que possuem um ID e os dados da bateria (Figura 15).

Figura 15 – Pacote de Dados Transmitido

ID	SOC	SOH	Temp	$T_{Máx}$	$T_{Mín}$	I
----	-----	-----	------	-----------	-----------	---

Fonte: Própria

O ID dos pacotes é configurado através do endereço MAC, um número de identificação de *hardware* atribuído a cada dispositivo. O ID é representado pelos valores de 1 a 3, de acordo com o endereço MAC de cada nó. O protocolo também é responsável por configurar o tamanho dos pacotes de dados, garantindo que os valores obtidos pelos sensores do BMS sejam representados com a mesma quantidade de algarismos. Com isso, as mensagens podem ser corretamente codificadas no relay e decodificadas no servidor.

Em seguida, o pacote de dados é enviado ao servidor pela rede WiFi. Para isso, foi implementada uma função, que após verificar se há conexão com a rede, inicializa o pacote de transmissão com a porta utilizada para recepção dos dados e o IP do receptor. Em seguida adiciona os valores ao pacote, finaliza-o e o envia ao IP especificado.

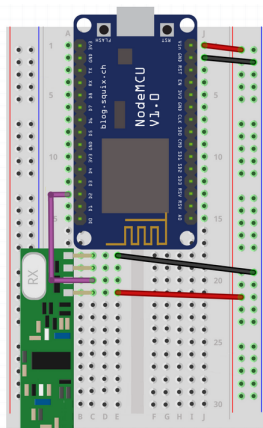
Os nós funcionam de maneira similar sendo a única diferença o envio das mensagens pelo canal RF, que funciona de maneira encadeada. O nó com o ID 1 envia seu pacote pelo canal de rádio frequência e aguarda 15s para iniciar novamente o processo. Quando o nó seguinte identifica o pacote enviado pelo seu antecessor, o mesmo envia o seu pacote e assim sucessivamente. Utilizando a biblioteca "RC-switch", que disponibiliza funções para operar dispositivos controlados por rádio frequência, foram implementadas as funções necessárias para o envio e recebimento dos dados pelo canal RF.

No projeto inicial, a RSSF não contaria com o segundo canal de comunicação que opera utilizando rádio frequência. No entanto, uma vez que utilizando somente a rede WiFi as mensagens necessariamente precisariam passar pelo ponto de acesso para serem enviadas ao destino, percebeu-se a necessidade de implementar o relay de maneira não estruturada na rede. Primeiramente, optou-se por fazer o relay funcionar no modo promíscuo, normalmente utilizado para implementar um sniffer capaz de expor os dados que estão sendo transferidos pela rede. Ao encontrar dificuldades em implementar o relay dessa forma, e uma vez que a prioridade do sistema é a transmissão dos pacotes de dados ao servidor final, optou-se pela implementação de um desse segundo canal de comunicação.

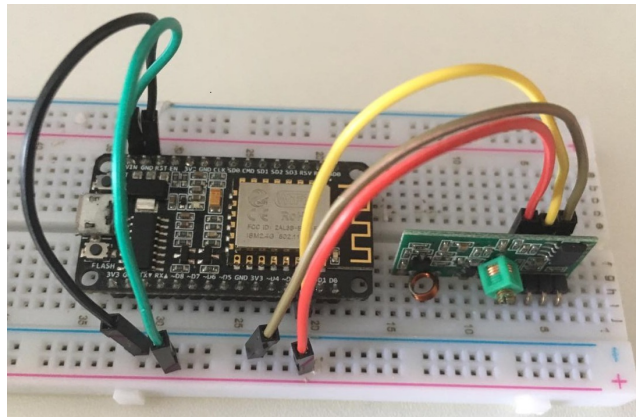
4.3 Codificação e Retransmissão

O nó relay é responsável por receber os dados via rádio dos nós sensores, codificá-los e transmiti-los para o servidor. É composto por um módulo ESP8266 e um módulo RF Receptor (Figura 16).

Figura 16 – Circuito Nó Relay



(a) Esquemático do circuito



(b) Circuito implementado

Fonte: Própria

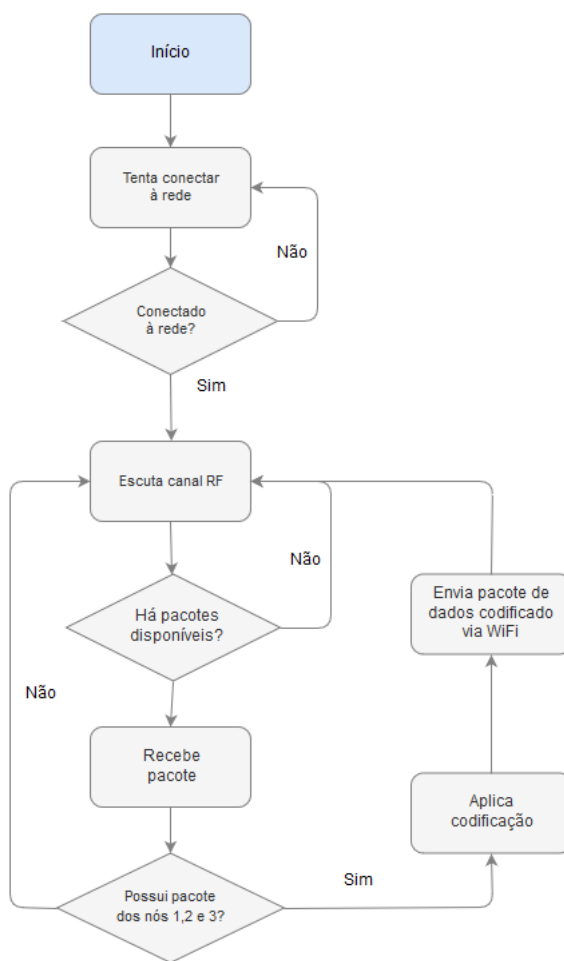
4.3.1 Algoritmo Básico do Nó Relay

Na Figura 17, é possível observar o fluxograma do algoritmo básico do nó relay. Uma vez que a RSSF implementada conta com somente 3 nós sensores, um único nó relay foi utilizado.

Após conectar-se a rede WiFi, o nó escuta o canal RF à espera dos pacotes de dados enviados pelos nós sensores. Para isso, é utilizada a mesma função implementada para escutar o canal RF nos nós sensores. Assim que um pacote de dados é recebido, o mesmo é armazenado para ser usado para codificação e transmissão ao servidor. Visto que os pacotes de dados são tratados como vetores de caracteres, para realizar a codificação dos pacotes, foi implementada uma função que aplica a operação XOR bit a bit entre dois pacotes escolhidos de forma aleatória. Para que o receptor possa identificar quais pacotes foram codificados, um ID (diferente dos utilizados nos pacotes de dados dos nós sensores) é atribuído ao pacote codificado.

Por fim, o pacote codificado é enviado ao nó servidor utilizando a função para o envio dos pacotes via rede WiFi que foi já havia sido anteriormente implementada para os nós sensores.

Figura 17 – Fluxograma Nó Relay



Fonte: Própria

5 Análise dos Resultados

Este capítulo tem como objetivo analisar a RSSF implementada através de simulações. Serão explicados os experimentos realizados e em seguida são feitas as análises dos resultados obtidos.

5.1 Experimentos

Como forma de avaliar a RSSF foram realizadas diferentes simulações para a análise da taxa de sucesso no envio dos pacotes de dados. Uma vez que o objetivo principal da rede implementada é garantir que os pacotes de dados enviados cheguem até o servidor, avalia-se também se a utilização da retransmissão de pacotes codificados traz mais confiabilidade ao sistema.

Para avaliar a rede implementada, foi necessário simular o uma taxa de erro da rede nos nós. Como o alcance dos módulos RF para o envio dos pacotes codificados não foi grande o suficiente, não foi possível posicionar os nós sensores a uma distância suficientemente grande e que gerasse falha no envio dos pacotes pelo wifi. Além disso, também não houve a possibilidade de utilizar equipamentos para gerar interferências na rede como um gerador EMI, um gerador de interferências eletromagnéticas que afeta um circuito elétrico por indução eletromagnética, acoplamento eletrostático ou condução.

Com isso, foram simulados diferentes cenários com a probabilidade de erro no envio dos pacotes variando entre 10%, 20%, 30 % e 40 %. Cada teste teve duração de aproximadamente 15 minutos, sendo efetuado com 3 nós sensores dispostos a aproximadamente 1m do relay e a 2m do ponto de acesso. Foram observados como parâmetros para avaliação: O número de pacotes obtidos pelos nós; O número de pacotes enviados que são recebidos pelo servidor via WiFi; O número de pacotes perdidos; O número de pacotes recuperados em consequência da utilização da retransmissão.

Em cada um dos testes, o erro foi aplicado nos diferentes nós da rede de modo a simular a falha no envio dos pacotes pelo nó sensor ao AP. Os pacotes de dados recebidos pelo AP eram salvos e utilizados para a decodificação do pacote retransmitido pelo relay. Nos casos em que o AP possuía informações suficientes para a aplicar a decodificação no pacote retransmitido, era possível recuperar pacotes perdidos. A seguir são analisados diferentes cenários e os resultados obtidos.

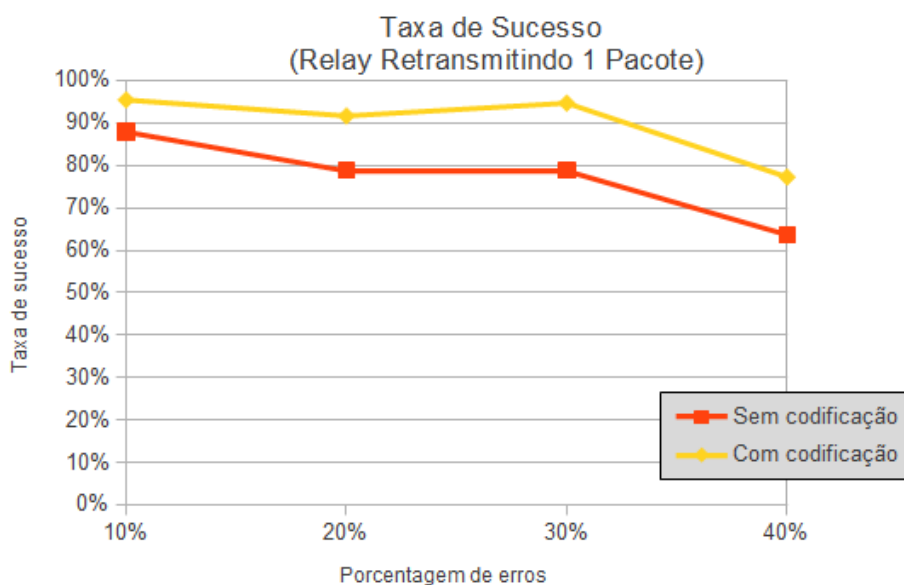
5.1.1 Retransmissão de 1 Pacote Codificado

Nesse cenário, o relay aplica a codificação XOR em dois dos pacotes provenientes dos nós sensores e retransmite o pacote codificado para o servidor. A escolha dos dois pacotes ocorre de maneira aleatória, sendo que esses são sempre diferentes.

De acordo com os dados coletados na simulação (Apêndice A), é possível observar que a medida que o erro na rede aumenta, mais pacotes são perdidos. A Figura 18 faz uma comparação entre as taxas de sucesso obtidas com e sem o uso da retransmissão do pacote codificado. A taxa de sucesso é calculada considerando a equação .

$$Taxa\ de\ Sucesso = \frac{Total\ de\ Pacotes\ Obtidos}{Total\ de\ Pacotes\ Enviados} \quad (5.1)$$

Figura 18 – Comparação entre as taxas de sucesso com e sem o uso da retransmissão de 1 pacote codificado



Fonte: Própria

Com isso, foi possível verificar que na maior parte dos casos nos quais a rede apresentou erros foi possível obter uma taxa de sucesso maior quando utilizou-se a retransmissão de pacotes de dados pelo relay.

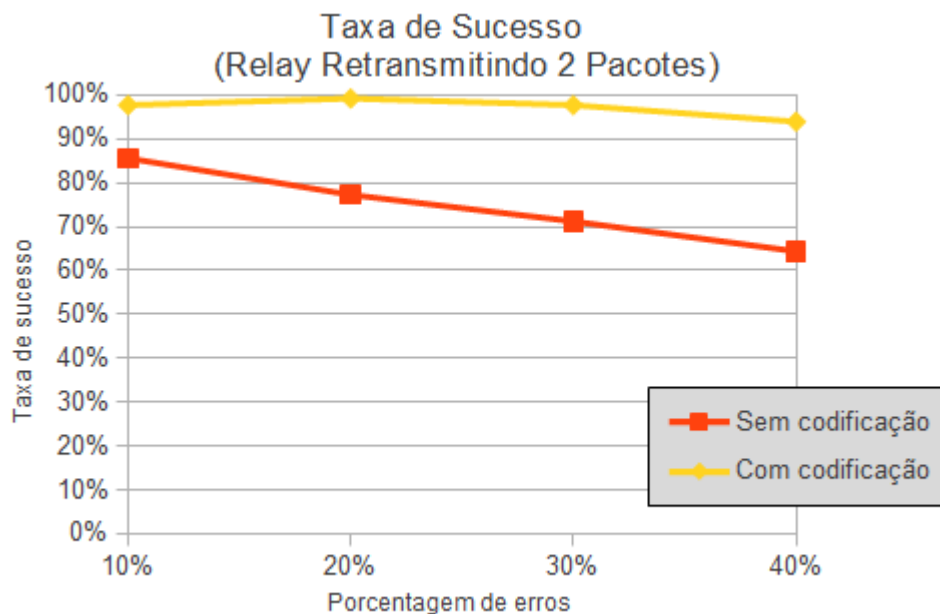
5.1.2 Retransmissão de 2 Pacotes Codificados

Com o intuito de analisar a possibilidade de aumentar ainda mais a confiabilidade da rede, foram realizadas simulações em um cenário no qual 2 pacotes codificados eram

retransmitidos pelo relay. Nesse caso, a escolha de dois pacotes de dados nos quais eram aplicados a codificação XOR foi realizada duas vezes, com o cuidado de não enviar a mesma combinação de pacotes.

No apêndice B, é possível observar os dados coletados nas simulações. Novamente é possível verificar que o a medida que o erro na rede aumenta, o número de pacotes perdidos é maior. A Figura 19 apresenta uma comparação entre as taxas de sucesso com e sem o uso da retransmissão de 2 pacotes codificados, de modo que é possível verificar uma alta taxa de sucesso, superior a 90% até mesmo nos casos com maior chance de erro na rede, quando utilizada a retransmissão pelo relay.

Figura 19 – Comparação entre as taxas de sucesso com e sem o uso da retransmissão de 2 pacotes codificados



Fonte: Própria

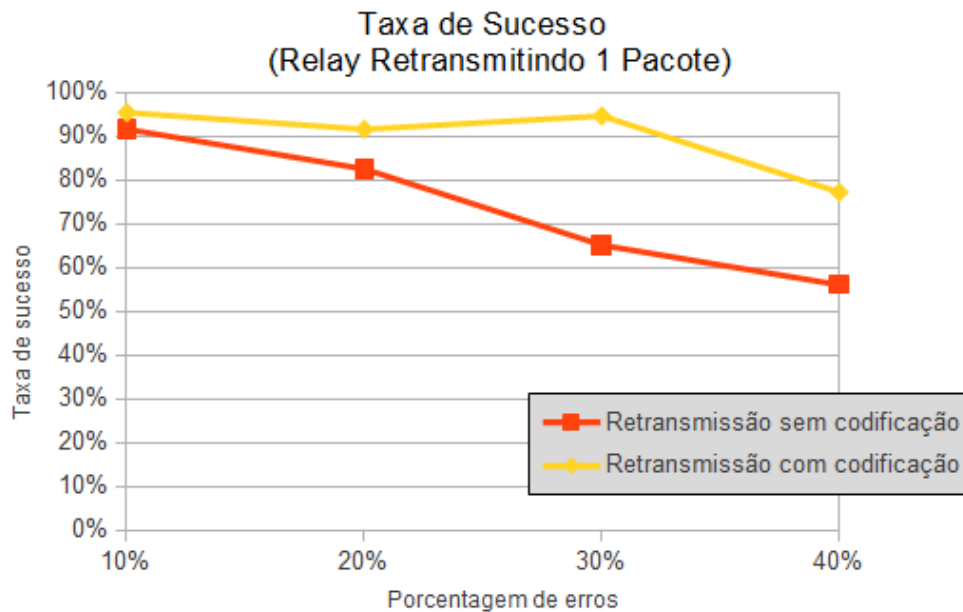
5.1.3 Retransmissão de 1 pacote sem codificação

Neste caso foi considerada a retransmissão de um pacote de dado escolhido de forma aleatória sem a codificação. Buscou-se avaliar se a codificação aplicada nos pacotes apresentava alguma vantagem para a RSSF. Os dados obtidos nas simulações podem ser observados no apêndice C.

A Figura 20 apresenta uma comparação entre as taxas de sucesso obtidas nas simulações. Nessa, é possível verificar que a codificação dos pacotes de dados apresenta-se

como uma vantagem para a RSSF, uma vez que a taxa de sucesso obtida é maior nos casos simulados.

Figura 20 – Comparação entre as taxas de sucesso com e sem o uso da retransmissão de 1 pacote não codificado



Fonte: Própria

5.2 Análise dos Resultados

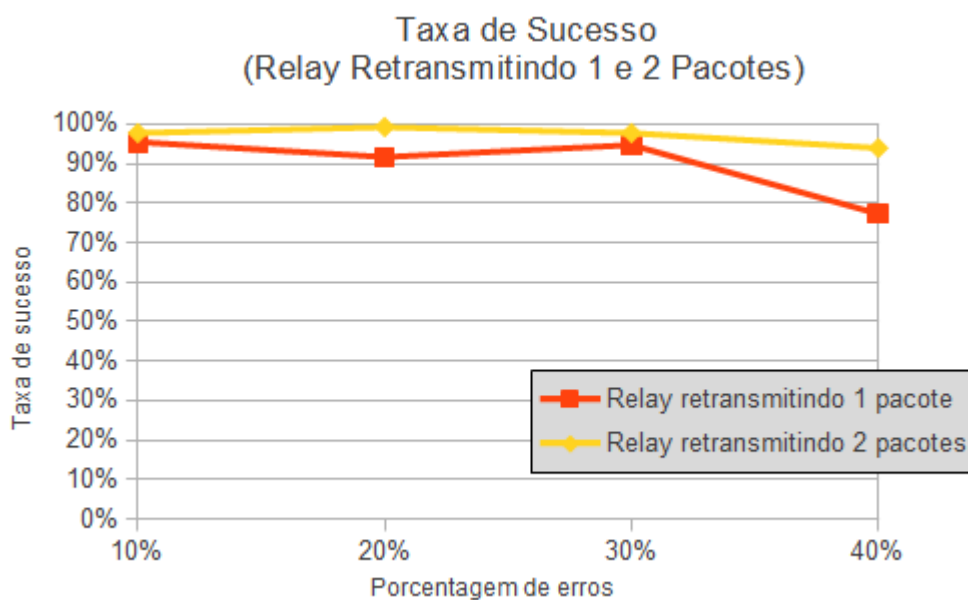
Através dos diferentes cenários simulados foi possível comprovar a vantagem da aplicação da codificação de rede nos pacotes na RSSF. Como mostrado na Figura 21, verificou-se que o envio de dois pacotes de dados codificados traz maiores benefícios para RSSF, garantindo uma taxa de sucesso superior a 90% até mesmo no pior dos casos (rede wifi com 40% de chance de apresentar erro).

Além disso, é possível verificar a taxa de mensagens recuperadas com a retransmissão dos pacotes codificados. A taxa é calculada segundo a equação 5.2.

$$TaxadeMensagensRecuperadas = \frac{TotaldePacotesRecuperados}{TotaldePacotesPerdidos} \quad (5.2)$$

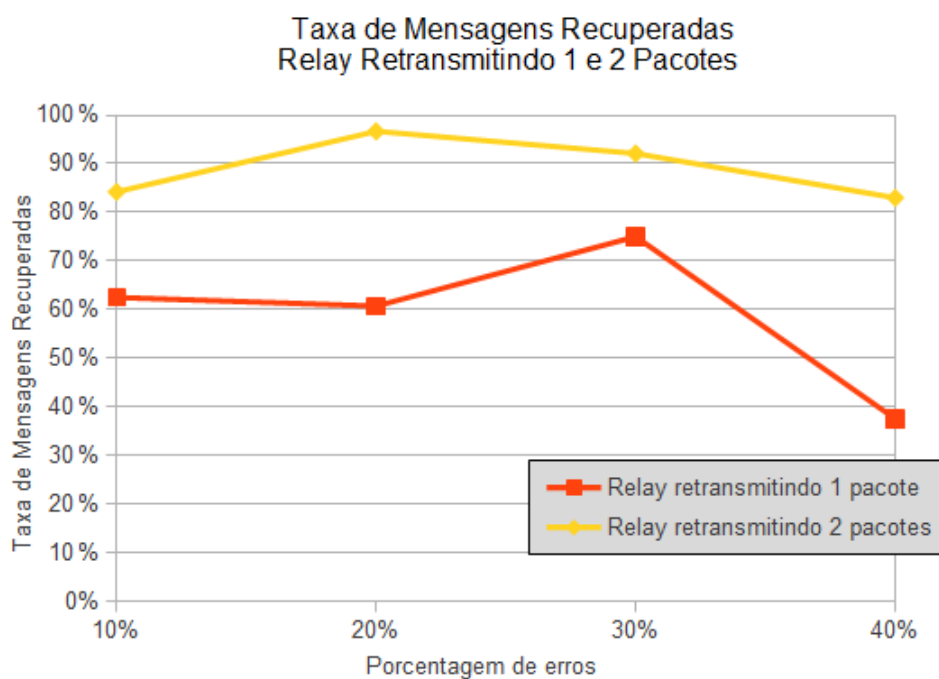
Através do gráfico apresentado na Figura 22, comprova-se que a retransmissão de dois pacotes de dados torna-se mais vantajosa quando a porcentagem de erros é mais elevada.

Figura 21 – Comparação entre as taxas de sucesso com a retransmissão de 1 e 2 pacotes codificados



Fonte: Própria

Figura 22 – Comparação entre as taxas de mensagens recuperadas com a retransmissão de 1 e 2 pacotes codificados



Fonte: Própria

6 Conclusões e Perspectivas Futuras

Este trabalho abordou a proposta para o desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio codificada para ser utilizada com o BMS desenvolvido pela empresa Atlas Power em sistemas de armazenamento de energia. A proposta desenvolvida foi baseada em toda a pesquisa bibliográfica realizada e buscou avaliar a possibilidade da implementação de um sistema de armazenamento descentralizado, monitorado de um computador base através de um servidor web.

A implementação de uma RSSF que utiliza um nó retransmissor mostrou-se como uma tarefa complicada utilizando-se o padrão IEEE 802.11. A necessidade de implementar o relay de forma não estruturada na rede foi a maior dificuldade na implementação do projeto. A solução encontrada foi a de implementar um segundo canal de comunicação através de módulos RF transmissores e retransmissores. Tal solução não se mostrou como a melhor possível, pois mesmo utilizando estratégias para aumentar o alcance dos módulos RF (como o aumento da tensão fornecida ao transmissor e a utilização de antenas nos módulos), o alcance esperado para os nós sensores não foi como o esperado.

No entanto, a rede implementada possibilitou a avaliação das técnicas utilizadas na troca de mensagens entre os nós da rede e o servidor. Os resultados dos testes realizados demonstram que a utilização de um nó relay para a retransmissão de pacotes garante maior confiabilidade a rede. Além disso, através das simulações foi possível verificar que a retransmissão de pacotes codificados é vantajosa para o sistema, pois gera a diminuição do número de pacotes perdidos pela rede. Uma vez que a abordagem utilizada para a retransmissão dos pacotes pelo nó relay foi a de sempre enviar pelo menos um dos pacotes recebidos, é possível concluir que para a RSSF implementada torna-se mais vantajoso a retransmissão de 2 pacotes codificados. Dessa forma, foi possível obter uma taxa de sucesso maior mesmo nos caso da rede apresentar uma alta taxa de erro (40%).

Desse modo, conclui-se que para a implementação de um sistema de armazenamento descentralizado com a estrutura de rede projetada é necessário explorar métodos que permitam a comunicação ponto a ponto na rede, sem a necessidade de um ponto de acesso. No entanto, o projeto comprova a possibilidade do uso de uma rede de sensores sem fio no sistema de armazenamento como alternativa a comunicação cabeada utilizada. Além disso, a codificação de rede mostrou-se como um método eficaz para conferir maior confiabilidade à rede.

6.0.1 Perspectivas Futuras

Para trabalhos futuros, a ideia é explorar novas tecnologias pra encontrar uma maneira mais eficiente de realizar a comunicação entre os nós da rede. Para isso, sugere-se a implementação da rede utilizando-se um padrão de comunicação diferente e consequentemente, um hardware diferente. Dessa forma, espera-se que seja possível implementar a comunicação direta entre os nós da rede, de modo a evitar a necessidade da implementação de um segundo canal de comunicação para o envio das mensagens codificadas. Dentre as possibilidades a serem exploradas, tem-se o uso do arduino para o desenvolvimento da rede utilizando o protocolo ZigBee. Além disso, sugere-se ainda explorar a possibilidade do desenvolvimento de uma rede baseada em dispositivos LoRa, utilizando a especificação de rede LoRaWAN, uma nova forma de comunicação sem fio, semelhante ao Wifi e ao Bluetooth mas que permite comunicações em longas distâncias, gastando muito pouco de energia.

Referências

- AFONSO, J. C.; BUSNARDO, R. G.; BUSNARDO, N. G. Baterias de lítio: novo desafio para a reciclagem. *Ciência Hoje*, p. 72–75, 2004. Citado na página 17.
- ANEEL. *Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída*. 2019. <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877>. Acessado em 05 de Abril de 2019. Citado na página 17.
- CARVALHO, A. C. R. d. *Desenvolvimento de uma bateria com BMS para uso em veículo elétrico*. Tese (Doutorado), 2015. Citado na página 25.
- CASTRO, B. H. R. d.; BARROS, D. C.; VEIGA, S. G. d. Baterias automotivas: panorama da indústria no brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. *BNDES Setorial*, n. 37, mar. 2013, p. 443-496, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2013. Citado na página 25.
- DEMARCH, D. D. et al. Uma proposta de escalonamento confiável para redes sem fio baseadas no padrão ieee 802.11/11e. Florianópolis, SC, 2007. Citado na página 32.
- DUAN, J.; XIAO, J.; ZHANG, M. Framework of canopen protocol for a hybrid electric vehicle. In: IEEE. *2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. [S.l.], 2007. p. 906–911. Citado na página 18.
- DUNN, B.; KAMATH, H.; TARASCON, J.-M. Electrical energy storage for the grid: a battery of choices. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 334, n. 6058, p. 928–935, 2011. Citado na página 23.
- FLORIDO, I. R. *Rede de sensores sem fio em ambientes veiculares baseada no padrão Zigbee*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2008. Citado na página 26.
- FRAGOULI, C.; BOUDEC, J.-Y. L.; WIDMER, J. Network coding: an instant primer. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM, v. 36, n. 1, p. 63–68, 2006. Citado na página 34.
- Fundação CERTI. *Sinapse da Inovação - O Programa*. <<http://portal.sinapsedainovacao.com.br/o-programa/>>. Acessado em 01 de Outubro de 2018. Citado na página 19.
- IBRAHIM, H.; ILINCA, A.; PERRON, J. Energy storage systems—characteristics and comparisons. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 12, n. 5, p. 1221–1250, 2008. Citado na página 23.
- KARL, H.; WILLIG, A. *Protocols and architectures for wireless sensor networks*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007. Citado na página 27.
- LOUREIRO, A. A. et al. Redes de sensores sem fio. In: SN. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*. [S.l.], 2003. p. 179–226. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 29.

LU, L. et al. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, Elsevier, v. 226, p. 272–288, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

MOTA, F. A. O. Aplicação de rede de sensores sem fio para a análise do movimento humano. 2017. Citado 5 vezes nas páginas 27, 28, 35, 36 e 38.

PARK, J. H.; LEE, S.; LEE, K. C. Performance evaluation of time-triggered IEEE 802.15.4 for wireless industrial network. *IFAC Proceedings Volumes*, Elsevier, v. 42, n. 3, p. 118–122, 2009. Citado na página 32.

RUIZ, L. B. et al. Arquiteturas para redes de sensores sem fio. *Tutorial of the simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos(SBRC)*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 29.

SILVA, D. C. C. et al. Estudo da codificação de rede e análise do seu desempenho com fonte de tráfego http. Instituto Nacional de Telecomunicações, 2017. Citado na página 33.

SILVA, G. d. O. e; HENDRICK, P. Lead–acid batteries coupled with photovoltaics for increased electricity self-sufficiency in households. *Applied energy*, Elsevier, v. 178, p. 856–867, 2016. Citado na página 17.

TANENBAUM, A. S. Redes de computadores quarta edição. *Amsterdam: Vrije Universiteit*, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 35.

THAKER, T. Esp8266 based implementation of wireless sensor network with linux based web-server. In: IEEE. *2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN)*. [S.l.], 2016. p. 1–5. Citado na página 32.

VALLE, O. T. et al. Codificação de rede na retransmissão oportunista de mensagens em redes de sensores sem fio IEEE 802.15. 4. 2014. Citado 4 vezes nas páginas 28, 30, 31 e 33.

VALLIMAYIL, A. et al. Role of relay node in wireless sensor network: A survey. In: IEEE. *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*. [S.l.], 2011. v. 5, p. 160–167. Citado na página 28.

WINGER, J. L. A survey of network coding and applications. 2015. Citado na página 34.

Apêndices

APÊNDICE A – Erro no envio pela wifi com retransmissão de 1 pacote codificado

Tabela 3 – Erro 10% com retransmissão de 1 pacote codificado

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	40	4	2
Nó 2	44	37	7	5
Nó 3	44	39	5	3
Total	132	116	16	10

Tabela 4 – Erro 20% com retransmissão de 1 pacote codificado

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	31	13	9
Nó 2	44	36	8	5
Nó 3	44	37	7	3
Total	132	104	28	17

Tabela 5 – Erro 30% com retransmissão de 1 pacote codificado

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	26	18	9
Nó 2	44	30	14	8
Nó 3	44	34	10	4
Total	132	90	28	21

Tabela 6 – Erro 40% com retransmissão de 1 pacote codificado

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	29	15	7
Nó 2	44	23	21	6
Nó 3	44	32	12	5
Total	132	84	48	18

APÊNDICE B – Erro no envio pela wifi com retransmissão de 2 pacotes codificados

Tabela 7 – Erro 10% com retransmissão de 2 pacotes codificados

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	41	3	2
Nó 2	44	39	5	4
Nó 3	44	33	11	10
Total	132	113	19	16

Tabela 8 – Erro 20% com retransmissão de 2 pacotes codificados

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	31	13	13
Nó 2	44	33	11	10
Nó 3	44	38	6	6
Total	132	102	30	29

Tabela 9 – Erro 30% com retransmissão de 2 pacotes codificados

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	29	15	14
Nó 2	44	35	9	9
Nó 3	44	30	14	12
Total	132	94	38	35

Tabela 10 – Erro 40% com retransmissão de 2 pacotes codificados

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	32	12	10
Nó 2	44	23	21	17
Nó 3	44	30	14	12
Total	132	85	47	39

APÊNDICE C – Erro no envio pela wifi com retransmissão de 1 pacote sem codificação

Tabela 11 – Erro 10% com retransmissão de 1 pacote sem codificação

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	44	0	0
Nó 2	44	40	4	1
Nó 3	44	37	7	2
Total	132	121	11	3

Tabela 12 – Erro 20% com retransmissão de 1 pacote sem codificação

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	38	6	0
Nó 2	44	34	10	3
Nó 3	44	37	7	3
Total	132	109	23	6

Tabela 13 – Erro 30% com retransmissão de 1 pacote sem codificação

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	27	17	4
Nó 2	44	34	10	3
Nó 3	44	25	19	5
Total	132	86	46	12

Tabela 14 – Erro 40% com retransmissão de 1 pacote sem codificação

	Pacotes recebidos pelos nós	Pacotes recebidos pelo AP	Pacotes perdidos	Pacotes recuperados
Nó 1	44	24	20	5
Nó 2	44	22	22	8
Nó 3	44	28	16	6
Total	132	74	58	19