



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS E EXATAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

GUSTAVO OLIVEIRA MARTINS

**REDES INDUSTRIAIS UTILIZANDO MÓDULOS XBEE E
COMUNICAÇÃO COM DISPOSITIVOS MÓVEIS**

UBERABA

2019

GUSTAVO OLIVEIRA MARTINS

**REDES INDUSTRIAIS UTILIZANDO MÓDULOS XBEE E
COMUNICAÇÃO COM DISPOSITIVOS MÓVEIS**

Dissertação apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica – PMPIT, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Inovação Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

UBERABA

2019

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

M343r Martins, Gustavo Oliveira
Redes industriais utilizando módulos Xbee e comunicação com
dispositivos móveis / Gustavo Oliveira Martins. -- 2019.
133 f. : il., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2019
Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

1. Redes locais sem fio. 2. Tecnologia bluetooth. 3. Automação.
I. Jorge, David Calhau. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro
III. Título.

CDU 621.39

GUSTAVO OLIVEIRA MARTINS

REDES INDUSTRIAIS UTILIZANDO MÓDULOS XBEE E COMUNICAÇÃO
COM DISPOSITIVOS MÓVEIS

Trabalho de conclusão apresentado ao
Programa de Mestrado Profissional em
Inovação Tecnológica da Universidade Federal
do Triângulo Mineiro, como requisito para
obtenção do título de mestre.

Uberaba, 16 de dezembro de 2019

Banca Examinadora:



Prof. Dr. David Canha Jorge
Orientador – UFTM



Prof. Dr. Edilberto Pereira Teixeira
Membro Titular – UNIUBE



Prof. Dr. Kléber Lopes Fontoura
Membro titular – CEFET-MG

*A tecnologia move o mundo.
Steve Jobs.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de viver e lutar pelos meus sonhos, e por sempre estar comigo nos momentos difíceis, pela força e suporte para superar os desafios da vida.

A minha família, que são minha base, em especial aos meus pais, Adevaldo e Luzia, que sempre priorizaram a minha educação, mostrando que este é o maior e mais importante legado que se pode deixar para um filho.

A Karla, pela paciência, compreensão, amizade e por sempre acreditar em mim, incentivar e me dar forças para continuar lutando por meus objetivos.

Ao Professor David, pela orientação, por sua dedicação, pelo tempo e disponibilidade em me ajudar, mesmo com as dificuldades de distância e horários. Sempre sanando minhas dúvidas e me orientando da melhor forma possível para a conclusão deste projeto.

Ao professor Kleber e Edilberto, pelo aceite em participar como membros das minhas bancas de qualificação e defesa.

Aos professores do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da UFTM, por seu conhecimento durante estes anos.

Aos amigos novos que fiz durante estes dois anos de curso.

Meu agradecimento especial, ao meu amigo Lázaro Vaz, por seu apoio e disponibilidade, imprescindíveis na realização deste projeto.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de estudo sobre instrumentação eletrônica sem fio, com a finalidade de se utilizar desta comunicação para o monitoramento de sensores localizados em pontos de difícil acesso. Foi desenvolvido um protótipo de telemetria com alimentação a energia solar, para leitura de variáveis de processo, utilizando um aplicativo para smartphone para visualização destes valores, e um *data logger* para armazenamento e posterior tratamento dos dados. Utiliza-se protocolo de comunicação *ZigBee*, com um protótipo constituído por 2 módulos *XBee* da empresa Digi sendo um módulo responsável pela leitura do sinal de 4-20 mA do instrumento e o outro pela coordenação da rede *ZigBee* e comunicação com o smartphone. O aplicativo foi desenvolvido para a plataforma *Android* e o *data logger* baseado na plataforma Arduino, realizando a implementação desta ferramenta em ambiente industrial, no monitoramento de variáveis de processo. Também foram analisados parâmetros como disponibilidade, alcance, segurança da rede *ZigBee* em uma aplicação real.

Palavras Chave: *ZigBee*; *XBee*; Rede Sem Fio; Instrumentação; *Bluetooth*; Automação;

ABSTRACT

This paper presents a proposal for a study on wireless electronic instrumentation, with the purpose of using this communication for the monitoring of sensors located in difficult access points. Was developed a solar-powered telemetry prototype to read process variables using a smartphone application for responses to these values, and a data logger for storing and further processing data. ZigBee communication protocol will be used, the prototype is consist of 2 Xbee modules from Digi company, a module responsible for reading the 4-20 mA signal of the instrument, one responsible for coordinating the ZigBee network and communicating with the smartphone. The application was developed for the Android platform and the data logger was based on the Arduino platform. Performing the implementation of this tool in industrial environment, in the monitoring of process variables. It was also analyze parameters such as availability, reach, security of the ZigBee network in an actual application.

Keywords: *ZigBee*; *XBee*; Wireless network; Instrumentation; Bluetooth; Automation;

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Fluxograma da Rede	19
Figura 2: <i>WirelessHART</i>	23
Figura 3: <i>Wireless Mesh Networking</i>	24
Figura 4: ISA 100 <i>Wireless</i>	26
Figura 5: Rede Básica ISA100.....	26
Figura 6: <i>Bluetooth</i>	28
Figura 7: <i>Scatternet</i>	29
Figura 8: <i>ZigBee</i>	31
Figura 9: Topologia ZigBee.....	33
Figura 10: Padrão da Rede <i>ZigBee</i> em Camadas	34
Figura 11: Acúmulo de cargas na junção p-n.	37
Figura 12: Sistema Fotovoltaico	38
Figura 13: Placa Fotovoltaica Monocristalino	40
Figura 14: Placa Fotovoltaica Policristalina	41
Figura 15: Placa Fotovoltaica Filme Fino.....	43
Figura 16: Placa Fotovoltaica Orgânica	44
Figura 17: Módulo <i>XBee ZigBee S2C</i> - Digi.....	46
Figura 18: Módulo <i>Bluetooth</i> HM-10	47
Figura 19: <i>Adaptador USB XBee</i>	48
Figura 20: Conversor HW685	49
Figura 21: Módulo <i>Step-Down</i> LM2596	51
Figura 22: Módulo <i>Step-Up</i> XL6009E1	52
Figura 23: Fonte Ajustável MB102.....	53
Figura 24: Placa Solar Semi Flexível Elegeek	54
Figura 25: Módulo BMS 2S.....	56
Figura 26: Bateria de Lítio 18650.....	57
Figura 27: Voltímetro 2S 18650	58
Figura 28: Módulo Arduino Nano	60
Figura 29: Módulo Cartão Micro SD	61
Figura 30: Módulo RTC DS3231.....	63

Figura 31: Cartão Micro SD 16GB	64
Figura 32: Caixa de Montagem.....	65
Figura 33: PT-100.....	66
Figura 34: Inor IPAQ C202	67
Figura 35: Software XCTU.....	68
Figura 36: Tela Digi XCTU.....	70
Figura 37: Android	71
Figura 38: Arquitetura Android.....	72
Figura 39: Android Studio	75
Figura 40: Tela Android Studio	76
Figura 41: Arduino IDE	77
Figura 42: Tela Arduino IDE	78
Figura 43: Topologia da Rede	79
Figura 44: Portal de Comunicação serial do XBee	80
Figura 45: <i>Discover Devices</i> - XCTU	81
Figura 46: <i>Radio Configuration</i> - XCTU	82
Figura 47: Teste Comunicação XBee	84
Figura 48: Cabo USB-TTL	85
Figura 49: Circuito HM-10.....	86
Figura 50: Android SDK	87
Figura 51: Tela de Apresentação - Aplicativo	89
Figura 52: Ativação Bluetooth - Aplicativo	90
Figura 53: Lista Dispositivos Bluetooth - Aplicativo	91
Figura 54: Dados Recebidos - Aplicativo	92
Figura 55: Fluxograma Aplicativo	93
Figura 56: Tela Seleção Dispositivo – Android Studio	94
Figura 57: Circuito <i>Datalogger</i>	95
Figura 58: <i>Datalogger</i>	96
Figura 59: Lógica <i>Datalogger</i>	97
Figura 60: Protótipos Finalizados	98
Figura 61: Circuito Eletrônico Módulo Coordenador	101
Figura 62: Circuito Coordenador – Protótipo	102
Figura 63: Circuito Eletrônico Módulo Dispositivo Final	103
Figura 64: Circuito Dispositivo Final - Protótipo	104

Figura 65: <i>App ZigBee BLE Industry</i>	105
Figura 66: Protótipos Fixados	110
Figura 67: Placas Solares Fixadas	110
Figura 68: Protótipo e Instrumento Instalados	111
Figura 69: Protótipo Coordenador Instalado	111
Figura 70: Gráfico - Comparativo Registro Temperatura	114
Figura 71: Gráfico - Carga Baterias e Radiação Solar	115
Figura 72: Gráfico – Teste Resfriamento	116
Figura 73: Gráfico – Teste Aquecimento	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categoria, Classes, Aplicação e Descrição ISA - SP100.....	27
Tabela 2: Dispositivos <i>ZigBee</i>	32
Tabela 3: Comparação entre as redes sem fio	36
Tabela 4: Dados Coletados em 26/10/2018.....	74
Tabela 5: Parâmetros para o módulo <i>XBee</i> como dispositivo final.....	83
Tabela 6: Parâmetros para o módulo <i>XBee</i> como coordenador	84
Tabela 7: Alcance Rede <i>ZigBee</i>	106
Tabela 8: Alcance <i>Bluetooth</i>	107
Tabela 9: Autonomia Módulo Coordenador	108
Tabela 10: Autonomia Módulo Instrumento	109
Tabela 11: Placa Solar Módulo Coordenador	112
Tabela 12: Placa Solar Módulo Instrumento	113
Tabela 13: Ensaio de Temperatura	117
Tabela 14: <i>Datalogger</i> Módulo Coordenador.....	118

LISTA DE SIGLAS

AES – *Advanced Encryption System*

AM – *Ante Meridiem*

AODV – *Ad-hoc On-demand Distance Vector*

API – *Application Programming Interface*

BLE – *Bluetooth Low Energy*

BMS – *Battery Management System*

BR – *Brasil*

CCA – *Clear Channel Assessment*

CEMIG – *Companhia Energética de Minas Gerais*

CETEM – *Centro de Tecnologia Mineral*

CIP – *Common Industrial Protocol*

DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*

EMC – *Electromagnetic Compatibility*

FFD – *Full Function Device*

FGV – *Fundação Getúlio Vargas*

FHSS – *Frequency-Hopping Spread Spectrum*

FV – *Fotovoltaica*

GPIO – *General Purpose Input/Output*

GPS – *Global Positioning System*

HCF – *Hart Communication Foundation*

I²C – *Inter-Integrated Circuit*

IDE – *Integrated Development Environment*

IEC – *International Electrotechnical Commission*

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IP – Índice de Proteção

ISA – *International Society of Automation*

ISM – *Industrial, Scientific, Medical*

LE– *Low Energy*

LED– *Light-Emitting Diode*

LR-WPAN – *Low-Rate Wireless Personal Area Network*

MAC – *Media Access Control*

MMC – *Multi Media Card*

OPV – *Organic Photovoltaic*

OSI – *Open System Interconnection*

PHY – Física

PIN – *Personal Identification Number*

PM – *Post Meridiam*

PT – Português

PVC – Policloreto de Vinila

QoS – *Quality of Service*

RAM – *Random Access Memory*

RFD – *Reduced Function Device*

RF – *Radio Frequency*

RPSMA – *Reverse Polarity SubMiniature Version A*

RTC – *Real Time Clock*

RTD – *Resistance Temperature Detector*

SAP – *Service Access Point*

SD – *Secure Digital*

SDK – *Software Development Kit*

SPI – *Serial Peripheral Interface*

TDMA – *Time Division Multiple Access*

TTL – *Transistor-Transistor Logic*

USB – *Universal Serial Bus*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVO	20
2.1. OBJETIVO GERAL	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1 REDES SEM FIO INDUSTRIAIS.....	21
3.1.1 Protocolo <i>WirelessHART</i>	23
3.1.2 Protocolo ISA-100.....	25
3.1.3 Protocolo Bluetooth	28
3.1.4 Protocolo ZigBee.....	30
3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	36
3.2.1 Tecnologias Fotovoltaicas.....	39
3.3 HARDWARE.....	45
3.3.1 <i>XBee Zigbee S2C</i>	45
3.3.2 Módulo <i>Bluetooth</i> BLE HM-10	47
3.3.3 Módulo Adaptador Xbee	48
3.3.4 Conversor Analógico – HW685	49
3.3.5 Módulo Regulador de Tensão Ajustável <i>Step-Down</i> LM2596	50
3.3.6 Módulo Regulador de Tensão Ajustável <i>Step-Up</i> XL6009E1	51
3.3.7 Fonte Ajustável MB102	52
3.3.8 Placa Solar Elegeek SWR6012D.....	53
3.3.9 Módulo de Proteção BMS 2S 18650	55
3.3.10 Bateria Samsung ICR18650-30Q	56
3.3.11 Indicador de Capacidade de Bateria de Lítio 2S 18650	57
3.3.12 Arduino Nano V3.0	59
3.3.13 Módulo Cartão Micro SD.....	60
3.3.14 <i>Real Time Clock</i> RTC DS3231.....	61
3.3.15 Cartão Micro SD	63
3.3.16 Caixa de Montagem PVC	64
3.3.17 Termoresistência PT-100	65
3.3.18 Transmissor Inor IPAQ C202	66
3.4 SOFTWARE	68

3.4.1 Software X-CTU	68
3.4.2 Sistema Operacional Android	70
3.4.3 Android Studio.....	74
3.4.4 Arduino IDE.....	77
4. METODOLOGIA	79
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	100
6. CONCLUSÃO	119
7. TRABALHOS FUTUROS.....	121
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
9. APÊNDICES.....	127

1. INTRODUÇÃO

As técnicas que utilizam comunicação por cabeamento vêm perdendo espaço em algumas aplicações em detrimento dos sistemas de comunicação sem fio. O fator motivador de tal afirmativa está intimamente relacionado à baixa infraestrutura necessária para acomodar tais sistemas. Podemos assim, acrescentar que protocolos modernos de comunicação sem cabo vêm otimizando cada vez mais suas funcionalidades (BEZERRA, 2014).

De acordo com ALMEIDA (2009)

Na área industrial, especificamente nas redes de campo, os últimos anos tem visto um avanço avassalador das redes digitais. Nestas indústrias, a tecnologia digital sem fio também pode ter um papel muito importante, uma vez que elas também precisam de agilidade e flexibilidade para se manterem competitivas. Para estas indústrias, duas características da tecnologia sem fio são extremamente desejáveis, se inseridas nas redes de campo: maior disponibilidade (uma vez que não possuem cabos para dar problemas e serem trocados) e maior flexibilidade (uma mudança na estrutura física, não necessita mudança na estrutura dos cabos).

Dependendo do processo industrial, temos diferentes variáveis, cujo monitoramento é imprescindível para o funcionamento da máquina em operação, como nos mancais de uma turbina. Neste, a temperatura é um dos pontos altos, já no tubulão de uma caldeira, a variável de importância é o nível da água. Existem outras como vibração, pressão, vazão, que podem ser mensuradas através desse protótipo, construído pelo autor (OLIVEIRA, 2012).

A instrumentação sem fio surge com a finalidade de se utilizar da comunicação eletrônica sem cabo para o monitoramento de sensores localizados em pontos de difícil acesso, como oleodutos localizados em alto mar, bem como no controle de sistemas eletromecânicos no chão de fábrica (BALBINOT, 2006).

Existem vários protocolos de redes sem fio e cada um deles é utilizado para finalidades distintas, baseado em suas características específicas, como: taxa de transmissão, frequência de operação, número de pontos na rede, distância e segurança da informação (*HART® Communication Foundation*, 2018).

Dentre os protocolos de redes industriais sem cabo atualmente utilizados podemos citar: *Wireless Hart*, *ISA100*, *Bluetooth* e *Zigbee*.

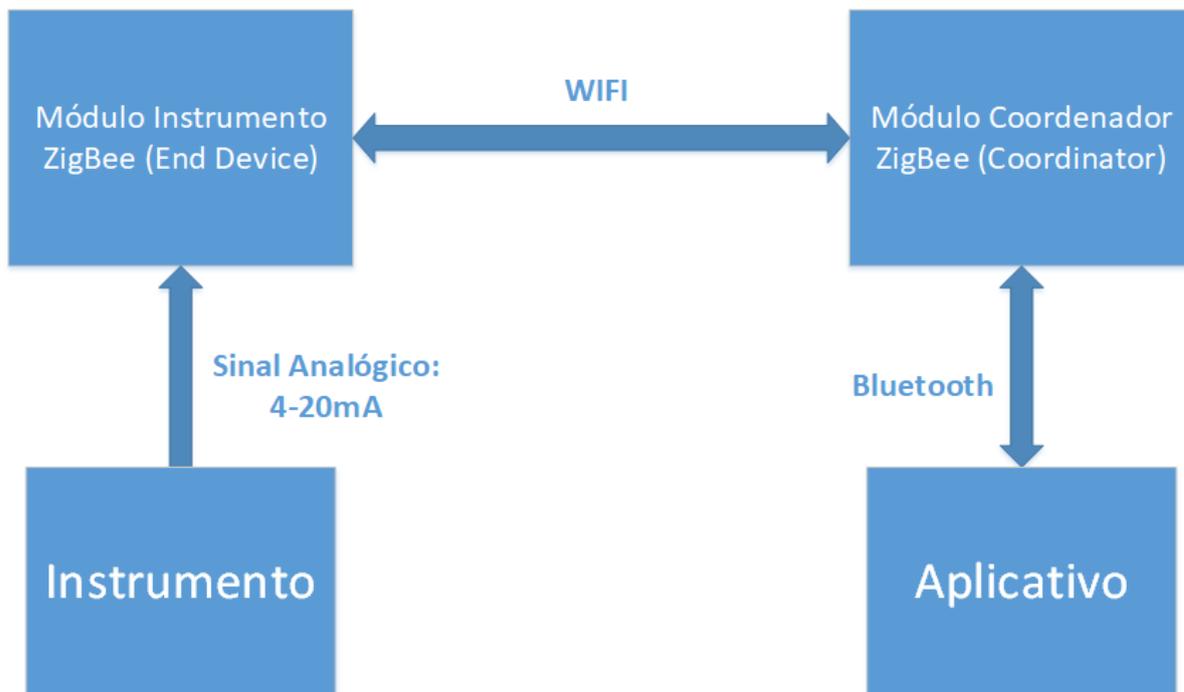
Outro ponto que devemos destacar é a popularização dos *smartphones*. O estudo “*Google Consumer Barometer*”, divulgado no início de 2017, mostra números de fato impressionantes. Em 2012, apenas 14% da população possuía smartphones. Em 2016, esse percentual atingiu 62%, o que indica um crescimento de quase 450% em cinco anos. Já a Fundação Getúlio Vargas (FGV), calcula que o Brasil atingiu a taxa de um (01) smartphone por habitantes em 2017 (PATAH, 2018).

No mercado de dispositivos móveis, existem aplicativos desenvolvidos por fabricantes da área industrial, como instrumentação e automação, destinados ao monitoramento de diversas variáveis de processo, como temperatura, vazão, nível, pressão, entre outras. Porém, por ser um mercado novo e ainda em expansão, apresentam alto custo para aquisição, além de algumas limitações como por exemplo, o aplicativo ser destinado a um fabricante e instrumento específico, limitando bastante seu uso.

Com base no exposto, o presente projeto propõe o desenvolvimento de um protótipo de telemetria com alimentação à energia solar, para leitura de variáveis industriais de baixo custo e de longo alcance em ambiente aberto, utilizando protocolo de comunicação *ZigBee*. Além disso, desenvolver um aplicativo para monitoramento destas variáveis e implementar esta ferramenta em um ambiente industrial para testes e análise de desempenho do mesmo. O fluxograma do sistema, demonstrando o funcionamento do projeto está exposto na figura 1.

A concepção deste protótipo foi baseada no trabalho de (OLIVEIRA, 2012), onde a metodologia aplicada para o mecanismo de telemetria foi a construção de um protótipo com o monitoramento de uma variável analógica, temperatura, através de um dispositivo móvel. A comunicação entre os dois pontos foi estabelecida por uma rede de sensores sem fio, utilizando módulos de comunicação *ZigBee*.

Figura 1: Fluxograma da Rede



Fonte: Do autor, 14 de março de 2018.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

- Desenvolver protótipo de telemetria com alimentação à energia solar, para leitura de variáveis de processos industriais de longo alcance em ambiente aberto, utilizando protocolo *ZigBee*.
- Desenvolver aplicativo na plataforma Android, para aquisição e monitoramento dos dados vindos do instrumento.
- Desenvolver sistema para aquisição e armazenamento dos dados providos do instrumento.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construção e montagem do protótipo em tempo hábil, utilizando energia solar como fonte de alimentação do mesmo.
- Desenvolver e testar as funcionalidades do aplicativo desenvolvido para a aquisição dos dados dos instrumentos.
- Testar e analisar o funcionamento do protótipo.
- Testar e analisar disponibilidade, alcance, flexibilidade, segurança da rede *ZigBee*.
- Testar e analisar sistema de aquisição e armazenamento de dados, utilizando a plataforma Arduino.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo fazer uma breve revisão dos protocolos, ferramentas e componentes eletrônicos, que foram utilizados neste projeto, contextualizando a aplicação das mesmas. Como mencionado anteriormente, o objetivo é a construção de um protótipo de telemetria, utilizando protocolo de comunicação *ZigBee*, este que possui diversos pontos positivos para o projeto, com o intuito de monitoramento de variáveis industriais em instrumentos a 2 fios com saída analógica de 4 à 20 mA. Assim, sendo necessário o uso de um circuito dedicado à alimentação do instrumento, recepção e conversão deste sinal analógico.

A alimentação do protótipo se faz a base de energia solar, com o armazenamento da mesma em baterias de lítio. Os circuitos foram alocados em um caixa de PVC, com proteção IP 65.

A visualização dos valores da variável foi feita através de um aplicativo, desenvolvido para sistema operacional Android, utilizando uma IDE dedicada a plataforma.

O armazenamento dos mesmos, foi realizada em um *datalogger* baseado em um circuito Arduino. Para os testes foi utilizado um sensor termoresistência do tipo PT-100 e um transmissor de temperatura convertendo o valor de resistência do instrumento em um sinal analógico.

3.1 REDES SEM FIO INDUSTRIAIS

As redes sem fio industriais são projetadas para detectar eventos ou fenômenos físicos, coletar e processar dados, e assim, transmitir as informações percebidas para usuários interessados. São compostas por pequenos dispositivos, chamados de nós sensores e por pelo menos um ponto de comunicação, denominado estação base. Os nós sensores podem ser equipados com um ou mais sensores, os quais monitoram o ambiente de acordo com a aplicação a que se destinam. São distribuídos espacialmente em uma determinada área física que se deseja monitorar, e usam enlaces sem fio para realizar tarefas de sensoriamento (FREITAS et al, 2007).

Para aplicações industriais as redes sem fio devem atender aos seguintes requisitos:

- Qualidade de Serviço (QoS) similar às redes tradicionais;
- Tempo de atraso reduzido (possibilidade de execução em tempo real);
- Confiabilidade e segurança dos dados;
- Coexistência com a estrutura legada;
- Robustez frente às condições ambientais agressivas (por exemplo: interferência eletromagnética, variações de temperatura, umidade, dentre outros).

No meio industrial, algumas plantas apresentam ambientes hostis tanto para as pessoas, quanto para os equipamentos, devido ao processo ali operado. Algumas vezes se tornando oneroso ou inviabilizando a instalação e manutenção de equipamentos de monitoramento e atuação. Dependendo do caso, o uso de redes sem fio se torna uma alternativa.

Nos últimos anos, a tecnologia de redes sem fio sofreu grandes avanços tecnológicos, o que hoje pode proporcionar: segurança, confiabilidade, estabilidade, auto-organização (*mesh*), baixo consumo, sistemas de gerenciamento de potência e baterias de longa vida (CASSIOLATO, 2011b).

Em termos de benefícios podemos citar, entre outros:

- a redução de custos e simplificação das instalações.
- a redução de custos de manutenção, pela simplicidade das instalações.
- monitoração em locais de difícil acesso ou expostos a situações de riscos.
- escalabilidade.
- integridade física das instalações com uma menor probabilidade a danos mecânicos e elétricos (rompimentos de cabos, curto circuitos no barramento, ataques químicos, entre outros).

Hoje no mercado vemos várias redes proprietárias e também algumas padronizadas. Existem muitos protocolos relacionados com as camadas superiores da tecnologia (ZigBee, *WirelessHART™*, ISA SP100, Bluetooth) e o protocolo IEEE 802.15.4 (2006) para as camadas inferiores. O protocolo IEEE 802.15.4 define as

características da camada física e do controle de acesso ao meio para as *Low-Rate Wireless Personal Area Network* (LR-WPAN) (CASSIOLATO, 2011a).

O comissionamento de redes industriais sem fio é um importante assunto que vem tomando forma lentamente no mercado em que a robustez é uma obrigação. Atualmente, comissionamento representa práticas que permitem o início da operação da planta ou o fim de um trabalho com eficiência, segurança e também ganho econômico. Assim, as técnicas de comissionamento se tornam um marco na busca pelo melhor desempenho e qualidade em equipamentos e sistemas, proporcionando procedimentos corretos de instalação para abastecer a planta industrial (COSTA et al., 2014).

O método proposto, por COSTA et al. (2014), visa detalhar o comissionamento em estágios de uma rede sem fio industrial, com foco na análise do projeto, instalação e certificação de comunicações em ambiente industrial, afim de se ter uma maior confiabilidade do sistema, redução do retrabalho e otimização do tempo de execução. Pontos como configuração de dispositivos, segurança e teste de performance, são extremamente importantes para garantia do funcionamento de maneira eficiente da rede sem fio a ser implementada.

3.1.1 Protocolo *WirelessHART*

O protocolo *Hart* foi desenvolvido pela *Hart Communication Foundation* (HCF), sediada em Austin / EUA data de 1989. Desde então, houve uma crescente evolução do protocolo. A última evolução significativa aconteceu em setembro de 2007, quando as especificações do *Hart* sete foram liberadas. Houve não só um aprimoramento das revisões anteriores do protocolo, mas a inserção do *WirelessHart*, que endereça a comunicação wireless de maneira simples, robusta e segura entre instrumentos de campo *Hart* (JUNIOR, 2009).

Figura 2: *WirelessHART*



Fonte: Disponível em <https://centerotech/>, em 06 de novembro de 2018.

O *WirelessHart*, vide a logo na Figura 2, fornece um robusto protocolo padrão sem fios para toda a gama de processo de medição, controle e aplicações de gestão de ativos. Baseado no familiar protocolo *Hart*, o *WirelessHart* permite aos usuários de forma rápida e fácil ganhar os benefícios da tecnologia sem fios, mantendo a compatibilidade com dispositivos, instrumentos de campo e ferramentas *Hart* já instalados.

A arquitetura do *WirelessHart* é baseada no modelo de camada OSI e é composto por cinco camadas: aplicação, transporte, rede, enlace e física. A Figura 3 apresenta uma comparação entre as arquiteturas *Hart* e *WirelessHart*.

Figura 3: *Wireless Mesh Networking*

Modelo OSI	Hart	WirelessHart
7. Camada de Aplicação	Orientado a comandos. Tipos de dados pré-definidos e aplicações.	Orientado a comandos. Tipos de dados pré-definidos e aplicações.
6. Camada de Apresentação		
5. Camada de Sessão		
4. Camada de Transporte	Auto segmentação de pacotes, transporte confiável e segmentos com tamanhos negociáveis.	Auto segmentação de pacotes, transporte confiável e segmentos com tamanhos negociáveis.
3. Camada de Rede		Rede Mesh com caminhos redundantes.
2. Camada de Enlace	Protocolo binário, orientado a byte, baseado na passagem de tokene no modelo Mestre / Escravo.	Seguro, confiável e síncrono (TDMA /CSMA).
1. Camada Física	Sinais analógico (4 a 20mA) e digital simultâneos.	2,4GHz IEEE 802.15.4, potência de transmissão = 10dBm

Fonte: Disponível em <https://www.automacaoindustrial.info/o-protocolo-wirelesshart-parte-2/>, em 10 de novembro de 2018.

As camadas de enlace e física do *WirelessHart* sofreram modificações. A camada física é compatível com rádios baseados no padrão IEEE 802.15.4 e é especificada uma nova camada de link de dados (incluindo a MAC). Além disso, uma camada de rede foi introduzida na arquitetura *WirelessHart*, pois não existia na arquitetura *Hart*, para suportar a topologia *mesh* (JUNIOR, 2009).

A rede *WirelessHart* utiliza o padrão IEEE 802.15.4 compatível com rádios que operam na frequência 2.4GHz à taxa de 250Kbps. Os rádios empregam a tecnologia Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS) e a tecnologia de canal de saltos em frequência (FHSS) para estabelecer uma comunicação segura e confiável.

Combinando as tecnologias FHSS e DSSS, o *WirelessHart* provê rejeição de interferência (FHSS) e um ganho de codificação (DSSS). Para a camada física existe ainda a função lógica CCA (*Clear Channel Assessment*) que determina o estado de uso corrente de um meio wireless, ou seja, auxilia no processo de decisão de quando transmitir um pacote e baseia-se na existência ou não de atividade do meio sem fio (JUNIOR, 2009).

Além disso, a comunicação na rede *WirelessHart* usufrui da tecnologia TDMA (*Time Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo) na camada de enlace e do controle de latência da comunicação entre os dispositivos e a rede. A tecnologia TDMA é fortemente sincronizada onde cada instrumento guarda uma simultaneidade de tempo de rede preciso e mantém sincronizado com todos os instrumentos vizinhos.

A segurança e a integridade dos dados na rede *WirelessHART* é garantida pelo uso do algoritmo de codificação *Advanced Encryption System* (AES) de 128-bits. O algoritmo AES é baseado em um arranjo de permutação de substituição, podendo ser implementado tanto em *software* quanto em *hardware*. O protocolo utiliza 128-bits com três chaves simétricas, sendo *join key*, *network* e *session*. As duas primeiras, são utilizadas para a entrada e manutenção na rede, enquanto a terceira chave é utilizada para manter a integridade da mensagem durante as transações (MULLER, 2010).

Em redes centralizadas, como a *ZigBee*, o gerente da rede não suporta uma ampla rede por limitação de recursos. Nesse caso, com mais de 200 nós, a rede terá um aumento na duração de atraso e na perda de pacotes. Por outro lado, o uso de mais de um *gateway* ajuda o gerente da rede na comunicação na rede *WirelessHART* (YUN et al, 2010).

3.1.2 Protocolo ISA-100

O ISA100, vide o logo na Figura 4, é um padrão de rede sem fio industrial desenvolvido pela comissão da SP100, estabelecida em 2005, da ISA (*International Society of Automation*). O padrão foi desenvolvido especificamente para o ambiente industrial, suportando os principais protocolos utilizados (*HART*, *Profibus*, *CIP-Common Industrial Protocol* e *Foundation Fieldbus*) no topo da sua camada de aplicação.

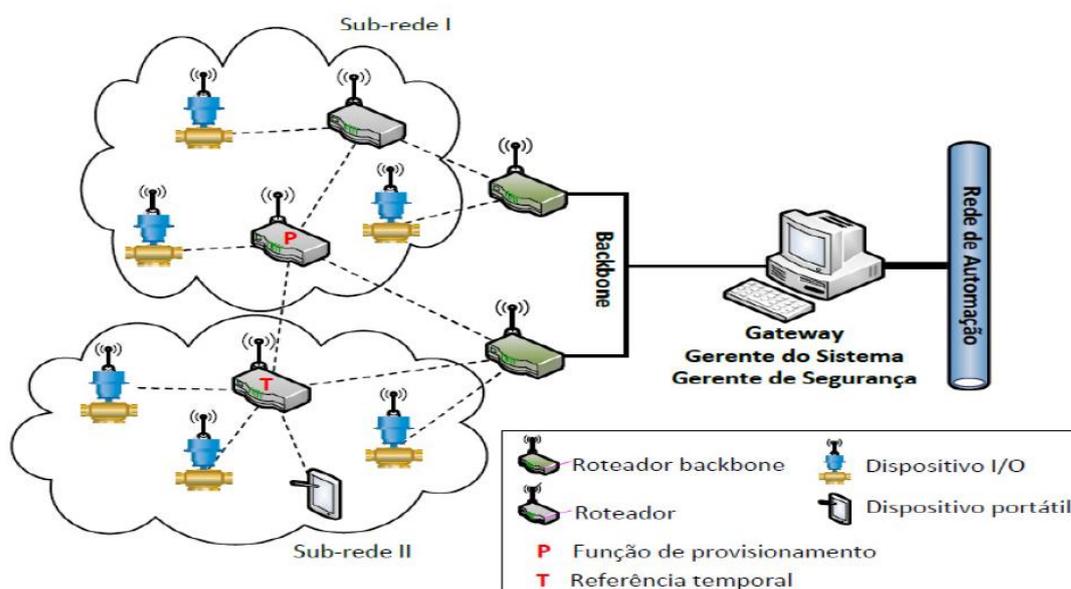
Figura 4: ISA 100 Wireless



Fonte: Disponível em <https://www.isa.org/news-and-press-releases/isa-press-releases/2014/april/nexcom-joins-isa100-wireless-compliance-institute/>, em 06 de novembro de 2018.

A rede possui duas classes principais de dispositivos: os de campo e de *backbone*. A classe de dispositivos de campo pode ser *Full Function Device* (FFD) ou *Reduced Function Device* (RFD), sendo que a última não possui a capacidade de roteamento. Os *backbones* são FFD, no qual são continuamente energizados, ao contrário dos dispositivos de campo que possuem uma bateria limitada (sem capacidade de roteamento) ou energia moderada (com capacidade de roteamento). A Figura 5 ilustra os componentes e estrutura de funcionamento de uma rede ISA100.11 (AI AGHA, 2009).

Figura 5: Rede Básica ISA100



Fonte: SILVA, 2013.

O padrão relacionado à rede sem fio abrange diversas áreas de automação, tanto predial como industrial, transmissão e distribuição de informações e identificação por radiofrequência.

Pelo fato dessas áreas possuírem diferentes aspectos físicos e referentes aos diferentes tempos de operação de cada equipamento, o padrão foi subdividido em seis classes numeradas de 0 a 5, de acordo com o nível de restrição temporal. Estas classes são ainda subdivididas em três categorias de acordo com sua aplicação, na Tabela 1 estas categorias podem ser vistas.

Tabela 1: Categoria, Classes, Aplicação e Descrição ISA - SP100

Categoria	Classe	Aplicação	Descrição
Segurança	0	Ação Emergencial	Restrição temporal sempre crítica.
	1	Sistema regulatório de controle de malha fechada	Restrição temporal normalmente crítica
	2	Sistema supervisorio de controle de malha fechada	Restrição temporal não crítica
Controle	3	Sistema de controle de malha aberta	Restrição temporal quase desprezível
	4	Alerta	Aplicações com consequências operacionais de curto prazo
Monitoramento	5	Registro	Eventos menores urgentes

Fonte: Disponível em <http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/wireless-isa-100/>, em 10 de novembro de 2018.

O protocolo ISA100 utiliza o sistema AES (*Advanced Encryption Standard*) para criptografia e verificação de integridade. Esse sistema não é somente utilizado em redes wireless, mas também universalmente em troca de dados. O AES é usado para obter informações on-line das instituições financeiras, como bancos e sites de comércio eletrônico (MOURA e BARRO, 2017).

3.1.3 Protocolo Bluetooth

Bluetooth, vide a logo na Figura 6, é um padrão global de comunicação sem fio e de baixo consumo de energia que permite a transmissão de dados entre dispositivos, desde que um esteja próximo do outro. Uma combinação de hardware e software é utilizada para permitir que esse procedimento ocorra entre os mais variados tipos de aparelhos (ALECRIM, 2018).

Figura 6: *Bluetooth*



Fonte: Disponível em <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2011/03/um-pequeno-guia-sobre-o-bluetooth-seu-uso-e-funcionamento.html>, em 19 de novembro de 2018.

A transmissão de dados é feita por meio de radiofrequência, permitindo que um dispositivo detecte o outro independente de suas posições, sendo necessário apenas que ambos estejam dentro do limite de proximidade (via de regra, quanto mais perto um do outro, melhor) (ALECRIM, 2018).

O nome *Bluetooth* é uma homenagem ao Rei da Dinamarca do século X - Harald Bluetooth (*Blatand* em dinamarquês), devido a sua capacidade de unir. Como o Rei Harald, a tecnologia *Bluetooth* tem o objetivo de unir as pessoas e permitir que elas falem entre si. Em respeito ao Rei Harald, o logotipo oficial da *Bluetooth*, é composto dos caracteres rúnicos H e B – de Harald *Bluetooth* (ALECRIM, 2018).

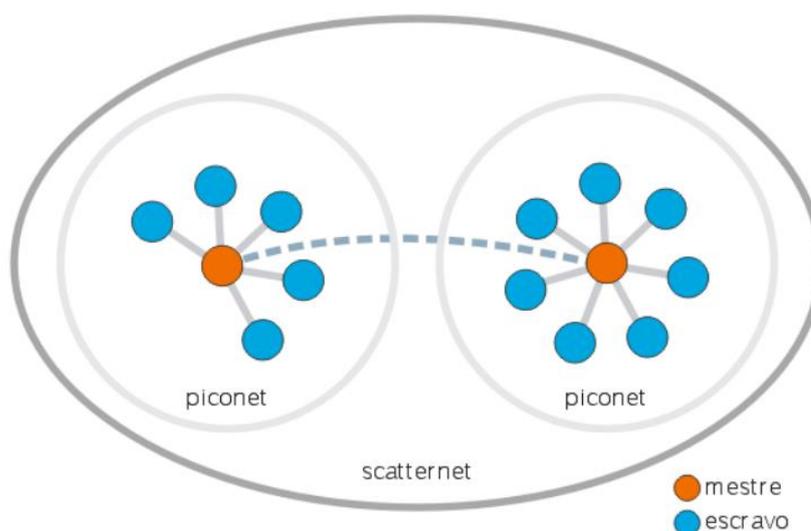
Para que seja possível atender aos mais variados tipos de dispositivos, o alcance máximo do *Bluetooth* foi dividido em três classes:

- Classe 1: potência máxima de 100 mW (miliwatt), alcance de até 100 metros.
- Classe 2: potência máxima de 2,5 mW, alcance de até 10 metros.
- Classe 3: potência máxima de 1 mW, alcance de até 1 metro.

O *Bluetooth* é uma tecnologia criada para funcionar no mundo todo, razão pela qual se fez necessária a adoção de uma frequência de rádio aberta e aceita em praticamente qualquer lugar do planeta. A faixa ISM (*Industrial, Scientific, Medical*), que opera à frequência de 2,45 GHz, é a que se mais se aproxima dessa necessidade, sendo utilizada em vários países, com variações que vão de 2,4 GHz a 2,5 GHz (ALECRIM, 2018).

A comunicação do *Bluetooth* se dá através de uma rede denominada *piconet*, que só permite a conexão de até oito dispositivos. Porém, para aumentar essa quantidade, é possível sobrepor mais *piconets*, capacitando o aumento de conexões pelo método chamado de *scatternet*, explicitado na figura 7 (CÂMARA, 2012).

Figura 7: *Scatternet*



Fonte: Disponível em <http://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2006/T2/057642-T.pdf>, em 19 de novembro de 2018.

O *Bluetooth* é uma tecnologia em permanente evolução, o que faz suas especificações mudarem e novas versões surgirem com o tempo. Com relação ao projeto desenvolvido foi utilizada a versão 4.0 e uma variação da tecnologia chamada *Bluetooth Low Energy* ou, simplesmente, *Bluetooth LE*.

As especificações da versão 4.0 foram anunciadas em dezembro de 2009 e o seu principal diferencial está no aspecto da economia: o padrão é capaz de exigir muito menos energia quando o dispositivo está ocioso, característica especialmente interessante, por exemplo, para telefones celulares que consomem energia quando o

Bluetooth não está sendo utilizado, mas permanece ativo. A ideia, na verdade, foi fazer a tecnologia ser incorporada a dispositivos bastante portáteis e que, portanto, realmente dispõem de pouca energia (ALECRIM, 2018).

Como o nome diz, trata-se de uma especificação que faz a tecnologia consumir uma quantidade muito pequena de energia elétrica — menos do que as versões anteriores. Acessórios médicos portáteis, *smartwatches* e pulseiras inteligentes são exemplos de dispositivos que, por serem muito compactos, usam baterias de baixa capacidade. Assim, toda economia de energia é válida. O *Bluetooth LE* veio para atender justamente a essa necessidade. Para consumir menos energia, o *Bluetooth LE* utiliza várias técnicas. Uma delas é a redução na velocidade de transferência de dados, que normalmente não passa de 1 Mb/s: essa taxa costuma ser suficiente, pois o volume de dados é baixo (ALECRIM, 2018).

Pela mesma razão, um módulo *Bluetooth LE* também pode ficar a maior parte do tempo em "modo de descanso". Isso quer dizer que como não há muitos dados a serem transmitidos, uma conexão de poucos milissegundos consegue dar conta de enviar ou receber todas as informações necessárias. Outra técnica é a redução do alcance da comunicação. Nesta modalidade, o *Bluetooth LE* trabalha bem com distâncias de até 30 metros, mas o gasto de energia cai drasticamente se um dispositivo estiver bem perto do outro (ALECRIM, 2018).

3.1.4 Protocolo ZigBee

ZigBee é um padrão que define um conjunto de protocolos de comunicação de taxa de transmissão máxima de 250 kbps e curto alcance para redes sem fio. O *ZigBee* padrão opera na frequência de 2,4 GHz e seu nome *ZigBee* vem do comportamento das abelhas que voam em *zig zag*, trocando informações sobre distância, direção e localização de onde encontrar alimentos (SILVA, 2011).

O padrão *ZigBee* foi desenvolvido pelo consórcio denominado *ZigBee Alliance*, vide a logo na Figura 8. O propósito deste consórcio era descrever os protocolos de maneira que os fabricantes possam produzir dispositivos compatíveis entre si. Ou seja, produtos de fabricantes diferentes que implementem o padrão *ZigBee* são compatíveis (ZIGBEE ALLIANCE, 2018).

Figura 8: ZigBee



Fonte: Disponível em <https://www.prnewswire.com/news-releases/wulian-joins-zigbee-alliance-board-of-directors-300042461.html>, em 06 de novembro de 2018.

A tecnologia de redes sem fio *ZigBee*, tem seus dispositivos operando na faixa ISM (*Industrial Scientific and Medical*), a qual não requer licença para funcionamento, incluindo as faixas de 2,4GHz (Global), 915Mhz (América) e 868Mhz (Europa) e com taxas de transferência de dados de 250kbps em 2,4GHz, 40kbps em 915Mhz e 20kbps em 868Mhz. Dependendo da velocidade de conexão que pode ser entre 10Kbps e 115 Kbps, o alcance de transmissão varia entre 10m e 100m, podendo chegar a mais, dependendo diretamente da potência dos equipamentos e de características ambientais, como obstáculos físicos e interferência eletromagnética, como definido pela *ZigBee Alliance* (ZIGBEE ALLIANCE, 2018).

A estrutura do funcionamento das redes *ZigBee* pode se dar de 3 formas (topologias): estrela, árvore ou malha. Coordenador (*coordinator*), roteadores (*routers*), clientes (*end devices*) são os integrantes dessas redes. O coordenador é quem inicia a rede definindo o canal de comunicação usado, além de gerenciar os nós da rede e armazenar informações sobre eles. Os roteadores ficam responsáveis pelo envio de mensagens entre nós da rede. E os clientes geralmente são dispositivos simples que apenas se comunicam com outro nó da rede. Dentro dessas definições existem outros dois referentes aos tipos de dispositivos que podem ser FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*). FFD pode funcionar em toda a topologia do padrão, desempenhando a função de coordenador da rede e conseqüentemente ter acesso a todos os outros dispositivos. Trata-se de dispositivos de construção mais complexa. RFD é limitado a uma configuração com topologia em estrela, não podendo atuar como um coordenador da rede, este pode comunicar-se apenas com um coordenador de rede e são dispositivos de construção mais simples.

Os dispositivos que compõe uma rede ZigBee e suas funcionalidades podem ser melhor observadas na Tabela 2 (PINHEIRO, 2004).

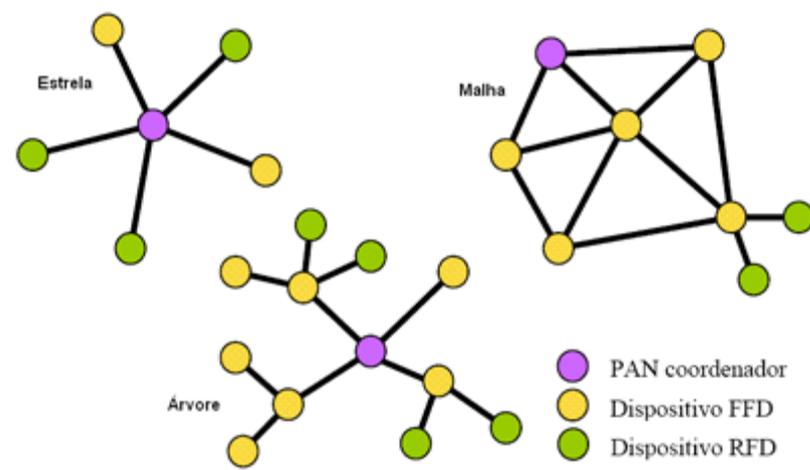
Tabela 2: Dispositivos ZigBee

Dispositivo	Tipo de Dispositivo Físico (IEEE 802.15.4)	Função
Coordenador	FFD	Forma a rede, atribui endereços, suporta <i>binding table</i> . Existe somente um por rede.
Roteador	FFD	Permite que mais nós se juntem a rede, ao aumentar seu alcance físico. Pode também efetuar funções de controle ou monitoramento. A sua existência é opcional.
Dispositivo Final	RFD ou FFD	Efetua ações de controle ou monitoramento através de um dispositivo que lhe esteja associado (sensor, controlador, atuador...)

Fonte: Do autor, em 06 de novembro de 2018.

Na topologia estrela deve haver pelo menos um coordenador e os demais dispositivos podem ser do tipo cliente para reduzir o custo do sistema. A topologia árvore é formada por sub-redes que se comunicam entre si através de elementos roteadores. Aqui, há mais de um elemento coordenador, cada um gerenciando uma rede diferente. Na topologia malha permite que, com a entrada de novos dispositivos, a rede se ajuste automaticamente durante sua inicialização, otimizando o tráfego de dados, as topologias árvore, estrela e malha. Isso pode ser observado na Figura 9.

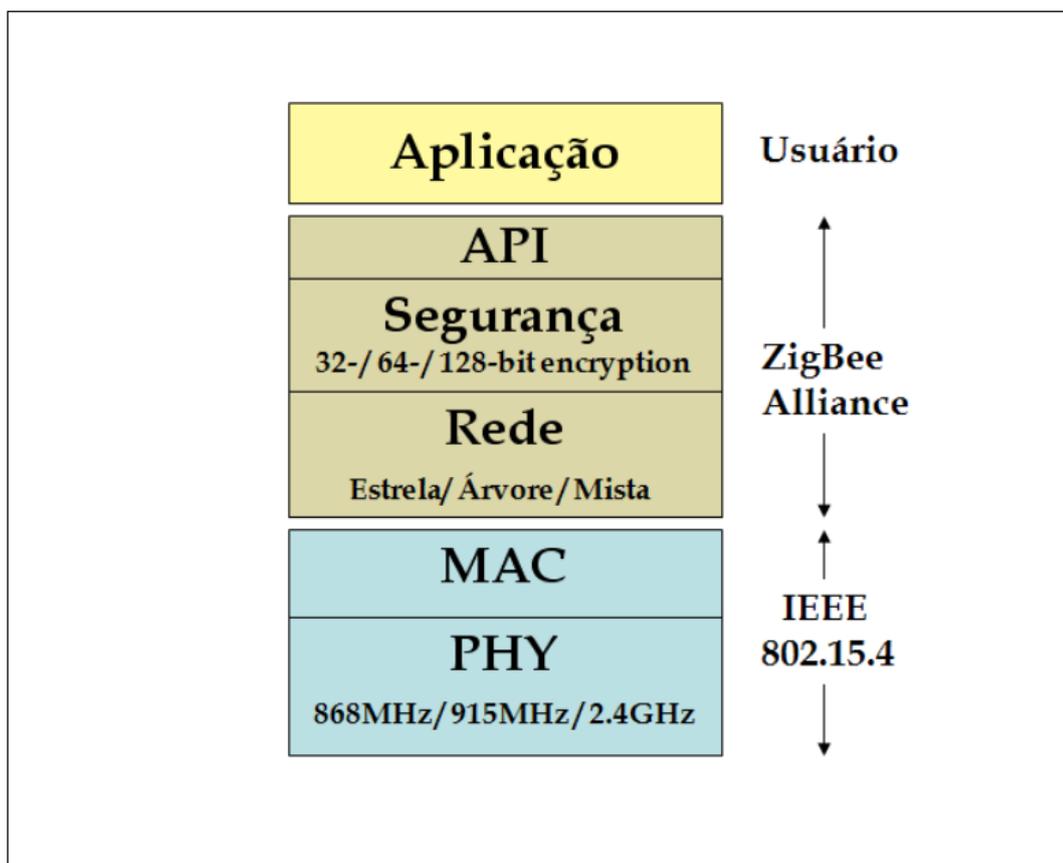
Figura 9: Topologia ZigBee



Fonte: Disponível em https://www.gta.ufrj.br/grad/07_1/zigbee/topologias.html, em 11 de novembro de 2018.

Tal como em outros protocolos, a arquitetura do protocolo *ZigBee* é composta por camadas, havendo uma estrutura hierárquica. Cada entidade de serviço fornece uma interface para a camada superior através do ponto de acesso ao serviço SAP (*Service Access Point*) e cada SAP suporta um número de primitivas de serviço para ativar a funcionalidade que será solicitada pela camada superior. Apesar de o protocolo *ZigBee* se basear no modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) que tem sete camadas, a arquitetura do protocolo *ZigBee* apenas define as camadas necessárias para atingir um conjunto de funcionalidades desejadas (SALEIRO e EY, 2010). De uma forma muito sucinta, as várias camadas da arquitetura protocolar podem ser esquematizadas, conforme apresentado na figura 10.

Figura 10: Padrão da Rede ZigBee em Camadas



Fonte: Disponível em <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/10/artigos/406.pdf> , em 11 de novembro de 2018.

As camadas definidas pela norma IEEE 802.15.4 são as camadas Física (PHY) e a de Controle de Acesso Médio (MAC). As camadas de Aplicação (API), Rede e Segurança são definidas pela *ZigBee Alliance*, como indicado na Figura 10.

A segurança do *ZigBee* é tratada já na definição do padrão IEEE 802.15.4, onde este define o uso de um algoritmo de segurança baseado na simplificação do algoritmo de roteamento, o AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*) (PINHEIRO, 2004).

O algoritmo de roteamento AODV foi desenvolvido com o propósito de ser utilizado em redes *ad hoc* por nós móveis. O protocolo oferece uma rápida adaptação as condições dinâmicas dos enlaces, baixo processamento e reduzida taxa de utilização da rede, e determina rotas para destinos dentro de uma rede *ad hoc* (PINHEIRO, 2004).

A segurança da rede *ZigBee* acontece na camada MAC, onde um algoritmo de criptografia utilizando o padrão AES (*Advanced Encryption Standard*), descreve uma

grande variedade de rotinas. Confidencialidade, integridade e autenticidade dos frames da camada MAC é de responsabilidade dessas rotinas. A MAC tem como funcionalidade fazer o processamento de segurança, mas serão as camadas superiores que ajustam as chaves de criptografia de acordo com os níveis de segurança que deverão ser usados (PINHEIRO, 2004).

“Quando a camada MAC transmite (ou recebe) um frame, verifica o destino (a fonte do frame), recupera a chave associada com esse destino (fonte), e usa então esta chave para processar o frame de acordo com a rotina de segurança designada para a chave que está sendo usada. Cada chave é associada à uma única rotina de segurança e o cabeçalho do frame MAC possui um bit que especifica se a segurança para o frame está habilitada ou não” (PINHEIRO, 2004).

A Tabela 3 faz um comparativo das características das camadas dos protocolos mencionados neste projeto. Ficando demonstrado as vantagens de se utilizar o protocolo ZigBee no projeto, o mesmo possuindo diferentes taxas de transmissão e frequência de operação. Além de apresentar mais opções de topologia de rede e grande capacidade de expansão e adição de dispositivos.

Tabela 3: Comparação entre as redes sem fio

	<i>WirelessHart</i>	ISA SP100	<i>Bluetooth</i>	<i>ZigBee</i>
Taxa de Transmissão	250 kbps	250 kbps	723 kbps	250 kbps 40 kbps 20 Kbps
Distância Máxima	250 m	-	100 m	1200 m
Frequência de Operação	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz 915 MHz 868 MHz
Topologia de Rede	Malha	Malha	<i>Piconet</i>	Malha
	Estrela	Estrela	Scatternet	Estrela Árvore
Imunidade a Ruídos	Alta	Alta	Alta	Alta
Número de Nós	65000	+10000/Cluster	80	Até 65000
Latência	Média	Baixa*	Alta	Alta
Interoperabilidade	Hart	Todos os Padrões**	-	-

Fonte: Do autor, em 20 de novembro de 2018.

*A latência do padrão ISA SP100 pode ter tida como baixa, mas precisa ser levada em consideração da aplicação;

**O padrão da ISA SP100 possui interoperabilidade com todas as redes sem fio, incluindo o protocolo WirelessHart, e para outros padrões cabeados como ModBus, Hart, Foudation Fieldbus, CIP e outros.

3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF,2007).

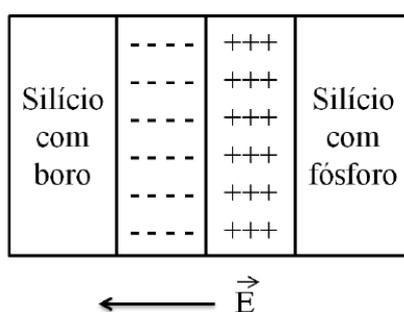
O silício puro é um semicondutor intrínseco. Logo, ele possui um gap de energia, que é a separação entre a banda de valência, totalmente preenchida, e a

banda de condução, totalmente vazia. Ao se aquecer um semiconductor a sua condutividade aumenta. O silício possui quatro elétrons de valência que se ligam aos seus átomos vizinhos, formando a rede cristalina. A dopagem do silício com o boro gera a vacância de um elétron na rede cristalina, já que o boro tem três elétrons de valência. Essa falta de elétrons gera o que chamamos de buracos, que podem ser completados por elétrons vizinhos, fazendo com que o buraco se desloque. Dessa forma, o boro é um aceptor de elétrons, ou seja, um dopante do tipo p (MACHADO e MIRANDA, 2015).

Ao fazer a dopagem com o fósforo, ao contrário do boro, haverá um elétron sobrando nas ligações, já que o fósforo tem cinco elétrons de valência. Essa “sobra” faz com que esses elétrons estejam fracamente ligados a seu átomo de origem, permitindo que ele passe para a banda de condução facilmente. Dessa forma, o fósforo é um doador de elétrons ou um dopante do tipo n.

Quando se forma a junção p-n no material, ou seja, a justaposição do material do tipo p com o material do tipo n, surge um campo elétrico permanente na região da junção. Esse campo elétrico se forma devido ao fluxo de elétrons livres no lado n (carregado negativamente) para o lado p (carregado positivamente), tornado o lado n carregado positivamente e o lado p carregado negativamente (Figura 11).

Figura 11: Acúmulo de cargas na junção p-n.



Fonte: MACHADO e MIRANDA (2015, p. 131)

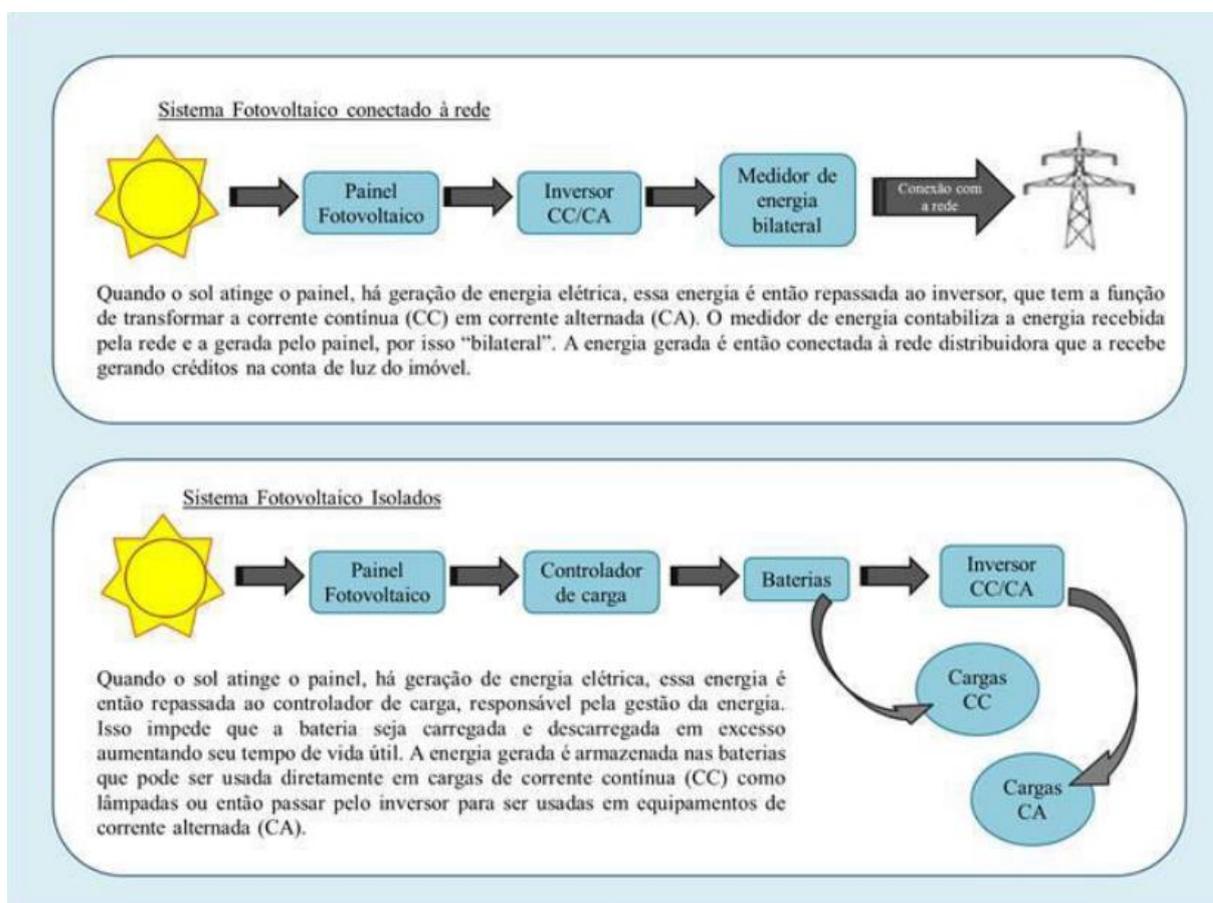
Ao ser exposto à luz, alguns elétrons do material da célula ficam mais energéticos devido à absorção de fótons. Com essa energia extra, os elétrons são acelerados, gerando uma corrente através da junção. Esse fluxo de corrente dá origem à diferença de potencial entre as duas faces da junção p-n. Esse é o efeito

fotovoltaico. Para coletar a eletricidade gerada utilizam-se filamentos condutores conectados em cada lado das células, que fecham o circuito, tornando a eletricidade gerada aproveitável (MACHADO e MIRANDA, 2015).

Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Complementando esta informação, Nascimento (2004, p.14) afirma que “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela”. Este fenômeno é denominado “Efeito Fotovoltaico”.

A figura 12 mostra um esquema de como funciona cada tipo de sistema fotovoltaico. A primeira parte do esquema apresenta sistemas conectados à rede da concessionária de energia elétrica. A segunda parte refere-se a sistemas isolados que funcionam de forma independente e são utilizados principalmente em regiões remotas, embarcações, entre outras.

Figura 12: Sistema Fotovoltaico



Fonte: Fonte: MACHADO e MIRANDA (2015, p. 129)

As células fotovoltaicas encontradas no mercado atualmente são, na grande maioria, células de silício, das quais existem três tipos. Podem ser de silício cristalino (c-Si), que se subdividem em monocristalino e policristalino, ou podem ser de silício amorfo (a-Si). Segundo dados de 2007 divulgados pelo CETEM, as células de silício monocristalino apresentam maior eficiência de conversão fotovoltaica, em torno de 12% - 15%, sendo que o valor máximo encontrado em laboratório foi de 25%, e é possível encontrar células no mercado com eficiência de até 22,7%. As células de silício policristalino têm entre 11% e 14% de eficiência, enquanto as de silício amorfo têm entre 6% e 7%

3.2.1 Tecnologias Fotovoltaicas

Em busca de novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização. Com isso, tem-se explorado novos materiais e realizado pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica (CEMIG, 2012).

O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012).

Existem três tecnologias aplicadas para a produção de células FV, classificadas em três gerações de acordo com seu material e suas características. A primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança (CEPEL e CRESESB, 2014).

A segunda geração, também chamada de filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).

A terceira geração, é definida pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), como células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único *band-gap* eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade (IEEE, 2014).

Por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, têm-se as células orgânicas ou poliméricas (CEPEL e CRESESB, 2014).

3.2.1.1 Módulo fotovoltaico silício monocristalino (m-Si)

A maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino, Figura 13, são obtidos a partir de fatias de um único grande cristal, mergulhados em silício fundido (MACHADO e MIRANDA, 2015).

Figura 13: Placa Fotovoltaica Monocristalino



Fonte: Disponível em <https://www.dx.com/p/sunwalk-3w-5v-a-level-solar-monocrystalline-silicon-solar-charger-2078049#.XYQlcihKjIU>, acesso em 19 de setembro de 2019.

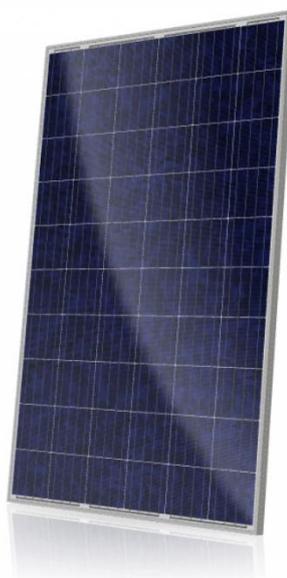
Segundo Tolmasquim (2003) os módulos de silício monocristalino são produzidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino em fornos especiais. São obtidas por corte de barras em forma de pastilhas finas (300 μm de espessura). Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é da ordem de 15%.

Os módulos fotovoltaicos a base de silício monocristalino têm a desvantagem de apresentarem alto custo de produção, devido às quantidades de materiais utilizados e a energia envolvida na sua fabricação (CEPEL e CRESESB, 2014).

3.2.1.2 Módulo fotovoltaico silício policristalino (p-Si)

Segundo Ruther (2004), a eficiência do módulo fotovoltaico p-Si, Figura 14, é menor que a do silício monocristalino, mesmo sendo fabricados pelo mesmo material. Isto, pois, ao invés de ser formado por um único cristal, é fundido e solidificado, resultando em um bloco com grandes quantidades de grãos ou cristais, concentrando maior número de defeitos. Em função destes, o seu custo é mais baixo quando comparados aos módulos monocristalinos.

Figura 14: Placa Fotovoltaica Policristalina



Fonte: Disponível em <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-330wp-canadian-csi-cs6u-330wp.html>, acesso em 19 de setembro de 2019.

3.2.1.3 Filmes finos

Diversos estudos elaborados nesta área têm direcionado a fabricação dos filmes finos a utilizarem diferentes materiais semicondutores e técnicas de deposição. Por exemplo, em camadas finas de materiais silício e outros, sob uma base que pode ser rígida ou flexível. Entre os materiais mais estudados estão o silício amorfo (a-Si), Figura 15. (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Em comparação às demais tecnologias fotovoltaicas, os filmes finos apresentam a grande vantagem de consumir menos matéria prima e menos energia em sua fabricação, tornando muito baixo o seu custo. Além disso, a reduzida complexidade na fabricação torna mais simples os processos automatizados, favorecendo sua produção em grande escala (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Vantagens do Painel Solar de Filme Fino

- A produção em massa é simples em comparação com a tecnologia cristalina. Isto os torna potencialmente mais baratos de fabricar do que as células solares de base cristalinas.
- Sua aparência homogênea é esteticamente bonita.
- Pode ser feito flexível, o que abre um leque de aplicações muito grande.
- Altas temperaturas e sombreamento de árvores e outras obstruções têm menos impacto sobre o desempenho do painel solar de filme fino.

Desvantagens do Painel Solar de Filme Fino

- Painéis solares de filme fino não são, em geral, utilizados na maioria das instalações de sistemas fotovoltaicos residenciais. Eles são baratos, mas eles também exigem uma grande quantidade de espaço.
- Menos eficiência por m² significa que o seu custo com estrutura de instalação, mão-de-obra e cabeamento tende a aumentar.
- Painéis solares de filme fino tendem a degradar mais rapidamente do que os painéis solares mono e policristalinos, e é por isso que eles geralmente vêm com uma garantia mais curta.

Figura 15: Placa Fotovoltaica Filme Fino



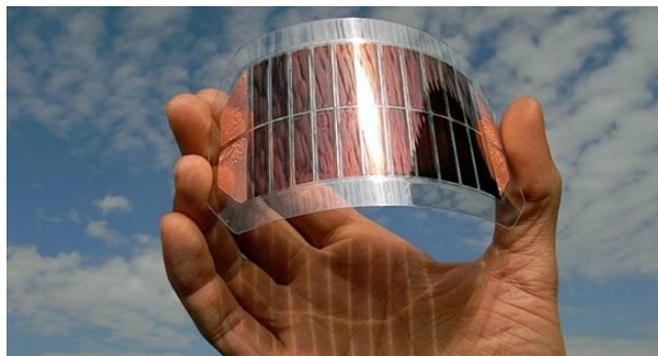
Fonte: Disponível em <http://www.explorelabs.com/2v-1w-thin-film-flexible-solar-panel>, acesso em 19 de setembro de 2019.

3.2.1.4 Módulo fotovoltaico orgânico

Um módulo fotovoltaico orgânico, figura 16, é um tipo de módulo solar de polímero que usa a eletrônica orgânica, um ramo da eletrônica que lida com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para absorção de luz e transporte de carga para a produção de eletricidade a partir da luz solar pelo efeito fotovoltaico. A célula solar de polímero orgânico foi idealizada há muitos anos como uma tecnologia fotovoltaica flexível, de baixo custo, feita utilizando processos de impressão, máquinas simples e materiais abundantes. Hoje são poucas as empresas que conseguiram levar a produção de células fotovoltaicas (OPV) para uma escala industrial. No Brasil existe a CSEM Brasil, em Belo Horizonte, que está desenvolvendo esta produção com tecnologia principalmente suíça. (PORTALSOLAR, 2019)

Eles utilizam um processo industrial (roll to roll) de impressão de células fotovoltaicas orgânicas em substrato leve, flexível e transparente. As eficiências das células orgânicas variam.

Figura 16: Placa Fotovoltaica Orgânica



Disponível em <http://www.explorelabs.com/2v-1w-thin-film-flexible-solar-panel>, acesso em 19 de setembro de 2019.

Os módulos fotovoltaicos orgânicos são maleáveis, transparentes, tem baixo custo e possibilidade de reciclarem após o uso, as expectativas de uso já são muitas sobre as células solares, principalmente se forem utilizadas em residências e pequenas indústrias, pois já possuem proveito estético pela fácil adaptação e aplicação em diversos designs, podendo ser instaladas em janelas e paredes. (ITSOLAR, 2019)

3.2.2 Painel Solar Fotovoltaico

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

Atualmente são vários os exemplares de módulos solares produzidos, podendo ser rígidos ou flexíveis, de acordo com o tipo de célula empregada (PINHO e GALDINO, 2014). Em relação à fabricação dos painéis, torna-se importante ressaltar que, de acordo com Pinho e Galdino (2014), a produção dos módulos solares tem sofrido grande interferência governamental a partir de incentivos fiscais e ambientais. Com isso, o aumento da produção destes componentes tem reduzido os custos para a efetivação do sistema.

3.3 HARDWARE

3.3.1 XBee Zigbee S2C

O XBee é fabricado pela Digi, que fabrica componentes de comunicação sem fio, sendo um módulo que possibilita aos desenvolvedores que façam as modificações que julgarem necessárias para a comunicação entre os diversos dispositivos da rede, desde que usem o padrão disponibilizado pelo fabricante do componente, para que não haja problemas de incompatibilidade durante a elaboração do projeto. A principal diferença entre os módulos existentes é a potência de transmissão, que varia conforme o objetivo da utilização, principalmente em aspectos como necessidade de baixa latência, para aplicações que exigem alta velocidade nas respostas das requisições. Com dimensões de 2.438cm x 3.294cm, e 3g. Possuem um alcance de 100m em ambientes internos/zonas urbanas e de até 1,2km em ambientes externos. (DIGI INTERNATIONAL, 2018a).

Existe uma grande variedade de módulos XBee e nem todos implementam a pilha de protocolos ZigBee (alguns implementam apenas o IEEE 802.15.4). Opera na faixa ISM 2.4 GHz e possui taxa de transmissão de dados de 250.000 bps. É alimentado por uma tensão de 2.8 a 3.4v. Pode trabalhar na topologia de rede em malha e pode possuir até 65.000 endereços de rede.

Os módulos XBee possuem vários pinos de entrada e saída que podem atuar tanto como leitores quanto como acionadores (input/output), esses efetuam a conexão do módulo com o ambiente externo, com o intuito de realizar o trabalho para o qual foram anexados ao projeto em que estiverem sendo utilizados. As redes ZigBee são estruturadas em frames, para todas as mensagens que transitam no sistema. O formato dos dados que são enviados na comunicação entre os dispositivos XBee é definido por uma API própria que gerencia os módulos através de programas e dispositivos utilizados no desenvolvimento do cenário. (FARIAS, 2013)

Há ainda uma nova geração (S2C) dos módulos Digi XBee e XBee-PRO ZigBee, vide Figura 17, que viabilizam a rápida criação e operação de redes ZigBee (sem a necessidade de configurações ou desenvolvimentos preliminares/adicionais) e incorporam diversas melhorias em relação às versões anteriores. (ZIGBEE ALLIANCE, 2018)

Figura 17: Módulo XBee ZigBee S2C - Digi



Fonte: Disponível em <https://www.digi.com/products/models/xb24cdmsit-001>, acesso em 06 de novembro de 2018.

Principais Características

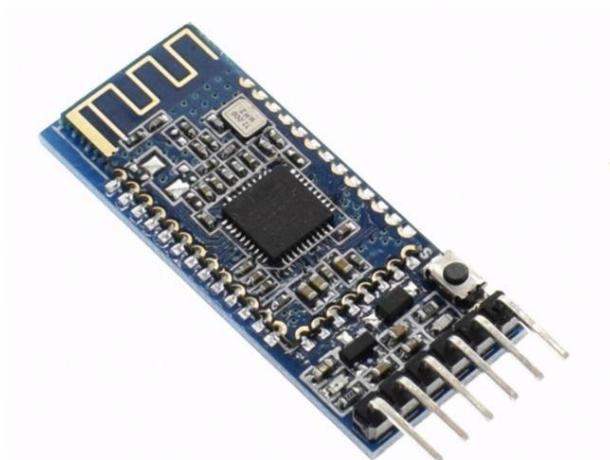
- Comunicação Ponto-a-Ponto, Ponto-Multiponto e *Mesh*.
- Interoperatividade com outros dispositivos *ZigBee* (incluindo aqueles desenvolvidos por outros fabricantes) através da incorporação do protocolo *ZigBee PRO Feature Set*.
- Utilização de comandos AT ou protocolo API *XBee* para a configuração dos módulos.
- Inclusão de interface SPI: aumenta o desempenho de comunicação com processadores externos.
- Aumento no número de GPIOs para um total de 15.
- Nova forma de definição sobre o perfil de operação na rede (coordenador, roteador e dispositivo final), com parametrização via software (não é mais necessário a substituição do *firmware*, como nos modelos S2), o que se traduz em vários benefícios:
 - Rapidez de configuração.
 - Melhoria da administração dos dispositivos em produção.
 - Eliminação da necessidade de se armazenar os firmwares em memória para a troca de perfil.

3.3.2 Módulo *Bluetooth* BLE HM-10

O Módulo *Bluetooth* 4.0 Compatível HM-10 *Master/Slave*, vide Figura 18, é um módulo *Bluetooth* que tem como peça principal o *chipset* CC2541 que opera nos modos *master* e *slave*, o modo é configurado através de comandos AT pelo próprio utilizador do módulo.

Para utilização do Módulo *Bluetooth* 4.0 Compatível HM-10 *Master/Slave* basta conectar os pinos TX e RX do módulo *Bluetooth* ao microcontrolador para fazer comunicação serial. O módulo *Bluetooth* pode ser utilizado com telefones *Iphone*, *Android*, computadores, Arduinos, Pícs, Arm ou qualquer dispositivo ou microcontrolador que possuam interface serial. (AUTO CORE ROBOTICA, 2018)

Figura 18: Módulo *Bluetooth* HM-10



Fonte: Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-bluetooth-ble-v4-0-hm-10-keyes/>, acesso em 18 de novembro de 2018.

O Módulo *Bluetooth* 4.0 Compatível HM-10 *Master/Slave* vem de fábrica com várias configurações padrão como: senha de pareamento, nome do dispositivo, velocidade de comunicação entre outros, porém todos podem ser reconfigurados pelo usuário por comandos AT. (AUTO CORE ROBOTICA, 2018)

Especificações:

- *Chipset* CC2541;
- Versão: V4.0 BLE;
- Banda: 2.4 GHz ISM;

- Tensão de Operação: 3.3/5VDC;
- Corrente de Funcionamento: 50mA;
- Alcance: Até 100 metros em campo aberto;

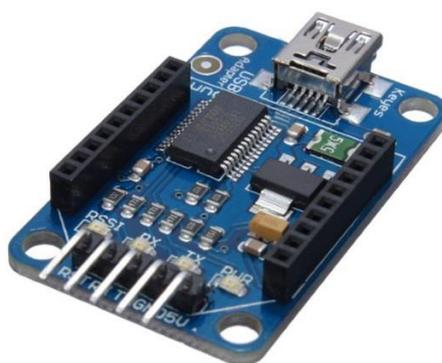
3.3.3 Módulo Adaptador Xbee

XBee Explorer USB Adapter, Figura 19, é usado para a configuração de parâmetros do módulo *XBee*, facilitando a transmissão wireless de dados. Ela regula a tensão de alimentação da porta *Universal Serial Bus* (USB) de 5 para 3,3 VCC, que é o nível de tensão necessário para energizar o *XBee*. Pode ser facilmente conectado a um computador via cabo USB mini. Possui suporte do software X-CTU e pode ser configurado pelo *XBee-setting*. Além disto pode ser usado como um adaptador USB-TTL.

Especificações:

- Configuração de parâmetros no módulo *XBee*;
- Fácil conexão ao computador via cabo USB mini;
- Suporte do software X-CTU;
- Também usado como adaptador USB-TTL;
- Tensão de Operação: +5V (*USB Power*);

Figura 19: *Adaptador USB XBee*



3.3.4 Conversor Analógico – HW685

Diversos sensores e atuadores disponíveis no mercado para aplicações industriais possuem como padrão de saída uma corrente que varia entre 4mA (valor inicial) e 20mA (valor máximo). Como a maioria dos microcontroladores (PIC, Atmel, plataforma Arduino, ZigBee e etc), possuem entradas analógicas de corrente, se faz necessário o uso de um módulo conversor. Este módulo conversor de corrente 4-20mA, Figura 20, irá permitir que o microcontrolador leia o sinal em forma de tensão, como por exemplo de 0-5V.

Possui trimpots (potenciômetros) de ajuste: ZERO ajusta a tensão de saída para 0V na corrente inicial desejada (normalmente 4mA); SPAN ajusta a tensão de saída de acordo com a corrente final (normalmente 20mA).

Especificações:

- Tensão de alimentação: 7V~35V;
- Sinal de saída: 0 à 2.5V, 3.3V, 5V, 10V;
- Tipo de entrada: Corrente de 4 à 20mA;
- Ajuste de zero e span via potenciômetro;
- Dimensões 42 x 25.20 mm;

Figura 20: Conversor HW685



Fonte: Disponível em <https://www.eletoindex.com.br/conversor-de-0-4-a-20ma-para-0-3-3v-5v-10v-conv-corrente-tens-o.html>, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.5 Módulo Regulador de Tensão Ajustável *Step-Down* LM2596

O Módulo Regulador de Tensão Ajustável LM2596, Figura 21, é um produto desenvolvido para aplicação em projetos eletrônicos onde são necessárias diferentes tensões e correntes para acionamento de componentes eletrônicos. Composto pelo regulador chaveado LM2596, trabalha com tensões de entrada de 3,2V a 40V, oferecendo em suas saídas tensões de 1,5V a 35V que podem ser ajustadas conforme sua necessidade. (PORTA, 2016)

É ideal para alimentação de motores, relés, displays ou outros componentes elétricos que operem dentro das faixas de tensões e correntes especificadas. Para o funcionamento correto do módulo é necessário observar a diferença de tensão de entrada de 1,5V maior que a de saída.

O Regulador LM2596, possibilita regulagens de tensões da saída com total precisão. Este, juntamente com os demais capacitores e indutores, é o responsável por filtrar a tensão de saída, tornando assim o Módulo Regulador de Tensão em um conversor de alta qualidade, oferecendo tensões de saída totalmente estabilizadas. (PORTA, 2016)

Especificações:

- Tensão de entrada: 3,2V~40V;
- Tensão de saída ajustável: 1,5V~35V;
- Diferença entre a tensão de entrada e saída deve ser de maior que 1,5V;
- Corrente máxima de saída: ~3A (recomenda-se adicionar dissipador de calor se potência >15W);
- Eficiência de conversão: até 92%;
- Velocidade de comutação: até 150KHz;
- Circuito de proteção: SS36;
- Temperatura de operação: -40 à 85°C;
- Dimensões (CxLxA): 44x22x12mm;

Figura 21: Módulo Step-Down LM2596

Fonte: Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/regulador-de-tensao-lm2596-conversor-dc-dc-step-down/> , acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.6 Módulo Regulador de Tensão Ajustável *Step-Up* XL6009E1

O Módulo Regulador de Tensão Ajustável XL6009, Figura 22, é um produto desenvolvido para aplicação em projetos eletrônicos onde são necessárias diferentes tensões e correntes para acionamento de componentes eletrônicos. Composto pelo regulador XL6009, o Módulo trabalha com tensões de entrada de 4V a 35V, oferecendo em suas saídas tensões de 1,25 a 30V que podem ser ajustadas conforme sua necessidade, por meio de um trimpot. (USINAINFO, 2016)

O Módulo é ideal para alimentação de motores, relés, displays, microcontroladores ou outros circuitos elétricos que operem dentro das faixas de tensões e correntes especificadas. A principal e crucial diferença deste regulador de tensão para os demais, é sua capacidade de ajustar a tensão de saída para mais (*Step Up*) ou para menos (*Step Down*) do que a tensão de entrada, por exemplo para uma tensão de entrada de 10V no módulo, esta tensão poderá ser reduzida para 5V ou aumentada para 15V, ou como melhor lhe interessar, por meio do trimpot. (USINAINFO, 2016)

Especificações:

- Modelo: XL6009;
- Tensão de entrada: 4V~30V;
- Tensão de saída ajustável: 1,25~30V;

- Corrente nominal: 2A;
- Dimensões (CXLXA): 48x25x13mm;

Figura 22: Módulo *Step-Up* XL6009E1



Fonte: Disponível em <https://www.eletrogate.com/modulo-regulador-de-tensao-step-up-xl6009e1>, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.7 Fonte Ajustável MB102

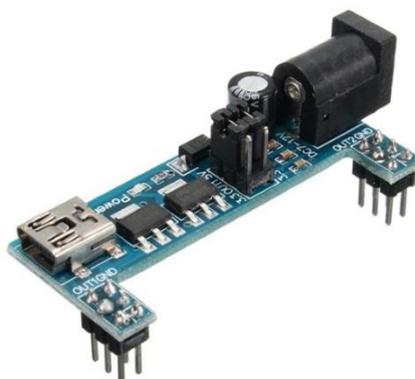
A Fonte Ajustável 3.3V / 5V para Protoboard MB102, Figura 23, é um componente desenvolvido com a finalidade de alimentar as linhas laterais de protoboards (*breadboards* / matriz de contato) padrão MB102. É composta basicamente de um conector *jack* (P4) fêmea que aceita alimentação de 6,5 a 12VDC, um botão para ligar e desligar, um conector USB para alimentação, pinos 5VD, 3,3V e GND para ramificar alimentação, e pinos dispostos de forma que sejam encaixados nas laterais da protoboard (*breadboard* / matriz de contatos) padrão MB102. Na saída dos pinos da placa terá 5V ou 3,3V. (MASTERWALKERSHOP, 2019)

É bastante utilizada em projetos com Arduino, PIC, *Raspberry*, *NodeMCU* ESP8266 e muitos outros microcontroladores. Vale ressaltar que a tensão DC dos pinos que são inseridos na protoboard podem ser ajustados para 5V ou 3,3V através de jumpers que estão disponíveis na placa. Logo, você pode ter 5V de um lado da protoboard e 3,3V do outro lado. (MASTERWALKERSHOP, 2019)

Especificações:

- Tensão de entrada 6,5~12VDC / USB;
- Tensão de saída (ajustável por jumpers): 3,3VDC ou 5VDC;
- Corrente máxima de saída: 700mA;
- Compatível com protoboard (Breadboard / matriz de contato);
- Dimensões 32mm(L) x 24mm(A) x 53mm(C);

Figura 23: Fonte Ajustável MB102



Fonte: Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/fonte-ajustavel-para-protoboard-mb102/>, acesso em 14 de setembro de 2019

3.3.8 Placa Solar Elegeek SWR6012D

Entre os diferenciais desta placa, estão:

- Maior eficiência;
- Ganho de eficiência, os painéis ocupam menor espaço;
- Vida útil em torno de 30 anos;
- Melhor funcionamento em condições de baixa luminosidade, em comparação com os painéis policristalinos;

Especificações:

- Semi-flexível;
- Saída DC com cabo DC;
- Tamanho: 260mm x 175mm;
- Tensão: 12V;
- Corrente: Máx 500mA;
- Potência: 6W;
- Eficiência: 17~21%;
- Material: Monocristalino Célula Solar;

Figura 24: Placa Solar Semi Flexível Elegeek



Fonte: Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1136303931-painel-placa-solar-semi-flexivel-12v-6w-_JM, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.9 Módulo de Proteção BMS 2S 18650

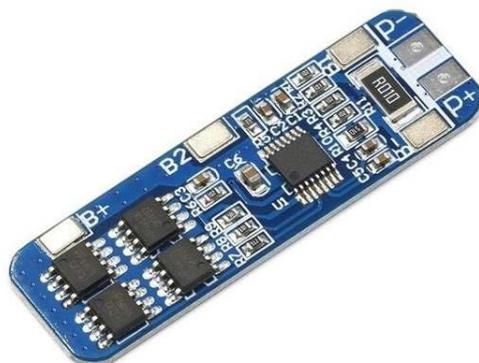
O módulo de Proteção de Carga BMS (*Battery Management System*) 2S, Figura 25, é dispositivo eletrônico de segurança altamente recomendável para projetos que envolvam baterias de lítio, permitindo que a operação carga e descarga seja devidamente monitorada e corrigida diante de algum problema. Muito eficiente, é capaz de indicar se a carga de carregamento está muito alta ou muito baixa, atuando inclusive diante de curtos circuitos, protegendo projetos e dispositivos eletrônicos (USINAINFO, 2019).

Pode carregar duas baterias 18650, permitindo a passagem de energia e corrente adequada para ambas, permitindo um carregamento adequado e seguro. Basicamente apresenta como principais funções a proteção de sobrecarga de tensão, proteção *over discharge*, proteção contra curto-circuito e proteção de corrente.

Especificações:

- Modelo: 10A2S.
- Transistor Mosfet Smd: 95n3I-lh6.
- Tensão sugerida: 8.4VDC.
- Corrente de carregamento: 10A.
- Proteção contra sobrecarga de tensão: 4.6V~4.31V.
- Recuperação de sobrecarga de tensão: 4.03V~4.13V.
- Proteção da sobrecarga de atraso: 700~1300ms.
- Proteção de sobrecarga atual: 25A.
- Proteção contra curto circuito: Sim;
- Proteção contra curto circuito / recuperação de modo: desligue a carga.
- Dimensões (CxLxE): 24x11x3mm.

Figura 25: Módulo BMS 2S



Fonte: Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1019199512-bms-placa-3s-126v-10-a-li-ion-bateria-de-litio-18650-_JM?quantity=1#position=3&type=item&tracking_id=47e728a0-bf9c-4315-bc74-0a4204e63fa4, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.10 Bateria Samsung ICR18650-30Q

Uma bateria 18650, figura 26, ou pilha 18650, é uma célula de 18 mm por 65 mm. O nome refere-se exclusivamente ao tamanho da célula de íons de lítio, mas pode haver pequenas variações mesmo aqui. O 18650 tornou-se o novo padrão ouro para baterias substituíveis e recarregáveis.

Elas oferecem o desempenho de uma célula de íons de lítio, uma capacidade na faixa de 1800mAh para cerca de 3500mAh e uma saída de 3,7 volts. Elas são usadas em uma enorme variedade de dispositivos, de laptops a chaveiros laser e acessórios para câmera, e flashes externos. (GUIA DE COMPRA, 2018)

A célula 18650 oferece um excelente desempenho de qualquer bateria recarregável para uso pessoal. Elas não são suscetíveis a danos causados pelo carregamento antes de serem completamente descarregadas (como era o caso das antigas células de níquel-cádmio), embora eles se degradem aproximadamente na mesma velocidade da bateria de um smartphone (GUIA DE COMPRA, 2018).

Especificações:

- Capacidade Nominal: 3000mAh (0.2C, 2.75V Descarga).
- Tensão Nominal: 3.7V.

- Cut-off de Tensão de Carregamento: 4.2V.
- Cut-off de Tensão de Descarga: 2.75V.
- Ciclos de Recarga: Aproximadamente 1000 ciclos.
- Tamanho: 18x65mm.

Figura 26: Bateria de Lítio 18650



Fonte: Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1147293552-2x-bateria-18650-samsung-30q-3000-mah-20a-ideal-p-vape-_JM?quantity=1, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.11 Indicador de Capacidade de Bateria de Lítio 2S 18650

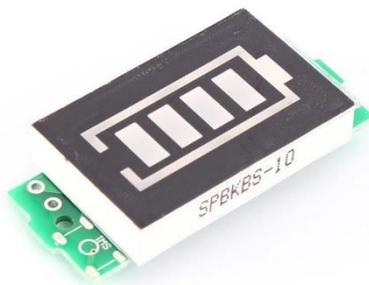
Indicador de capacidade de baterias de lítio 18650, Figura 27, modelo para 2 células (8,4V).

Escala de medição:

- Quando a tensão da bateria ultrapassar 3.3V, acenderá a quantidade de eletricidade de 1 bloco.
- Quando a tensão da bateria ultrapassar 3.5V, iluminará a quantidade de eletricidade de 2 blocos.

- Quando a tensão da bateria ultrapassar 3.7V, iluminará a quantidade de eletricidade de 3 blocos.
- Quando a tensão da bateria ultrapassar 3.9V, iluminará a quantidade de eletricidade de 4 blocos.
- Quando a tensão da bateria for menor que 3.3V, a exibição de 4 blocos estará desligada; representa bateria é menor que 3.3V

Figura 27: Voltímetro 2S 18650



Fonte: Disponível em <https://www.tindie.com/products/joylife/bms-18650-lithium-battery-capacity-indicator/#product-description>, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.12 Arduino Nano V3.0

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas do Arduino são capazes de ler entradas - luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem no Twitter - e transformá-lo em uma saída - ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online. Você pode programar à sua placa enviando um conjunto de instruções ao microcontrolador na placa. Para fazer isso, você usa a linguagem de programação Arduino (com base na fiação) e o Software Arduino (IDE), com base no processamento (ARDUINO.CC, 2018).

Arduino nasceu no *Ivrea Interaction Design Institute* como uma ferramenta fácil para prototipagem rápida, destinada a estudantes sem formação em eletrônica e programação. Assim que alcançou uma comunidade mais ampla, a placa Arduino começou a mudar para se adaptar às novas necessidades e desafios, diferenciando sua oferta de placas simples de 8 bits a produtos para aplicativos de *IoT*, *wearable*, impressão 3D e ambientes incorporados. Todas as placas do Arduino são completamente de código aberto, permitindo que os usuários as construam de forma independente e eventualmente as adaptem às suas necessidades particulares. O software também é de código aberto e está crescendo com as contribuições de usuários em todo o mundo (ARDUINO.CC, 2018).

O Arduino Nano, Figura 28, é uma placa pequena, completa e fácil de usar, baseada no ATmega328P (Arduino Nano 3.x). Possui mais ou menos a mesma funcionalidade do Arduino Duemilanove, mas em um pacote diferente. Para seu funcionamento e configuração é necessário a um cabo USB Mini-B.

Especificações:

- Microcontrolador: ATmega328.
- Tensão de Operação: 5V.
- Tensão de Entrada: 7-12V
- Portas Digitais: 14 (6 podem ser usadas como PWM).
- Portas Analógicas: 8.
- Corrente Pinos I/O: 40mA.

- Memória Flash: 32KB (2KB usado no *bootloader*).
- SRAM: 2KB.
- EEPROM: 1KB.
- Velocidade do Clock: 16MHz.
- Dimensões: 45 x 18mm.

Figura 28: Módulo Arduino Nano



Fonte: Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/placa-nano-v3-0-cabo-usb-para-arduino/>, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.13 Módulo Cartão Micro SD

O Módulo Leitor de Micro SD Card, Figura 29, é um componente desenvolvido com a finalidade de possibilitar que plataformas microcontroladas possam ler e escrever dados em micro cartões de memória. Este módulo opera em nível lógico de 3,3V e o mesmo já possui um divisor de tensão embutido para que a comunicação entre o módulo e plataformas microcontroladas de nível lógico 5V possa ocorrer normalmente.

O módulo é eficiente e compacto. Além de prático de usar e integrar em sistemas de hardware e controle, foi desenvolvido tendo em visto otimizar o trabalho de projetistas, estudantes e hobistas na construção de sistemas de *datalogger* e armazenamento de dados (VIDAL, 2018).

Basicamente, o módulo possui uma entrada para cartões Micro SD com todos os 6 pinos de interface disponibilizados para comunicação com Arduino. Por meio dos pinos SPI (protocolo de comunicação usado para ler e escrever dados na memória *Flash* do cartão), podemos ligar o Arduino e enviar informações para serem armazenadas. Também é possível fazer procedimentos de leitura para apresentar os dados gravados em mostradores como displays ou interface serial (VIDAL, 2018).

Especificações:

- Comunicação SPI;
- Lê e Grava em FAT32;
- Tensão de Alimentação: 4.5V à 5V;
- Dimensões (CxLxA): 42 x 24 x 3,5mm;

Figura 29: Módulo Cartão Micro SD



Fonte: Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-cartao-micro-sd/>, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.14 *Real Time Clock* RTC DS3231

O DS3231 é um relógio I2C em tempo real (RTC), figura 30, de baixo custo, extremamente preciso, com um oscilador de cristal com compensação de temperatura (TCXO) integrado. O dispositivo incorpora uma socket para bateria e mantém um cronômetro preciso quando a alimentação principal do dispositivo é interrompida (RINKY-DINK, 2014).

O RTC mantém informações de segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano. A data no final do mês é automaticamente ajustada para meses com menos de 31 dias, incluindo as correções para o ano bissexto. O relógio funciona no formato 24 horas ou 12 horas com um indicador AM / PM. Também dispõe de dois alarmes de hora programáveis e uma saída de onda quadrada programável. O endereço e os dados são transferidos em série através de um barramento bidirecional I2C (RINKY-DINK, 2014).

Tem um circuito de precisão e um comparador de tensão com compensação de VCC para a variação de temperatura e detecção de falhas de energia. Possui uma saída de reset e comuta automaticamente para a alimentação para a pilha quando necessário. O pino de RST é comandado por um botão que pode gerar uma reinicialização (RINKY-DINK, 2014).

Especificações:

- Tensão de operação: 3,3-5V;
- Chip: DS3231;
- Computa segundos, minutos, horas, dias da semana, dias do mês, meses e anos (de 2000 a 2099);
- Sensor de temperatura com ± 3 °C de exatidão;
- Chip de memória: AT24C32 (capacidade de 32K bytes que podem ser usadas como RAM estendida do microcontrolador);
- Interface I2C;
- Circuito de detecção de falha de energia;
- Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;
- Faixa de temperatura: 0 a 40°C;
- Dimensões: 38 x 22 x 14mm;

Figura 30: Módulo RTC DS3231



Fonte: Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.15 Cartão Micro SD

MicroSD, Figura 31, é um tipo de memória flash utilizada no formato de cartões. Eles são amplamente usados hoje para armazenar dados em celulares e câmeras digitais. Tem esse nome (micro) por ter aproximadamente um quarto do tamanho de um cartão SD normal. Suas dimensões são de 15 mm de altura, 11 mm de largura e 1 mm de espessura (ALENCAR, 2015).

A sigla SD significa *Secure Digital*. Isso por que todos os cartões microSD possuem capacidades de criptografia que impedem a cópia de materiais protegidos por direitos autorais. Os cartões anteriores ao padrão SD, como o MMC, permitiam a livre cópia e transferência de dados. A indústria fonográfica não gostou nada disso e exigiu que fosse criado um padrão mais seguro, surgindo assim o SD, que depois se transformou em miniSD e hoje está no microSD (ALENCAR, 2015).

Especificações:

- Capacidades: 16GB
- Dimensões do cartão: 11 x 15 x 1 mm (0,43 x 0,59 x 0,039 pol)
- Classificação de Classe: Alta Velocidade
- Classe 4: Taxa mínima de transferência de dados de 4MB/s
- Classe 10: Taxa mínima de transferência de dados de 10MB/s
- Temperatura de Operação -20°C a 85°C (-13°F a 185°F)
- Peso bruto: 0,025Kg

Figura 31: Cartão Micro SD 16GB



Fonte: Disponível em <https://www.shoptime.com.br/produto/110519381/cartao-de-memoria-16gb-micro-sd-adaptador-sd>, acesso em 14 de setembro de 2019.

3.3.16 Caixa de Montagem PVC

Caixa produzida em material termoplástico, figura 32, de qualidade que confere ao produto alta resistência mecânica, a impactos e boa estabilidade dimensional.

Possui fechamento por parafusos ou dobradiças e fecho plástico. O sistema de dobradiça é desmontável o que permite maior mobilidade e facilidade no manuseio durante as montagens.

A placa de montagem plástica que acompanha a caixa é removível, permitindo instalações dos equipamentos em bancada e uma maior versatilidade nas disposições dos componentes além de ser isolante. Modo de fixação em parede por parafusos, através de local indicado, para manter o grau de proteção especificado.

Especificações:

- Material: Termoplástico
- Dimensões Externas: 173 x 137 x 117mm
- Dimensões Internas: 162 x 126 x 96,5mm
- Grau de Proteção: IP65

Figura 32: Caixa de Montagem

Fonte: Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1109655517-caixa-montagem-pvc-160mmx120mmx100mm-com-fecho-e-dobradica-_JM?quantity=1, acesso em 01 de dezembro de 2018

3.3.17 Termoresistência PT-100

Os termômetros de resistência são sensores de temperatura que operam baseados no princípio da variação da resistência elétrica de um metal, em função da temperatura, sendo fabricados com fios de alta pureza de platina, níquel ou de cobre. Suas principais características são a alta estabilidade mecânica e térmica, resistência à contaminação, relação de Resistência x Temperatura praticamente linear, desvio com o uso e envelhecimento desprezíveis, além do alto sinal elétrico de saída. O sensor de resistência de platina é o modelo de laboratório e o padrão mundial para medidas de temperatura na faixa de -270°C a 962°C . Para a utilização industrial é um sensor de inigualável precisão, estabilidade e sensibilidade (CAMTEC, 2018).

A termoresistência de platina, figura 33, é a mais utilizada na indústria devido a sua grande precisão e estabilidade. Conhecida como PT-100 ou RTD, a termoresistência de platina que apresenta uma resistência ôhmica de 100 ohm à 0°C . Sua faixa de trabalho vai de -200 a 650°C , porém, a ITS-90 padronizou seu uso até aproximadamente 962°C . Os limites de erro da PT-100 são referentes às normas DIN-IEC-751/85.

Figura 33: PT-100

Fonte: Disponível em <https://egemaf.com.br/catalogos-pdf/Catalogos-Egemaf-Alta/Catalogo-Egemaf-Instrumentacao-e-Controlle.pdf>, acesso em 01 de dezembro de 2018

3.3.18 Transmissor Inor IPAQ C202

O IPAQ C202, figura 34, é um transmissor de temperatura digital fácil de usar desenvolvido especificamente para medições com sensores Pt100. Seu design robusto e alta qualidade, oferecem excelente desempenho e precisão também em condições adversas. Com a nova função de contador de tempo de execução, você pode supervisionar facilmente o tempo operacional decorrido entre as calibrações (INOR, 2015).

- Terminais robustos com conexões de teste
- Entrada: Pt100 em conexão de 3 fios
- Faixas de medição configuráveis por PC sem necessidade de calibração
- Zero flutuante com intervalo mínimo de 20 ° C
- Saída linear de temperatura
- Contador de tempo de execução
- Excelente imunidade EMC
- Configuração sem energia externa
- Software de configuração fácil de usar do Windows
- Comunicação USB

- Suporta vibrações de até 10 g
- Apenas 18,5 mm / 0,72 pol. De altura

Figura 34: Inor IPAQ C202



Fonte: Disponível em <https://www.inor.com/produkt/ipaq-c202/>, acesso em 11 de novembro de 2019.

Especificações:

- Tipo: Cabeça Montada
- Entrada: RTD
- Entrada RTD: PT-100
- Tipo de Transmissão: Digital
- Saída: 4-20 mA
- Conexão do sensor: 3 fios
- Fonte de alimentação: 6 a 32 VDC
- Precisão: $\pm 0,1\%$

3.4 SOFTWARE

3.4.1 Software X-CTU

O XCTU, vide a logo na figura 35, é um aplicativo multi-plataforma gratuito projetado para permitir que os desenvolvedores interajam com os módulos Digi RF através de uma interface gráfica simples de usar. Inclui novas ferramentas que facilitam a configuração e teste de módulos *RF XBee* (DIGI INTERNATIONAL, 2018b).

O XCTU inclui todas as ferramentas que um desenvolvedor precisa para trabalhar rapidamente com o XBee. Recursos exclusivos como visualização de rede gráfica, que representa graficamente a rede XBee juntamente com a força do sinal de cada conexão, e o construtor de quadros XBee API, que intuitivamente ajuda a construir e interpretar quadros API para XBees sendo usados no modo API, combinados para tornar o desenvolvimento na plataforma XBee mais fácil (DIGI INTERNATIONAL, 2018b).

Figura 35: Software XCTU



Fonte: Disponível em <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001458-13/>, acesso em 06 de novembro de 2018.

Outros destaques do XCTU incluem os seguintes recursos:

- Gerenciar e configurar vários dispositivos de RF, até mesmo dispositivos remotos (over-the-air) conectados.

- O processo de atualização do firmware restaura perfeitamente as configurações do seu módulo, manipulando automaticamente as alterações no modo e na taxa de transmissão.

- Salvar as sessões de console e carregá-las em um PC diferente executando o XCTU.

- O XCTU inclui um conjunto de ferramentas incorporadas que podem ser executadas sem qualquer módulo de RF conectado:

- Gerador de quadros: gere facilmente qualquer tipo de quadro de API para salvar seu valor.

- Interpretador de quadros: decodifique um quadro de API e veja seus valores de quadro específicos.

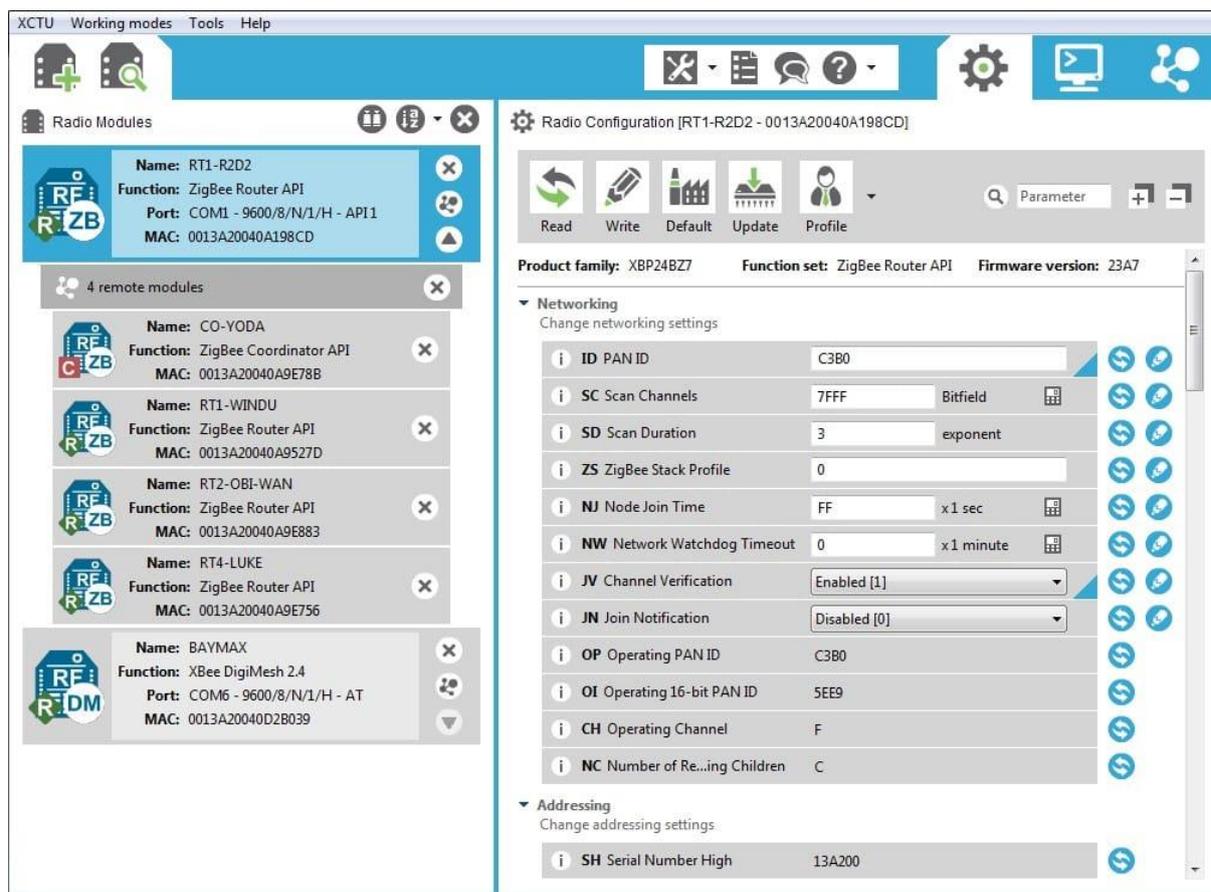
- Recuperação: Recupere os módulos de rádio que tenham o firmware danificado ou estejam no modo de programação.

- Carregar sessão do console: carregue uma sessão de console salva em qualquer PC que esteja executando o XCTU.

- Teste de alcance: Realize um teste de alcance entre dois módulos de rádio da mesma rede.

- Firmware Explorer: Navegue pela biblioteca de firmware do XCTU.

Figura 36: Tela Digi XCTU



Fonte: Disponível em <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>, acesso em 13 de novembro de 2018.

A versão utilizada, Figura 36, na pesquisa foi a 6.4.1.7 64-bits para sistema operacional *Microsoft Windows X86/X64*. Ele pode ser adquirido gratuitamente pelo sítio do fabricante (DIGI INTERNATIONAL, 2018b).

3.4.2 Sistema Operacional Android

O Android, vide logo na figura 37, é uma plataforma para dispositivos móveis baseada em um núcleo Linux, uma interface visual rica, diversas aplicações pré-instaladas, GPS, e ainda um ambiente de desenvolvimento poderoso e flexível que utiliza da linguagem Java para o desenvolvimento de aplicações. Estes recursos beneficiam tanto os fabricantes de dispositivos que agora contam com uma plataforma

única e consolidada que pode ser personalizada e utilizada em qualquer aparelho, quanto os usuários que podem desfrutar de um bom visual, fácil usabilidade, acesso à Internet, multimídia, GPS, além de outros. Favorece também os desenvolvedores, que agora trabalham sobre uma plataforma de desenvolvimento moderna e onde é possível utilizar a consagrada linguagem Java, bem como todos os seus recursos (LECHETA, 2009).

Figura 37: Android



Fonte: Disponível em <http://www.project-disco.org/competition/041916-android-app-distribution-agreements-do-not-foreclose-competition/#.W-l7YJNKJIU>, acesso em 06 de novembro de 2018

Dentre as vantagens do Android em relação a seus concorrentes, um dos principais diferenciais é o fato de poder ser executado em diversos dispositivos, algo que o iOS da Apple, por exemplo, é incapaz de proporcionar. Além disso, os autores citam ainda outros fatores: plataforma livre e gratuita; isenção de custos para desenvolvimento; grande quantidade de aplicativos gratuitos; melhor compartilhamento entre aplicativos; facilidade de desenvolvimento por utilizar a linguagem Java. Todos estes fatores juntos oferecem ao Android uma probabilidade muito maior de ser integrado à vida diária das pessoas em relação a seus concorrentes (TRIPATHI e HANS, 2013).

O que atraiu o interesse da Google foi o objetivo do projeto que possui uma plataforma aberta aos fabricantes, assim deixando flexível e atualizável, com intuito de permitir mobilidade ao usuário. Sua arquitetura é dividida em kernel, *runtime*, bibliotecas, *framework* e aplicativos, como pode ser visto na figura 38.

Figura 38: Arquitetura Android



Fonte: Disponível em https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Arquitetura-Android-segundo-suas-camadas-Kernel-nucleo-Linux-Bibliotecas_fig13_325370266, acesso em 13 de novembro de 2018.

- **Linux Kernel** : está localizado o sistema operacional da plataforma, que é baseado no Linux. Ela é responsável por serviços de mais baixo nível da plataforma, como gerenciamento de memória e processos, segurança, etc.

- **Libraries**: estão as bibliotecas nativas escritas em C/C++ que fazem parte da plataforma. Estão nesta camada APIs como o *OpenGL ES* (para renderização 3D), *SQLite* (gerenciador de bancos de dados) e suporte a diversos formatos de áudio e vídeo.

-**Android Runtime**: dá condições para que as aplicações baseadas na plataforma sejam executadas. Um dos componentes desta camada são as *core libraries*, que disponibilizam uma API Java utilizada para programação (grande parte das funcionalidades encontradas no Java SE estão disponíveis para o Android). Já o

outro componente é a *Dalvik Virtual Machine*, que é uma máquina virtual para suporte à execução de aplicações.

- **Application Framework:** ficam as APIs do Android que são normalmente utilizadas pelas aplicações que executam sobre a plataforma. Os gerenciadores de serviços de telefonia, localização e notificação são alguns exemplos do que este framework disponibiliza.

- **Applications:** representa as aplicações que executam sobre a plataforma. Elas podem ser tantas aplicações nativas - como o gerenciador de contatos, navegador, calendário, etc. - como aplicações criadas por terceiros. Aliás, para o Android não existe distinção entre aplicações nativas e aplicações desenvolvidas por outras pessoas, e é esta característica que garante a ela o alto grau de flexibilidade e extensibilidade da plataforma.

Com base na pesquisa divulgada no sítio do Android, aproximadamente 71% dos dispositivos que acessaram o sistema de compras de aplicativos, o Google *Play*, possuíam a versão 6.0 (*Marshmallow*) ou superior, conforme indicado no resultado da pesquisa feita pela Google durante 7 dias, apresentada na Tabela 4. Por serem os mais utilizados, o aplicativo desenvolvido para o protótipo tem a base na versão 4.4 *KitKat* do API 19, assim abrangendo um maior número de smartphones. Portanto, dispositivos móveis com versões inferiores não serão compatíveis com o aplicativo.

Tabela 4: Dados Coletados em 26/10/2018

Versão	Codename	API	Distribuição
2.3.3- 2.3.7	<i>Gingerbread</i>	10	0.2%
4.0.3- 4.0.4	<i>Ice Cream Sandwich</i>	15	0.3%
4.1.x		16	1.1%
4.2.x	<i>Jelly Bean</i>	17	1.5%
4.3		18	0.4%
4.4	<i>KitKat</i>	19	7.6%
5.0		21	3.5%
5.1	<i>Lollipop</i>	22	14.4%
6.0	<i>Marshmallow</i>	23	21.3%
7.0		24	18.1%
7.1	<i>Nougat</i>	25	10.1%
8.0		26	14.0%
8.1	<i>Oreo</i>	27	7.5%

Fonte: Disponível em <https://developer.android.com/about/dashboards/?hl=pt-br>, acesso em 16 de novembro de 2018

3.4.3 Android Studio

Android Studio, vide a logo na Figura 39, é um ambiente de desenvolvimento Android com base no IntelliJ IDEA oferecendo modelo expandido para Serviços do Google e vários tipos de dispositivos. Editor de layout rico com suporte para edição tema. Ferramentas *Lint* para testes de desempenho, usabilidade, compatibilidade de versão, e outros problemas (ANDROID STUDIO, 2018).

Figura 39: Android Studio

Fonte: Disponível em <https://pt.kisspng.com/kisspng-zz17x5/>, acesso em 06 de novembro de 2018

O uso do Android Studio ao invés do Eclipse foi discutido por CARVALHO (2013) em artigo publicado no *iMasters*. Foi considerado que a interface do Android Studio é atraente por possuir um leque de schema considerável, podendo utilizar vários “*Look and Feel*” diferentes. Também é possível customizar os atalhos de teclado, de forma que sejam iguais a outras IDEs, como o Eclipse. Além do *auto-complete* que vem com todos os recursos que existem no Eclipse e no IntelliJ.

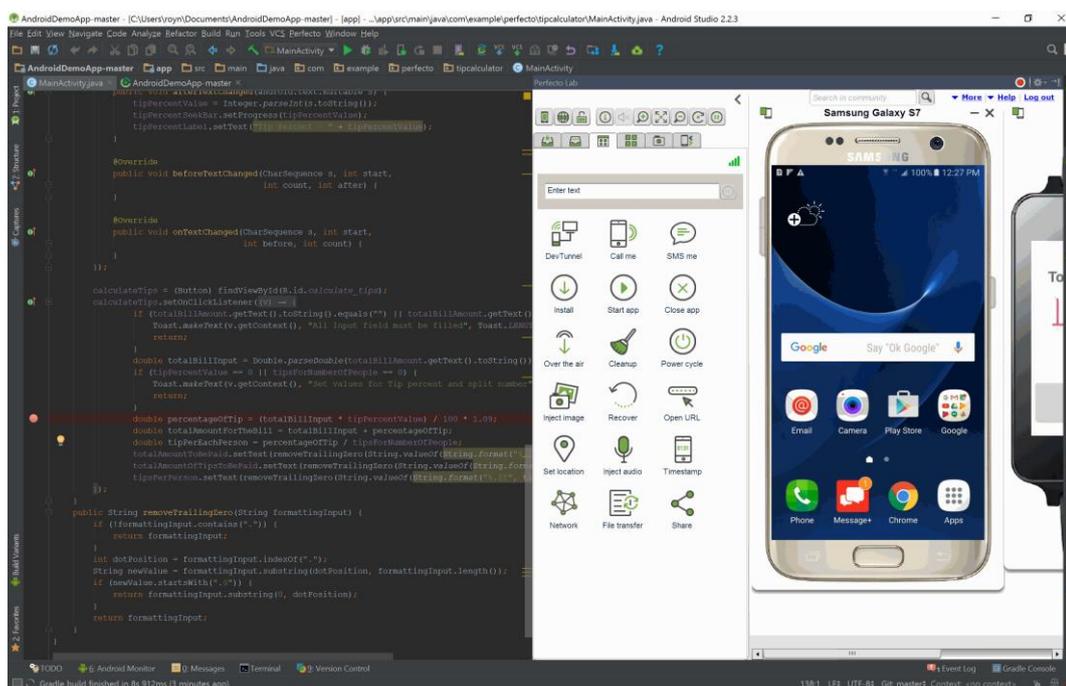
As vantagens do Android Studio sobre outras IDEs são muitas. Por exemplo, sua interface é atraente, trazendo inúmeros recursos específicos para a plataforma Android (lembrando que ele é específico para o desenvolvimento desta plataforma). Temos também que os recursos de *autocomplete* do código são um dos mais completos, pois foram agrupados os recursos do IntelliJ aos do Eclipse. Não existe a necessidade de pressionar “CTRL+Espaço” para a sugestão de preenchimento. No Android Studio a sugestão é apresentada automaticamente. (BRITO,2015)

Além disso, o Android Studio é fácil de ser integrado com sistemas de controle de versão como Git e *Subversion* e possui um preview de layout mais robusto e rápido que o utilizado pelo Eclipse. Por fim, a IDE do Google permite a *Injection Language*, possibilitando que *strings* de outras linguagens sejam validadas pela IDE. (BRITO, 2015)

O ambiente de desenvolvimento Android, vide figura 40, é multiplataforma, ou seja, além de gratuito (o que é um ótimo diferencial para programadores e empresas que estão iniciando na plataforma), é possível baixar o ambiente para diferentes

sistemas operacionais tais como *Windows*, *Linux* ou *MacOS*, sendo que o processo de desenvolvimento é praticamente o mesmo, independente do sistema operacional escolhido (BRITO, 2015).

Figura 40: Tela Android Studio



Fonte: Disponível em <https://plugins.jetbrains.com/plugin/9578-perfecto-continuous-quality-lab-for-android-studio>, acesso em 06 de novembro de 2018

3.4.4 Arduino IDE

O Arduino IDE, a logo vide figura 41, é um software de código aberto usado principalmente para escrever e compilar o código no módulo Arduino. É um software oficial do Arduino, tornando a compilação de código muito fácil para que mesmo uma pessoa comum sem conhecimento técnico prévio possa realizar (AQEEL, 2018).

Figura 41: Arduino IDE



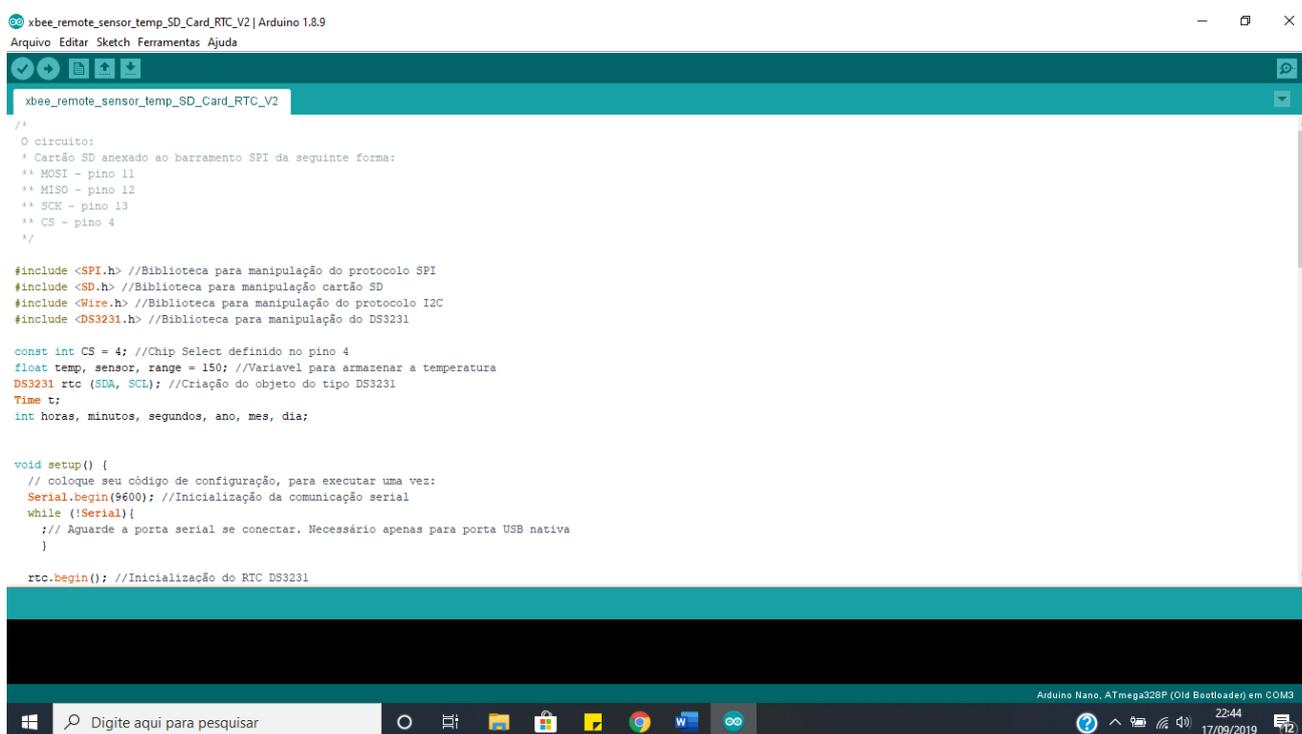
Fonte: Do autor, 02 de setembro de 2019.

Está facilmente disponível para sistemas operacionais como MAC, Windows, Linux e é executado na plataforma Java que vem com funções e comandos embutidos que desempenham um papel vital na depuração, edição e compilação do código no ambiente. Uma variedade de módulos Arduino disponíveis, incluindo Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Leonardo, Arduino Micro e muitos mais. Cada um deles contém um microcontrolador na placa que está realmente programado e aceita as informações na forma de código.

O código principal, também conhecido como esboço, criado na plataforma IDE, em última análise, gera um arquivo hexadecimal que é então transferido e carregado

no controlador na placa. O ambiente IDE, figura 42, contém principalmente duas partes básicas: Editor e Compilador, onde o anterior é usado para escrever o código necessário e mais tarde é usado para compilar e fazer upload do código no módulo Arduino fornecido. Esse ambiente suporta as linguagens C e C ++ (AQEEL, 2018).

Figura 42: Tela Arduino IDE



```
xbee_remote_sensor_temp_SD_Card_RTC_V2 | Arduino 1.8.9
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

/*
 * Circuito:
 * Cartão SD anexado ao barramento SPI da seguinte forma:
 ** MOSI - pino 11
 ** MISO - pino 12
 ** SCK - pino 13
 ** CS - pino 4
 */

#include <SPI.h> //Biblioteca para manipulação do protocolo SPI
#include <SD.h> //Biblioteca para manipulação cartão SD
#include <Wire.h> //Biblioteca para manipulação do protocolo I2C
#include <DS3231.h> //Biblioteca para manipulação do DS3231

const int CS = 4; //Chip Select definido no pino 4
float temp, sensor, range = 150; //Variável para armazenar a temperatura
DS3231 rtc (SDA, SCL); //Criação do objeto do tipo DS3231
Time t;
int horas, minutos, segundos, ano, mes, dia;

void setup() {
  // coloque seu código de configuração, para executar uma vez:
  Serial.begin(9600); //Inicialização da comunicação serial
  while (!Serial){
    // Aguarde a porta serial se conectar. Necessário apenas para porta USB nativa
  }

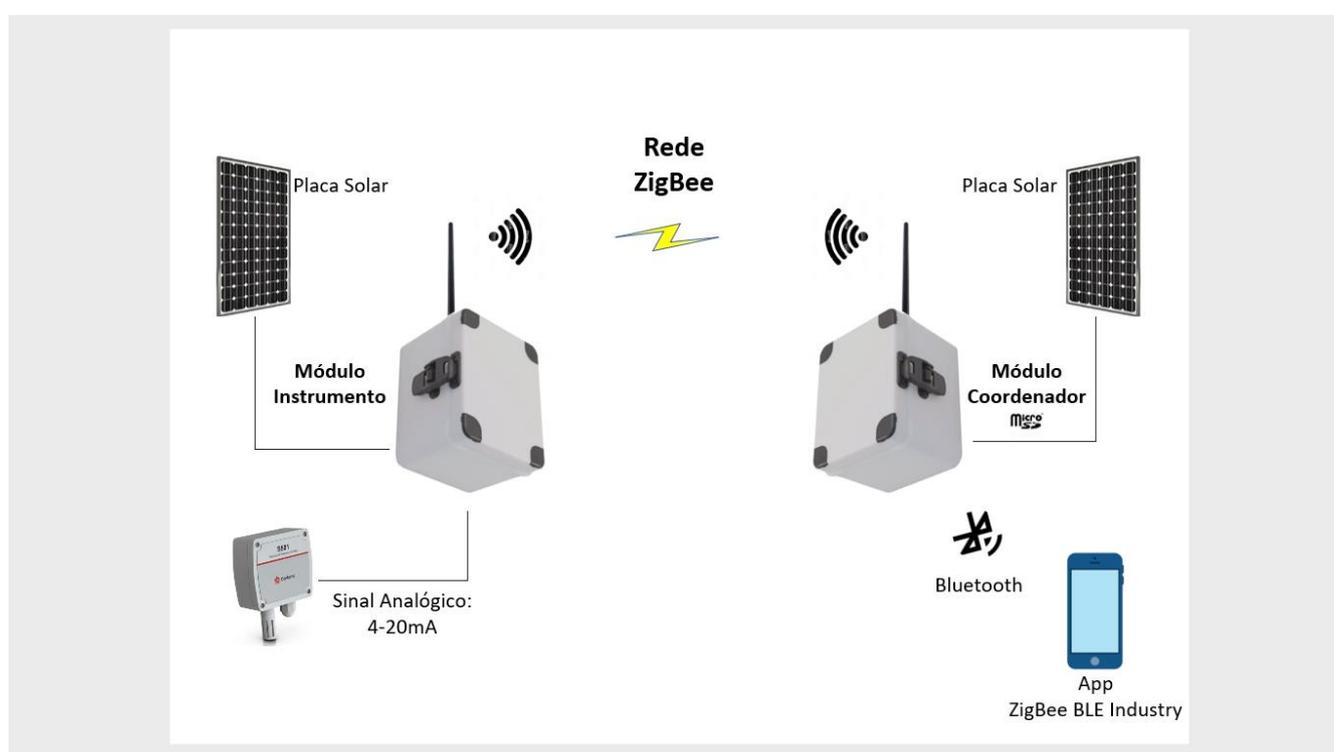
  rtc.begin(); //Inicialização do RTC DS3231
}
```

Fonte: Do autor, 06 de setembro de 2019.

4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi a construção de um protótipo de telemetria com alimentação à energia solar, para o monitoramento de variáveis industriais, em instrumentos com saída de sinal analógica (4-20mA) e com ligação a 2 fios, utilizando um aplicativo para smartphone para aquisição e exibição destes dados, e um *datalogger* para armazenamento e posterior tratamento dos dados em um cartão Micro SD. A topologia de rede é exibida na figura 43.

Figura 43: Topologia da Rede



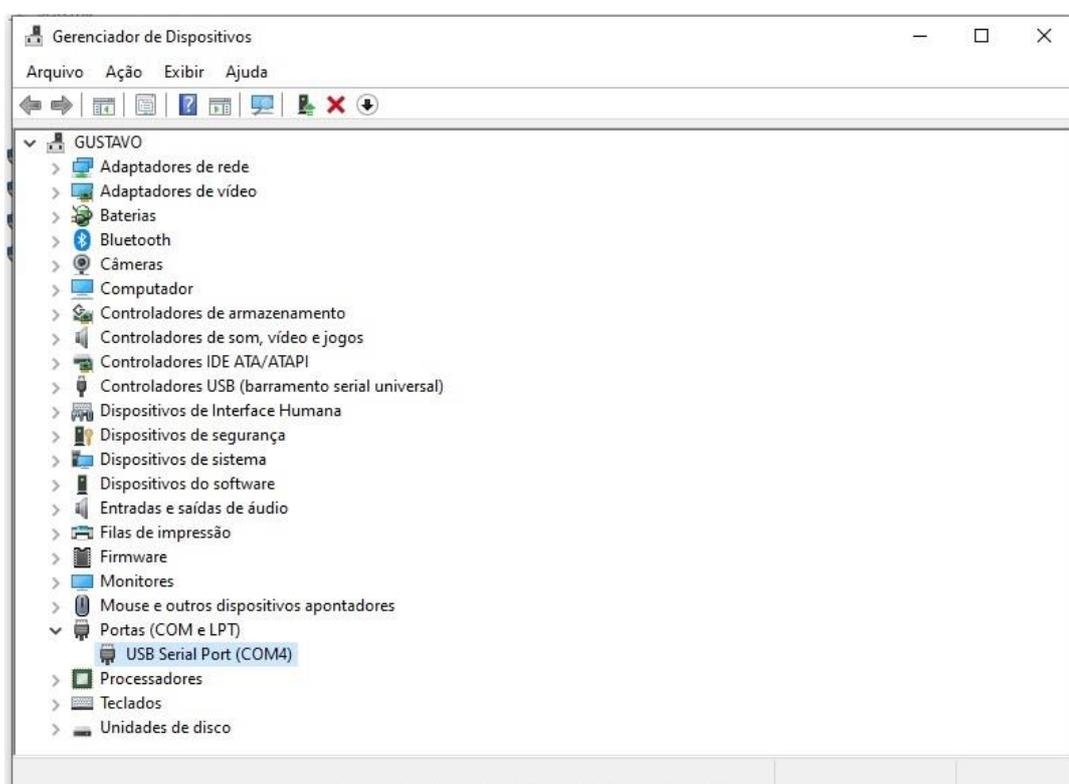
Fonte: Do autor, 18 de outubro de 2019.

O protocolo adotado foi o *ZigBee*, devido a diversas características que ele possui, como módulos com baixo consumo de energia, possibilidade de se formar uma rede e bom alcance. O módulo utilizado foi *XBee S2C RPSMA*, figura 17, modelo este escolhido devido, ao mesmo possuir conexão RPSMA, assim, sendo possível o uso de uma antena externa, fixado na caixa do protótipo. Devido à baixa infraestrutura necessária para acomodar dispositivos de comunicação sem fio, o projeto foi constituído por 2 módulos, o primeiro ficou conectado diretamente ao instrumento,

onde o sinal analógico (4-20mA) era enviado ao módulo *XBee* dispositivo final, que estava comunicando com o *XBee* coordenador da rede.

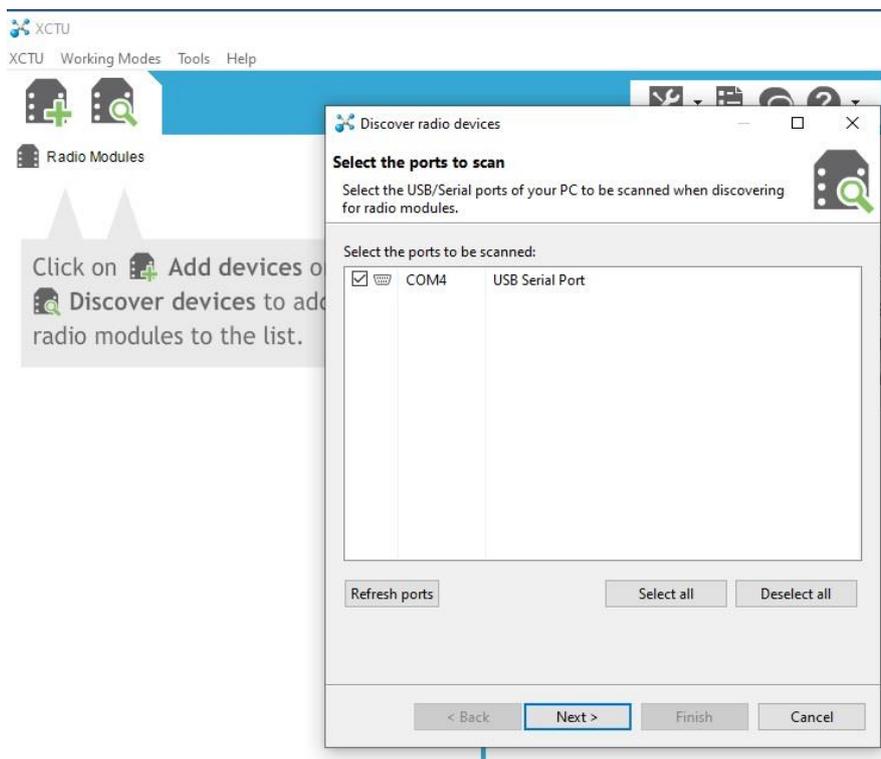
Para parametrização e leitura das configurações dos módulos foi utilizada uma placa adaptadora *Xbee Adapter*, figura 19. Este dispositivo permite a comunicação entre o módulo *XBee* e o computador, através da porta USB. Ao conectar a placa adaptadora na porta USB, ela foi identificada pelo Gerenciador de Dispositivos do sistema operacional *Microsoft Windows*, na seção de Portas, nomeada como *USB Serial Port*, como destacado na figura 44.

Figura 44: Portal de Comunicação serial do XBee



Fonte: Do autor, 14 de maio de 2019.

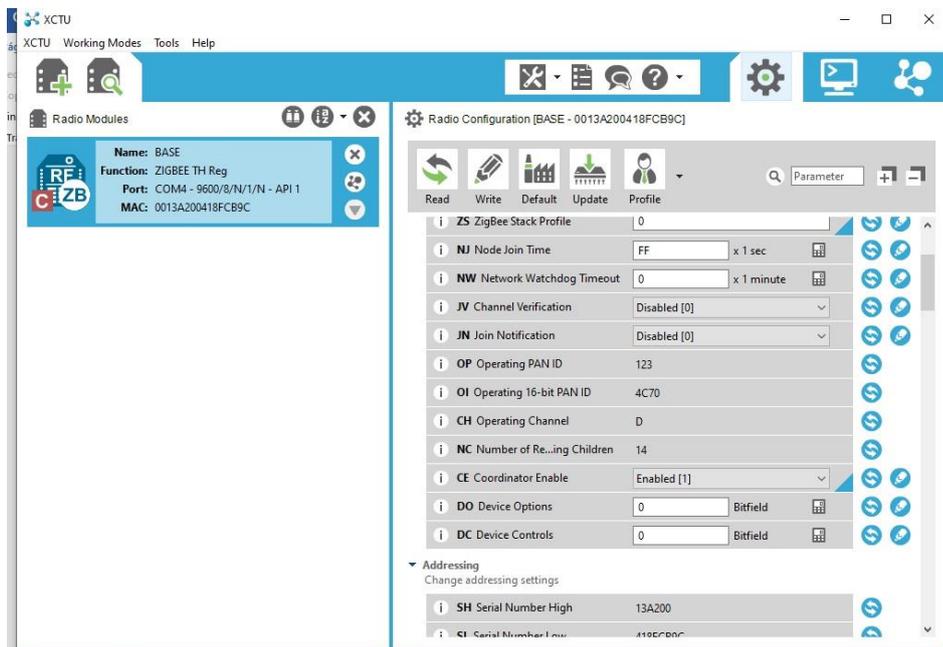
O software X-CTU foi utilizado para configuração e parametrização dos módulos. A comunicação serial ocorre de maneira mais intuitiva, pois o software possui a opção de *Discover Devices*, não sendo necessário apontar em qual *Serial Port*, está conectada a placa adaptadora *XBee Adapter*, figura 19, o mesmo sendo detectado automaticamente, figura 45.

Figura 45: *Discover Devices* - XCTU

Fonte: Do autor, 14 de maio de 2019.

A configuração dos parâmetros foi realizada na aba *Radio Configuration*, figura 46. Nesta etapa foram configurados os módulos como coordenador e dispositivo final, além de qual pino recebe o sinal analógico advindo do instrumento, o pino de *Blink* para visualização via LED da comunicação entre os módulos.

Figura 46: Radio Configuration - XCTU



Fonte: Do autor, 13 de junho de 2019.

Para as configurações dos módulos foram utilizadas as tabelas 5 e 6, para parametrização dos mesmos como coordenador e dispositivo final respectivamente. Após finalizar as configurações, foram realizados testes de comunicação entre os módulos, figura 47, e posteriormente instalados em seus respectivos protótipos.

Tabela 5: Parâmetros para o módulo XBee como dispositivo final

Parâmetro	Valor Utilizado	Parâmetro	Valor Utilizado
ID	123	AP	1
SC	1FFE	AO	0
SD	3	SM	4
ZS	0	ST	1388
NJ	FF	SP	20
JN	0	SN	1
DH	0	SO	0
DL	0	PO	0
NI	REMOTO	D0	2
NH	1E	D1	0
BH	0	D2	0
DD	3000	D3	0
NT	3C	D4	0
NO	2	D5	1
PL	4	P0	1
PM	1	P1	0
EE	0	P2	0
EO	0	PR	1FFF
BD	3	LT	0
NB	0	RP	28
SB	0	IR	0
D7	1	IC	0
D6	0	V+	0

Fonte: Adaptado de BEZERRA, 2014.

Tabela 6: Parâmetros para o módulo XBee como coordenador

Parâmetro	Valor Utilizado	Parâmetro	Valor Utilizado
ID	123	D7	1
SC	1FFE	D6	0
SD	3	AP	1
ZS	0	AO	0
NJ	FF	SP	20
DH	0	SN	1
DL	FFFF	D0	1
NI	BASE	D1	0
NH	1E	D2	0
BH	0	D3	0
AR	FF	D4	0
DD	3000	D5	1
NT	3C	P0	1
NO	2	P1	0
PL	4	P2	0
PM	1	PR	1FFF
EE	0	LT	0
EO	0	RP	28
BD	3	IR	0
NB	0	IC	0
SB	0	V+	0

Fonte: Adaptado de BEZERRA, 2014.

Figura 47: Teste Comunicação XBee

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, a 'Radio Modules' panel displays the configuration for a 'BASE' module: Function: ZIGBEE TH Reg, Port: COM3 - 9600/8/N/1/N - API 1, MAC: 0013A200418FCB9C. The main window shows a network diagram with two nodes: a Coordinator (0013A200418FCB9C) and an End device (0013A200418FCBAD). The Coordinator's role is 'Coordinator' and the End device's role is 'End device'. The network is identified as '2 nodes [PAN ID: 123] [CH: D] <Waiting for next scan>'. A table at the bottom shows the network statistics for the current scan.

Role	Total	Discovered	Unreachable
Coordinator	1	1	0
End device	1	1	0
Router	0	0	0
Unknown	0	0	0

Fonte: Do autor, 13 de junho de 2019.

A alimentação dos protótipos foi inicialmente desenvolvida utilizando baterias recarregáveis Ni-MH de 9V e 250mA, da fabricante Algin e uma placa solar com saída de 12V e potência de 1,5W, resultando em uma corrente máxima de 250mAh e dimensões 115 x 85 x 8,5 mm. Com os testes realizados ainda em protoboards, ficou evidenciado a baixa performance deste sistema. Devido à baixa autonomia da bateria para o circuito utilizado, assim como a baixa potência da célula fotovoltaica.

Após pesquisas por diversos tipos de baterias que seriam viáveis ao projeto, optou-se pela utilização de 2 baterias 18650 de lítio de 4.2V cada, e 3000 mAh, da marca Samsung, figura 26. São baterias utilizadas na montagem de baterias de notebooks, apresentando grande autonomia e longo ciclo de recarga. A placa solar adquirida foi uma semi- flexível da marca Elegeek, com saída de 12V e potência de 6W, resultando uma corrente máxima de 500mA, com dimensões 260 x 175 x 8 mm, figura 24. Aumentando assim, a autonomia e flexibilidade dos protótipos.

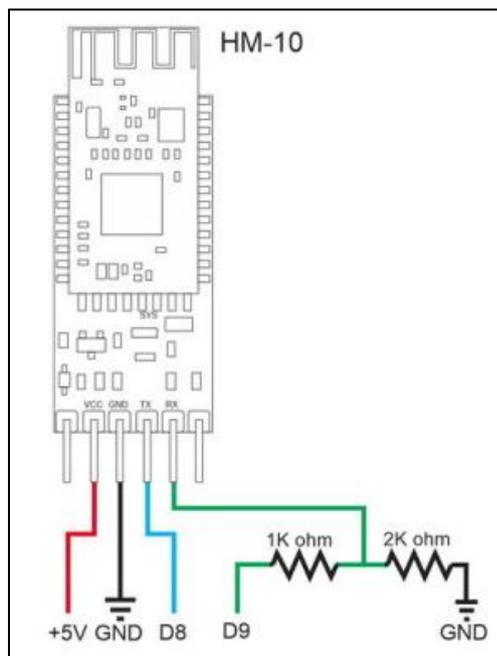
A integração entre o módulo *XBee* coordenador e o com o smartphone, optou-se pela utilização do modulo *Bluetooth* HM-10. Este apresentando protocolo de comunicação *Bluetooth* 4.0, com baixo consumo, aproximadamente 50mA, e um alcance de 100m de campo aberto.

Apresentando uma configuração de fábrica, que foram alterados para aumentar a segurança de acesso. Para realizar a configuração do módulo HM-10, foi necessário utilizar um cabo conversor USB TTL PL-2303HX, figura 48, para comunicação serial entre o computador e o módulo e montar um circuito, figura 49, em protoboard com um divisor de tensão na porta RX do módulo.

Figura 48: Cabo USB-TTL



Figura 49: Circuito HM-10



Fonte: Disponível em <http://www.martyncurrey.com/hm-10-bluetooth-4ble-modules/>, acesso em 24 de Setembro de 2019

O circuito foi conectado ao computador através da porta usb, estabelecendo conexão entre o monitor serial, do software Arduino IDE. Antes de iniciar as alterações das configurações do módulo através de comandos, foi realizado um teste de comunicação, através do comando “AT”. Estabelecida a comunicação, houve um retorno no monitor serial com a palavra “OK”. Então foram alterados os parâmetros “Nome do Dispositivo” com o comando: “AT+NAMExxx”, onde xxx é novo nome do módulo. E a realizar a alteração, módulo retorna a mensagem “OKsetPIN” confirmando a alteração.

Outro parâmetro alterado foi o “CodigoPIN”, senha requerida ao tentar fazer o pareamento do módulo. O comando utilizado foi: “AT+PIN1234”, onde 1234 é senha para pareamento. Realizando a alteração, o módulo retorna a mensagem “OKsetPIN”.

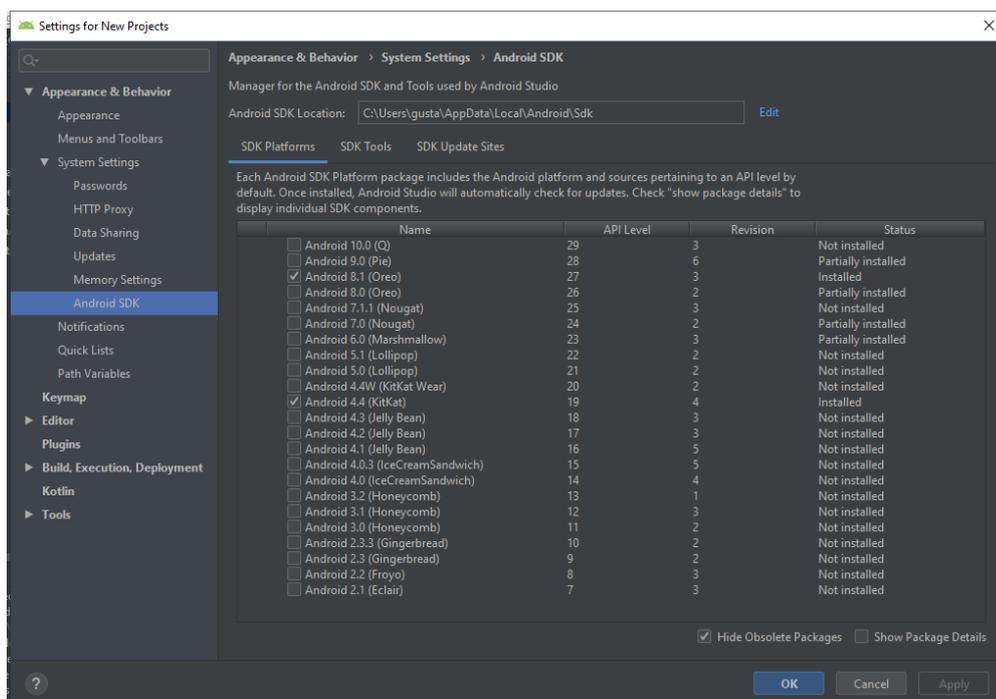
A sequência no monitor serial para realização das alterações foram:

- 1)AT
- 2)AT+NAMECCR7
- 3)AT+PIN1234

Para comunicação entre o protótipo e o smartphone foi necessário realizar o pareamento do mesmo com o módulo *Bluetooth*, com as configurações alteradas. Com a conexão estabelecida, a leitura dos valores do sensor, foi realizado através de um aplicativo para o sistema operacional Android, utilizando uma biblioteca e um conjunto de funções específicas para *Bluetooth* 4.0 ou BLE.

O ambiente de programação utilizado foi o Android Studio 3.2, IDE gratuita disponibilizada pela Google. Através do Android SDK, figura 50, foi possível instalar de maneira simples e rápida o pacote de ferramentas utilizada para a versão 4.4 KitKat do Android (API Level 19).

Figura 50: Android SDK



Fonte: Do autor, 01 de julho de 2019.

Com o ambiente de desenvolvimento instalado e configurado, foi inicialmente desenvolvido os layouts das telas do aplicativo definindo-se botão, listas, disposições de cada objeto. Para o funcionamento do aplicativo, foram desenvolvidos os seguintes botões e lista:

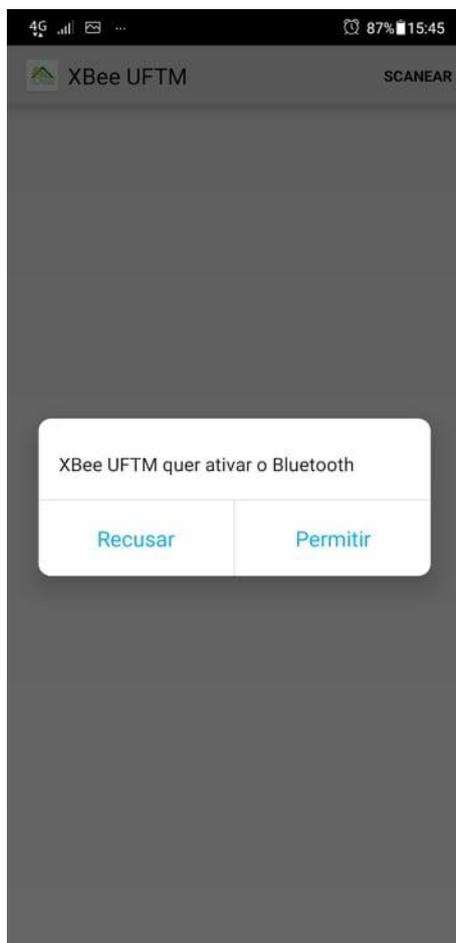
- Botão Scanear: realiza a busca de dispositivos *Bluetooth* 4.0, ao alcance do aparelho. Habilitando a lista com os dispositivos encontrados.
- Botão Monitoramento: Envia ao coordenador, de forma cíclica, requisitando o valor da leitura da porta da entrada analógica. O valor recebido é tratado, convertendo-o valor e exibindo esse resultado na tela.
- Lista de Dispositivos: Lista dispositivos *Bluetooth* 4.0, gerada após a ação de clique no botão Scanear.

O comportamento da lógica desenvolvida pode ser visualizado pelo fluxograma da Figura 55. A lógica é composta pela tela de apresentação do aplicativo, figura 51, em seguida a verificação inicial se o aparelho possui módulo *Bluetooth* e se o mesmo está habilitado, caso não esteja, é gerado uma mensagem informando que o aplicativo deseja ativar o *Bluetooth*, Figura 52, caso o usuário pressione “sim” o módulo é ativado. Em contra partida pressionando não, o aplicativo é encerrado.

Figura 51: Tela de Apresentação - Aplicativo

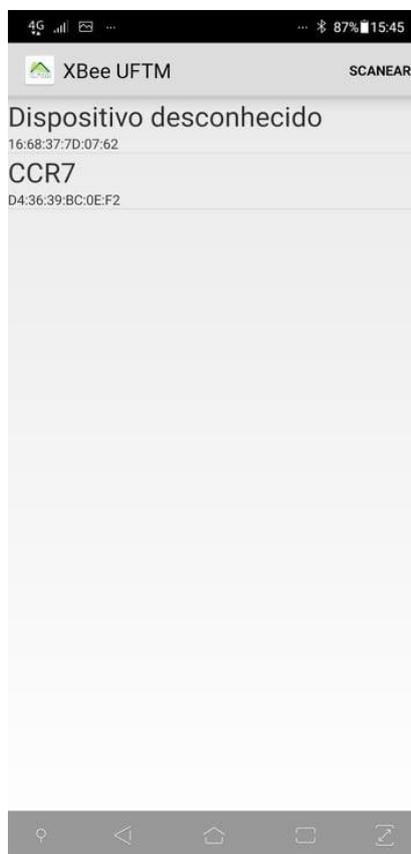


Fonte: Do autor, 19 de setembro de 2019.

Figura 52: Ativação Bluetooth - Aplicativo

Fonte: Do autor, 19 de setembro de 2019.

Na sequência, o botão “Scanear” é pressionado, onde o algoritmo realiza uma busca através do módulo *Bluetooth* do aparelho, por dispositivos com a mesma conexão na versão 4.0 (*Low Energy*). Gerando uma lista com o nome e endereço do dispositivo localizado, figura 53. Ao clicar sobre nome “CCR-7”, dispositivo *Bluetooth* do protótipo, a conexão entre smartphone e *XBee* coordenador é realizado.

Figura 53: Lista Dispositivos Bluetooth - Aplicativo

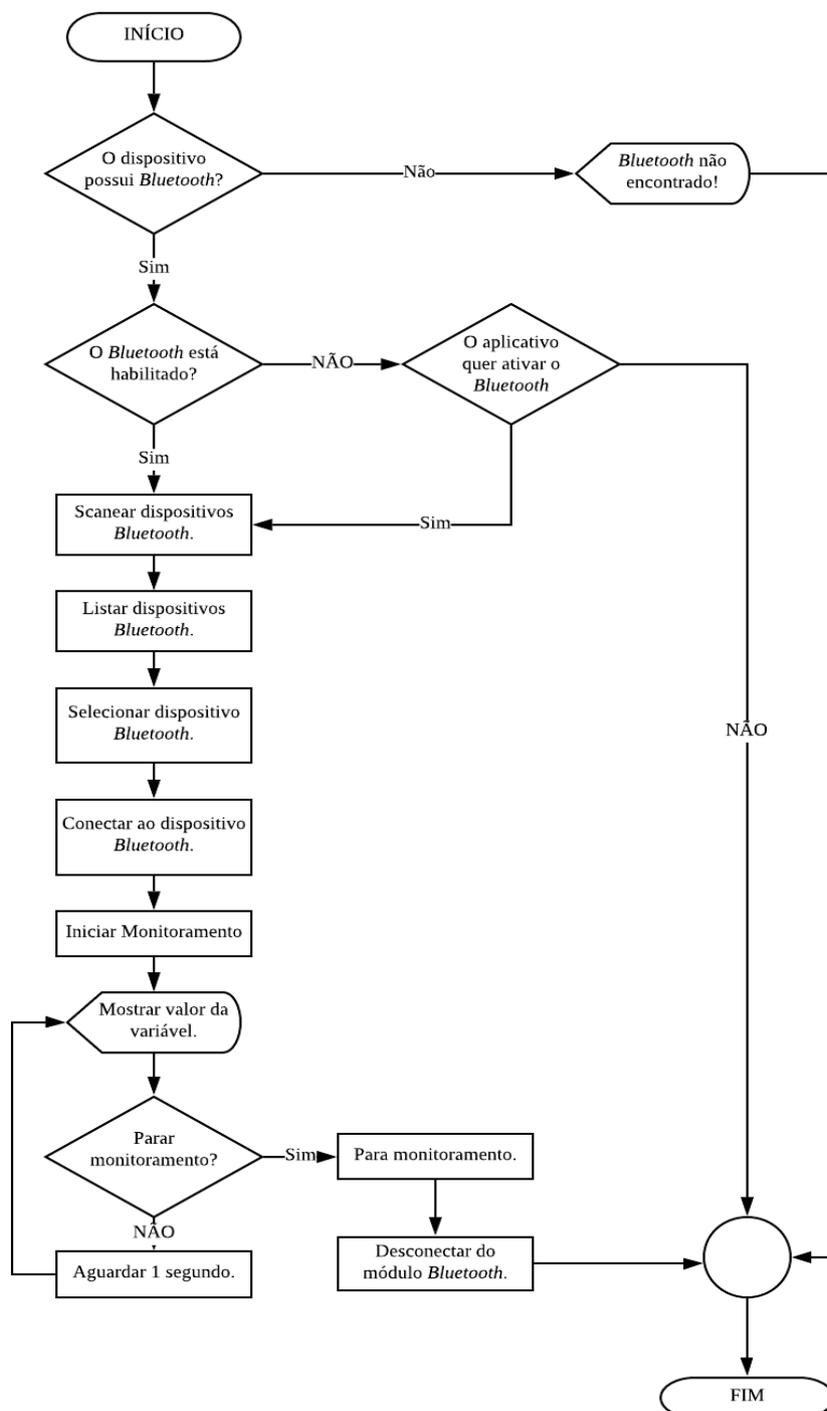
Fonte: Do autor, 19 de setembro de 2019.

Com a conexão realizada, a próxima tela é exibida contendo informações como endereço mac do dispositivo, status da conexão e o botão “Monitorar”, figura 54. Ao pressionar este botão, o smartphone requisitará o valor da variável lida pelo instrumento de maneira cíclica, que será exibido na linha “Dados:”, e esse processo continuará até que o usuário interrompa a conexão do aparelho com o módulo *Bluetooth*.

Figura 54: Dados Recebidos - Aplicativo

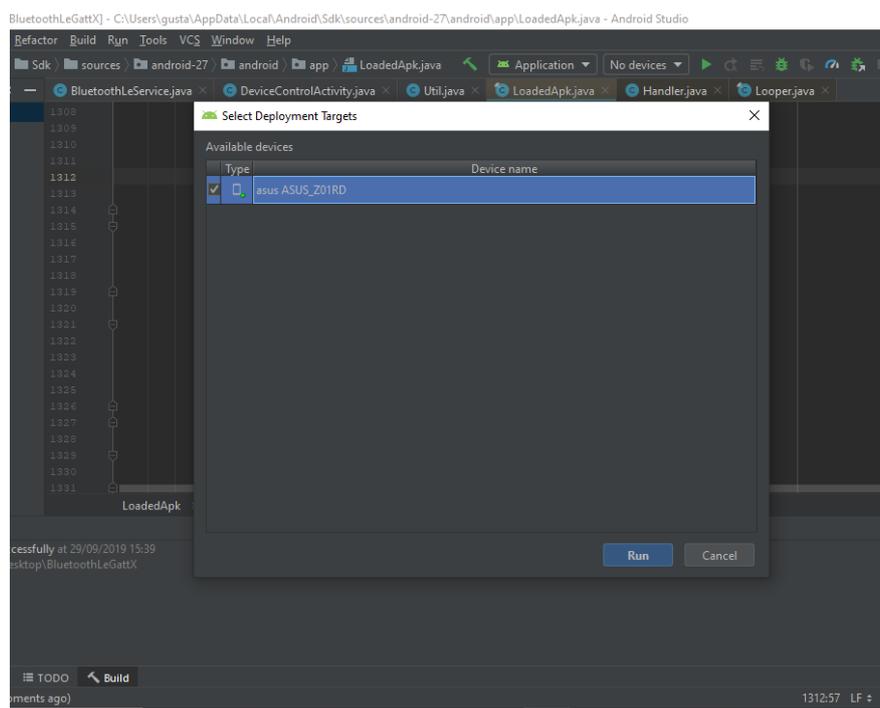
Fonte: Do autor, 20 de setembro de 2019.

Figura 55: Fluxograma Aplicativo



Durante o desenvolvimento do aplicativo foi necessário realizar depurações, testando o funcionamento da lógica desenvolvida. Devido a depuração realizada em dispositivo virtual demandar muita capacidade de processamento do computador, foi adotada a opção de realizar esse procedimento diretamente em um *smartphone*.

Figura 56: Tela Seleção Dispositivo – Android Studio



Fonte: Do autor, 05 de julho de 2019.

Para que o *smartphone* fosse listado na janela de opções da figura 56, foi necessário instalar no computador o driver do dispositivo, esse procedimento ocorreu de maneira automática no sistema operacional *Microsoft Windows 10*. Além disto, foi necessário realizar algumas configurações no *smartphone*, como habilitar o modo “Desenvolvedor” no sistema operacional Android e a seleção do item “Depuração USB”, que se encontra dentro da opção “Desenvolvimento”.

Ao realizar estas configurações, ao compilar o aplicativo, o mesmo foi transferido diretamente para o *smartphone*, com o Android Studio responsável por realizar a instalação e configuração do aplicativo. Concluído a instalação, a aplicação foi executada de maneira automática, para realização dos testes foi utilizado um *smartphone* *Asus Zenfone 4* com sistema operacional Android 8.0 *Oreo* (API 23).

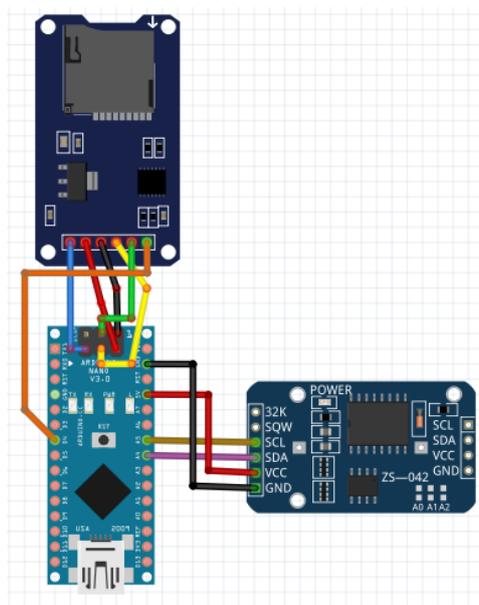
Após a comunicação entre os módulos *XBee*, foi possível a implementação do *datalogger* para armazenamento e posterior tratamento dos dados recebidos do instrumento. Onde o sinal analógico foi enviado de maneira simultânea para o módulo *Bluetooth* HM-10 e modulo Arduino. O circuito foi montado em protoboard, consistindo em um módulo Arduino Nano V4.0, figura 28, o mesmo possuindo capacidade de processamento semelhante de um Arduino Uno, mas de tamanho reduzido. Onde foi implementado a lógica de recebimento do sinal, tratamento e armazenamento do valor da variável no tempo.

Para armazenamento dos dados foi utilizado um leitor de cartão Micro SD, com protocolo de comunicação SPI para leitura e escrita em memória flash, figura 29. E um cartão micro SD Kingston de 16GB de capacidade de armazenamento, figura 31, inserido no leitor de cartão.

Também foi utilizado um RTC (*Real Time Clock*) DS3231, figura 30, com a função de gerar data e hora, ao *datalogger*. Assim podendo ser historiado, o valor das variáveis armazenadas.

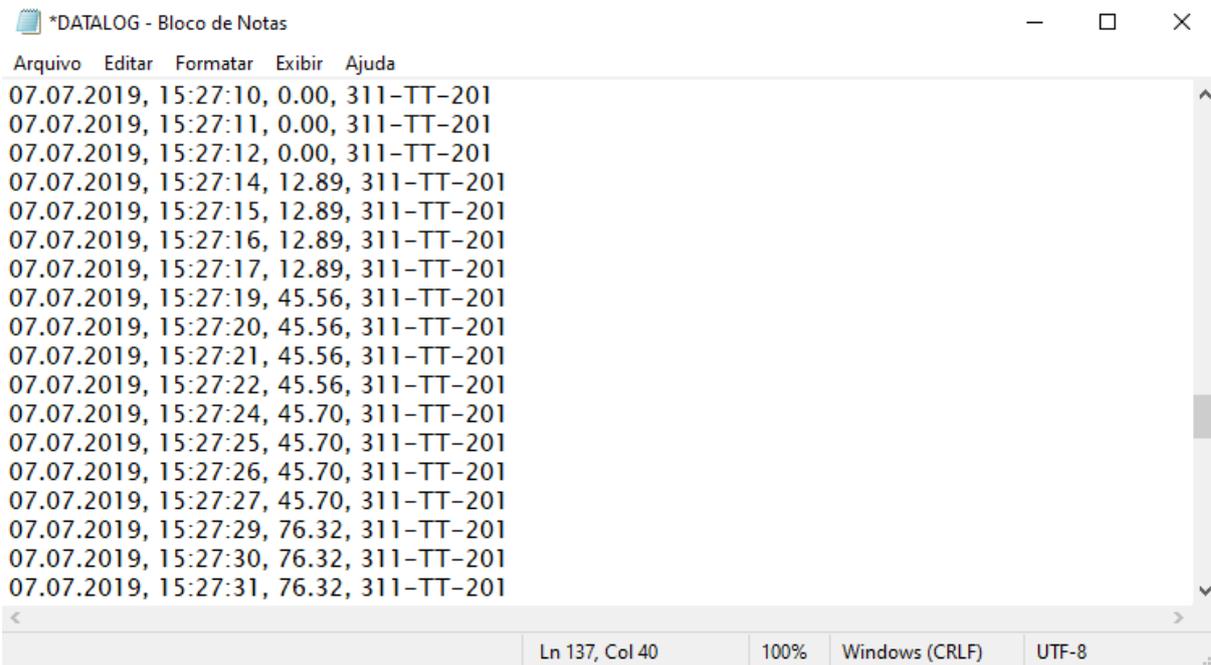
Com a montagem do circuito, figura 57, foi desenvolvida a lógica no software Arduino IDE, figura 41, para recebimento do sinal analógico na porta RX/TX do módulo Arduino, conversão deste sinal analógico em valores da variável e posterior armazenamento do valor com data e hora. O módulo DS3231 enviando os valores de tempo e o leitor de cartão micro SD armazenando os valores de data, hora e valor da variável, no formato de arquivo bloco de notas(.TXT), figura 58.

Figura 57: Circuito *Datalogger*



Fonte: Do autor, 02 de setembro de 2019.

Figura 58: Datalogger

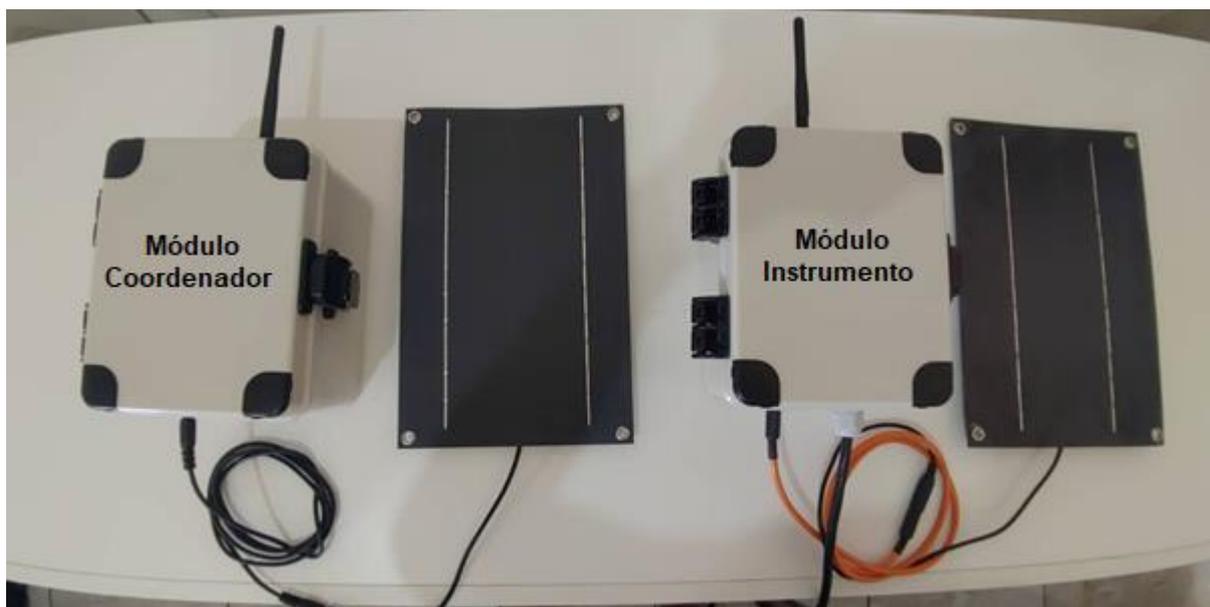


```
*DATALOG - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
07.07.2019, 15:27:10, 0.00, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:11, 0.00, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:12, 0.00, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:14, 12.89, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:15, 12.89, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:16, 12.89, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:17, 12.89, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:19, 45.56, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:20, 45.56, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:21, 45.56, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:22, 45.56, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:24, 45.70, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:25, 45.70, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:26, 45.70, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:27, 45.70, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:29, 76.32, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:30, 76.32, 311-TT-201
07.07.2019, 15:27:31, 76.32, 311-TT-201
Ln 137, Col 40 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Fonte: Do autor, 02 de novembro de 2019.

Após a montagem do circuito e teste de seu funcionamento, foi realizado a conexão USB-serial entre o Arduino e o computador. A conexão ocorre de maneira simples, após a conexão do Arduino com o computador utilizando um cabo USB, o mesmo é reconhecido pelo Gerenciador de Dispositivos do sistema operacional *Microsoft Windows*, na seção de Portas, nomeada como *USB Serial Port*, como destacado na Figura 44. No software Arduino IDE, na aba Ferramentas/Portas é apontado a porta serial COM do módulo, posteriormente o código é compilado realizando na sequência o upload da lógica desenvolvida, figura 59.

Figura 60: Protótipos Finalizados



Fonte: Do autor, 15 de agosto de 2019.

Por sua vez o coordenador envia de maneira simultânea para o módulo *Bluetooth* e para o módulo Arduino os dados requisitados ao dispositivo final. Ao módulo *Bluetooth*, um *smartphone* com *Bluetooth* 4.0 é pareado, recebendo as informações de leitura do instrumento, e o cartão micro SD conectado ao Arduino, armazena estas informações gerando um *datalogger*, para posterior tratamento e histórico dos dados.

Após término da concepção dos protótipos e do aplicativo, foram realizados diversos testes para comprovação da eficiência dos equipamentos desenvolvidos. Testes estes realizados com intuito de verificar alcance, disponibilidade da rede *ZigBee* e da comunicação *Bluetooth*. Autonomia energética dos equipamentos e eficiência das placas solares, também foram abordados pontos como volume de dados gerados pelo *datalogger*, precisão da leitura e transmissão das variáveis lidas pelo instrumento. Robustez e precisão dos protótipos, exposto as condições meteorológicas, e testes com um instrumento utilizado na indústria: um sensor de temperatura do tipo pt-100.

Inicialmente foram feitos testes em bancada para determinar a autonomia dos protótipos utilizando, para isto dois tipos de baterias. A primeira, uma bateria usada de 2200 mAh de capacidade, e em um segundo momento baterias novas de 3000 mAh de capacidade. Também foram simulados 3 cenários distintos de funcionamento dos protótipos. Para os testes do protótipo coordenador foi variado a frequência de

gravação do datalogger (1 segundo, 10 segundos, 30 segundos). Já para os testes do protótipo instrumento foi variado a alimentação gerada do mesmo para o instrumento de campo (6, 12 e 24 volts). Os resultados obtidos são expostos nas tabelas 9 e 10.

Posteriormente foi realizado teste com as placas solares afim de se determinar sua capacidade de operação em conjunto com o sistema em regime contínuo de funcionamento, figuras 66 e 67. Para isso foram utilizadas as baterias novas de 3000 mAh, porém com sua carga drenada, os protótipos foram colocados em operação, em ambiente real, com suas respectivas placas solares conectas, mantendo o sistema em funcionamento no período diurno. Período este compreendido nas horas de incidência solar sobre as placas. Os resultados encontram-se nas tabelas 11 e 12.

Para aferição da capacidade de sinal *wifi* entre os protótipos (Rede *ZigBee*) e a comunicação entre o smartphone e o módulo *Bluetooth*, o sistema foi alocado em um ambiente aberto, e mensurado a distância máxima de comunicação entre os equipamentos. Os resultados seguem nas tabelas 7 e 8.

No sistema de aquisição de dados (*datalogger*), foi avaliado a capacidade de armazenamento do sistema, para isto foram gerados um volume de informações em um período 24 horas de operação, utilizando-se 3 cenários de frequência de gravação dos mesmos (1 segundo, 10 segundos, 30 segundos). Dados estes expostos na tabela 13.

Para o teste do sistema, o mesmo foi colocado em operação de forma contínua por um período de 20 dias, em um ambiente aberto, porém residencial. Período este em que um sensor termoresistência do tipo PT-100, figura 33 e um transmissor de temperatura C-202 da Inor, figura 34, responsável pela conversão do valor da resistência do instrumento em sinal analógico (4-20mA), foram ligados ao protótipo instrumento. Nesta etapa foram registrados os valores de temperatura do instrumento, figura 70, correlacionando o mesmo com valor de resistência do instrumento em intervalos de 8 horas e com os valores de temperatura registrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para cidade de Araxá-MG. Também foram registrados os valores de carga das baterias correlacionando-os com os valores médios de radiação solar, registrados diariamente pelo INMET na cidade de Araxá-MG, figuras 71. Foram também gerados ambientes de baixa e alta temperatura, inserindo o sensor em meio líquido para análise de precisão do sensor, tabela 13. Além de observações de robustez, confiabilidade, capacidade de funcionamento e sistema de alimentação solar dos protótipos, em um regime contínuo de operação.

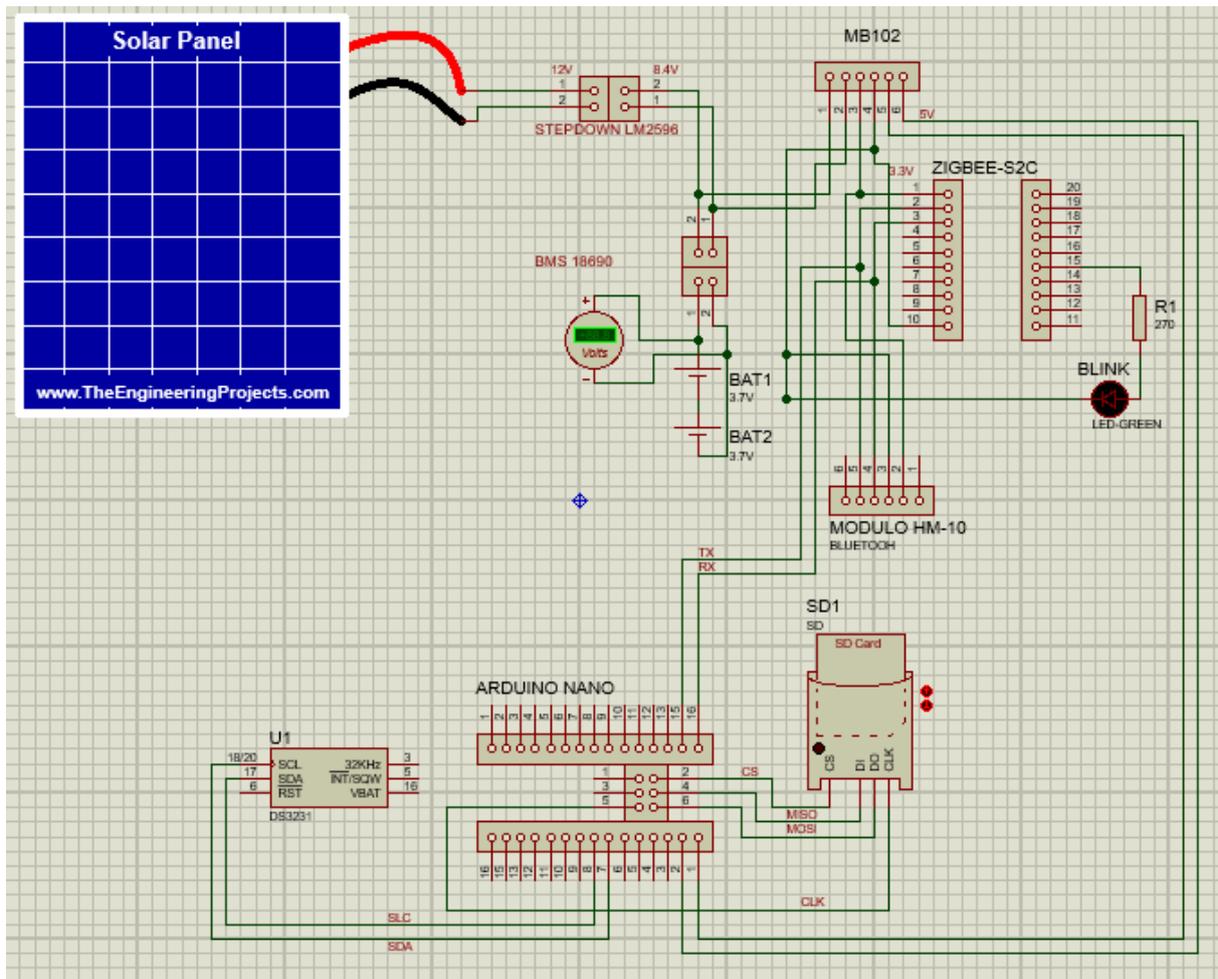
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado obtivemos a construção de um protótipo de telemetria com alimentação a energia solar, para o monitoramento de variáveis industriais, em instrumentos com saída de sinal analógica (4-20mA) e com ligação a 2 fios, utilizando um aplicativo para smartphone para aquisição e exibição destes dados, e um *datalogger* para armazenamento e posterior tratamento dos dados em um cartão MicroSD. Este protótipo é formado por um circuito que porta o módulo *XBee* coordenador da rede sem fio, outro circuito com o módulo *XBee* dispositivo final, onde é feita a coleta do valor da variável, um *datalogger* para armazenamento destes valores e um aplicativo para Android.

Na figura 61 está representado o circuito eletrônico do módulo coordenador, responsável por gerenciar a rede sem fio, realizar a comunicação com o Smartphone via Bluetooth e armazenar os dados via cartão Micro SD. Ele é composto por:

- Placa Solar Elegeek SWR6012D 12VCC;
- Regulador de Tensão Ajustável *Step-Down* LM2596
- Placa de Proteção BMS 2S 18650
- Indicador de Capacidade de Bateria de Lítio 2S 18650
- Case Suporte para 2 Baterias 18650
- 2 Baterias Samsung ICR18650-30Q 4.2V 3000 mAh
- Fonte Ajustável MB102
- *XBee Zigbee* S2C RPSMA
- *Light-emitting Diode* (LED) amarelo
- Resistor de 270 ohms
- Módulo *Bluetooth* BLE HM-10
- Arduino Nano V3.0
- Módulo Cartão Micro SD
- *Real Time Clock* RTC DS3231
- Cartão Micro SD Kingston 16Gb

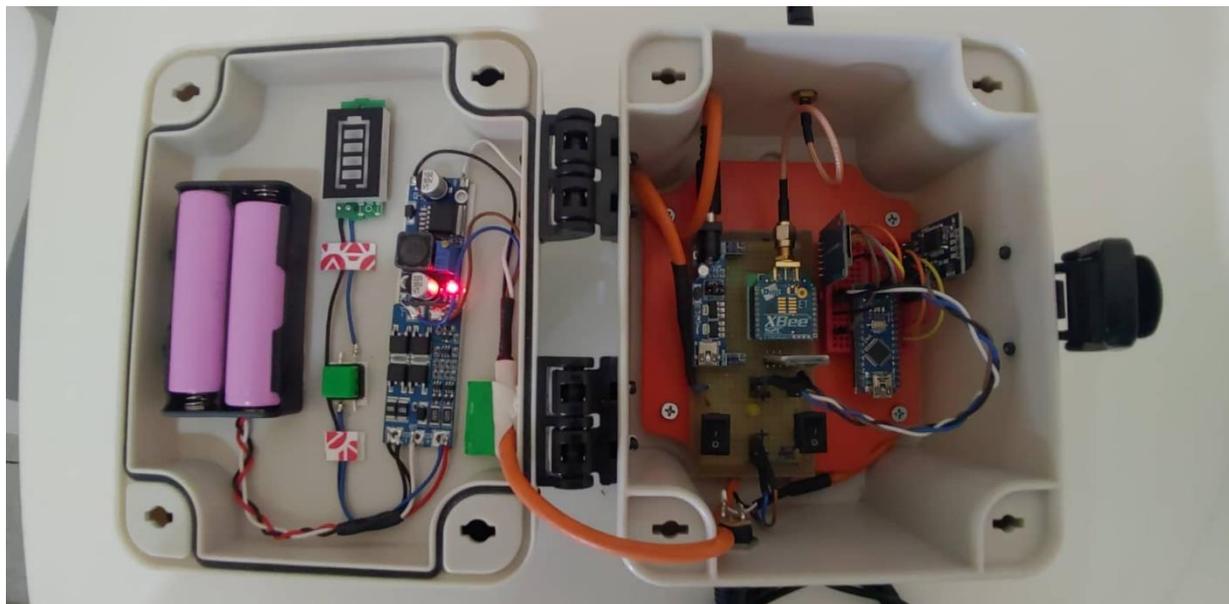
Figura 61: Circuito Eletrônico Módulo Coordenador



Fonte: Do autor, 23 de julho de 2019.

A figura 62 exibe o circuito da figura 61 montado, onde os componentes foram fixados em uma caixa de montagem IP65.

Figura 62: Circuito Coordenador – Protótipo

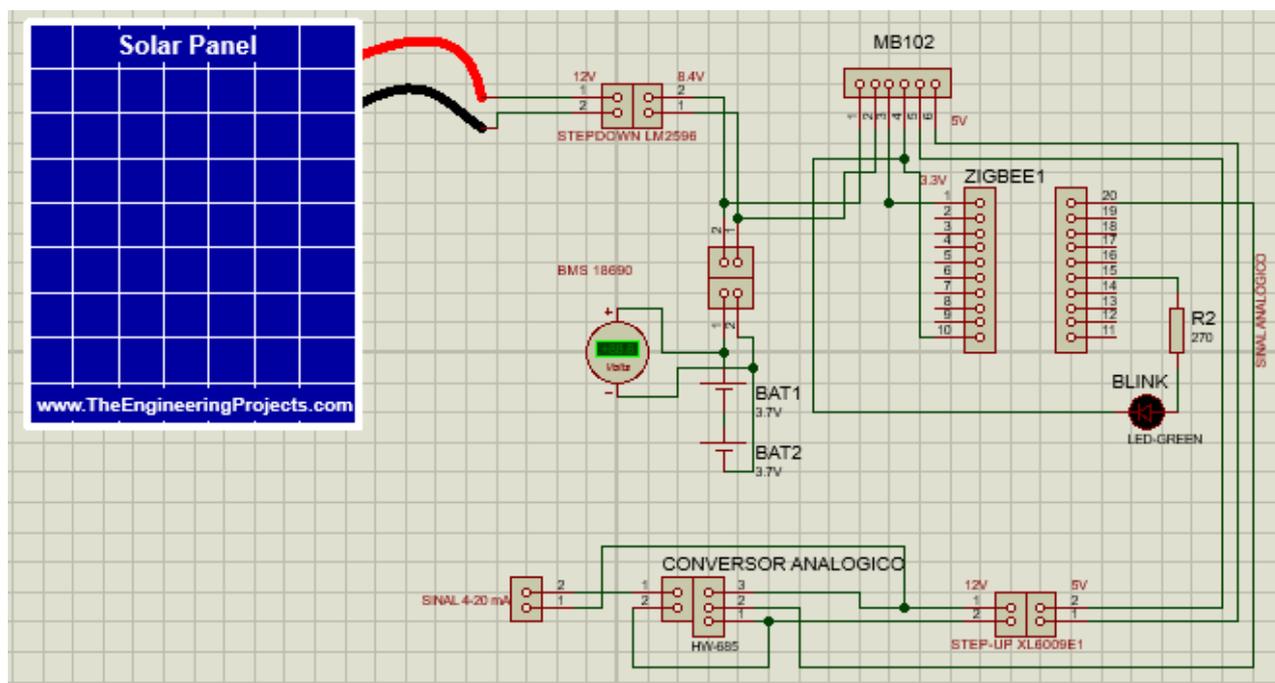


Fonte: Do autor, 15 de agosto de 2019.

O segundo circuito, figura 63, é responsável pelo recebimento do sinal analógico de 4-20mA advindo do instrumento a ele conectado, sua conversão e envio para o módulo coordenador. Esse circuito é composto por:

- Placa Solar Elegeek SWR6012D 12VCC;
- Regulador de Tensão Ajustável *Step-Down* LM2596
- Placa de Proteção BMS 2S 18650
- Indicador de Capacidade de Bateria de Lítio 2S 18650
- Case Suporte para 2 Baterias 18650
- 2 Baterias Samsung ICR18650-30Q 4.2V 3000 mAh
- Fonte Ajustável MB102
- *XBee Zigbee S2C RPSMA*
- *Light Emitting Diode (LED) amarelo*
- Resistor de 270 ohms
- Módulo Regulador de Tensão Ajustável *Step-Up* XL6009E1
- Conversor Analógico – HW685
- Borne Sindal

Figura 63: Circuito Eletrônico Módulo Dispositivo Final



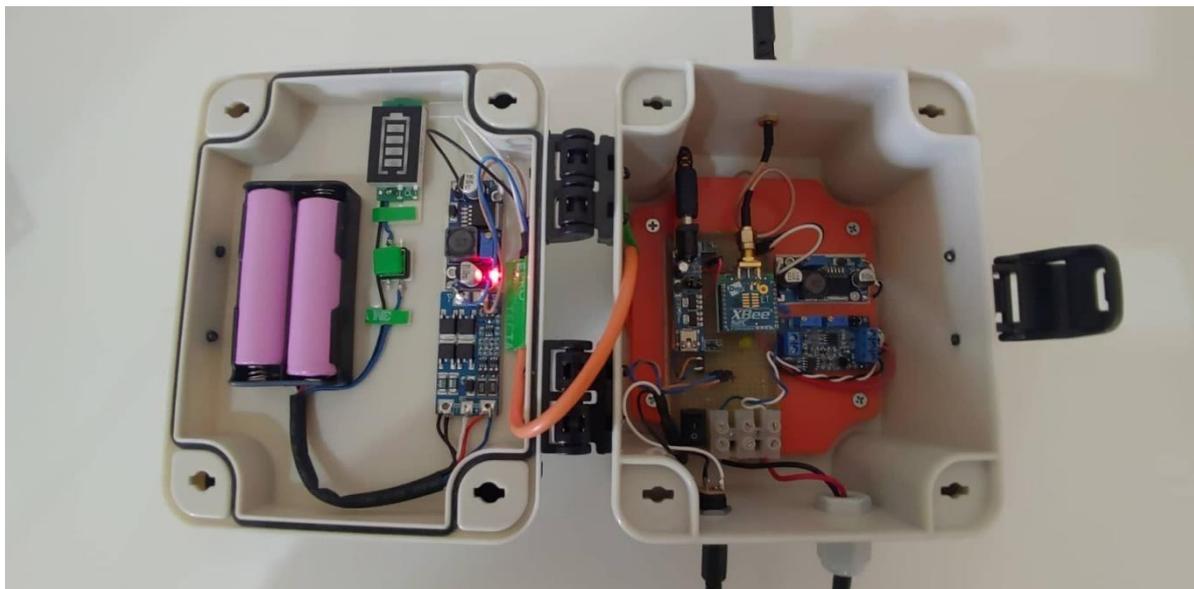
Fonte: Do autor, 23 de julho de 2019.

A ligação do instrumento é simples, sendo o mesmo conectado aos bornes sinais, com identificação de positivo e negativo, assim o instrumento realiza uma ligação em série com o conversor de sinal analógico.

O LED presente em ambos os circuitos dos módulos está ligado ao pino 16 do módulo XBee, permanecendo piscando na frequência configurada, sempre há associação entre os módulos coordenador e dispositivo da rede.

A figura 64 mostra o circuito do protótipo dispositivo, final da figura 63, em funcionamento e fixado em sua caixa de montagem.

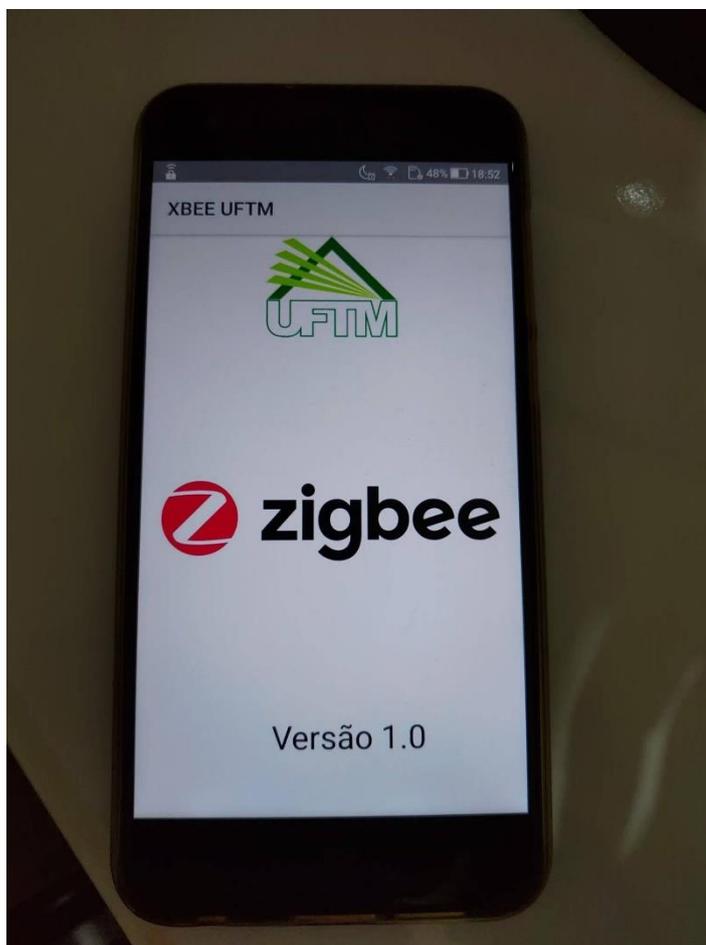
Figura 64: Circuito Dispositivo Final - Protótipo



Fonte: Do autor, 15 de agosto de 2019.

O aplicativo para smartphone foi elaborado, para aparelhos com versão mínima do Android 4.4 *KitKat*. Sendo o código compilado e testado em um aparelho *Asus Zenfone 4*, figura 65, com sistema operacional *Android 8.0 Oreo*.

Figura 65: App ZigBee BLE Industry



Fonte: Do autor, 02 de novembro de 2019.

A primeira fase do projeto teve como objetivo, a concepção e montagem dos protótipos. Como relatado na metodologia, inicialmente foi necessário realizar as configurações e testes dos componentes que compõem os protótipos de forma individual. Os módulos *XBee*, figura 17, foram devidamente configurados e realizados os testes de comunicação através do software *X-CTU*. O módulo *Bluetooth* HM-10, foi configurado e testado sua conexão com um smartphone. Os componentes que fazem parte do sistema de alimentação do circuito, módulos de: gerenciamento das baterias (BMS), módulos *step-up* e *step-down*, foram energizados de forma individual para verificação do seu funcionamento. Led's e chaves liga-desliga também foram testados, além dos componentes que fazem parte do sistema de *datalogger*, como Arduino e módulos MicroSD e RTC também foram energizados. Posteriormente os circuitos foram montados e alocados nas caixas de PVC, finalizado a montagem dos protótipos, iniciou-se o período de testes, inicialmente os módulos foram levados para um ambiente aberto, para ser testado o alcance efetivo da rede *ZigBee*. O valor máximo encontrado está exibido na tabela 7. O mesmo sendo obtido utilizando a ferramenta “medir distância entre dois pontos” do *Google Maps*, para isso foi necessário a marcação dos pontos de referência dos protótipos no local de teste, e em seguida inserindo estes pontos no software *Google Maps*.

Tabela 7: Alcance Rede *ZigBee*

Comunicação <i>Wifi</i> (<i>ZigBee</i>)	
Distância(m)	435

Fonte: Do autor, em 03 de novembro de 2019.

O valor de 435 metros demonstra o grande alcance em ambiente aberto que os módulos *XBee* possuem, apontando a flexibilidade da rede e uma gama de aplicações que os módulos podem ser utilizados. Inclusive pontos de difícil acesso ao usuário ou que apresentam certo grau de risco as pessoas.

Na segunda fase, se constituiu no desenvolvimento do aplicativo responsável por receber e mostrar o valor da variável ao usuário, nomeado de “*ZigBee BLE Industry*”, figura 51. Após a finalização do aplicativo foram realizados testes de comunicação entre o mesmo e o módulo *Bluetooth* HM-10. Teste para se determinar o alcance efetivo da comunicação entre o smartphone e o módulo HM-10, foram executados. O valor está representado na tabela 8, abaixo, a técnica utilizada para esta medição, foi utilização de uma fita métrica de 20m.

Tabela 8: Alcance *Bluetooth*

<i>Comunicação Bluetooth</i>	
Distância(m)	39

Fonte: Do autor, em 03 de novembro de 2019.

Apesar no manual do fabricante do módulo especificar o alcance do sinal ser de até 100 metros, o alcance efetivo encontrado atende muito bem a proposta do projeto, fornecendo ao usuário do sistema um bom alcance para realizar a comunicação com o protótipo.

Na terceira fase, foram realizados testes com o intuito de obter a real autonomia dos protótipos, sendo os mesmos alimentados por baterias de lítio e placas solares. A autonomia é um ponto crucial para se comprovar a eficiência do sistema desenvolvido. Como citado no capítulo 4, foram realizados inicialmente testes com baterias de lítio de 2200 mAh, retiradas de baterias de notebooks usadas.

Com os resultados obtidos, optou-se pela aquisição de baterias novas e de maior capacidade. Para o módulo coordenador foram simulados 3 cenários, variando a frequência de registros dos dados no *datalogger*, conseqüentemente variando o consumo de energia do protótipo. Os resultados estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Autonomia Módulo Coordenador

<i>Módulo Coordenador</i>						
Frequência de Gravação <i>Datalogger</i>	1 seg	10 seg	30 seg	1 seg	10 seg	30 seg
Capacidade Bateria	2200mAh	2200mAh	2200mAh	3000mAh	3000mAh	3000mAh
Consumo	95mA	80mA	78mA	95mA	80mA	78mA
Autonomia	16H	19H	22H	32H	38H	39H

Fonte: Do autor, em 03 de novembro de 2019.

Observando a tabela 9, fica exposto o ganho ao utilizar baterias de lítio novas e com capacidade de 3000 mAh. Este ganho podendo ser quantificado em um aumento de 100% na autonomia do protótipo, em comparação ao uso de das baterias usadas de 2200 mAh. Já com relação aos 3 cenários simulados, o intuito foi observar a autonomia do equipamento para diferentes tipos de variáveis de processo armazenados, desde variáveis de processo com rápida alteração de valor como vazão, até variáveis mais lentas como temperatura. Como esperado foi notado um ligeiro ganho de autonomia no início dos testes, ao aumentar o período de registro de dados no *datalogger*, porém mesmo triplicando este tempo foi observando um ganho muito pequeno de energia. Isto provavelmente se deve ao fato de ter atingido o consumo mínimo de energia do sistema de *datalogger*.

Já o módulo instrumento, os 3 cenários gerados foram montados variando a tensão de alimentação gerada pelo protótipo para a alimentação do instrumento, conseqüentemente variando o consumo de energia. Os resultados estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Autonomia Módulo Instrumento

<i>Módulo Instrumento</i>						
Alimentação Instrumento	24 V	12 V	6 V	24 V	12 V	6 V
Capacidade Bateria	2200mAh	2200mAh	2200mAh	3000mAh	3000mAh	3000mAh
Consumo	250mA	180mA	150mA	250mA	180mA	150mA
Autonomia	8H	12H	15H	16H	20H	24H

Fonte: Do autor, em 03 de novembro de 2019.

Assim como no protótipo coordenador fica explícito o ganho de autonomia, ao se utilizar as baterias novas de 3000 mAh. Observando a tabela, em alguns cenários a capacidade de autonomia foi 2 vezes maior com o uso de baterias novas. Já com relação as 3 configurações de alimentação dos instrumentos a serem utilizados, valores estes definidos pois a maioria dos instrumentos industriais seguem estes valores padrão de alimentação, principalmente 24 volts, podemos observar significativo aumento de consumo, e conseqüentemente a menor autonomia ao se utilizar instrumentos com alimentação a 24 volts. Ficando claro que na configuração atual de baterias é inviável a alimentação do sistema e do instrumento a ele ligado apenas por alimentação solar, e surgindo uma possível melhoria nos sistemas de baterias e geração de energia do protótipo.

Para iniciar a quarta fase de testes os protótipos e suas placas solares foram montadas em uma área externa, figuras 66, 67, 68 e 69. A termoresistência PT-100 e o transmissor de temperatura C202 também foram alocados em um local externo.

Figura 66: Protótipos Fixados



Fonte: Do autor, 02 de novembro de 2019.

Figura 67: Placas Solares Fixadas



Fonte: Do autor, 02 de novembro de 2019.

Figura 68: Protótipo e Instrumento Instalados



Fonte: Do autor, 02 de novembro de 2019.

Figura 69: Protótipo Coordenador Instalado



Fonte: Do autor, 02 de novembro de 2019.

O intuito era simular condições similares as quais o sistema estaria exposto em um ambiente industrial, como sol, chuva, variações de humidade e temperatura, além de observações do comportamento do sistema em modo de operação contínuo. Nesta etapa inicialmente foram testadas as eficiências das placas solares. Para isso, foi simulado um cenário em que as cargas das baterias dos protótipos foram drenadas, e o sistema foi colocado em período de funcionamento durante um período de 9h, tempo de exposição das placas solares a luz. Os testes foram realizados no dia 23 de novembro do ano de 2019, com médias de temperatura 28 °C e índice solar de 3500 KJ/m². Estes valores foram consultados no site do INMET para a cidade de Araxá-MG os resultados encontrados dos testes estão explícitos na tabela 11 e 12.

Tabela 11: Placa Solar Módulo Coordenador

Configuração Datalogger	1 seg	5 seg	10seg
Capacidade Bateria	3000mAh	3000mAh	3000mAh
Consumo	95mA	80mA	78mA
Tempo	9H	9H	9H
Carga Final	78%	85%	86%

Fonte: Do autor, em 03 de novembro de 2019.

Como o intuito era a avaliação da eficiência das placas solares em alimentar o sistema e recarregar as baterias, levando em consideração o tempo de exposição a luz solar e os índices de luminosidade nos dias dos testes, os resultados encontrados para o protótipo coordenador foram bastante positivos, mesmo com configurações de maior consumo de energia do protótipo.

Tabela 12: Placa Solar Módulo Instrumento

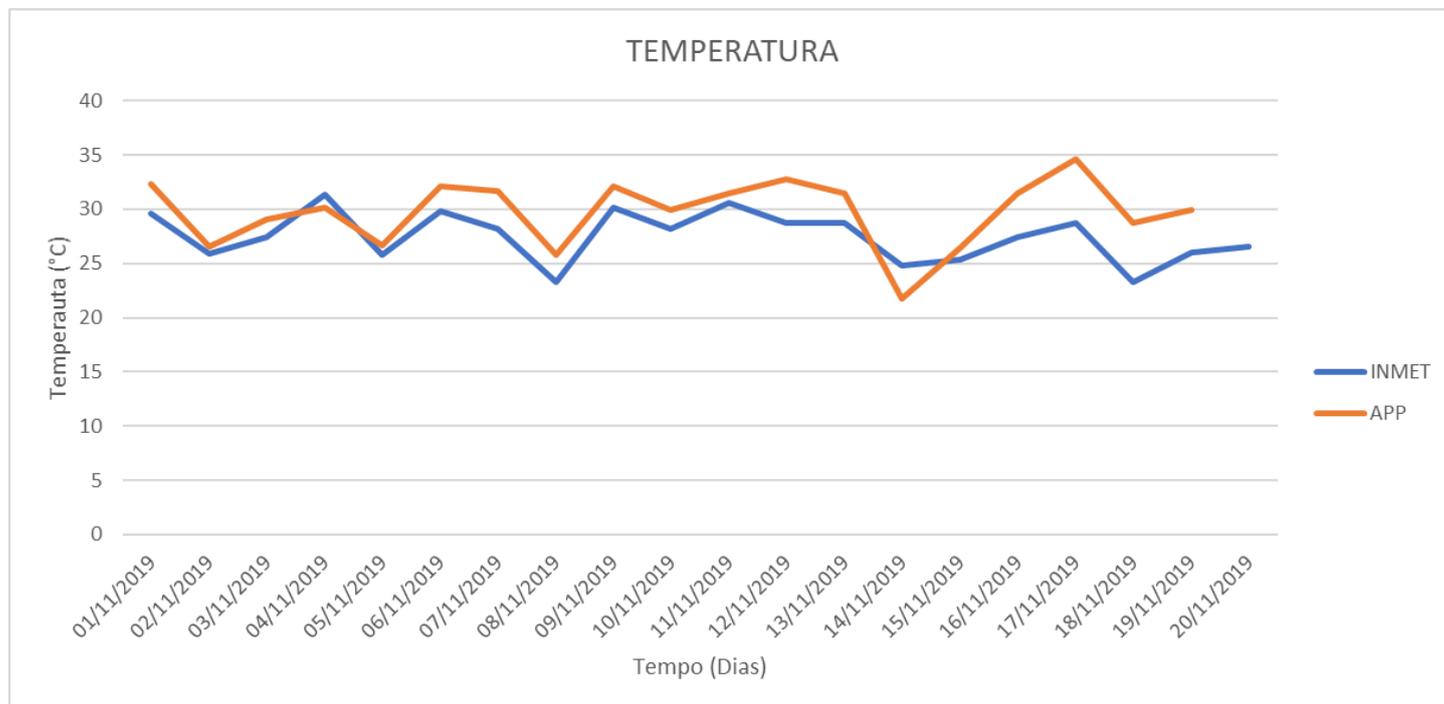
Configuração Instrumento	24 V	12 V	6 V
Capacidade Bateria	3000mAh	3000mAh	3000mAh
Consumo	250mA	180mA	150mA
Tempo	9H	9H	9H
Carga Final	54%	59%	69%

Fonte: Do autor, em 03 de novembro de 2019.

Já os resultados encontrados para o protótipo instrumento, demonstraram uma baixa eficiência no carregamento das baterias utilizando as placas solares de 6w de potência, particularmente quando utilizado instrumentos com alimentação à 24 V. Fato esse, relacionado ao consumo maior do protótipo. Apontando uma oportunidade de melhoria tanto das baterias utilizadas, como do sistema de energia solar utilizado nos testes.

A quinta fase, consistiu no funcionamento contínuo do protótipo durante 20 dias, nesta etapa, foram observados níveis de energia das baterias, correlacionando-os com os níveis de radiações solares diários. Também foram verificados os valores de temperatura ambiente registrados em intervalos de 8 horas no aplicativo, *datalogger* e no sensor sendo este aferido através do valor da resistência do mesmo, estes dados foram comparados aos valores de temperatura registrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados registrados durante o período de teste encontram-se nos apêndices A e B. A figura 70, demonstra o gráfico dos valores de temperatura registrados pelo aplicativo, comparando-os com valores registrado pelo INMET para o período testado na cidade de Araxá-MG.

Figura 70: Gráfico - Comparativo Registro Temperatura

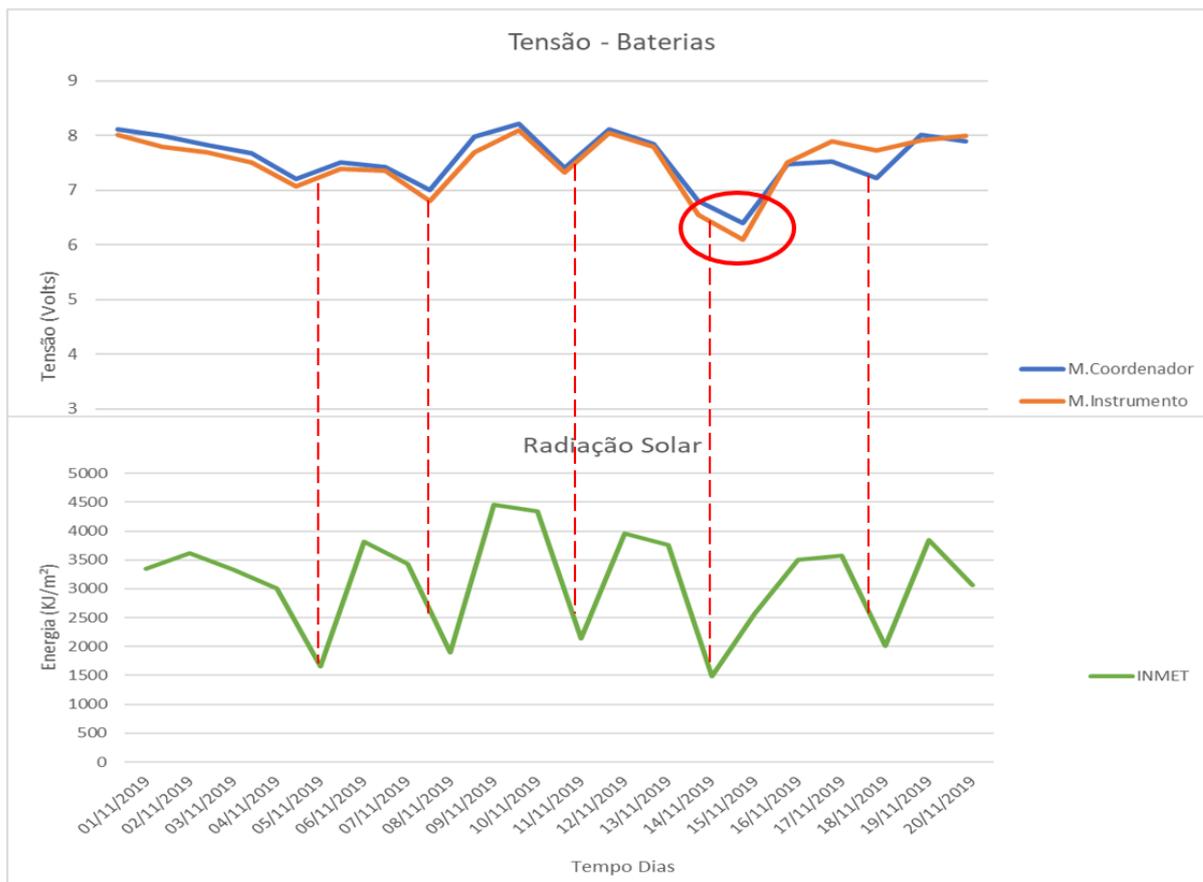


Fonte: Do autor, 21 de novembro de 2019.

Como podemos analisar, a figura 70 demonstra a proximidade dos dados coletados no aplicativo com os valores consultados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Demonstrando a eficácia do sistema em mensurar, processar, exibir e armazenar os valores de temperatura ambiente, no intervalo de tempo compreendido.

O gráfico das figuras 71, demonstra os valores de tensão das baterias dos protótipos registrados diariamente, correlacionando-os com os níveis diários de radiação solar. Dados estes, obtidos no sitio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 71: Gráfico - Carga Baterias e Radiação Solar



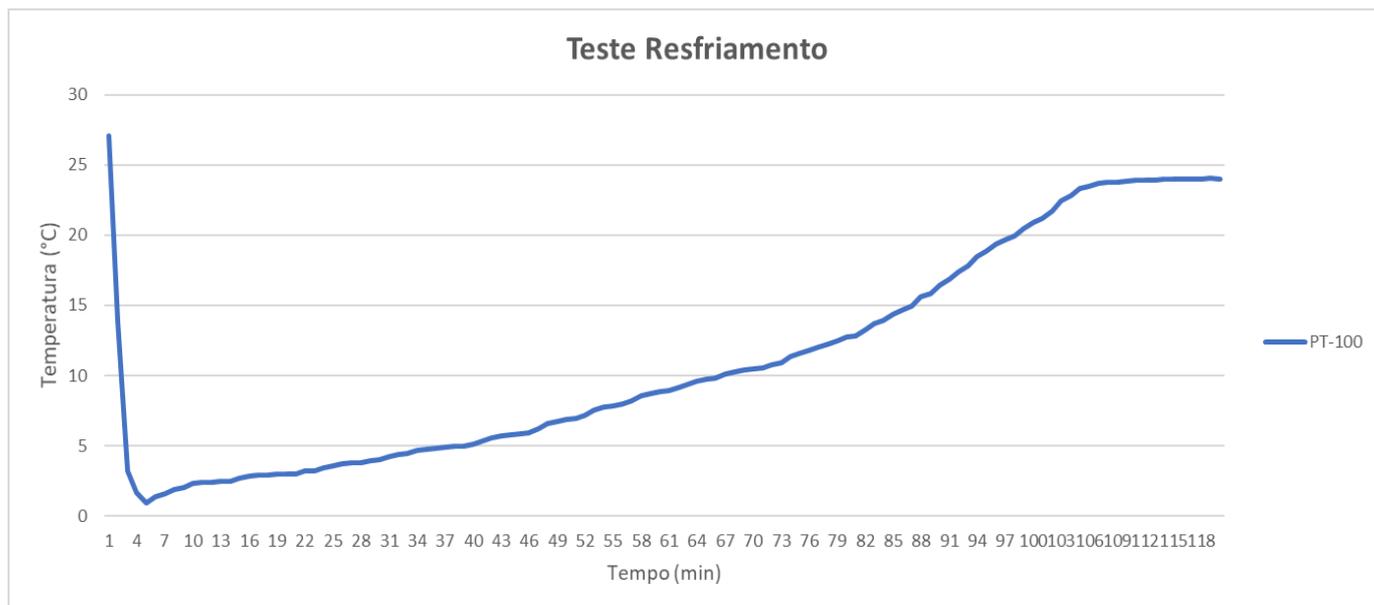
Fonte: Do autor, 21 de novembro de 2019.

Averiguando o gráfico da figura 71, podemos fazer uma analogia dos níveis de tensão das baterias dos protótipos e os níveis de radiação solar. Ficando explícito maiores níveis de tensão das baterias, em dias de maior nível de radiação solar, assim como menores níveis de tensão em dias de menor nível solar registrado. Um adendo, nos dias 14 e 15 de novembro, houve o menor nível de tensão registrado das baterias. Fato este, devido aos dias chuvosos consecutivos, demonstrados no gráfico 3, em que fica evidente os menores níveis de radiação solar no período.

Para a aferição da precisão do instrumento utilizado, PT-100, e consequentemente do sistema projetado, foram realizados dois ensaios. O primeiro ensaio com a ajuda de um recipiente, o instrumento foi imerso em água com gelo com temperatura próxima a 0 °C e o segundo ensaio foi utilizado água em ebulição próxima 100 °C. Em ambas as etapas os testes foram decorridos até que o líquido atingisse a

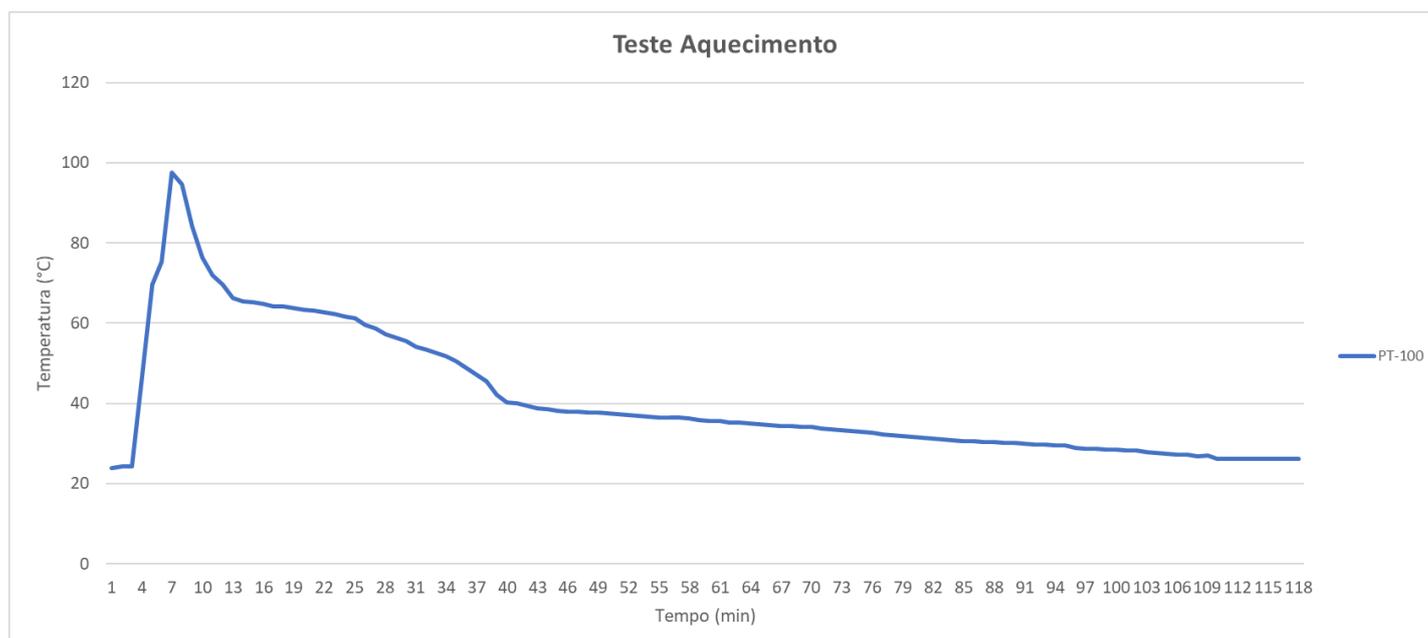
temperatura ambiente, os dados foram registrados pelo *datalogger* e estão exibidos nos gráficos x e y. Os valores máximos e mínimos de leitura do instrumento pelo app e medição de resistência do mesmo foram encontrados e estão representados na tabela 13. Os valores de resistência encontrados foram medidos utilizando um multímetro Minipa modelo ET-1057B.

Figura 72: Gráfico – Teste Resfriamento



Fonte: Do autor, 25 de novembro de 2019.

Figura 73: Gráfico – Teste Aquecimento



Fonte: Do autor, 25 de novembro de 2019.

Analisando os gráficos das figuras 72 e 73, podemos observar o comportamento semelhante do sistema quanto à capacidade de percepção do sensor na variação brusca de temperatura. No entanto, apresentam certa distinção quanto ao seu comportamento para atingir o equilíbrio da temperatura ambiente, enquanto no teste de resfriamento, o sistema apresenta um comportamento linear e mais lento para se atingir o ponto de equilíbrio. No teste de aquecimento, o sistema apresentou um comportamento não linear inicialmente, devido ao fato dos testes ocorrerem em ambiente externo e não controlado, apenas atingindo a linearidade próximo à 40°C.

Tabela 13: Ensaio de Temperatura

	TEMP.APP(°C)	TEMP.SD(°C)	RESISTÊNCIA PT-100(Ω)
Ensaio 1 (Água em Ebulição)	97,59	97,58	137,60
Ensaio 2 (Água Congelada)	0,89	0,89	100,21

Fonte: Do autor, em 23 de novembro de 2019.

Através dos resultados encontrados, fica comprovado a precisão do instrumento utilizado atingido valores de leitura bem próximos dos valores reais, consequentemente comprovando-se também a precisão do sistema projetado.

Como etapa final foi analisado o volume de dados gerados pelo *datalogger* e sua capacidade de armazenamento. Para isso foram simulados 3 cenários, variando a frequência de registro do valor de temperatura gerado pelo instrumento, e coletados em um período de 24 horas. Os resultados obtidos foram expostos na tabela 14.

Tabela 14: *Datalogger* Módulo Coordenador

Configuração <i>Datalogger</i>	1 seg	5 seg	10 seg
Capacidade	16 Gb	16 Gb	16 Gb
Volume de Dados (dia)	2 Mb	1,6 Mb	1,2 Mb
Expectativa Capacidade (dias)	8000	10000	13300

Fonte: Do autor, em 03 de novembro de 2019.

Observando os resultados obtidos, fica demonstrado o baixo volume de dados gerados, devido a extensão de arquivo utilizado .txt e conseqüentemente a grande capacidade de armazenamento do sistema desenvolvido. Com médias de 2 megabytes de dados gerados ao dia, e utilizando um cartão Micro SD de 16 gigabytes, logo o sistema tem capacidade de até 13300 dias ou 36 anos de armazenamento.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no projeto, podemos concluir que os objetivos propostos foram atingidos. Ficou demonstrado que é possível projetar e construir protótipos com a alimentação à energia solar para redes industriais sem fio, utilizando comunicação *ZigBee* para monitoramento e armazenamento de variáveis de processo, como a temperatura, com um uso de aplicativo para dispositivos móveis e um *datalogger* para armazenamento de dados gerados.

A utilização dos módulos *XBee* foi determinante para construção da rede sem fio, apresentando grande alcance, segurança dos dados trafegados, flexibilidade no uso de diversos instrumentos a ele conectado, além garantir mobilidade e possibilidade de instalação do protótipo em diversos lugares de difícil acesso, consumido pouca energia. A arquitetura da rede foi projetada, possibilitando também a inserção de novos dispositivos de maneira rápida e eficiente.

A comunicação *Bluetooth* e o desenvolvimento do aplicativo na plataforma Android, garantiu a flexibilidade do uso dos protótipos com diversos fabricantes de dispositivos móveis presentes no mercado, além de garantir um bom nível segurança uma vez que os usuários precisam utilizar o código PIN, para conexão com o módulo *Bluetooth*.

A utilização de energia solar, demonstrou ser uma opção viável, simples, de baixo custo e renovável para obtenção de energia ao sistema projetado. Além de permitir uma maior mobilidade de instalação do sistema em ambientes remotos e de difícil acesso, uma vez que a instalação das placas solares é realizada de maneira simples e rápida. Também não sendo necessário instalação de infraestruturas para o fornecimento de energia elétrica aos protótipos e aos instrumentos, utilizando fontes tradicionais.

Os testes com os protótipos foram realizados em ambiente aberto e com valores de medição real, utilizando um instrumento para medição de temperatura em processos industriais. Simulando um ambiente presente na área industrial, com variações de temperatura, umidade e exposição aos intemperes do clima. Os dados obtidos pelo sistema foram confrontados com uma base de dados meteorológicos, comprovando a eficiência e precisão dos protótipos.

A inserção de um *datalogger* no projeto, demonstrou a possibilidade de armazenamento dos valores da variável de processo em um banco de dados, deixando estas informações disponíveis para futuras análises e tratamento destes dados. Fornecendo assim, uma ferramenta de auxílio para estudos e melhorias de processos industriais, averiguação da disponibilidade e precisão do instrumento utilizado.

Uso dos protocolos para redes sem fio industriais no projeto, demonstrou a possibilidade desenvolvimento de um equipamento para redes industriais funcional, ficando explicitado as vantagens deste tipo de comunicação, como flexibilidade, pela simples instalação e mobilidade que os protótipos possuem e a disponibilidade, uma vez que não exigem grandes sistemas cabeados para o funcionamento do sistema.

Por fim, com os resultados obtidos acredita-se que sistema projetado tenha uma aceitação no mercado, pois consiste em um sistema que para o acompanhamento e manutenção de processos industriais, apresentando grande abrangência de uso, com segurança e confiabilidade.

7. TRABALHOS FUTUROS

Cumprido os objetivos propostos, diante dos protótipos construídos e dos resultados encontrados, conclui-se que outras possibilidades de pesquisa envolvendo o conteúdo abordado são viáveis.

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

- Aumento da autonomia dos protótipos, tornando-os mais viáveis para sistemas que possuem instrumentos com alimentação de 24 Vcc e longos períodos com baixa luminosidade.
- Desenvolvimento de um software, para o controle de carga das baterias, afim de aumentar autonomia, por gerenciamento do ciclo de leitura do instrumento.
- Sistema de monitoramento e alerta da carga das baterias, para seu melhor gerenciamento.
- Análise da segurança das informações trafegadas na rede ZigBee
- Análise do alcance e mapeamento da rede ZigBee em ambiente industrial.
- Envio dos dados do sensor através da internet, para um sistema de banco de dados em “cloud”.
- Ampliar o funcionamento do protótipo de apenas leitura e armazenamento de dados, para também ações de controle com o envio de sinais discretos ou analógicos em elementos finais de controle.

Estes foram alguns aspectos observados, durante os períodos de concepção, testes e conclusão do projeto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AI AGHA, K. et al. Which wireless technology for industrial wireless sensor networks? The Development of OCARI Technology. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Orsay, v. 56, n. 10, p. 4266-78, Oct. 2009.

ALECRIM, E. **Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona?**. 2018. Disponível em: <<https://www.infowester.com/bluetooth.php>>. Acesso em: 16 de nov. 2018.

ALENCAR, F. **Como Diferenciar os MicroSDs?**. 2015. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/11/como-diferenciar-os-microsds-e-encontrar-o-melhor-tipo-para-o-usuario.html>>. Acesso em: 17 de set. 2018.

ALMEIDA, F. B. **Padronização da Comunicação Sem Fio em Ambientes Industriais – ISA SP 100.**, Salvador, 2009, 55p.

ANDROID STUDIO. 2018. Disponível em: <<https://developer.android.com/sdk/installing/studio.html>>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

AQEEL, A. **Introduction to Arduino IDE.** 2018. Disponível em: <<https://www.theengineeringprojects.com/2018/10/introduction-to-arduino-ide.html>>. Acesso em: 16 de nov. 2018.

ARDUINO.CC. **O que é Arduino?**. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>>. Acesso em: 16 de set. de 2018.

AUTO CORE ROBOTICA. **Módulo Bluetooth 4.0 Compatível HM-10 Master/Slave.** 2018. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/modulo-bluetooth-40-hm10-master-slave>>. Acesso em: 19 de nov. de 2018.

BALBINOT, A. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas.** 1ª Ed.. Rio de Janeiro:, 2006.474p.. ISBN:85-216-1496-9.

BEZERRA, J. B. **Instrumentação Eletrônica sem Fio: transmitindo dados com módulos XBee ZigBee e PIC16F877A.** 1ª Ed. São Paulo: Érica, 2014.

BRITO, R. C. **Desenvolvimento Android Utilizando a IDE Android Studio.** 2015. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/desenvolvimento-android-utilizando-a-ide-android-studio/33872>>. Acesso em: 16 de nov. 2018.

CÂMARA, MARLON. **Bluetooth: O que é e como funciona.** 2012. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/01/bluetooth-o-que-e-e-como-funciona.html>>. Acesso em: 11 de nov. de 2018.

CAMTEC. **Princípio de Funcionamento e Características Termoresistência.** 2018. Disponível em: < <http://camtec.com.br/?p=conteudo&id=197>>. Acesso em: 16 de nov. 2018.

CARVALHO, S. **Android Studio: vantagens e desvantagens com relação ao Eclipse,** 2013. Disponível em:< <http://imasters.com.br/mobile/android/android-studiovantagens-e-desvantagens-com-relacao-ao-eclipse/>>. Acesso em: 16 de Nov. de 2018.

CASSIOLATO, C. **Wireless-ISA 100.** 2011a. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index131.html>>. Acesso em: 29 de out. de 2018.

CASSIOLATO, C. **Redes Industriais.** 2011b. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index150.html>>. Acesso em: 10 de nov de 2018.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig.** Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

COSTA, C. E. S. ; MULLER, I. ; WINTER, J. M. ; PEREIRA, C.E ; NETTO, J. C. ; RAMOS, R. R. . **Industrial Wireless Instrumentation and the Current Commissioning Model.** In: The 19th IFAC World Congress, 2014, Cape Town. The 19th IFAC World Congress, 2014. p. 2617-2621.

DIGI INTERNATIONAL. **Digi XBee ZigBee.** 2018a. Disponível em:< <https://www.digi.com/products/embedded-systems/rf-modules/2-4-ghz-modules/xbee-zigbee#specifications> >. Acesso em: 13 de nov. 2018.

DIGI INTERNATIONAL. **X-CTU Next Generation Configuration Platform for Xbee/RF Solutions.** 2018b. Disponível em: < <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu> >. Acesso em: 13 de nov. 2018.

FARIAS, T. **Utilização da plataforma Arduino e protocolo Zigbee para implementação de telemetria tolerante a falhas.** Passo Fundo: IMED, 2013.

FREITAS, L. C.; BRAMATTI, N.; CAVALCANTE, A. M.; COSTA, J. C. W. A.; FRANCÊS, R. **Redes de Sensores Sem Fio em Ambientes Industriais: Estudo de**

Caso em uma Subestação de Energia Elétrica. XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBRT 2007, Recife, 03-06 de Setembro de 2007.

GUIA DE COMPRA. **Como Identificar e Escolher uma Bateria 18650.** 2018. Disponível em: < https://guiadecompra.org/como-escolher-a-bateria-18650-certa/#O_que_e_a_bateria_18650>. Acesso em: 15 de set. de 2019.

HART® Communication Foundation. 2018. Disponível em: <<https://fieldcommgroup.org/>>. Acesso em: 22 em nov. de 2018.

IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração.** 2014. Disponível em :< <http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.

INOR. **IPAQ C202.** 2015. Disponível em: < <https://www.inor.com/produto/ipaq-c202/>>. Acesso em: 11 de nov de 2019.

ITSOLAR. **O que é OPV? Painéis Solares Orgânicos.** 2019. Disponível em: < <https://itsolar.com.br/energia-solar/o-que-e-opv-paineis-solares-fotovoltaicos-organicos/>>. Acesso em: 19 de set de 2019.

JUNIOR, L. A. C. **WirelessHart – Tecnologia Wireless aplicada a instrumentos de campo.** Revista Controle & Instrumentação, n°144, pp. 74-78. Março, 2009.

LECHETA, R. R. **“Google Android: Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK”.** 1. ed. São Paulo, 2009: Novatec.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. **Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão.** REV. VIRTUAL QUIM.,v. 7, n. 1, p. 126 – 143, 2015.

MASTERWALKERSHOP. **Fonte Ajustável para Protoboard MB102.** 2019. Disponível em: < <https://www.masterwalkershop.com.br/fonte-ajustavel-33v-5v-para-protoboard-mb102>>. Acesso em: 15 de set. de 2019.

MOURA, E.; BARRO, C.; **Os benefícios e vantagens do protocolo wireless isa100.** 2017. Disponível em: < <https://www.summitcontrol.com.br/beneficios-do-protocolo-wireless-isa100/>>. Acesso em: 11 de nov. de 2018.

MULLER, I. et al. **Development of a WirelessHART compatible field device.** In: **IEEE INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE**, 2010, Austin. New York: IEEE Conference Publications, 2010. p. 1430.

NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

OLIVEIRA, E. M.; **Monitoramento de Variável Industrial Através de Rede sem Fio e Utilização de Dispositivo Móvel.** 2012. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2012.

PATAH, R. **O Boom dos Smarthpones e seu impacto no comportamento do consumidor.** 2018. Disponível em: <<https://mindminers.com/consumo/pesquisa-mobile>>: Acesso: 28 de set. de 2018.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica.** Porto: Publindústria, 2011.

PINHEIRO, J. M. S. **As Redes com ZigBee. Site Projeto de Redes.** Seção Artigos. 2004. Disponível em: <http://www.projotoderedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php>. Acesso em 13 de Ago. de 2018.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PORTA, L. D. **Regulador de Tensão Ajustável LM2596 Step Down DC-DC.** 2016. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/regulador-de-tensao-ajustavel-lm2596-step-down-dc-dc/>>. Acesso em 14 de Set. de 2019

PORTALSOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico.** 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 02 de nov. de 2019.

RINKY-DINK. **Library: DS3231** 2014. Disponível em: <<http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=73>>. Acesso: 16 de set. de 2019.

RUTHER, R. – Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

SALEIRO, M.; EY, E. **Zigbee: Uma Abordagem Prática.** 2010. Disponível em: <http://www.lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf> Acesso em: 11 de nov. de 2018.

SEVERINO, M.; OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SILVA, I. et al. **Tecnologias Emergentes para Redes Industriais sem Fio: WirelessHart vs ISA100.11A**. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, 2013.

SILVA, L. **Desenvolvimento de uma Rede de Sensores Sem Fio Utilizando Zigbee para Aplicações Diversas**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia da Computação, Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

TRIPATHI, A.; HANS, K. **Android Operating System: A Comparative Analysis**. *International Journal of Computer Science and Management Research*. Noida, UP India, v.2, ed.4. 2013.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, Cinergia, 2003.

USINAINFO. **Controlador de Carga / Placa de Proteção de Carga BMS para Bateria 18650 2S 10A 8.4V**. 2019. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/controladores-de-carga/controlador-de-carga-placa-de-protecao-de-carga-bms-para-bateria-18650-2s-10a-84v-5446.html>>. Acesso em: 19 de set. de 2019

USINAINFO. **Regulador de Tensão Ajustável XL6009 Auto Boost Step Up**. 2016. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/reguladores-de-tensao/regulador-de-tensao-ajustavel-xl6009-auto-boost-step-up-para-mais-e-down-para-menos-125v-a-30v-2555.html>>. Acesso em: 19 de set. de 2019.

VIDAL, V. **Gravação de Cartão Micro SD com Arduino**. 2018. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/gravacao-de-cartao-micro-sd-com-arduino/>>. Acesso em: 16 de set. de 2019

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

YUN, Z.; ZHIHAO, L.; LUMING, L. **Network Management in WirelessHART network for industry application**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS COMMUNICATIONS NETWORKING AND MOBILE COMPUTING (WiCOM), 6., 2010.

ZIGBEE ALLIANCE. **ZigBee. Website Oficial**. 2018. Disponível em: <<http://www.zigbee.org>>. Acesso em: 11 de nov. de 2018.

9. APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela registros dados temperatura ambiente e radiação solar na cidade de Araxá-MG

DATA	HORA	TEMP. INMET (°C)	TEMP.APP(°C)	TEMP.SD(°C)	RESISTÊNCIA PT-100(Ω)	Radiação Solar (kJ/m ²)
01/11/2019	07:00	20,4	21,5	21,5	108,34	-3,54
01/11/2019	15:00	29,6	32,3	32,3	112,46	3352
01/11/2019	23:00	19,6	20,9	20,9	108,01	-2,53
02/11/2019	07:00	18,9	19,3	19,3	107,5	-3,54
02/11/2019	15:00	25,9	26,5	26,5	110,23	3623
02/11/2019	23:00	21,7	23,6	23,6	108,12	-2,23
03/11/2019	07:00	19,4	20,9	20,9	108,02	-3,54
03/11/2019	15:00	27,4	29,1	29,1	111,32	3329
03/11/2019	23:00	25,2	26,8	26,8	110,39	-3,54
04/11/2019	07:00	21,6	22,9	22,9	108,78	-3,54

04/11/2019 15:00	31,3	30,1	30,1	112,09	3001
04/11/2019 23:00	25,2	26,2	26,2	110,2	-3,54
05/11/2019 07:00	19,1	20,8	20,8	107,97	-3,2
05/11/2019 15:00	25,8	26,7	26,7	110,41	1659
05/11/2019 23:00	24,4	26	26	110,12	-3,49
06/11/2019 07:00	21,1	20,8	20,8	107,97	-3,54
06/11/2019 15:00	29,8	32,1	32,1	112,38	3809
06/11/2019 23:00	22,9	24,5	24,5	109,52	-3,54
07/11/2019 07:00	20,3	22,8	22,8	108,76	586,5
07/11/2019 15:00	28,2	31,7	31,7	112,35	3430
07/11/2019 23:00	24,9	26,3	26,3	110,23	1343
08/11/2019 07:00	21,7	24,4	24,4	109,5	1408
08/11/2019 15:00	23,3	25,8	25,8	109,8	1896
08/11/2019 23:00	22,4	24,1	24,1	109,42	713,9

09/11/2019 07:00	19,7	19,2	19,2	107,45	711
09/11/2019 15:00	30,2	32,1	32,1	112,57	4450
09/11/2019 23:00	22,5	25,8	25,8	109,96	152,2
10/11/2019 07:00	20,1	21,6	21,6	108,3	1179
10/11/2019 15:00	28,2	29,9	29,9	111,58	4335
10/11/2019 23:00	25,3	23,9	23,9	109,21	201,7
11/11/2019 07:00	21,8	22,5	22,5	108,78	764,6
11/11/2019 15:00	30,6	31,5	31,5	112,25	2138
11/11/2019 23:00	23,9	21,5	21,5	108,31	61,53
12/11/2019 07:00	19,7	22,7	22,7	108,71	402,6
12/11/2019 15:00	28,7	32,8	32,8	112,58	3962
12/11/2019 23:00	19,5	20,8	20,8	107,9	82,53
13/11/2019 07:00	20,2	20,9	20,9	108,05	852,8
13/11/2019 15:00	28,7	31,5	31,4	111,7	3752

13/11/2019 23:00	28,7	22,5	22,5	108,3	726,8
14/11/2019 07:00	21,7	22,5	22,6	108,69	358
14/11/2019 15:00	24,8	21,7	21,7	108,41	1487
14/11/2019 23:00	23,7	22,8	22,8	108,7	561,7
15/11/2019 07:00	19,8	24,7	24,7	109,6	401,4
15/11/2019 15:00	25,3	26,4	26,4	110,32	2561
15/11/2019 23:00	20,5	20,5	20,5	107,92	285,7
16/11/2019 07:00	18,6	21,2	21,2	108,3	155
16/11/2019 15:00	27,4	31,49	31,49	112,1	3509
16/11/2019 23:00	23,8	22,2	22,2	108,64	1294
17/11/2019 07:00	19,1	25,93	25,93	106,1	1422
17/11/2019 15:00	28,7	34,57	34,57	113,39	3576
17/11/2019 23:00	22,8	22,12	22,12	108,63	1362

18/11/2019 07:00	20,5	22,12	22,12	108,63	639,2
18/11/2019 15:00	23,3	28,71	28,71	111,02	2004
18/11/2019 23:00	21,9	20,95	20,95	104,11	441,5
19/11/2019 07:00	18,7	21,53	21,53	108,3	1129
19/11/2019 15:00	26	29,88	29,88	111,4	3841
19/11/2019 23:00	18,1	21,8	21,8	108,35	813
20/11/2019 07:00	18,2	21,9	21,8	108,43	439,7
20/11/2019 15:00	26,5	33,2	33,2	112,56	3058
20/11/2019 23:00	19,6	20,7	20,7	107,92	1401

DATA	HORA	M.COORDENADOR (Volts)	M.INSTRUMENTO (Volts)
01/11/2019	07:00	8,4	8,4
01/11/2019	17:00	8,12	8,02
02/11/2019	07:00	7,8	7,75
02/11/2019	17:00	7,99	7,8
03/11/2019	07:00	7,68	7,54
03/11/2019	17:00	7,83	7,69
04/11/2019	07:00	7,42	7,23
04/11/2019	17:00	7,68	7,51
05/11/2019	07:00	7,29	7,1
05/11/2019	17:00	7,2	7,07
06/11/2019	07:00	6,89	6,68
06/11/2019	17:00	7,5	7,39
07/11/2019	07:00	7,12	6,97
07/11/2019	17:00	7,42	7,36

08/11/2019 07:00	7,02	6,79
------------------	------	------

08/11/2019 17:00	7,01	6,81
------------------	------	------

09/11/2019 07:00	6,69	6,4
------------------	------	-----

09/11/2019 17:00	7,98	7,7
------------------	------	-----

10/11/2019 07:00	7,78	7,49
------------------	------	------

10/11/2019 17:00	8,22	8,1
------------------	------	-----

11/11/2019 07:00	7,98	7,78
------------------	------	------

11/11/2019 17:00	8,18	8,04
------------------	------	------

12/11/2019 07:00	7,81	7,77
------------------	------	------

12/11/2019 17:00	8,12	8,04
------------------	------	------

13/11/2019 07:00	7,53	7,42
------------------	------	------

13/11/2019 17:00	7,84	7,8
------------------	------	-----

14/11/2019 07:00	7	6,76
------------------	---	------

14/11/2019 17:00	6,8	6,55
------------------	-----	------

15/11/2019 07:00	6,3	6
------------------	-----	---

15/11/2019 17:00	6,7	6,4
------------------	-----	-----

16/11/2019 07:00	6,3	6,1
------------------	-----	-----

16/11/2019 17:00	7,47	7,51
------------------	------	------

17/11/2019 07:00	6,2	6,44
------------------	-----	------

17/11/2019 17:00	7,53	7,9
------------------	------	-----

18/11/2019 07:00	7,17	7,51
------------------	------	------

18/11/2019 17:00	7,22	7,72
------------------	------	------

19/11/2019 07:00	6,99	7,64
------------------	------	------

19/11/2019 17:00	8,01	7,91
------------------	------	------

20/11/2019 07:00	7,68	7,73
------------------	------	------

20/11/2019 17:00	7,89	8
------------------	------	---
