



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE
TELECOMUNICAÇÕES**



ENIO NICHOLLAS CORDEIRO TAVARES

**REDE DE RÁDIO XBEE PARA SUPERVISÃO, TELECOMANDO E CONTROLE DA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

**MANAUS - AM
2020**

ENIO NICHOLLAS CORDEIRO TAVARES

**REDE DE RÁDIO XBEE PARA SUPERVISÃO, TELECOMANDO E CONTROLE
DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Projeto apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM como requisito para a obtenção de aprovação no curso Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. MSc. José Geraldo de Pontes e Souza.

**MANAUS - AM
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T231r Tavares, Enio Nichollas Cordeiro.

Rede de rádio XBEE para supervisão telecomando e controle da iluminação pública. / Enio Nichollas Cordeiro Tavares. – Manaus, 2020.
75f. : il. Color.

TCC (Tecnologia em Sistema de Telecomunicações) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, 2020.

Orientador: Prof. MSc. José Geraldo de Pontes e Souza

I. Rede. 2. Iluminação pública. 3. ZigBee. 4. XBee. I. Souza, José Geraldo de Pontes e (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.382

Elaborada por Fc^a. Amélia Frota, registro n.858 (CRB11)

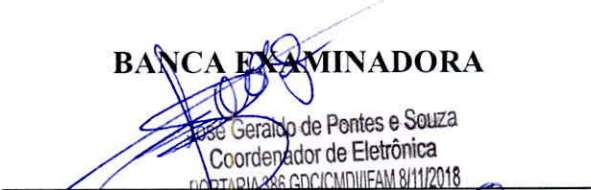
ENIO NICHOLLAS CORDEIRO TAVARES

**REDE DE RÁDIO XBEE PARA SUPERVISÃO, TELECOMANDO E CONTROLE DA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Projeto apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM como requisito para a obtenção parcial do título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

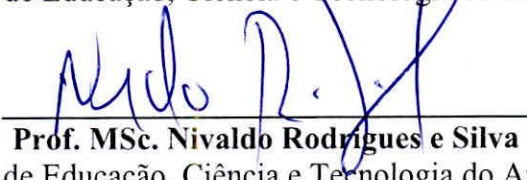
Aprovado em 11 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

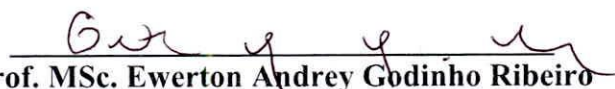

José Geraldo de Pontes e Souza
Coordenador de Eletrônica
PORTARIA 306/GDC/ICMD/IFAM 8/11/2018

Prof. MSc. José Geraldo de Pontes e Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)


Prof. MSc. Nivaldo Rodrigues e Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)


Prof. MSc. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

MANAUS - AM
2020

Dedico a minha família que me apoiou desde os meus primeiros passos e sem a qual não seria possível realizar esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida e por todas as bênçãos que me dá, sendo a maior delas, meu filho Enzo Miguel que todos os dias me alegra.

Sou grato a todos que me apoiaram, incentivaram e participaram comigo desta caminhada. Agradeço principalmente a minha família, aos presentes e ausentes, que torcem e sempre torceram por mim, e que espero orgulhar sempre.

Agradeço também aos amigos e colegas com quem pude dividir experiências, conhecimento e amizade. Agradeço a esta instituição, a qual tenho imenso carinho, e orgulho de ter feito parte, desde o ensino médio, na UNED.

Agradeço ao mestre prof. Orientador, que sempre tranquilamente, me atendeu e disse que era possível.

RESUMO:

A iluminação pública é um ativo fundamental para a sociedade, desde o seu surgimento, devido ao importante papel que desempenha, trazendo claridade nos períodos em que a luz natural se faz ausente, principalmente nas áreas urbanas, possibilitando o desenvolvimento de atividades noturnas, como comércio, lazer, turismo e contribuindo também para inibir práticas criminosas, nesses períodos. O sistema de iluminação pública é um serviço que, naturalmente, deve acompanhar o crescimento das cidades e o aumento da demanda, torna ainda mais importante e necessária a supervisão e controle do sistema. A dependência de serviços essenciais como este, pode fazer com que haja a necessidade de se obter cada vez mais alternativas novas, inteligentes e eficazes para se manter os serviços. Este trabalho tem o intuito de demonstrar como a comunicação via rádios XBee pode-se inserir neste contexto, e ajudar na supervisão e controle da iluminação pública. Para alcançar o objetivo buscou-se o desenvolvimento de um projeto baseado na formação de uma rede de comunicação, utilizando o protocolo ZigBee, através dos rádios XBee, no qual há uma estação de supervisão e controle e uma estação remota, simulando um ponto de iluminação pública, que utiliza um sensor de luminosidade LDR para coletar dados do ambiente, e os envia, através da rede ZigBee, para a estação de supervisão e controle. A estação de supervisão e controle conta também com a plataforma Arduino, que utiliza a capacidade de processamento para analisar os dados recebidos e enviar um comando de controle à estação remota. A rede formada pelos rádios XBee se mostrou confiável, de fácil iniciação e bom desempenho, graças a rápida e estável conexão dos módulos, o que permitiu que o nó remoto pudesse enviar os dados coletados ao nó central e obtivesse de volta o telecomando de controle para a ativação do ponto de iluminação. Além disso, foi criada uma aplicação para registro dos acionamentos remotos, de maneira que haja possibilidade de análise e monitoramento do funcionamento do projeto.

Palavras-Chave: Rede. Iluminação Pública. ZigBee. XBee

ABSTRACT:

Public lighting is a fundamental asset for society, since its emergence, due to the important role it plays, bringing clarity in periods when natural light is absent, especially in urban areas, enabling the development of night activities, such as commerce, leisure, tourism and also helping to inhibit criminal practices during these periods. The public lighting system is a service that, of course, must accompany the growth of cities and the increase in demand, making system supervision and control even more important and necessary. Dependence on essential services like this, may mean that there is a need to obtain more and more new, intelligent and effective alternatives to maintain the services. This work aims to demonstrate how communication via XBee radios can be inserted in this context, and help in the supervision and control of public lighting. In order to achieve the objective, we sought to develop a project based on the formation of a communication network, using the ZigBee protocol, through the XBee radios, in which there is a supervision and control station and a remote station, simulating a public lighting spot, which uses an LDR light sensor to collect data from the environment, and sends it, through the ZigBee network, to the supervision and control station. The supervision and control station also has the Arduino platform, which uses the processing capacity to analyze the data received and send a control command to the remote station. The network formed by the XBee radios proved to be reliable, easy to initiate and good performance, thanks to the fast and stable connection of the modules, which allowed the remote node to send the collected data to the central and get the control remote back to the activation of the lighting point. In addition, an application was created to record remote drives, so that there is the possibility of analyzing and monitoring the project's operation.

Keywords: Network. Public Lightning. ZigBee. XBee.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Figura 1: Iluminação pública no Brasil	9
Figura 2 - Distribuição dos pontos por região.....	10
Figura 3 – Ilustração de um ponto de iluminação pública	11
Figura 4 – Lampadas de descarga a vapor metálico.....	12
Figura 5 – Relé fotoelétrico.....	12
Figura 6 – Imagem de reator interno e externo para iluminação pública.....	13
Figura 7 – Comparação entre tecnologias de redes sem fios.	14
Figura 8 – Topologia de uma rede <i>ad hoc</i>	15
Figura 9 – Arquitetura simplificada do protocolo ZigBee.....	16
Figura 10 – Bandas de frequências e canais.....	18
Figura 11 – Arquitetura detalhada do protocolo ZigBee.	19
Figura 12 – Topologias de rede do IEEE 802.15.4.	20
Figura 13 – Topologias de rede suportadas pelo ZigBee.....	21
Figura 14 – Ilustração de uma típica rede ZigBee.	23
Figura 15 – Transmissões entre dispositivos na rede ZigBee.	24
Figura 16 – Módulo de rádio Xbee S2C.	26
Figura 17 – Espaçamento entre pinos de um xbee e uma breakout board.	28
Figura 18 – Fluxo de dados UART.	29
Figura 19 – Estrutura de um quadro API.	30
Figura 20 – Visão inicial da ferramenta XCTU.	31
Figura 21 – Placa Arduino UNO.....	32
Figura 22 – Arduino IDE.	34
Figura 23 – Curva característica de um LDR.	34
Figura 24 – Sensor LDR 5 mm.	35
Figura 25 – modelo de funcionamento da solução.	37
Figura 26 – Formação de uma rede ZigBee entre um coordenador e um roteador.....	39
Figura 27 – Conexão Xbee com Arduino.	40
Figura 28 – Esquema de ligação da estação remota.	40
Figura 29 – Formula para cálculo do divisor de tensão.	41
Figura 30 – Ilustração do Circuito divisor de tensão.	41
Figura 31 – Fluxo de funcionamento do sistema proposto.	42
Figura 32 – Visão geral do Software Fritzing.	44
Figura 33 – Placa de circuito impresso da base remota..	44

Figura 34 – Protótipo com componentes.	45
Figura 35 - Coordenador iniciando um <i>scan</i> na rede ZigBee.	46
Figura 36 - Dois XBee associados em uma rede ZB.	47
Figura 37 - Teste de range entre XBees.	48
Figura 38 - Teste de <i>throughput</i>	49
Figura 39 – Presença de luz e nível de luminosidade	50
Figura 40 - Ausência de luz e nível de luminosidade	50
Figura 41 - Registros de acionamentos.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa de frequências ISM.....	15
Tabela 2 – Faixas de frequências ZigBee (IEEE 802.15.4)	18
Tabela 3 – Comparação das funções dos dispositivos na rede ZigBee.....	22
Tabela 4 – Roteamento de pacotes na rede ZigBee.	25
Tabela 5 – Principais especificações do módulo Xbee S2C.	27
Tabela 6 – Pinos do Xbee S2c.....	28
Tabela 7 – Descrição dos campos de um quadro API.....	31
Tabela 8 – Especificações Arduino.	33
Tabela 9 – Especificações LDR 5mm.	35
Tabela 10 – Configuração do módulo coordenador.	38
Tabela 11 – Configuração básica do XBee remoto.....	38
Tabela 12 – Conexão de pinos entre Arduino e XBee.	39
Tabela 13 - Itens usados na base remota.	43
Tabela 14 - Custos estimados do projeto.	51
Tabela 15 - Custos estimados para 50 prototipos.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRASI Associação Brasileira De Empresas e Serviços De Iluminação Urbana

ADC Analogic-to-digital converter – conversor analógico para digital

Ad hoc Tipo rede que não possui um nó central

ANEEL Agencia Nacional De Energia Elétrica

GSM Global Systems for Mobile Communications

IrDA *Infrared Data Association* Associação de dados por infravermelho

IEEE *Institute of Eletrical and Eletronic Engineers*

JN5139 Módulo de rádio e microcontrolador compatível com IEEE 802.15.4 e ZigBee

LTE *Long Term Evolution* Tecnologia de telefonia móvel de 4 geração

PDA *Personal Digital Assistant* ou assistente pessoal digital

PLC Power Line Communication ou Comunicação via rede eletrica

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RF Radiofrequency ou Radiofrequência

S2C Variação de uma geração de modelos de rádio XBee

TDMA Time Division Multiple Access

WiMAX *Worldwide Interoperability for Microwave Access* – Padrão IEEE 802.16

XBee é o nome da marca de rádios compatíveis com fator de forma da Digi International

XCTU Configuration and Test Utility Software. Ferramenta de configuração e testes disponibilizada pela Digi International

ZB Abreviação de ZigBee

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1	JUSTIFICATIVA.....	5
1.2	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA	6
1.4	OBJETIVOS	6
1.4.1	OBJETIVO GERAL.....	6
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.5	METODOLOGIA	7
1.5.1	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	7
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1	A ILUMINAÇÃO PÚBLICA – CONCEITO E RELEVÂNCIA	8
2.2	COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	10
2.2.1	LÂMPADAS.....	11
2.2.2	RELÉ FOTOELÉTRICO.....	12
2.2.3	REATOR.....	12
2.3	REDES SEM FIO	13
2.3.1	REDE WPAN.....	14
2.4	O PROTOCOLO ZIGBEE – IEE 802.15.4	16
2.5	RÁDIO XBEE.....	25
2.5.1	<i>XBEE S2C ZB</i>	25
2.5.2	ESPECIFICAÇÕES DO XBEE S2C	26
2.5.3	<i>XCTU</i>	31
2.6	ARDUINO	31
2.6.1	ARDUINO UNO.....	32
2.6.2	ESPECIFICAÇÕES DO ARDUINO UNO.....	32
2.6.3	<i>ARDUINO SOFTWARE (IDE)</i>	33
2.7	SENSOR LDR.....	34
2.8	TRABALHOS RELACIONADOS	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	37
3.2	PROTOTIPO DA BASE REMOTA	42
4	TESTES E ANÁLISE DO PROJETO	45

4.1	TESTES DA REDE.....	45
4.2	TESTES DA SOLUÇÃO	49
4.3	REGISTRO DE EVENTOS	50
5	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Desde seu surgimento, a iluminação pública é um ativo fundamental para qualquer cidade do mundo moderno, devido a seu papel de iluminar as vias públicas durante o período de ausência de luz natural, contribuindo para o desenvolvimento das cidades e também ajudando a inibir práticas criminosas.

Segundo Rosito (2009) o provável início do emprego de iluminação em espaços urbanos se deu na Inglaterra no início do século XV, motivado justamente pela solicitação de comerciantes por medidas de combate à criminalidade. Após a implantação da iluminação pública, de acordo com um estudo realizado na cidade de Nova York, houve uma redução de 36% na ocorrência de crimes durante a noite, em ruas que receberam o benefício, por um período de seis meses (Folha de São Paulo, 2019).

Dessa maneira, pode-se perceber que a qualidade do serviço de iluminação pública tem impacto direto na vida da sociedade moderna, pois inspira uma sensação de maior segurança, tornando assim, os locais mais atrativos e permitindo diversas atividades como turismo, comércio, lazer noturno, cultural, além de contribuir para ornar a cidade, tornando seu visual mais agradável.

Atualmente, na cidade de Manaus, existem 127 mil pontos de iluminação pública, dos quais 50 mil já são luminárias que utilizam a tecnologia de LED (Diodo Emissor de Luz), confirmando Manaus como a capital do LED, (<http://www.semppe.manaus.am.gov.br/>, 2018).

Com o avanço dessa tecnologia, a tendência é que sejam utilizadas cada vez mais as lâmpadas de LED em pontos de iluminação pública, uma vez que os LEDs têm muitas vantagens em relação as tecnologias de iluminação tradicionais, especialmente o menor consumo de energia.

O sistema de iluminação pública representa cerca de 3% do consumo de energia elétrica total do Brasil, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo total de energia elétrica em 2017 foi de 467.161 GWh dos quais cerca de 14 GWh foram utilizados na

iluminação. A região norte foi responsável por cerca de 7.6% do consumo total, uma carga de 34.510 GWh dos quais 1.036 GWh foram para iluminação pública.

Nos dias atuais, busca-se cada vez mais, a redução de custos financeiros e economia de recursos naturais sem que haja paralisação de serviços, tentando equilibrar a produtividade com o contínuo desenvolvimento sustentável, de maneira que o crescimento econômico não seja afetado.

Diante disso, se faz necessário o monitoramento e controle dos pontos de iluminação pública de uma cidade, o qual possa permitir um bom acompanhamento do funcionamento dos pontos e manutenção nas eventuais falhas.

O constante avanço da tecnologia e das telecomunicações permite a criação e implementação de meios tecnológicos para que tais objetivos possam ser alcançados, a exemplo das redes de comunicação sem fio e sua área de abrangência.

Nesse sentido, o principal objetivo, deste trabalho é a formação de uma rede de sensores sem fio, utilizando os rádios XBee S2C, que utilizam o protocolo de comunicação ZigBee, onde os sensores são usados para coletar informações do ambiente juntamente a plataforma de prototipagem Arduino, de maneira que possa ser criado um protótipo que seja capaz de receber e enviar dados, coletar informações do ambiente e enviar comandos remotos, como ligar ou desligar uma lâmpada ou LED, através de uma rede sem fio, a partir de um centro de supervisão, monitoramento e controle dos pontos de iluminação pública.

A rede será composta por dois ou mais módulos de rádio XBee, um módulo terá a função de coordenador da rede, nó central, e um ou mais módulos como roteadores ou end devices atuarão como nós sensores. Os nós sensores realizam leituras de variáveis do ambiente (luminosidade) e enviam ao nó coordenador, que por sua vez, além de estabelecer a rede, analisará os dados recebidos e enviará um pacote, ao nó sensor, com o comando a ser executado.

Por fim, poderá ser criada uma aplicação para armazenar os dados da rede, assim como os dados captados pelos nós sensores, e mostra-los em uma interface, para melhor visualização, entendimento e valorização do projeto.

1.1 JUSTIFICATIVA

A iluminação pública é um componente permanente e indispensável nas cidades, seja ela de qualquer tamanho, e desde sua criação tem relação direta com a melhoria da qualidade de vida da população, sendo assim, o funcionamento desse componente se torna também indispensável para a sociedade.

Recentemente, em Manaus, foi lançado pela prefeitura, o aplicativo “Manaus + Luz”, uma ferramenta onde cidadãos podem registrar problemas no serviço de iluminação pública, como lâmpadas apagadas, acesas durante o dia ou oscilando, informando um endereço de referência para localização.

A implantação de uma rede de comunicação sem fios, via rádio XBee, pode contribuir para um monitoramento mais centralizado dos pontos de iluminação pública, coletando informações sobre o sistema de maneira que falhas pudessem ser detectadas de maneira mais eficaz e automatizada, aumentando a disponibilidade do sistema, melhorando o serviço e a qualidade de vida da população.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O sistema de iluminação pública desempenha o importante serviço de prover luz em locais e vias públicas em períodos de ausência de luz natural, o bom funcionamento dos pontos de iluminação trazem benefícios a sociedade, atualmente, o controle liga-desliga de toda a iluminação pública na cidade de Manaus é feito através das células fotoelétricas, que são posicionadas nos postes, logo abaixo das lâmpadas. Enquanto houver luz, um circuito fotoelétrico corta a corrente e a luz desliga, quando a luminosidade natural é reduzida, então o controle liga o circuito e a lâmpada acende.

Acreditamos que seja possível desenvolver um sistema de controle de iluminação pública via ZigBee, utilizando a rede XBee, para fazer o controle da iluminação pública e facilitar o monitoramento de toda a rede. Essa rede sem fio tem um baixo investimento e alto retorno, o que a torna eficiente para gestão pública, pois beneficia diretamente a população, o sistema de segurança pública, reduz o custo da iluminação e aumenta o tempo de vida das lâmpadas LEDs.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Baseado no exposto até o momento, este trabalho objetiva a seguinte questão de pesquisa: Como formar de uma rede de comunicação, utilizando rádios XBee S2C ZigBee, capaz de realizar supervisão, telecomando e controle de pontos de iluminação pública?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Formar de uma rede de comunicação sem fios, utilizando de rádios XBee S2C, com protocolo ZigBee, sensores para coletar informações do ambiente e uma plataforma de desenvolvimento e prototipagem Arduino capaz de monitorar e controlar pontos de iluminação pública.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Formar uma rede comunicação sem fios utilizando rádios XBee S2C e o protocolo ZigBee;
- Coletar informações de um ambiente utilizando um sensor de luminosidade e transmiti-las através da rede;
- Desenvolver uma solução de baixo custo utilizando rádios XBee, sensores e o micro controlador Arduino, capaz de fazer o controle e monitorar os pontos de iluminação;

1.5 METODOLOGIA

Os métodos adotados para a realização deste trabalho são:

- Buscar por conteúdo em livros, trabalhos acadêmicos relacionados ao tema, artigos, publicações em sítios de *internet*, e documentos informativos em geral;
- Compilar o material obtido na pesquisa e realização do resumo para implementação do projeto;
- Definir a utilização do padrão ZigBee, os rádios XBee e os demais componentes necessários no projeto;
- Realizar a montagem de um protótipo para verificação de resultados e dos objetivos alcançados.

1.5.1 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho será organizado em 5 capítulos.

O 1º capítulo abordará a introdução ao tema proposto, a justificativa para a realização do trabalho, a formulação do problema e questão de pesquisa, os objetivos a serem alcançados com o trabalho e a metodologia adotada para a realização do mesmo.

O 2º capítulo apresenta o referencial teórico do trabalho, de forma que os principais ideais deste projeto estejam devidamente embasados e evidenciados na pesquisa. Alguns trabalhos relacionados ao tema são descritos também neste capítulo.

O 3º capítulo objetiva a formação da rede utilizando os rádios XBee, além de todos os outros componentes necessários para a configuração de um protótipo.

No capítulo 4, testes serão realizados e analisados evidenciada a eventual funcionalidade do da rede e do protótipo.

O 5º capítulo será destinado para conclusão e melhorias que podem ser implementadas no projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A ILUMINAÇÃO PÚBLICA – CONCEITO E RELEVÂNCIA

“Serviço público que tem por objetivo exclusivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual.” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL , 2010)

Porém, para Rosito (2009), esta definição não evidencia completamente o tamanho da importância detida pela iluminação pública atualmente.



Figura 1 – Figura 1: Iluminação pública no Brasil – Fonte: Eletrobrás/Procel

É indispensável o serviço de iluminação pública, pois tem relação direta com a qualidade de vida nas cidades, clareando os espaços, públicos, a serem desfrutados pela população no período noturno e o aperfeiçoamento dos seus sistemas melhoraria a imagem da cidade, beneficiando atividades como, turismo, comércio, lazer noturno, conscientizando sobre o uso e desperdício de energia elétrica, refletindo assim, no desenvolvimento socioeconômico da população (WIKIPEDIA, 2019).

Observando a figura 1, pode-se perceber que a maioria dos pontos destacados estão localizados, naturalmente, nas regiões mais populosas do Brasil, Sudeste e Nordeste.

De acordo com a ABRASI, associação brasileira de empresas de serviços de iluminação urbana, até 2008, haviam no Brasil um total de 14.769.309 pontos de iluminação de pública. A figura 2 ilustra a distribuição dos pontos nas regiões do país.

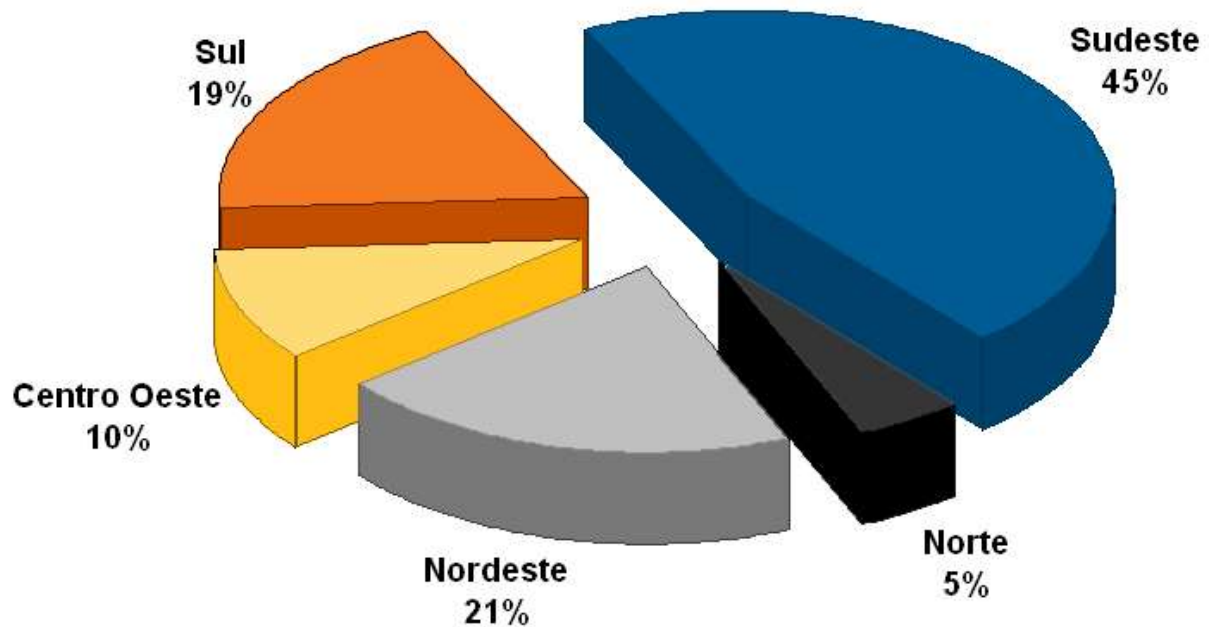


Figura 2 - Distribuição dos pontos por região – Fonte: Eletrobrás/Procel

2.2 COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Sabe-se que o sistema de IP é grande e abrange vários elementos necessários ao seu devido funcionamento, porém, neste tópico serão abordados apenas os componentes considerados principais, em relação a este trabalho, dos pontos de iluminação pública, assim como, a função que desempenham.

A figura 3 ilustra os componentes de um ponto de iluminação pública.

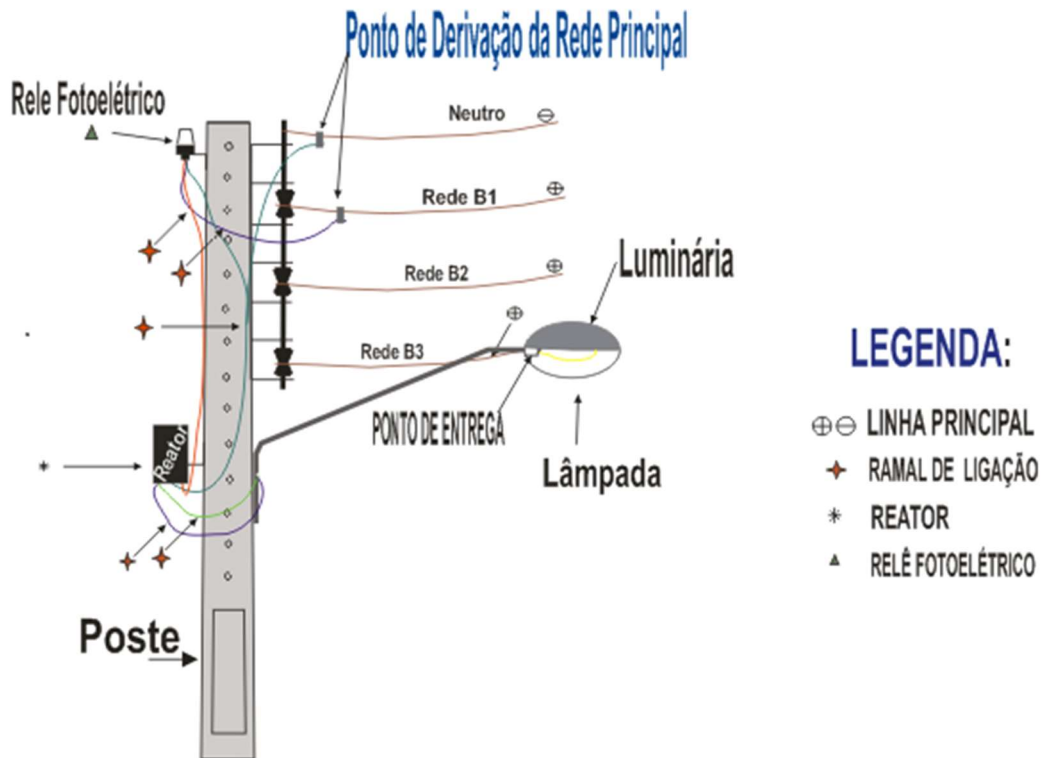


Figura 3 – Ilustração de um ponto de iluminação pública – Fonte: ANEEL

- Lâmpadas
- Relés fotoelétricos
- Reator

2.2.1 Lâmpadas

“Utensílios destinados a produzir luz e que servem para iluminar” (Dicio, [Dicionário Online de Português, 2019](#)). As lâmpadas são responsáveis por prover a luz ou claridade em um sistema de iluminação pública. “Geralmente são utilizadas as lâmpadas de descarga na IP, que geram luz por meio de um tubo com um gás ou vapor ionizado” (Rosito, 2009).



Figura 4 – Lâmpadas de descarga a vapor metálico – Fonte: Empalux

2.2.2 Relé Fotoelétrico

O relé fotoelétrico é um dispositivo formado por um relé (um componente eletromecânico que possui um contato metálico e uma bobina) e um sensor LDR (*light dependent resistor* ou resistor dependente de luz). Tem a função de medir a intensidade da luz no ambiente e acionar um circuito dependendo dessa medição. (Athos Eletronics, 2019). A medida que a intensidade da luz natural diminui, a resistência do LDR cai, permitindo a passagem da corrente elétrica que irá energizar a bobina do relé e acionar o contato, que age como um interruptor para o acionamento da lâmpada.



Figura 5 – Relé fotoelétrico – Fonte: *internet*

2.2.3 Reator

O reator é um dispositivo auxiliar que tem como função limitar a corrente elétrica a ser fornecida para a lâmpada, ele é ligado entre a rede elétrica e a lâmpada. (Repume Iluminação, 2019). Assim como as lâmpadas, existem vários tipos e modelos de reatores como internos, externos, integrados e com tomada para relé.



Figura 6 – Imagem de reator interno e externo para iluminação pública. Fonte: *internet*.

2.3 REDES SEM FIO

Redes sem fio são formadas por dispositivos capazes de se conectar sem ajuda de uma infraestrutura cabeada, utilizando o ar ou o espaço como meio de transmissão. As redes sem fio estão cada vez mais presentes na vida das pessoas, graças ao avanço da tecnologia, a quantidade de informação que temos a disposição e o desejo de obter esses dados a qualquer momento e em qualquer lugar.

Há vários tipos de tecnologias de redes sem fios, que podem ser classificadas ou escolhidas de acordo com a necessidade de cada projeto. Entre os tipos de redes sem fio estão: WWAN, WMAN, WLAN e WPAN.

WWAN (*Wireless Wide Area Network*) – São redes sem fios de longo alcance, que abrangem uma grande área de cobertura, sendo muito utilizadas pelas operadoras de telefonia móvel e dentre as tecnologias utilizadas estão TDMA, GSM, 3G e LTE.

WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) – São redes sem fios de 13^o metropolitana que podem cobrir áreas de vários quilômetros, muito utilizadas por provedores de acesso à banda larga, a tecnologia WiMAX (IEEE 802.16) é utilizada nesta rede.

WLAN (*Wireless Local Area Network*) – São redes sem fios locais que cobrem áreas de algumas centenas de metros. O WiFi (*Wireless Fidelity*) (IEEE 802.11) é um dos padrões mais difundidos em WLANs.

O presente trabalho focará nas redes *WPAN (Wireless Personal Area Network)* e o protocolo ZigBee. A figura abaixo mostra uma comparação entre o alcance e a taxa de transmissão de redes sem fios.

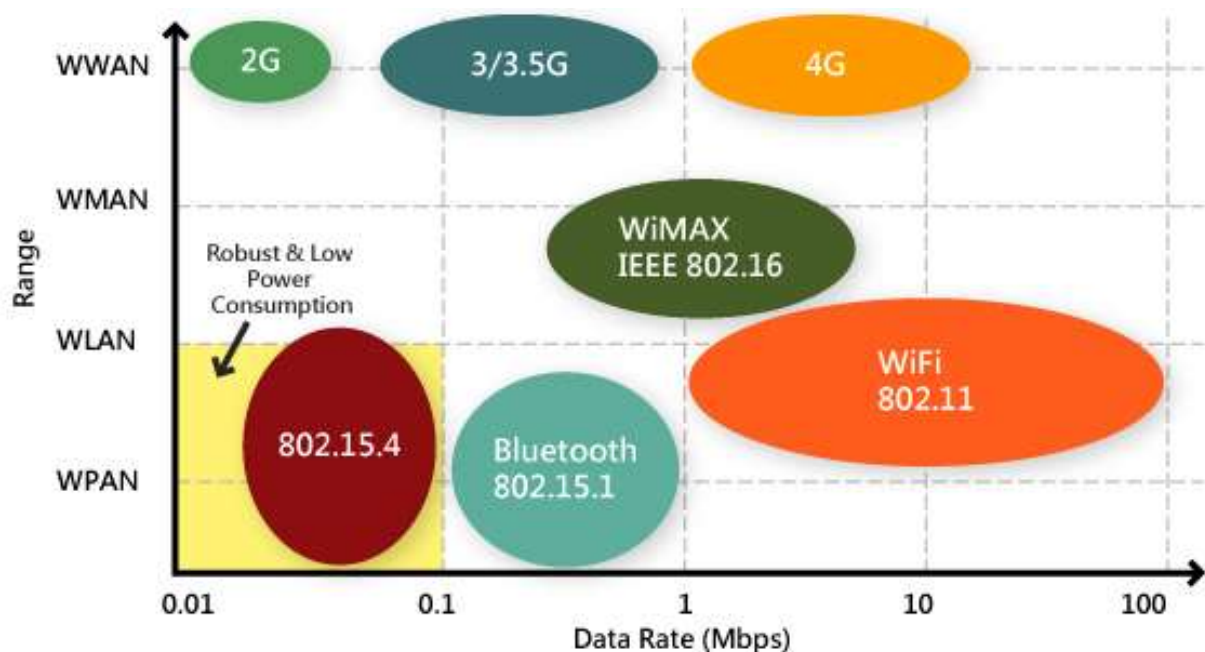


Figura 7 – Comparação entre tecnologias de redes sem fios. Fonte: (Advantech, 2011)

REDE WPAN

As redes *WPAN* são redes de curto alcance que tem objetivo de fornecer conectividade entre dispositivos pessoais tais como, notebooks, equipamentos periféricos, telefones celulares e PDAs, em uma distância de até 10 metros (Underléa Corrêa, 2017). É especificada pelo padrão IEEE 802.15, sendo uma alternativa de baixa potência, baixo custo, além uma baixa taxa de transferência de dados. (Kurose & Ross, 2010).

Apesar de as *WPAN* serem idealizadas para cobrir uma pequena área como uma residência ou um espaço individual de trabalho, e serem usadas para comunicação sobre uma distância relativamente curta, a especificação não impede que maiores alcances sejam atingidos com a troca de uma taxa de dados mais baixa (Digi International Inc, 2012).

Redes 802.15 são redes *ad hoc*, ou seja, os dispositivos da rede têm a capacidade de se comunicar diretamente entre si ou através de múltiplos saltos sem a necessidade de uma infraestrutura de rede fixa (Campbell, 2003). Redes 802.15 utilizam a faixa de RF não licenciada ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), as frequências variam de acordo com a regulamentação de cada país.

BANDAS DE FREQUÊNCIA	LOCAIS DE DISPONIBILIDADE
868,0 – 868,8 MHz	Maioria dos países europeus
902 – 928 MHz	América do Norte
2,40 – 2,48 GHz	Maioria dos países do mundo
5,79 – 5,80 GHz	Maioria dos países do mundo

Tabela 1 – Faixa de frequências ISM

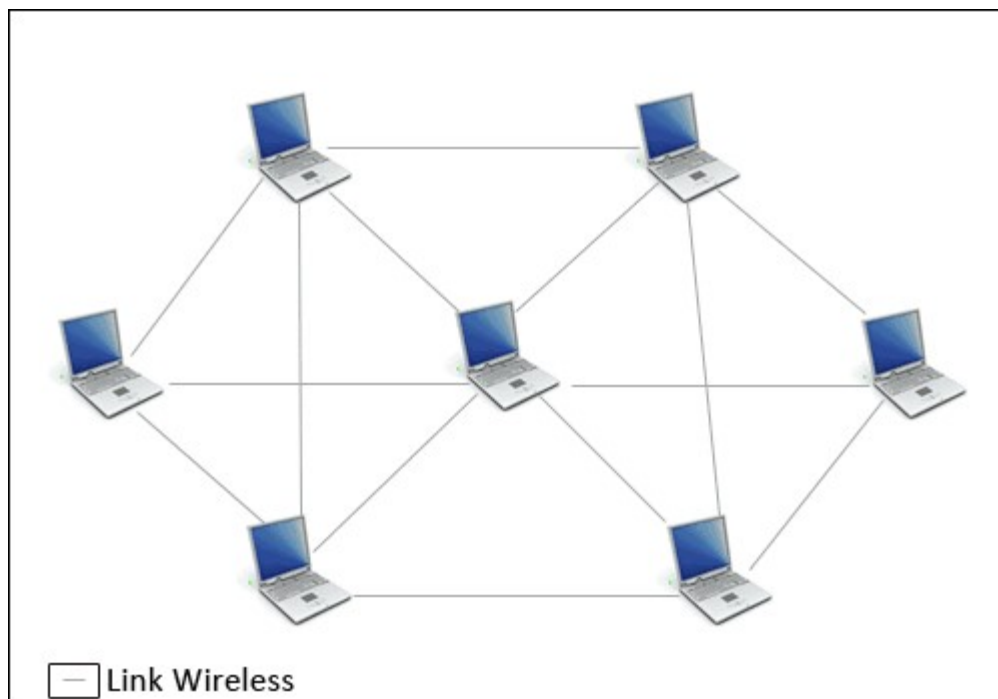


Figura 8 – Topologia de uma rede *ad hoc*

Alguns dos protocolos utilizados em WPANs incluem Bluetooth, ZigBee, Ultra-wideband (UWB) e IrDA. O *Bluetooth* e o *ZigBee* são algumas das tecnologias de comunicação mais difundidas nas redes WPAN. (Digi International Inc, 2012)

2.4 O PROTOCOLO ZIGBEE – IEE 802.15.4

O ZigBee é definido como um padrão de comunicação sem fios bidirecional, de baixo custo e baixo consumo energético (ZigBee Alliance, 2012), desenvolvido pela ZigBee Alliance. Uma organização fundada em 2002, a ZigBee Alliance é definida como o portador da IoT (*Internet of Things*) aberta, formada por um conjunto global de membros que colaboram para criar e desenvolver padrões universais abertos de redes inteligentes (ZigBee Alliance, 2019).

O protocolo ZigBee foi construído com base no padrão IEEE 802.15.4. O padrão 802.15.4 é um protocolo de rádio baseado em pacotes que atende as necessidades de comunicação de aplicações sem fios que requerem baixa taxas de transmissão de dados e baixo consumo energético. O ZigBee fornece funções de roteamento e múltiplos saltos ao 802.15.4. (Digi International Inc, 2012)

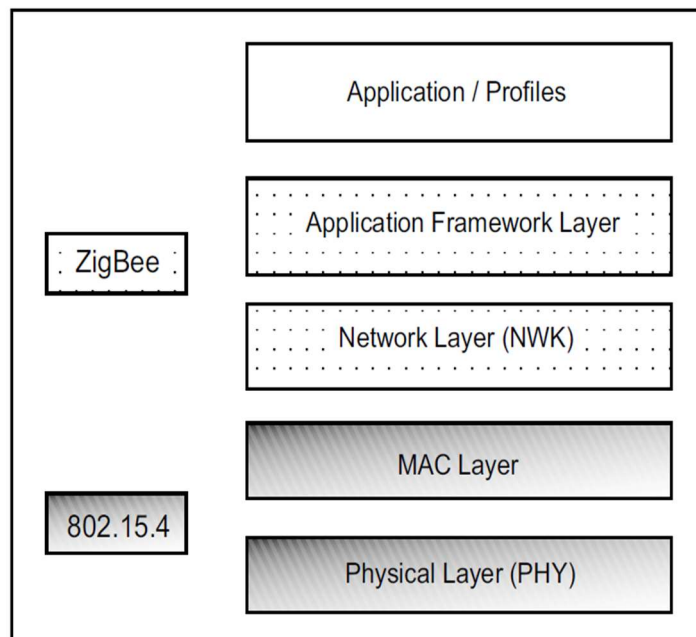


Figura 9 – Arquitetura simplificada do protocolo ZigBee. Fonte: digi/rabbit

De acordo com o ZigBee Specification Document (2012, p. 1)

A arquitetura do protocolo ZigBee é composta por um conjunto de camadas, cada camada desempenha um conjunto específico de serviços para a camada superior. Uma entidade de dados fornece um serviço de transmissão de dados e uma entidade de gerenciamento fornece todos os outros serviços. Cada entidade de serviço expõe uma interface para a camada superior através de um ponto de acesso de serviço (SAP), e

cada SAP suporta uma série de primitivas de serviço para alcançar a funcionalidade requisitada.

As duas camadas mais baixas do ZigBee são fornecidas pelo padrão 802.15.4, enquanto a ZigBee Alliance implementou as camadas mais altas. As camadas mais baixas são: a camada física (PHY) e a subcamada de controle de acesso ao meio (MAC); e as camadas mais altas são: camada de rede (NWK) e camada de aplicação. A camada de aplicação é composta pelo framework de aplicação, o ZigBee Device Object (ZDO) e a subcamada de suporte de aplicação (APS).

A camada PHY define as características físicas e elétricas da rede, sendo sua tarefa básica a transmissão recepção de dados. Outras tarefas da camada física são:

- Habilitar/desabilitar o transceptor do rádio
- Indicador de qualidade do link (LQI) para pacotes recebidos
- Detecção de energia no canal (ED)
- Avaliação clara do canal (CCA) *Clear channel assessment*

De acordo com Vasques (2010)

O IEEE 802.15.4 tem duas camadas PHY que operam em faixas de frequências separadas: a camada que opera em 868/915 MHz e a que opera em 2.4 GHz. A camada PHY de frequência mais baixa cobre ambas as bandas 868 MHz europeia e a 915 MHz, usada em países como EUA e Austrália, a camada de frequência mais alta é usada virtualmente no mundo todo.

Cada uma das bandas de frequências incorpora o seu próprio conjunto de canais, como pode ser visto na tabela 2.

A camada PHY utiliza a técnica de transmissão de sinal DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) que consiste em incorporar em cada bit de dado um padrão de redundância e os espalha pela largura de banda utilizada. A redundância permite a identificação do nó ao qual o dado pertence, facilitando a detecção de erros. (Vasques, 2010)

Faixas de Frequência ZigBee (IEEE 802.15.4)					
Padrão	Frequências	Canais	Modulação	Taxa de Dados	Localidade
802.15.4	868-870 MHz	1(0)	DSSS, O-QPSK	20 Kbps	Maiores dos países europeus
	902 – 928 MHz	10(1 a 10)	DSSS, BPSK	40 Kbps	América do Norte
	2,4 – 2,48 GHz	16 (11 a 26)	DSSS, BPSK	250 Kbps	Maioria dos países do mundo

Tabela 2 – Faixas de frequências ZigBee (IEEE 802.15.4)

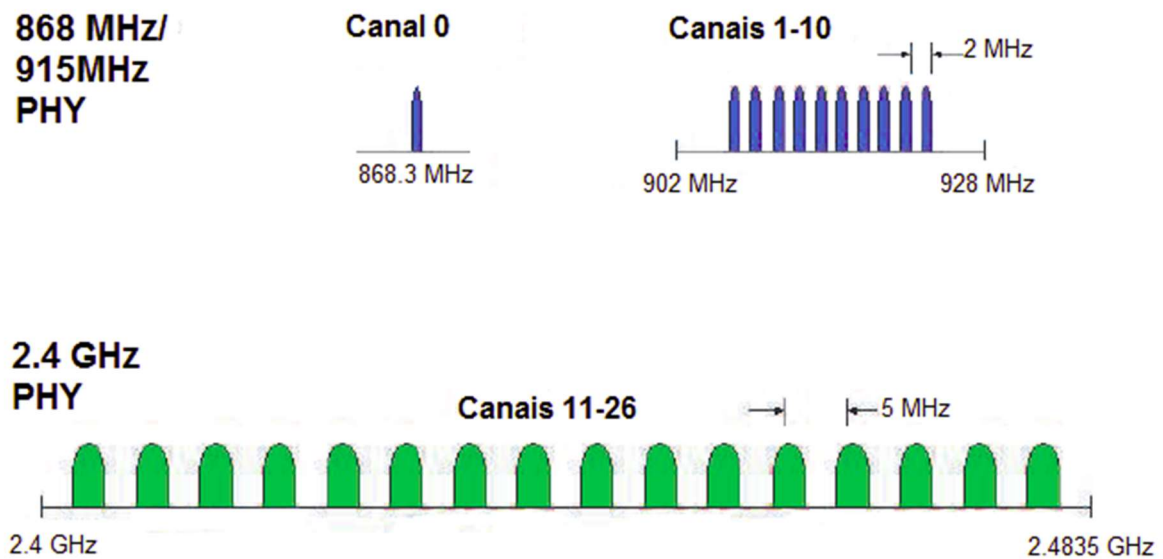


Figura 10 – Bandas de frequências e canais. Fonte:

https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

A camada MAC define como múltiplos rádios 802.15.4 operando na mesma área compartilharão o espaço. Isso inclui coordenar o acesso do transceptor ao link de rádio compartilhado e o agendamento e roteamento de quadros de dados.

A camada MAC é responsável pelas seguintes tarefas:

- Gerador de *beacon* se o dispositivo for coordenador

- Implementação do mecanismo CSMA-CA (*carrier sense multiple access with collision avoidance*)
- Emprego do mecanismo GTS (*guaranteed time slot*)
- Serviços de transferência de dados para camadas superiores

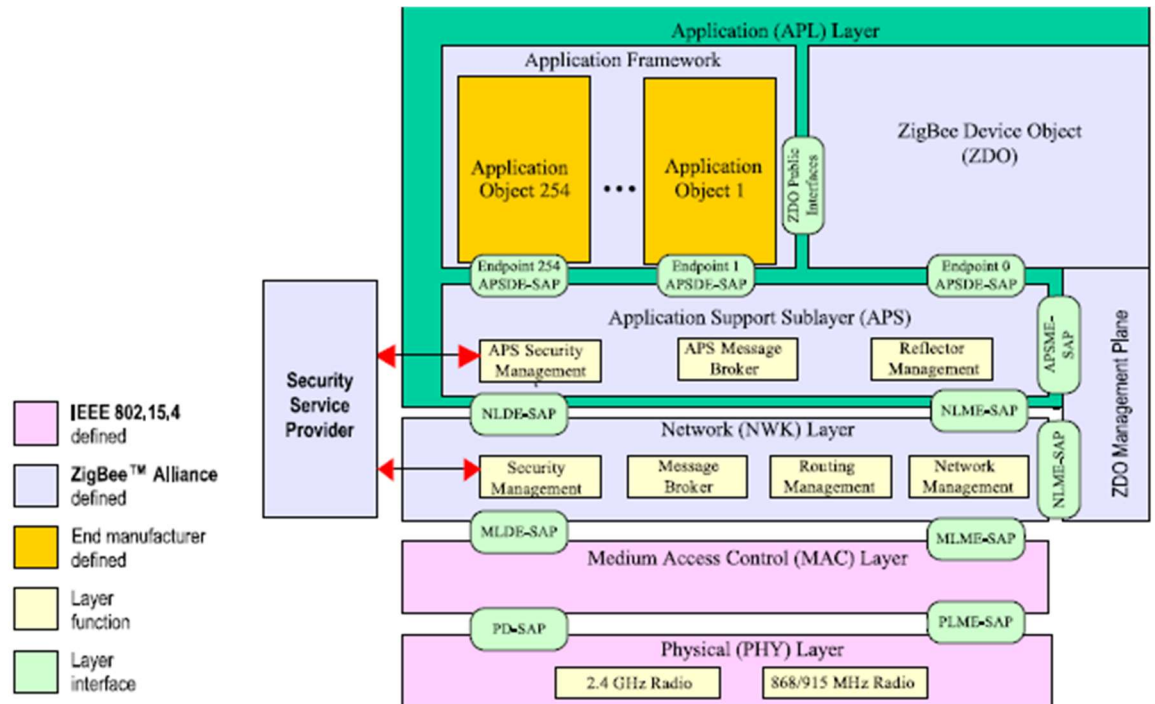


Figura 11 – Arquitetura detalhada do protocolo ZigBee. Fonte: ZigBee Specification Document 053474r20

Topologia de rede IEEE 802.15.4

De acordo com a especificação do padrão IEEE 802.15.4, o LR-WPAN (Low Rate-Wireless Personal Area Network) suporta duas topologias de rede: *star* ou *peer-to-peer*.

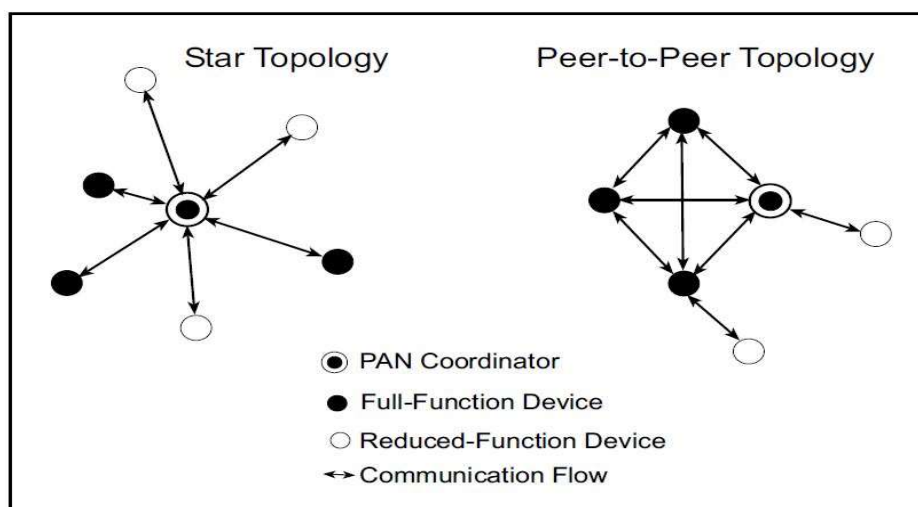


Figura 12 – Topologias de rede do IEEE 802.15.4. Fonte: An Introduction to ZigBee

Na figura 12, pode-se ver um dispositivo central, na topologia star, em que todos os outros nós estão diretamente ligados apenas a ele. Na topologia peer-to-peer os nós são capazes de comunicarem diretamente entre si.

Dispositivos de rede do IEEE 802.15.4 e modos de operação.

Em redes LR-WPAN há dois tipos de dispositivos: FFD e RFD.

- FFD – *full function device* ou dispositivo de função completa tem capacidade de roteamento e podem ser configurados como coordenadores da rede.
- RFD – *reduced function device* ou dispositivo de função reduzida não possuem capacidade de roteamento na rede, podendo ser configurados apenas como dispositivos finais (*end devices*), se comunicam com um dispositivo FFD que permitiu a associação dele na rede.

Há três modos de operação suportados pelo IEEE 802.15.4, são eles: coordenador da rede PAN, coordenador e *end device* ou dispositivo final. Dispositivos FFDs podem ser configurados para realizar qualquer operação, enquanto que RFDs podem apenas ser *end devices*.

Topologia ZigBee

A camada de rede do protocolo ZigBee suporta 3 topologias diferentes: estrela (*star*), árvore (*tree*) e malha (*mesh*).

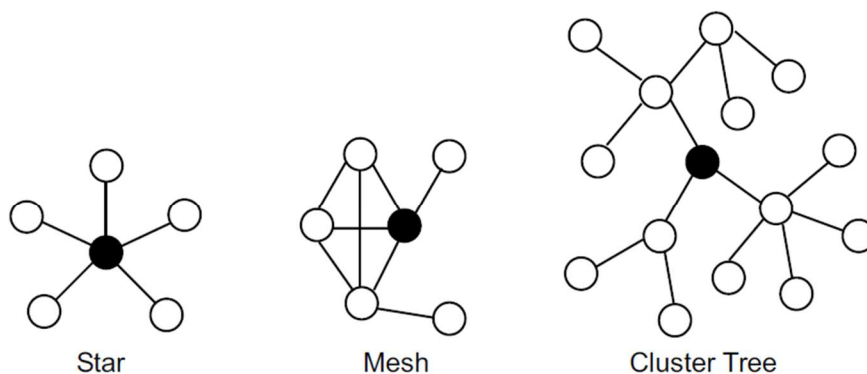


Figura 13 – Topologias de rede suportadas pelo ZigBee. Fonte:

Dispositivos lógicos ZigBee

Em uma rede ZigBee, há três tipos de dispositivos lógicos:

- Coordenador
- Roteador
- Dispositivo final (*end device*)

Coordenador

O coordenador é o único dispositivo que tem a capacidade de estabelecer uma rede ZigBee. O coordenador também é responsável pela seleção do canal de comunicação, o PAN ID (ID da rede), política de segurança e perfil de pilha para a rede. Apenas pode haver um coordenador por cada rede ZigBee. Após estabelecer a rede, o coordenador pode permitir que novos dispositivos se associem a rede, rotear pacotes de dados e comunicar com outros dispositivos na rede.

Roteador

O roteador é um componente que cria/mantém informações da rede e usa essas informações para determinar a melhor rota para um pacote de dados. Um roteador deve descobrir e se juntar a uma rede ZigBee válida, antes que possa permitir que outros dispositivos se juntem à rede. Pode existir vários roteadores em uma rede ZigBee.

End Device

Um end device é um dispositivo com função mais limitada que os outros componentes da rede. Assim como o roteador, o end device, deve buscar uma rede antes de se juntar a ela, já que apenas o coordenador pode iniciar uma rede, porém, end device não tem capacidade de realizar roteamento na rede, mas pode enviar e receber pacotes e se comunicar apenas com o roteador ou coordenador que permitiu seu ingresso na rede. Pode haver inúmeros end devices em uma rede ZigBee. Estes dispositivos podem entrar em modo de sono, reduzindo o consumo de energia do módulo.

Função na rede ZigBee	Coordenador	Roteador	End Device
Estabelecer a rede ZigBee	•		
Permitir que outros dispositivos entrem ou deixem a rede	•	•	
Atribuir endereço de rede de 16 bits	•	•	
Descobrir e guardar caminhos para entrega eficiente de mensagens	•	•	
Descobrir e guardar lista de vizinhos de um salto	•	•	
Rotear pacotes de rede	•	•	
receber ou enviar pacotes de rede	•	•	•
Entrar ou sair da rede	•	•	•
Entrar em modo <i>sleep</i>			•

Tabela 3 – Comparação das funções dos dispositivos na rede ZigBee

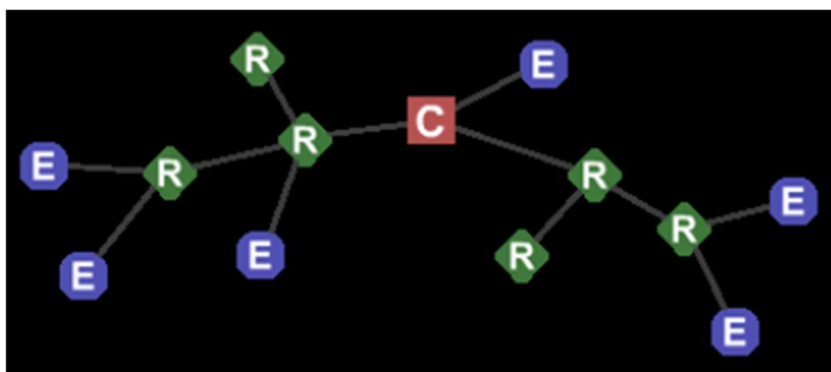


Figura 14 – Ilustração de uma típica rede ZigBee. Fonte: Digi

Endereçamento

O protocolo ZigBee usa dois tipos de endereços diferentes, um endereço de 64 bits e um endereço de 16 bits. O endereço de 64 bits, também chamado de endereço MAC ou estendido, é uma identificação única para cada dispositivo físico e é atribuído ao dispositivo durante o processo de fabricação. Semelhante ao padrão Ethernet (IEEE 802.3), onde cada placa de rede recebe uma identificação única.

Já o endereço de 16 bits, também conhecido como endereço reduzido, é atribuído a um dispositivo assim que o mesmo ingressa em uma rede ZigBee. Também pode ser comparado com a rede Ethernet onde cada dispositivo que ingressa na rede recebe um endereço IP.

Transmissão

Pacotes de dados ZigBee podem ser enviados em transmissões tanto *unicast* como *broadcast*. Nas transmissões *unicast* os dados são encaminhados de um dispositivo fonte para um dispositivo destino, enquanto que nas transmissões de *broadcast* os dados são enviados para vários ou todos os dispositivos na rede.

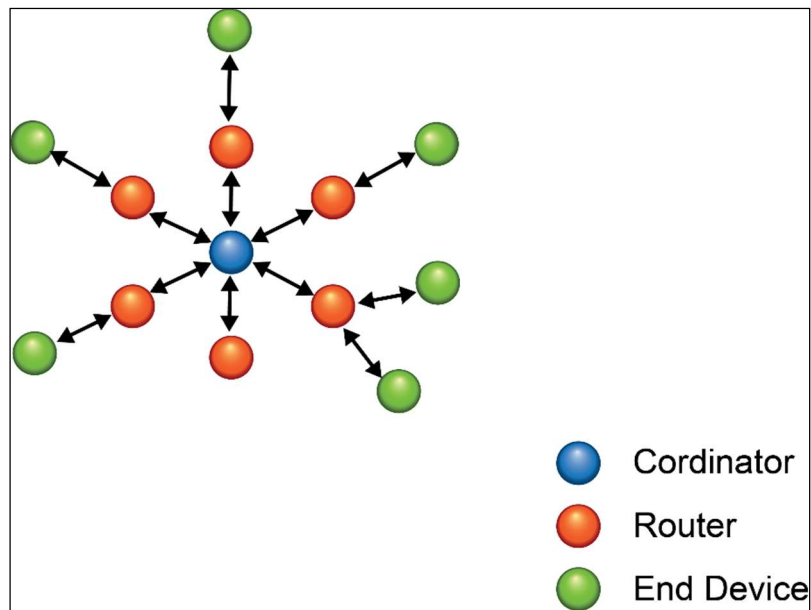


Figura 15 – Transmissões entre dispositivos na rede ZigBee. Fonte: Digi International

Roteamento

O protocolo ZigBee inclui vários métodos diferentes de roteamento de pacotes, conforme descrito na tabela abaixo.

Roteamento	Descrição	Quando usar
Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Mesh Routing	Caminhos de roteamento são criados entre origem e destino, possivelmente atravessando vários nós (“saltos”). Cada dispositivo sabe para onde enviar os dados a seguir para finalmente alcançar o destino.	Usar em redes que não terão mais que 40 dispositivos de destino
Many-to-One Routing	Uma única transmissão de broadcast configura rotas reversas em todos os dispositivos, para o dispositivo que envia a transmissão.	Util quando muitos dispositivos remotos devem enviar dados para um único gateway ou dispositivo coletor.
Source Routing	Pacote de dados incluem a rota inteira que o pacote	Melhora a eficiência do roteamento em redes

Roteamento	Descrição	Quando usar
	deve percorrer para ir da origem ao destino.	grandes (com mais de 40 dispositivos remotos).

Tabela 4 – Roteamento de pacotes na rede ZigBee. Fonte Digi

2.5 RÁDIO XBEE

XBee são módulos de rádio fabricados pela Digi International, uma empresa fundada em 1985, focada em comunicação sem fios e dispositivos conectados. Há diversos tipos de módulos de rádios XBee que utilizam diferentes protocolos de comunicação, como Bluetooth, WiFi, ZigBee entre outros.

2.5.1 XBEE S2C ZB

Para a realização deste trabalho foi utilizado o módulo de rádio Digi XBee S2C, que é fabricado para trabalhar com o protocolo de comunicação ZigBee, entre outros motivos, por serem tidos como ideais para aplicações nos mercados de energia e controle, proverem conectividade sem fio eficiente a dispositivos eletrônicos, configuração simples para iniciantes e bom custo benefício.



Figura 16 – Módulo de rádio Xbee S2C. Fonte: autor

2.5.2 ESPECIFICAÇÕES DO XBEE S2C

A tabela 5 mostra as principais especificações do módulo XBee S2C ZigBee.

Especificação	XBee ZigBee S2C
<i>Indoor/urban range</i>	até 60 m (200 ft)
Externo com visada direta	até 1200 m (4000 ft)
Potência de saída de transmissão	6.3 Mw/ 3.1 mW
Taxa de dados RF	250 Kbps
Sensibilidade do receptor	-102 dBm/ -100 dBm
Firmware	ZB ZigBee
Potencia ajustável	Sim
Tensão	2,1 – 3,6 V

Corrente de transmissão (típica, VCC = 3,3 V)	45 mA / 33 mA	
Idle/receive current (typical, VCC = 3,3V)	31 mA / 28 mA	
Topologias de rede	Point-to-point, point-to-multipoint, peer-to-peer, e DigiMesh	
Banda de frequência	ISM 2.4 -2.5 GHz	
Nº de canais	16 canais de sequência direta	15 canais de sequência direta
Interface immunity	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)	
Canais	11 ao 26	
Endereçamento	ID de rede PAN e endereços, IDs de clusters e endpoints (opcional)	
Comunicação serial	UART 250Kb/s	SPI 5 Mb/s

Tabela 5 – Principais especificações do módulo Xbee S2C. Fonte: Digi

O módulo XBee possui 20 pinos. A descrição dos pinos S2C pode ser vista na tabela 6 abaixo.

Pino #	Nome	Descrição
1	VCC	Power supply
2	DOUT/DIO13	UART data out
3	DIN/CONFIG / DIO14	UART data in
4	DIO12/SPI_MISO	GPIO/SPI slave out
5	RESET	Module reset
6	RSSI PWM/PWMO DIO10	RX signal strength indicator/GPIO
7	PWM1/DIO11	GPIO
8	[reserved]	Do not connect
9	DTR/SLEEP_RQ/ DIO8	Pin sleep control line/GPIO
10	GND	Ground
11	SPI_MOSI/DIO4	GPIO/SPI slave in

12	CTS/DIO7	Clear-to-send flow control/GPIO
13	ON_SLEEP/DIO9	Device status indicator/GPIO
14	VREF	Not connected
15	ASSOCIATE/DIO5	Associate indicator/GPIO
16	RTS/DIO6	Request to send flow control/ GPIO
17	AD3/DIO3/SPI_SSEL	Analog input/GPIO/SPI slave select
18	AD2 /DIO2/SPI_CLK	Analog input/GPIO/SPI clock
19	AD1/DIO1/SPI_ATTN	Analog input/GPIO/SPI attention
20	AD0/DIO0/CB	Analog input/GPIO/ Commissioning button

Tabela 6 – Pinos do Xbee S2c. Fonte: Digi

Um importante detalhe, sobre os rádios XBee, que deve ser levado em conta, é que o espaçamento entre os pinos dos módulos é menor do que o padrão da protoboard. O espaçamento entre os pinos do Xbee é de 2 mm enquanto que o espaçamento entre os furos de uma protoboard é de 2,54 mm. Sendo assim, para uso em protoboard, a utilização de uma *xbee breakout board* se faz necessário.

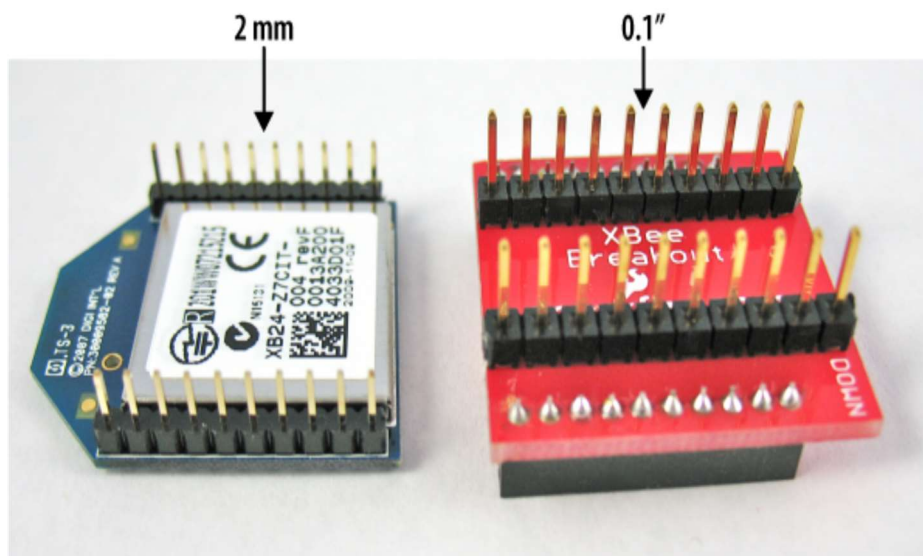


Figura 17 – Espaçamento entre pinos de um XBee e uma breakout board. Fonte: Faludi (2012)

O módulo XBee usa a porta serial para fazer a interface com um *host*, e pode se comunicar com qualquer nível de tensão e lógica compatível UART, através de um tradutor de nível, para qualquer dispositivo serial (RS-232 ou USB), ou através da interface SPI. Dispositivos com interface UART se conectam diretamente aos pinos do XBee (Digi International Inc, 2019). A figura 18 ilustra a comunicação UART entre o XBee e um micro controlador.



Figura 18 – Fluxo de dados UART. Fonte: Digi

Modos de operação

O modo de operação de um rádio XBee estabelece a forma como um micro controlador anexado ao módulo comunica-se com ele através da UART. O modo de operação depende do firmware de cada rádio XBee. O XBee ZigBee RF suporta ambos os modos AT e API.

MODO AT

No modo AT (*Application Transparent*) ou modo de operação transparente, todos os dados seriais recebidos pelo módulo de rádio são enfileirados para transmissão de RF. Quando os pacotes RF são recebidos pelo módulo, os dados são enviados através da interface serial. Abaixo está a estrutura de um comando AT:

AT [ASCII command][Space (optional)][Parameter (optional)][Carriage return]

MODO API

No modo API (*Application Programming Interface*) a comunicação com o módulo é realizada através de uma interface estruturada, via quadros API. Um quadro API é a informação estruturada enviada e recebida através da interface serial do módulo de rádio.

O modo de operação baseado em quadros API estende o nível em que um host de aplicação pode interagir com os recursos de rede do dispositivo, fornecendo meios alternativos para configuração de dispositivos e roteamento de pacotes na camada de aplicação do host. O modo API facilita:

- Configurar o módulo local
- Configurar módulos remotos na rede
- Gerenciar transmissão de dados para múltiplos destinos
- Receber *status* de sucesso ou falha de cada pacote RF transmitido
- Identificar o endereço de origem de cada pacote recebido.

Um quadro API tem a seguinte estrutura:



Figura 19 – Estrutura de um quadro API. Fonte Digi

Campo	Descrição
<i>Start delimiter</i> (Delimitador inicial)	O primeiro byte é uma sequência especial de caracteres que indica o início de um quadro API. Valor sempre é 0x7E
Length (comprimento)	Especifica o número total de bytes apenas no campo quadro de dados.
Frame Data (quadro de dados)	Composto pelo identificador API e dados específicos do identificador API. Ex: comandos, endereços, valores.
Checksum (soma de verificação)	Ultimo byte do quadro, ajuda a verificar a integridade dos dados. É

calculado somando o hash de todos os bytes que vieram antes dele, exceto os 3 primeiros bytes.

Tabela 7 – Descrição dos campos de um quadro API. Fonte: Digi

2.5.3 XCTU

Para configuração dos módulos XBee o fabricante disponibiliza gratuitamente uma ferramenta multiplataforma com uma interface gráfica capaz de realizar configurações e testes.

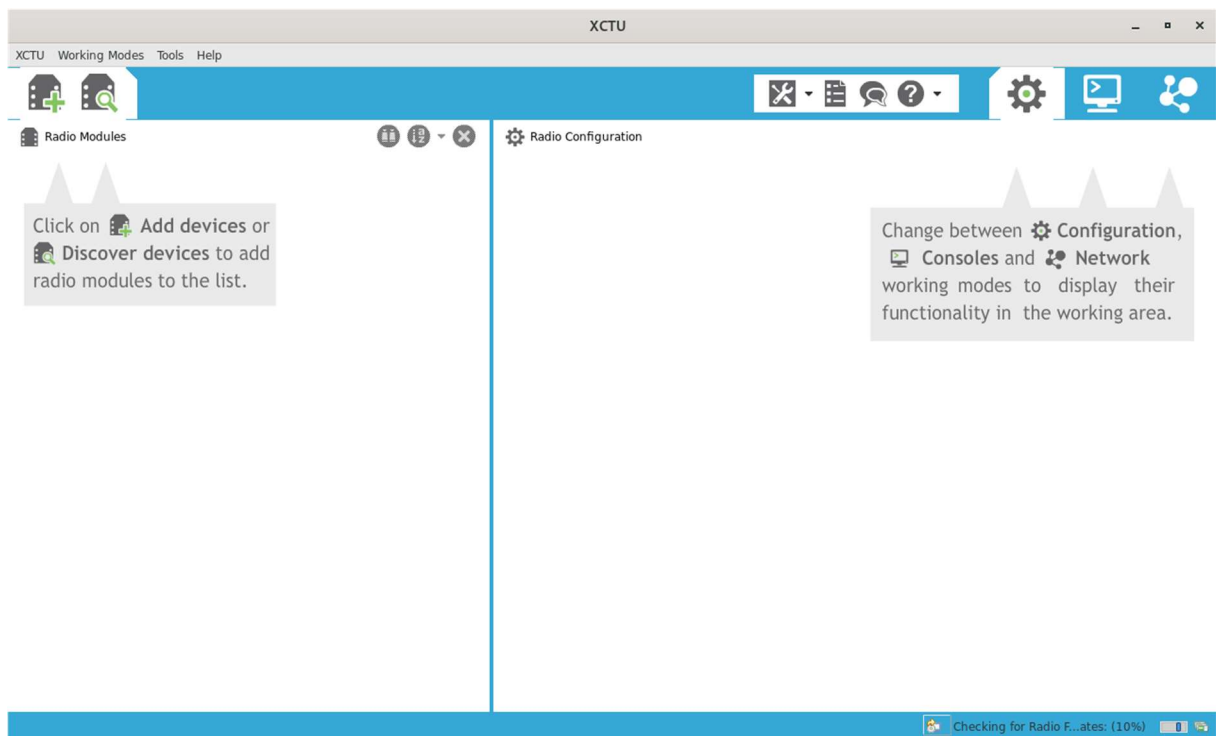


Figura 20 – Visão inicial da ferramenta XCTU. Fonte: Autor

2.6 ARDUINO

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware (placa) e software (IDE Arduino) fáceis de usar. As placas do Arduino são capazes de ler entradas como,

luz em um sensor ou acionamento de um botão, e transformá-la em uma saída como, ativação de um motor ou acionamento de um LED.

2.6.1 ARDUINO UNO

O Arduino uno é uma placa de micro controlador baseado no Atmega328P. É a placa mais popular entre as diversas placas Arduino existentes, e a melhor placa para iniciantes em projetos eletrônicos e programação.

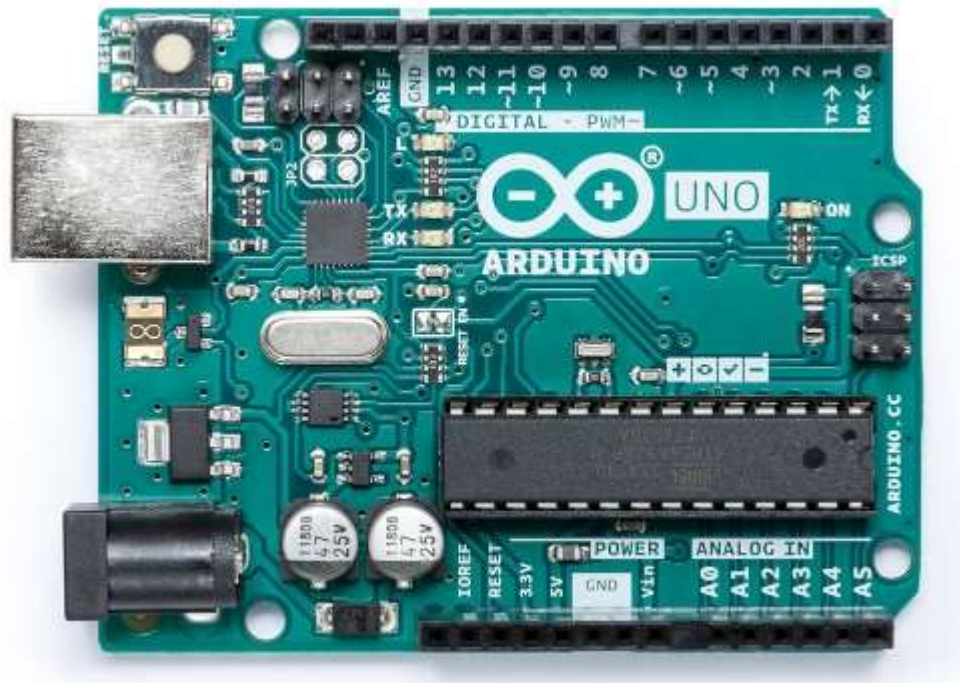


Figura 21 – Placa Arduino UNO. Fonte: (Arduino, s.d.)

2.6.2 ESPECIFICAÇÕES DO ARDUINO UNO

Tabela com as principais especificações

Micro controlador	Atmega328P
Tensão de operação	5v
Tensão de entrada (recomendada)	7-12v
Tensão de entrada (máxima)	6-20v

Pinos Digitais I/O	14 (6 PWM)
Pinos analógicos	6
Memória Flash	32 KB (Atmega328P), 0,5 KB é usado pelo <i>bootloader</i>
Corrente por pino I/O	20 mA
Corrente no pino 3.3V	50 mA
SRAM	2 KB (Atmega328P)
EEPROM	1 KB (Atmega328P)
Clock Speed	16 MHz

Tabela 8 – Especificações Arduino. Fonte: arduino.cc

2.6.3 ARDUINO SOFTWARE (IDE)

A outra parte da plataforma Arduino é o seu ambiente integrado de desenvolvimento – da sigla em inglês IDE – uma ferramenta que contém uma série de funcionalidades como, editor de texto, área de mensagens, console de texto, barra de ferramentas com botões para funções e que permitem que o usuário escreva programas e os carreguem para a placa Arduino.

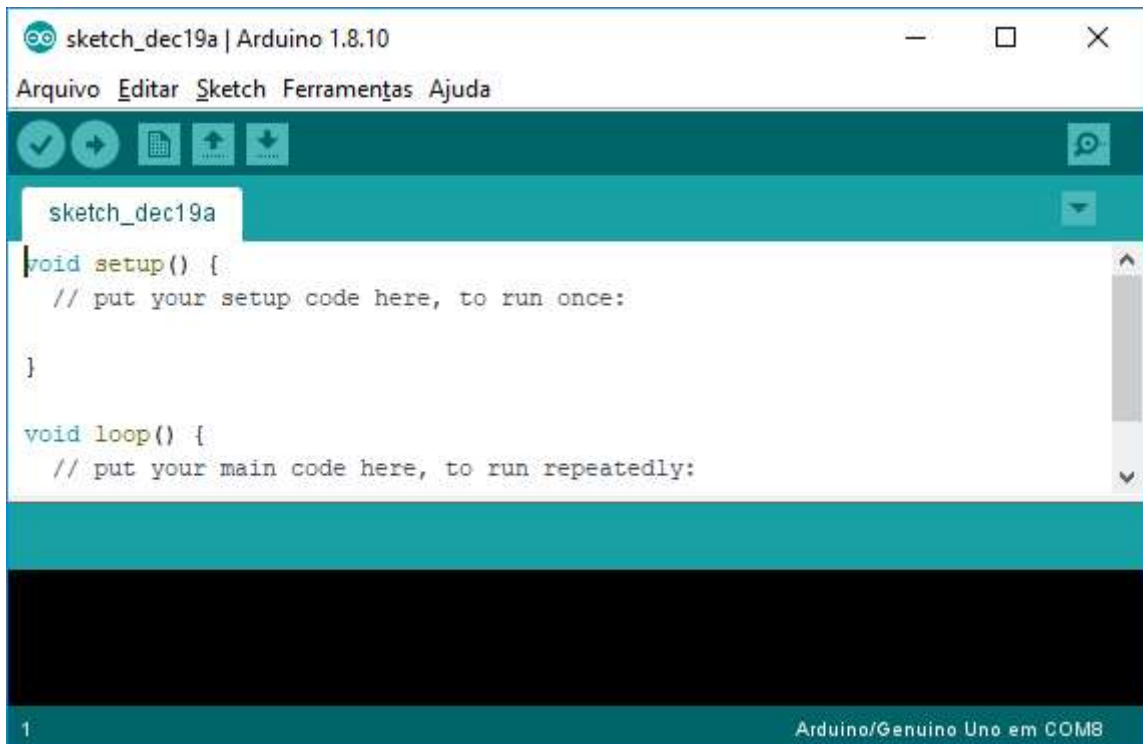


Figura 22 – Arduino IDE. Fonte: autor

2.7 SENSOR LDR

O LDR (*Light Dependent Resistor*) que significa resistor dependente de luz, é como o seu próprio nome já diz. O LDR é constituído de um semicondutor de alta resistência, que, ao receber uma grande quantidade de fótons oriundos da luz incidente, absorve elétrons, que melhoram sua condutibilidade, reduzindo assim sua resistência. A figura 22 mostra a relação entre resistência e a intensidade luminosa que incide sobre um LDR

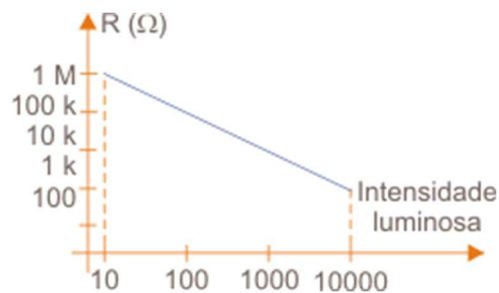


Figura 23 – Curva característica de um LDR. Fonte: (Instituto NCB, s.d.)

O LDR é muito utilizado em sensores que devem detectar a luz do dia, como fotocélulas de iluminação pública, por operar principalmente na faixa de verde-amarela do espectro de luz visível (Athos Eletronics, 2019).



Figura 24 – Sensor LDR 5 mm. Fonte: portal vida de silício.

A tabela abaixo apresenta as principais especificações do sensor ldr de 5 mm.

Modelo	GL5528
Diâmetro	5 mm
Tensão máxima (25°C)	150V
Faixa de Temperatura	-30 ~70°C
Resistencia na presença de luz	8~20KΩ
Resistencia na ausência de luz	1MΩ
Potência máxima	100mW
Espectro	540nm

Tabela 9 – Especificações LDR 5mm. Fonte: (Datasheet LDR)

2.8 TRABALHOS RELACIONADOS

Durante a busca por conteúdo relacionado ao tema alguns trabalhos correlatos foram

identificados e serviram para formar uma base de pesquisa e inspiração em alguns aspectos mais relevantes e acredita-se que devem ser mencionados.

No artigo “*Wireless Streetlight Control System*”, publicado no *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 41– No.2, March 2012, o autor descreve o uso de uma rede de sensores sem fio para controle e monitoramento de iluminação de rua, ressaltando os altos custos dos departamentos de iluminação pública. O sistema utiliza dispositivos de rede com processamento (nós) para sensoriamento da luz e utiliza a informação coletada para o controle da iluminação.

Em Kapgate (2012) também é utilizada a tecnologia ZigBee e faz uma breve comparação sobre outra tecnologia que poderia ser usada para o mesmo fim, como PLC, mas afirma que falhas de comunicação, ruído e alto custo são grandes empecilhos. Os nós sensores (NPD) usados são JN5139, semelhante aos rádios XBee, já que operam com tecnologia ZigBee, mas não precisam de um micro controlador como Arduino, pois já possuem essa função de processamento, o que dá a cada nó sensor capacidade de processamento e facilitando a implementação de uma aplicação específica para o projeto, mas pode representar um custo maior ao projeto.

No artigo “*ZigBee Based Remote Control Automatic Street Light System*” de autoria de Srikanth M, é desenvolvido um projeto de controle remoto automático do sistema de iluminação pública com base na tecnologia ZigBee, que além do controle e monitoramento, teria a possibilidade de dimerização automática com base em movimento de carros e pedestres e intensidade da luz, com o objetivo de redução do consumo de energia e auxiliando na redução de atividades criminosas.

O sistema conta com um kit Arduino, sensores de movimento e luz, rádios XBee. Basicamente o modulo XBee remoto realiza a transmissão dos dados coletados pelos sensores que estão ligados ao Arduino que analisa os dados e toma as decisões e informa ao módulo local o estado das luzes através da comunicação ZigBee, embora não tenha sido especificado as configurações para a realização da comunicação e o tipo de interface onde seriam exibidos os resultados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A solução proposta é formada por uma estação base local, de monitoramento e comando,

e uma estação remota de sensoriamento, na qual a estação local tem a função de criar e manter a rede ZB, receber as informações transmitidas pela estação remota, e analisar e enviar o comando para o acionamento da iluminação. O modelo de funcionamento do protótipo é ilustrado na figura 24.



Figura 25 – modelo de funcionamento da solução. Fonte: autor

3.1 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

A estação local é composta por um micro controlador Arduino uno, um modulo de rádio XBee S2C ZB e um PC, enquanto que a estação remota é formada por um rádio XBee (roteador ou end device), um sensor LDR e um LED. O modulo XBee da estação local será responsável pela criação da rede ZigBee, A configuração do módulo de rádio foi realizada através do *software* xctu, as tabelas 10 e 11 mostram os principais parâmetros configurados.

Configuração do XBee coordenador		
Parâmetro	Descrição	Valor
ID	Identificador da rede PAN	XXXX
CE	Habilitar coordenador	1
DH	Endereço de destino alto	0013#200

DL	Endereço de destino baixo	418D7CF3
NI	Identificador do nó	YYYY
AP	Habilitar modo API	1
IR	Taxa de amostras de IO	64
AO	Opções do API	0

Tabela 10 – Configuração do módulo coordenador. Fonte: autor

Configuração do XBee roteador		
Parâmetro	Descrição	Valor
ID	Identificador da rede PAN	XXXX
JV	Verificação de rede	1
CE	Habilitar coordenador	0
DH	Endereço de destino alto	0013#200
DL	Endereço de destino baixo	
NI	Identificador do nó	YYYY
AP	Habilitar modo API	0
IR	Taxa de amostras de IO	64
AO	Opções do API	1
D1	Pino 19	4
D2	Pino 18	2
D5	Pino 15	1

Tabela 11 – Configuração básica do XBee remoto. Fonte: Autor

Dentre os parâmetros mais importantes vale ressaltar alguns: ID da rede PAN, que é o identificador de 64 bits da rede, definido pelo coordenador no momento da criação da rede e pode receber valores de 0 até 0xFFFFFFFFFFFFFFFF; o parâmetro CE, necessário para habilitar um módulo como coordenador; DH e DL que são a combinação do endereço de 64 bits de um dispositivo de destino; AP que habilita o modo API é necessário para que o coordenador possa receber os dados de I/O que são entregues em quadros API.

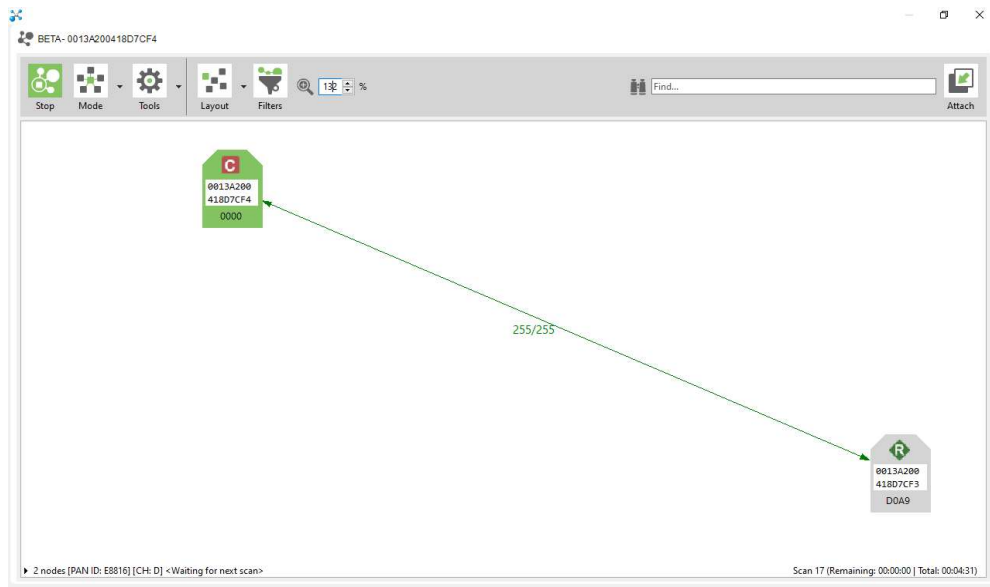


Figura 26 – Formação de uma rede ZigBee entre um coordenador e um roteador. Fonte: autor

A conexão entre o módulo de rádio e o micro controlador Arduino é demonstrada pela figura 25. Segundo Faludi (2012), apesar do módulo XBee ter muitos pinos, basta apenas o uso de quatro deles para criar uma conexão funcional na qual o Arduino possa se comunicar sem fios, utilizando seus protocolos de comunicação serial

XBee	Arduino
VCC or 3.3 V	3V3
TX or DOUT	RX or 0
RX or DIN	TX or 1
GND	GND

Tabela 12 – Conexão de pinos entre Arduino e XBee. Fonte: Faludi (2012)

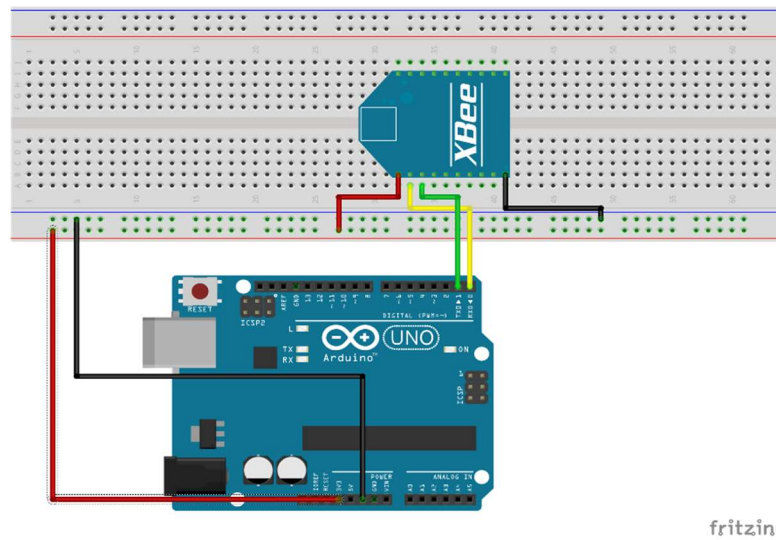


Figura 27 – Conexão XBee com Arduino. Autor

Os rádios XBee tem a capacidade de estabelecer a comunicação entre si, reunir dados de sensores e transmiti-los de forma independente, o que permite que a estação remota não necessite também de um hardware como o Arduino. O que é exatamente o que estação remota realiza, transmite dados analógicos coletados.

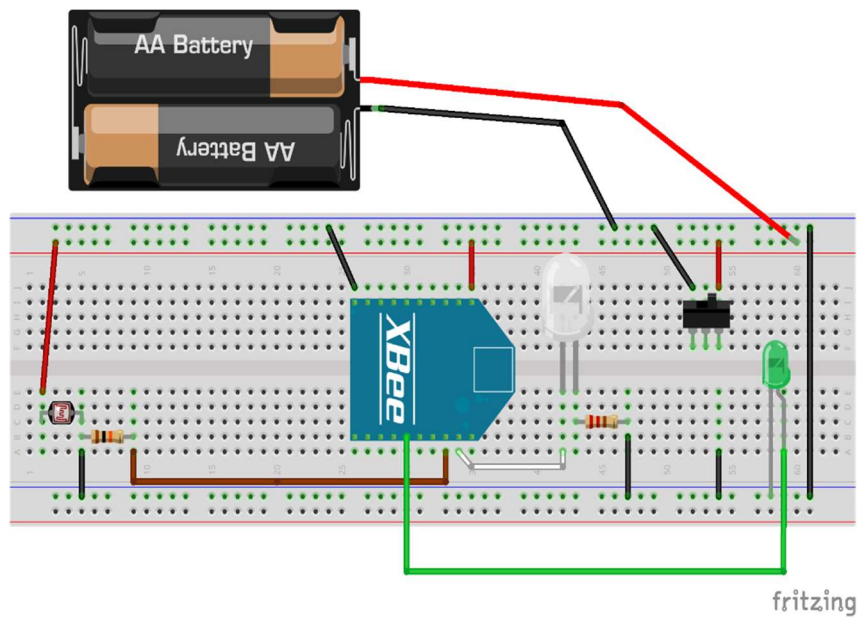


Figura 28 – Esquema de ligação da estação remota. Fonte: Autor

O sensor LDR, que está ligado ao pino 18 do XBee, configurado para ADC (*analog-to-digital converter*), realiza leitura do nível de luminosidade do ambiente, o rádio remoto, em modo AT, transmite os dados de forma transparente via ZigBee para o coordenador, que está em modo API.

Para realizar corretamente a leitura dos dados do sensor LDR, ligado ao pino 18, é necessário a utilização de um circuito divisor de tensão, que corte a tensão máxima em $2/3$, pois

os pinos de entrada analógica leem uma faixa de tensão de 0 a 1.2 V, tensões acima de 1.2V são ignoradas, resultando em valores máximos de leitura.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

Figura 29 – Formula para cálculo do divisor de tensão. Fonte: Faludi (2012).

Segundo (Faludi, 2012) uma rápida maneira de transformar uma tensão de entrada de 3.3V em uma que permanece abaixo de 1.2V, é ter um resistor fixo R₁, que seja o dobro da resistência máxima do resistor variável, no caso o sensor LDR.

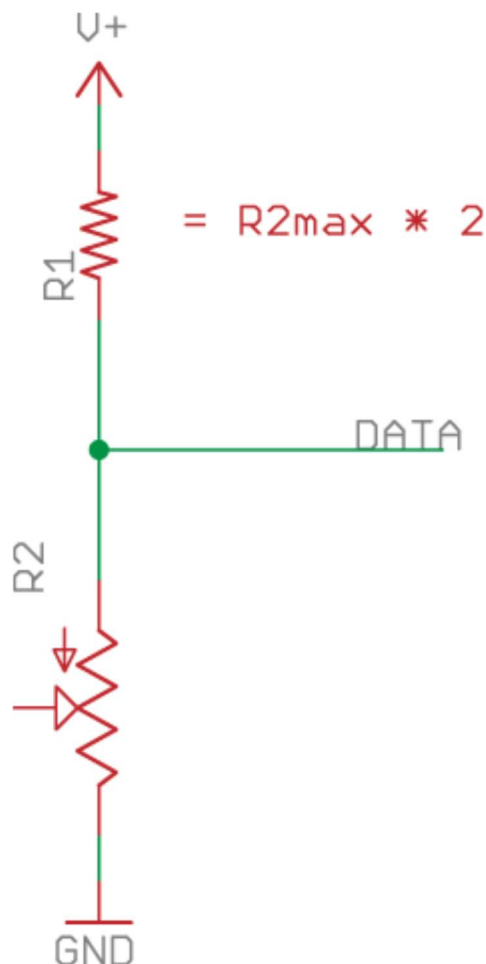


Figura 30 – Ilustração do Circuito divisor de tensão. Fonte: Faludi (2012)

Como sabemos, o XBee utiliza tensão de 3.3V e consideramos que o valor da resistência do fotoresistor seja de 10 K Ω , o cálculo realizado foi o seguinte:

$$V_{out} = \frac{10 \text{ K}\Omega}{20 \text{ K}\Omega + 10 \text{ K}\Omega} 3.3 \text{ V}$$

$$V_{out} = 1.1V$$

O Arduino captura os dados recebidos, através da comunicação serial realizada com XBee coordenador, analisa a leitura do nível luminosidade e de acordo com a leitura realizada, envia um comando em forma de quadro API para realizar a ativação ou desativação do LED, mudando o estado do pino 19 do XBee remoto, no qual o LED está conectado. inspirado no exemplo de (Faludi 2012) o código implementado será incluído nos anexos deste trabalho.

O valor limite do nível de luminosidade estabelecido para o envio do comando foi de 700. A leitura dos valores vai de 0 a 1023, pois a placa Arduino possui um conversor analógico-digital de 10 bits de resolução, o que significa que o intervalo de tensão fornecido (0-5V ou 3.3V) será dividido em 1024 partes, e o valor retornado representa o valor discreto mais aproximado da tensão no pino. (Silicio, 2017)

A figura 31 ilustra o fluxo do funcionamento da solução proposta.

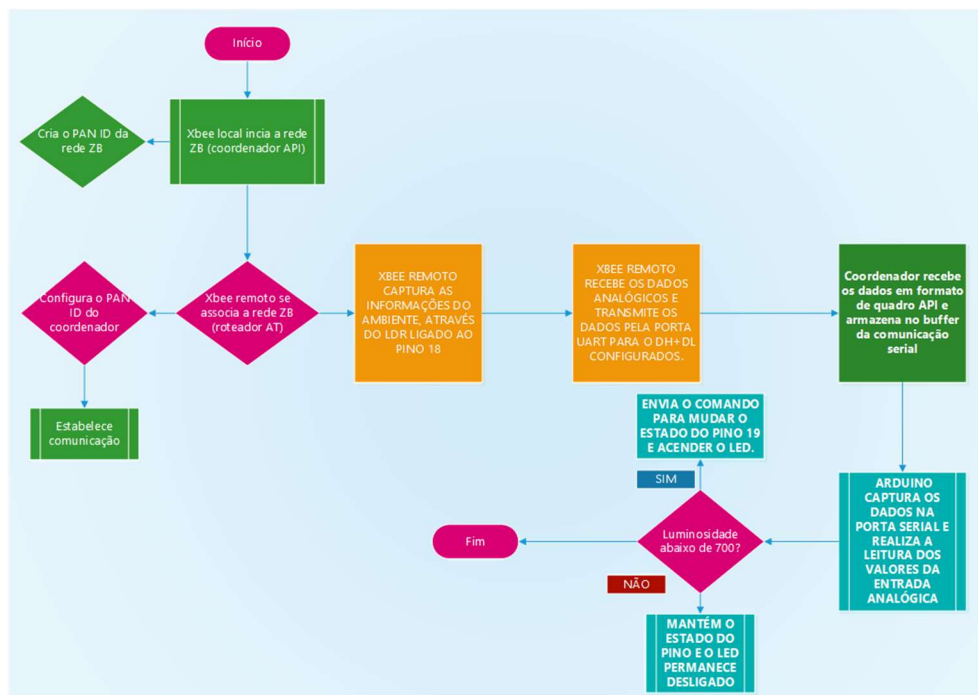


Figura 31 – Fluxo de funcionamento do sistema proposto. Fonte: autor.

3.2 PROTOTIPO DA BASE REMOTA

De acordo com a natureza do tema proposto e o campo de aplicação, foi considerado, de acordo com as condições e circunstâncias, o desenvolvimento de um protótipo para a base

remota. O esquema de montagem pode ser visto na figura 27.

Os componentes principais utilizados para a montagem do protótipo da base remota seguem na tabela 13.

Componentes	Quantidade
Kit básico para PCI	1
XBee S2C	1
Resistor 20 K Ω	1
LDR 5mm	1
LED 10 mm	1
LED 5 mm	1
Breakout Board	1
Interruptor	1
Suporte para bateria 18650	1

Tabela 13 - Itens usados na base remota. Fonte Autor

Para realizar o desenho do circuito eletrônico foi utilizado o *software* fritzing, uma plataforma de código aberto que oferece ferramentas fáceis de usar para desenvolvimento de projetos eletrônicos.

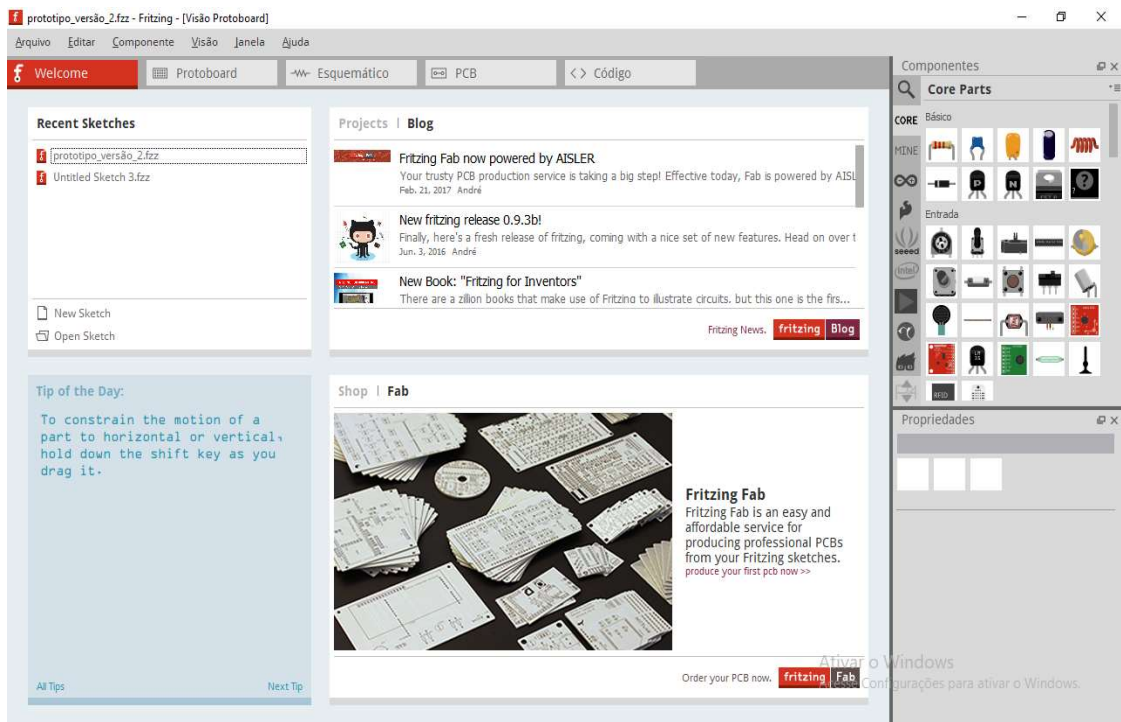


Figura 32 – Visão geral do Software Fritzing. Fonte: autor.

Após a realização do desenho do circuito e impressão do mesmo, foi utilizado a técnica de transferência de calor para transferir o desenho para uma placa de fenolite e chegar ao resultado que pode ser visto na figura 32.

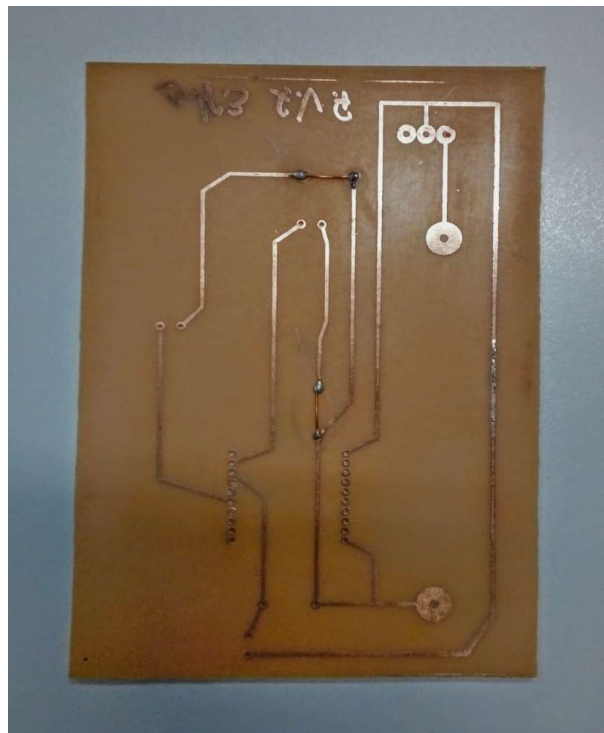


Figura 33 – Placa de circuito impresso da base remota. Fonte: autor.

O objetivo do desenvolvimento do protótipo para estação remota é simulação de um ponto de iluminação público. Para simular a fonte de luz do ponto de iluminação foi usado um LED de 10 mm de alto brilho, que está ligado ao pino 19 do rádio XBee, o LED de 5 mm ligado ao pino 15 do rádio, tem a função indicar a associação em rede.

Não foi necessário a utilização de resistores para os LEDs do circuito, pois para o LED de 10 mm o valor de resistência ser considerada é muito pequeno e o funcionamento se deu bem sem a utilização de um resistor, para o LED ligado ao pino 15, não foi o necessário pois o pino já tem a função de LED nativa e os rádios XBee possuem resistores *pull-up* e *pull-down* embutidos de fábrica.

Para alimentação do circuito foi implantado um suporte de bateria, compatível com baterias do tipo 18650, para que faça o papel de fonte de energia para o circuito, ligado a um interruptor para que possa ser desligado quando o sistema não estiver em uso.



Figura 34 – Protótipo com componentes. Fonte: autor

4 TESTES E ANALISE DO PROJETO

4.1 TESTES DA REDE

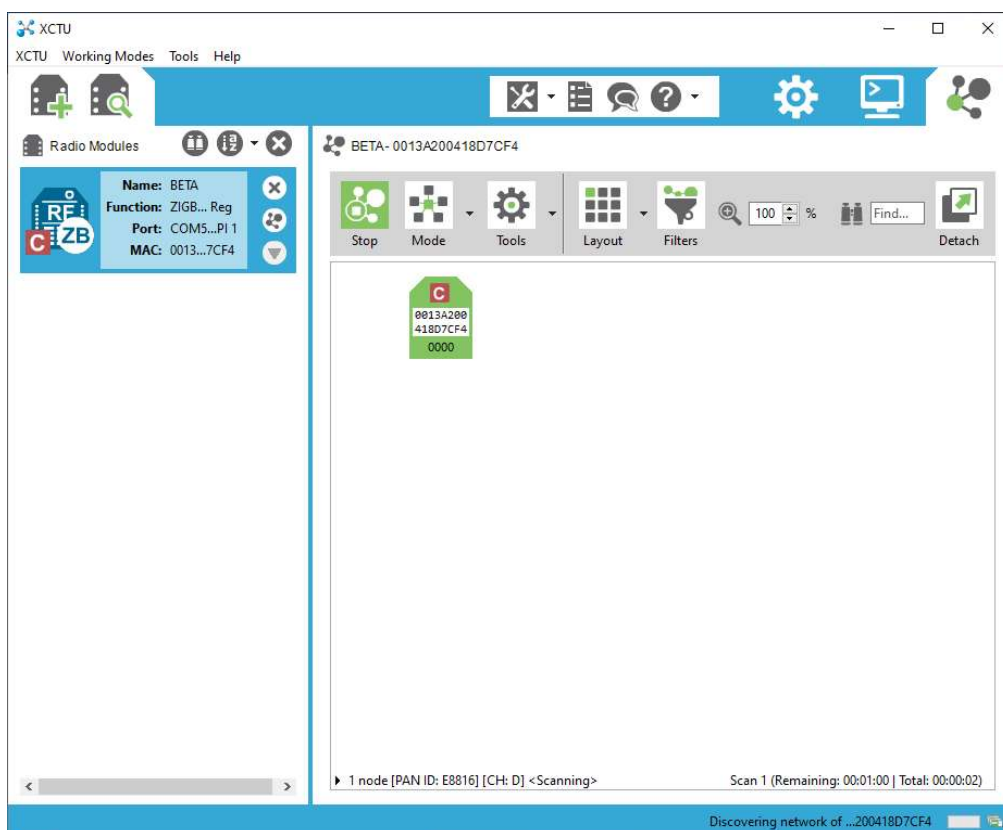


Figura 35 - Coordenador iniciando um *scan* na rede ZigBee. Fonte autor.

Não houve grandes dificuldades com a formação da rede ZigBee. Através dos rádios XBee, utilizando a ferramenta XCTU e com poucos parâmetros de configuração necessários, foi possível estabelecer a rede ZB e permitir que outros módulos se associassem, estabelecendo comunicação.

A figura 35 ilustra o coordenador iniciando uma rede ZigBee, e a figura 36 mostra o momento em que o outro módulo se associa a rede. Pode se perceber que intervalo de tempo entre o início da busca e o momento em que outro rádio é encontrado e permitido a se juntar é muito curto, pois foi necessário apenas um *scan* na rede, cada *scan* está configurado para durar 30 segundos e aí inicia-se o próximo. Ainda deve-se levar em consideração o tempo para a captura de cada uma das telas.

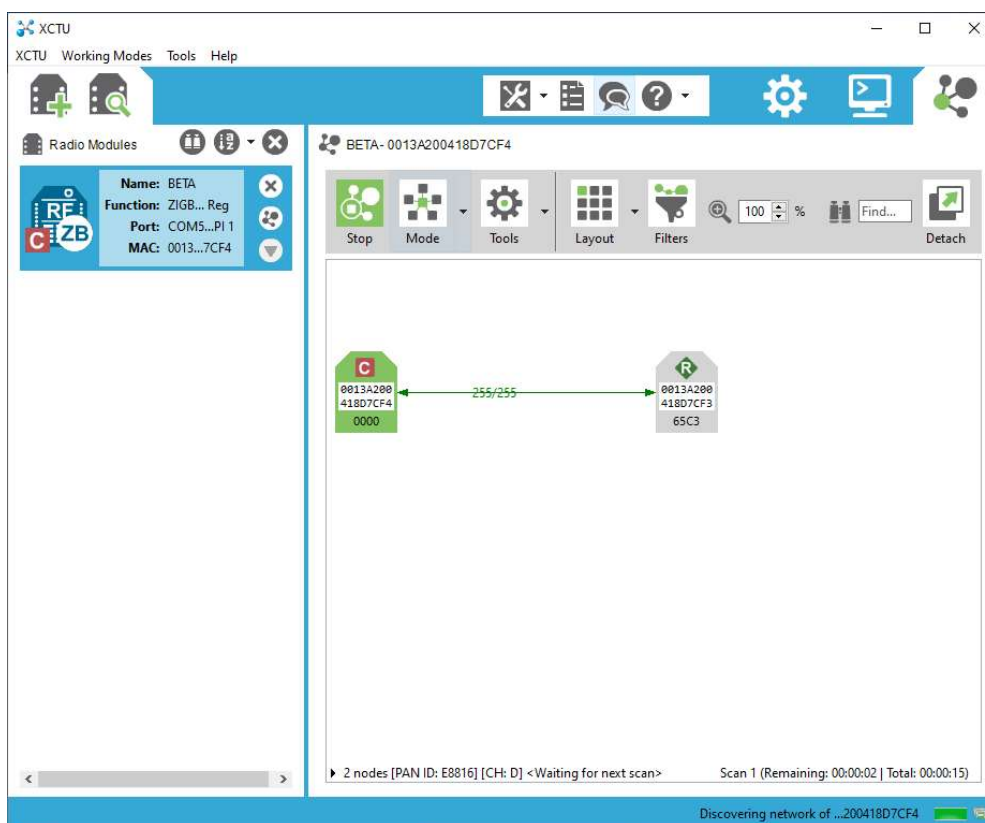


Figura 36 - Dois XBee associados em uma rede ZB. Fonte: autor.

Apesar de o teste ter sido feito em curtas distancias, e em ambiente interno, pode-se notar que o tempo de resposta da rede via rádio XBee é muito bom. Em poucos segundos um rádio pode se associar a rede e iniciar uma comunicação confiável e com boa estabilidade. A figura 37 mostra um teste de *range* entre os dois rádios.

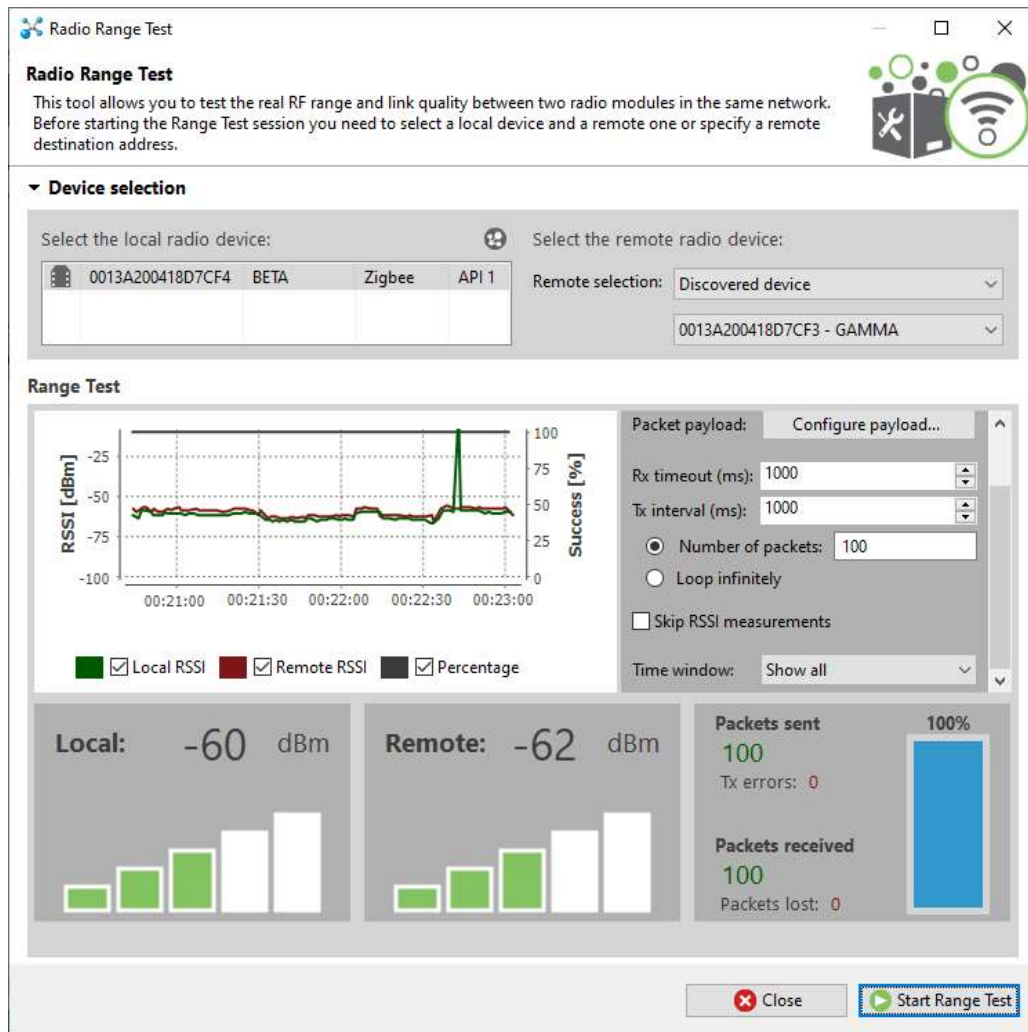


Figura 37 - Teste de range entre XBees. Fonte: autor.

Nota-se que não houve perda de pacotes no teste realizado. O teste realizado foi *indoor* e a uma distância de cerca de 10 metros. A figura 38 ilustra um teste de taxa de transferência realizado, onde foram transferidos bidirecionalmente 10000 pacotes de 84 bytes cada, máximo permitido pela ferramenta, em cerca de 53 minutos.

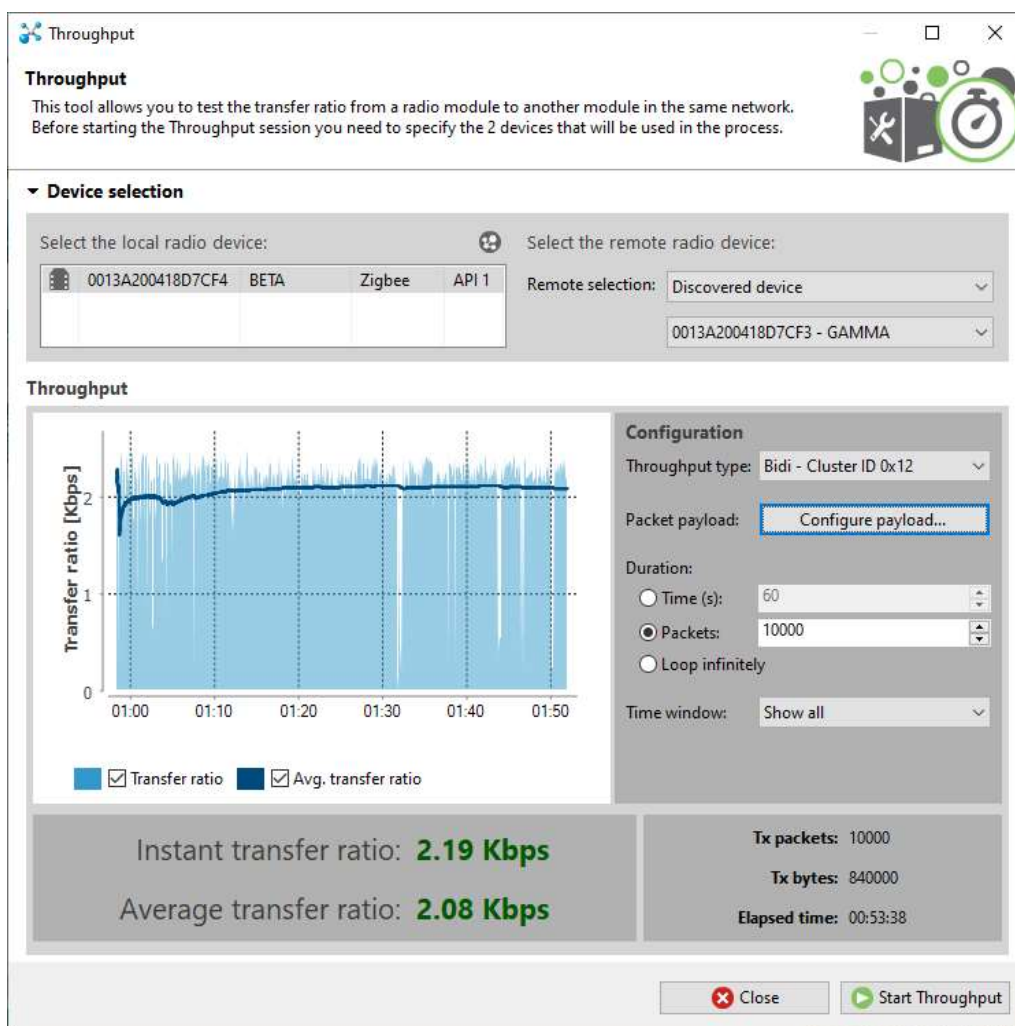


Figura 38 - Teste de *throughput*. Fonte: autor

4.2 TESTES DA SOLUÇÃO

Atestado o funcionamento e a confiabilidade da rede ZigBee e dos rádios XBees foi realizado um teste da solução proposta. As figuras 39 e 40 mostram o funcionamento da solução proposta. Para mostrar o nível de luminosidade foi criada uma interface, utilizando o Processing. Um *software* de código aberto, como o Arduino, e uma linguagem de programação baseada em java que tem como objetivo, de acordo com (<https://processing.org/>, 2019) a programação inserida no contexto das artes visuais.



Figura 39 – Presença de luz e nível de luminosidade



Figura 40 - Ausência de luz e nível de luminosidade

4.3 REGISTRO DE EVENTOS

Os eventos de acionamento do LED são registrados e podem ser consultados, graças a uma aplicação criada utilizando um banco de dados MySQL, um sistema gerenciador de banco de dados de código aberto e muito difundido, e o Nodejs, uma ferramenta com alta escalabilidade que usa a linguagem Javascript.

Os registros contêm as informações do evento: Nível de luminosidade, data e horário de acionamento, data e horário do fim do acionamento e tempo de duração do acionamento.

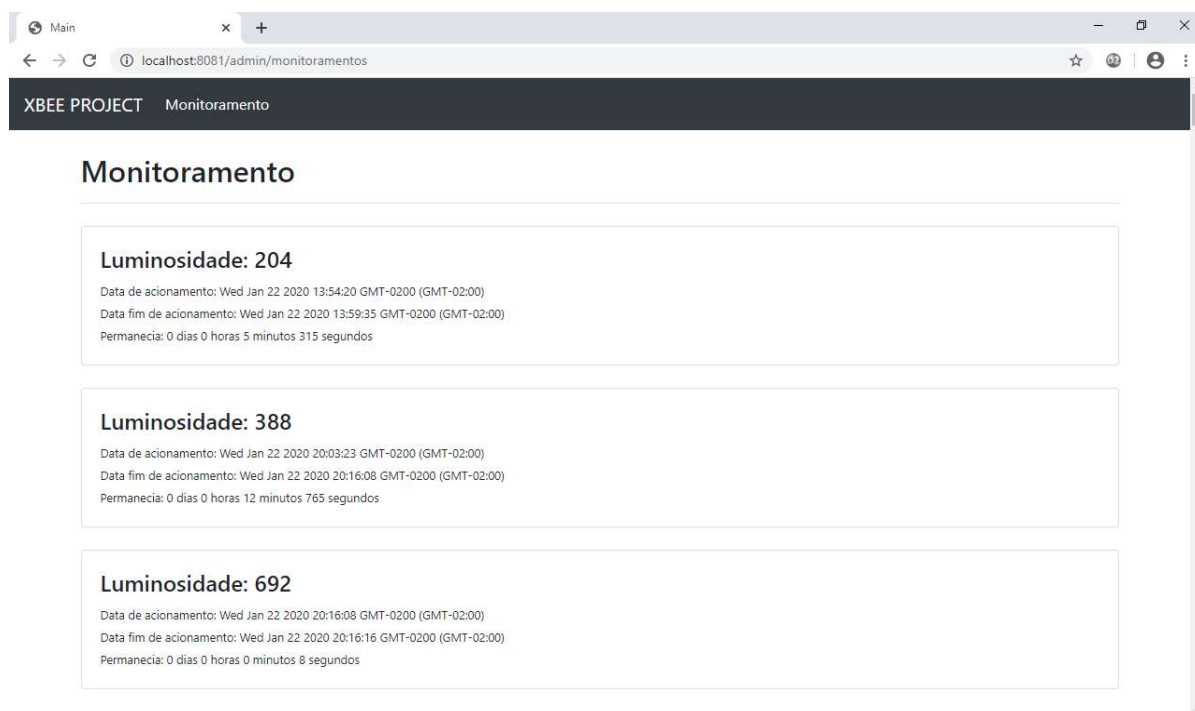


Figura 41 - Registros de acionamentos. Fonte: autor

Como mostrado na figura 41, todos os eventos de acionamento do sistema são registrados e podem ser consultados para o monitoramento mais detalhado da solução. Em um sistema de supervisão de iluminação os dados coletados são de suma importância, com as informações obtidas, pode-se estimar o consumo dos pontos de iluminação, baseando-se no tempo em que o ponto permanece ativo e nas especificações técnicas de consumo do componente usado como fonte de luz, que podem ser obtidas com o fabricante.

4.4 CUSTOS ESTIMADOS

Estimativa básica de custo do projeto				
Item	Quantidade	Valor (U\$)	Valor (R\$)	total
XBee	2	US\$ 47,96	R\$ 204,95	R\$ 442,23
Arduino (kit)	1		R\$ 60,00	
Breakout Board	5	US\$ 6,50	R\$ 27,78	
Grove Carrier	1	US\$15.95	R\$ 65,00	
LDR	1		R\$ 2,50	
LED 10 mm	1		R\$ 2,00	
Placa de Fenolite	1		R\$ 20,00	
Percloroeto de ferro	500 g		R\$ 20,00	
Furador para placa	1		R\$ 40,00	

Tabela 14 - Custos estimados do projeto. Fonte: autor

A tabela 14 traz os custos dos principais componentes utilizado no projeto. Alguns itens foram importados, devido ou ao elevado custo dos mesmos no mercado nacional (produto mais frete) ou a grande dificuldade de encontrar no mercado local, nesse caso decidiu-se por incluir na lista o valor em moeda estrangeira dos itens, apenas para registro.

Visando atender uma sugestão da banca avaliadora deste trabalho, realizou-se a estimativa de custos para implantação da solução proposta em uma determinada área hipotética. Para isso foi considerado a produção de 50 protótipos simulando 50 pontos de iluminação. A tabela 15 mostra as estimativas dos custos.

Estimativa básica de custo para 50 protótipos			
Item	Quantidade	Valor (R\$)	total
XBee	50	R\$5.123,75	R\$6.176,55
Arduino (kit leds + resistores)	1	R\$70,00	
Breakout Board	50	R\$277,80	
LDR	50	R\$125,00	
LED 10 mm	50	R\$100,00	
Placa de Fenolite 20x30	20	R\$400,00	
Percloroeto de ferro 500g	2	R\$40,00	
Furador para placa	1	R\$40,00	

Tabela 15 - Custos estimados para 50 protótipos. fonte: autor.

5 CONCLUSÃO

Em face a relevância histórica do campo de aplicação do tema proposto para a realização deste trabalho, iniciativas como um sistema de supervisão e monitoramento são algo não apenas úteis, mas também inevitáveis, graças ao avanço da tecnologia e as necessidades exigidas por ela e pela evolução natural das coisas. O tema não é novo pois sua importância, como já mencionado, é histórica, e atemporal.

Diante dos testes e análise dos resultados, a solução proposta apresenta pontos positivos para alcance do objetivo almejado, e também alguns pontos negativos, mas apesar disso, acredita-se que há potencial para supera-los.

A rede via rádios XBee ZigBee se mostrou uma forma viável de comunicação, o que pode representar uma alternativa viável a outras redes cabeadas, como PLC e Ethernet, principalmente em relação ao custo de implantação. Também há vantagens em comparação à outras soluções sem fios como WiFi e Bluetooth, principalmente em relação a quantidade de dispositivos que podem ser associados em uma rede do tipo malha.

Apesar da solução aqui proposta ter usado apenas dois rádios na rede, uma rede ZigBee pode abrigar uma quantidade de nós tão grande quanto o número de pontos de iluminação em uma cidade grande, todos interligados a um único coordenador, graças as topologias de rede suportadas. A taxa de transferência de 250 kbps especificado para rede ZB, não deve ser problema para aplicações de supervisão e controle, conforme visto no teste de *throughput* realizado.

A solução proposta foi capaz de realizar remotamente a coleta de dados do ambiente e transmiti-la para um nó central de supervisão, controle e telecomando, através do protocolo de comunicação ZigBee, utilizando rádios XBee S2C e a plataforma Arduino, além de registrar os eventos de acionamento do sistema, simulando o monitoramento de pontos de iluminação pública.

Portanto, espera-se que a solução, orgulhosamente apresentada como condição para a conclusão do curso de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações, possa contribuir de alguma forma, não apenas para o meu crescimento pessoal e profissional, mas também para a sociedade em geral.

Naturalmente, muitas melhorias podem ser implementadas no trabalho realizado, como a adição de nós à rede e melhoria da interface de supervisão e controle, porém acredita-se que a solução apresentada cumpriu com o desafio e os objetivos propostos.

REFERÊNCIAS

Advantech. (2011). Fonte: www2.advantech.com:https://www2.advantech.com/ia/newsletter/AutomationLink/Apr2011/PT/eDM/index.htm

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL . (9 de Setembro de 2010). RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010. *RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010*, 11.

Anuário Estatístico de Energia Elétrica. (Outubro de 2018). Rio de Janeiro.

Arduino. (s.d.). *Arduino*. Fonte: arduino.cc:https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3

Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Iluminação Urbana. (2008). Fonte: [abrasi.org.br: http://www.abrasi.org.br/iluminacao-urbana/2/dados-do-setor](http://www.abrasi.org.br/iluminacao-urbana/2/dados-do-setor)

Athos Eletronics. (2019). Fonte: [athoselectronics.com: https://athoselectronics.com/rele-fotoeletrico/](https://athoselectronics.com/rele-fotoeletrico/)

Bragatto, M. (24 de 11 de 2011). Transferência dos ativos de Iluminação Pública. *Audiência Pública 049/2011*. Belo Horizonte, MG.

Campbell, A. T., Giordano, M., & Giordano, S. (2003). *Mobile Ad hoc Network*. Kluwer Academic Publishers.

Datasheet LDR. (s.d.). Fonte: [pi.gate.ac.uk: https://pi.gate.ac.uk/pages/airpi-files/PD0001.pdf](https://pi.gate.ac.uk:https://pi.gate.ac.uk/pages/airpi-files/PD0001.pdf)
Dicio, Dicionário Online de Português. (2019). Fonte: [dicio.com.br: https://www.dicio.com.br/lampada/](https://www.dicio.com.br/lampada/)

Digi International Inc. (2012). Product Manual. Em Rabbit, *Dynamic C. An Introduction to ZigBee* (p. 3).

Digi International Inc. (Junho de 2019). XBee®/XBee-PRO S2C Zigbee RF Module. *User Guide*.

Faludi, R. (2012). Ins and Outs. Em R. Faludi, *Building Wireless Sensor Networks* (p. 92). O'Reilly.

Fernanda Mena. (2019). Experimento mostra que iluminação pública reduziu 36% dos crimes noturnos. *Folha de São Paulo*.

Instituto NCB. (s.d.). Fonte: [newtonbraga.com.br: https://www.newtonbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/201-l/7547-ldr-alm332](https://www.newtonbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/201-l/7547-ldr-alm332)

Kapgate, D. (2 de Março de 2012). Wireless Streetlight Control System. *International Journal of Computer Applications* .

Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2010). *Rede de Computadores e a Internet - uma nova Abordagem* . Pearson.

Processing. (2019). Fonte: [processing.org: https://processing.org/](https://processing.org/)

Repume Iluminação. (2019). Fonte: [repume.com.br: http://repume.com.br/produtos/reatores/](http://repume.com.br/produtos/reatores/)

Rosito, L. H. (2009). As origens da iluminação pública no Brasil. *O Setor Elétrico*.

Secretaria Municipal de Parcerias e Projetos Estratégicos. (21 de 12 de 2018). Fonte: SEMPPE: <http://semppe.manaus.am.gov.br/manaus-chega-a-50-mil-pontos-de-led-instalados/>

Silício, P. V. (2017). *Apostila Arduino Básico*.

Srikanth , M. (2014). ZigBee Based Remote Control Automatic Street Light System. *IJESC*.

Teleco Inteligencia em telecomunicações . (2019). Fonte: teleco.com.br:
https://www.teleco.com.br/tutoriais/repan3/pagina_1.asp

Underléa Corrêa, A. P., Andres Codas, D. F., & Montez, C. (2017). *Redes Locais Sem Fio: Conceito e Aplicações*. Florianópolis, SC, Brasil.

Vasques, B. L., Coutinho, I., Lima, M., & Carneval, V. (2010). *ZigBee Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Fonte: www.gta.ufrj.br:
https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

Wikipédia, a enciclopédia livre. (Agosto de 2019). Fonte: Wikipédia.org:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Ilumina%C3%A7%C3%A3o_p%C3%BAblica

ZigBee Alliance. (19 de Setembro de 2012). ZigBee Especification. *ZigBee Specification Document 053474r20*. San Ramon, CA, EUA.

ZigBee Alliance. (2019). Fonte: <https://zigbee.org>: <https://zigbee.org/zigbee-for-developers/about-us/>

ANEXO – código executado pelo Arduino

```
#define VERSION "1.02"

int LED = 7;
int debugLED = 13;
int analogValue = 0;

int remoteIndicator = false;

int lastRemoteIndicator = false;

unsigned long lastSent = 0;

void setup() {
  pinMode(LED,OUTPUT);
  pinMode(debugLED,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  if (Serial.available() >= 23) {
    if (Serial.read() == 0x7E) {

      digitalWrite(debugLED, HIGH);
      delay(10);
      digitalWrite(debugLED, LOW);
      for (int i = 0; i<20; i++) {
        byte discard = Serial.read();
      }
      int analogHigh = Serial.read();
```

```
int analogLow = Serial.read();
analogValue = analogLow + (analogHigh * 256);

}
}

if (analogValue >= 0 && analogValue <= 700) {
    remoteIndicator = true;
    Serial.println(funcaoImprimeLDR(analogValue,1));
} else {
    remoteIndicator = false;
    Serial.println(funcaoImprimeLDR(analogValue,0));
}

if (remoteIndicator != lastRemoteIndicator) {
    if (remoteIndicator==false) setRemoteState(0x4);
    if (remoteIndicator==true) setRemoteState(0x5);
    lastRemoteIndicator = remoteIndicator;
}

if (millis() - lastSent > 10000 ) {
    if (remoteIndicator==false) setRemoteState(0x4);
    if (remoteIndicator==true) setRemoteState(0x5);
    lastSent = millis();
}

}
```

```

void setRemoteState(int value) {
    Serial.write((byte)0x7E);
    Serial.write((byte)0x0);
    Serial.write((byte)0x10);
    Serial.write((byte)0x17);
    Serial.write((byte)0x0);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)0xFF);
    Serial.write((byte)0xFF);
    Serial.write((byte)0xFF);
    Serial.write((byte)0xFE);
    Serial.write((byte)0x02);
    Serial.write((byte)'D');
    Serial.write((byte)'1');
    Serial.write((byte)value);
    long sum = 0x17 + 0xFF + 0xFF + 0xFF + 0xFE + 0x02 + 'D' + '1' + value;
    Serial.write((byte)0xFF-(sum & 0xFF));
}

```

```

String funcaoImprimeLDR(int ldr, int est){

    String values = "";
    values += String(ldr);
    values += " " + String(est);
    return values;

}

```

Codigo Processing

```
import de.bezier.data.sql.*;
import de.bezier.data.sql.mapper.*;

import processing.serial.*;

String serial;
Serial port; // Create object from Serial class

int[] sensorValues = new int[2];

int end = 10;

int valor1 = 0, valor2 = 0;

String[] datos = new String[1];

int idAtual = 0;

String dataAtual;

String data_inicio = null;

String data_fim = null;

MySQL msq; //Create MySQL Object

void setup() {
  size(400, 400);
  noStroke();
  frameRate(10); // Run 10 frames per second

  String user = "root";
```



```
String pass = "root";
String database = "iot_database";

mysql = new MySQL( this, "localhost", database, user, pass );

// Open the port that the board is connected to and use the same speed (9600 bps)
port = new Serial(this, "COM4", 9600);
port.clear();

serial = port.readStringUntil(end); // Function that reads the string from serial port
until a println and then assigns string to our string variable (called 'serial')
serial = null;

}

void draw() {

  getDadosValues();

  valor1 = sensorValues[0];
  valor2 = sensorValues[1];

  background(255);

  fill(0);

  text("Luminosidade: ", 10, 30);
  text(valor1, 170, 30);

  estadoAnterior();

  fill(valor1/4);// Cor do retângulo
  rect(10, 70, 70, 70);// Draw square
```

```
textSize(22);
fill(10, 102, 153);

fill(0);

text("Estado: ", 10, 55);

if(valor2 == 1){
    text("Ligado", 95, 55);
}else{
    text("Desligado", 95, 55);
}

}

void getDadosValues() {
    while (port.available() > 0) {
        serial = port.readStringUntil(end);

    }

    if (serial != null) {
        sensorValues = null;
        sensorValues = int(splitTokens(serial));

    }

}
```

```

void armazenarDados(int v1){

    if(v1 != 0 && v1 <= 700){
        if(msql.connect()){
            msql.query( "insert into
monitoramentos(ldr,data_inicio)values("+v1+", "+""+horaDataAtual()+"")" );
        }else{

        }
    }
    msql.close();
}

void atualizarDados(int v1){

    if(v1 > 700){
        if(msql.connect()){
            msql.query("update monitoramentos set data_fim = "+""+horaDataAtual()+" where id
= "+idAtual);

        }else{

        }
    }
    msql.close();
}

void estadoAnterior(){

    if(msql.connect()){

        msql.query("select id, data_inicio, data_fim from monitoramentos where id = (select
max(id) from monitoramentos)");
    }
}

```

```
if(msql.next()){

    if(msql.getInt("id") != 0){
        idAtual = msql.getInt("id");
    }else{
        idAtual = 0;
    }

    if(msql.getString("data_inicio") != null){
        data_inicio = msql.getString("data_inicio");
    }else{
        data_inicio = null;
    }

    if(msql.getString("data_fim") != null){
        data_fim = msql.getString("data_fim");
        armazenarDados(valor1);
    }else{
        atualizarDados(valor1);
    }
}
```