

**Desenvolvimento de uma rede de sensores *wireless* utilizando protocolo ZigBee para monitoramento de dados e acionamento de atuadores**

**Development of a wireless sensor network using ZigBee protocol for data monitoring and actuator activation**

**Desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando el protocolo ZigBee para el monitoreo de datos y la activación del actuador**

Recebido: 21/09/2020 | Revisado: 22/09/2020 | Aceito: 24/09/2020 | Publicado: 26/09/2020

**Gilberto de Melo Junior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2317-7779>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

E-mail: gilberto.melo@outlook.com

**Renato Milhomem de Oliveira Filho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3351-1176>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

E-mail: rmoliveira17@gmail.com

**Sílvio Leão Vieira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4523-0769>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: slvieira@ufg.br

**Sanderson Oliveira de Macedo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5255-596X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

E-mail: sandecom@gmail.com

**Geovanne Pereira Furriel**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8510-1024>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

E-mail: geovanne.furriel@ifgoiano.edu.br

**Brunna Carolinne Rocha Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1654-5980>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

E-mail: brunnac.rocha@gmail.com

## Resumo

Redes de sensores sem fio tem sido bastante utilizada nos últimos anos, tanto na indústria como nas residências com o intuito de automatizar os ambientes. O estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma Rede de Sensores sem fio utilizando protocolo ZigBee, para o monitoramento de luminosidade, temperatura e presença, com a adição de acionamento de uma lâmpada, no ambiente monitorado. Como resultado foi apresentado os dispositivos utilizados para implementação da rede e a validação por meio de testes realizados.

**Palavras-chave:** Redes de sensores *wireless*; Protocolo ZigBee; Módulo XBee; Acionamento de carga; Monitoramento de dados.

## Abstract

Wireless sensor networks have been widely used in recent years, both in industry and in homes, to automate environments. The study aims to develop a Wireless Sensor Network using the ZigBee protocol to monitor light, temperature and presence, with the addition of a load trigger lamp, in the monitored environment. As a result, the devices used to implement the network and the validation through tests performed were presented.

**Keywords:** Wireless sensor networks; ZigBee protocol; XBee module; Load drive; Data monitoring.

## Resumen

Las redes de sensores inalámbricas se han utilizado ampliamente en los últimos años, tanto en la industria como en los hogares, para automatizar entornos. El estudio tiene como objetivo desarrollar una red de sensores inalámbrica utilizando el protocolo ZigBee, para monitorear la luz, la temperatura y la presencia, con la adición de una activación de la lámpara, en el ambiente monitoreado. Como resultado, se presentaron los dispositivos utilizados para implementar la red y la validación a través de las pruebas realizadas.

**Palabras clave:** Sensor de redes inalámbricas; Protocolo ZigBee; Módulo XBee; Unidad de carga; Seguimiento de datos.

## 1. Introdução

A utilização de Redes de Sensores *Wireless* (sem fio) vem crescendo no processo de automatização residencial, comercial e industrial. Loureiro *et al.* (2003) afirmam que este tipo de rede diferem das redes de computadores tradicionais em vários aspectos, tais como:

possuem um grande número de nós (elemento computacional com capacidade de processamento, interface de comunicação sem fio, além de um ou mais sensores) distribuídos; baixo consumo de energia; autoconfiguração e adaptação devido a problemas como falhas de comunicação.

Além da utilização de sensores para medição e envio de dados, os nós de uma rede de sensores sem fio também podem ser utilizados para acionamento de atuadores. Dentre as tecnologias de rede sem fio que apresentam elevado desenvolvimento nos últimos anos, destaca-se o ZigBee, um protocolo é destinado ao desenvolvimento de aplicações de baixa velocidade de transmissão de dados e elevada eficiência energética, o que o torna eficiente em aplicações de redes de sensores e atuadores (Santos, 2009).

Em 2002 a necessidade de uma tecnologia de HAN (*Home Area Network*) de baixo custo e banda estreita, levou um grupo de fabricantes e comercializadores a implementar, em conjunto, a norma IEEE 802.15.4. O grupo foi nomeado de *ZigBee Alliance*, porque a implementação do 802.15.4 permite aos dispositivos comunicarem entre si – na forma e roteamento de sinais – de modo similar a abelhas que voam para informar o enxame sobre o caminho para encontrar pólen (Stoll, 2008).

O ZigBee opera em várias frequências incluindo a banda não licenciada dos 2,4 GHz, que é utilizada pela maioria dos dispositivos Wi-Fi (Azevedo, 2010). Ele possui determinadas características que o tornam absolutamente distinto dos demais protocolos, tais como: baixo consumo de energia; pilha de protocolos de implementação simplificada; possibilidade de suportar uma elevada densidade de nós por rede (máximo de 65535) dispositivos por cada ZigBee coordenador; admite diferentes topologias de rede: estrela, malha ou grupo de árvores (Da Silva, 2007; Farahani, 2011; Pinheiro, 2004).

Steinhauser & Mello (2012) utilizaram redes ZigBee para automatizar alguns equipamentos e sensores de um ambiente doméstico, possibilitando maior interação e acessibilidade a pessoas com deficiência física.

Evangelista (2010) realiza a integração de duas redes ZigBee com controle embarcado *on/off* para gerenciar temperaturas em dois laboratórios na Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. Diniz *et al.* (2014) apresentaram o controle *wireless* de um sistema de vazão constituído por bomba hidráulica, um reservatório (tanque) e um sistema de comunicação sem fio que realiza o controle do nível de líquido no tanque.

Litjens (2009) utilizou módulos XBee (módulos que utilizam protocolo ZigBee para comunicação) para criar rede de automação de estufas agrícolas com sensores móveis, um dispositivo central e um *software* para monitoração e comando. O objetivo consistia em

diminuir os cabos de comunicação na estufa, facilitando a instalação, manutenção e suporte aos equipamentos presentes nela, além de propiciar um sistema automatizado capaz de gerar microclima ideal para o desenvolvimento das plantas produzidas.

Souza (2009) apresentou proposta de um sistema de automação residencial para iluminação utilizando tecnologia ZigBee. Para isso, um protótipo foi construído com o objetivo de simular o acionamento de uma lâmpada à distância. Braga (2010) utilizou redes de sensores baseado em ZigBee cuja função era obter dados de temperatura, umidade, luminosidade, entre outros, para fins de monitoramento florestal.

Este estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma rede de sensores *wireless*, utilizando protocolo ZigBee, para o monitoramento de luminosidade, temperatura e presença, com a adição de acionamento de uma lâmpada no ambiente onde há o monitoramento das variáveis.

Nas seções subseqüentes descrevemos a organização do trabalho. Na Seção 2 é apresentado os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho. Seção 3 apresenta os resultados obtidos. Enquanto a Seção 4 as conclusões do trabalho.

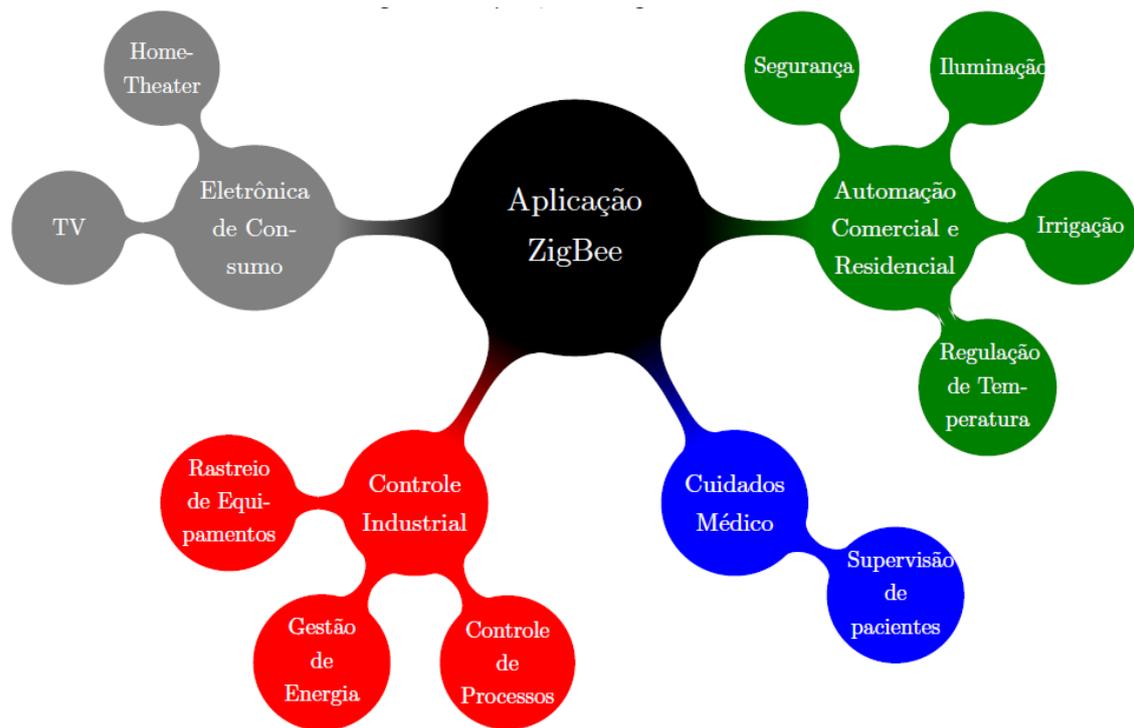
## **2. Metodologia**

O presente estudo objetiva o desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio, para monitoramento de dados e acionamento de carga. Para o desenvolvimento da pesquisa utilizou um estudo de caso, onde há a descrição da elaboração de dispositivos e desenvolvimento de rede de sensores sem fio utilizando a tecnologia ZigBee. A característica especial deste estudo de caso é o desenvolvimento e testes de dispositivos elaborados pelos autores, visando a ampliação do conhecimento sobre a tecnologia ZigBee.

Os métodos utilizados para apresentação do resultado da metodologia empregada no estudo de caso, são métodos qualitativos, onde os pesquisadores exploraram o funcionamento da rede de sensores sem fio e validaram o funcionamento dos dispositivos desenvolvidos por meio de testes aplicados (Pereira *et al.*, 2018).

As aplicações do ZigBee em redes de sensores sem fio são variadas. A Figura 1 ilustra uma árvore de aplicações deste protocolo nas diversas aplicações de automatização e monitoramento de dados.

**Figura 1.** Árvore de aplicações das redes de sensores sem fio utilizando protocolo ZigBee.



Fonte: Autores (2020).

Várias das aplicações observadas na Figura 1, não somente utiliza este tipo de rede para monitoramento, mas também apresenta necessidades de acionamento de atuadores em algum dos processos. Há ampla literatura disponível com trabalhos discorrendo sobre o uso dessa tecnologia.

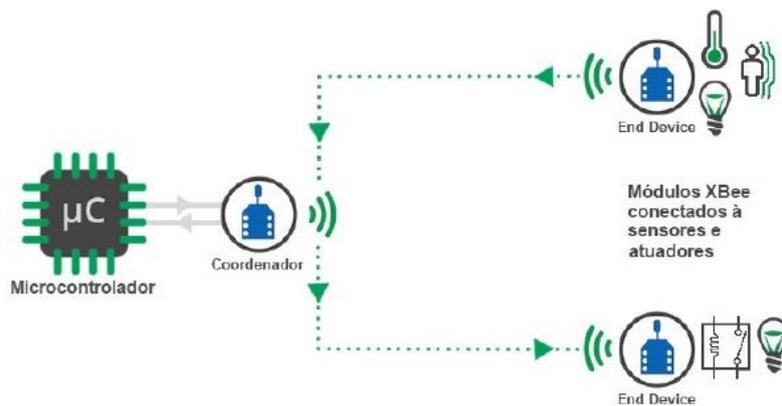
Em uma rede de sensores sem fio baseada no protocolo ZigBee existem dois tipos de dispositivos que são chamados de FFD (*Full Function Device*), dotados de funcionalidades plenas e tipicamente alimentado pela rede de energia e o RFD (*Reduced Function Device*) dotado de funcionalidades específicas e limitada, alimentado por bateria (Zucato, 2009). Os FFD são chamados de dispositivo Coordenador da rede. Os RFDs são conhecidos como *End Device*, ou dispositivos Finais.

Para identificar os dispositivos na rede existem dois tipos de endereços. Todos os *end devices* possuem um endereço IEEE de 64-bit único, referido como *extended address*. Depois de se juntar a uma PAN (*Personal Area Network*), é designado a um dispositivo um *short address* de 16-bit pelo coordenador que é depois utilizado como modo de sub-endereçamento, para minimizar o tamanho dos frames (Lee e Hong, 2009).

Para este estudo foi desenvolvido um dispositivo *End Device*, nomeado Sensor Modelo 2, que possui a função de monitoramento de temperatura, luminosidade e presença de

um ambiente, enviando as informações para o dispositivo Coordenador. Este, por sua vez, faz o processamento dos dados e, caso seja verificado que a luz do ambiente esteja ligada e nenhuma presença seja detectada, o dispositivo Coordenador envia comandos remotamente para outro dispositivo final, nomeado de dispositivo Atuador, que atuará no acionamento de um relé, ligando ou desligando a lâmpada do ambiente. A Figura 2 ilustra um diagrama detalhado de como esta rede opera no estudo de caso.

**Figura 2.** Diagrama da rede para o estudo de caso desenvolvido no projeto.



Fonte: Autores (2020).

O dispositivo Sensor Modelo 2 desenvolvido apresenta sensores LM35 e LDR, para monitoramento de temperatura e luminosidade, respectivamente. Além desses sensores, também é apresentado um sensor de presença, *Passive Infrared Sensor (PIR)*. A comunicação com o dispositivo Coordenador foi realizada por meio dos módulos XBee. A Figura 3 ilustra o Dispositivo Sensor Modelo 2 desenvolvido.

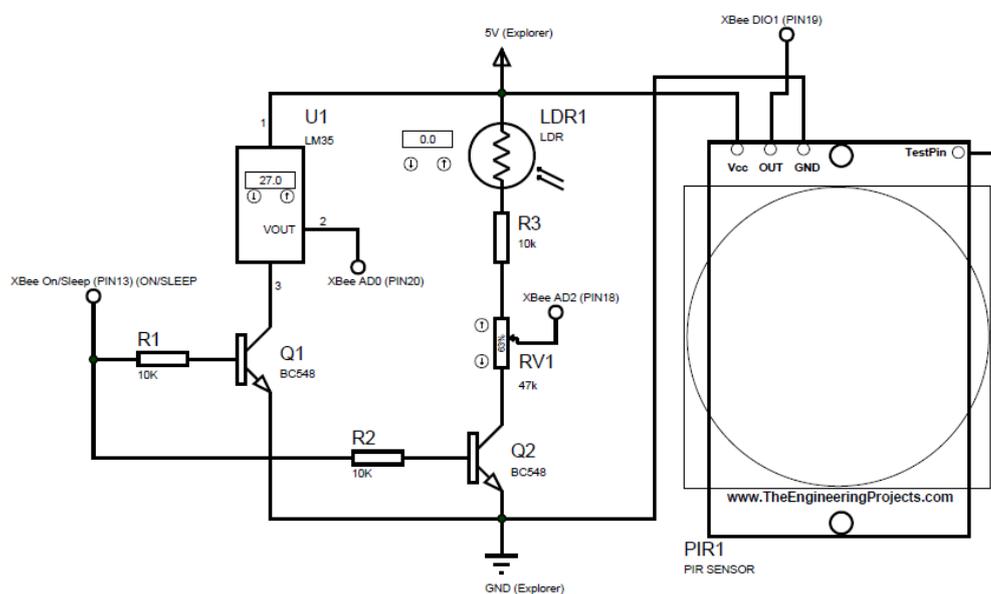
**Figura 3.** Dispositivo Sensor Modelo 2 para monitoramento de variáveis onde os sensores são de (1) temperatura, (2) luminosidade e (3) presença.



Fonte: Autores (2020).

Figura 4 apresenta o circuito do dispositivo Sensor Modelo 2. Na montagem dos circuitos foram utilizados transistores bipolares de junção (TBJs), modelo BC548 (Q1 e Q2), para chaveamento da alimentação dos sensores de temperatura e luminosidade, diminuindo o consumo de energia durante o modo *Sleep* (modo de economia de energia nos módulos XBee), limitando a alimentação a momentos de ativação do módulo. Este controle foi feito por meio do pino 13 (*On/Sleep*) do XBee, que estará em 3,3 V durante o período ativo e em 0,0 V durante o período de *sleep*. Já os pinos 18, 19 e 20 do XBee foram utilizados para leitura dos sensores.

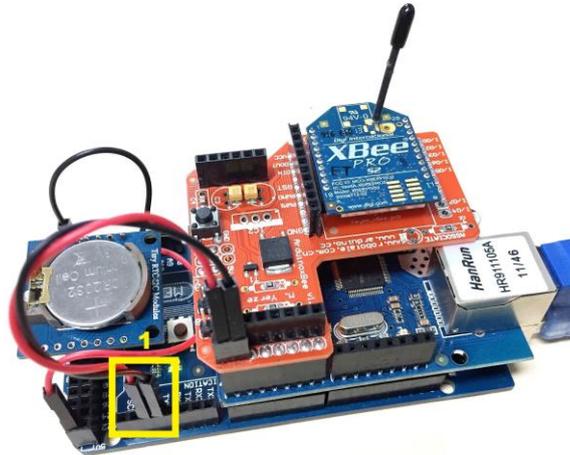
**Figura 4.** Circuito o dispositivo *End Device* Sensor Modelo 2.



Fonte: Autores (2020).

O dispositivo Coordenador foi composto por um Arduino Mega 2560, uma Ethernet Shield W500 para Arduino, uma XBee Shield para Arduino, um XBee-PRO S2 e um Relógio de Tempo Real (RTC - *Real Time Clock*) DS1307, sendo responsável por receber dados dos dispositivos Finais, processá-los e realizar a comunicação da rede de sensores. Figura 5 ilustra o dispositivo Coordenador desenvolvido.

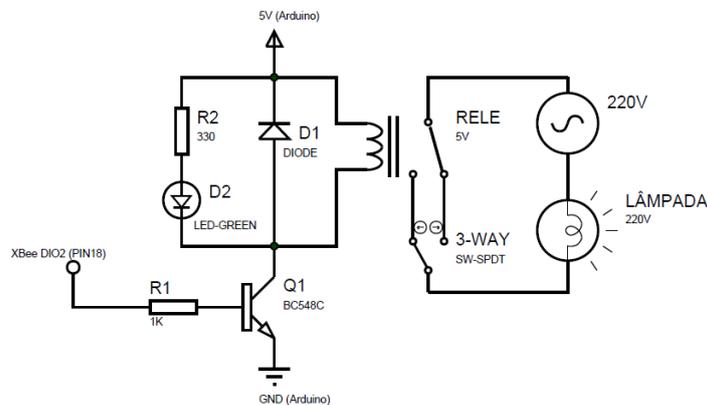
**Figura 5.** Hardware utilizado como dispositivo Coordenador, onde em (1) são os conectores entre XBee Shield e o Arduino.



Fonte: Autores (2020).

O dispositivo Atuador foi desenvolvido para acionar uma lâmpada por meio de comandos enviados remotamente pelo dispositivo Coordenador. As ligações entre relé (RELE 5 V), interruptor paralelo (3-WAY), lâmpada (LÂMPADA 220,0 V) e fonte (220,0 V) e o circuito desenvolvido para acionamento do relé são ilustrados na Figura 6.

**Figura 6.** Circuito para o dispositivo Atuador.

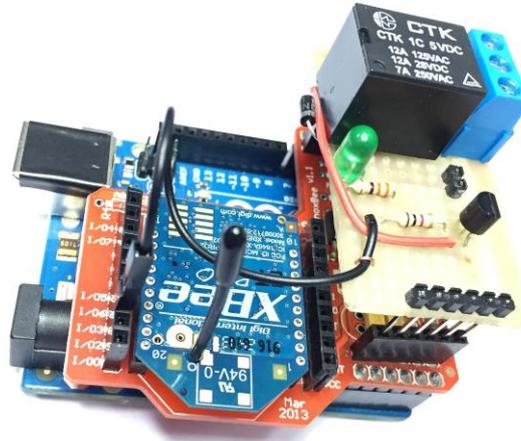


Fonte: Autores (2020).

O transistor NPN (Q1) é utilizado no chaveamento da bobina do relé. O sinal de comando que chega à base do transistor está conectado à saída digital DIO2 do XBee, que é comandada remotamente pelo coordenador. Ao ser enviado o comando configurando a porta em estado alto, a bobina do relé é alimentada e o contato irá comutar do NF para NA. Em paralelo com a bobina do relé tem-se um diodo e um resistor de 330; em série com um LED

(D2). O diodo em antiparalelo é utilizado como diodo de roda livre e o LED é acionado junto com a bobina do relé, indicando o estado do atuador. A disposição final do dispositivo Atuador é ilustrada na Figura 7.

**Figura 7.** Dispositivo Atuador para acionamento de carga (lâmpada 220,0 V).



Fonte: Autores (2020).

Este estudo foi realizado no laboratório Núcleo de Estudos e Pesquisas Experimentais e Tecnológicas (NExT), no Instituto Federal de Goiás, Campus Goiânia, Brasil e teve como objetivo a validação do dispositivo Sensor Modelo 2 e do dispositivo Atuador, além da análise de dados e envio de comandos remotos feitos pelo dispositivo Coordenador.

### 3. Resultados e Discussão

Este estudo de caso foi desenvolvido para validação dos dispositivos Sensor Modelo 2 e do dispositivo Atuador. Foi realizado monitoramento de temperatura, luminosidade e presença, além de atuação no sistema de iluminação. Os testes ocorreram no laboratório NExT durante o período de 3 dias, sendo analisado o envio de dados do dispositivo final Sensor Modelo 2 para o dispositivo Coordenador, e também o acionamento de uma carga para a validação do dispositivo Atuador.

O dispositivo Sensor Modelo 2, programado para entrar em modo *Sleep* por 20,0 segundos e permanecer em modo ativo por apenas 2,0 segundos, foi responsável por fazer a leitura dos sensores e enviar os dados ao dispositivo Coordenador.

As informações chegaram ao dispositivo Coordenador em *frames*. O microcontrolador executou tarefas de interpretação e análise dos dados recebidos no frame bem como envio de

comandos remotos para atuação na iluminação. Porém, visando maior precisão, o dispositivo Coordenador atuou no sistema somente após duas leituras consecutivas dos sensores de iluminação LDR e presença PIR.

Caso a condição para atuar no sistema fosse satisfeita, o Coordenador enviava o seguinte *frame*, ilustrado na Figura 8, para ativar ou desativar o relé:

**Figura 8.** Exemplo de Frames que foram transmitidos para o dispositivo Coordenador.

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 7E | 00 | 10 | 17 | 00 | 00 | 13 | A2 | 00 | 40 | A6 | FA | 9A | FF | FE | 02 | 44 | 32 | 05 | 3F |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

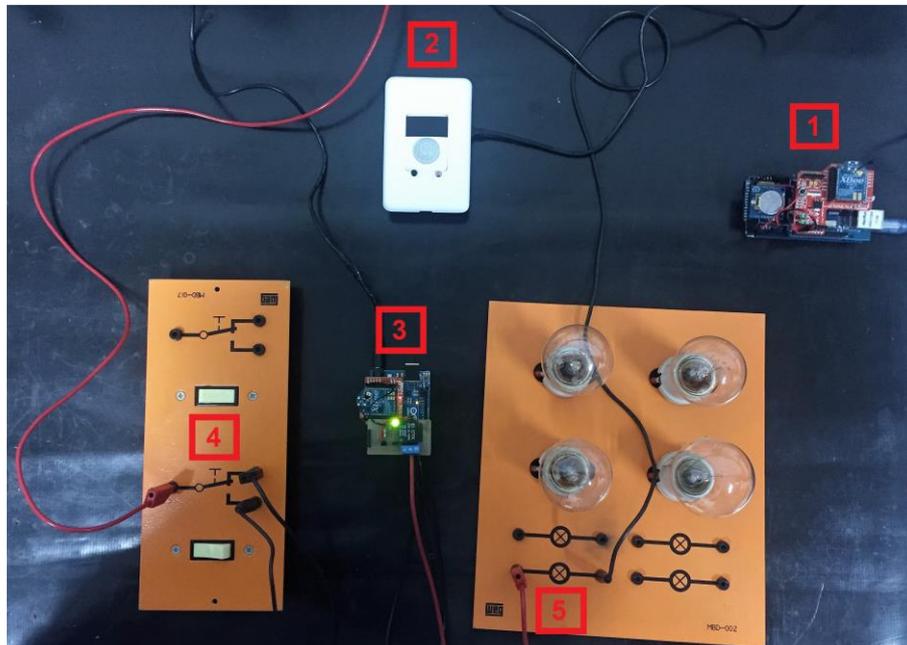
Fonte: Autores (2020).

As informações apresentadas no *frame* da Figura 8, são:

- *Start byte*: 7E;
- Tamanho do *frame* (*Frame Length*): 00 10 (16 bytes - contando a partir do *frame* ID);
- Tipo de *frame* (*Frame Type*): 17 (17 - envio de comandos AT);
- *Frame* ID: (00 - sem necessidade de envio de resposta);
- Endereço de destino (64-bit *destination address*): 00 13 A2 00 40 A6 FA 9A;
- Endereço da rede de destino (16-bit *destination Network Address*): FF FE (FFFE - se o endereço for desconhecido);
- Opções de comando remoto (*Remote Command Options*): 02 (02 - aplicar mudança imediatamente);
- Parâmetro a ser alterado (*AT Command*): 44 32 (D2 - porta I/O digital 2);
- Valor do parâmetro (*Command Parameter*): 05 (05 - configura D2 como porta digital em estado alto. 04 - Configura D2 como porta digital em estado baixo);
- *Checksum*: 3F

O dispositivo Atuador foi conectado à um interruptor paralelo, permitindo que a lâmpada fosse acionada pelo interruptor ou pelo relé. Caso o relé estivesse desativado e fosse necessário atuar no sistema remotamente, o dispositivo Coordenador envia o *frame* para ativar o relé (*Command Parameter* = 05), desligando a lâmpada. Se o relé estiver acionado e for necessário desligar a lâmpada remotamente, o Arduino envia o comando para desativar o relé (*Command Parameter* = 04). A Figura 9 ilustra o resultado do estudo realizado.

**Figura 9.** Resultado da implementação do estudo de caso, onde: Coordenador (1), dispositivo Sensor Modelo 2 (2), dispositivo Atuador (3), interruptor paralelo (4) e lâmpada 220,0 VAC (5).



Fonte: Autores (2020).

Para o dispositivo Modelo Sensor 2 foram gastos R\$ 170,00; dispositivo Atuador R\$ 210,00; dispositivo Coordenador R\$ 200,00. Ao total foram gastos R\$ 580,00 com a rede de sensores finalizada. Os valores gastos são referentes ao ano de 2019.

Com os testes realizados foram validados o funcionamento da rede de sensores ZigBee, com os dois dispositivos finais desenvolvidos e com o dispositivo Coordenador.

#### 4. Considerações Finais

Baseado no objetivo do trabalho, houve o desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio, baseado no protocolo ZigBee, utilizando módulos XBee. A rede foi desenvolvida para monitoramento de dados e acionamento de carga. Foram desenvolvidos um dispositivo final Modelo Sensor 2 para medição de temperatura, luminosidade e presença; um dispositivo Atuador para acionamento remoto de uma lâmpada; um dispositivo Coordenador para gerenciamento da rede de sensores. A rede de sensores sem fio provou-se funcional, sendo validada nos testes realizados.

Trabalhos futuros são propostos utilizando outros tipos de atuadores para o acionamento, aumentando os dispositivos finais da rede para maior tráfego de dados e testes com outros tipos de topologia de rede.

## Referências

Azevedo, C. M. O. (2010). *Comando e monitorização de sistemas de actuação via redes wireless-ZigBee*. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Recuperado de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59619/1/000143357.pdf>.

Braga, T. C. (2010). *Monitorização ambiental em espaços florestais com rede de sensores sem fios*. (Doctoral dissertation, Universidade da Madeira).

Da Silva, A. T. (2007). Módulos de comunicação wireless para sensores. *Projecto final de curso*. Universidade do Porto.

Diniz, I. & Godoy, E. & Souza, W. & Moreira, P. (2014). Controle de Vazão Wireless Utilizando o Protocolo ZigBee®. Brazil Automation 2014. São Paulo, Brasil.

Evangelista, D. S. (2010). *Integração de redes de sensores ZigBee para automação predial utilizando módulos MeshBean*. Trabalho de Graduação, Faculdade de Tecnologia – Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. Recuperado de <https://fdocumentos.tips/document/integracao-de-redes-de-sensores-zigbee-para-automacao-predial-.html>.

Farahani, S. (2011). *ZigBee wireless networks and transceivers*. Newnes. Elsevier. Recuperado de <http://www.chiaraburatti.org/uploads/teaching/ZigBee-Libro.pdf>.

Lee, W. S., & Hong, S. H. (2009, May). Implementation of a KNX-ZigBee gateway for home automation. In *2009 IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics* (pp. 545-549). IEEE.

Litjens, O. J. (2009). *Automação de estufas agrícolas utilizando sensoriamento remoto e o protocolo Zigbee*. (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Loureiro, A. A., Nogueira, J. M. S., Ruiz, L. B., Mini, R. A. D. F., Nakamura, E. F., & Figueiredo, C. M. S. (2003, May). Redes de sensores sem fio. In: *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)* (pp. 179-226). sn.

Pereira A.S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pinheiro, J. M. S. (2004). As redes com Zigbee. *Projeto de Redes*, 27. Recuperado de [https://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo\\_zigbee.php](https://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php).

Santos, J. A. D. C. M. (2009). *Sistema domótico baseado em redes Zigbee*. Dissertação de mestrado Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal. Recuperado de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59411/1/000136077.pdf>.

Souza, M. A. D. (2010). *Sistema de automação residencial para iluminação*. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/3136>.

Steinhauser, P. L., & Mello, E. (2012). Ziglar-Utilização de redes sem fio Zigbee para Acessibilidade aos portadores de deficiência física. *Artigo Científico (Pós-Graduação em Redes de Computadores e Segurança de Sistemas)*. Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí.

Stoll, G. R. (2008). O que é este tal do ZigBee? UTC: Utilities Telecom Council. Disponível em: [http://www.mecomp.com.br/rumo/o\\_que\\_e\\_este\\_tal\\_do\\_zigbee\\_3\\_.pdf](http://www.mecomp.com.br/rumo/o_que_e_este_tal_do_zigbee_3_.pdf).

Zucato, F. L. (2009). *Rede ZigBee gerenciada por sistema de monitoramento remoto utilizando TCP/IP e GPRS*. (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Gilberto de Melo Junior – 40%

Renato Milhomem de Oliveira Filho – 15%

Sílvio Leão Vieira – 15%

Sanderson de Oliveira Macedo – 10%

Geovanne Pereira Furriel – 10%

Brunna Carolinne Rocha Silva – 10%