



PROPOSIÇÃO DE SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE LONGA DISTÂNCIA PARA SENSORIAMENTO DE TEMPERATURA E UMIDADE

Bruno Gonçalves Silva*¹, Ana Paula Lima dos Santos¹, Gustavo Lobato Campos¹

¹ IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Formiga

Resumo – A tecnologia LPWAN vem sendo utilizada na Indústria 4.0, pois pertence a uma das tecnologias que pode ser empregada no conceito Internet das coisas (IoT). A rede LoRaWAN é um protocolo MAC que também é aplicado juntamente ao protocolo LoRa, que permite realizar comunicação a longas distâncias e com baixo consumo de energia, a qual é utilizada principalmente em redes de sensores. Sendo assim, neste trabalho são realizados ensaios utilizando Arduino UNO, sensor de temperatura e umidade DHT11 para transmissão de dados para um servidor através de um LoRa *Shield* Dragino.

Palavras-Chave – Arduino UNO. DHT11. Internet das Coisas (IoT). LoRa. LoRaWAN. LPWAN.

PROPOSAL OF LONG DISTANCE TRANSMISSION SYSTEM FOR TEMPERATURE AND MOISTURE SENSING

Abstract - LPWAN technology has been used in Industry 4.0 because it belongs to one of the technologies that can be employed in the IoT concept. The LoRaWAN network is a MAC protocol that is also applied in conjunction with the LoRa protocol, which allows long distance and low power communication, which is mainly used in sensor networks. Therefore, in this work, tests are performed using Arduino UNO, DHT11 temperature and humidity sensor to transmit data to a server through a LoRa *Shield* Dragino.

Keywords - Arduino UNO. DHT11. Internet of Things (IoT). LoRa. LoRaWAN. LPWAN.

NOMENCLATURA

IoT Internet das coisas.

LPWAN Low Power Wide Area Network.

WPAN Wireless Personal Area Network.

NFC Near Field Communication.

RSSF Redes de Sensores sem Fio.

LoRa Long Range.

I. INTRODUÇÃO

A 4ª Revolução Industrial propôs a inserção de tecnologias que permitem a digitalização da informação e comunicação entre pessoas, sistemas e máquinas, ou seja, a Internet das coisas (IoT, do Inglês *Internet of Things*) [1]. Dentro da indústria, as comunicações são realizadas por meio de redes físicas, ponto a ponto. Porém com o desenvolvimento de tecnologias, a conectividade dos sistemas por meio da comunicação sem fio vem crescendo.

A comunicação sem fio entre objetos, em um sistema de controle, deve ter baixo custo, confiabilidade e baixo consumo de energia. As principais tecnologias utilizadas incluem os sistemas de comunicação LPWAN (do Inglês *Low Power Wide Area Network*), tecnologias WPAN (do Inglês *Wireless Personal Area Network*), o protocolo NFC (do Inglês *Near-Field Communication*), entre outras[2].

A tecnologia LPWAN consiste em um baixo consumo de energia e longo alcance, sendo limitada a baixas taxas de transmissão, portanto são projetadas para a conexão de dispositivos como sensores [3].

Uma das aplicações para a tecnologia LPWAN são as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Esses são sistemas embarcados, com uma unidade de processamento, comunicação sem fio e os sensores, podendo ou não conter atuadores.

Neste artigo são abordadas as tecnologias LPWAN, assim como o protocolo de comunicação LoRaWAN e a tecnologia LoRa. Ao final é apresentada uma aplicação prática da transmissão de dados de um sensor DHT11 por meio de *Shield* Dragino LoRa juntamente com a plataforma de prototipagem Arduino UNO.

II. TECNOLOGIAS LPWAN

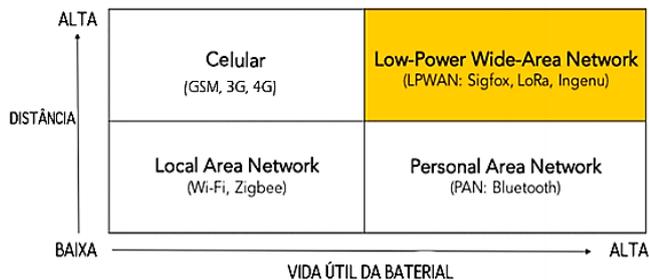
Nesta seção são apresentadas as principais tecnologias LPWAN, as quais operam em faixas de frequências não licenciadas.

Há diversas tecnologias de comunicação sem fio, como *Bluetooth*, *ZigBee*, *Wi-Fi*, *BLE*, *LoRa*, entre outras, nas quais características como alcance e consumo de energia são diferenciadas. *LoRa*, trata-se de uma tecnologia de radiofrequência, que permite a comunicação a longas distâncias com um baixo consumo de energia. Tais aspectos são características das tecnologias de rede de área ampla de baixa potência (LPWAN), como ilustra a Figura 1, que

*brunogonc.silv@gmail.com

apresenta uma comparação com outras tecnologias de comunicação sem fio [5].

Figura 1: Vida útil da Bateria versus a Distância.



Fonte: Conrad, 2018

III. REDES LORAWAN E PROTOCOLOS LORA

O LoRaWAN é um protocolo MAC, criado para usar a camada física que constitui o LoRa. Ele é projetado para sistemas com sensores que trocam pacotes com o servidor com uma taxa de dados baixa e, comparado com outros protocolos, longos intervalos de tempo [6].

Os componentes necessários para formar uma rede LoRaWAN são definidos a seguir:

- 1) *End-device*: são os sensores de baixo consumo de potência, que comunicam com *gateways* operados por LoRa.
- 2) *Gateway*: são os dispositivos intermediários que encaminham pacotes provenientes de dispositivos finais para uma rede servidor por meio de uma interface de *backhaul* IP.
- 3) *Network server*: é o responsável por duplicar e decodificar os pacotes enviados pelos dispositivos e gerar os pacotes que devem ser enviados de volta aos mesmos.

O LoRaWAN possui três classes diferentes de dispositivos finais para atender às diversas necessidades de aplicativos [6]:

- 1) Classe A, bidirecional: esta classe de dispositivos permite comunicações bidirecionais, em que cada transmissão *uplink* é seguida por dois curtos *downlink*. Para que haja outro *downlink* no servidor, é necessário aguardar a próxima transmissão de *uplink*. Dispositivos de classe A têm o menor consumo de energia, mas também oferecem menos flexibilidade nas transmissões de *downlink*.
- 2) Classe B, bidirecional com *slots* de recebimento programados: dispositivos finais Classe B abrem recebimento de janelas extras em horários programados. Um sinal sincronizado do *gateway* é requerido, de modo que o servidor de rede é capaz de saber quando o dispositivo final está “escutando”.
- 3) Classe C, bidirecional com *slots* de recepção máxima: os dispositivos finais de classe C recebem janelas com pacotes durante todo o tempo. Assim, eles realizam o maior consumo de energia.

LoRa, que significa “*Long Range*”, é um sistema de comunicação sem fio de longo alcance, promovido pela Aliança LoRa. Este sistema destina-se a ser utilizável em

dispositivos de longa duração alimentados por bateria, para os quais o consumo de energia é de suma importância. LoRa pode se referir a duas camadas distintas: (i) uma camada física que utiliza a técnica de modulação de rádio *Chirp Spread Spectrum* (CSS) [7]; e (ii) um protocolo de camada MAC (LoRaWAN), embora o sistema de comunicação LoRa também implique arquitetura de rede de acesso específica.

A camada física LoRa, desenvolvida por Semtech, permite a comunicação de longa distância, de baixa potência e baixo consumo de energia. Opera-se nas bandas 433, 868 e 915MHz ISM, dependendo da região de implementação. A taxa de dados pode atingir até 50 Kbps quando todos os canais são utilizados. A técnica de modulação é uma tecnologia proprietária da Semtech [6].

LoRaWAN fornece um mecanismo de controle de acesso ao meio, que permite a comunicação de muitos *end-devices* com um *gateway* a partir da modulação LoRa. Enquanto a modulação LoRa é proprietária, o LoRaWAN é um padrão aberto que está sendo desenvolvido pela Alliance LoRa [6].

IV. MATERIAIS

Nesta sessão são apresentados os componentes utilizados para o presente estudo em uma aplicação com transmissão de dados.

A. Arduino UNO

O Arduino Uno trata-se de uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* utilizada em sistemas embarcados e projetada com o microcontrolador Atmega328 [10]. Ele possui 14 pinos que podem ser usados como entrada ou saída digitais. Estes pinos operam em 5 V, com corrente máxima de 40 mA, os quais possuem as seguintes aplicações: 0 e 1 podem ser usados para comunicação serial; 2 e 3 para interrupção externa; 3, 5, 6, 9, 10 e 11 podem ser usadas como saídas PWM de 8 bits. Para interface com o mundo analógico, a placa Arduino UNO possui 6 entradas, com resolução de 10 bits. A Figura 2 mostra o formato de uma plataforma Arduino Uno, [8].

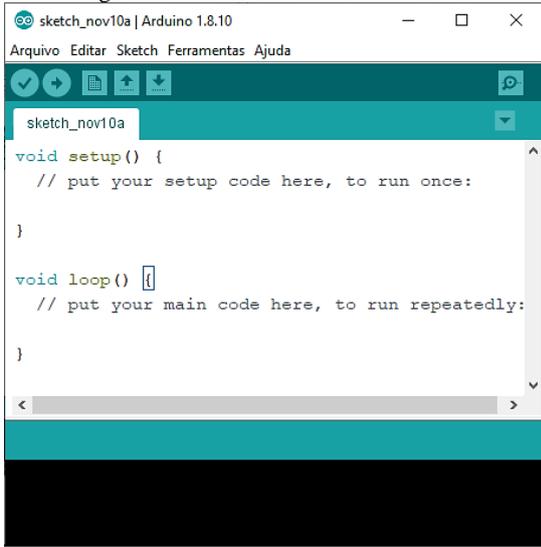
Figura 2. Arduino Uno.



Fonte: Module143, 2018

Este microcontrolador pode ser programado em qualquer computador com Windows, Linux ou Mac, pela linguagem C/C++ no *software* IDE do Arduino. Os códigos escritos neste programa são chamados de *sketches*. A Figura 3 mostra a interface do *software*.

Figura 3. Interface Arduino IDE 1.8.10.



B. Shield Dragino Lora

O *Shield Dragino LoRa* utiliza como base o chip Semtech SX1276 / SX1278 e sua principal aplicação é em redes de sensores sem fios profissionais, desde sistemas de irrigação até medições inteligentes. Suas características estão descritas na Tabela I [10].

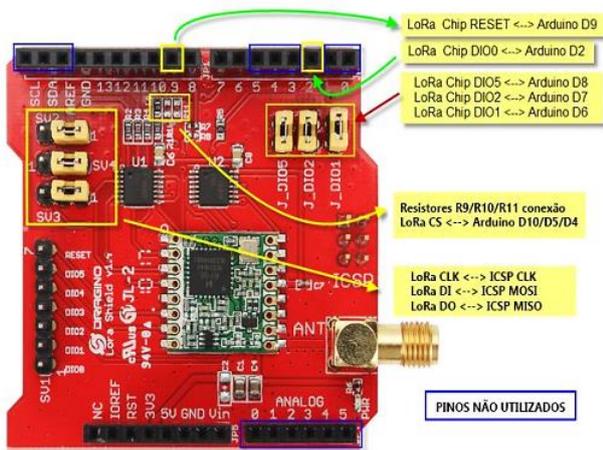
Tabela I: Características *Shield Dragino LoRa*.

<i>Shield Dragino LoRa</i>	
Tensão de alimentação	3,3 – 5V
Alcance	Até 1,5 km
Taxa de dados	Até 300 kbps
Frequência de operação	433 MHz/ 868 MHz/ 915 MHz
Sensibilidade	-148dBm
Potência	110mW

Fonte: Nery, 2018.

Neste trabalho é empregado o *Shield Dragino LoRa v1.4*, sendo a versão mais recente, apresentado na Figura 4, em que os pinos demarcados em azul não são manipulados pelo *Shield*, logo são extensões dos pinos do Arduino UNO a serem manipulados.

Figura 4. *Shield Dragino LoRa*.



Fonte: Nery, 2018

C. Sensor DHT11

O módulo DHT11 é um sensor de temperatura e umidade, que tem como limitações as leituras de temperatura entre 0° a 50° Celsius e umidade entre 20% a 90%. Este sensor é operado por um termistor do tipo NTC e o sensor de umidade é o HR202, que permite a comunicação serial com o Arduino UNO. A Figura 5 ilustra o sensor DHT11 [11].

Figura 5. Sensor DHT11.



Fonte: Filipeflop, 2018

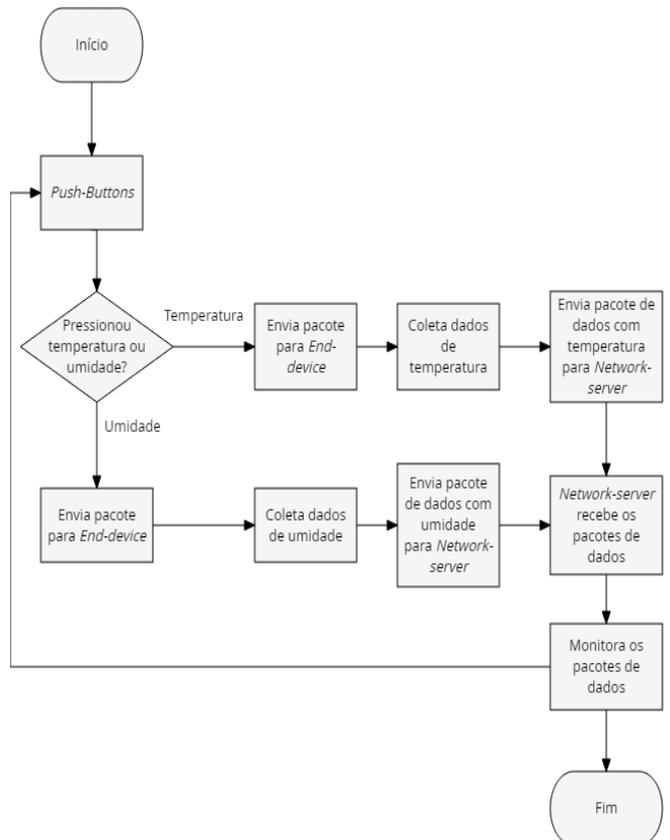
V. METODOLOGIA

Nesta sessão é apresentada a metodologia empregada para efetuar uma comunicação entre o sensor e o servidor.

A proposta desta aplicação consiste em realizar a leitura de temperatura e umidade de um determinado local, pelo sensor DHT11, adotado como *End-device* e transmitir os dados através da tecnologia de comunicação sem fio LoRa. Os *Shield Dragino LoRa* são utilizados como *gateways* e os Arduinos UNO são empregados como *Network Server*. A montagem pode ser comparada a um circuito “Mestre-Escravo”.

Logo, faz-se necessário dividir em duas etapas, sendo uma delas o sistema caracterizado como *End-device* e a outra o sistema *Network server*, a qual pode ser vista no Fluxograma da Figura 6.

Figura 6. Fluxograma.

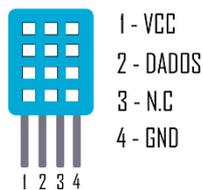


O sistema *Network server* contém os *push-buttons*, um *Shield Dragino LoRa* e um Arduino UNO. Ao pressionar algum dos *push-buttons* é enviado um pacote por meio do *Shield* para o *End-device*, exigindo uma informação, que pode ser a temperatura ou a umidade.

O sistema *End-device* é constituído pelo sensor DHT11, um *Shield Dragino LoRa* e um Arduino UNO, o qual recebe um pacote instruindo-o a enviar os dados coletados pelo sensor. Para a coleta dos dados é utilizada a biblioteca “dht.h”, que realiza a conversão dos valores medidos para valores que possam ser interpretados. A princípio os valores informados pela biblioteca tem formatos em Inteiros (Int), porém para a comunicação é importante que seja convertido para um formato de *String*, para que assim seja formado o pacote a ser enviado para o *Network server*.

A montagem do sensor DHT11 foi realizada seguindo a ilustração da Figura 7, na qual o pino 2, dados, foi interligado na entrada analógica A1 presente no Arduino UNO, circuito *End-device*. A Figura 8 representa a ligação ao *Shield Dragino LoRa*.

Figura 7. Sensor DHT11 ligações.



Fonte: Filipeflop, 2018.

A leitura dos valores de temperatura e umidade é feita por meio do Monitor Serial do circuito receptor. Portanto, para realizar a escolha de qual dado deverá ser impresso no Monitor Serial, é utilizado um *push-button* para a seleção. Os *push-buttons* são ligados nas portas digitais DI4 e DI8, umidade e temperatura respectivamente, como pode ser visto pela a Figura 9.

A conexão entre o *Shield Dragino LoRa* e o Arduino UNO é apresentada na Figura 9, sendo necessário somente acoplá-los.

Figura 8. Ligação do sensor DHT11 ao *Shield Dragino LoRa* e Arduino UNO.

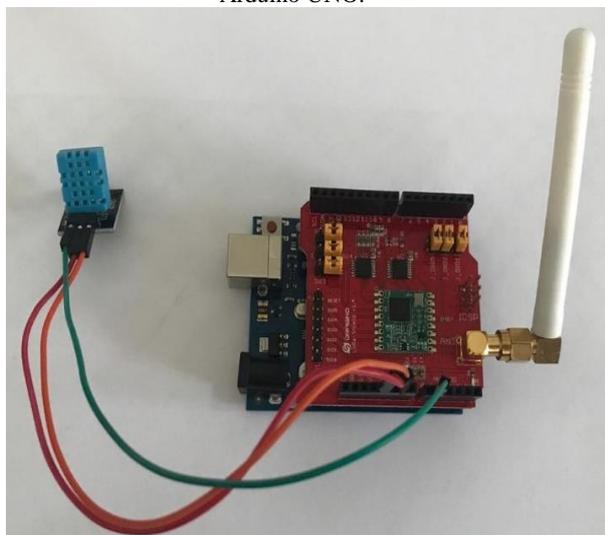
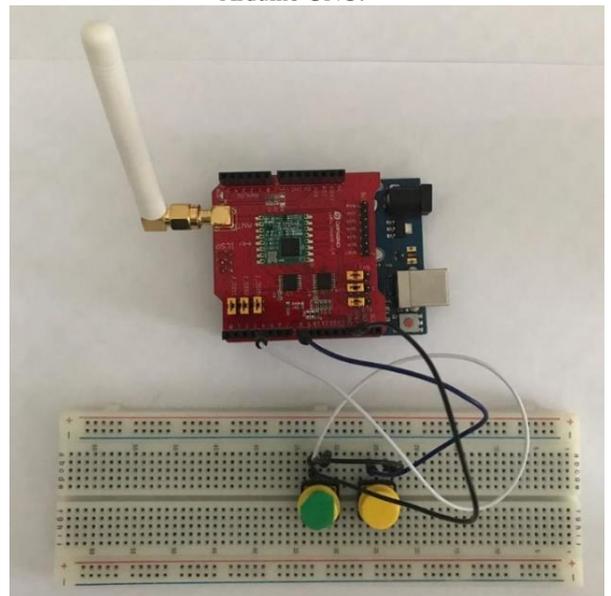


Figura 9. Ligação dos *push-button* ao *Shield Dragino LoRa* e Arduino UNO.



VI. RESULTADOS

Nesta sessão são apresentados os códigos desenvolvidos para a coleta dos dados, a forma de envio dos pacotes de dados, a forma de monitoramento da temperatura e umidade e os alcances que foram atingidos em ambiente urbano.

A Figura 10 demonstra a coleta dos dados e transformação dos valores para formatos que possam ser transmitidos.

Figura 10. Código para o preparo de envio de pacotes.

```
DHT.read11(dht_dp); //Lê as informações do sensor
Serial.print("Umidade = ");
Serial.print(DHT.humidity);
h=DHT.humidity;
stringOne = String ( h , DEC ) ;
Serial.print(" % ");
Serial.print("Temperatura = ");
Serial.print(DHT.temperature);
t=DHT.temperature;
stringTwo = String ( t , DEC ) ;
Serial.println(" Celsius ");
```

Com as variáveis em formato aceitável, são montados os pacotes a serem transmitidos como apresenta a Figura 11.

Figura 11. Código para envio de pacotes.

```
void sendpacketstringOne (){
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print(stringOne);
  Serial.println("A");
  LoRa.endPacket(); //Término do envio de pacote
  LoRa.receive(); //Retorna o dispositivo para modo de recepção
}
void sendpacketstringTwo (){
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print(stringTwo);
  Serial.println("A");
  LoRa.endPacket(); //Término do envio de pacote
  LoRa.receive(); //Retorna o dispositivo para modo de recepção
}
```

Ao enviar os pacotes, o *Network server* os recebem, como apresentado na Figura 12, e são enviados as informações para

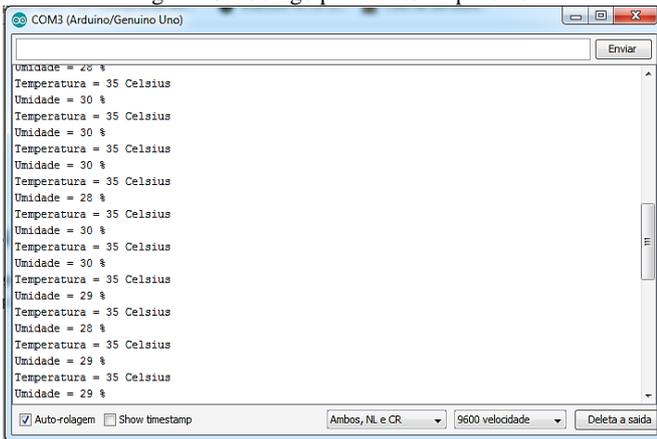
o Monitor Serial para realizar o monitoramento dos valores recebidos.

Figura 12. Código para envio de pacotes.

```
void onReceive () {
  String input;
  LoRa.receive ();
  LoRa.setSpreadingFactor(SF);
  if (LoRa.available() > 1) {
    LoRa.receive ();
    input = LoRa.readString(); // Leitura de sinal
    if (k1 == 1) {
      Serial.print("Umidade = ");
      Serial.print(input);
      Serial.println(" % ");
    }
    if (k2 == 1) {
      Serial.print("Temperatura = ");
      Serial.print(input);
      Serial.println(" Celsius ");
    }
  }
}
```

O Monitor Serial do IDE é empregado para monitorar os pacotes que são recebidos pelo *Network server*, portanto são realizados testes com o sistema, nos quais os pedidos de transmissão de pacotes são alternados entre a temperatura e a umidade. A Figura 13 representa o Monitor Serial do IDE com os valores de temperatura e umidade.

Figura 13. Código para envio de pacotes.



Os valores obtidos pelo sensor podem ser comparados com os valores obtidos na Figura 14, que representam os valores de temperatura e umidade informados pelo *The Weather Channel*.

Figura 14. Temperatura de Cuiabá.



Fonte: The Weather Channel, 2019

Os testes foram realizados em várias distâncias, como pode ser observado na Figuras 15, com distância próxima de 418,20m, na Figura 16, com distância próxima de 818,74m, e na Figura 17, que por fim é a distância máxima atingida com a transmissão, cerca de 1,01km. Estas distâncias são aproximadas, devido do uso de uma ferramenta do Google Maps.

Figura 15. Mapa das distâncias de transmissão de dados com 418,20m.



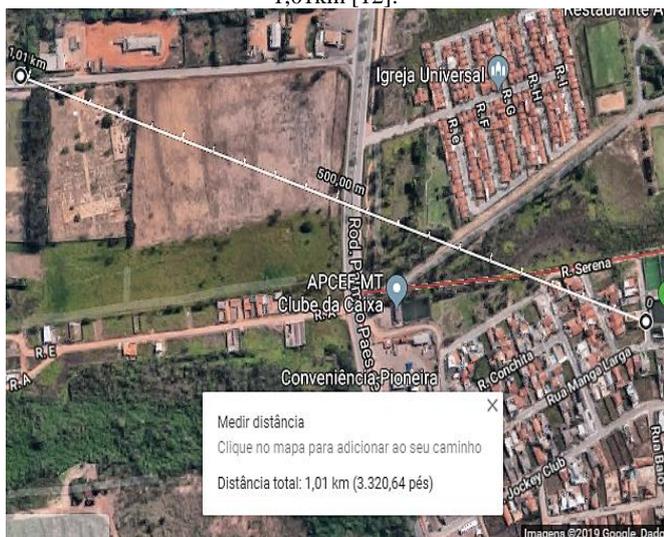
Fonte: Google Maps, 2019.

Figura 16. Mapa das distâncias de transmissão de dados com 818,74m [12].



Fonte: Google Maps, 2019

Figura 17. Mapa das distâncias de transmissão de dados com 1,01km [12].



Fonte: Google Maps, 2019

VII. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou resultados provenientes de um estudo a respeito da comunicação sem fio que utiliza a tecnologia LoRa.

Os resultados obtidos com relação às medições de temperatura e umidade foram comparados com os valores de um site, o qual exerce o monitoramento do clima. Os dados de temperatura e umidade foram próximos, com erro de 2,94% e 29,05%, respectivamente. Tal diferença deve-se a fatores como à imprecisão do sensor e aos locais de medição da estação meteorológica e localização do sensor serem diferentes.

A distância máxima alcançada pelo sistema é de 1,06km, enquanto o *datasheet* do *Shield Dragino LoRa* propõe alcance máximo de 1,5km, Acredita-se que por se tratar de um ambiente urbano o alcance pode sofrer interferência.

Contudo, o objetivo do trabalho foi alcançado e o sistema mostrou a aplicabilidade para medições e transmissões de dado de sensores em longas distâncias.

AGRADECIMENTOS

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa CNPq, GSE (Grupo de Soluções em Engenharia), pela interação e colaboração no desenvolvimento do presente trabalho, assim como ao IFMG - Campus Formiga.

REFERÊNCIAS

[1] RIZZO, José. Saiba o que é a Indústria 4.0 e descubra as oportunidades que ela gera. 2016. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/sai-ba-o-que-e-a-industria-40-e-descubra-as-oportunidades-que-ela-gera,11e01bc9c86f8510VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

- [2] CPQD. Comunicação sem fio. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.cpqd.com.br/inovacao/comunicacoes-sem-fio/>. Acesso em: 7 ago. 2019.
- [3] LINK LAB'S. A Comprehensive Look At Low Power, Wide Area Networks. White Papper, 2016.
- [4] MOTTOLA, L.; PICCO, G. P. Programming wireless sensor networks: Fundamental concepts and state of the art. *ACM Comput. Surv.*, ACM, New York, NY, USA, v. 43, n. 3, p. 19:1–19:51, abr. 2011. ISSN 0360-0300. Disponível em: . 11, 19, 20.
- [5] CONRAD, D. How New Long-Range Radios Will Change the Internet of Things. *Medium*, 2015. Acesso em: 11 set. 2018.
- [6] AUGUSTIN, Aloÿs; YI, Jiazi; CLAUSEN, Thomas; TOWNSLEY, William Mark. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors*, [S. l.], p. 1-18, 9 set. 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466>. Acesso em: 6 ago. 2019.
- [7] Berni, A.J.; Gregg, W.D. On the utility of chirp modulation for digital signaling. *IEEE Trans. Commun.* 1973, 21, 748–751.
- [8] F. Souza (2013). *Arduino UNO*. Acedido em 01 de Julho de 2018 em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>.
- [9] Module143 (2018). *Departamento de vendas Module143*. Acedido em 01 de Julho de 2018, em: <https://www.module143.com/arduino-uno-r3-atmega328p-microcontroller-board>.
- [10] NERY, F. H. Desenvolvimento de um protótipo com utilização de LoRa como alternativa de comunicação no carregamento ferroviário. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2018. Disponível em: https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2018/Biblioteca/TCCs_e_Artigos/Frederico-Henrique-Nery_EE.pdf. Acesso em: 6 ago. 2019.
- [11] FILIPEFLOP. Sensor de Umidade e Temperatura DHT11. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>. Acesso em: 7 ago. 2019.
- [12] GOOGLE MAPS. Mapa. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Parque+Cuiaba,+Cuiab%C3%A1+-+MT/@-15.6524461,-56.0515514,1025m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x939daf729c5cdbad:0xbe72b4fdbebaf5c8!8m2!3d-15.6603535!4d-56.0445093>. Acesso em: 16 ago. 2019.
- [13] THE WEATHER CHANNEL. Clima. [S. l.], 2019. Disponível em: https://weather.com/pt-BR/clima/hoje/1/-15.59,-56.09?par=apple_widget&locale=pt_BR. Acesso em: 16 ago. 2019.