

Automação predial inteligente com a nuvem: integração do sistema LoRa com programação visual Node-RED

Vinicius F. Valadares*, Adolfo Bauchspiess*

* Laboratório de Automação e Robótica - LARA, UnB, Brasília, DF,
e-mails: viniciusfv98@gmail.com, adolfojobs@ene.unb.br.

Abstract:

A smart building is idealized by automated processes to improve air conditioning, lighting and ventilation processes, among others. In the present project all these processes are connected by IoT using *LoRa* devices and *MQTT* as communication protocols. The first was used for the interaction of the devices over long distances to send the measured ambient temperature value. The second one performs the communication with the local server in order to transmit the generated data to the cloud. Therefore, an intelligent building automation project based on the on-off control of the meeting room temperature was envisaged in order to obtain greater energy efficiency from the temperatures collected by the sensors in the room under study, in the neighbouring room and in the external environment. To this end, data were also encrypted in order to protect them from possible attacks, since communication with LoRa is made over long distances.

Resumo: Um edifício inteligente é idealizado por processos automatizados visando melhorar processos de climatização, iluminação e ventilação, entre outros. No presente projeto todos esses processos são feitos a partir de sensores e dispositivos conectados por IoT utilizando dispositivos *LoRa* e o protocolo de comunicação *MQTT*. O primeiro foi usado para a interação dos dispositivos a longas distâncias, para enviar o valor medido da temperatura do ambiente controlado. Já o segundo efetua a comunicação com o servidor local de modo a transmitir os dados gerados para a nuvem. Com isso, previu-se um projeto de automação predial inteligente baseado no controle liga-desliga da temperatura da sala de reuniões afim de obter maior eficiência energética a partir das temperaturas coletadas pelos sensores na sala em estudo, na sala vizinha e do ambiente externo. Além disso, foi realizado também a criptografia dos dados de modo a protegê-los de possíveis ataques, visto que a comunicação com o LoRa é feita a longas distâncias.

Keywords:

Smart Buildings, IoT, LoRa, Cloud, On-off control, Energy efficiency.

Palavras-chaves:

Automação predial, IoT, LoRa, Nuvem, Controle liga-desliga, Eficiência energética.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de melhorar a qualidade de vida das pessoas faz com que sejam requisitados estudos acerca de tecnologias que possibilite isso. Dessa forma, as Cidades Inteligentes (“Smart Cities”) oferecem serviços tecnológicos que otimizam o cotidiano, como estradas inteligentes – otimizando o fluxo de carros em semáforos, sistemas de segurança – monitorando o local vigiado, e ambientes inteligentes – oferecendo serviços de ergonomia, entre os quais o controle da temperatura tem papel relevante.

Com a proposta de prédios inteligentes, usa-se a ideia de ambientes inteligentes de forma a fornecer serviços sem qualquer tipo de intervenção do indivíduo. Com isso, a *Internet das Coisas* (IoT) e a computação na nuvem propiciam a interação dos usuários com os objetos permitindo tratar de informações coletadas do ambiente e disponibilizá-la via nuvem.

Utilizando informações disponíveis na internet, pode-se realizar projetos que melhorem o conforto térmico dentro dos prédios inteligentes. Sabendo que conforto térmico é visto como um estado que mantém o indivíduo satisfeito com o ambiente em que ele se encontra, o ar-condicionado tem papel central como atuador.

Dessa forma, é importante buscar melhorar o uso de energia elétrica, buscando ser efetivo nas ações previstas no projeto. Eficiência energética é o crucial para a implementação desses sistemas, visto que planeja-se que ele funcione por um longo período de tempo sem que tenha uso desnecessário da energia consumida.

Assim, este projeto objetiva estudar a racionalização do consumo de energia com manutenção do conforto térmico em ambientes prediais. Para isso, serão utilizados sensores IoT para medir a temperatura e a umidade, via nuvem, de forma a se avaliar controladores simples de temperatura. Devido à pandemia, o aparelho de ar condicionado pla-

nejado originalmente foi substituído por um experimento bem simples - uma caixa de papelão com um secador de cabelos. O processo térmico “fluxo de calor” é análogo, só com o sinal trocado. Além disso, a proteção dos dados enviados a longas distância é evidenciado para o sistema seja protegido de acessos indesejados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De modo a manter a temperatura ambiente dentro de uma referência estipulada, propõe-se um controle liga-desliga no projeto e, com o intuito de implementar um meio de comunicação entre os dispositivos, utilizou-se o LoRa (*Long Range*) ligado a um microcontrolador. Além disso, para o sigilo dos dados enviados por esse meio, o AES (*Advanced Encryption Standard*) foi implementado neste projeto.

2.1 LoRa

LoRa é uma tecnologia de radiofrequência criada pela Semtech em 2009, categorizada como rede LPWAN (“Low Power Wide Area Networks”) na qual se mescla a capacidade de enviar dados a longas distâncias com o baixo consumo de energia, sendo uma boa alternativa para aplicações IoT.

Tabela 1. Quadro comparativo entre tecnologias LPWAN, De Carvalho Silva et al. (2017).

Feature	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT	LTE-M
Modulation	SS Chirp	GFSK/DBPSK	UNB/GFSK/BPSK	OFDMA
Data Rate	290bps - 50kbps	100bps 12/8bytes Max	100bps 12/8bytes Max	200kbps - 1Mbps
Link Budget	154 dB	146 dB	151 dB	146 dB
Battery life-time	8 ~ 10 years	7 ~ 8 years	7 ~ 8 years	1 ~ 2 years
Power Efficiency	Very High	Very High	Very High	Medium
Security/Authentication	Yes(32 bits)	Yes(16 bits)	No	Yes(32 bits)
Range	2-5km urban 15km sub-urban 45km rural	3-10km urban - 30-50km rural	1.5km urban - 20-40km rural	35km - 2G 200km - 3G 200km - 4G
Interference Immunity	Very High	Low	Low	Medium
Scalability	Yes	Yes	Yes	Yes
Mobility/Localization	Yes	No	Limited, No Loc	Only Mobility

Vale ressaltar a diferença entre LoRa e LoRaWAN, sendo que o primeiro se trata de uma tecnologia de comunicação para longas distâncias com baixo consumo de energia elétrica. Já o segundo, é um protocolo de rede que utiliza o LoRa como camada física, permitindo que se construa uma rede completa, com gateway, proteção de dados

e mecanismos anticisão já definidos. Com o sucesso do LoRa, foi criada em 2015 a LoRa Alliance, com as principais empresas atuantes no segmento LPWAN. Com isso, percebe-se que a arquitetura de rede criada pela LoRa Alliance consagrou a tecnologia criada pela Semtech.

Como visto em Bor e Roedig (2018) e Ortiz (2018), é importante a análise dos parâmetros de modulação para a aplicação desejada, como decidir o fator de espalhamento e a largura de banda. Os principais parâmetros utilizados na configuração da comunicação LoRa são descritos abaixo.

- (1) **Fator de espalhamento:** é a proporção entre a quantidade e a velocidade de transmissão dos dados, sendo definido entre 6 e 12, buscando o equilíbrio entre os dois, adotou-se o valor de 11 para aumentar a velocidade de transmissão sem comprometer muito a quantidade de dados enviados;
- (2) **Potência de transmissão:** regula a potência de transmissão, limitada em até 20 dBm, permitindo alcançar um raio de, aproximadamente, 3 km em áreas urbanas e 40 km em áreas rurais.
- (3) **Largura de banda:** define a faixa de frequências utilizada. Por padrão, utiliza-se 125 kHz;
- (4) **Taxa de codificação:** define a taxa de Correção Adiantada de Erros (“Forward Error Correction” – FEC). Redundância que aumenta a possibilidade de se recuperar erros de transmissão, porém aumentando, por consequência, o tempo de transmissão;
- (5) **Frequência da portadora:** define a frequência central para a banda de transmissão, a frequência utilizada pelo LoRa no Brasil é de 915 MHz.

Como visto em De Carvalho Silva et al. (2017), em comparação com outros tipos de comunicação *Low Power Wide Area*(LPWA), como *Sigfox*, *NB-IoT* e *LTE-M*, o LoRa se torna uma ótima opção quando comparada nos quesitos de vida útil da bateria, capacidade de rede, classes de dispositivos e segurança. A comparação destas tecnologias pode ser vista na figura 1. Compara-se o LoRa com outros tipos de comunicação, como *Bluetooth/LE*, *Cellular* e *Wi-Fi*, de forma a observar sua ótima aplicabilidade quando comparada nos quesitos de consumo de energia e o alcance de envio dos dados.

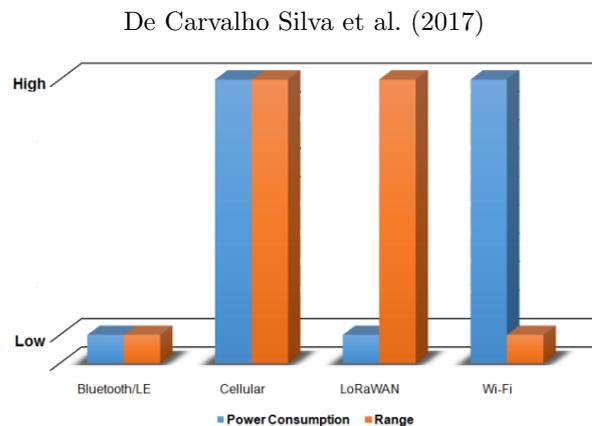


Figura 1. Gráfico qualitativo de consumo de energia vs Alcance para o Bluetooth/LE, LoRaWAN e Wi-Fi retirado do artigo de

2.2 Criptografia

LoRa é uma tecnologia de código aberto, e não possui um protocolo de comunicação "especificado", deixando para que os desenvolvedores definam o protocolo e elaborem a proteção dos dados contra possíveis ataques à rede.

Como pode visto no estudo publicado por Daemen e Rijmen (2020), o AES-128 ("Advanced Encryption Standard") é um algoritmo de criptografia de 128 bits, interpretado com 16 bytes, destinada a compor sistemas de cifragem e decifragem simétricas, ou seja, utiliza a mesma chave pra cifrar e decifrar os dados.

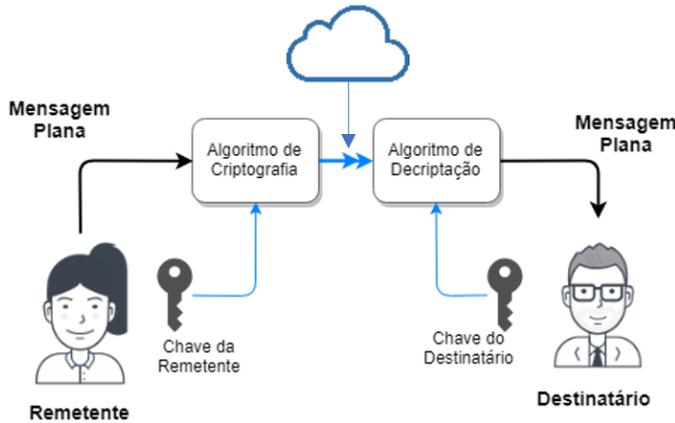


Figura 2. Representação da criptografia AES 128.

Para que a mensagem não seja facilmente decifrada, os bytes que compõe a mensagem sofrem transformações não lineares, porém reversíveis, em uma série de rodadas. Para decifrar, basta realizar as mesmas operações em ordem inversa.

2.3 Low-Power Mode

No conceito de ambientes inteligentes, as soluções criadas são desenvolvidas pensando na comodidade do usuário e, quando se trata de um projeto de IoT, o consumo de energia elétrica se torna um fator muito importante a ser considerado (Reduzir a troca de baterias).

Assim, os dispositivos utilizados devem ser pensados de tal forma que suas ações tenham maior eficiência possível. A utilização do microcontrolador *ESP32* é um bom exemplo a ser utilizado em projetos IoT, pois ele possui modos de operação que diminuem consideravelmente o consumo de energia.

Como pode ser visto no datasheet do chip, o consumo de energia em seu modo normal pode chegar até 260 mA, enquanto no modo mais profundo de economia o microcontrolador consome por volta de 5 μA .

Assim, para que o ESP32 consiga economizar energia, dependendo do modo em que ele está operando, o chip desativa áreas internas não ativas. As operações feitas dentro dele, que podem ser vistas na figura 3, são realizadas e posteriormente entram em um modo de espera, evitando que ele gaste energia desnecessariamente.



Figura 3. Diagrama dos blocos funcionais do chip ESP32 que podem ser desligados seletivamente para reduzir o consumo de energia.

2.4 Planta piloto: Controle da temperatura

Para fazer o controle da temperatura no ambiente proposto, previu-se um controle liga-desliga, conhecido em inglês como *on-off*. O atuador é ligado e desligado com intervalo diferencial em torno do valor de referência, conforme visto na figura 4.

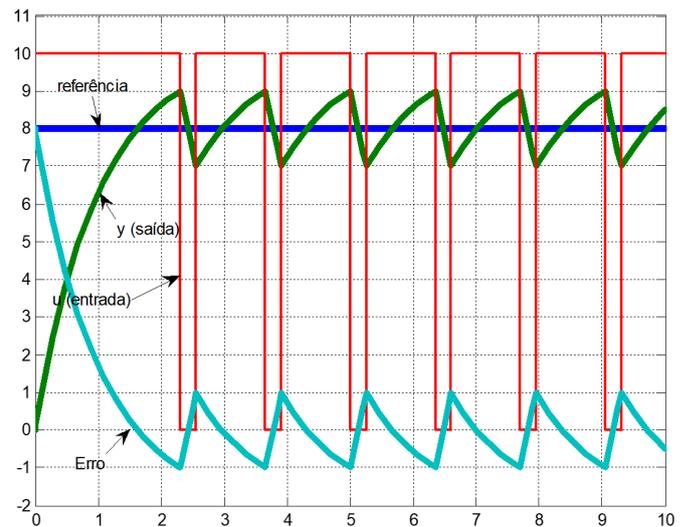


Figura 4. Representação de um controle liga-desliga com histerese.

Assim, baseando-se em Bauchspiess et al. (2019), o controle Liga-Desliga é uma técnica de controle que consiste em levar em conta o erro entre a referência e a saída do sistema de modo a ajustar o sinal do atuador. O projeto simples produz um a pequena oscilação em torno do valor de referência. Para processos térmicos isto normalmente é tolerável (Os aparelhos de ar condicionado de janela utilizam, em sua maioria, controladores Liga-Desliga).

Existem outras maneiras, mais eficientes, em questão energética, para se realizar o controle, como realizar um controle proporcional integral derivativo, chamado de *PID*, ou até mesmo um controle antecipativo, conhecido como *feedforward control*. Entretanto, a manipulação do sistema com esses controles se torna mais complexas, fazendo-se necessário cursar disciplinas mais avançadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto prevê uma comunicação a distância eficiente para enviar os dados para a nuvem. Sendo assim, propõe-se uma simulação do controle da temperatura da sala de reuniões do Laboratório de Robótica e Automação da Universidade de Brasília utilizando a nuvem.

Para isso, utilizam-se módulos *WiFi LoRa 32(V2)*, que possuem o microcontrolador *ESP32*, que transmitam os dados de temperatura e umidade, obtidos por meio da leitura digital do sensor *DHT22* e pela leitura analógico do sensor *LM35*, de cada ambiente para um módulo central que faz a comunicação com o servidor.

O envio de dados de um módulo para outro é feito via LoRa pelo chip *SX1276* e a comunicação entre o módulo central e o servidor é feito via *WiFi*. Assim, fica como função do servidor local (*Raspberry Pi 3B+*) ser responsável em publicar na nuvem as informações adquiridas. De modo a realizar o controle do ar-condicionado, utilizou-se o módulo relé de estado sólido 5V que faz o acionamento.

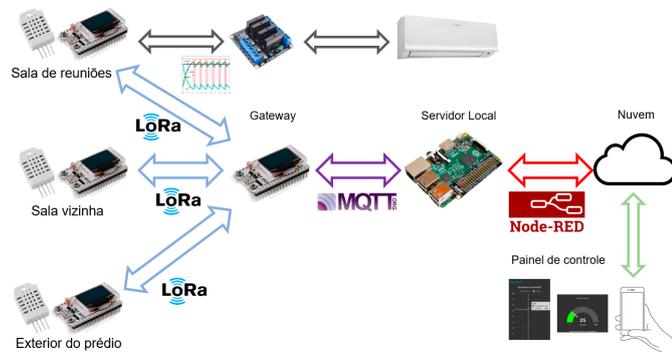


Figura 5. Arquitetura do sistema protótipo de automação predial com a nuvem LoRa ESP32.

No sistema projetado, as temperaturas medidas pelos nós são enviadas via LoRa para o gateway que as mandam via MQTT para o servidor local, onde os dados são armazenados. Após isso, os dados são mostrados no dashboard do Node-RED, podendo ser acessado pelo usuário de modo a acompanhar as curvas de temperatura de cada ambiente analisado.

Para que fosse feito o teste do sistema, utilizou-se os módulos *WiFi LoRa 32(V2)* para comunicação entre os dispositivos e controle e medição da temperatura do ambiente testado. Para a aquisição dos dados na nuvem, o gateway envia os dados para o *Raspberry Pi 3B+*, que é o servidor no qual faz a aquisição dos dados em gráficos, via *MQTT* utilizando o módulo *Wi-Fi*.

3.1 Protocolo LoRa

A comunicação entre os dispositivos é uma das principais maneiras de garantir a efetividade da Internet das Coisas. Por isso, utilizou-se o LoRa como ferramenta a conciliar um baixo consumo de energia com longa distância, que são características importantes no contexto de automação predial.

É importante realçar que o LoRa pode transmitir seus dados de diferentes maneiras, podendo ser escolhida a partir

da aplicação necessária no sistema. Com isso, projetou-se um protocolo de comunicação de topologia estrela, onde as mensagens são transmitidas para um ponto central que apenas faz a distribuição dos dados recebidos.



Figura 6. Representação da topologia estrela.

Essa topologia é interessante pois, além de que os nós realizam a comunicação apenas com o gateway, que faz o intermédio dos diferentes tipos de comunicação existentes no projeto, torna-se mais fácil a detecção de onde chega o dado. Com isso, foi proposto um protocolo de dados baseado na técnica vista no texto do IEEE 802.11 RTS/CTS, vista na figura 7 de modo a reduzir a chance de colisões e tratá-las adequadamente, caso ocorram (esperar um tempo aleatório).

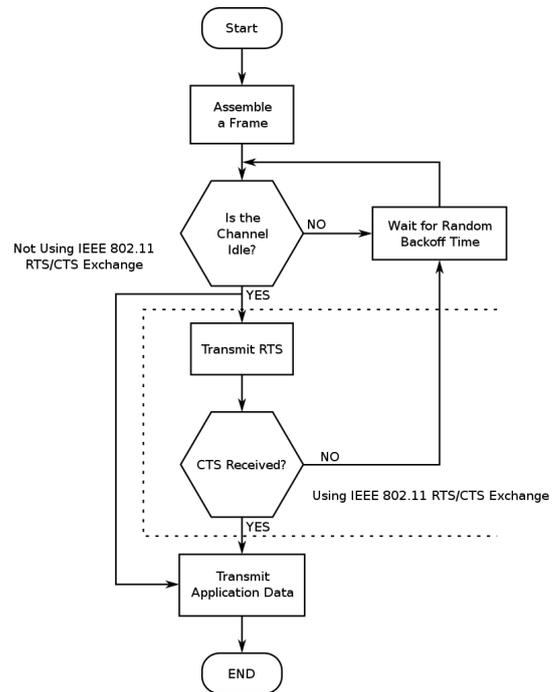


Figura 7. Técnica IEEE 802.11 RTS/CTS.

Dessa forma, no protocolo proposto neste projeto, foi idealizado que cada nó folha mande para o gateway uma mensagem solicitando o início da comunicação (Request to Send) e entra em modo de espera até a receber do gateway uma confirmação (Clear to Send).

Depois de recebida a confirmação, ambos fazem a mudança de canal de frequência, com intuito de diminuir a interfe-

rência de outros dispositivos, para assim o nó folha mandar os dados previstos (Payload). Por fim, após receber todos os dados, o gateway manda uma confirmação de que foram recebidos os dados (ACK) e ambos os dispositivos retornam o canal ao modo espera (*idle*).

3.2 Segurança - Criptografia AES 128

Para uma rede sem fio com o alcance da Lora a segurança e integridade dos dados são preocupações muito atuais de aplicações IoT. O pacote de dados e respectivas informações de controle precisam ser encapsulados, via criptografia, para garantir a segurança da comunicação LoRa. Foi utilizado o *AES 128* para manter o sigilo da informação, todos os dados enviados foram manipulados para totalizar um tamanho do datagrama de 16 bytes. Os pacotes são tem diferentes tamanhos em cada etapa do protocolo de comunicação, além de incluir a identificação do dispositivo que envia (ID do nó folha).

Dessa maneira, o nó envia para o gateway um byte identificador para que seja identificado de onde está chegando o dado e para que posteriormente o canal seja mudado para o correspondente canal da comunicação. Esses canais foram escolhidos baseados em uma faixa de frequência entre 915 e 928 MHz, que é a faixa de trabalho do chip LoRa SX1276. O gateway sempre envia um byte de confirmação da comunicação, ACK.

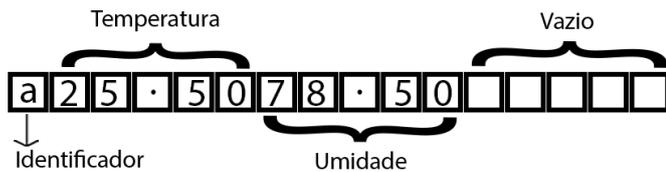


Figura 8. Payload: Pacote de dados LoRa de um nó sensor para o gateway.

Após isso, o nó envia o pacote com os dados dentro dos 16 bytes reservados para a comunicação, onde o primeiro é o identificador e os dez próximos são para os dados de temperatura e umidade, o que pode ser visto na figura 8. Com o recebimento do payload, o gateway envia um byte de confirmação de recebimento e, como visto na figura 9. No mesmo pacote são enviados os dados de atualização da temperatura externa 1, advindos da internet, e a temperatura externa 2, medido pelo nó.

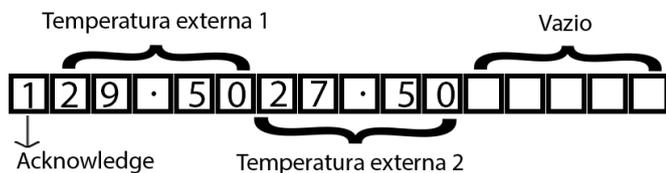


Figura 9. Acknowledge: Pacote de dados LoRa do gateway para o nó sensor.

Sobre a questão de repetição do ciclo de comunicação, a requisição para o envio dos dados é feito pelo nó a cada mudança considerável de temperatura. Assim, só irá ser requisitado a comunicação caso a diferença de temperatura da medida com a enviada anteriormente for suficientemente relevante para a realização do controle.

3.3 Node-RED

O Node-RED é um ambiente de desenvolvimento IoT da IBM que permite a programação através de fluxos, possibilitando programar utilizando uma interface visual interativa. Por ser software livre, torna-se mais simples a sua utilização, ainda mais, por ter um maior controle dos serviços previstos para o projeto.

Essa tecnologia foi utilizada para salvar na nuvem os dados, adquiridos pelo gateway e pela internet, e mostrá-los por meio de gráficos. Dessa forma, pode-se construir um painel de controle do projeto, onde botões e gráficos fazem a interação com o usuário.



Figura 10. Um dashboard típico do Node-RED.

Na programação nessa plataforma, as mensagens entre os nós são convertidos em objetos, em JavaScript, chamados de *msg*. Assim, os nós podem anexar diferentes propriedades nomeadas a uma mensagem, usada para transportar outras informações úteis à aplicação.

3.4 Ambiente de Teste

De modo a iniciar os estudos e simular os dados do experimento, utilizou-se uma maquete de madeira, que pode ser vista na figura 11, como um protótipo da sala de reuniões, sendo possível realizar o controle da temperatura e medição de temperaturas externas nela.



Figura 11. Maquete da sala de reunião do LARA.

Dessa forma, as perturbações foram simuladas no sistema ao abrir e fechar divisórias representadas como portas e janelas. Tanto a temperatura externa quanto a interna foram medidas utilizando-se secadores de cabelo em dutos externos ao ambiente testado (Analogia de fluxo de calor).



Figura 12. Sala de reuniões do LARA.

Essa abordagem possibilitou a análise do comportamento da temperatura da sala, pois a obtenção dos dados é feita em ciclos de repetição mais rápida na maquete do que na própria sala de reuniões, que pode ser vista na figura 12.

3.5 Identificação da Planta

Devido à impossibilidade de utilização do laboratório com a pandemia, foi utilizado do ambiente visto na figura 13, para a instalação dos dispositivos e obtenção dos dados.

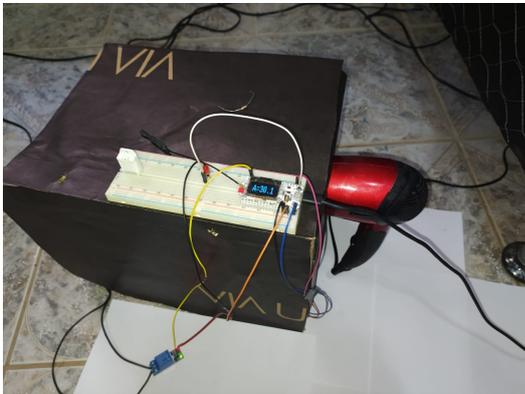


Figura 13. Maquete utilizada para a realização do experimento, em função da COVID19 inviabilizar o uso do LARA.

Nele foi utilizado um secador de cabelo, que é o atuador que produz calor no ambiente por convecção de ar, de modo que o controlador ligue e desligue a resistência e o ventilador instaladas no interior do equipamento.

4. RESULTADOS

O controle da temperatura foi feito por convecção a partir de um Liga-Desliga com histerese de um secador de cabelo. Assim, o limite superior da temperatura foi definido, para que secador seja desligado, um valor de $45,1^{\circ}\text{C}$ e para o limite superior, para que o aparelho seja ligado, foi determinado um valor de $44,90^{\circ}\text{C}$. Esses valores foram

encontrados empiricamente de modo a aproximar a temperatura média de $45,00^{\circ}\text{C}$. Tendo em vista que o controle do calor no secador é feito de maneira contrária em relação ao ar-condicionado, ou seja, em vez do controlador chavear no limite inferior, ele chaveia no limite superior de temperatura.

Dessa forma, após a montagem do sistema de acordo com a figura 14, foi feita a aquisição dos dados de temperatura na sala utilizando apenas o controle Liga-Desliga. Assim, pode-se observar o seguinte comportamento da temperatura do sistema:

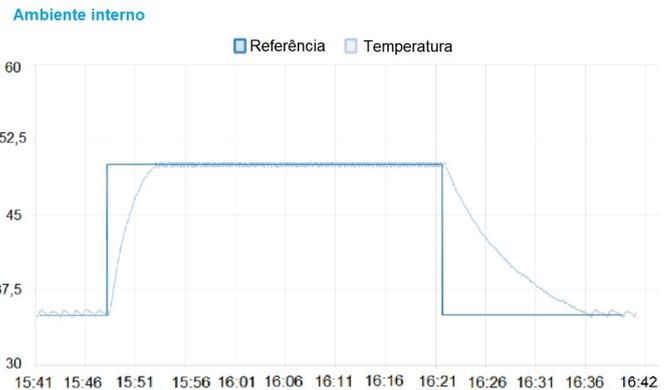


Figura 14. Gráfico do comportamento da temperatura interna.

Além disso, pode-se observar o comportamento da temperatura externa ao ambiente testado de modo a comparar o comportamento da temperatura externa com a temperatura controlada. Com isso, observa-se os seguinte gráfico de temperatura:

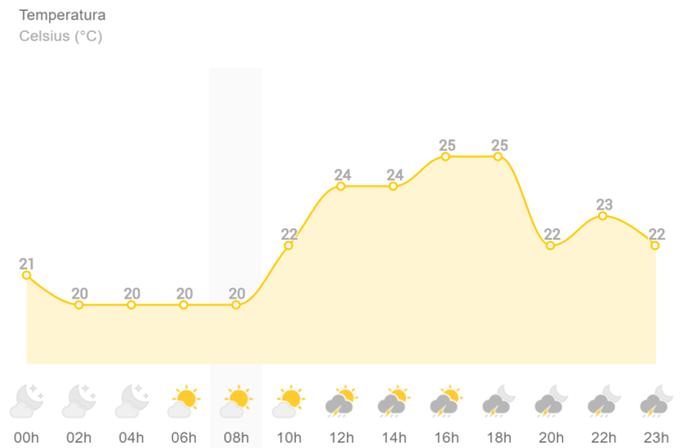


Figura 15. Gráfico do comportamento da temperatura externa no controle da sala de reuniões do LARA. Medido em dia 07/10/2020 do site: www.climatempo.com.br.

Dessa forma, percebe-se que o controle da temperatura não é simétrico, visto que na figura 14 o gráfico apresenta uma resposta ascendente diferente da resposta descendente. Ou seja, o sistema de controle da temperatura não possui uma resposta instantânea a partir da mudança da temperatura de referência. Assim, leva-se, aproximadamente,

cinco minutos para que a temperatura atinja um valor de referência à anterior e leva por volta de 13 minutos para que a temperatura retorne para o valor de referência baixo.

Além disso, percebe-se que não há interferências relevantes na transferências de dados para esse sistema da comunicação LoRa de modo a atualizar os dados de temperatura no gráfico. O uso do Node-RED para gerar esses gráficos de temperatura se tornou bastante usual, visto que é utilizado para guardar na nuvem os dados obtidos e mostrar o comportamento da temperatura controlada.

5. CONCLUSÃO

A comunicação LoRa utilizada para o envio de dados entre os dispositivos se apresentou bastante eficaz para o contexto do projeto. Isso foi possível porque a principal variável do sistema, que é a temperatura, é lenta e comportava facilmente a taxa de transmissão dos pacotes transmitidos. Ademais, a distância que os dispositivos poderiam ficar entre si não se tornou um problema devido a capacidade de transmissão do LoRa e o arranjo experimental adotado.

Além disso, o Node-RED também se mostrou adequado para o sistema montado no projeto. Com a programação em blocos, as aplicações desenvolvidas no contexto de automação predial com a nuvem visualizaram bem todos os eventos. Esse supervisor conversa muito bem com o protocolo de comunicação MQTT, que foi utilizado para enviar os dados coletados pelo gateway pela internet gerando os gráficos do comportamento da temperatura. Ademais, a forma prática com que se pôde visualizar os dados mostra que o dashboard do Node-RED personalizado facilita a interação homem-máquina por meio de interface gráfica.

De modo a averiguar a eficácia de transmissão de dados via LoRa e publicação no Node-RED via MQTT, o uso de um controlador de temperatura simples se mostrou efetivo. Como os dados de um sistema baseado em temperatura são lentos, o teste com o controle liga-desliga funcionou da maneira a validar o sistema IoT baseado em módulos ESP32.

REFERÊNCIAS

- Aras, E., Ramachandran, G.S., Lawrence, P., e Hughes, D. (2017). Exploring the security vulnerabilities of LoRa. In *2017 3rd IEEE International Conference on Cybernetics, CYBCONF 2017 - Proceedings*.
- Bauchspiess, A., Saran Rodrigues, A., e Pimentel Martins da Silva, M. (2019). Controle Antecipativo por Estimativa de Carga Térmica em Vídeo. *SBA2019, Ouro Preto*.
- Boaventura, D.B. (2016). Automação com openhab de sistema de climatização híbrida visando eficiência energética. *Trabalho de Graduação em Controle e Automação, UnB*.
- Bor, M. e Roedig, U. (2018). LoRa transmission parameter selection. In *Proceedings - 2017 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2017*, volume 2018-Janua, 27–34.
- Bui, D.h., Puschini, D., Bacles-min, S., Beigné, E., Opti, X.T.A.E.S.D., Bui, D.h., Member, S., Puschini, D., e Bacles-min, S. (2019). AES Datapath Optimization Strategies for Internet-of-Things Applications.
- Carvalho, D.F., Depari, A., Ferrari, P., Flammini, A., Rinaldi, S., e Sisinni, E. (2018). On the feasibility of mobile sensing and tracking applications based on LPWAN. In *2018 IEEE Sensors Applications Symposium, SAS 2018 - Proceedings*, volume 2018-Janua, 1–6.
- Corporation, S. (1967). Sx1276/77/78/79 Wireless, Sensing & Timing Datasheet. (March), 132.
- Daemen, J. e Rijmen, V. (2020). The advanced encryption standard process. *Information Security and Cryptography*, 1–8.
- De Carvalho Silva, J., Rodrigues, J., Alberti, A.M., Solic, P., e Aquino, A.L.L. (2017). LoRaWAN - A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities. In *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science, SpliTech 2017*.
- Encias, E.M.C.I. e Miranda, P.S.D. (2005). Análise do ataque quadrado ao AES.
- Ferreira, A.E., Ortiz, F.M., de Almeida, T.T., e Costa, L. (2020). A visitor assistance system based on lora for nature forest parks. *Electronics (Switzerland)*, 9(4).
- Melo, M.C.C e de Araújo, H. (2013). Controle Adaptativo da Climatização Predial para Eficiência Energética. *Trabalho de Graduação em Engenharia Mecatrônica, UnB*.
- Ortiz, F.M. (2018). Análise de desempenho de uma rede sem-fio de baixa potência e longo alcance para a Internet das Coisas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 287.
- Pasolini, G., Buratti, C., Feltrin, L., Zabini, F., de Castro, C., Verdone, R., e Andrisano, O. (2018). Smart city pilot projects using LoRa and IEEE802.15.4 technologies. *Sensors (Switzerland)*, (4).
- Pötsch, A. e Haslhofer, F. (2017). In *2017 IEEE International Workshop on Measurement and Networking, M and N 2017 - Proceedings*.
- Smile Manuel, J., Anatha Narayanan, V., e Sethumadhavan, M. (2019). LoPT: LoRa penetration testing tool. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(9 Special Issue 2), 374–379.
- Srikanth, C.S., Rayudu, T.B., Radhika, J., e Anitha, R. (2019). Smart waste management using internet-of-things (IoT). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(9), 2518–2522.
- Starikov, S., Luchinin, A., e Malygin, I. (2019). Investigation of the Boundary Conditions of a Radio Channel Noise Immunity Using LoRa Modulation. In *Proceedings - 2019 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2019*, 340–343.
- Wang, Z., Jiang, Z., Hu, J., Song, T., e Cao, Z. (2018). Research on agricultural environment information collection system based on lora. In *2018 IEEE 4th International Conference on Computer and Communications, ICC 2018*, 2441–2445.