

Concepção e Teste de um Dispositivo Sensor de Baixo Consumo em Cultura Intensiva de Amêndoa

Um caso de Estudo na Região da Beira Baixa

Development and Test of a Low Power Sensor Device in Intensive Almond Crops

A Case Study in the Region of Beira Baixa

Antonino Candeias, Rogério Dionísio, Fernando Ribeiro, José Metrólho, Filipe Fidalgo, Osvaldo Santos, Ângela Oliveira

UID DiSAC – Digital Services, Applications and Contents
Instituto Politécnico de Castelo Branco
Castelo Branco, Portugal
rdionisio@ipcb.pt

Teodora Lolic

Faculty of Technical Sciences
University of Novi Sad
Novi Sad, Serbia
teodora.lolic@uns.ac.rs

Resumo — Nos últimos anos a Internet das Coisas, além dos casos de uso nas ‘cidades inteligentes’, também tem vindo cada vez mais a ser utilizada na agricultura de precisão. Como no resto do mundo, tem sido uma realidade crescente em Portugal. Num ambiente agrícola, onde os recursos energéticos podem ser escassos e dispersos, a implementação de uma rede LoRa com nós sensores autónomos têm de levar em consideração as limitações impostas pela energia consumida pelo nó sensor, quando alimentados com uma bateria e um painel solar. Para isso, têm de ser feitos testes experimentais para que haja dados suficientes para a implementação e otimização dos dispositivos. Este artigo apresenta um trabalho focado no estudo da autonomia e eficiência energética do dispositivo sensor, utilizando algoritmos capazes de gerir o consumo energético em função da luminosidade do local. Os resultados preliminares atestam a pertinência desta abordagem, mantendo o nó sensor em funcionamento sem interrupções.

Palavras Chave – rede LoRa; agricultura de precisão; sensores; consumo energético; eficiência energética.

Abstract — In recent years the Internet of Things, in addition to use cases in 'smart cities', has also increasingly been used in precision agriculture. As in the rest of the world, it has been a growing reality in Portugal. In an agricultural environment, where energy resources can be scarce and dispersed, the implementation of a LoRa network with autonomous sensor nodes has to take into account the limitations imposed by the energy consumed by the sensor node, when powered by a battery and a solar panel. For this, experimental tests have to be carried out so that there is enough data for the implementation and optimization of the devices. This article presents a work focused on the study of the autonomy and energy efficiency of the sensor device, using algorithms capable of managing energy consumption as a function of the luminosity of the place. Preliminary results attest to the relevance of this approach, keeping the sensor node in operation without interruptions.

Keywords – LoRa network; precision agriculture; sensors; energy consumption; energy efficiency.

I. INTRODUÇÃO

A digitalização dos vários processos agrícolas é uma realidade crescente em Portugal. Tudo começou com o processo de automação das suas atividades, como a sementeira, a rega, a nutrição da planta e a colheita, e cada vez mais este processo tem sido normalizado em todas as grandes explorações agrícolas. Naturalmente o próximo passo é acompanhar/avaliar com precisão as condições agrícolas e a otimização dos recursos usados. O recente avanço da Internet das Coisas (IoT) na agricultura de precisão é o foco deste trabalho. Em particular, o objetivo é a implementação de uma rede de sensores, com baixo consumo energético, que permita monitorar os vários parâmetros associados à agricultura de precisão, incluindo as reservas energéticas do próprio nó sensor.

Este trabalho foi realizado em parceria com a empresa Veracruz Ventures [1], detentora de um extenso amendoal na região de Idanha-a-Nova e Fundão, Portugal. Consiste em utilizar uma rede de nós sensores alimentados a uma bateria com painel solar, combinando a tecnologia Arduino [2], e LoRaWAN [3], utilizando uma gateway LoRa, com a plataforma The Things Network (TTN) [4], que irá servir de forma a receber os dados enviados para uma gateway. A plataforma TTN é um recurso web aberto, para o registo de dispositivos LoRaWAN (nó sensor), e responsável pela recolha, formatação e redirecionamento dos dados para uma API, mantendo a sua integridade e segurança. No fim do processo temos uma API (Node-Red) [5] para receber e fazer o tratamento dos dados vindo do servidor TTN.

Neste artigo, iremos propor um nó sensor de baixo custo, energeticamente independente, construído com materiais

disponíveis no mercado e facilmente integráveis. O principal objetivo é a redução energética e aumento da autonomia, com recurso a algoritmos para a otimização do nível da bateria em função da luminosidade do dia levando, assim a uma manutenção mínima. Com esta abordagem, permitirá colocar vários nós sensores no campo agrícola, utilizando tecnologia LoRa WAN, e permitir coletar informações sobre o seu consumo.

A organização deste artigo irá ser dividida em cinco secções. na Secção I é feita uma introdução ao tema e uma revisão do estado da arte nesta área. na Secção II apresentamos a arquitetura do sistema e as características dos dispositivos utilizados. Na Secção III apresentamos o algoritmo de gestão energética da bateria, seguindo na Secção IV dos resultados experimentais, com informação sobre os testes de campo. A Secção V são discutidos os resultados obtidos. Para finalizar, a Secção VI conclui o nosso artigo e apresenta desenvolvimentos futuros.

A. Outros trabalhos

A tecnologia LoRaWAN tem sido utilizada para cenários e aplicações de agricultura de precisão e reúne todas as características de comunicação necessária para a agricultura de precisão em grandes áreas agrícolas [6]. Vários estudos têm sido realizados para estudar o desempenho das redes LoRa e LoRaWAN, nomeadamente na relação entre alguns parâmetros radio (espalhamento espectral) e a sua influência no aumento da cobertura, da capacidade e do débito binário da rede [7] [8] [9]. Outros estudos apresentam soluções de baixo custo, mas que não apresenta as propriedades adequadas para uso em ambientes exteriores e resistentes às intempéries [10].

No que diz respeito ao aumento da eficiência energética do nó sensor, os autores em [11] combinaram num único estudo experimental, o desempenho de um nó sensor em termos energéticos com as propriedades radio LoRa, apresentando uma solução autónoma integrando painel solar, regulador de carga e bateria, mas sem ter em consideração uma otimização do tempo entre leituras dos sensores. Em [12], os autores realizaram um estudo aprofundado sobre os ciclos de carga da bateria num nó sensor, em função das operações de envio, receção de mensagens na rede LoRa, na medição de valores em sensores e no modo de baixo consumo. Levando em base estes estudos científicos, este trabalho diferencia-se pelo foco na otimização e na eficiência energética do consumo energético do nó sensor com a implementação de um algoritmo para gestão dos tempos de leitura e envio de mensagens para a rede TTN, e numa análise estatística desses dados.

II. ARQUITETURA DE SISTEMA

O diagrama de blocos da arquitetura do sistema está representado na Figura 1. É constituído por um nó sensor, alimentado por uma bateria, ligada a um painel solar por meio de um regulador de carga, uma gateway LoRaWAN, que recolhe a informação do nó sensor, e remete os dados para um servidor TTN. Os dados são armazenados e tratados estatisticamente num servidor local, usando a ferramenta de software Node-Red.

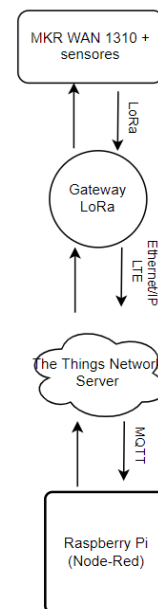


Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema.

A. Nó Sensor

Na 2, estão representados todos os dispositivos utilizados na construção do nó sensor.

O elemento central é uma placa de desenvolvimento Arduino MKR WAN 1310. Trata-se de um dispositivo que tem incorporado um microcontrolador programável, disponibiliza várias portas de entrada e saída para sinais analógicos ou digitais adequados para ligar sensores, assim como um dispositivo radio para comunicação LoRa e bibliotecas de software para protocolo LoRaWAN integradas.

A alimentação do nó sensor LoRa é feita por uma bateria LiPo (3.7 V; 1800 mAh), um regulador de carga (LiPo Rider V1.3) e um painel solar (5 V; 0.5 W). O regulador de carga serve não só para interligar os restantes dispositivos (bateria e painel solar) com conectores JST 2.0 e a placa MKR WAN 1310 na porta USB, mas também adiciona uma camada de proteção contra sobrecargas ou descargas energéticas excessivas. A bateria tem incorporado um sistema interno que a protege de carga e descarga excessivas, sendo que desliga o processo de carga quando a tensão em regime de carga atinge 4.2 V e retoma o processo de carga quando a tensão aos seus terminais desce até ao valor mínimo de 3.7 V. O painel solar utilizado é monocristalino e consegue uma eficiência solar de transformação de energia de 17 %.

Para este protótipo, incluímos apenas um sensor de luminosidade ao nó LoRa. O sensor de luminosidade utilizado é uma resistência sensível à luz (LDR), ligada a uma das entradas analógicas da placa MKR WAN 1310, na qual foi implementada uma conversão do valor obtido para unidades Lux. O sensor de luminosidade é um elemento fundamental para a otimização do consumo energético do nó sensor.

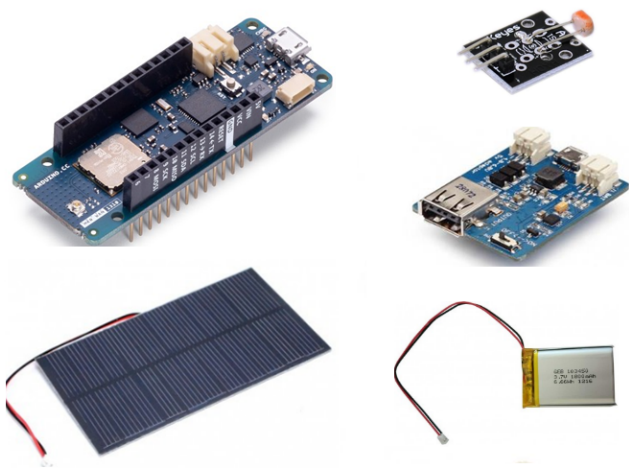


Figura 2 - Dispositivos usados para o protótipo do nó sensor.

Para ser possível implementar um algoritmo para gestão energética do nó sensor, é necessário medir o valor da tensão aos terminais da bateria. Tanto o regulador de carga usado, como o próprio dispositivo MKR WAN 1310 não fornecem diretamente esta informação. Foi necessário recorrer a um esquema elétrico para medição da tensão, através de um divisor resistivo entre o terminal positivo e negativo da bateria, e uma entrada analógica da placa MKR WAN 1310, utilizada para ler o valor à saída do divisor resistivo e converter o valor em Volt.

B. Rede LoRa

Toda a informação proveniente do nó sensor é processada e enviada para uma gateway LoRa (segundo bloco da Figura 1) que fica na proximidade do nó sensor, a cerca de 1 km, como mostra a Figura 3. A gateway tem acesso à internet através de uma ligação à rede celular LTE, pela qual envia os dados (uplinks) para a plataforma TTN (terceiro bloco da Figura 1). Com os dados nesta plataforma poderemos, com o auxílio do protocolo Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), enviar os dados para um servidor local (quarto bloco da Figura 1), usando uma ferramenta de tratamento e visualização de dados, neste trabalho foi escolhido Node-Red.

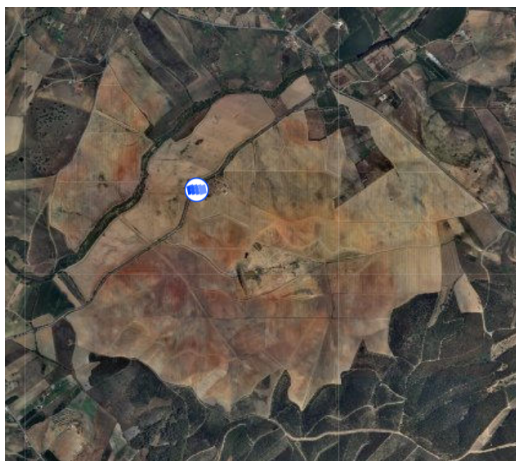


Figura 3 - Mapa na Herdade, com localização da gateway e do nó sensor.

III. GESTÃO ENERGÉTICA DA BATERIA

O contributo mais importante deste trabalho é o algoritmo de gestão energética, que tem por um lado a finalidade de manter o dispositivo em funcionamento, e por outro lado enviar o maior número de leituras possíveis num determinado intervalo de tempo, tendo em conta o nível de tensão da bateria LiPo. A solução encontrada para manter o dispositivo em funcionamento foi definir tempos maiores entre envios de informação, quanto menor for o valor da tensão da bateria, através de uma equação linear, combinado com um valor fixo de tempo de envio quando se verifica um valor baixo de tensão na bateria. O algoritmo terá ainda em consideração a informação do sensor de luminosidade, de modo a determinar a quantidade de luz disponível no painel solar.

Para o funcionamento do algoritmo, iremos enviar junto com os dados, também o valor da tensão da bateria. De acordo com as diferentes necessidades de dados de sensores a implementar num amendoal intensivo (sensores de solo, caudalímetros, estação meteorológica), a periodicidade temporal mínima necessária no envio de dados é muito diversificada, variando entre alguns minutos até várias horas. Assim, para os testes realizados, definimos um período de envio de dados de 5 minutos quando o nível de tensão da bateria está no valor máximo (4.2 V), aumentando gradualmente quanto menor for a tensão na bateria. Definimos que para um nível de tensão na bateria igual a 3.8 V, o período temporal de envios será 40 minutos.

Então para o cálculo da reta iremos utilizar dois pontos (4200 mV, 300 segundos) e (3800 mV, 2400 segundos). Os valores de tensão e tempo foram convertidos para mV e segundos, respetivamente, de forma a permitir o uso de valores inteiros nos cálculos. Para o cálculo do declive m da reta:

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{2400 - 300}{3800 - 4200} = -5,25 \text{ (s/mV)} \quad (1)$$

Para o cálculo do coeficiente linear b :

$$y = mx + b \Leftrightarrow 300 = 4200 \times (-5,25) + b \\ \Leftrightarrow b = 22350 \text{ (s)} \quad (2)$$

Para simplificação do programa a implementar na placa Arduino MKR 1310, os valores de m e b foram arredondados para números inteiros, ficando:

$$y = -5x + 22350 \text{ (s)} \quad (3)$$

Em que x corresponde ao valor de tensão da bateria e y ao tempo entre envios sucessivos. Quando o nível de tensão da bateria (x) descer abaixo de 3.7 V, um valor próximo do limite inferior de funcionamento deste tipo de bateria, o valor do período de envios aumenta para um valor fixo de 2 horas, para permitir à bateria recuperar energia. Ainda em paralelo com este modo de funcionamento, o sensor de luminosidade verifica um nível de luminosidade, e se a quantidade de luz disponível for baixa, inferior a 10 Lux, ou seja, à noite ou em dias muito

nublados, o dispositivo também irá ter um tempo fixo entre envio de informação de 2 horas. Durante os períodos entre envios, a placa Arduino MKR 1310 irá operar em modo *LowPowerDeepSleep*, para que o consumo de energia seja o mínimo possível, enquanto não existem leituras ou envios de dados pela rede LoRa. O algoritmo de gestão energética implementado é apresentado na Figura 4.

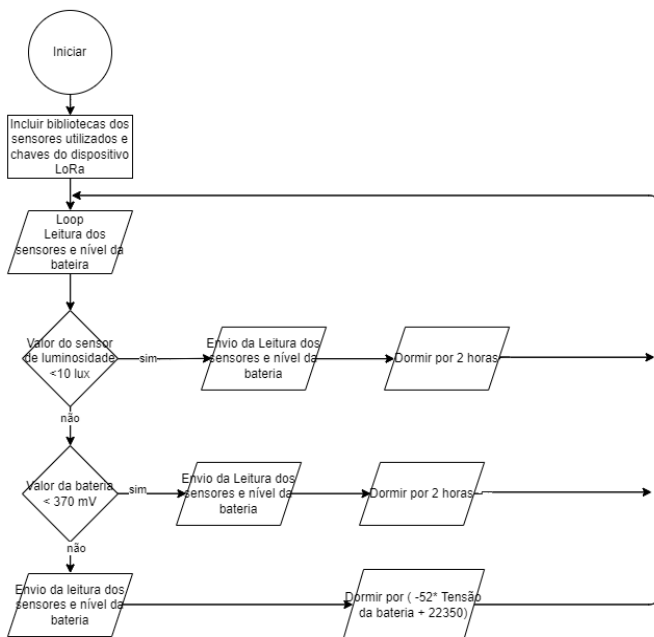


Figura 4 - Algoritmo de gestão energética do nó sensor

IV. TESTES EXPERIMENTAIS

Os testes foram realizados numa das Herdades pertencentes à Veracruz, na Herdade do Carvalhal localizada na freguesia da Capinha, município do Fundão – Portugal (Figura 3).

O nó sensor foi colocado em funcionamento entre os meses de julho a setembro de 2021, de forma totalmente autónoma e sem intervenção humana. O painel solar foi fixado com uma inclinação de 45 graus, e virado para Sul (Figura 5). O objetivo foi avaliar o desempenho do dispositivo, do algoritmo implementado e a receção de mensagens, considerando também os efeitos da acumulação de poeira nos painéis solares, chuvas ou outros efeitos adversos naturais.

Os dados recebidos foram armazenados numa base de dados num servidor local Node-Red e podiam ser visualizados numa *dashboard* em tempo real. A Figura 6 mostra o gráfico da variação da tensão da bateria no período de 24 horas, num dia 12 do mês de setembro 2021. Neste gráfico, podemos visualizar que durante a tarde existe um maior número de dados a ser enviados do que noutros períodos. Nesse período, o nível de tensão da bateria nunca desce abaixo de 4 V, pela presença constante do sol. A partir das 20 horas anoitece, e de acordo com algoritmo período entre envios de dados é de 2 horas para reduzir o consumo de energia. Apesar disto, e como a energia gasta na bateria não é repostada pelo painel solar, verifica-se uma decida gradual da tensão aos seus terminais. Cerca das 9:00 horas da

manhã o painel fornece novamente energia a bateria, e retomar o envio de dados com maior frequência.



Figura 5 - Teste de campo do dispositivo

Neste noite, podemos verificar que o nível de tensão da bateria desceu abaixo do valor 3.7 V, pelas às 8:30 horas. Este facto ocorreu devido por um lado, ao consumo energético nocturno, mas também devido à presença de nuvens durante o início da manhã, justificando esse valor. De dia, nível de tensão da bateria atingiu o máximo, mas forma recebidos dados do nó sensor, em média, de 25 em 25 minutos. No enquadramento agrícola, e dependendo do tipo de parâmetro analisado e da época do ano (e.g. final de verão, período de colheita), esta periodicidade é suficiente.

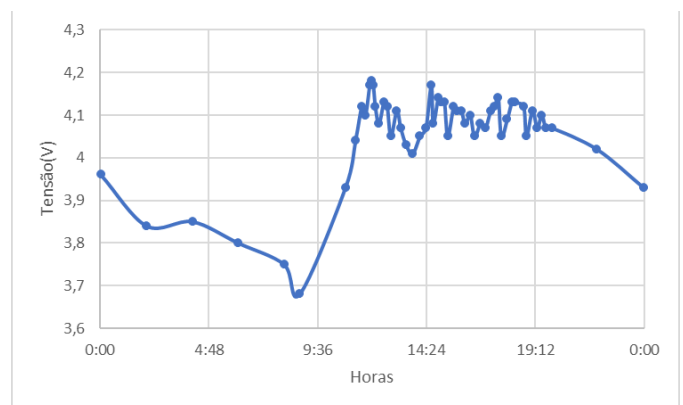


Figura 6 – Variação da tensão da bateria durante 24 horas

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na secção anterior, foi apresentado o nó sensor e o seu comportamento ao longo de um dia. Nesta secção, é feita uma análise à recolha de todos os dados guardados na base de dados durante o tempo em que o dispositivo esteve em funcionamento. Com estes dados, foi feita uma análise estatística mais aprofundada sobre o comportamento do dispositivo num intervalo de tempo correspondente a aproximadamente dois meses de verão, como mostra a Figura 7, permitindo extrair informação útil sobre as implicações das condições atmosféricas, do local, e das características intrínsecas do nó sensor instalado no amendoal.

Numa caixa de bigodes, podemos retirar alguns elementos estatísticos úteis, como consultar valor mínimo e máximo, média, mediana, primeiro quartil e terceiro quartil, em cada dia. Iremos fazer uma análise destes valores e tentar retirar conclusões sobre eles. O valor mínimo e máximo pode ser consultado olhando para os extremos da linha que saem das caixas em cada dia. O quartil 1 e 3 são os extremos inferior e superior da caixa respetivamente e o quartil 2, que está marcado pela linha horizontal dentro da caixa é equivalente à mediana. A média é marcada com um x dentro da caixa.

Em dias de sol sem nuvens, o valor médio da tensão da bateria variam entre 3.9 V e 4.2 V, ou seja, um nível de carga da bateria alto. Estas medidas foram efetuadas durante os meses de verão, e é por isso a principal razão por se verificar na maior parte dos dias. Em dias com sol e nuvens, vemos uma grande amplitude entre os dois extremos. Exemplo deste comportamento pode ser visto nos dias 15/07, 11/08, 13/09 e 17/09 onde os valores de tensão variam entre 3.7 V e 4.1 V. Para dias chuvosos o painel solar não consegue recarregar a bateria na totalidade, e apresenta uma amplitude entre valores máximo e mínimo pequena, com tendência para descer durante todo o dia. Em princípio, a bateria não descarrega na totalidade devido ao algoritmo de baixo consumo implementado. O dia 14/09 é um bom exemplo deste acontecimento. Como já foi dito nos tópicos

anteriores este algoritmo está implementado para uma frequência no envio de dados relativamente elevada, e caso haja dois ou mais dias sem sol, a bateria do nó sensor pode não recuperar a sua capacidade total de energia.

Analisando os quartis podemos observar em que dias houve mais sol do que nuvens, o dia 15/07 é um bom caso de análise já que podemos observar que a diferença entre o terceiro quartil e a mediana (segundo quartil), é muito mais pequena que a diferença entre o primeiro quartil e a mediana, o que significa que 25 % dos valores retirados estão acima de 4.05 V e 50 % dos valores acima de 4.015 V. Podemos justificar isto devido ao facto de o algoritmo de eficiência energética enviar menos valores quanto mais baixos o valor da tensão da bateria, podemos então retirar que este foi um dia em que esteve nublado de manhã já que a bateria de noite esteve sempre a descarregar e ao não ter recebido sol de manhã e no principio da tarde justifica os valores baixos, provavelmente houve presença de sol continua desde do meio da tarde até anoitecer e aqui a bateria enquanto carrega envia mais mensagens em menos tempo. Neste mesmo dia, podemos ver a influência dos valores na média que está bastante abaixo da mediana, significando que houve vários valores muito baixos, ou seja, próximo do valor mínimo, o que mais uma vez justifica que esteve nublado grande parte do dia.

Com esta análise concluímos que quanto mais próximos forem os valores da média e da mediana, menos amplitude houver entre o valor máximo e mínimo e quanto mais parecidos forem as amplitudes entre quartis, mais uniforme terão sido as condições atmosféricas naquele dia, ou seja um dia sempre nublado/chuvoso como o dia 14/09 ou um dia sempre com sol como o dia 8/07. Um dia em que há grande discrepância entre a media e mediana, amplitude dos valores e quartis é normalmente um dia nublado com algumas aberturas. Isto é apenas um exemplo de uma análise que possa ser feita sobre o nível da bateria e condições atmosféricas. A adição de outros sensores poderá permitir análise mais precisas.

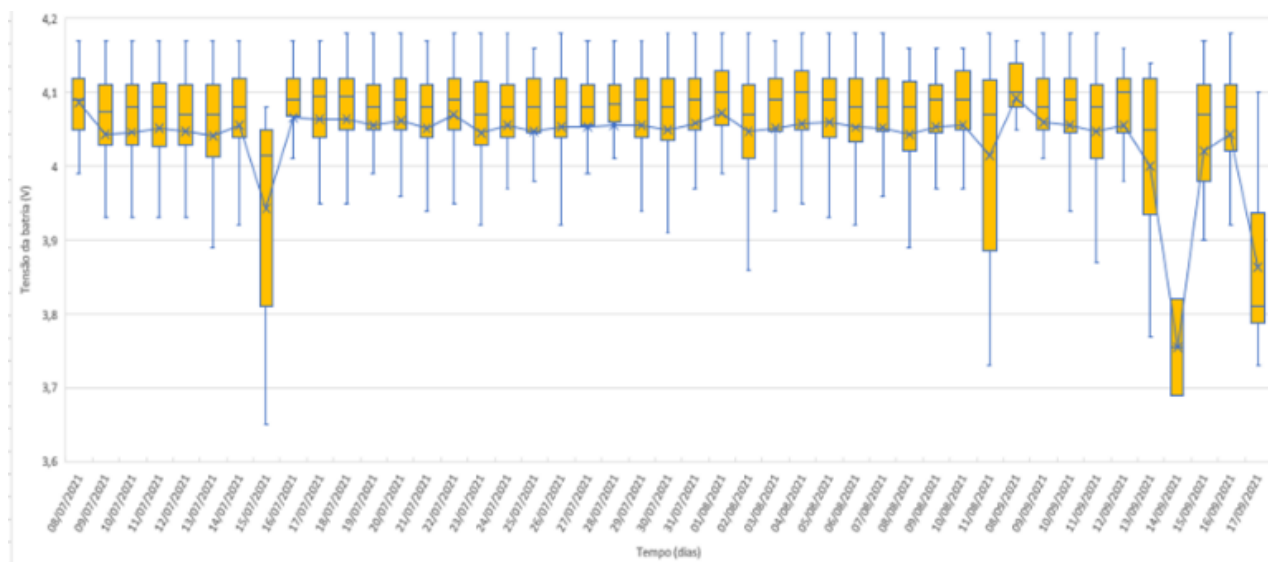


Figura 7 - Comportamento do nível de tensão do nó sensor ao longo de 2 meses

VI. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um sistema de monitorização agrícola, com gestão do consumo de energia e que utiliza o protocolo LoRaWAN para transmissão de dados do nó sensor até à gateway LoRa. Para testes do nó sensor, foi utilizado um sensor de luminosidade e um mecanismo de medição do nível da bateria, o que disponibilizou a possibilidade de gerir o consumo energético com a análise de dados e produção de algoritmos que relacionem o tempo entre envios de mensagens e o nível da bateria. O nó sensor foi instalado num campo agrícola (amendoal), e onde funcionou de forma contínua e autónoma durante cerca de dois meses e com uma boa relação de envio de dados. Os dados recolhidos permitiram realizar um conjunto de inferências e análise sobre os dados estatísticos, que permitirão melhorar o sistema; através da adaptação do algoritmo para se adaptar e aprender com os dados obtidos.

Para trabalhos futuros para este trabalho, é fundamental melhorar a proteção não só do dispositivo, mas também dos sensores, de condições atmosféricas adversas, melhorar algoritmo de eficiência energética para contextos reais e desenvolver mais testes de campo em outras épocas do ano contribuindo assim para um melhoramento contínuo do projeto.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve apoio financeiro do projeto VeraTech - Integração sensores e Business Intelligence em amendoal na Beira Interior para uso eficiente de recursos e redução do impacto ambiental, financiado pelo programa COMPETE 2020, com o número CENTRO-01-0247-FEDER-113287.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Veracruz | Amêndoas da Beira Baixa." <https://veracruz.ventures/> (accessed Feb. 22, 2022).
- [2] Arduino, "MKR WAN 1310 | Arduino Documentation | Arduino Documentation." <https://docs.arduino.cc/hardware/mkr-wan-1310> (accessed Jul. 29, 2021).
- [3] "LoRa and LoRaWAN: the technologies, ecosystems, use cases and market." <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/lpwan/iot-network-lora-lorawan/> (accessed Feb. 22, 2022).
- [4] N. Havard, S. McGrath, C. Flanagan and C. MacNamee, "Smart Building Based on Internet of Things Technology," 2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST), 2018, pp. 278-281, doi: 10.1109/ICST.2018.8603575.
- [5] M. Lekić and G. Gardašević, "IoT sensor integration to Node-RED platform," 2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345544.
- [6] D. Davcev, K. Mitreski, S. Trajkovic, V. Nikolovski, and N. Koteli, "IoT agriculture system based on LoRaWAN," *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems - Proceedings, WFCS*, vol. 2018-June, pp. 1-4, Jul. 2018, doi: 10.1109/WFCS.2018.8402368.
- [7] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 9, 2016, doi: 10.3390/s16091466.
- [8] Petäjärvi, J., Mikhaylov, K., Pettissalo, M., Janhunen, J., & Iinatti, J. (2017). Performance of a low-power wide-area network based on LoRa technology: Doppler robustness, scalability, and coverage. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(3), 1550147717699412.
- [9] Yim, D., Chung, J., Cho, Y., Song, H., Jin, D., Kim, S., ... & Riegsecker, A. (2018, March). An experimental LoRa performance evaluation in tree farm. In *2018 IEEE sensors applications Symposium (SAS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [10] P. A. Barro, M. Zennaro, and E. Pietrosemoli, "TLTN - The local things network: On the design of a LoRaWAN gateway with autonomous servers for disconnected communities," *IFIP Wireless Days*, vol. 2019-April, Apr. 2019, doi: 10.1109/WD.2019.8734239.
- [11] M. Swain, D. Zimon, R. Singh, M. F. Hashmi, M. Rashid, and S. Hakak, "LoRa-LBO: An experimental analysis of lora link budget optimization in custom build iot test bed for agriculture 4.0," *Agronomy*, vol. 11, no. 5, 2021, doi: 10.3390/agronomy11050820.
- [12] E. Kökten, B. C. Çalışkan, S. Karamzadeh, and E. G. Soyak, "Low-Power Agriculture IoT System with LoRa: Open Field Storage Observation," *Electrical, Control and Communication Engineering*, vol. 16, no. 2, 2020, doi: 10.2478/ecce-2020-0013.