

Aplicação de Sistema Eólico em Dispositivos Transceptores IoT

Wendell L. Louzada, Wilson A. C. Macedo, Darlindo R. de A. Junior,
Jasmine P. L. Araujo, Miercio C. de A. Neto, Fabrício J. B. Barros

Resumo— Este estudo avalia a viabilidade de aplicação de sistemas eólicos em dispositivos IoT que utilizam a tecnologia LoRa, incorporando a plataforma ThingSpeak e uma bateria recarregável. Ao realizar este trabalho, estabeleceu-se uma correlação da energia gerada com a velocidade do vento, tornando possível a classificação da velocidade por meio da escala de Beaufort. Essa análise foi de grande importância para a integração de fontes renováveis em dispositivos IoT, pois tornou possível a avaliação da viabilidade da implementação por meio da referida escala adotada.

Palavras-Chave— Internet das coisas, LoRa, Energia Eólica.

Abstract— This study evaluates the feasibility of applying wind systems in IoT devices that use LoRa technology, incorporating the ThingSpeak platform and a rechargeable battery. By carrying out this work, a correlation was established between the generated energy and the wind speed, making it possible to classify the speed using the Beaufort scale. This analysis was of great importance for the integration of renewable sources in IoT devices, as it made it possible to evaluate the feasibility of implementation through the adopted scale.

Keywords— Internet of Things, LoRa, Wind Energy.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a geração de energia eólica tem se desenvolvido rapidamente devido às suas características como ser livre de poluição, uma fonte de energia renovável e uma das soluções de lidar com o problema do esgotamento da energia fóssil [1]. Nesse contexto, a energia eólica se destaca como uma das principais fontes renováveis, oferecendo uma solução viável e eficiente para a geração de eletricidade limpa. A utilização de geradores eólicos aproveita a força dos ventos para converter energia cinética em energia elétrica, apresentando um potencial significativo para uma geração de energia mais distribuída.

Em vista deste cenário, busca-se integrar a energia renovável aos dispositivos IoT por conta de seu grande potencial de aplicação, devido a sua capacidade transferência de informações coletadas de vários dispositivos para locais destinados pela Internet, o que torna o IoT o termo mais confiável do mundo tecnológico na data de hoje [2]. Portanto, ao compreender-se melhor o potencial e os desafios associados à integração de geradores eólicos em redes IoT, é possível desenvolver estratégias mais eficazes para o dimensionamento, implantação e gerenciamento desses sistemas. Isso não apenas contribui

para a sustentabilidade energética, mas também impulsiona a inovação e o avanço tecnológico na convergência entre energia renovável e conectividade inteligente. Dessa forma, ao longo deste artigo serão analisados os fundamentos teóricos, a metodologia de análise de potência, os resultados obtidos e as considerações práticas para a implementação de geradores eólicos em redes IoT.

Dentro deste contexto, a Escala de Beaufort, desenvolvida no início do século XIX pelo almirante irlandês Francis Beaufort, é uma referência para a avaliação da velocidade do vento e seus efeitos sobre a terra e o mar. Originalmente criada para ajudar os marinheiros a estimar a força do vento em alto-mar de forma visual, a escala tornou-se uma ferramenta essencial na meteorologia moderna e em diversas aplicações industriais. Composta por treze categorias, que variam de calmaria a furacão, a Escala de Beaufort proporciona uma maneira padronizada de comunicar a intensidade do vento, facilitando a tomada de decisões em áreas como navegação marítima, aviação, construção civil e geração de energia eólica. Sua importância reside na capacidade de fornecer uma avaliação consistente e comparável da força do vento, essencial para a segurança e eficiência das operações dependentes das condições climáticas, o que propicia adaptações da mesma em vários estudos que envolvem climatologia [3].

Este estudo tem como objetivo explorar a viabilidade e a eficiência energética de sistemas eólicos aplicados em dispositivos transceptores IoT baseados em enlace LoRa. A integração dessas tecnologias representa uma oportunidade inovadora para o desenvolvimento de soluções sustentáveis no campo da Internet das Coisas, permitindo a implementação de redes de sensores alimentadas por energia eólica em áreas remotas e de difícil acesso. A análise proposta visa contribuir para o entendimento dos benefícios e desafios associados ao uso de energia eólica em dispositivos IoT, destacando sua importância como e a viabilidade de vento para gerar energia suficiente para manter o funcionamento do dispositivo e assim a importância de ser uma alternativa renovável e sustentável para o futuro da tecnologia e do meio ambiente.

II. METODOLOGIA

A escala de Beaufort qualifica a intensidade dos ventos, tendo em conta a sua velocidade e os efeitos resultantes das ventanias no mar e na terra. A escala varia de 0 (calmaria, ventos inferiores a 1 Km/h) a 12 (furacão, ventos superiores a 120 Km/h). Na magnitude 8, os galhos das árvores se quebram, e ao atingir a magnitude 9, torna-se impossível caminhar

contra o vento [4]. Esses dados tabulares são fundamentais para calibrar e dimensionar corretamente os geradores eólicos, garantindo a eficiência e a sustentabilidade das redes IoT alimentadas por energia eólica, e estão disponíveis na Tabela I.

TABELA I
NÚMERO DE BEAUFORT E SUAS CLASSIFICAÇÕES. [4]

| Número de Beaufort | Velocidade (m/s) | Classificação |
|--------------------|------------------|---------------------|
| 0 | <0,3 | Calmaria |
| 1 | 0,3-2 | Aragem leve |
| 2 | 2-3 | Brisa leve |
| 3 | 3-5 | Brisa suave |
| 4 | 6-8 | Brisa moderada |
| 5 | 8,1-10,6 | Brisa fresca |
| 6 | 10,8-13,6 | Brisa forte |
| 7 | 13,9-16,9 | Vento moderado |
| 8 | 17,2-20,6 | Vento fresco |
| 9 | 20,8-24,4 | Vento forte |
| 10 | 24,7-28,3 | Tempestade |
| 11 | 28,6-32,5 | Tempestade violenta |
| 12 | >32,8 | Furacão |

Tendo em vista os limiares presentes na referida escala, desenvolveu-se um cenário IoT sustentado energeticamente somente por uma fonte eólica, com o objetivo de estimar a classificação mínima de Beaufort na qual é possível sustentar o end-node desenvolvido, permitindo que o mesmo envie dados de medição enquanto carregue a bateria presente no mesmo.

A implementação desenvolvida se encontra na Fig. 1, na qual o endnode RAK4630 foi utilizado em conjunto com sensores de tensão e corrente para monitorar o desempenho de um gerador eólico. O objetivo principal foi garantir a eficiência de carregamento de uma bateria recarregável, além de fornecer dados em tempo real para a plataforma ThingSpeak.



Fig. 1. Visão interna do End-node.

Desse modo, o endnode RAK4630 foi configurado para operar em uma rede LoRaWAN, permitindo comunicação de longa distância com baixo consumo de energia da bateria. Ele foi programado para coletar dados dos sensores de tensão

e corrente e transmiti-los para um Gateway. Os sensores de tensão foram instalados na saída do gerador de eólico, com o objetivo de avaliar a eficiência ao longo do tempo de operação. Esses sensores foram conectados ao end-node através de suas interfaces de entrada analógica. Os dados de tensão coletados foram processados pelo microcontrolador RAK4630, que convertia os sinais analógicos em digitais para transmissão.

A bateria utilizada no experimento é do tipo Li-ion (íon de lítio), com uma capacidade nominal de 3,8 V e 2600 mAh da marca Samsung, modelo EB-BG530CBB [5]. Esta escolha foi feita devido às suas características de alta densidade de energia e ciclo de vida prolongado, tornando-a adequada para aplicações de alimentação em dispositivos IoT. Essa bateria era carregada por um gerador eólico, aproveitando a energia renovável para manter o sistema autossuficiente. A escolha da bateria de celular foi feita devido à sua alta capacidade e eficiência, permitindo um funcionamento prolongado sem a necessidade de recargas frequentes de acordo com os requisitos energéticos do microcontrolador.

A Fig. 2 representa o cenário proposto do experimento, na qual o RAK4630, equipado com o transceptor LoRa SX1262, transmitia os dados de tensão e corrente para um gateway LoRa, localizado a uma distância considerável do ponto de medição. O gateway, por sua vez, enviava os dados para um servidor na nuvem, onde eram armazenados e analisados em tempo real pela plataforma ThingSpeak.

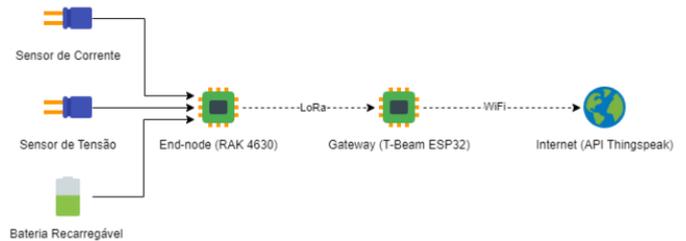


Fig. 2. Cenário IoT Proposto [6].

A Tabela II contém a descrição do gerador eólico adotado, sendo o mesmo de modelo de eixo horizontal objetivando fornecer energia para o end-node da rede IoT. Foi escolhido um gerador com uma potência elétrica de 20w para que fosse possível fornecer carga elétrica consistente à bateria utilizada nos testes, mesmo utilizando velocidades do vento classificadas como brisa leve.

TABELA II
CARACTERÍSTICAS DO GERADOR EÓLICO.

| Característica | Valor |
|------------------|------------|
| Altura | 480 mm |
| Largura | 240 mm |
| Diâmetro da base | 22,5 mm |
| Potência nominal | 20 W |
| Tensão | 1-20 V |
| Peso | 500 Gramas |

Para avaliar a eficiência e a adequação do funcionamento do gerador eólico em aplicações específicas, como o carre-

gamento de uma bateria, envolveu medições manuais fundamentais. Para estimar com precisão a potência gerada foram realizadas medições utilizando um multímetro que forneceu dados de tensão, corrente e um anemômetro digital, que foi utilizado para mensurar a velocidade do vento correspondente. A medição da velocidade do vento foi conduzida com um anemômetro digital Benetech modelo GM816, posicionado em um local desobstruído e à mesma altura do rotor do gerador eólico, registrando a velocidade em intervalos regulares para obter uma média representativa das condições do vento durante o período de medição.

Foram realizadas as medições de tensão e corrente com o gerador eólico em funcionamento, caso um multímetro digital da marca HIKARI e modelo MH-1001, para medir a tensão de saída e a leitura da corrente e foram devidamente registradas em intervalos regulares, coincidentes com os registros da velocidade do vento. Esse processo foi essencial para determinar a correlação entre a velocidade do vento nas pás do gerador e a tensão gerada pelo mesmo.

Para estimar esta correlação, foi adotado o método dos Mínimos Quadrados, que é uma técnica que permite, de forma aproximada, retirar informação de sistemas cuja solução não é conhecida [7], sendo uma técnica de otimização matemática que busca encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados. Na regressão linear, utiliza-se essa técnica para encontrar a linha de regressão que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos, ou seja, a diferença entre o valor observado e o valor previsto pela linha de regressão, sendo a linha de regressão é dada pela Equação 1.

$$y = mx + c \quad (1)$$

Na Equação 1, o fator m é a inclinação e c é a interceptação. Os valores de m e c são determinados de tal forma que o valor da Equação 2 seja mínimo, gerando deste modo uma equação linear que correlaciona os valores de x e y com o menor Erro Médio Quadrático.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - (mx_i + c))^2 \quad (2)$$

III. RESULTADOS

O resultado das medições de tensão e velocidade do vento podem ser observados na Fig. 3, na qual se encontra também o resultado do processo de regressão necessário para estabelecer a correlação entre as duas variáveis aferidas. A equação resultante deste processo foi inserida no microcontrolador presente no endnode, de modo que ele poderá estimar a velocidade do vento sobre as pás do gerador observando a tensão gerada pelo mesmo, coletando e transmitindo essas informações para o Gateway.

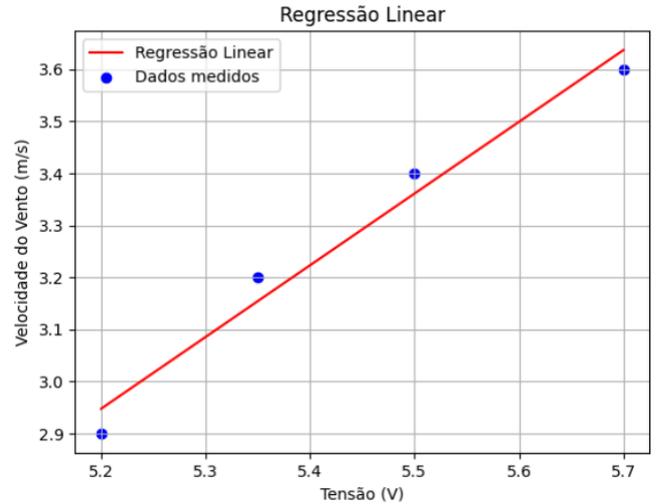


Fig. 3. Representação da Regressão Linear.

Para avaliação dos resultados obtidos, foi criado um canal dedicado no ThingSpeak para receber e armazenar os dados coletados durante os testes. Foram definidos os campos necessários para cada tipo de dado, como nível de energia da bateria, tensão de carregamento da bateria, corrente de carga aplicada à bateria, tensão do gerador eólico de pequeno porte e velocidade do vento.

O endnode foi configurado para enviar os dados a cada um minuto para o canal correspondente no ThingSpeak. Durante os testes realizados, verificou-se a capacidade do gerador de fornecer energia para o dispositivo manter sua transmissão ativa enquanto sua bateria é carregada, como exposto na Fig. 4.

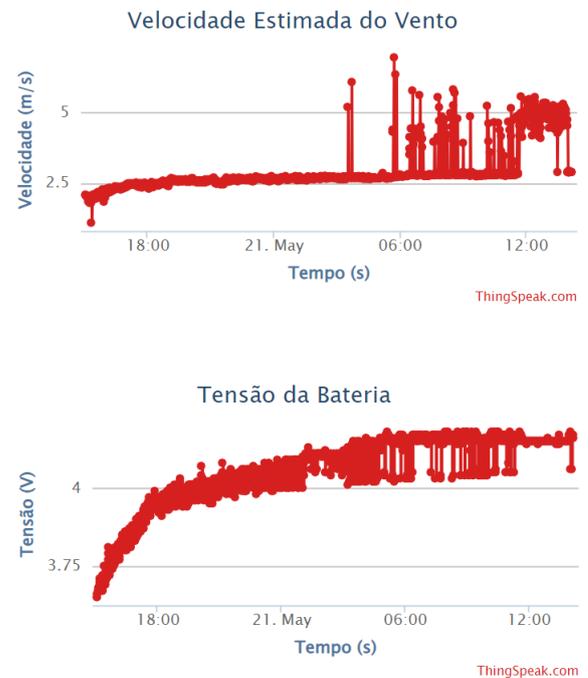


Fig. 4. Processo de carga da bateria do end-node (inferior) e registro da velocidade do vento nas pás do gerador (superior).

Verificou-se que velocidade média do vento de 2,5m/s, classificada como um vento fraco pela escala de Beaufort (Beaufort 2), é suficiente para manter a bateria em processo de carga constante, o que demonstra a eficiência do gerador em condições de vento suave. A capacidade do gerador em produzir essa tensão em ventos relativamente baixos destaca sua eficiência em capturar e converter energia eólica mesmo em condições leves, portanto essa sensibilidade às baixas velocidades de vento é promissora para maximizar a produção de energia em diversas condições climáticas.

IV. CONCLUSÃO

Esse estudo demonstrou a viabilidade e eficiência de utilizar um gerador eólico para carregar uma bateria recarregável, enquanto alimenta um dispositivo end-node LoRa. Foi possível também estabelecer uma relação de verificação desta viabilidade com a escala de Beaufort, o que torna possível a análise prévia da eficiência da implementação de acordo com a referida escala, o que a torna uma importante ferramenta para aplicações referentes a esse cenário.

A pesquisa mostrou que o gerador eólico foi bastante eficiente em carregar a bateria, comprovando sua eficácia na gestão e otimização da energia captada no cenário proposto, e pretende-se realizar outros testes de eficiência energética e de monitoramento do vento em trabalhos futuros, tais como o uso de dados meteorológicos do vento para contruir modelos preditivos de geração de energia, e a aplicação do gerador eólico em endnodes que utilizam outras tecnologias de comunicação sem fio, como o Wifi e o 5G.

REFERÊNCIAS

- [1] B. C. Ummels, M. Gibescu, E. Pelgrum et al. “Impacts of wind power on thermal generation unit commitment and dispatch”. Em: *IEEE Transactions on Energy Conversion* 22 (2007), pp. 44–51.
- [2] Abhishek Khanna e Sanmeet Kaur. “Internet of things (IoT), applications and challenges: a comprehensive review”. Em: *Wireless Personal Communications* 114 (2020), pp. 1687–1762.
- [3] Lemoel Pimentel de Brito et al. *Climatologia do regime de vento em Manaus a partir de dados observados*. 2024.
- [4] Milton de Oliveira de Pinto et al. *Fundamentos de energia eólica*. 2013.
- [5] Samsung. *SAMSUNG UN TEST Summary*. <https://brodos.com/wp-content/uploads/2020/07/Samsung-Galaxy-A10-UN38.3.pdf>. Accessed: 07/05/2024. 2020.
- [6] Wilson Antonio Cosmo Macedo. “Modelo de Descarga para Dispositivo IoT Usando Redes Neurais Artificiais”. Em: *XIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação*. 2023, pp. 79–80.
- [7] UFRGS. *REAMAT - Álgebra Linear*. https://www.ufrgs.br/reamat/AlgebraLinear/livro/s14-mx00e9todo_dos_mx00ednimos_quadradados.html. Accessed: 08/05/2024. 2020.