

# Análise Experimental do Impacto da Transmissão de Dados via Wifi na Eficiência Energética de Dispositivos IoT

Marcus de V. D. da Silva<sup>1</sup>, Matheus Monteiro Silveira<sup>1</sup>,  
Matheus Bernardino Araújo<sup>1</sup>, Rafael L. Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará (UECE)

{marcus,matheus.monteiro,matheus.bernardino,rafaell11gom}@larces.uece.br

**Resumo.** *Recentemente a era da Internet das Coisas (IoT) emergiu para evoluir as tarefas e serviços no cotidiano da sociedade, necessitando de transmissões sem fio mais robustas, como por exemplo IEEE 802.11/WiFi. Contudo, ainda não há um estudo sobre o impacto desta tecnologia na vida útil da bateria dos dispositivos IoT, considerando o tamanho dos pacotes transmitidos e a Unidade Máxima de Transmissão (MTU) definida. Dentro deste contexto, este artigo apresenta uma análise experimental do impacto da transmissão de Dados via IEEE 802.11/WiFi na eficiência energética dos dispositivos IoT. Experimentos foram realizados em um ambiente de teste real composto por dispositivos ESP8266X/WEMOS, indicando que tanto o tamanho dos pacotes, quanto o MTU definido influenciam no consumo de energia dos dispositivos.*

**Abstract.** *Recently, the Internet of Things (IoT) emerged to evolve tasks and services in daily activities of the society, demanding more robust wireless transmissions, such as IEEE 802.11/WiFi. However, there is still no study about the impact of this technology on the battery life of IoT devices, considering the size of the transmitted packets and the Maximum Transmission Unit (MTU) defined. Within this context, this paper presents an experimental analysis of the impact of data transmission through IEEE 802.11/WiFi on the energy efficiency of IoT devices. Experiments were carried out in a testbed composed of ESP8266X/WEMOS devices, showing that both the packet size and the defined MTU influence the energy consumption of the devices.*

## 1. Introdução

A evolução dos microcontroladores trouxe maior capacidade computacional e componentes eletrônicos mais baratos, proporcionando o aumento do número de dispositivos de comunicação, criando o paradigma de Internet das Coisas (IoT) [Li et al. 2018]. A partir do conceito de IoT surgiram diversos ambientes inteligentes com recursos e aplicações específicas, como Casas Inteligentes, Cidades Inteligentes, Indústria 4.0 e outros.

Em geral, os ambientes de IoT são compostos de dispositivos que usam comunicação sem fio de baixa largura de banda, como ZigBee (IEEE 802.15.4 Standard) ou Bluetooth Low Energy (BLE) [Talebi et al. 2018]. Essas tecnologias carecem de robustez para atender aos requisitos da IoT quando comparadas à tecnologia IEEE 802.11 / WiFi. A potência de transmissão do IEEE 802.11 é maior e possui menor tempo de acesso, obtendo prioridade de acesso ante o 802.15.4 [Talebi et al. 2018]. A partir disso,

o uso da tecnologia IEEE 802.11 / WiFi em ambientes IoT apresenta as seguintes vantagens [Mesquita et al. 2018]: (I) dispositivos WiFi têm um custo menor que os dispositivos ZigBee; (II) o protocolo IEEE 802.11 já possui alternativas para problemas de segurança e escalabilidade; e, (III) o padrão IEEE 802.11 suporta a abordagem *plug-and-play* e um grande número de dispositivos conectados.

Um requisito crucial para a IoT é o consumo de energia dos dispositivos, o qual é relacionado a transmissão de dados, recepção de dados, processamento e modo de hibernação. Por exemplo, os dispositivos ESP8266-1 e ESP8266X-WEMOS operam com voltagem de 80 mA, sendo compatíveis com o modo de hibernação profunda (voltagem de 20  $\mu$ A com rádio e CPU parcialmente desativados), enquanto utilizam 15 mA para processamento de CPU, 56 mA para recepção de dados e 120 mA para transmissão de dados [Akintade et al. 2019].

No entanto, ainda não há na literatura uma avaliação sobre como tecnologia IEEE 802.11/WiFi impacta no consumo de energia dos dispositivos IoT, considerando o tamanho dos pacotes transmitidos e a Unidade Máxima de Transmissão (*Maximum Transmission Unit* - MTU) definida [Sharma et al. 2018]. Assim, o atual estado da arte da IoT requer uma análise desses aspectos a fim de avaliar a aplicabilidade de soluções baseadas em IEEE 802.11/WiFi no contexto de IoT.

Dentro deste contexto, este artigo apresenta uma análise experimental do impacto da transmissão de Dados via IEEE 802.11/WiFi na eficiência energética dos dispositivos IoT. Experimentos foram realizados em um ambiente de teste real composto por dispositivos ESP8266X/WEMOS [Kanakaris et al. 2019, Datasheet 2015] usando o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), caracterizando um ambiente IoT. Os experimentos visaram avaliar o impacto da de diferentes transmissões de dados na vida útil da bateria dos dispositivos sem fio IoT, bem como o MTU definido para transmissão quando o tamanho do pacote se mantêm. Os resultados indicam que tanto o tamanho dos pacotes, quanto o MTU definido influenciam no consumo de energia dos dispositivos.

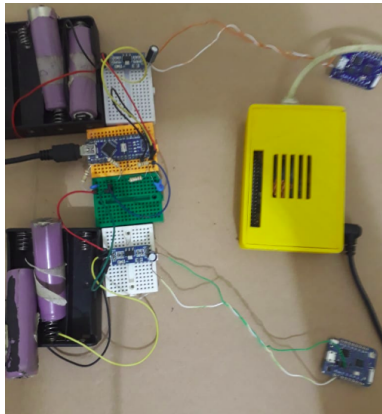
## 2. Configuração do Experimento

No cenário de teste montado usamos dois hardwares ESP8266X/WEMOS em paralelo e ao mesmo tempo com alimentação de energia independente [Kanakaris et al. 2019, Datasheet 2015]. Esses dois dispositivos IoT têm baixo custo e são compatíveis com IEEE 802.11 / WiFi/g/n (HT20). Ambos os dispositivos funcionam com uma frequência de *clock* de 80MHz ou 160MHz e podem ser alimentados com 3.3V 0,5A. Durante os experimentos, usamos duas baterias Lithium Ion da Panasonic<sup>1</sup> com uma tensão nominal de 8,2v – 7,6v e um módulo regulador para reduzir a tensão para 3,3V. As baterias usadas têm capacidade de US 2080mAh e taxa de descarga automática de 0,52A (com pico de 2,6A). As baterias, apesar de terem corrente contínua, tem uma diminuição de energia, variando entre 4,2 (pico normal) até 3,0 (descarga segura).

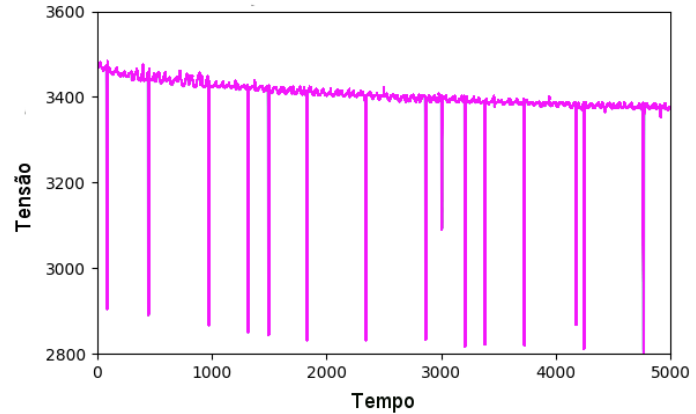
Portanto, o principal objetivo dos experimentos é medir o nível de tensão das baterias de acordo com a quantidade de mensagens enviadas em um período específico de tempo, variando de 8 a 20 horas. Para coletar essas amostras de tensão da bateria, um Arduino foi usado para obter 100 amostras com uma frequência de 10hz.

---

<sup>1</sup>[omnitron.cz/download/datasheet/NCR-18650PF.pdf](https://omnitron.cz/download/datasheet/NCR-18650PF.pdf)



(a) Dispositivos dos experimentos.



(b) 5000 amostras do nível de tensão da bateria.

**Figura 1. Informações sobre os Experimentos.**

Durante os experimentos, os dois dispositivos ESP8266X/WEMOS [Datasheet 2015] usaram o padrão 802.11n com  $20MHz$  de largura de banda, transmitindo dados simultaneamente. O protocolo MQTT foi usado como aplicativo de mensagem para garantir a comunicação ponto a ponto, melhorando a análise e o registro de dados. O objetivo desta configuração é avaliar o comportamento da variação de tensão e, conseqüentemente, a vida útil da bateria, de acordo com as abordagens de transmissão e MTU.

Com relação à análise dos dados, o nível de tensão foi normalizado, de acordo com a Equação 1, para reduzir as distorções nos dados coletados, uma vez que as duas baterias não possuem exatamente o mesmo nível de tensão. Na Equação 1,  $\mu$  é a média da distribuição,  $\sigma$  é a variação e  $x$  é a variável independente. Além disso, os experimentos foram realizados 25 vezes, onde cada um coleta 80.000 amostras durante aproximadamente 9 horas). A figura 1(b) apresenta 5000 amostras de exemplo de um dos experimentos.

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

### 3. Resultados

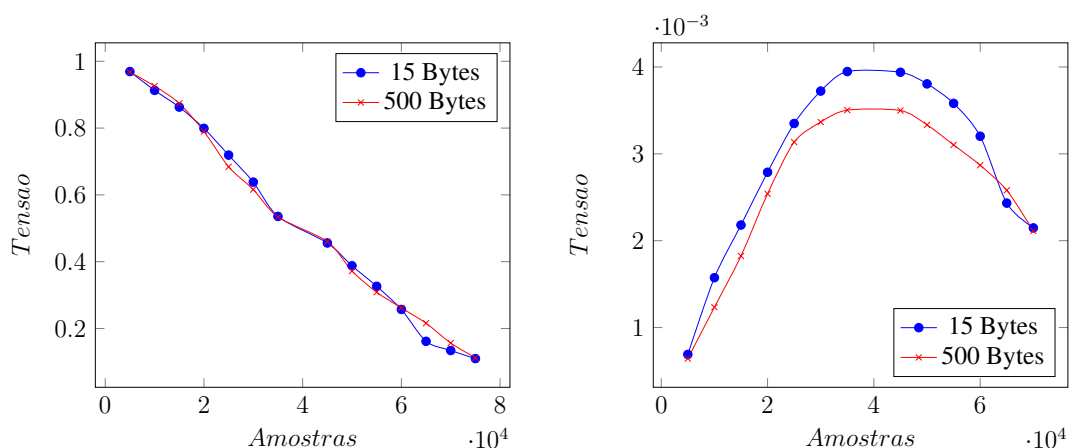
Esta seção apresenta os resultados dos experimentos para a avaliação do impacto das transmissões IEEE 802.11/WiFi na vida útil da bateria. Dividimos em dois experimentos a análise de consumo de energia: a seção 3.1 descreverá os experimentos para avaliar a variação no tamanho dos pacotes transmitidos; e, a seção 3.2 apresentará a comparação do consumo de energia entre diferentes MTUs.

Durante os experimentos, avalia-se a tensão das baterias, a normalização desta tensão e a inclinação da regressão linear dos dados coletados (Equação 2). A Equação Equação 2 representa a tendência (ascendente ou descendente) em um vetor: quando  $b$  tende ao eixo  $x$  representa um maior consumo de energia.

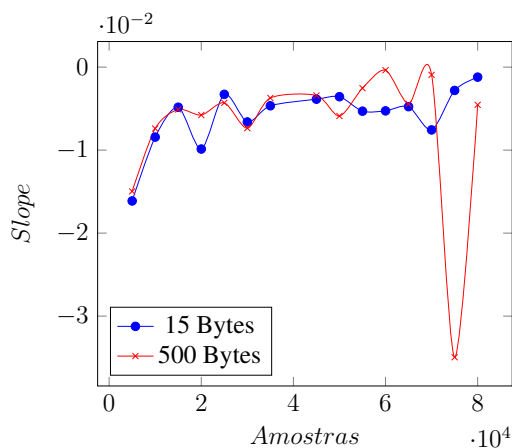
$$b = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \quad (2)$$

### 3.1. Avaliação do Tamanho de Dados Transmitidos

Neste experimento um dispositivo IoT enviou 500 bytes de mensagens e o outro dispositivo transmitiu 15 bytes de mensagens. Ambos os dispositivos usaram um MTU de 1000 bytes. As figuras 2(a), 2(b) e 2(c) apresentam os resultados.



(a) Tensão das Baterias com MTU de 1000 Bytes. (b) Tensão Normalizada das Baterias com MTU de 1000 Bytes.



(c) Inclinação da regressão do consumo de energia.

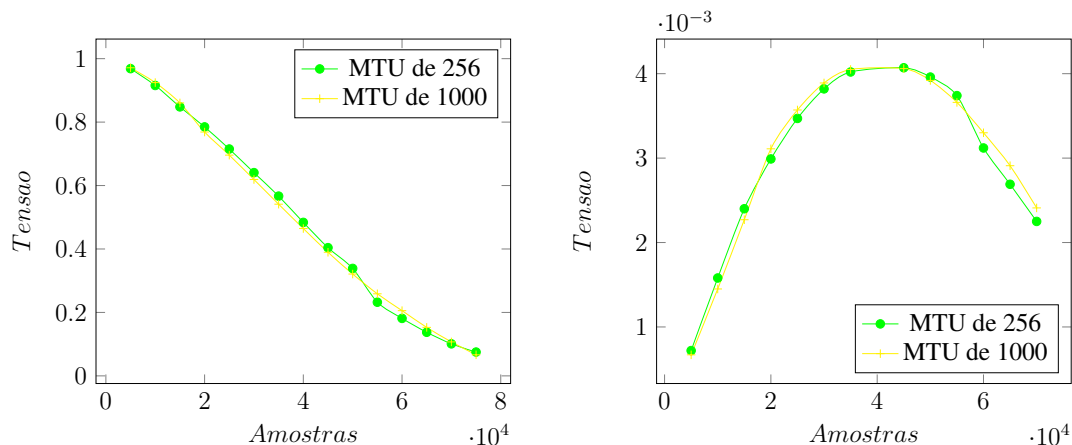
**Figura 2. Resultados dos Experimentos de Variação do Tamanho de Dados.**

Com base nas informações das Figuras 2(a) e 2(b), é possível observar que o envio de 500 bytes gastou mais energia do que 15 bytes. Essa diferença fica mais nítida quando observa-se a 2(b), onde a normalização exalta os benefícios a longo prazo das diferentes abordagens. Da mesma forma, usando uma análise de inclinação da regressão linear apresentada na Figura 2(c), notamos que os dados compactados tiveram uma redução no consumo de energia de 8%, devido à diferença entre o tamanho das mensagens. Em um exemplo numérico realístico para o contexto de IoT, considerando-se que o envio de 15

Bytes dure 365 dias, a utilização de uma abordagem com 500 Bytes duraria apenas 335, ou seja, um mês a menos durante um ano.

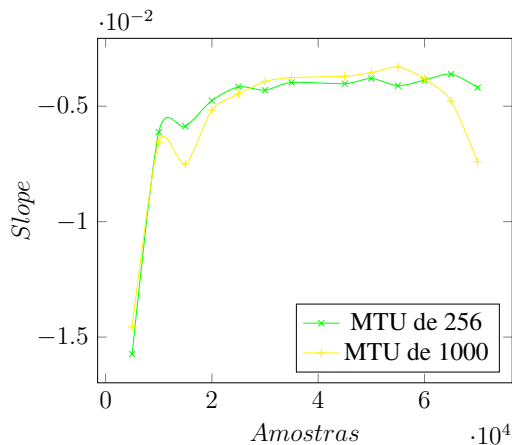
### 3.2. Avaliação do MTU

Neste experimento, analisamos o impacto da variação do MTU no consumo de energia, avaliando os seguintes casos: MTU de 1000 bytes e MTU de 256 bytes, ambos enviando mensagens de 300 bytes. Os resultados são ilustrados nas Figuras 3(a) , 3(b) e 3(c).



(a) Tensão da Bateria com MTU de 256 e MTU de 1000.

(b) Tensão Normalizada da Bateria com MTU de 256 e MTU de 1000.



(c) Inclinação da regressão do consumo de energia com MTU de 256 e MTU de 1000.

**Figura 3. Resultados dos Experimentos de Variação do MTU.**

A partir dos dados apresentados, é possível observar uma pequena alteração no consumo de energia dos dispositivos a partir da variação do MTU, tanto na análise da tensão bem como de inclinação da regressão linear. Esta variação ocorre pois o MTU de 256 gera uma fragmentação nos pacotes, resultando assim em um maior número de transmissões. Contudo, estes pacotes a mais transmitidos possuem um tamanho reduzido, fazendo com que o consumo não seja muito superior. Assim, percebe-se que ambos os experimentos se complementam mostrando o real comportamento das transmissões em um ambiente real.

É válido ressaltar que o tamanho do MTU interfere diretamente no acesso ao meio dos dispositivos, visto que o do pacote transmitido esta diretamente relacionado ao tempo de ocupação do meio [Datasheet 2015, Siu 2018]. Por exemplo, com uma taxa de transmissão de 11Mbps leva-se 254 microsegundos para transferência de 350 Bytes, enquanto que gasta-se 145 microsegundos para transferência de 200 Bytes. Desta forma, a escalabilidade da rede pode aumentar em até aproximadamente 42% com uma redução deste MTU. Sendo assim, o impacto da variação do MTU ficaria mais nítido em um experimento de maior escala.

#### 4. Conclusão

Uma abordagem promissora para implantar ambientes IoT é o uso da tecnologia IEEE 802.11/WiFi, devido aos recursos de escalabilidade, segurança e padronização. No entanto, o uso da tecnologia IEEE 802.11/WiFi ainda não foi avaliado neste contexto considerando o impacto na eficiência energética. Portanto, este artigo apresentou uma análise do impacto da quantidade de dados transmitidos e a configuração de MTU no consumo de energia dos dispositivos IoT. A partir dos experimentos reais com dispositivos ESP8266X/WEMOS, percebeu-se tanto o tamanho dos pacotes, quanto o MTU definido influenciam no consumo de energia dos dispositivos. Como trabalhos futuros, pretende-se executar mais experimentos com um maior número de nós, possibilitando uma melhor avaliação do impacto do MTU em redes de grande escala.

#### Referências

- Akintade, O. O., Yesufu, T. K., Kehinde, L. O., et al. (2019). Development of power consumption models for esp8266-enabled low-cost iot monitoring nodes. *Advances in Internet of Things*, 9(01):1.
- Datasheet, E. (2015). Esp8266ex datasheet. *Espressif Systems Datasheet*, pages 1–31.
- Kanakaris, V., Papakostas, G., and Bandekas, D. (2019). Power consumption analysis on an iot network based on wemos: a case study. *Telkomnika*, 17(5):2505–2511.
- Li, Z., Liu, Y., Liu, A., Wang, S., and Liu, H. (2018). Minimizing convergencast time and energy consumption in green internet of things. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*.
- Mesquita, J., Guimarães, D., Pereira, C., Santos, F., and Almeida, L. (2018). Assessing the esp8266 wifi module for the internet of things. In *2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, volume 1, pages 784–791.
- Sharma, P. K., Jeong, Y., and Park, J. H. (2018). Eh-hl: Effective communication model by integrated eh-wsn and hybrid lifi/wifi for iot. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(3):1719–1726.
- Siu, C. (2018). *IoT and Low-Power Wireless: Circuits, Architectures, and Techniques*. CRC Press.
- Talebi, M., Papatsimpa, C., and Linnartz, J.-P. M. (2018). Dynamic performance analysis of ieee 802.15. 4 networks under intermittent wi-fi interference. In *2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 1–7. IEEE.