



## INTERNET DAS COISAS APLICADA À ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

M. R. A. Reis<sup>1</sup>, R. M. Rodrigues<sup>2</sup>, A. F. R. Leal<sup>3</sup>,  
maikerdralcantara@gmail.com<sup>1</sup>, rmr@ufpa.br<sup>2</sup>, adonisleal1@gmail.com<sup>3</sup>,  
Universidade Federal do Pará<sup>1</sup>, Universidade Federal do Pará<sup>2</sup>, Universidade Federal do Pará<sup>3</sup>,

**Resumo:** A sociedade moderna utiliza cada vez mais dados para embasar decisões. Através de modelos analíticos, algoritmos de aprendizado de máquina e outras ferramentas matemáticas, é possível extrair informação dos dados e utilizá-los para dar mais segurança às escolhas feitas. Por exemplo, consumidores de energia elétrica podem compreender melhor seu próprio perfil de consumo através da análise de dados da rede, e assim detectar desperdícios bem como determinar estratégias de atuação no sentido de aumentar sua eficiência e reduzir custos. Para obter informações sobre o próprio consumo, é necessário um sistema de coleta dados. Nesse sentido, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma rede de IoT (Internet of Things), que permita a construção de um panorama do consumo. O sistema desenvolvido monitorou variáveis elétricas de dispositivos e ambientais nos cômodos de uma residência. Através de análises, foi possível traçar um perfil de consumo de cada dispositivo elétrico, acompanhar sua eficiência e verificar a relação entre o consumo e as variáveis ambientais como temperatura e umidade. Mais especificamente, obtiveram-se informações como a média diária de consumo, energia total consumida no período, temperatura média de cada ambiente além das correlações entre os consumos das cargas e as variáveis ambientais do seu local. A partir dessa análise, surgiram algumas estratégias que podem ser utilizadas para aumentar a eficiência no consumo.

**Palavras-chave:** Sistema de monitoramento, Energia elétrica, MQTT, Internet das Coisas, Rede de sensores sem fio.

### 1 INTRODUÇÃO

A sociedade moderna gera diariamente uma quantidade assombrosa de dados via acessos à Internet nas suas mais diversas formas. Os dados se tornaram muito valiosos porque a partir deles, pode-se modelar o comportamento de pessoas, embasar decisões importantes na indústria e comércio, e ajudar Estados a fazer planejamentos, como para a geração de energia (MARCIANO; NICITA; RAMELLO, 2020). Entramos progressivamente em um novo paradigma onde as máquinas, usando sensores para adquirir informações do ambiente, tornarão possíveis novos serviços. Interagindo entre si, com pouca ou nenhuma intervenção humana, essa infra estrutura é conhecida como IoT (*Internet of Things*) (MAHDAVINEJAD *et al.* 2018).

Madakam, Ramaswamy e Tripathi (2015) definem a IoT como sendo uma rede aberta e abrangente de objetos inteligentes que têm a capacidade de se auto-organizar, compartilhar informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente. Tal paradigma pode ser aplicado em várias áreas, como a médica, industrial, entretenimento, e etc. No setor elétrico, há vários pontos possíveis de otimização envolvendo os SEP (Sistemas Elétricos de Potência) que podem se valer de IoT. Segundo Bedi *et al.* (2018), aplicar IoT no setor pode trazer benefícios como: dar maior confiabilidade, resiliência, adaptabilidade e eficiência, permitir a operação em rede, aprimorar as capacidades de informação da operação e ajudar a reduzir danos de desastres naturais. Na ponta final do sistema elétrico, os consumidores podem usar sistemas de IoT para entender o próprio consumo, garantir maior eficiência e ter acesso às suas estatísticas, tudo isso em tempo real e de forma autônoma.

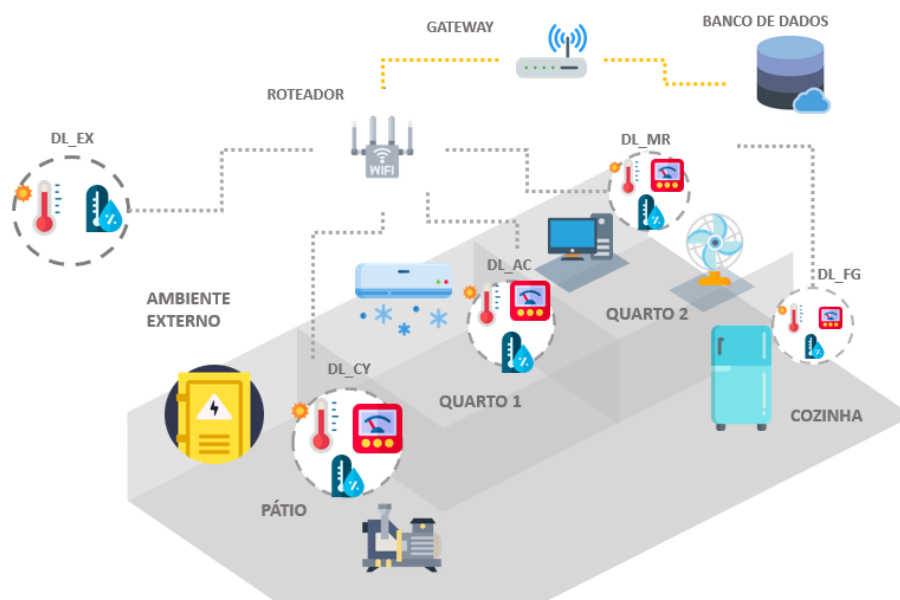
Considerando o exposto, objetivou-se desenvolver um sistema de Internet das coisas para o monitoramento do consumo energético e de variáveis ambientais (temperatura e umidade) de uma residência. Para relacionar o consumo de energia das cargas com as variáveis ambientais, visando identificar padrões de consumo e ineficiências, será utilizado o parâmetro IDT (Índice de

Desconforto Térmico). Dessa forma, além das análises estatísticas, o IDT trará uma visão comportamental do problema.

## 2 METODOLOGIA

Desenvolveu-se uma rede sem fio de sensores (*Wireless Sensor Network* - WSN) para coletar dados de energia elétrica e ambientais. A rede foi implementada em uma residência para acompanhar o consumo de aparelhos elétricos, temperatura e umidade dos ambientes. Assim, foram usados *nodes* equipados com sensores de tensão, corrente elétrica, temperatura, e umidade. Os *nodes* foram dispostos na residência da seguinte forma: um *node* para o consumo de toda a residência e de uma bomba d'água, um para o ar-condicionado no Quarto 1, um para a geladeira, um para o computador e um ventilador no Quarto 2. No ambiente externo, havia um *node* medindo apenas variáveis ambientais. A disposição dos *nodes* é ilustrada na Figura 1

Figura 1-Configuração IoT proposta para medição de energia numa residência.

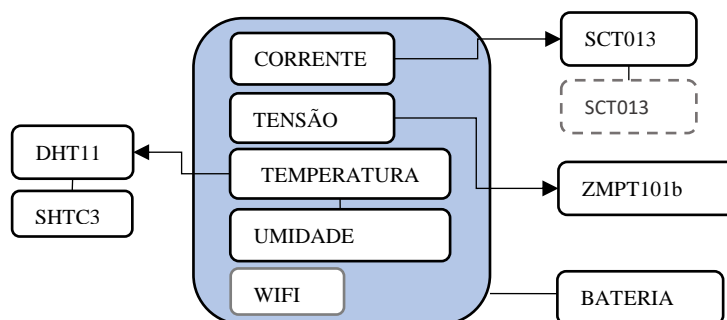


Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizou-se a tecnologia *wi-fi*, em uma topologia estrela e o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), para a transferência de dados dentro da rede. Os *nodes* IoT, que fazem a aquisição de dados, foram conectados aos eletrodomésticos para aferição de corrente e tensão; enquanto seu sensor de temperatura e umidade amostrava informações do ambiente.

Os *nodes* foram construídos a partir do microcontrolador ESP32 modelo WROOM-32 para a leitura dos sensores. As variáveis de temperatura e umidade foram obtidas usando sensores DHT11 e SHTC3. Para a leitura das correntes e tensões, utilizou-se os sensores SCT013 e ZMPT101b, respectivamente. A Figura 2 mostra o diagrama de um *node*, e as Figura 3 (a) e (b) mostram um dos *nodes* construídos sem e com caixa plástica para proteção do microcontrolador e do sensor de tensão, respectivamente.

Figura 2 - Diagrama de um node



Fonte: Elaborado pelo autor

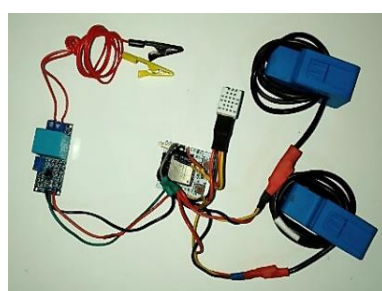
Ao todo, foram utilizados cinco *nodes* para coletar informações elétricas e ambientais, dois deles (DL\_MR e DL\_CY), ficaram responsáveis por coletar informações de mais de uma carga. Os nodes e os sensores utilizados são listados na Tabela 1.

Tabela 1- *Nodes* e sensores utilizados.

Nome do node	Carga	Local	Sensor		
			Tensão	Corrente	Temperatura e umidade
DL_EX	-	Externo	-	-	SHTC3, DHT11
DL_FG	Geladeira	Cozinha	ZMPT101b	SCT013	SHTC3
DL_AR	Ar-condicionado	Quarto 1	ZMPT101b	SCT013	SHTC3
DL_CY	Bomba d'água e Residência	Pátio	ZMPT101b	SCT013, SCT013	DHT11
DL_MR	Ventilador e Computador	Quarto 2	ZMPT101b	SCT013, SCT013	SHTC3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Node IoT



a) Node montado



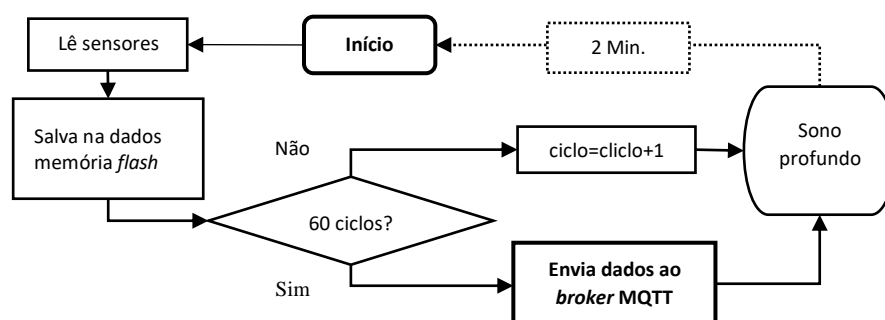
b) Node com proteção e bateria

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as medições, o sensor de corrente foi acoplado à fase da carga, e o sensor de tensão à fase e neutro da carga. Em *nodes* com dois canais de corrente foi escolhido um ponto médio, entre as duas cargas, para fixar o sensor de tensão.

Os *nodes* faziam a amostragem dos dados a cada 2 minutos. Após 60 leituras, os dados eram enviados para o *gateway* que por fim os enviava ao banco de dados na nuvem. O funcionamento básico de cada *node* consistia em executar a rotina de leitura dos sensores, armazenar esses dados obtidos na memória persistente interna ao ESP32 e em *deep-sleep*, quando a maioria dos recursos do *chip* são desligados para economia de energia. A Figura 4 mostra um fluxograma do programa embarcado em cada *node*.

Figura 4-Ciclo de funcionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3 RESULTADOS

O período de captação dos dados foi de 16/02/2021 às 13h24 a 30/03/2021 às 10h46. A base de dados gerada foi dividida em 7 conjuntos de dados, uma para cada carga acompanhada. Cada conjunto possui três colunas correspondendo a: potência ativa na carga, temperatura e umidade no ambiente, com exceção do conjunto originado pelo *node* externo (DL\_EX) que possui apenas informações ambientais. Após a organização dos dados, procedeu-se com a limpeza, filtragem e preenchimento dos dados faltantes.

Como variáveis ambientais estão envolvidas, foi utilizado o O IDT (Índice de Deconforto Térmico), principalmente para estimar qual é a sensação térmica do usuário quando decide acionar ou desligar uma carga de refrigeração pessoal (Ar-condicionado, Ventilador), tornado a análise mais holística. O IDT é um indicador fisiológico de estresse térmico. Foi utilizado neste trabalho a versão proposta por Giles *et al.* (1990),

$$IDT = T - 0.55 \cdot (1 - 0,01 \times UR) \cdot (T - 14,5), \quad (1)$$

onde *IDT* (°C) é o grau de desconforto sentido, *UR* é umidade relativa do ar (%) e *T* a temperatura do ar (°C).

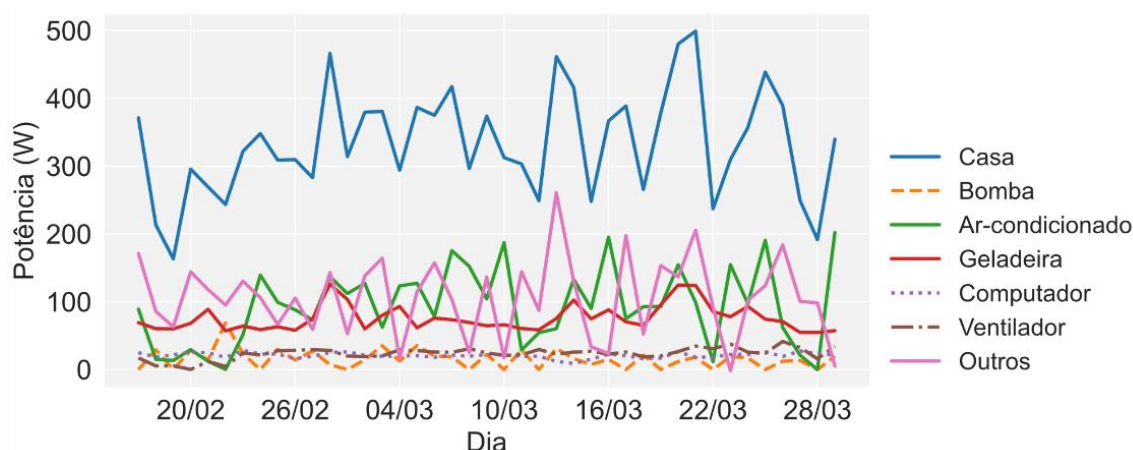
#### 3.1 DEMANDA MÉDIA

A demanda média de potência diária, foi obtida a partir dos dados coletados, como mostradas na Figura 5. A carga denominada como “Outros” é resultado da subtração da potência medida na linha geral da casa e as potências das outras cargas, dessa forma é possível acompanhar o consumo realizado por outras cargas que não foram incluídas neste trabalho.

Três cargas apresentaram a maior média de consumo na residência: ar-condicionado, geladeira e outros (máquina de lavar, eletrodomésticos, iluminação etc.). Essas cargas apresentaram médias em torno de 80 W, enquanto outras cargas como a bomba d’água, computador e ventilador apresentaram médias em torno de 25 W.



Figura 5-Demanda média de potência diária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 CORRELAÇÃO ENTRE POTÊNCIA E IDT

Para analisar a relação entre o consumo de energia elétrica e as variáveis ambientais, inicialmente, utilizou-se o IDT para resumir a temperatura e umidade em uma só informação e, posteriormente, a análise foi feita a partir do coeficiente de correlação de Pearson (Equação (2))

$$\rho = \frac{cov(X, Y)}{\sqrt{var(X) \cdot var(Y)}} \quad (2)$$

onde  $\rho$  o coeficiente de correlação e  $cov(X, Y)$  é a covariância dos vetores de valores lidos das variáveis  $x$  e  $y$ . (BENESTY, 2009). O coeficiente de correlação é interpretado por faixas, sendo caracterizado como na

Tabela 2.

Tabela 2-Characterização da correlação.

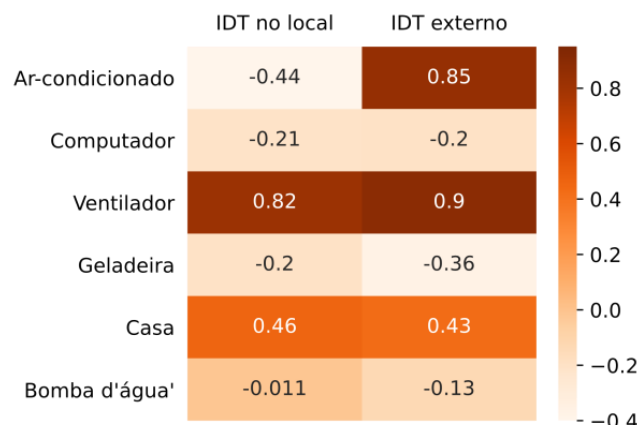
Correlação	Caracterização
0,9	para mais ou para menos indica uma correlação muito forte.
0,7 a 0,9	positivo ou negativo indica uma correlação forte.
0,5 a 0,7	positivo ou negativo indica uma correlação moderada.
0,3 a 0,5	positivo ou negativo indica uma correlação fraca.
0 a 0,3	positivo ou negativo indica uma correlação desprezível.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Duas correlações foram analisadas, pois além das variáveis climáticas no local da carga (gerando o IDT local), também existem dados de um dos *nodes* que coletou informações climáticas no ambiente externo (gerando o IDT externo). Assim, aplicando o coeficiente de correlação nas séries temporais de potência e IDT, reamostradas pela média semanal, obtiveram-se os valores contidos na Figura 6 que evidência a existência de uma alta correlação entre os IDT's e as demandas por energia elétrica do Ar-condicionado e Ventilador ao longo das semanas. Ambos

aparelhos utilizados para melhorar a sensação de conforto térmico. Dada a finalidade das cargas é razoável indicar uma relação de causalidade entre o desconforto térmico e o consumo de energia elétrica dessas cargas.

Figura 6-Correlação entre potência e IDT (séries reamostradas por semana).



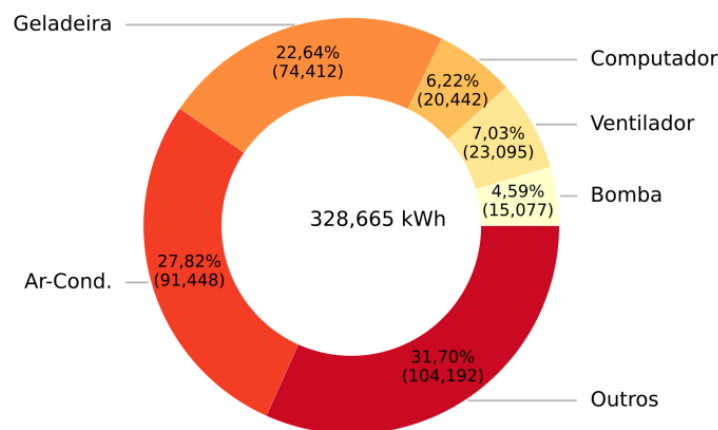
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3 COMPOSIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

Verificou-se que durante o período foi consumido, somando-se o consumo de todas as cargas acompanha, um total de 328,665 kWh, dos quais 57,49 % correspondem ao consumo de aparelhos de refrigeração (ar-condicionado, ventilador e geladeira), como mostra a

Figura 7.

Figura 7-Divisão do consumo na residência.



Fonte: Elaborado pelo autor.

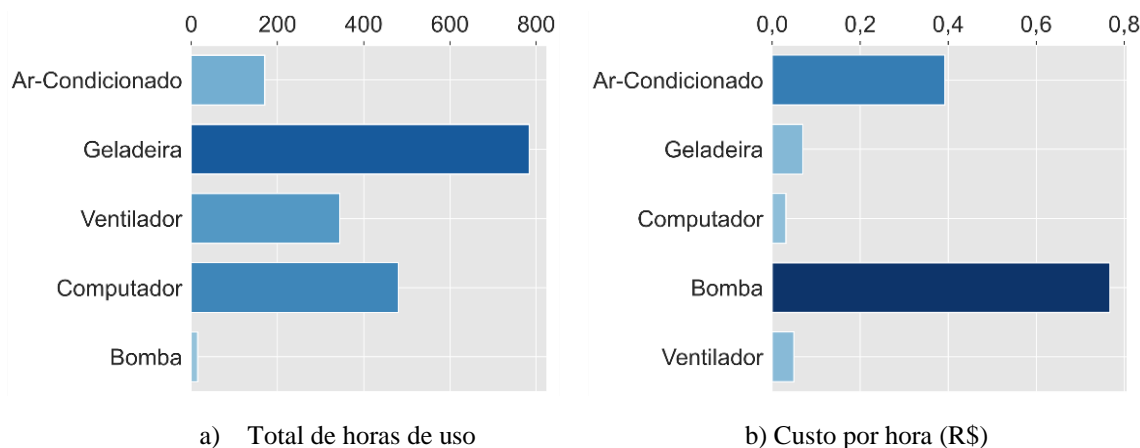
Se for considerado apenas os aparelhos altamente afetados pelas variáveis ambientais (Ar-condicionado e ventilador), 34,85 % do consumo de energia elétrica da residência está relacionado de alguma forma com o desconforto térmico.

### 3.4 TEMPO DE USO E CUSTO POR HORA DE USO

O tempo de utilização de cada carga e o custo por hora de uso são mostrados nas Figuras 9 (a)

e (b), respectivamente. O custo por hora de uso é a média do custo financeiro, considerando a taxa R\$/kWh da companhia de energia, e o tempo em funcionamento do aparelho durante o período de medição.

Figura 8 - Estatísticas do consumo por carga



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da diferença entre os custos por hora de uso, entre o ar-condicionado e a geladeira, o tempo de uso de cada uma das cargas foi determinante para o consumo total ao fim do período, fazendo com que a geladeira tivesse um consumo próximo de 80 % do ar-condicionado, mesmo apresentado um Custo/Hora mais de 5 vezes menor (R\$ 0,40 do Ar-condicionado contra R\$ 0,07 da Geladeira), mostrando a relevância da frequência de utilização de cada aparelho no consumo.

#### 4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Conforme mostraram os dados, 34,85 % do consumo da residência possui uma grande correlação com o conforto térmico, assim, estratégias para melhorar o conforto térmico dentro da residência teriam um maior impacto para economia de energia a longo prazo. Modificações arquitetônicas que melhorassem a ventilação do ambiente e utilização de materiais isoladores térmicos em telhados e paredes ajudariam a manter o ambiente mais fresco, diminuindo a energia necessária para refrigerar o ambiente ou mantê-lo agradável.

As informações tais quais a composição do consumo da residência, tempo de uso de cada aparelho e custo por hora de uso podem ser utilizadas como base para estratégias de redução de consumo, focando cargas de alto consumo por hora de uso ou que possuem períodos prolongados de utilização, tornando essas estratégias mais efetivas a longo prazo, bem como embasar decisões de substituição de aparelhos e poder estimar economias relativas baseadas na diferença de eficiência.

Como melhoria ao trabalho, poderia se adicionar atuadores à rede, dessa forma, medidas automáticas e em tempo real para gerar economia seriam aplicadas. Também, poderia ter sido criado um sistema de metas, onde a rede de sensores monitora o consumo e notifica o usuário quando pode gastar mais energia ou quando deveria tentar economizar. Com modelos, criados a partir dos dados, para cada uma das cargas, com técnicas como redes neurais e modelos ARIMA, poder-se-ia estimar valores imediatamente futuros do consumo para ajudar o sistema a tomar medidas, no presente que ocasionassem em uma possível economia. Ao detectar uma possível

chuva, com informações de estações meteorológicas, por exemplo, o sistema poderia configurar os aparelhos de ar-condicionado para potências menores, já que brevemente a temperatura poderia cair, antecipando-se ao fato e economizando energia.

## REFERÊNCIAS

BEDI, G.; VENAYAGAMOORTHY G. K.; SINGH, R.; BROOKS, R.; WANG, K. Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 2, p. 847-870, abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2802704>.

BENESTY, J. et al. Pearson Correlation Coefficient. In: COHEN, I. et al. (Eds.). *Noise Reduction in Speech Processing*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. v. 2p. 1-4. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-00296-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-00296-0_5).

GILES, B. D.; BALAFOUTIS, C.; MAHERAS, P. Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*, v. 34, n. 2, p. 98-104, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01093455>.

MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, v. 3, n. 5, p. 164-173, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>.

MAHDAVINEJAD, M. S.; REZVAN, M.; BAREKATAIN, M.; ADIBI, P.; BARNAGHI, P.; SHETH, A. P. Machine learning for Internet of things data analysis: a survey. *Digital Communications and Networks*, v. 4, n. 3, p. 161-175, 1 ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.10.002>.

MAIER, A.; SHARP, A.; VAGAPOV, Y. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. 2017 Internet Technologies and Applications (ITA). Anais... In: 2017 INTERNET TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS (ITA). Wrexham: IEEE, set. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8101926/>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

MARCIANO, A.; NICITA, A.; RAMELLO, G. B. Big data and big techs: understanding the value of information in platform capitalism. *European Journal of Law and Economics*, v. 50, n. 3, p. 345-358, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10657-020-09675-1>.

SANTOS, J. S. Campo térmico urbano e sua relação com uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida. 108 p, 2011. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.