

# Utilização de Blockchain e tecnologias LPWAN em sistemas de energia inteligente

RESUMO EXPANDIDO - Disciplina de TCC290009

**Guilherme da Silva de Medeiros**

Estudante do Curso de Engenharia de Telecomunicações

**Mario de Noronha Neto**

Professor orientador

**Richard Demo Souza**

Professor coorientador

Semestre 2020-1

**Resumo-** *Mudanças nos paradigmas tecnológicos vem acontecendo cada vez mais rápidas com o passar dos anos. O desenvolvimento da tecnologia, das telecomunicações, das técnicas de transmissão e processamento mudaram como o mundo funciona, entretanto, até agora, a maneira como a energia elétrica é gerada, distribuída e comercializada ainda é muito parecido com o que era no começo da popularização da eletricidade. Entretanto, isso tende a mudar com um novo paradigma no funcionamento do comércio de energia elétrica.*

*A chamado de energia inteligente é o processo de descentralização da produção de energia elétrica aliado a tecnologias como blockchain, que possibilita transações seguras e um mercado mais fluído e como LPWAN, sistemas de transmissão de dados capazes de funcionar com baixíssimo custo energético e com alcance amplo para fazendas de energia sitiadas onde não há cobertura de sinal celular.*

*Espera-se que os experimentos realizados apresentem resultados positivos na integração de blockchain e LoRa (LPWAN) com sistemas de energia inteligente e que seja possível implementar um cenário modelo onde possam ser extraídos resultados mais promissores sobre esta maneira de se gerar, monitorar e vender energia elétrica, assim como estudar os impactos que o emprego deste novo funcionamento teria nos vários ramos da sociedade global.*

**Palavras-chave:** Smart Grid. Smart Energy. Energy Commerce. Blockchain. LPWAN. Lora.

## 1 Introdução

Em Julho de 2004 era estabelecida pelo decreto N<sup>o</sup> 5.163 a possibilidade da comercialização de energia elétrica entre agentes não governamentais (BRASIL, 2004). O decreto possibilita a geração e comercialização de energia por empresas privadas, em um ambiente de contratação livre e cria convenções e regulamentações para tal.

A descentralização da geração de energia, conhecida como energia distribuída, é um processo que está acontecendo no mundo todo (JIAYI et al., 2007), motivada por questões ambientais, devido a possibilidade de geradores menos poluentes, por questões econômicas, devido a possibilidade da criação de um mercado de venda de energia e por questões tecnológicas, já que a distribuição de energia centralizada é um problema sério para o desperdício (OCHOA et al., 2010). No Brasil, o decreto de 2004 menciona formas de geração de energia permitidas (solar, eólica e biomassa), e determina quantidade mínima de geração (500 kW), limitando os agentes que poderiam produzir e fornecer energia elétrica.

Em 2017 foi realizada a consulta pública N<sup>o</sup> 33 DE 05/07/2017 sobre o aprimoramento do marco legal do setor elétrico, que vai de acordo com as tendências de descentralização mencionadas acima. Ela menciona as mudanças tecnológicas que pressionam as mudanças no mecanismo de produção energético (carros elétricos, por exemplo) e menciona a descentralização e produção distribuída de energia como o futuro do sistema elétrico no país, também pelo emprego de tecnologias de medição avançada e de controle bidirecional, que faria com que o consumidor tivesse uma atuação mais ativa na gestão do seu próprio consumo energético.

A consulta pública mencionada relata *fricções* no mercado Brasileiro em relação ao modelo atual de produção energética e um possível esgotamento do modelo regulatório e comercial vigente no país e que se faz necessário construir uma visão de futuro, contemplando elementos básicos que leve o país à uma matriz energética adaptada às pressões do mercado interno e externo ao qual o setor elétrico brasileiro é exposto, garantindo a satisfação do país e a sustentabilidade dos seus recursos no longo prazo.

Estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2018 mostram (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018) que a matriz energética brasileira, mesmo que menos do que no mundo, faz bastante utilização de energia não renovável, somando 57,1% de toda a energia produzida no país, onde 36,4% é apenas para petróleo e derivados, forma extremamente poluente de se produzir energia.

O Brasil se destaca de outros países do mundo na utilização de hidroelétricas e derivados da cana, entretanto, mesmo que menos poluente que a utilização de carvão e petróleo, as hidroelétricas apresentam problemas diferentes mas tão importantes quanto: São extremamente caras de se construir (BAGHER, 2015) o que faz com que só valha a pena em casos onde a usina seja usada por longos anos, impossibilitando o uso desse tipo de energia para operações curtas. Além disso, o alagamento necessário para as hidroelétricas é extremamente destrutivo para o local, há como argumentar que este processo é ainda mais poluente do que a queima de combustíveis fósseis (BAGHER, 2015) por culpa do alagamento e desutilização do espaço, pela morte de civilizações nativas inteiras e pela

produção de gases que contribuem para o efeito estufa que são gerados pela morte de espécies vegetais alagadas (DUCHEMIN, 1995).

Portanto, apesar de ainda possuir uma matriz energética mais diversificada e menos poluente (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018) do que países europeus, o Brasil ainda é capaz de melhorar seu quadro de produção de energia e emissão de gases que contribuem para o efeito estufa diversificando mais ainda mais sua malha energética e decentralizando a produção de energia elétrica.

Como é discutido na consulta pública Nº 33 DE 05/07/2017, faz parte das ações governamentais para possibilitar essa decentralização da produção de energia a remoção de barreiras de participação de agentes no mercado, ou seja, remover os limites e as restrições da produção de energia decentralizada, facilitando e incentivando o aparecimento desses atores produtores e a geração de energia elétrica. Dentre essas mudanças, destacam-se a redução gradativa da exigência de carga para contratar energia elétrica no mercado livre, a redução das responsabilidades das distribuidoras em relação à gestão de compra de energia, maior granularidade temporal e talvez até mesmo cálculo em tempo real do preço, a diminuição de incentivos governamentais para melhorar o ambiente de mercado livre na comercialização de energia e a homogeneização do produto energia.

Entretanto, a decisão de decentralizar e permitir o livre mercado de energia elétrica não surge sem levantar novas questões. A legislação já determina quem pode vender e comprar e como a produção deve ser feita, entretanto, ela não sugere maneiras concretas para a realização de ambos. É necessário um mecanismo que possibilite o controle de quanta energia é gerada, vendida e recebida, também é necessário um sistema que garanta a segurança das transações de compra e venda e também uma maneira de transmitir as informações dos geradores de energia em grandes distâncias, já que a produção normalmente se faz em interiores onde a comunicação não é simples e a cobertura de operadoras de telecomunicações é baixa. Além disso, seria interessante que todo esse sistema não fosse caro em termos energéticos, caso contrário, não resolveria o problema do desperdício de energia já citado.

São objetivos deste trabalho estudar uma forma eficiente e segura de realizar a operação de decentralização da energia no país e a transição para um paradigma de *smart energy* (energia inteligente), onde a energia é produzida, vendida e distribuída utilizando técnicas de segurança de dados e sistemas avançados de telecomunicações para garantir um funcionamento orgânico de todos os tramites que populam a causa.

## 1.1 Energia Inteligente

Energia inteligente, *smart grid*, *smart energy*, são termos que são usados não para tecnologias especificamente mas sim para conceitos maiores que utilizam de um vasto espectro de tecnolgas para criar uma forma completamente diferente de gerar, fornecer, comprar e utilizar energia elétrica (FALCÃO, 2010). A prática permite uma série de controles e possibilidades que não existem em um sistema de alimentação energético comum, principalmente permitindo a implatação de estratégias de controle e otimização da transmissão de maneira inteligente. O desenvolvimento da energia inteligente produz

uma infra-estrutura de produção e comunicação de dados importantes sobre a geração de energia (FALCÃO,2010).

As características que diferenciam a geração, venda e transmissão de energia elétrica por sistemas inteligentes de sistemas normais são (FALCÃO, 2010):

- Capacidade de um sistema se auto recuperar ou evitar a falta de energia elétrica;
- Participação dos dados e vontades dos consumidores no planejamento da produção da energia;
- Capacidade de resistir a ataques físicos e *cyberattacks*;
- Maior qualidade e estabilidade da energia elétrica;
- Acomodação de várias maneiras de produção energética diferentes em uma única rede;
- Redução do impacto ambiental;
- Resposta exata a demanda;
- Favorecimento do mercado descentralizado de energia elétrica: diminuição de preços e maior relação entre produtor de energia e consumidor.
- Menor desperdício de energia em transmissões à longa distância.

O principal fator que concebe todas essas vantagens é a quantidade de tecnologia de segurança, tratamento, processamento e transmissão dos dados dos atores geradores dessa rede elétrica. Isso, junto com uma grande adesão da energia inteligente em um local, gera maior capacidade, menos risco, menos desperdício, menor preço e maior competitividade nas transações e no uso da energia, colocando o consumidor como atuante determinante na produção e não só no consumo.

Dentre as tecnologias necessárias para desenvolver um sistema de *smart grid*, o passo primordial é implementar uma geração de energia distribuída, conhecida como Micro-geração (FALCÃO, 2010), onde a rede é mais variada e com pequenos geradores de qualquer fonte. Isso permite a utilização de pequenas usinas de energia renovável (fotovoltaica, eólica, etc), todas conectadas juntas a um sistema energético mais disperso e menos centralizado, cada um com a capacidade de fornecer e vender energia. Depois da implementação dos micro-geradores, é interessante possuir informações sobre a rede, consumidores e fornecedores: Dados sobre a medição da energia elétrica produzida na região para estipulação de um preço variável, sobre o consumo total e particular de cada consumidor, sobre a capacidade atual de todo o sistema de gerar energia, etc.

É este conjunto de informações que batiza o conceito de Energia Inteligente, é a energia não mais sendo gerada de maneira descontrolada e arbitrária, mas sim através do processamento e compreensão de dados determinantes para o funcionamento. Através de informações úteis é possível alcançar (FALCÃO, 2010) as características citadas acima, neste texto.

## 1.2 Blockchain

No ano de 2008, um artigo chamado "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*", escrito pelo pseudônimo Satoshi Nakamoto, foi lançado propondo a primeira criptomoeda, batizada de BitCoin pelo próprio autor. Compreendendo o contexto histórico é fácil de entender o porquê: o mundo vivia uma crise econômica global e transações financeiras pela internet ficavam cada vez mais comuns, entretanto a desconfiança com o meio ainda era alta e uma nova ferramenta precisava ser proposta para o uso em massa do comércio online.

Até o presente ano, a popularidade da criptomoeda cresceu, mas não o suficiente para torná-la uma moeda global como Nakamoto sugere em seu artigo (NAKAMOTO, 2008), entretanto, o autor apresentou, com o artigo, uma solução para o problema de segurança de trocas financeiras em ambientes digitais, conhecido hoje como Blockchain.

A tecnologia consiste em um conjunto de registros (PUTHAL, 2018) (ou ledgers) digitais, chamados aqui de blocos, compartilhados de forma descentralizada e possuindo um conteúdo e um identificador (hash). A descentralização da informação garante a segurança do sistema, já que um registro centralizado facilita ataques (PUTHAL, 2018). A blockchain elimina a necessidade de um ator central em transações pela internet utilizando um registro público, imutável, descentralizado e incorruptível. A tecnologia ainda guarda todas as informações de todas as transações já realizadas pelo sistema (HASSAN et al., 2019), permitindo a qualquer usuário da cadeia visualizar transações relacionadas a eles à qualquer momento, de toda a história, transações essas que não podem ser modificadas nem deletadas por nenhum ator da blockchain.

Um bloco de um sistema baseado em blockchain consiste nos participantes (ou atores) do sistema em uma conexão *Peer-to-Peer*, *hashes* criptográficas e assinaturas digitais. Desta forma, quando um agente quer realizar uma transação ele faz o *broadcast* da sua assinatura digital pela rede com sua requisição e uma chave pública que é verificada por todos os nós da rede (PUTHAL, 2018). Após o pedido ser validado, e transformado em uma *hash*, todos os blocos da cadeia o verificam e o armazenam, descentralizando a transação, que fica guardada em blocos pela rede.

Apesar do artigo de Nakamoto sugerir o uso da rede de blocos para *criptomoedas*, as aplicações de blockchain hoje em dia são muito vastas e nem sempre relacionadas a transações monetárias (HASSAN et al., 2019). A segurança da informação tornou-se ainda mais importante com o passar dos anos e é possível perceber aplicações atuais e futuras da tecnologia em Internet das Coisas (IoT), sistemas governamentais, transações inteligentes, carros inteligentes, smartphones, identificação pessoal, certificados, entre outros (PUTHAL, 2018).

## 1.3 LPWAN

As Redes de área ampla de baixa potência (*Low Power Wide Area Network*), ou simplesmente LPWAN, representam um novo paradigma da comunicação sem fio (RAZA, 2017), com o objetivo de realizar a comunicação principalmente onde ela não existe ou é muito cara. Os locais onde não há cobertura da rede de celular nem de redes wireless de

curto alcance normalmente representam grandes interiores fora da cobertura também de rede cabeada, ou seja, a comunicação beira o impossível e aplicações onde a transferência de dados é essencial são simplesmente descartadas pela falta de possibilidade.

Como o nome sugere, as LPWAN são geridas por dispositivos que utilizam baixíssima energia para funcionar (RAZA, 2017), possibilitando a utilização de baterias de longa duração para fazer com que a transmissão de dados seja ininterrupta por longos períodos de tempo. Essa característica é, novamente, bastante útil para aplicações funcionando no interior, onde até mesmo ligações com a energia elétrica são dificultadas. Um exemplo desse cenário são as *smart farms*, fazendas inteligentes que utilizam sensores (umidade, incidência de luz, altura das plantas, etc) e outros dispositivos para gerir plantações, que são posicionados em meio à hectares sem conexão alguma com a rede elétrica.

Esta característica de baixo consumo energético é uma das vantagens deste tipo de transmissão sobre redes celulares, onde a eficiência energética não é grande o suficiente nem para manter os dispositivos funcionando por tempo suficiente antes da troca de alimentação, nem para manter a vida útil das próprias baterias por mais de 10 anos como às vezes é necessário (RAZA, 2017).

Entretanto, o baixo consumo energético não impede que as LPWANs possuam a capacidade de transmissão de dados à longa distância, com aplicações que possuem capacidade de transmissão de até muitas dezenas de quilômetros entre os dispositivos de comunicação, principalmente pelo uso de frequências abaixo de 1GHz, aumentando a propagação e a distância possível para a comunicação.

Essas duas características tornam esse tipo de rede bastante peculiar e útil para aplicações em *smart cities*, *IoT*, monitoramento industrial, monitoramento de estruturas, *smart farms*, monitoramento industrial, monitoramento e rastreamento de animais selvagens e *smart grids*, principalmente se levar em consideração a capacidade da tecnologia de fazer a conexão com vários dispositivos entre si.

Às custas de baixo consumo energético e longo alcance, LPWANs não possuem alta taxa de transferência (RAZA, 2017) e, para as aplicações citadas, isso não é um problema: monitoramento e o envio de informações de controle normalmente não precisam de altas taxas de transmissão de dados. Desta forma, o apelo das redes de área ampla e baixa potência é gigantesco e surgem no momento de necessidade, quando a internet das coisas e o monitoramento inteligente estão modificando os meios de produção no mundo.

Além disso, o sucesso comercial das LPWAN, vem atrelado ao baixo custo dos dispositivos, sendo possível (RAZA, 2017) construir uma rede inteira com um grande número de dispositivos conectados com poucos dólares de custo de *hardware*.

Três exemplos de protocolos e tecnologias de transmissão LPWAN bastante utilizados são SIGFOX, LoRa e NB-IoT.

### 1.3.1 SIGFOX

Conectando redes ponto a ponto, a SIGFOX utiliza rádio definido por software (RAZA, 2017) para conectar os dispositivos à estação base utilizando uma rede IP. Os equipamentos de ponta se conectam à essas estações utilizando modulação BPSK em uma

banda de portadora ultra estreita (em torno de 100HZ). Por utilizar banda ultra estreita, a SIGFOX faz bom uso da largura de banda e experiencia baixo nível de ruído fazendo transferência máxima de 100 bits por segundo.

### 1.3.2 LoRa

LoRa é uma tecnologia (RAZA, 2017) de camada física de transmissão que modula sinais com frequência abaixo de 1GHz utilizando uma técnica criada e empregada apenas nessa aplicação. A técnica espalha um sinal de banda estreita em um canal com banda maior, resultando em um sinal mais difícil de detectar, entretanto mais resiliente a interferências e ruído.

Com capacidade de transmissão que varia de 300 bites por segundo até alguns poucos milhares de bits por segundo, o LoRa tem sensibilidade de recepção gigantesca, baixo consumo energético, grande alcance e taxa de transmissão razoável para as aplicações onde é necessário.

Outras tecnologias LPWAN bem como suas características podem ser analisadas e comparadas na tabela 1. Algumas das características possuem variações devido a legislações e utilização da banda de frequência referente a cada país, sendo que algumas dessas informações foram omitidas, visto que o objetivo da tabela é apenas mostrar as capacidades das tecnologias.

**Table 1 - Comparação entre tecnologias LPWAN (RAZA, 2017, Modificada)**

	SIGFOX	LoRaWAN	Ingenu	Telensa
Modulação	UNB DBPSK, GFSK	CSS	CDMA	UNB 2-FSK
Banda	800-902MHz	400-915MHz	ISM 2.4GHz	400-915MHz
Taxa	100-600 bps	0,3-37.5 kbps	19,5-78 kbps	62,5-500 bps
Nº de Canais	360	10	40	Indefinido
Distância (Rural)	10km	5km		
Distância (Urbana)	50km	15km	15km	1km
Correção de erros	Não	Sim	Não	Não

### 1.4 Aplicações de LPWAN e Blockchain em *smart grids*

Tendo visto as necessidades e empecilhos da criação de sistemas de energia inteligente, fica claro como as tecnologias citadas podem ajudar na construção destes sistemas e na resolução dos seguintes problemas destas aplicações (HASSAN et al., 2019), (FALCÃO, 2010):

1. Segurança do mercado de energia: O mercado deve ser seguro e transparente, capaz de realizar transações rápidas, quase que imperceptíveis, sem dar a oportunidade a qualquer um dos atores da transação ou a terceiros de falsificar dados: Tudo isso pode ser feito com o uso de blockchains, que garantem a segurança e a imutabilidade dos dados de transações.

2. O mercado deve se auto regular constantemente, variando o valor da energia conforme houver demanda: Outro fator que pode ser resolvido utilizando uma grande rede de blockchains com vários clientes e provedores de energia, assim como a quantidade de energia gerada e consumida.
3. A necessidade de processamento de dados remotos em locais sem cobertura de redes celular: Possível com a utilização de redes LPWAN, escolhendo a tecnologia com custo/benefício mais favorável dependendo das condições de funcionamento.

Recentemente (JCSSE, 2019), o uso de blockchain foi muito ampliado para aplicações em *IoT*, principalmente pela já citada alta capacidade de realizar transferência de dados com alta segurança. Entretanto, pouco se falou sobre o desenvolvimento de um sistema sem fio para IoT baseada em Blockchain, principalmente envolvendo o comércio de energia elétrica.

Um sistema simulação foi desenvolvido e testado por Zhuoxian Huang, Kongrath Suankaewmanee, Jiawen Kang, Dusit Niyato e Ng Pei Sin e publicado no 16<sup>o</sup> JCSSE, em 2019, utilizando SIGFOX *indoor* e *outdoor* como tecnologia de transmissão de dados LPWAN e blockchain para criar os *smart contracts* e realizar transações reais. Com resultados positivos, foi possível concluir a possibilidade da realização da operação utilizando as tecnologias mencionadas em ambas as áreas urbanas e rurais, trazendo bons resultados para o objetivo de gerar energia de uma maneira mais inteligente e garantir todas as vantagens já mencionadas da descentralização da produção de energia elétrica.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

Identificar as potencialidades, as limitações, desafios e abrangência do uso das tecnologias blockchain e LPWAN no mercado de comercialização e gerenciamento de geração de energia.

### 2.2 Objetivos Específicos

1. Estudar a implementação e implementar, se viável, uma blockchain;
2. Compreender o funcionamento de sistemas de transmissão LPWAN LoRa;
3. Realizar testes com a tecnologia LoRa para a transmissão de informação chave da operação de energia inteligente;
4. Simular um cenário simplificado com todos os agentes de uma transação de compra de energia utilizando a blockchain; implementada e a transmissão de dados de produção, consumo e preço da energia elétrica via LoRa;
5. Analisar a viabilidade e potencial do sistema desenvolvido em simulação e apontar potencialidade e desafios para a produção em massa de energia elétrica via *smart energy* no Brasil.



### 3 Metodologia

Estudar as dificuldades da implementação e do uso geral de uma blockchain, assim como fazer o estudo do uso da blockchain para a aplicação em específico (compra e venda de energia). Estudar a capacidade de redes de transmissão LPWAN (especialmente LoRa) de transmitir os dados da aplicação com taxa necessária com a capacidade de economia energética em longas distâncias.

Simular e implementar um sistema modelo onde possa ser possível verificar a capacidade do funcionamento de ambas as tecnologias para o funcionamento das transações e monitoramento em *smart energy*.

### 4 Resultados Esperados

Espera-se que exista a capacidade da criação de uma rede de blockchain capaz de realizar as transações necessárias da aplicação. Além disso, o sistema deve ser capaz de monitorar e enviar dados à longas distâncias utilizando um sistema de comunicação LPWAN.

### References

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de junho de 2020. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 30 jul. 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica. In: Matriz Energética e Elétrica. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 24 jun. 2020.

BAGHER, Askari Mohammad et al. Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. American Journal of Energy Science, [S. l.], v. 2, 20 abr. 2015. 2, p. 17-20.

DUCHEMIN, E. et al. Production of the greenhouse gases CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>, by hydroelectric reservoirs of the boreal region. Global Biogeochemical Cycles, [S. l.], p. 529-540, 1 dez. 1995. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/95GB02202>. Acesso em: 24 jun. 2020

JIAYI, Huang; CHUANWEN, Jiang; RONG, Xu. A review on distributed energy resources and MicroGrid. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Shanghai, v. 12, p. 2473-2482, 20 jun. 2007.

OCHOA, Luis F.; HARRISON, Gareth P. Minimizing Energy Losses: Optimal Accommodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation. IEEE Transactions

on Power Systems, Edinburg, p. 198-205, 24 maio 2010.

IEEE INTERNATIONAL CONGRESS ON BIG DATA, 2017, Honolulu, HI, EUA. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends [...]. Honolulu, EUA: [s. n.], 2017.

NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. In: NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [S. l.], 31 out. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2020.

PUTHAL, Deepak et al. The Blockchain as a Decentralized Security Framework [Future Directions]. IEEE Consumer Electronics Magazine, [S. l.], p. 18-21, 18 fev. 2018.

16TH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND SOFTWARE ENGINEERING (JCSSE), 2019, Chonburi, Thailand, Thailand. Development of Reliable Wireless Communication System for Secure Blockchain-based Energy Trading [...]. [S. l.: s. n.], 2019.

HASSAN, Naveed UI et al. Blockchain Technologies for Smart Energy Systems: Fundamentals, Challenges, and Solutions. IEEE Industrial Electronics Magazine, [s. l.], v. 13, 23 dez. 2019.

FALCÃO, Djalma M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belém, Pará, p. 1-5, 18 maio 2010.

RAZA, Usman et al. Low Power Wide Area Networks: An Overview. IEEE Communications Surveys and Tutorials, [S. l.], v. 19, p. 855-873, 17 jan. 2017.