



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
COORDENAÇÃO DE SISTEMAS EM TELECOMUNICAÇÕES
TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELCOMUNICAÇÕES**

JADSON PRADA

**REDE SMART GRID:
TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO**

**MANAUS - AM
2023**

JADSON PRADA

**REDE SMART GRID:
TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial, para obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Esp. Celso Cordeiro

MANAUS - AM
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P896r	<p>Prada, Jadson Augusto Simões. Rede Smart Grid: tecnologias de comunicação / Jadson Augusto Simões Prada. — Manaus, 2023. 46f.: il. (color.).</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, 2023. Orientador: Prof.º Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Inovação tecnológica. 2. Redes de comunicação. 3. Redes inteligentes. 4. Smart Grid. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 621.382</p>
-------	--

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

JADSON AUGUSTO SIMÕES PRADA

REDE SMART GRID: TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Título Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Aprovado em 02 de março de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Presidente/Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.



1º Examinador: Prof. Me. José Geraldo de Pontes e Souza.



2º Examinador: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro.

Manaus - AM

2023

À minha família, minha filha e minha namorada, que suportaram minha ausência nos últimos anos, a fim do meu crescimento pessoal e profissional, dedico a todos os meus familiares e amigos que acreditaram que eu seria capaz de concluir este curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre colocar tudo em seu devido lugar e por me dar energia e saúde. Obrigado, Deus, pelo amor e misericórdia derramada sobre a minha vida.

Agradeço a minha mãe e irmãos, pois confiaram em mim e me deram esta chance de concretizar e encerrar mais uma jornada da minha vida, uma vez que não mediram esforços para que este sonho se realizasse. Eles são o motivo maior que me fez “remover montanhas”.

Aos meus familiares e em especial a minha filha, que no convívio diário me acompanharam e me ajudaram nos dias difíceis. Eles que me incentivaram e inspiraram através de gestos e palavras a superar todas as dificuldades.

A minha namorada e companheira Talice, que de maneira especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades.

Ao meu orientador, professor Celso Cordeiro, pela ajuda contínua no decorrer deste estudo, pela motivação e principalmente pelos ensinamentos passados.

A todos do IFAM, que me ajudaram direta e indiretamente em razão de todo conhecimento adquirido.

A estes, eterna gratidão, sem a ajuda, confiança e compreensão dos quais este sonho não se estaria realizando.

*“De tudo que se tem ouvido, a suma é:
Teme a Deus e guarda os seus
mandamentos; porque isto é dever de
todo homem.”*

(Rei Salomão)

RESUMO:

Dentre diversas descobertas e progressos já alcançados pela ciência, a eletricidade foi uma das mais impressionantes, e hoje em dia, sua presença é fator decisiva para o avanço industrial, econômico e social de qualquer região. Neste sentido, o conceito de *Smart Grid* ganha destaque por ser uma rede inteligente que pode melhorar a eficiência do sistema em geral, considerando a importância da gestão de energia. Entretanto, para que Smart Grids sejam efetivamente confiáveis, é necessária a integração de diversos tipos de equipamentos, tecnologias de comunicação e tratamento de dados. E como delimitação deste estudo, ressalta-se as redes de comunicação que compõem as Smart Grids, como um tema de grande importância nos sistemas de telecomunicações. Neste sentido, o objetivo deste estudo é: Apresentar as tecnologias de comunicação que abrangem o setor de rede Smart Grid. Para tal, realizou-se uma revisão de literatura a partir de publicações, na área de Telecomunicações, Energia e Tecnologia, em bibliotecas de instituições de ensino superior e virtuais como a Scientific Electronic Library Online – SciELO. Verificou-se que o sistema de comunicação é o elemento chave da infraestrutura de Smart Grid, já que todas as iniciativas em Redes Elétrica Inteligentes passam por uma infraestrutura de comunicação. Pois, um sistema elétrico inteligente comuta toda a oferta de energia através da rede de distribuição, gerenciando a necessidade de energia por meio de um sistema de comunicação. As tecnologias estudadas neste estudo foram: Wi-fi, SigFox, LoraWAN, ZigBee, WiSUN e GPRS que são tecnologias que atuam no funcionamento desde a coleta de dados até a apuração das grandezas elétricas monitoradas. Assim, a inteligência da rede reside na capacidade dos dispositivos de se comunicar, trocando informações que possibilitem construir uma rede mais segura e mais eficiente, a partir de um amplo suporte de telecomunicações.

Palavras-Chave: Inovação Tecnológica. Redes de comunicação. Redes Inteligentes. Smart Grid.

ABSTRACT:

Among several discoveries and progress already achieved by science, electricity was one of the most impressive, and today, its presence is a decisive factor for the industrial, economic and social advancement of any region. In this sense, the concept of Smart Grid is highlighted as an intelligent network that can improve the efficiency of the system in general, considering the importance of energy management. However, for Smart Grids to be effectively reliable, it is necessary to integrate different types of equipment, communication technologies and data processing. And as a delimitation of this study, the communication networks that make up the Smart Grids are highlighted, as a topic of great importance in telecommunications systems. In this sense, the objective of this study is: To present the communication technologies that cover the Smart Grid network sector. To this end, a literature review was carried out based on publications in the area of Telecommunications, Energy and Technology, in libraries of higher education institutions and virtual libraries such as the Scientific Electronic Library Online - SciELO. It was verified that the communication system is the key element of the Smart Grid infrastructure, since all initiatives in Smart Electric Grids pass through a communication infrastructure. Therefore, an intelligent electrical system switches the entire supply of energy through the distribution network, managing the need for energy through a communication system. The technologies studied in this study were: Wi-Fi, SigFox, LoraWAN, ZigBee, WiSUN and GPRS, which are technologies that operate from data collection to the calculation of monitored electrical quantities. Thus, the intelligence of the network resides in the ability of the devices to communicate, exchanging information that makes it possible to build a safer and more efficient network, based on a broad telecommunications support.

Keywords: Technological Innovation. Communication networks. Smart Networks. Smart Grid.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Escopo IoT.	18
FIGURA 2 - Blocos básicos da IoT.....	20
FIGURA 3 - Comparação entre uma rede elétrica padrão e uma rede inteligente (Smart Grid).	23
FIGURA 4 - Medidor eletromecânico à esquerda e medidor IoT inteligente, à direita.	26
FIGURA 5 - Estrutura do medidor convencional em comparação a de medição avançada (AMI).	27
FIGURA 6 - Tecnologias das redes inteligentes.....	28
FIGURA 7 - Fluxo de informações na smart grid.....	30
FIGURA 8 - Comparativo entre as redes de comunicação.	34
FIGURA 9 - Logotipo do protocolo 6LowPAN.	36
FIGURA 10 - Logotipo da tecnologia Wi-fi.....	37
FIGURA 11 - Logotipo do protocolo SIGFOX.....	38
FIGURA 12 - Topologia da infraestrutura SIGFOX.	38
FIGURA 13 - Logotipo da aliança LoRa.	39
FIGURA 14 - Topologia da rede de comunicação LoRa.	40
FIGURA 15 - Logotipo do protocolo ZigBee.....	41
FIGURA 16 - Logotipo da Wi-SUN Alliance.....	42

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 - Definições de IoT.....	19
-----------------------------------	----

LISTA DE ABREVEAÇÕES, SÍMBOLOS E SIGLAS

AMI - Advanced Meter Infrastructure
CCM - Centros de Controle de Medição
EXI - Efficient XML Interchange
GPRS - Serviços Gerais de Pacote por Rádio
HAN - Home Area Network
IEA - International Energy Agency
IETF - Internet Engineering Task Force
IOT – Internet of Things
IP - Internet Protocol
LoRaWAN - Long Range Wide Area Network
LPWAN - Low Power Wide Area Network
MDMS - Meter Data Management Systems
NAN - Neighborhood Area Network
NFC - Near Field Communication
NIST - National Institute for Standards and Technology
OWL - Web Ontology Language
RDF - Resource Description Framework
RFID - Identificação por Radio Frequência
RSSF - Rede de Sensores Sem Fio
SEP - Smart Energy Profile
SUNs - Smart Metering Utility Networks
UC - Unidades Consumidoras
WAN - Wide Area Network
WLAN - Wireless Local Area Networks
WMAN - Wireless Metropolitan Area Network
WPAN - Wireless Personal Area Networks

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 INTERNET DAS COISAS.....	17
3 SMART GRID.....	21
3.1 APLICAÇÕES DA IOT FRENTE AS SMARTS GRIDS.....	24
4 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO.....	29
4.1 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	31
4.1.1 Protocolos de internet IPV4 e IPV6.....	31
4.2 REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO.....	33
4.2.1 Padrões 802.x.....	34
3.2.1.1 Padrão IEEE 802.15.4.....	34
4.2.1.2 Padrão 802.15.4g.....	35
4.3 PROTOCOLOS DE INTERNET PARA IOT.....	35
4.3.1 6lowpAN – Low power wireless personal area networks.....	35
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO.....	36
4.4.1 Wi-Fi.....	36
4.4.2 SigFox.....	37
4.4.3 LoraWAN.....	39
4.4.4 ZigBee.....	40
4.4.5 WiSUN.....	41
4.4.6 GPRS.....	43
5 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade existiram vários fatos acentuados que impulsionaram mudanças na conduta das pessoas e na maneira como elas vivem. A ciência foi e é a grande responsável por essas transformações habituais, revolucionando e estimulando o desenvolvimento tecnológico de acordo com a vertente de buscar procedimentos e funcionalidades que tornem atividades mais convenientes. Dentre diversas descobertas e progressos já alcançados pela ciência, a eletricidade foi uma das mais impressionantes, e hoje em dia, sua presença é fator decisiva para o avanço industrial, econômico e social de qualquer região (CHAGAS et al., 2020).

Portanto, há muitos anos, a energia elétrica tem se tornado determinante na evolução técnica-econômica no mundo, uma vez que a sociedade depende da energia para executar na prática todas as atividades do seu dia a dia. Desta forma, cada vez mais tecnologias surgem a fim de tornar mais eficiente a geração, a transmissão, a distribuição e o emprego da energia elétrica.

Neste âmbito, a partir da determinação da eletricidade como uma ciência necessária para o progresso, tem-se tornado cada vez mais imprescindível o desenvolvimento de estruturas e tecnologias de produção de energia, distribuição e monitoramento que promovam condições básicas para uma gestão confiável de energia, e de níveis ótimos onde exista controle sobre produção, demanda e previsões que ajudem um melhor emprego da eletricidade. Neste sentido, o conceito de *Smart Grid* ganha destaque por ser uma rede inteligente que pode melhorar a eficiência do sistema em geral, considerando a importância da gestão de energia (SANTOS et al., 2022).

Trata-se de uma ferramenta que permite fazer o monitoramento, previsões e melhorias sobre fatores essenciais do sistema de energia. Entretanto, para que Smart Grids sejam efetivamente confiáveis, é necessária a integração de diversos tipos de equipamentos, tecnologias de comunicação e tratamento de dados. E como delimitação deste estudo, ressalta-se as redes de comunicação que compõem as Smart Grids, como um tema de grande importância nos sistemas de telecomunicações.

Pois, apesar da definição de Smart Grids ter surgido com uma opção inovadora, há ainda muitas considerações a serem verificadas em trabalhos conexos a essa

temática. Por conseguinte, estudos em vários âmbitos se fazem indispensáveis para tornar a tecnologia das redes inteligentes ainda mais sólida e difundida, a fim de quebrar os padrões no setor de energia elétrica antigos, não somente no Brasil, mas no mundo (FALCÃO, 2009).

Sabendo-se que as redes de distribuição de energia são, de fato, estruturas muito complexas e abrangem tecnologias e projetos de várias áreas de estudo, uma pesquisa que explique e aborde a necessidade e importância das redes de comunicação que possibilitem manipulação e processamento confiável dos dados produzidos das Smart Grids, é essencial, o que se tornou a motivação para o desenvolvimento desta temática.

Pois, o sistema de comunicação é o elemento chave da infraestrutura de Smart Grid, já que todas as iniciativas em Redes Elétrica Inteligentes passam por uma infraestrutura de comunicação. E para se ter uma infraestrutura de rede elétrica mais inteligente, uma grande quantidade de dados de diversos aplicativos é gerada para análise adicional, controle e métodos de precificação em tempo real. Desta forma, é de enorme importância que as concessionárias de energia elétrica determinem os requisitos de comunicação e achem a melhor infraestrutura de comunicações para manipular os dados de saída e fornecer um serviço confiável, seguro e econômico em todo o sistema. Desta forma, este estudo correlaciona os assuntos sobre as tecnologias de comunicação e busca apresentar dados e informações que sirvam de base para pesquisas futuras sobre o tema.

Diante do exposto, considerando a necessidade de modernização do sistema elétrico brasileiro, por meio da implantação da *Smart Grid*, evidencia-se o seguinte problema científico: Quais as tecnologias de comunicação que abrangem o setor de rede Smart Grid?

Como hipótese ao problema proposto tem-se que: Diversas tecnologias de comunicação são representadas por dois meios principais de comunicação: com e sem fio. Elas podem ser empregadas para transmissão de dados entre medidores inteligentes e utilidades elétricas. Em algumas situações, as comunicações sem fio têm alguns benefícios sobre as tecnologias com fio, como infraestrutura de baixo custo e facilidade de conexão com áreas difíceis ou inacessíveis. Porém, a natureza do caminho de transmissão pode originar a atenuação do sinal. Em contrapartida, as soluções com fio não exibem problemas de interferência e suas funções não são condicionadas a baterias, como ocorre com as soluções sem fio.

De tal modo, esta monografia tem como objetivo geral: Apresentar as tecnologias de comunicação que abrangem o setor de rede Smart Grid.

Para tal, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Compreender o conceito de Internet das Coisas, bem como demonstrar seu uso e suas tecnologias de comunicação no setor de rede Smart Grid;
- b) Apresentar as tecnologias de comunicação e seus protocolos que atendem os requisitos de longa distância e durabilidade de bateria;
- c) Expor o detalhamento das tecnologias, com a finalidade de consolidar os benefícios de sua adoção.

Para alcançar os objetivos levantados, realizou-se uma revisão de literatura, do tipo pesquisa bibliográfica. Segundo Marconi e Lakatos (2011), trata-se de um levantamento de informações em toda a bibliografia já existente, por meio de livros, periódicos de revistas, dissertações, e publicações avulsas, com o objetivo de inserir o pesquisador no contexto de sua temática. Tratou-se de um estudo exploratório de caráter qualitativo.

Esta revisão foi fundamentada em publicações, na área de Telecomunicações, Energia e Tecnologia, de dissertações, teses, artigos científicos de periódicos e capítulos de livros disponíveis em bibliotecas de instituições de ensino superior e virtuais como a Scientific Electronic Library Online – SciELO. O levantamento bibliográfico compreendeu o período de julho a agosto de 2022. Os descritores usados foram: *Smart Grid*, Redes de comunicação, Inovação Tecnológica e Redes Inteligentes; nos idiomas: português, inglês e espanhol. Esses descritores foram utilizados no intuito de entender as tecnologias de comunicação que abrangem o setor de rede Smart Grid.

A seleção de informações foi realizada em setembro de 2022 e a partir de então, deu-se início a elaboração da presente monografia.

Para isso, seguiu-se a seguinte premissa com a finalidade de ordenar e resumir as informações contidas nas fontes, de forma que estas possibilitassem a obtenção de respostas ao problema da pesquisa:

- a) Leitura exploratória de todo o material selecionado, que se tratou de uma leitura rápida, com o objetivo de verificar se a obra consultada era de interesse para o trabalho;

b) Leitura seletiva que consiste em uma leitura mais aprofundada das partes que realmente interessavam;

c) Registro das informações extraídas das fontes em instrumento específico, como autores, ano, método, resultados e conclusões.

Por conseguinte, as informações foram analisadas e discutidas e, por fim, houve a interpretação dos dados. Esta interpretação visou contribuir com as discussões em torno da tecnologia *Smart Grid*.

2 INTERNET DAS COISAS

Para ajudar na compreensão deste estudo, serão expostos aqui os conceitos acerca da Internet das Coisas, que abrange ainda as tecnologias de comunicação e os principais protocolos, que estão por trás das Smart Grids.

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) é uma infraestrutura global que habilita serviços complexos da interconexão entre coisas, sendo elas físicas e virtuais, possibilitando a captura, avaliação e manipulação de dados de maneira independente e inteligente, por meio de muitas tecnologias, tendo a possibilidade de reagir a eventos começados pelos dados alcançados entre essas "coisas" e o ambiente em que estão implantados, baseados nas tecnologias de informação e comunicação (MAGRANI, 2018).

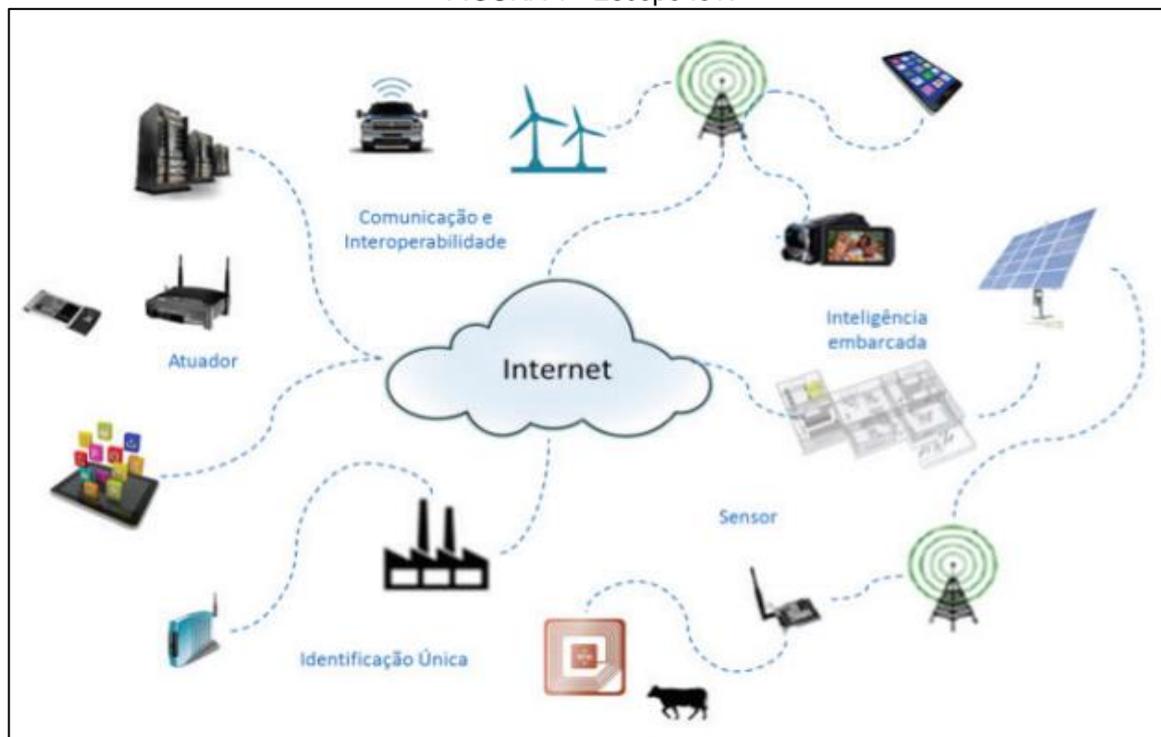
O termo Internet das Coisas foi citado pela primeira vez, em 1999, por Kevin Ashton, um dos fundadores do centro Auto-ID do MIT. Na circunstância, falava-se a respeito da possibilidade de computadores terem o conhecimento de tudo o que fosse possível saber sobre o ambiente ao seu redor sem precisar do suporte e da influência dos usuários (FACCIONI FILHO, 2016).

A partir dessas propriedades e funcionalidades, levando em conta que a Internet das Coisas pode abranger sistemas complexos e com infinitos objetos e interconexões, executando numerosos processos em vários níveis e subníveis, Minerva et al. (2015, p. 74) apresentou tal definição de IoT:

A IoT – Internet of Things – compreende uma rede complexa, adaptativa e autoconfigurável, que interconecta "coisas" à Internet por meio de protocolos de comunicação normatizados. As "coisas" interconectadas têm representação física ou virtual no mundo digital, capacidade de atuação/sensoriamento, funcionalidade de programação e identificação única. Tal representação contém informações da identidade, status, localização e informações privadas ou sociais relevantes da "coisa". A "coisa" oferece serviços, com ou sem intervenção humana, por meio de identificação única, coleta de dados, comunicação e capacidade de atuação. A exploração dos seus serviços se dá pelo uso de interfaces inteligentes e pode ser feita de qualquer lugar, a qualquer tempo e com segurança.

Conforme esta definição, a FIGURA 1 exibe uma visão geral do desígnio da IoT.

FIGURA 1 - Escopo IoT.



Fonte: Faccioni Filho (2016).

De acordo com Ashton (2009), se tivéssemos computadores que tivesse conhecimento principalmente, sobre as coisas em geral, empregando dados que colhêssemos sem nosso auxílio - seríamos capazes de rastrear e contar tudo, e diminuir muito o desperdício, a perda e os custos. Assim, saberíamos quando é preciso trocar, consertar ou fazer um *recall* de um produto, e se estão novos ou extrapolados. Precisa-se capacitar os computadores com seus próprios meios de colher informações, para que seja possível ver, ouvir e cheirar o mundo sozinhos. O Identificação por Radio Frequência (RFID) e a tecnologia de sensores capacitam os computadores a enxergar, detectar e compreender o mundo sem as barreiras dos dados implantados pelos humanos.

Percebe-se que a Internet das Coisas fez surgir o conceito de dispositivos inteligentes, que podem interagir com os componentes de redes existentes, como terminais, roteadores e entre outros (MAROTTA et al., 2013).

O Quadro 1, a seguir, apresenta algumas definições de Internet das Coisas encontrados na literatura. Estes conceitos incluem somente as tecnologias, não sendo levado em conta o fator humano, neste relacionamento tecnológico entre as coisas.

QUADRO 1 - Definições de IoT.

AUTOR	DEFINIÇÃO
Atzori et al (2010)	A ideia básica desse conceito é a presença generalizada à nossa volta de uma variedade de coisas ou objetos – como tags de identificação por radiofrequência (RFID), sensores, atuadores, telefones celulares, etc. – que, por meio de esquemas de endereçamento exclusivos, são capazes para interagir uns com os outros e cooperar com outros objetos para alcançar objetivos comuns
CASAGRAS (2010)	Uma infraestrutura de rede global, interligando objetos físicos e virtuais por meio da exploração de captura e comunicação de dados e capacidades de comunicação. Essa infraestrutura inclui a internet existente e em evolução, bem como os desenvolvimentos de rede. Ela oferecerá identificação de objetos específica e capacidade de sensoriamento e de conexão como base para o desenvolvimento de aplicações e serviços independentes cooperativos. Estes serão caracterizados por elevado grau de captura autônoma de dados, transferência de eventos, conectividade e interoperabilidade de rede.
ETSI (2011)	Comunicação máquina-máquina é a comunicação entre duas ou mais entidades que não precisam necessariamente de uma intervenção humana direta. Os serviços M2M pretendem automatizar o processo de decisão e comunicação.
Dias (2016)	Uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados por meio da interligação das coisas (físicas e virtuais) baseada na interoperabilidade das tecnologias de informação e comunicação existentes e em evolução. NOTA 1 – Por meio da exploração das capacidades de identificação, captura de dados, processamento e comunicação, a IoT faz pleno uso das coisas para oferecer serviços a todos os tipos de aplicações, garantindo o cumprimento dos requisitos de segurança e privacidade. NOTA 2 – A partir de uma perspectiva mais ampla, a IoT pode ser compreendida como uma visão com implicações tecnológicas e sociais.
Friedewald e Raabe (2011)	Ubiquidade, computação pervasiva, ambiente inteligente e internet das coisas são conceitos praticamente idênticos. Ubiquidade é a contínua otimização e promoção de processos sociais e econômicos por inúmeros microprocessadores e sensores integrados ao ambiente.
CERP IoT (2009)	Uma infraestrutura de rede dinâmica e global com capacidades de autoconfiguração baseadas em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis nos quais as 'coisas' físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos, personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e são completamente integradas na rede de informação. Na IoT é esperado que as 'coisas' se tornem participantes ativas dos negócios e dos processos informacionais e sociais nos quais eles são capazes de interagir e comunicar-se entre eles e com o ambiente através da troca de dados e informação percebida sobre o ambiente, enquanto reagem de forma autônoma aos eventos do 'mundo físico/real' e o influenciam ao iniciar processos que engatilham ações e criam serviços com ou sem intervenção humana direta.

Fonte: Atzori et al (2010); CASAGRAS (2010); ETSI (2011); Dias (2016); Friedewald e Raabe (2011); CERP IoT (2009).

Segundo Marotta et al. (2013) e Faccioni Filho (2016), objetos que compõe a Internet das Coisas têm tais requisitos:

- a) Forma: Ter um objeto físico;
- b) Identificação: Ter um nome e endereço na internet;
- c) Comunicação: Poder fazer o envio e recebimento de informações com outros dispositivos;
- d) Interação: Compartilhar informações para outros objetos da rede;

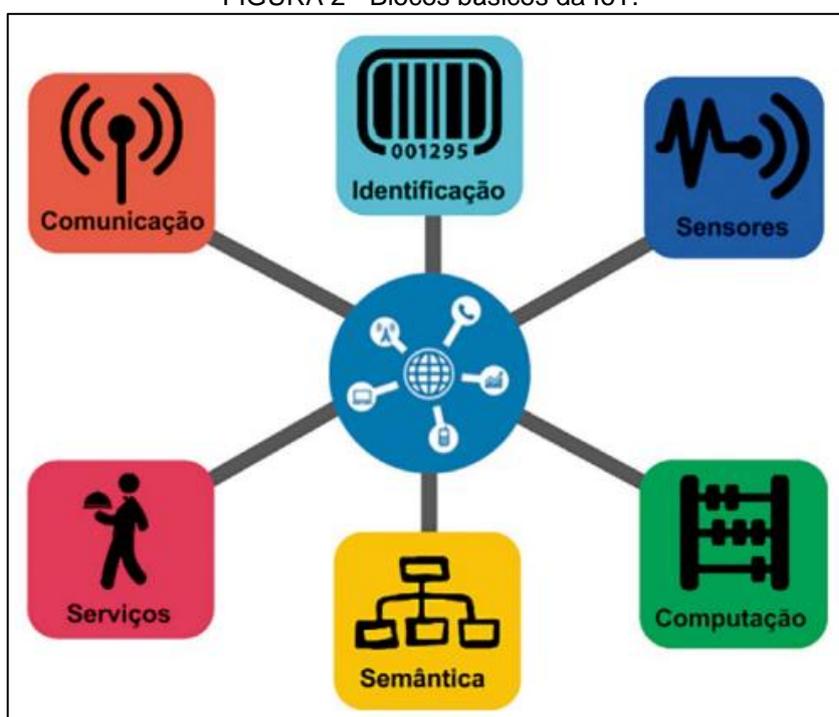
- e) Inteligência: Processar mesmo de forma básica informações colhidas;
- f) Sensoriamento: Colher informações do meio em que está instalado e trabalhando.

Desta forma, os objetos ou coisas inteligentes participam ativamente nos negócios, no intercâmbio de informações e em processos sociais. Esses objetos inteligentes são assinalados pela agilidade de interação e comunicação entre si por meio da troca de dados ou informações coletadas através de sensores eletrônicos que transformam os sinais analógicos do ambiente em sinais digitais (ALI et al., 2015).

Por meio da combinação de várias tecnologias, a Internet das Coisas tem diminuído a distância de monitoramento e gerenciamento de processos de forma crescente nos últimos anos, permitindo que bilhões de dispositivos se conectem.

A IoT pode ser notada como a combinação de várias tecnologias, que se complementam no sentido de viabilizar a conexão dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual, como é visto na FIGURA 2, abaixo.

FIGURA 2 - Blocos básicos da IoT.



Fonte: Santos et al. (2016).

De acordo com Dias (2016) e Faccioni Filho (2016), os blocos são:

- a) Identificação: Trata-se de um dos blocos mais importantes, já que é essencial identificar os objetos individualmente para conectá-los à Internet.

Tecnologias como RFID, NFC (*Near Field Communication*) e endereçamento IP podem ser usados para detectar os objetos;

b) Sensores ou Atuadores: São sensores que colhem dados sobre o contexto em que os objetos estão e, na sequência, armazenam e encaminham esses dados para *data warehouse*, nuvens ou centros de armazenamento;

c) Comunicação: Está relacionada as várias técnicas utilizadas para interligar objetos inteligentes, cumpre ainda importante função no consumo de energia dos objetos sendo, assim, um fator crítico. Algumas das tecnologias empregadas são WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4 e RFID;

d) Computação: Abrange a unidade de processamento como, por exemplo, microcontroladores, processadores e FPGAs, executando algoritmos locais nos objetos inteligentes;

e) Serviços: Compreende serviços de identificação (com funções de mapear Entidades Físicas em Entidades Virtuais), de agregação de dados (colhem e resumizam dados homogêneos ou heterogêneos adquiridos dos objetos inteligentes), de colaboração e inteligência (tomam decisões e reagem de modo apropriado a um apontado cenário) e de ubiquidade (promovem serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento ou lugar necessários);

f) Semântica: Está relacionada à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Podem ser empregadas técnicas de *Resource Description Framework* (RDF), *Web Ontology Language* (OWL) e *Efficient XML Interchange* (EXI).

3 SMART GRID

Para Araújo et al. (2009), uma *Smart Grid* é uma rede de eletricidade que emprega tecnologia digital para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade a partir de todas as fontes de geração, achando muitas demandas e usuários. Essas redes serão capazes de coordenar as necessidades e capacidades de todos os geradores, operadores, usuários finais e *stakeholders* do mercado, a fim de melhorar o uso e operação dos ativos no processo, reduzindo os custos e impactos ambientais enquanto sustentam a confiabilidade, resiliência a constância do sistema.

Assim, *Smart Grid* é mais do que uma tecnologia característica para resolver os problemas da atual matriz energética ou buscar transformar a vida dos usuários. É um conceito amplo que faz a utilização de várias tecnologias para controlar por meio

de automação e comunicações toda a rede elétrica, o que oferece uma infraestrutura mais conexa entre geração, transmissão e distribuição de energia (FALCÃO, 2010).

De acordo com Falcão (2010), as propriedades na maioria das vezes conferidas à *Smart Grid* são:

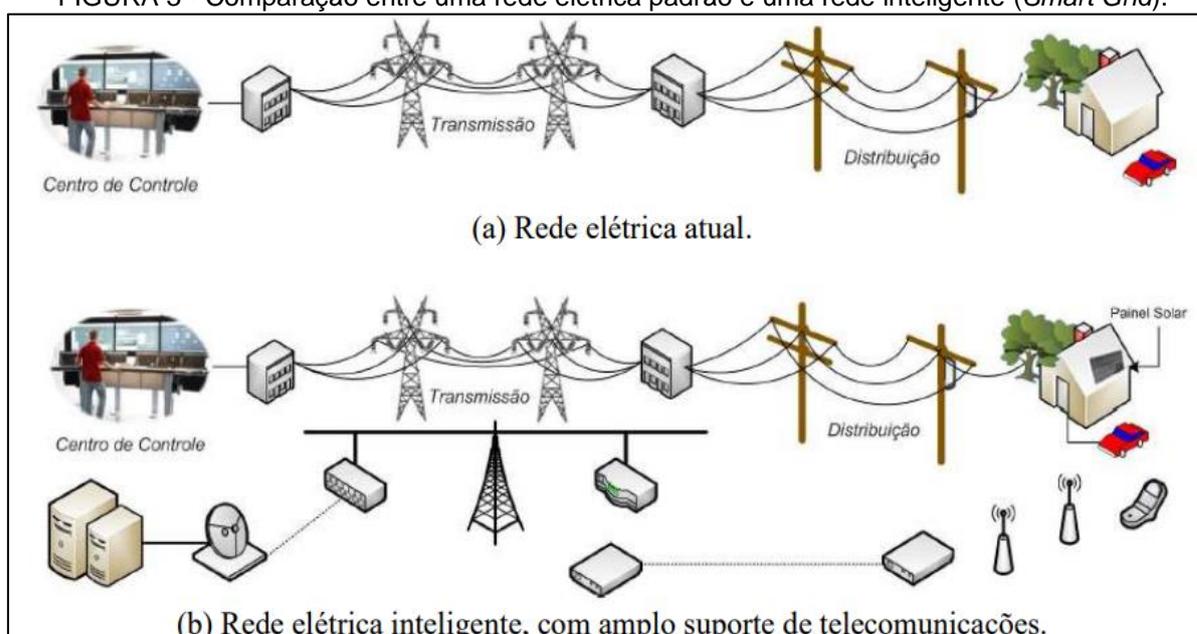
- a) Autorrecuperação: capacidade de automaticamente identificar, analisar, responder e restaurar falhas na rede;
- b) Fortalecimento dos Consumidores: habilidade de abranger os equipamentos e conduta dos consumidores nos processos de projeto e operação da rede;
- c) Tolerância a Ataques Externos: capacidade de suavizar e resistir a ataques físicos e cyber-ataques;
- d) Qualidade de Energia: fornecer energia com a qualidade ordenada pela sociedade digital;
- e) Acomodar uma grande quantidade de fontes e demandas: capacidade de unir de forma transparente (*plug and play*) uma variedade de fontes de energia de diversas dimensões e tecnologia;
- f) Diminuir o impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade, diminuindo perdas e empregando fontes de baixo impacto ambiental;
- g) Resposta da demanda mediante a atuação remota em dispositivos dos consumidores;
- h) Viabilizar e beneficiar-se de mercados competitivos de energia, beneficiando o mercado varejista e a microgeração.

As *Smart Grids* buscam atender interesses variados dentre os diversos stakeholders. Com tecnologias inovadoras e ideologia direcionada para questões que extrapolam a diminuição de perdas por parte das empresas fornecedoras de energia, chegando a viabilizar o uso efetivo e eficaz de fontes de energia limpa. Empresas de distribuição energética podem agrupar aos seus sistemas, diversas fontes energéticas, e como há um caminho para chegar à rede por parte do cliente, este pode também vender energia excedente gerada em sua residência ou empresa, por painéis solares, por exemplo, para a companhia energética (FERREIRA, 2010).

Portanto, *Smart Grid* é o termo comumente empregado para descrever a integração dos elementos da rede elétrica com uma infraestrutura de informação, fornecendo numerosos benefícios tanto para os geradores e distribuidores como para os consumidores de eletricidade. Um sistema elétrico inteligente comuta toda a oferta de energia através da rede de distribuição, gerenciando a necessidade de energia por

meio de um sistema de comunicação. Assim, a inteligência da rede reside na capacidade dos dispositivos de se comunicar, trocando informações que possibilitem construir uma rede mais segura e mais eficiente, a partir de um amplo suporte de telecomunicações, como é visto na FIGURA 3.

FIGURA 3 - Comparação entre uma rede elétrica padrão e uma rede inteligente (*Smart Grid*).



Fonte: Calhau et al., 2014.

Assim, redes elétricas inteligentes ou *Smart Grids*, podem oferecer e controlar várias fontes de energia, possibilitando que os usuários optem por quais fontes usar e em quais horários, de maneira que possa diminuir os custos e reduzir os riscos de sobrecarga na rede. O sucesso da *Smart Grid* é condicionado a um *backbone* confiável, resistente, seguro, gerenciável e fundamentado em padrões de infraestrutura de comunicação abertos (POTHAMSETTY e MALIK, 2009).

Pothamsetty e Malik (2009) afirmam que para a distribuidora de energia elétrica é decisivo ter ou inventar uma rede que ofereça conectividade total entre todos os seus elementos de rede, fontes de dados e equipamentos. Assim, a tomada de decisão é realizada com parâmetros mais precisos, sendo essencial para a eficiência no gerenciamento da *Smart Grid*.

Percebe-se que a ideia comum em *Smart Grid* é a conexão da energia, de comunicações e tecnologias de informação para construir uma infraestrutura inteligente de energia elétrica que antecipe um progresso contínuo de aplicações para benefício do usuário final.

O *grid* elétrico atual já está obsoleto, já que não tem um sistema apropriado de gerência e controle de seus aparelhamentos. Atualmente, as telecomunicações e os sistemas de informação possibilitam a concepção de um sistema de gerenciamento, controle e prestação de serviço mais eficiente e inteligente. Com a implantação de uma rede completamente automatizada e inteligente, as concessionárias e distribuidoras poderão fornecer serviços mais confiáveis, eficientes e seguros (MESSIAS, 2009).

Neste panorama de *Smart Grids*, aparecem algumas novas tecnologias que se tornam características acentuadas da rede. Por fim, verificou-se que uma das contribuições das *Smart Grids* é possibilitar que várias fontes de energia estejam disponíveis aos clientes, assegurando um uso mais extenso de energias limpas. Outra grande inovação vista foi que, nas *Smart Grids*, os clientes também podem se tornar fornecedores de energia, com a energia que ele armazenou ou produziu no decorrer do dia, empregando, por exemplo, painéis solares.

Com isso, o fluxo de energia passa a ser bidirecional e os clientes ficam menos dependentes da principal distribuidora de energia. Além da economia, essa inovação também possibilita uma maior robustez a falhas, pois se há problemas no sistema de distribuição principal, ele pode ser cortado e substituído, provisoriamente, pelas fontes alternativas (SANTOS et al., 2022).

3.1 APLICAÇÕES DA IOT FRENTE AS SMARTS GRIDS

Segundo Hledik (2009), hoje em dia, as tecnologias no âmbito da informação, juntamente às da área de comunicação, promovem avanços nos processos em que a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica estão envolvidos. Medição eletrônica, comunicação, sensoriamento, energias alternativas, armazenamento de eletricidade são alguns conceitos ligados a essas tecnologias que fazem parte da definição de *Smart Grid*.

De acordo com Lamin (2013), a rede inteligente é determinada como a introdução em uma grande escala de novas tecnologias e elementos digitais no setor elétrico de forma especial no setor da distribuição. Para o Departamento de Energia dos Estados Unidos, as redes inteligentes reúnem um grupo de tecnologias avançadas, uma metodologia de controle e comunicação que são acionadas em uma rede elétrica (RAHMAN, 2009).

Há várias aplicações para Internet das Coisas, e no setor elétrico evidencia-se esta aplicabilidade em diversas áreas com finalidades financeiras e de fidelização dos consumidores com a companhia, como, segundo Leite et al. (2017) e Castro et al. (2019):

- a) Veículos elétricos e a necessidade cada vez maior de postos de recarga rápida;
- b) Monitoramento e gestão dos ativos da rede de distribuição de energia;
- c) Diminuição do desperdício de energia por meio do controle em tempo real das perdas;
- d) Comunicação entre equipamentos e equipes de campo;
- e) Redes inteligentes com reestabelecimento do sistema para ininterrupção do atendimento;
- f) Medidores inteligentes que possibilitam acompanhar o consumo de energia.

A seguir serão discutidos a Internet das Coisas nos medidores inteligentes (*Smart Meters*) e as tecnologias empregadas para comunicação, que substitui os medidores de energia elétrica eletromecânicos por eletrônicos inteligentes.

O *Smart Meter* identifica e mede o consumo de energia do consumidor e a transmissão dos dados para concessionária, podendo fornecer, em tempo real, além do consumo, valores de qualidade no fornecimento e possibilita o controle de eletrodomésticos e dispositivos nas instalações elétricas do consumidor (SHARMA e SAINI, 2015).

Desta forma, com a adoção dos medidores inteligentes, a concessionária consegue controlar de forma remota o uso da energia realizando corte e religação do fornecimento sem precisar se deslocar presencialmente até a unidade consumidora. Sem contar que a cobrança da energia empregada pode ser acompanhada em tempo real pelo consumidor que pode desta forma, alterar seus hábitos de consumo para diminuir o valor final da fatura (RIGODANZO, 2015).

Para se ter um sistema de medição inteligente de energia é preciso a troca dos medidores eletromecânicos (FIGURA 4 à esquerda) por medidores digitais (Figura 4 à direita) ligados a uma rede sem fio estável.

FIGURA 4 - Medidor eletromecânico à esquerda e medidor IoT inteligente, à direita.



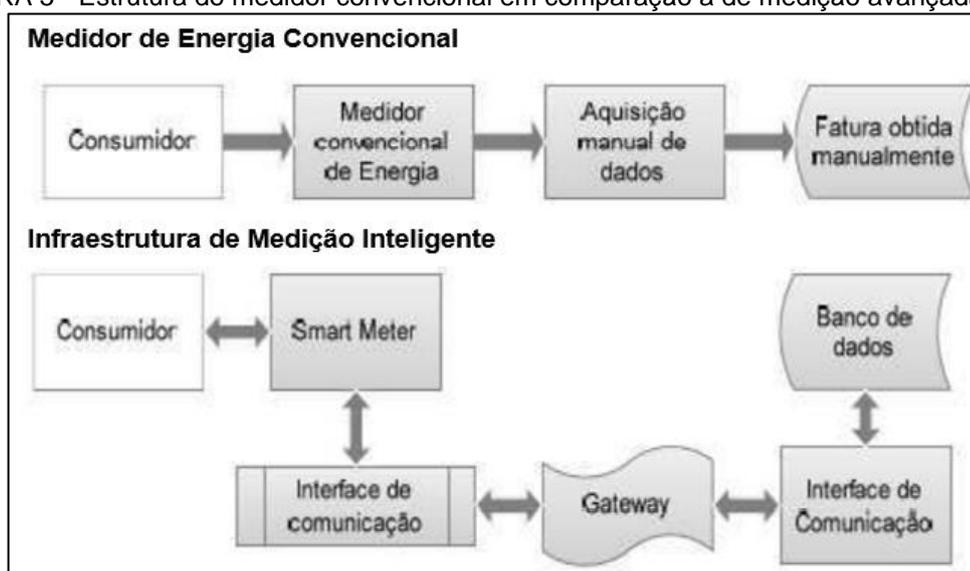
Fonte: Rebelato, 2018.

Os *Smart Meters* são elementos essenciais para a adoção de redes inteligentes por parte das concessionárias, estando ligados absolutamente a infraestrutura avançada de medição ou *Advanced Meter Infrastructure* (AMI).

Souza (2016) destaca que é preciso conectar ao medidor uma plataforma de comunicação que garanta uma via dupla de comunicação confiável entre as Unidades Consumidoras (UC) e os Centros de Controle de Medição (CCM). E desta forma, as concessionárias possuem a função de conectar todos os elementos dessa rede de comunicação, a partir de um Sistema de Gerenciamento de Dados de Medidores (MDMS - *Meter Data Management Systems*).

Assim, esse sistema se comunica com medidores inteligentes, *gateways* e provedores de serviços que surgem com o novo modelo de negócios de redes elétricas inteligentes. Na FIGURA 5, a seguir, pode-se notar as diferenças estruturais entre a dinâmica da medição convencional quanto à infraestrutura da medição inteligente.

FIGURA 5 - Estrutura do medidor convencional em comparação a de medição avançada (AMI).



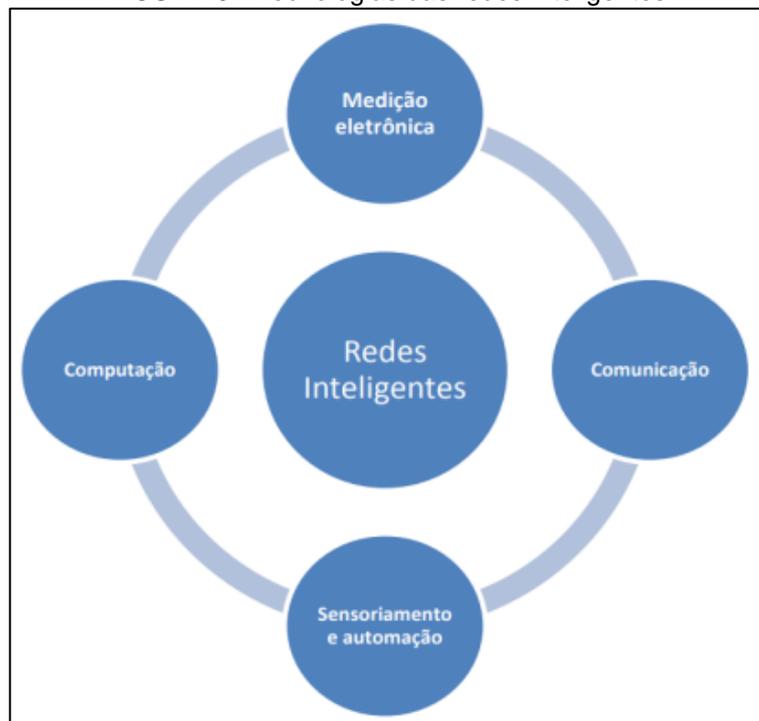
Fonte: Menezes, 2020.

Os *gateways* de consumidores têm a função de se comunicar com utensílios inteligentes dentro das instalações desses consumidores, ligando a rede de média ou longa distância com uma rede local. Esses *gateways* podem se comunicar por meio de redes domiciliares com eletrodomésticos inteligentes, ligando-os ou desligando-os, e de tal modo controlar a carga, considerando a tarifação em função do horário de consumo, a geração de energia pelo consumidor ou ainda possibilitar que consumidores sigam o consumo por meio da Internet, por exemplo. O *gateway* pode até mesmo ser conectado ao medidor inteligente (DAMASCENO, 2016).

Para que esse processo aconteça de forma eficaz, segundo Frota (2012), deve-se levar em conta as tecnologias envolvidas no processo de redes inteligentes, que podem ser separadas em quatro grupos: medição eletrônica, comunicação, sensoriamento/automação e computação como é visto na

FIGURA 6.

FIGURA 6 - Tecnologias das redes inteligentes.



Fonte: Frota, 2012.

Quanto aos protocolos de comunicação dos medidores eletrônicos determinados por meio de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), destaca-se que o sistema de transmissão de dados Wi-Fi é uma norma internacional que estabelece características de uma rede local sem fio, combinada com dispositivos que empregam padrão 802.11 (RUIZ et al., 2004).

A norma IEEE 802.11, *Wireless Local Area Networks* (WLAN), é um padrão antigo com o benefício de possibilitar taxas de dezenas de Mbits/s. Ela é composta por 20 padrões distintos, que determinam otimização, largura de banda e especificação de componentes. Dentre os mais populares tem-se: 802.11b, 802.11g, 802.11n (NETTO et. al., 2013).

Tem-se ainda o Bluetooth que foi padronizado pela norma IEEE 802.15.1, com baixas taxas de transmissão, que vão desde as dezenas de kbit/s até alguns Mbits/s. Apesar de restrita nesta questão, se comparada a IEEE 802.11, que possibilita taxas de dezenas de Mbits/s, o destaque desta norma está no baixo custo e baixo consumo, sendo por isso de maneira especial indicada para RSSF, onde os aspectos relativos a gestão racionalizada de energia são muito importantes (DELPINE et al., 2013).

O padrão de comunicação ZigBee segue a norma IEEE 802.15.4, homologado em maio de 2003, desenvolvido para redes de comunicação que necessitavam de uma baixa taxa de transmissão de dados e uma elevada robustez. Trata-se da tecnologia ideal para o monitoramento de energia, automação residencial e leitura automática de medidores. Prova disso é que o *ZigBee Smart Energy Profile* (SEP) foi empregado como o padrão de comunicação mais apropriado para o domínio de rede de um *Smart Grid* residencial pelo U.S. National Institute for Standards and Technology (NIST) (CECATTI, 2011).

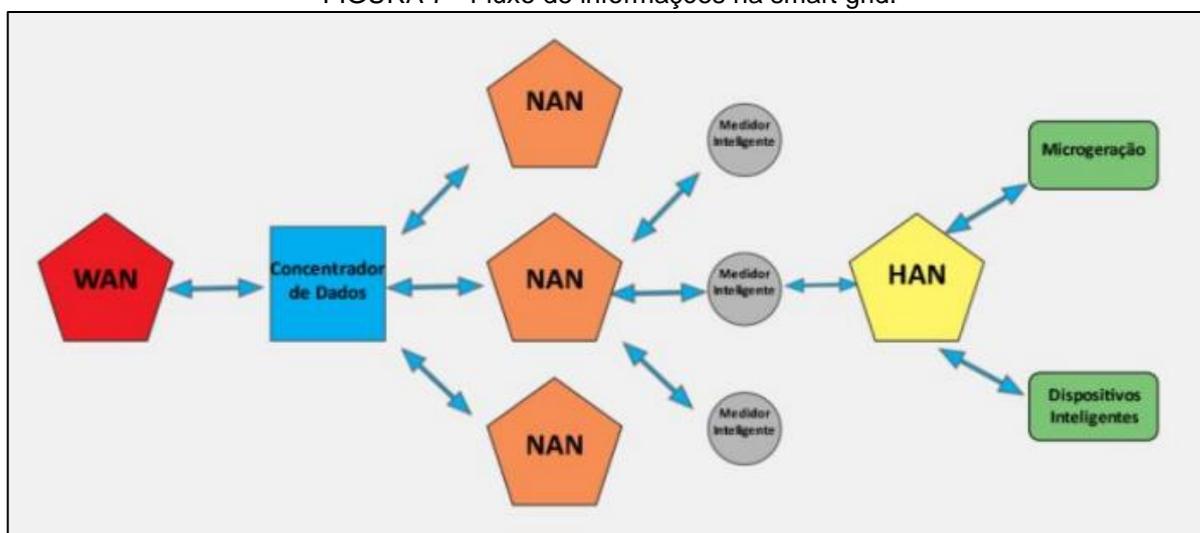
Baseada no padrão IEEE 802.15.4, conhecida também por *Wireless Personal Area Networks* (WPAN), o MiWi é uma pilha protocolar proprietária desenvolvida pela Microchip Technology. Assinala-se por funcionar a uma baixa taxa de transferência de dados, mas se destaca pelo reduzido consumo (NETTO et al., 2013).

4 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Para que se tenha a implantação do smart grid, deve ser feita uma reestruturação no sistema elétrico desde sua geração até o consumo final. Para isso, a tecnologia IoT terá que estar presente, por meio de dispositivos inteligentes de análise e controle, em: plantas de geração, linhas e torres de transmissão, subestações, linhas de distribuição, e nos diversos pontos de consumo.

Devido as diferenças entre os subsistemas presentes dentro do sistema elétrico, a arquitetura de uma smart grid é determinada em três camadas distintas: a da infraestrutura física do sistema de energia, a camada do fluxo de energia desde a geração até o consumidor e a camada da comunicação, que conectaria todos os subsistemas possibilitando a implementação das smart grids, como é visto na FIGURA 7.

FIGURA 7 - Fluxo de informações na smart grid.



Fonte: Pelielo et al., 2016.

Verifica-se as diferentes redes de comunicação que compõem uma smart grid, permitindo a comunicação e tráfego de dados da geração até o consumidor (ou vice-versa).

Neste sentido, Lima et al. (2020) citam que as redes de comunicação podem ser traduzidas em:

a) Home Area Network (HAN): camada da rede que admite a conexão em uma área pequena como, por exemplo, uma residência, possibilitando que o usuário final da energia conecte seus dispositivos a uma central e que a mesma rede faça a comunicação de todos os dispositivos a ela ligado;

b) Neighborhood Area Network (NAN): camada da rede com a função de conectar as subestações de distribuição com os diversos dispositivos ou gateways de consumidores finais, assim, cumpre o papel de integrar os medidores da rede HAN com os dispositivos da rede NAN.

c) Wide Area Network (WAN): a terceira camada da rede, conhecida como rede de área ampla, tem a função de permitir a comunicação de diversas NAN, gateways de sistemas de transmissão, sistemas de geração com a central responsável pelo funcionamento de todo o sistema elétrico ou com outros dispositivos espalhados a grandes distâncias.

A cada camada da rede pode-se ter informações do sistema e a partir dessas informações implementar as melhorias necessárias, contudo é somente na camada

de rede WAN que se têm todas as informações do sistema desde a geração de energia até a entrega ao consumidor (PELIELO et al., 2016).

4.1 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Protocolos de comunicação são conjuntos de regras e normas obrigatórias que todo objeto ou equipamento deve adotar para a apropriada transferência, recepção e interpretação de dados em uma rede IoT. Onde, sem esses protocolos, a comunicação se tornaria caótica e ineficaz.

Para se ter um bom trabalho na comunicação na rede IoT, são usados os protocolos padronizados existentes como é o protocolo Internet Protocol (IP), que promove comunicação com a Internet e tem regras bem determinadas para conectar milhares de equipamentos, e os protocolos específicos que são usados para a comunicação entre objetos e com concentradores (GARCIA e KLEINSCHMIDT, 2017).

Destaca-se que na Internet, para que objetos possam se comunicar corretamente, existe um conjunto de protocolos que são necessários. Dentre estes, o protocolo IP é um dos principais e é o responsável por atribuir um endereço a esses dispositivos.

4.1.1 Protocolos de internet IPV4 e IPV6

Hoje em dia, a versão mais usada do protocolo IP é a versão 4, no entanto por conta da escassez de novos endereços, provocou a criação de uma nova versão do protocolo a versão 6. Essa versão surgiu por volta dos anos 90, sendo quase 20 anos após o aparecimento do protocolo IP (MUNIZ et al., 2017).

O IPv4 é fundamentado em um pool de endereços codificados em 32 bits, o que permite quatro bilhões de endereços, disponíveis para que dispositivos estejam absolutamente conexos à internet (PESSOA et al., 2015). No IPv4, os endereços são da forma 179.96.35.170 e usam 4 palavras de 8 bits ou octetos, derivando em 2 elevado a 32 bits. Isso gera 4.294.967.296 endereços IP possíveis. O IANA, órgão central de atribuição de números de IP da internet, não tem mais estoque de endereços IPv4 (MUNIZ et al., 2017).

Quando a versão 4 do protocolo IP foi desenvolvida não se imaginava uma rede com bilhões de equipamentos ligados, nem os problemas de segurança ou transporte

de tantos tipos de dados e serviços pelas redes. O IPv4 não é escalável o suficiente para atender a demanda de endereçamentos da Internet das Coisas.

Segundo Santos et al. (2016), o IPv6 substitui o IPv4, sendo um enfoque mais eficaz para solucionar a escassez de endereços IPv4. Neste sentido, é necessária a migração do IPv4 para o IPv6, para não existir uma ruptura bruta entre as tecnologias já que a intenção dos responsáveis pela internet é implantar o IPv6 e fazê-lo funcionar em conjunto com o IPv4, até que tudo possa ser migrado para o IPv6.

No mundo, há organizações públicas e privadas trabalhando em mecanismos de transição, que permitam a interoperabilidade de redes IPv4 e IPv6. Esse mecanismo especificam formas de tunelamento, roteamento e suporte para as duas versões de protocolos IP que a princípio são incompatíveis (DE OLIVEIRA e VIOLIN, 2021).

Com a IoT, tem-se basicamente um endereço IP para cada dispositivo ou objeto conectado. Santos et al. (2016) cita que o IPv6 chega com endereços codificados em 128 bits, mais ou menos 67 trilhões de endereços por cada milímetro quadrado do planeta. (SANTOS et al., 2016). No IPv6 os endereços são compostos de 8 palavras de 16 bits, ou seja, dois elevado a 128 bits na forma FE80:0000:0000:0000:68DA:8909:3A22:FECA.

Isso significa que há 340.282.366.920.938.463.374.607.431.768.211.456 endereços IP possíveis. Contudo, metade deles estão reservados para endereçamento local numa mesma rede, e, assim, tem-se 18.446.744.073.709.551.616 redes possíveis, quantidade suficiente para atender a internet em um futuro imaginável (MUNIZ et al., 2017).

Para Oliveira e Garcia (2014), dentre as vantagens do IPv6, tem-se:

- a) Extenso espaço de endereçamento, padrão global e escalabilidade;
- b) Formato de cabeçalho simplificado para otimização de entrega de pacote;
- c) Arquitetura hierárquica de rede para um roteamento eficiente;
- d) Suporte aos atuais protocolos de roteamento;
- e) Serviços de autoconfiguração;
- f) Implementação de IPSec de maneira nativa;
- g) Crescimento do número de endereços multicast;
- h) Implementações para qualidade de serviço;
- i) Disposição de um número quase ilimitado de endereços IP é um dos maiores benefícios da implementação.

Neste sentido, nota-se que o IPv6 é a única tecnologia possível para interligar “bilhões à internet” e construir a Internet das Coisas.

4.2 REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO

Há, hoje em dia, mais de 60 formatos de protocolos de comunicação sem fio disponíveis para emprego em Internet das Coisas, e essa diversidade cresce a cada dia. O grande desafio é avaliar com atenção cada tecnologia para determinar o melhor custo-benefício, bem como atender todas as condições do projeto da smart grid.

As recomendações do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), particularmente da série IEEE 802.11, são os exemplos mais conhecidos para os padrões de redes sem fio e que nos possibilitam considerar a existência de grandes grupos, comparados na FIGURA 8. Segundo Sharma e Dhir (2014), são:

a) Wireless Personal Area Network (WPAN): Onde estão as tecnologias wireless de reduzido alcance (entre 10 e 100 metros). É um padrão para redes locais, determinado pelo IEEE 802.15, para o endereçamento de redes sem fio que empregam dispositivos portáteis ou móveis;

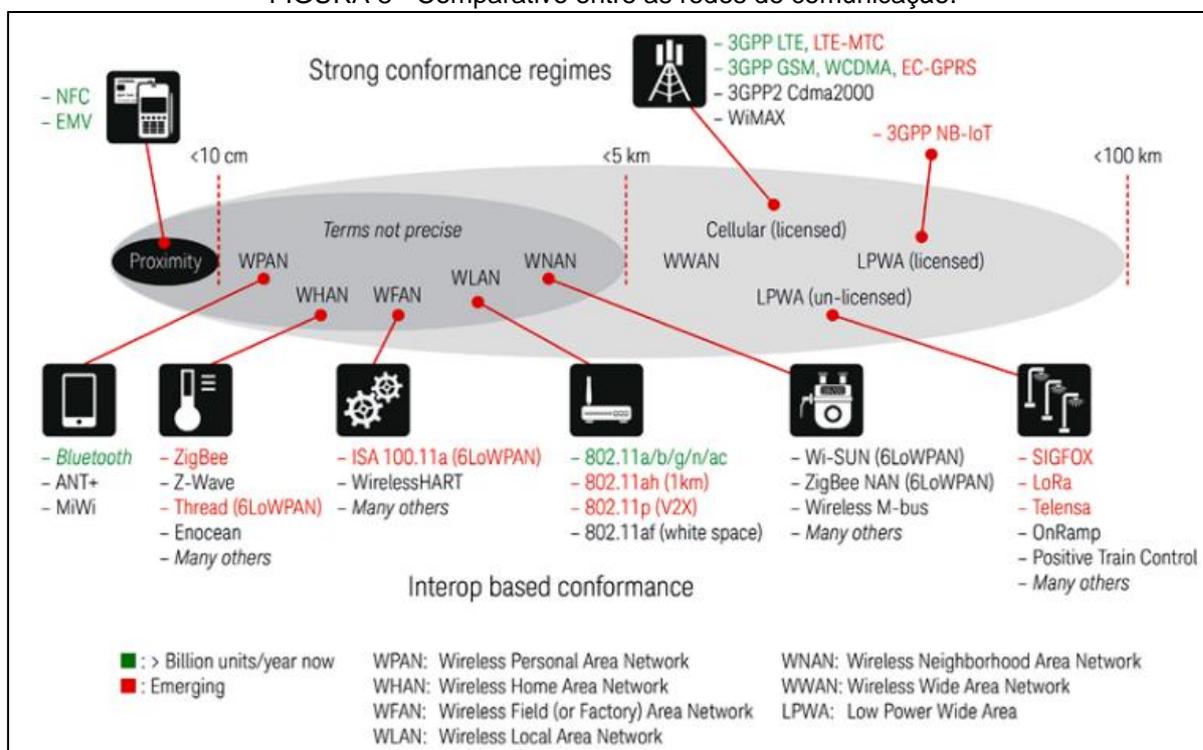
b) Wireless Local Area Network (WLAN): Onde estão as tecnologias sem fio direcionadas à interligação de redes locais com alcance entre 100 e 300 metros. Trata-se de padrão implementado como extensão ou alternativa para as redes com cabeamento convencional (par metálico ou fibra óptica);

c) Wireless Metropolitan Area Network (WMAN): São as tecnologias que tratam dos acessos de banda larga com taxas de transmissão de 200Kbps a 1Mbps e são usadas para a última milha para redes em áreas metropolitanas, com alcance em torno de 5km;

d) Wireless Wide Area Network (WWAN): Tecnologias direcionadas para redes de longa distância em telecomunicações, atendendo aos serviços de voz e alguns serviços de dados;

e) Low Power Wide Area Network (LPWAN): Essas tecnologias aliam baixo consumo com longo alcance (na casa dos 15km).

FIGURA 8 - Comparativo entre as redes de comunicação.



Fonte: Zemedo, 2018.

4.2.1 Padrões 802.X

Por conta da necessidade de padronização entre dispositivos sem fio, o IEEE determinou alguns padrões tecnológicos focando na transparência na comunicação sem fio de dispositivos de vários fabricantes.

4.2.1.1 Padrão IEEE 802.15.4

Segundo De Souza et al. (2015), o IEEE 802.15.4 é um padrão para WPANs de baixa velocidade. Elas são assinaladas por servir a dispositivos de baixo custo, comunicando-se a distâncias curtas, na maioria das vezes alimentados por baterias e com rigorosas restrições em relação ao processamento e memória disponíveis.

A complexidade do IEEE 802.15.4 é considerada baixa ao compará-la a de outros padrões semelhantes, como o Bluetooth. Ele emprega três faixas de frequência possíveis: 868Mhz, 915Mhz e 2.4Ghz, ajustando-se às normas da maioria dos países.

O alcance do rádio comumente fica entre 10 e 100m, mas pode existir dispositivos com alcances maiores (DA SILVA e DA COSTA, 2016).

4.2.1.2 Padrão 802.15.4G

Em 2012, o IEEE anunciou uma emenda ao padrão IEEE 802.15.4 com a finalidade de atender as necessidades especiais de comunicação dos Smart Metering Utility Networks (SUNs), designadas IEEE 802.15.4g. Os SUNs cumprem um papel essencial no contexto das redes inteligentes: eles admitem que diversos aplicativos atuem sobre recursos de rede compartilhados, suportem comunicações bidirecionais entre dispositivos de medição e controle de um sistema utilitário e frequentemente contemplem áreas difundidas com um grande número de dispositivos externos (SARAIVA et al., 2020).

Enquanto o IEEE 802.15.4 é dedicado a redes de área pessoal sem fio (WPAN), o IEEE 802.15.4g é projetado para alcançar taxas de dados de 2,4 Kbps a 800 Kbps e trabalhar em diversas bandas de frequências de 450 MHz a 2,4 GHz. Conforme o documento do IEEE, a finalidade da emenda era fornecer um padrão global para promover aplicações de controle de processo de grande escala, como a rede de rede elétrica de serviços públicos (NASCIMENTO, 2022).

4.3 PROTOCOLOS DE INTERNET PARA IOT

Para a viabilidade da comunicação entre dispositivos da IoT, foi necessário implementar um novo protocolo que admitisse resolver questões de compressão do cabeçalho dos pacotes IPv6 mantendo somente campos necessários para o uso do padrão IEEE 802.15.4, que limita os pacotes a 128 bytes. Para resolver esse problema, a IETF criou o 6LoWPAN (KUSHALNAGAR et al., 2007).

4.3.1 6LoWPAN – Low Power Wireless Personal Area Networks

O 6LoWPan é um protocolo IP e o seu nome é abreviação de IPv6 Low-power wireless Personal Area Network que quer dizer “Rede pessoal sem fio de baixa potência” (SANTOS, 2014). O 6LoWPAN, como é visto na FIGURA 9, é um protocolo que determina o encapsulamento, headers e os mecanismos de compressão dos

pacotes de dados. O atributo chave é o IPv6 stack, que foi a chave para viabilizar a Internet das Coisas.

FIGURA 9 - Logotipo do protocolo 6LowPAN.



Fonte: Movinture (2016).

O 6LoWPAN está relacionada a um grupo de trabalho da Internet Engineering Task Force (IETF) que recomenda padrões para ajustar os pacotes do protocolo IPv6 ao ambiente de redes pessoais de baixa potência, como as estabelecidas pelo padrão IEEE 802.15.4 e ainda conhecidas como redes de sensores sem fio.

De acordo com Dos Santos et al. (2021), é determinado no padrão IEEE 802.15.4 que uma rede LoWPAN é uma rede de comunicação simples que possibilita conectividade sem fio para aplicações com limitações de potência e restrições de taxas de transmissão. A rede LoWPAN caracteristicamente abrange dispositivos que funcionam juntos para conectar o ambiente físico a aplicações do mundo real, como rede de sensores. LoWPAN possui conformidade com o padrão IEEE 802.15.4.

Devido ao 6LoWPAN ser fundamentado em comunicação IP, pode-se aproveitar as ferramentas e gerenciamento existentes para redes IPs existentes sem precisar de proxies ou tradutores de conteúdo (DOS SANTOS et al., 2021).

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Nesta seção, será realizado um comparativo entre as tecnologias de comunicação privadas que podem ser empregadas no projeto de Smart Grid: Wi-fi, SIGFOX, LoRaWAN, ZigBee-NAN, Wi-SUN e GPRS.

4.4.1 Wi-Fi

Segundo Sturmer et al. (2021), a tecnologia wi-fi (“Wireless Fidelity”), vista na FIGURA 10, é uma solução de comunicação sem fio muito conhecida hoje em dia, e é

empregada para conectar dispositivos como computadores e smartphones nos mais variados lugares como no trabalho, locais públicos e residências.

FIGURA 10 - Logotipo da tecnologia Wi-fi.



Fonte: Wifi, 2018.

Lançado em 1997, wi-fi apareceu como uma alternativa ao padrão cabeado de Ethernet e segue o padrão IEEE 802.11 onde são acentuadas as regras de transmissão e codificação. Esse protocolo pode transmitir grandes quantidade de informação empregando altas taxas de transferência (DA SILVEIRA, 2018).

O padrão IEEE 802.11 já recebeu várias versões (a/b/g/n) em que a atual IEEE 802.11ac prevê taxas de comunicação de 0,6 ou 1,3 Gbps. Possui várias tecnologias de criptografia WEP, WPA, WPA2, e é protegido por senha, contudo pode ser usado em modo aberto sem qualquer proteção, o que possibilita que qualquer dispositivo dentro de seu alcance acesse os recursos da rede WLAN (MATSUNAGA, 2012).

O 802.11b apresenta um custo mais baixo, emprega uma frequência de 2.4 GHz. Já o 802.11a transmite as informações na faixa 5GHz e seu alcance do wi-fi é limitado variando de 10 a 100m dependendo dos obstáculos (NETO et al., 2013).

Com mudanças atuais, o wi-fi está buscando elevar as taxas de transferência de dados. O novo padrão 802.11ac atua abaixo de 6GHz e está se tornando o padrão de telefones celulares. O padrão 802.11ad opera na faixa de 60GHz e o padrão 802.11ah destinado a suportar baixo consumo de energia, atuar na faixa de sub-ghz com baixa potência e elevado alcance para atender equipamentos de IoT (TEIXEIRA e CLARIM, 2017).

4.4.2 SigFox

SIGFOX é um protocolo de comunicação proprietário desenvolvido por uma empresa francesa em 2009 e difundido oficialmente no Brasil, em 2017, pela empresa

WND Brasil. A tecnologia de transmissão utiliza a frequência sub-GHz ISM no espectro de frequência livre e não licenciado de 902MHz para a América Latina (ROSA et al., 2017).

O SIGFOX, visto na FIGURA 11, é projetado para atuar na topologia em estrela, onde os objetos comunicam somente com o concentrador, com baixa transferência de dados na casa de 10 a 1.000 bps empregando a tecnologia de banda ultraleve (UNB) que exige pouca energia e possibilita que os sinais de rádio frequência ultrapassem objetos sólidos e até mesmo alcançar objetos subterrâneos com alcance estimado de 30 a 50Km em áreas rurais e de 3 a 10km em áreas urbanas.

FIGURA 11 - Logotipo do protocolo SIGFOX.



Fonte: Sigfox (2018).

A SIGFOX é proprietária do protocolo de comunicação com o mesmo nome e para conservar o controle sobre a arquitetura e alcançar retorno financeiro, ela age como operadora de IoT, instalando estações de rádio frequência particulares. De tal modo, oferece maior cobertura e concentra os dados coletados em servidores próprios, onde todos os elementos da rede, com exceção do módulo de comunicação e da aplicação do cliente, são de propriedade e controle da SIGFOX (SOARES et al., 2019).

O cliente pode ter o seu próprio processamento em nuvem, porém necessariamente os dados passam pelo backend da SIGFOX, para autenticação dos objetos sensores e/ou atuadores. Essa arquitetura pode ser vista na FIGURA 12.

FIGURA 12 - Topologia da infraestrutura SIGFOX.



Fonte: Sigfox, 2018.

Essa tecnologia ainda é atual e já tem muita aceitação, chegando a milhares de dispositivos difundidos pela Europa e América do Norte. De tal modo, o SIGFOX é uma opção de uso de redes de longo alcance concorrente a tecnologia de redes de celular (3G, 4G e 5G), entretanto sua implementação torna difícil a migração no futuro para outras tecnologias (SIGFOX, 2018).

4.4.3 LoraWAN

O Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) é um protocolo em frequência não licenciada cuja patente foi obtida pela Semtech, em 2012, destinado a aplicações de redes Wide Area Network (WAN) com o intuito de promover comunicação M2M a longa distância com reduzido consumo de energia (ZYRIANOFF, 2019). O LoRaWAN é um protocolo de camada de controle de acesso ao MAC dos equipamentos, projetado para ser empregado em redes públicas com milhões de dispositivos e poucos concentradores (PRAJZLER, 2015).

O LoRa, visto na FIGURA 13, trata da camada física da rede e o LoRaWAN está relacionado a camada lógica.

FIGURA 13 - Logotipo da aliança LoRa.

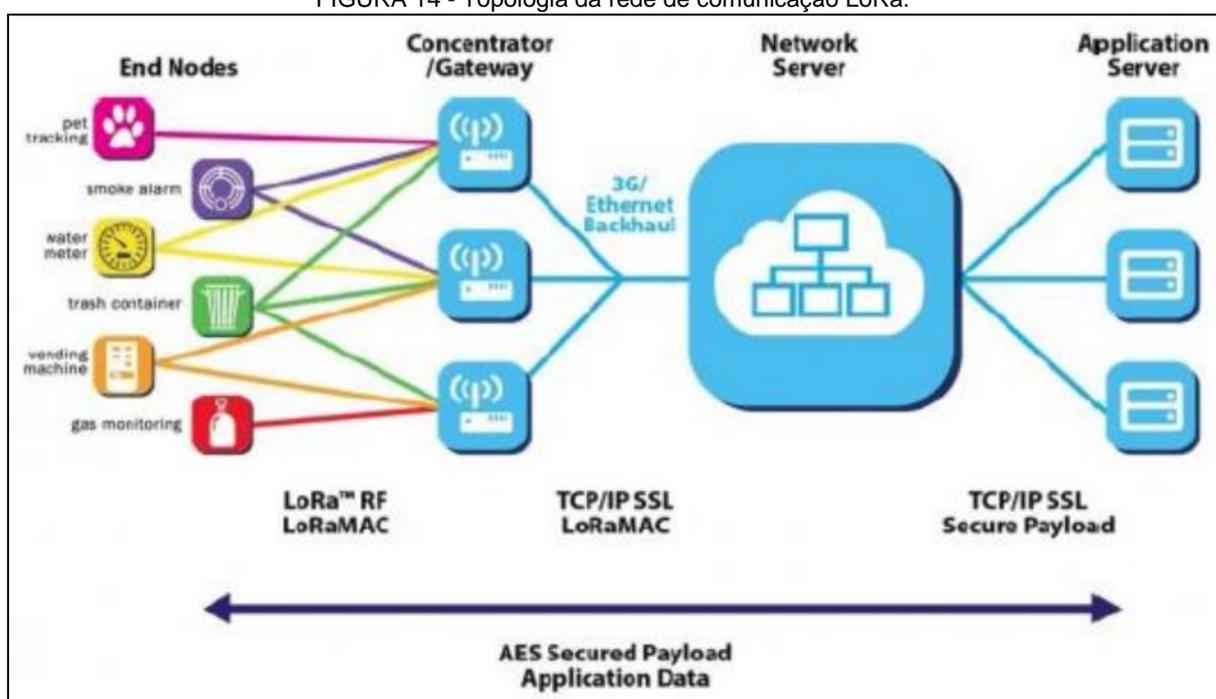


Fonte: Lora_Alliance, 2018.

O LoRa segue o modelo de topologia em estrela (semelhante a rede de celulares), em que cada módulo envia e recebe dados de Gateways (concentradores), que repassam os dados via conexão IP para servidores locais ou na nuvem. Possui velocidade de acesso de 300 bps até 50 kbps. O padrão LoRa em sua especificação dá suporte a IPv6 ajustado ao 6LoWPAN e atende às condições de comunicação segura e bidirecional (GOULART, 2018).

A LoRaWANs, como é visto na FIGURA 14, atua sob a banda de frequência sub-1Gz ISM nas faixas 109 MHz, 433 MHz, 866 MHz e 915 Mhz dependendo do local de uso. Cada concentrador pode cobrir uma área de 2 a 5km em regiões urbanas e até 15km para áreas rurais.

FIGURA 14 - Topologia da rede de comunicação LoRa.



Fonte: Dekkers, 2016.

Sustentado pela LoRa Alliance, esse protocolo tem hoje em dia, grande popularidade por sua facilidade de uso e a disponibilidade de equipamentos voltados ao desenvolvimento.

O LoRa tem várias vantagens com o grande apoio ao desenvolvimento e vasta quantidade de empresas que usam a tecnologia e conservam a LoRa Alliance. Contudo, destaca-se que por não ser um padrão aberto, sua implementação em redes particulares é difícil de ser implementada e sua homologação e aplicação fica limitada a projetos com finalidades comerciais (DAL MAGRO et al., 2022).

4.4.4 ZigBee

O ZigBee é um protocolo fundamentado no padrão IEEE 802.15.4, que é o padrão para redes wireless industrial atuando na faixa dos 2,4GHz (faixa ISM), com exceção da Europa, em que atua na faixa dos 800MHz. A taxa máxima de transferência de dados do protocolo está na casa dos 250 Kbps (PFÜTZENREUTER, 2018).

Diversas empresas, dentre elas fabricantes de componentes eletrônicos e desenvolvedores de softwares, se juntaram em uma aliança designada ZigBee Alliance, como é visto na FIGURA 15, focando em atender a necessidade das aplicações que precisam de grande quantidade de objetos conectados, com transferência constante de pequenos pacotes de dados e reduzido consumo de energia.

FIGURA 15 - Logotipo do protocolo ZigBee.



Fonte: ZigBee, 2018.

O ZigBee possibilita que os objetos conectados entrem em modo de suspensão (sleep) por longos intervalos de tempo para economizar energia. Pode ser empregado com o protocolo IP (incluindo o IPv6) e ainda usando a topologia em malha (Mesh2) (MASCARENHAS et al., 2019).

Segundo Mascarenhas et al. (2019), o protocolo ZigBee é considerada uma rede autogerenciada, em que o próprio protocolo se encarrega da manutenção da comunicação entre os objetos. De tal modo, novos dispositivos conseguem, de forma, automática, encontrar uma rede e se conectarem a ela, rotas de comunicação podem ser criadas e alteradas, e providências podem ser tomadas no caso de falhas na transmissão ou recepção de mensagens.

4.4.5 WiSUN

Wireless Smart Ubiquitous Network, conhecido como Wi-SUN, visto na FIGURA 16, é uma tecnologia fundamentada no padrão IEEE 802.15.4.g e é administrado pela Wi-SUN Alliance, que tem a função de resolver as lacunas presentes no IEEE 802.15.4.g. Wi-SUN Alliance. Oficialmente, começada em 2012, conta hoje em dia, com mais de 100 empresas colaboradoras. A topologia de rede pode ser estrela, mesh ou misto, mas frequentemente é aplicado o padrão mesh.

FIGURA 16 - Logotipo da Wi-SUN Alliance.



Fonte: Wi-Sun_Alliance, 2017.

A Wi-SUN Alliance tem os objetivos a seguir:

- a) Promover a implementação e implantação de redes de equipamentos inteligentes sem fio interoperáveis;
- b) Promover a adoção de padrões industriais abertos, de acordo com o que foi definido pelas organizações de desenvolvimento de normas internacionais e regionais;
- c) Fornecer assistência em relação a normatização e uso do padrão;
- d) Determinar programas de certificação de conformidade e interoperabilidade (SARAIVA et al., 2020).

A Wi-SUN Alliance determina padrões e certifica fornecedores e equipamentos, tanto em níveis de potência, taxa de dados, bandas e modulação de frequência, entre outras atividades (KOHLENER et al., 2020).

Quanto à segurança, a Wi-SUN Alliance adota as recomendações do National Institute of Standards and Technology (NIST) Norte Americano e se fundamenta nos protocolos EAP-TLS e 802.1x para a autenticação e AES-128 para a encriptação (KOHLENER et al., 2020).

O Wi-SUN é um padrão de comunicação que admite interconexões entre dispositivos de rede inteligentes gerados por vários fabricantes. A interconectividade

sem fio permite a criação de uma Home Area Network (HAN) que conecta diversos equipamentos para implementar instalações HEMS eficientes (DIAS, 2016).

O padrão Wi-SUN atua em bandas de frequência abaixo de 1GHz. Nesta região do espectro de frequências, os regulamentos normalmente possibilitam rádios de baixa potência não licenciados (ISM) que conseguem um bom desempenho de comunicação, mesmo contando com interferência e alguns tipos de empecilhos (SARAIVA et al., 2020).

De forma técnica, a tecnologia sem fio Wi-SUN está ligada, com a conhecida tecnologia Wi-Fi. É um sistema de comunicação de baixa velocidade que segue o padrão IEEE802.15.4g para camadas físicas e pode conservar comunicações mesmo em ambientes com mais de 1.000 nós. Sua camada MAC está em conformidade com IEEE802.15.4e. Wi-SUN consegue melhorias no rendimento e na segurança em comparação com redes sem fio baseadas somente no IEEE802.15.4 (KOHLENER et al., 2020).

4.4.6 GPRS

Grande parte das concessionárias de energia empregam as redes de comunicação públicas fundamentadas na tecnologia Serviços Gerais de Pacote por Rádio (GPRS), voltadas a realização de leitura do consumo de energia de grandes consumidores como indústrias e comércio. Hoje em dia, no Paraná existem 4 operadoras de telefonia móvel que disponibilizam serviços de comunicação de dados a distância disponibilizando chips (SIM CARDS) que transmitem informações em 3G/GPRS (SAMPAIO, 2018).

Diz respeito a um protocolo de envio de pacotes de dados utilizando-se do sistema de telefonia móvel já existente. Para tal, precisa-se de um modem GPRS com um identificador PIN, que cria a associação entre o equipamento (smart meter) e os dados produzidos. Um dos principais benefícios ao se usar o GPRS é a possibilidade de comunicação em qualquer área que existir cobertura de sinal para celular, por conta disso, a qualidade do sinal depende da área em que se encontra o smart meter (SANTOS e CANATO, 2020).

Para áreas que tenham uma alta qualidade do sinal, as taxas para transferência de dados conseguem velocidades entre 150kbps a 300kbps. Pode-se dizer que o protocolo GPRS entrou em desuso, pois novas tecnologias da rede móvel vêm

ganhando popularidade por seus avanços no setor. Trata-se das tecnologias 3G e 4G que diferem do protocolo GPRS, sobretudo pela elevada velocidade de transferência de dados, no qual para a rede 3G pode-se alcançar até 2Mbps, enquanto a rede 4G tem taxa de transferência de no mínimo 1Mbps até 100Mbps (MENEZES, 2020).

Diversas são as vantagens de se usar o protocolo das redes de telefonia móvel para a comunicação entre cliente e concessionária:

a) Não existe a necessidade de implementação de meios físicos para permitir a comunicação;

b) Os avanços nas tecnologias das redes de telefonia móvel estão possibilitando que a comunicação atinja altas velocidades no envio de dados com alta confiabilidade do sistema;

c) A rede 5G que já está sendo empregada em alguns países pode trazer grandes avanços na comunicação das smart grids (VARANDAS, 2019).

As vantagens do uso dos protocolos GPRS, 3G, 4G e 5G são claras, entretanto pode-se notar uma grande desvantagem no uso das redes móveis que se trata do intermédio de empresas do setor de telefonia para que a comunicação ocorra, logo as concessionárias não terão monopólio total dos dados. Assim como possíveis falhas na comunicação dos dados não podem ser corrigidos absolutamente pela concessionária, causando dependência de terceiros, e os contratos envolvidos no emprego das redes móveis podem tornar a utilização do protocolo inviável (VARANDAS, 2019).

5 CONCLUSÃO

Com o exposto nesta monografia, pôde-se verificar a relevância da temática no mundo atual, confirmando a importância do uso de novas tecnologias nos sistemas elétricos, a fim de tornar o sistema eficiente e preciso, elevar a qualidade da energia, assim como expandir as áreas de negócio do setor elétrico ao introduzir uma visão estratégica fundamentada em diversificados tipos de informações geradas.

Pois, a rede de distribuição das concessionárias de energia elétrica precisou se modernizar para oferecer novas opções de interação com seus consumidores. A busca por controle de consumo e rapidez na realização de serviços é o fator motivante para os investimentos em novas tecnologias de redes inteligentes.

Verificou-se que o sistema de comunicação é o elemento chave da infraestrutura de Smart Grid, já que todas as iniciativas em Redes Elétrica Inteligentes passam por uma infraestrutura de comunicação. Pois, um sistema elétrico inteligente comuta toda a oferta de energia através da rede de distribuição, gerenciando a necessidade de energia por meio de um sistema de comunicação. Assim, a inteligência da rede reside na capacidade dos dispositivos de se comunicar, trocando informações que possibilitem construir uma rede mais segura e mais eficiente, a partir de um amplo suporte de telecomunicações.

Para que fosse possível compreender as tecnologias de comunicação intrínsecas nas redes inteligentes foi essencial a abordagem sobre a Internet das Coisas, já que as tecnologias relacionadas a IoT são base para o desenvolvimento das smart grids. Constatou-se que a Internet das Coisas traz luz e padronização para ideias e conceitos há muito tempo almejados por companhias que buscam oferecer novos serviços a seus clientes.

Notou-se que vários protocolos de comunicação estão surgindo e é necessário buscar alianças que permitam uma padronização e interoperabilidade entre

equipamentos antigos e novos. Contudo, a escolha de equipamentos e tecnologias é um processo que exige pensamento sistêmico com visão no futuro para que o investimento não seja perdido com o passar dos anos.

Conforme foi constatado, o conceito de Smart Grid é recente, mas ele representa a evolução natural e necessária da rede elétrica. O uso desta tecnologia promove várias melhorias, promovendo o monitoramento do consumo de energia nas residências, deixando o consumidor mais informado sobre o seu próprio perfil de uso de energia, promovendo o uso mais consciente da energia elétrica. As tecnologias estudadas neste estudo foram: Wi-fi, SigFox, LoraWAN, ZigBee, WiSUN e GPRS que são tecnologias que atuam no funcionamento desde a coleta de dados até a apuração das grandezas elétricas monitoradas.

Assim sendo, pode-se extrair do conteúdo dessa monografia a importância do desenvolvimento das áreas de telecomunicações, tecnologia da informação, automação, segurança da informação, entre outros, principalmente em projetos de smart grid.

O estudo ainda possibilitou um contato maior com os medidores inteligentes, ao compará-lo a um medidor convencional, incluindo inclusive, os protocolos de comunicação e as tecnologias de comunicação envolvidas em uma rede inteligente que não se tem uma rede padrão.

Pode-se concluir, com a elaboração deste trabalho, que os temas de smart grid e IoT estão no início de seu desenvolvimento, porém que muito já está sendo feito para viabilizar a implantação das tecnologias, assim como diversos outros estudos acadêmicos fortalecem, cada vez mais, as novas possibilidades envolvendo redes inteligentes.

Espera-se que este trabalho contribua para o gradual processo de familiarização do sistema elétrico nacional com os conceitos de Smart Grid, facilitando o entendimento da natureza das tecnologias abordadas bem como suas aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, Z. H.; ALI, H. A.; BADAWY, M. M. Internet of Things (IoT): definitions, challenges and recent research directions. **International Journal of Computer Applications**, v. 128, n. 1, p. 37-47, 2015.

ARAÚJO, S. G. DE et al. **Evolução para Smart Grid da Supervisão do Fornecimento de Energia Elétrica em Média e Baixa Tensão Utilizando Diferentes Tecnologias de Comunicação**. Goiânia: EEEEC/UFG, 2009, 11 p. (Série Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento CELG nº 253, PPD/SPED59).

ASHTON, K. **That ‘Internet of Things’ Thing**. [S.l.]: RFID Journal, 2009.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. **The internet of things: a survey**. Computer Networks, 2010.

CALHAU, F. G. et al. Smart Grids: Características, Requisitos e Perspectivas. **ETC Educação, Tecnologia e Cultura**, v. 10, p. 17-30, 2014.

CASAGRAS. **CASAGRAS na EU framework 7 project**. 2010.

Disponível em:
<<https://docbox.etsi.org/zArchive/TISPAN/Open/IoT/low%20resolution/www.rfidglobal.eu%20CASAGRAS%20IoT%20Final%20Report%20low%20resolution.pdf>>
Acesso em: 20 set. 2022.

CASTRO, N. de et al. Tecnologias exponenciais quebram paradigmas do Setor Elétrico. **Agência Canal Energia. RJ: Rio de Janeiro**. 2019.

CECATTI, C. **Smart operation of wind turbines and diesel generators according to economic criteria**. Newnes: Industrial Electronics, 2011.

CERP IoT - **INTERNET OF THINGS EUROPEAN RESEARCH CLUSTER**. Internet of things: Strategic Reserach Roadmap, 2009.

Disponível em: <http://www.internet-of-thingsresearch.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf>
Acesso em: 22 set. 2022.

CHAGAS, G. F. et al. A inclusão da tecnologia da Smart Grid para o desenvolvimento do Brasil. **Revista eSALENG–Revista eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO–Vol**, v. 9, n. 1, 2020.

DA SILVA, W. R.; DA COSTA, F. S. Monitoramento Residencial Utilizando o Zabbix e o Padrão IEEE 802.15. 4. **Holos**, v. 1, p. 253-262, 2016.

DA SILVEIRA, V. M. Sistema De Manutenção Preditiva Utilizando Redes BLE E Wi-Fi com Aprendizado De Máquina. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Telecomunicações), IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina), São José, Brasil, 2018.**

DAL MAGRO, S. Z. et al. Dispositivo para retransmissão de mensagens LoRaWAN. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 14, n. 2, p. 47-55, 2022.

DAMASCENO, M. F. et al. Proposta de medidor inteligente de consumo de energia elétrica. **XIV CEEL, Uberlândia**, v. 7, 2016.

DE OLIVEIRA, G. D.; VIOLIN, R. de O. Transição do protocolo ipv4 para ipv6: as dificuldades em alcançar o futuro da internet. In: **Congresso de Tecnologia-Fatec Mococa**. 2021.

DE SOUZA, A. A.; DE CASTRO, H. A.; CARRIJO, R. S. **Proposta De Uma Solução Alternativa Aplicada Em Rede De Sensores Sem Fio No Padrão IEEE 802.15. 4**. 2015.

DIAS, R. R. de F. **Internet das Coisas sem mistérios**: uma nova inteligência para os negócios. São Paulo: Netpress Books, 2016.

DEKKERS, P. **LoRa, the Internet of Things**. Innovation Blog. 2016.

DELPHINE C.; PARAG S.; MOGRE, E.; MATTHIAS H. Survey on Wireless Sensor Network Technologies for Industrial Automation: The Security and Quality of Service Perspectives. **Future Internet**. v. 2, n. 2, p. 96–125. 2013.

DOS SANTOS, G.; DA FONSECA, P.; FERRIGO, S. Análise do comportamento de uma rede IEEE 802.15. 4 utilizando 6LowPAN. In: **Anais da XXI Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul**. SBC, 2021. p. 5-8.

ETSI. **ETSI TR 102 889-2** - Technical characteristics for SRD equipment for wireless industrial applications. [S.I.]: European Telecommunications Standards Institute, 2011.

FACCIONI FILHO, M. Internet das coisas. **Unisul Virtual**, 2016.

FALCÃO, D. M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. In: III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2010, Belém. **SBSE 2010**, v. 1, p.1-5, 2010.

FALCÃO, D. M. Smart grids e microrredes: o futuro já é presente. **Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos**, v. 8, 2009.

FERREIRA, M. C. **Perspectivas e Desafios para a Implantação das Smart Grids**: um estudo de caso dos EUA, Portugal e Brasil. 2010. 78p. Monografia (Trabalho Final de Curso em Economia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

FRIEDEWALD, M; RAABE, O. Ubiquitous computing: An overview of technology impacts. Telematics and Informatics, 2011.

FROTA, M. N. **Automação da medição e segurança de dados em redes inteligentes**: estudo de experiência brasileira. Dissertação (Mestrado em Metrologia). Rio de Janeiro. 2012.

GARCIA, P. S. R.; KLEINSCHMIDT, J. H. Tecnologias emergentes de conectividade na IoT: Estudo de redes LPWAN. In: **XXXV Simósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais-SBrT2017**. 2017. p. 1009-1003.

GOULART, V. Sistema IoT para monitoramento de porteiros utilizando LoRa e LoRaWAN. **CIMATech**, v. 1, n. 5, 2018.

HLEDIK, R. How Green Is the SmartGrid? **The Electricity Journal**. v. 22, n. 3, p. 29-41. 2009.

KOHLER, E. L. et al. **Comunicação cooperativa em redes IEEE 802.15. 4g sob interferência LoRaWAN**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

KUSHALNAGAR, N.; MONTENEGRO, G.; SCHUMACHER, C. **IPv6 over low-power wireless personal area networks (6lowpans)**: overview, assumptions, problem statement, and goals. Copyright© 2007.

LAMIN, H. **Análise de impacto regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2013.

LEITE, JR E.; MARTINS, P. S.; URSINI, E. L. A Internet das Coisas (IoT): Tecnologias e Aplicações. **School of Technology, University of Campinas (UNICAMP)**, 2017.

LORA_ALLIANCE. **Logotipo da aliança LoRa**. Copyright© LoRa Alliance, 2018.

LIMA, D. V. T. et al. Otimização de Redes de Comunicação de Dados como Suporte à Implantação de Smart Grids. In: **Anais do XLVII Seminário Integrado de Software e Hardware**. SBC, 2020. p. 210-221.

MAGRANI, E. **A internet das coisas**. Editora FGV, 2018.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. – 6. reimpr. São Paulo: Atlas: 2011.

MAROTTA, M. A.; et al. **Through the internet of things: A Management by Delegation Smart object Aware System (MbDSAS)**. In: COMPUTER SOFTWARE AND APPLICATIONS CONFERENCE (COMPSAC), 2013 IEEE 37th Annual, p. 732-741.

MASCARENHAS, P. et al. Arquitetura de redundância de gateways iot em redes zigbee. In: **CIACA, Conferência Ibero Americana de Computação Aplicada**. 2019. p. 147-154.

MATSUNAGA, E. T. **Wireless Lan**: estudo do padrão IEEE 802.11. 2012.

MENEZES, W. R. **Medidores inteligentes e comunicação de dados em Redes inteligentes**. Projeto de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Campina Grande, 2020.

MESSIAS, A. A. Redes Inteligentes de Energia–Smart Grids. **Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Electrotécnica**, 2009.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. **Towards a Definition of the Internet of Things (IoT)**. IEEE Internet Initiative - Telecom Italia. 27 maio 2015.

MOVINTURE. **Movinture**: moving the future closer to you. Copyright© Movinture, 2016.

MUNIZ, A. H. A. et al. Estudo de caso transição do protocolo ipv4 para ipv6. **Revista Gestão em Foco. Edição**, v. 9, 2017.

NASCIMENTO, A. J. B. do. **Estudos experimentais de redes IEEE 802.15. 4g/sun para aplicações de campus inteligente**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.

NETTO, E. O. P.; BARBOSA, T. A.; CARVALHO, F. B. S. **Rede de Comunicação de Medidores Inteligentes Sem Fio**. 2013.

OLIVEIRA, J. G. S.; GARCIA, R. Comunicação de computadores e a evolução do protocolo IP. **ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498**, v. 10, n. 10, 2014.

PELIELO, G.; ACCÁCIO, R.; MOYSÉS, R. **Smart grid: redes inteligentes**. 2016. Monografia (Trabalho Acadêmico em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PESSOA, C. R. M.; et al. **A Internet das Coisas: será a internet do futuro ou está prestes a se tornar a realidade do presente?** Engenharias Online, Faculdade de Engenharia da Universidade FUMEC, v. 1, n. 1, 2015.

PFÜTZENREUTER, E. **Zigbee: a rede das pequenas coisas**. Copyright© Elvis Pfützenreuter, 2018.

POTHAMSETTY, V.; MALIK, S. **Smart Grid**. 2009.

PRAJZLER, V. **LoRa, LoRaWAN and LORIoT.io**. 2015.

RAHMAN, S. **Smart grid expectations** - what will make it a reality. IEEE Power and Energy Magazine, 2009.

REBELATO, J. G. B. **Internet das coisas para medição inteligente de energia com ênfase em tecnologias de comunicação**. Monografia de Especialização – Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2018.

RIGODANZO, J. **Instalação de medidores inteligentes no Brasil: uma análise econômica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ROSA, L. de S. P. et al. Aplicações do 5G em Internet das Coisas (IoT). **INATEL**, Minas Gerais, Jun, 2017.

RUIZ, L. B. et al. Arquiteturas para redes de sensores sem fio. **Tutorial of the simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)**, 2004.

SAMPAIO, W. L. A. **Avaliando a eficiência energética de uma conexão com a internet através do GPRS em um cenário IoT: um estudo de caso com o SIM800L e o Middleware Dojot**. 2018.

SANTOS, A. C.; CANATO, R. Leandro C. Smart Grid: desafios em segurança. **Prospectus**, v. 2, n. 1, 2020.

SANTOS, B. P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte, MG. 2016.

SANTOS, H. et al. Internet of Smart Grid Things (IoSGT): Prototyping a Real Cloud-Edge Testbed. In: **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva**. SBC, p. 111-120, 2022.

SANTOS, R. L. dos. **Internet das coisas e 6LoWPAN**. 2014.

SARAIVA, F. A. M. et al. **Controle dinâmico de potência em redes Wi-SUN/IEEE 802.15. 4g em topologia linear**. 2020.

SHARMA, K.; DHIR, N. A study of wireless networks: WLANs, WPANs, WMANs, and WWANs with comparison. **International Journal of Computer Science and Information Technologies**, v. 5, n. 6, p. 7810-7813, 2014.

SHARMA, K.; SAINI, L. M. Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v 49, p. 720-735. 2015.

SIGFOX. **Site oficial Sigfox**. Copyright© SIGFOX, 2018.

SOARES, A. J. P. et al. Avaliação da tecnologia lora como solução de iot para redes elétricas inteligentes. In: **Congresso Brasileiro de Automática-CBA**. 2019.

SOUZA, W. A. de. **Estudos de técnicas de análise e tecnologias para o desenvolvimento de medidores inteligentes de energia residenciais**. 2016.

STURMER, C. R.; DECHECHI, E. C.; MAURICIO, C. R. M. Protótipo para rastreamento de visitantes com dispositivo utilizando Wi-Fi Prototype for tracking visitors with a device using Wi-Fi. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 76964-76980, 2021.

TEIXEIRA, C. D.; CLARIM, M. de L. **Estudo das vulnerabilidades de tecnologias sem fio utilizadas em ambientes IoT**. 2017.

VARANDAS, D. M. **Módulo de Comunicação para Smart Meters**. 2019. Tese de Doutorado.

WI-SUN_ALLIANCE. **Comparing IoT networks at a Glance**. Copyright© WiSUN Alliance, 2017.

WIFI. **Logotipo da tecnologia Wi-fi**. Copyright© Wi-Fi Alliance, 2018.

ZEMEDE, M. **Design and Test for the IoT**. Copyright© WTWH Media LLC, 2018.

ZIGBEE. **Logotipo do protocolo ZigBee**. Copyright© Zigbee, 2018.

ZYRIANOFF, I. et al. Impacto de lorawan no desempenho de plataformas de iot baseadas em nuvem e névoa computacional. In: **Anais do xvii workshop em clouds e aplicações**. SBC, 2019. p. 43-56.