

SMART GRID: PROTOCOLOS E APLICAÇÕES

Maria Júlia da Cunha Feu¹
Adan Lucio Pereira²
Otávio Gaigher Simões²

¹Discente do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Multivix Vitória
²Mestres, Docentes do Centro Universitário Multivix Vitória

RESUMO

Este artigo investiga a implantação das redes inteligentes (*Smart Grid*), tendo como foco a praticidade e otimização do monitoramento e controle das redes elétricas. A partir de uma revisão bibliográfica e análise de estudos teóricos, foram adquiridas diversas informações sobre a junção da rede tradicional com as novas tecnologias de medição, controle e comunicação que a smart grid pode oferecer. Com base nos dados adquiridos, notou-se que a integração deste novo conceito implica na maior eficiência e otimização da demanda e oferta de energia, no qual pode reduzir significativamente as perdas. Contudo, o uso de redes inteligentes possui um alto poder de eficiência atrelado ao monitoramento em tempo real, que possibilita melhor reconhecimento em falhas na rede ou perda de dados, facilitando também a manutenção e reparo da linha.

PALAVRAS-CHAVE

Padrão; Smart Grid; Rede Elétrica.

ABSTRACT

This article investigates the implementation of smart grids, focusing on the practicality and optimization of monitoring and controlling electrical networks. Through a literature review and theoretical analysis, various insights were gathered regarding the combination of traditional grids with new measurement, control, and communication technologies offered by smart grids. Based on the acquired data, it was observed that integrating this new concept leads to greater efficiency and optimization of energy supply and demand, which can significantly reduce losses. Moreover, smart grids have high efficiency linked to real-time monitoring, enabling better fault detection, demand loss, and data management, which also facilitates maintenance and line repair.

KEYWORDS

Standard; Smart Grid; Electrical Network.

INTRODUÇÃO

A evolução do conceito de redes inteligentes, foi mencionado pela primeira vez por volta de 2005 com a publicação do artigo "Toward a Smart Grid", representa um marco importante na modernização das redes elétricas (AMIN E WOLLENBERG, 2005). No entanto, as discussões sobre esse termo remontam a 1998, período em que várias definições foram propostas para o que viria a ser conhecido como smart grid.

Esse novo estudo sobre as redes inteligentes, ou smart grid, não se trata de uma tecnologia específica de coleta de dados e informações, mas sua principal funcionalidade é a medição e transmissão de dados dentro da rede elétrica, proporcionando a eficiência da rede de distribuição de energia elétrica (POTTER,

ARCHAMBAULT; WESTRICK, 2009). A relevância dos protocolos de comunicação na SEP ganha destaque, sendo essenciais para garantir a interoperabilidade, segurança e eficiência das operações de transmissão de dados. A escolha e análise criteriosa desses protocolos influenciam diretamente na capacidade do sistema em lidar com a heterogeneidade dos dispositivos, minimizar latências na comunicação e proteger contra possíveis vulnerabilidades cibernéticas.

Diante desse contexto, esta pesquisa visa realizar uma análise detalhada e crítica dos protocolos de comunicação na Smart Energy Platform. O foco está na compreensão da influência desses protocolos na eficiência, segurança e integração dos sistemas de transmissão de dados em redes inteligentes. Além disso, busca-se avaliar os protocolos existentes e potenciais melhorias para assegurar uma transmissão de dados robusta e segura no ambiente altamente dinâmico da SEP.

Assim, este estudo se propõe a oferecer percepções valiosas sobre os protocolos de comunicação na SEP, contribuindo para o aprimoramento contínuo das redes inteligentes e para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes na gestão de energia elétrica em ambientes altamente tecnológicos.

1. JUSTIFICATIVA DO TEMA

Analisar o conceito do smart grid em comunicação com rede de distribuição e geração de energia elétrica ou também conhecida como Power Grid, a fim de mostrar a crescente evolução tecnologia no meio elétrico com novas estratégias que buscam a alta eficiência, precisão e sustentabilidade nos grandes meios de geração e distribuição energética.

Além disso, com as mudanças no meio energético para as fontes de energia mais sustentáveis como energia solar e eólica, é crucial compreender minuciosamente os protocolos de comunicação. Esses protocolos têm uma influência significativa na forma como essas fontes de energia são integradas à rede elétrica. Sendo assim, os inúmeros avanços no setor energético e a aquisição de novas soluções inteligentes, o estudo dos protocolos de comunicação na smart energy platform se tornam cada vez mais importantes para a implantação de novas tecnologias, com capacidades de medições e monitoramento em tempo real.

1.1 Delimitação do Tema

O tema a ser abordado se concentra na análise de conceito denominado smart grid e suas aplicações no meio energético como a troca de informações através da evolução da internet das coisas IoT.

1.2 Problema de Pesquisa

Qual é a importância do monitoramento e controle de informações e comunicação utilizados na rede de geração e distribuição energética na eficiência, segurança e integração dos sistemas de transmissão de dados em redes inteligentes? Em quais aplicações podem ser avaliados e aprimorados para garantir uma transmissão de dados mais eficaz e protegida dentro da infraestrutura no conceito de Power grid?

1.3 Hipótese

Os protocolos de comunicação utilizados na Power Grid influenciam significativamente a eficiência, segurança e integração dos sistemas, impactando diretamente na transmissão de dados dentro da infraestrutura de redes inteligentes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise abrangente do conceito smart grid em questão da comunicação empregados nas redes de geração e distribuição de energia, visando compreender sua eficiência, segurança e impacto na transmissão de dados dentro de uma infraestrutura de redes inteligentes.

1.4.2 Objetivo Específico

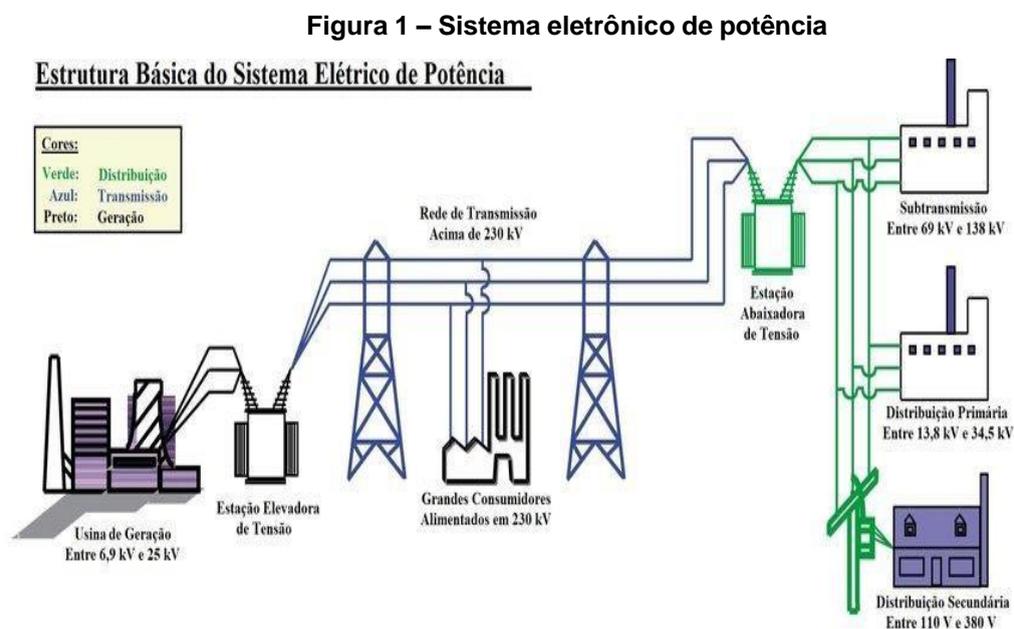
- Conceitua a termo smar grid nas redes de distribuição energética.
- Identificar os principais protocolos de comunicação utilizados nas redes de distribuição e suas características funcionais.
- Compreender cada protocolo em termos de velocidade e segurança na transmissão de dados.
- Avaliar a viabilidade e adequação dos protocolos na garantia da segurança cibernética e proteção contra ameaças na infraestrutura de redes inteligentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção é para fundamentar o conceito de smart grid e seus respectivos módulos de abordagens dentro da rede elétrica, no intuito de melhorar a eficiência de análise de falhas em propagação da energia elétrica.

2.1 Redes Elétricas

O sistema de geração foi fundamentado pela primeira vez por Thomas Edison que observava a demanda com a instalação de corrente contínua, no qual pequenos geradores eram colocados próximos aos locais de consumo, outro a defender o método de geração foi o Nikola Tesla e George Westinghouse, que referia-se semelhante a construção no qual hoje se chama de hidroelétricas, que nada mais é a instalação de grupo de geradores próximos a fontes primárias de energia. (SANTOS, 2013). Com um aumento de demanda e oferta, as centrais de geração e o sistema de transmissão ficaram cada vez maiores e robustos que atendem longas distâncias. A figura 1 mostra o sistema eletrônico de potência.



Fonte: LGL Engenharia, 2023

Apesar das redes tradicionais serem muito eficientes, há um grande desafio no cuidado, controle e monitoramento de possíveis problemas dentro dos sistemas de atual, pois a falta de peças sobressalentes e o alto custo de manutenção, demonstra um sério problema de diagnóstico que por sua vez diminui o tempo de vida útil do ativo (MENDES, 2011).

2.2 Tecnologias de Comunicação

A indústria energética está constantemente em evolução, adotando tecnologias de comunicação avançadas para otimizar suas operações e maximizar a eficiência. Entre as várias tecnologias utilizadas, destacam-se ZigBee, WiMAX, Power Line Communication (PLC) e outras, cada uma apresentando características distintas e aplicabilidades específicas no setor energético (BAIMEL E TAPUCHI, 2016).

A tecnologia têm uma ampla rede de soluções, no que permite a criação de novos métodos de monitoramento e controle sendo uma dessas métodos o uso da IoT- Internet of Things- ou Internet das Coisas, que possui inúmeros protocolos, sendo o uso de redes inteligentes, e/ou smart grid, um das formas mais eficientes que quando se trata de uma gestão precisa e em tempo real (BAIMEL E TAPUCHI, 2016).

2.2.1 Internet das Coisas

Internet of Things ou IoT, traduzida como internet das coisas, é um termo no qual idealiza a interconexão via internet a todas as coisas, ou seja, todos os equipamentos são aptos a conexão da internet, no qual facilita a comunicação (MORAIS, GONÇALVES E LEDUR, 2018).

Segundo Witkowski, a aparição deste conceito foi em 1999 pelo britânico Kevin Ashton, no qual o sistema é descrito como a comunicação das coisas materiais e com os computadores, sendo esse sistema com três características de conceito, onipresença e otimização (WITKOWSKI, 2017).

2.2.2 Infraestrutura da comunicação

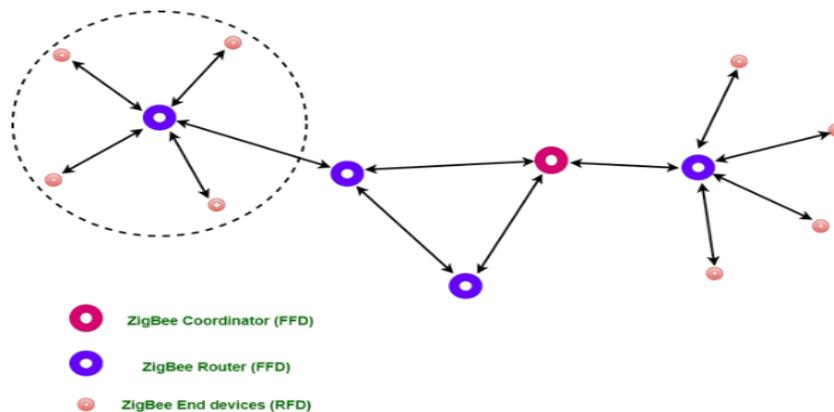
As redes inteligentes são baseadas em três tipos de redes: Home Area Network (HAN), Neighborhood Area Network (NAN) e Wide Area Network (WAN). Em definição o HAN é uma rede de comunicação utilizada dentro de uma residência ou domicílio. Essa rede pode conectar dispositivos eletrônicos, como computadores, smartphones, eletrodomésticos inteligentes, termostatos, sistemas de segurança, entre outros, permitindo sua comunicação e interação. Geralmente, a HAN é utilizada para automação residencial e pode ser gerenciada por um gateway ou hub central. Já a NAN abrange além das residências, é uma rede de comunicação com maior área do que a HAN, mas não possui uma extensão tão ampla se comparado com a WAN. E por fim a rede WAN, possui uma comunicação em larga escala, podendo abranger países ou continentes (SANTOS, 2019).

2.2.2.1 ZigBee

A padrão Zigbee que segue inumeros protocolos particular de comunicação sem fio baseado, sendo usado para redes de baixa potência e baixa taxa de transmissão de dados (RAMOS,2012). Essa tecnologia é frequentemente utilizada em aplicações de automação residencial, edifícios inteligentes, dispositivos médicos, sensores industriais e outras áreas que requerem comunicação entre dispositivos com consumo de energia otimizado (PAN E TSENG, 2007)

Algumas características desse protocolo é sua faixa de frequência e alcance que pode operar de 2,4 GHz, 868 MHz e 915 MHz, dependendo da região. O zigbee possui curto alcance, mas são frequentemente usados em ambientes onde são essenciais a eficiência energética e a comunicação confiável entre vários dispositivos, especialmente em sistemas de automação residencial, redes de sensores sem fio e controle de dispositivos industriais (ARAUJO, 2017). A figura 3 mostra uma estrutura zigbee.

Figura 2 – Estrutura ZigBee



Fonte: GEEKSFORGEEEKS, 2023

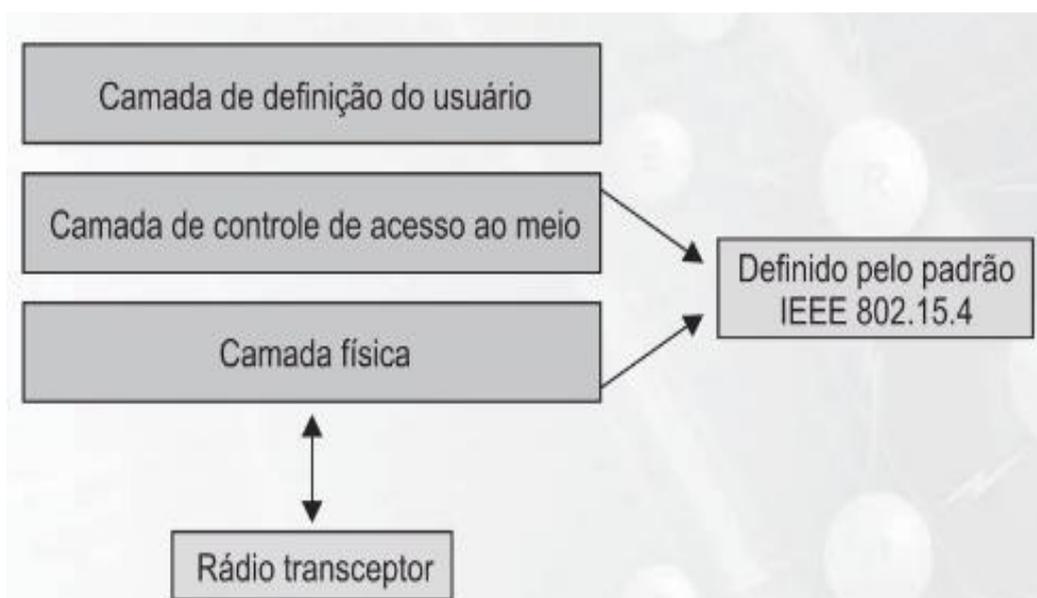
De modo geral, o ZigBee é uma camada de rede que organiza a comunicação. Para ingressar na rede, um nó (roteador ou dispositivo final) solicita ao coordenador um endereço de rede (16 bits) durante o processo de associação, garantindo autenticação e criptografia. Uma vez conectado, um nó pode enviar informações aos seus pares através de roteadores ativos. Quando um roteador recebe um pacote destinado a um dispositivo final dormindo, retém o pacote até que o destino acorde para o receber (ARAUJO, 2017).

2.2.2.2 Padrão IEEE 802.15.4

De acordo com a IEEE (*Institute for Electrical Eletronics Engineer*), o padrão IEEE 802.15.4 define todas as operações de comunicação sem fio, PHY e MAC de baixa taxa de dados LR-WPANs (*Lower Rate Wireless Personal Area Network*), sendo direcionado para dispositivos com baixo consumo energético e implantação (IEEE, 2020).

O padrão IEEE 802.15.4 é dividido em duas camadas a física denominada PHY e a camada de controle de acesso ao meio denominada MAC (RAMOS, 2012). A figura 4 mostra a definição das camadas do IEEE 802.15.4.

Figura 3 – Definição das camadas IEEE 802.15.4

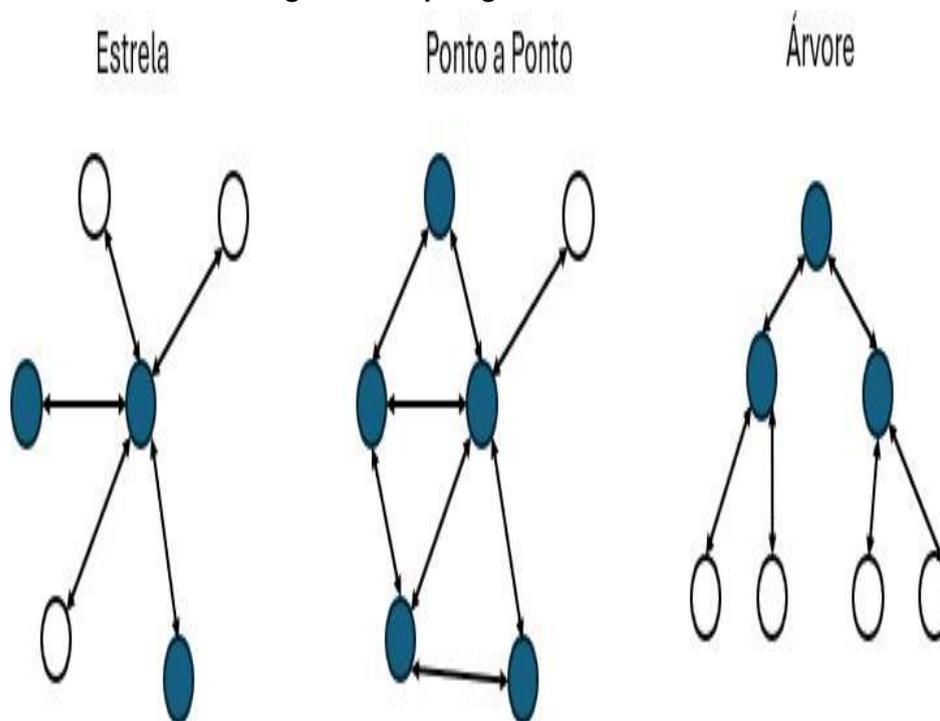


Fonte: Instrumentação Eletrônica sem Fio, 2012

Em definição a camada física trata das características de hardwares e comandos elétricos, sua principal finalidade transmitir e receber informações do meio externo e transformá-los de forma adequada para enviar ao MAC. Já a camada de controle de acesso ao meio é o cérebro do padrão, pois é responsável pelas operações que abrange o canal físico de comunicação (RAMOS, 2012).

A base desse padrão possui vários tipos de topologia, dentre elas a dois tipos principais: a estrela, ponto a ponto. Uma outra topologia que pode ser aplicada nesse padrão a denominada árvore, no qual é a junção ou derivação das duas topologias anteriores (FERTIG,2020). A figura 5 mostra a topografia de IEEE 802.15.4.

Figura 4 – Topologias de IEEE 802.15.4



Fonte: Adaptação de Queiroz, 2017

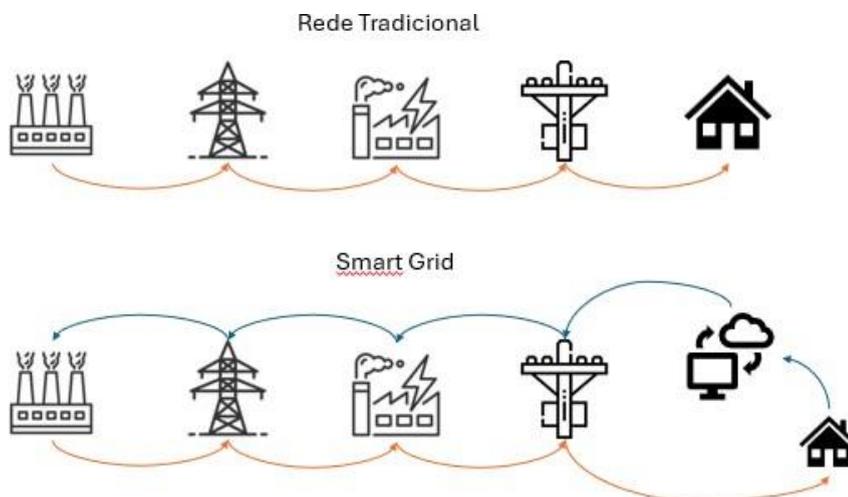
2.3 Smart Grid

O termo smart grid está além de sua tradução, redes inteligentes, é uma forma inteligente de integração desde a geração ao consumidor, visando melhorar a eficiência a interação com a rede de energia de forma prática e sustentável (PHUANGPORNPIITAKA E TIA, 2013).

O conceito de redes inteligentes foi apresentado em 2006 pela Plataforma Tecnologia Europeia (*European Technology Platform*), sendo proposto que o sistema de smart grid é a interação inteligente entre o sistema eletrônico de potência, a fim de monitorar, controlar e facilitar a detecção possíveis intercursos dentro da rede, visando a o baixo custo e sustentabilidade (WADE, 2013).

A figura 6 mostra uma Comparação entre a rede tradicional com a rede inteligente.

Figura 4 – Comparação entre a rede tradicional com a rede inteligente



Fonte: Autor, 2024.

Além disso, um sistema bidirecional não apenas conduz a produção de energia, mas também proporciona maior independência aos consumidores, o que contribui para uma infraestrutura elétrica mais resiliente, capaz de lidar com interrupções na rede principal ao permitir que essas unidades de geração distribuída continuem operando autonomamente (KESHAV E ROSENBERG, 2011).

2.4 Segurança da Informação em Smart Grid

Ao analisar o cenário das Smart Grids, a segurança surge como um dos principais assuntos. Os dados críticos sobre consumo de energia, pontos de distribuição e análises em tempo real possuem um valor extremamente significativo. Embora essas informações sejam benéficas para aprimorar a experiência do usuário e a integridade do sistema, também representam potenciais alvos para atividades maliciosas. A infraestrutura das Smart Grids está suscetível a uma ampla gama de ameaças de segurança, abrangendo desde roubos e ciberataques até possíveis eventos de terrorismo e desastres naturais (SANTOS, 2020).

Considerando esse alto risco, em caso de uma falha substancial na rede, as consequências podem ser devastadoras. Desde apagões em larga escala até uma visualização deficiente do sistema, o que poderia atrasar a correção de problemas, passando por falhas em cascata e o caos no mercado de energia. Adicionalmente, há o risco de possíveis fatalidades, destacando a urgência de estratégias robustas de segurança cibernética e protocolos de contingência eficientes para mitigar tais cenários (SANTOS, 2020).

Segundo a GAO (Escritório de responsabilidade do governo dos EUA), em 2011, há muitas preocupações sobre a disponibilidade de informações na rede elétrica, o qual torna-se vulneráveis a ataques e perda de serviço, tais quais: O surgimento de vulnerabilidades novas e desconhecidas resultantes da implementação de tecnologias de rede inovadoras; Expansão do alcance para invasores, permitindo a disseminação ágil de atividades maliciosas, devido à interconexão crescente entre sistemas.

2.5 Possibilidade de divulgação indevida e uso inapropiado das informações privadas

De acordo com Paim, há três tipos de ataque a redes inteligentes: a de vulnerabilidade, a de injeção de dados e a intencional. O ataque de vulnerabilidade ocorre ao explorar falhas ou aberturas já conhecidas em dispositivos ou canais de comunicação. Também pode resultar da falta de sincronização nas informações de retorno, levando a uma entrega imprecisa de dados e induzindo a central de controle ao erro. Já o ataque de injeção de dados visa manipular as medições dos medidores digitais para criar fraudes no sistema de faturamento, alterando deliberadamente os dados registrados. E por fim, o ataque intencional, a qual indivíduos que possuem conhecimento prévio da topologia da rede. Visando a segurança, há etapas para um plano de contenção de ataque a rede, ou seja, um plano de detecção e sinalização no ataque, podendo facilitar na recuperação ou recuperação do serviço ou informação adjacente (NETO, 2013). A figura 7 mostra um plano de resposta a incidentes.

Figura 5 – Plano de resposta a incidentes



Fonte: Autor, 2024.

3. METODOLOGIA

Esse artigo se refere a uma pesquisa bibliográfica que tem como analisar e estudar os principais protocolos de comunicação utilizados na rede elétrica em analisar o desempenho, segurança e eficiência de diferentes protocolos de comunicação na integração dos sistemas Smart Grid e avaliar os protocolos selecionados em termos de sua aplicabilidade e capacidade de suportar requisitos específicos da rede elétrica inteligente.

Dessa forma, é considerado uma revisão bibliográfica descritiva de pesquisas literárias de engenharia. Para o embasamento foram utilizados artigos de pós-graduação, parâmetros normativos internacionais e livros de engenharia.

Como base nesses conhecimentos que foram adquiridos por meio de contextualização do tema, foram feitas análises e investigações dos métodos para a aplicação do sistema smart grid com base nos protocolos de redes existentes, que por sua vez mostra-se uma abordagem qualitativa mostrando a eficiência e os benefícios na implantação do smart grid em redes elétricas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo será abordado o entendimento através das pesquisas realizadas durante todo o trabalho realizado.

Ao abordar o tema de redes inteligentes foi prevista a análise e pesquisa de teses, dissertações, livros e normas, que por sua vez, mostrou a eficiência e benefícios a integração da smart grid em redes elétricas.

Smart grid vem do inglês redes inteligentes, ou seja, é a capacidade de comunicação entre dois ou mais dispositivos. Como foi abordado nas pesquisas, para implementação das redes inteligentes nas redes tradicionais requer uma grande análise e estudos sobre as comunicações existentes, ou melhor, os protocolos de redes. Viu-se que, existem vários protocolos de redes que se pode usar para a integração de uma rede tradicional a um sistema de smart grid, visto que neste termo nada mais é que a intercomunicação entre dois ou mais canais (Figura 01). Sabe-se que para a implantação deste tipo de rede é necessário o conhecimento dos padrões de protocolos de comunicação, sendo alguns dos principais o ZigBee, IEEE 802.15.4, Wi-fi e bluetooth. Cada protocolo possui sua característica e aplicação dada ao tipo de implantação esta sendo aplicado, alguns possuem baixo alcance e

outros um melhor desempenho a longas distâncias.

Tabela 1- Protocolos de Comunicação

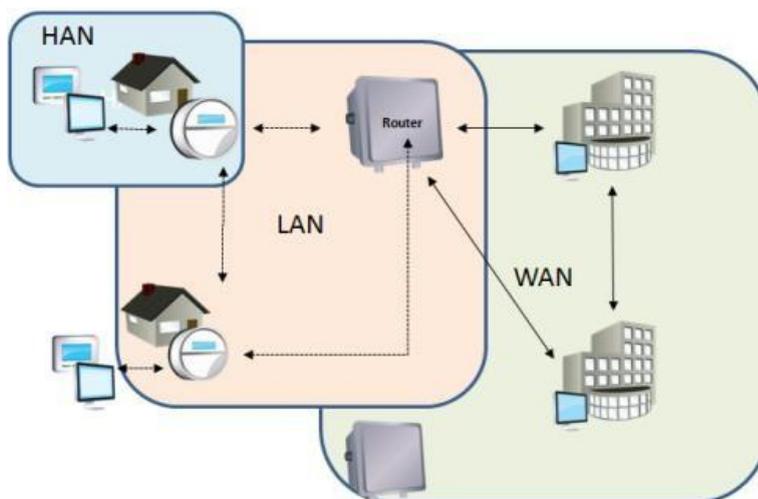
	ZigBee/ 802.15.4	Bluetooth	Wi-fi
Aplicação	Monitoramento e controle de	Substituição de Cabos	Web, Vídeo, Email
Recurso do Sistema	4KB-32KB	250KB	1MB+
Nós por Rede	255/65K+	7	30
Taxa de Transmissão	20-250Kbps	720Kbps	11000+Kbps
Alcance(m)	Até 75+	Até 10+	Até 100

Fonte: Adaptação GTA/UFRJ, 2019

O padrão ZigBee e o padrão IEEE 802.15.4 são semelhantes entre si, como observado na tabela 01, esses padrões são normalmente usados para controle e monitoramento de rede, sendo de baixo custo e baixo alcance. Padrões como bluetooth e wi-fi são mais conhecidos por sua sua flexibilidade e um maior alcance em comparação com os padrões anteriores, isso se dá por ter mais recurso de sistema e taxa de transmissão que o Zigbee e 802.15.4.

Sabe-se que a internet das coisas foi algo de grande impacto para o mundo, pois foi a parti desse conceito, novos ramos se desenvolveram em grande escala. Um dos pontos abordados dessa pesquisa foi o entendimento das redes HAN, LAN E WAN, que são a base da comunicação sem fio entre equipamentos, sejam industriais ou de uso pessoal. A figura 8 mostra aplicação das redes conforme o recurso do sistema de cada rede.

Figura 6 – Aplicação das Redes



Fonte: Powerprimer.wordpress, 2023

Como abordado, esse método de integração da rede tradicional com o sistema de smart grid gera um grande impacto quando o assunto distribuição da energia elétrica, pois ao implantar um sistema inteligente a rede diagnósticos e previsões de falhas são rapidamente tratadas e contornadas. Os sistemas bi- direcionais são ótimos para controle e monitoramento de redes e equipamentos como por exemplo aplicação em energia solar, medidores em meio industriais, granulometria, entre outros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo do estudo é compreender o conceito de smart grid dentro dos protocolos de comunicação sem fio HANs, com o entendimento dos padrões zigbee, 802.15.4, bluetooth e wi-fi. As redes tradicionais possui inúmeras contingências, as quais o sistema de intercomunicação pode ajudar e facilitar a tratativa dessas contingência, pois ao integrarmos o sistema smart grid as rede tradicionais o diagnósticos da rede se torna mais rápido e eficiente.

Dessa forma, possíveis problemas são facilmente detetados pela rede de informação em tempo real, que proporciona maior eficiência do diagnóstico e tratamento. Por fim, a sistema de redes inteligentes se mostrar um grande aliado para combater as possíveis falhas do sistema atual, tendo que, possui uma tecnologia de troca de informação em tempo real que possibilita a reparos rápidos e mais eficientes

Contudo, a pesquisa relizada se mostrou um enorme conceito a ser explorado para a modernização do sistema de distribuição de energia, pois a sistema tradicional está cada vez mais demandado, e esse aumento podendo ser necessário a implantações de novo métodos que ajudem e facilitem a manutenção e controle em questão de geração e distribuição, e até mesmo a comunicação geral.

6. REFERÊNCIAS

- Amaro, N., Pina, J. M., Martins, J., & Ceballos, J. M. **SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE: A Technological Contribute to Smart Grid Concept Implementation**. University of Extremadura, Badajoz, Spain, 2012.
- AMIN, M. S.; WOLLENBERG. **Toward a smart grid**. *IEEE power & energy magazine*, v. III, n. 5, p. 34 - 41, 2005.
- ARAUJO, Eduardo Fernando dos Santos. **Redes IEEE 802.15.4**. 2017.
- BAIMEL, D., TAPUCHI, S., & BAIMEL, N. (s.d.). **Tecnologias de comunicação de redes inteligentes**. Israel, 2016

- DRANKA, G.G., & FERREIRA, P. **Towards a Smart Grid Power System in Brazil: Challenges and Opportunities**. University of Minho, Guimarães, Portugal, 2020.
- FALCÃO, D. M. **Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid**. In: III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belém. SBSE, v. 1, p.1-5, 2010.
- KESHAV, S.; ROSENBERG, C. How internet concepts and technologies can help green and smarten the electrical grid. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**, 41(1):109–114, 2012.
- MANGANELLI, Jean Marin. **Tecnologias de Redes Sem Fio para Smart Grids**. Monografia. Curitiba, 2014.
- MELO, Pablo. Padrão IEEE 802.15.4 – **A base para as especificações Zigbee, WirelessHart e MiWi**, 2017.
- MORAIS, Izabelly Soares de; GONÇALVES, Priscila de F.; LEDUR, Cleverson L.; et al. **Introdução a Big Data e Internet das Coisas (IoT)**, 2018.
- NETO, José Roberto Paim; BIANCHINI, David. **Segurança da Informação em Redes Inteligentes ou “Smart Grid”**, 2022.
- POTTER, C.; ARCHAMBAULT, A.; WESTRICK, K. **Building a smarter smart grid through better renewable energy information**. In: POWER SYSTEMS CONFERENCE AND EXPOSITION, p. 1-5., 2009.
- RAMOS, Jadeilson de Santana B. **Instrumentação Eletrônica sem Fio - Transmitindo Dados com Módulos XBee ZigBee e PIC16F877A**, 2012.
- SACOMANO, José B.; GONÇALVES, Rodrigo F.; BONILLA, Sílvia H. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. Editora Blucher, 2018.
- SANTOS, A. C.; CANATO, R. **Leandro C. Smart Grid: desafios em segurança**. *Prospectus*, v. 2, n. 1, 2020.
- WADE, World Alliance for Thai Decentralised Energy Association. **Handbook on smart/intelligent grid systems development and deployment**, 2013.
- ZIGBEE. **Logotipo do protocolo ZigBee**. Copyright© Zigbee, 2018.