



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE ROSANA
FEC - FACULDADE DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

JHULIA MARIA NOGUEIRA RODRIGUES DE OLIVEIRA

**Utilização da Tecnologia 5G nos Avanços das Redes
Elétricas Inteligentes**

MONOGRAFIA

Primavera - Rosana (SP)

31 de Janeiro de 2022

JHULIA MARIA NOGUEIRA RODRIGUES DE OLIVEIRA

**Utilização da Tecnologia 5G nos Avanços das Redes
Elétricas Inteligentes**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Kleber Rocha de Oliveira

Primavera - Rosana (SP)
31 de Janeiro de 2022

O48u

Oliveira, Jhulia Maria Nogueira Rodrigues de
Utilização da tecnologia 5G nos avanços das redes elétricas
inteligentes / Jhulia Maria Nogueira Rodrigues de Oliveira. --
Rosana, 2022
57 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
Orientador: Kleber Rocha de Oliveira

1. Energia Elétrica. 2. IMT-2020. 3. 5G. 4. Redes elétricas
inteligentes. 5. Smart grid. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Dedico este trabalho a minha falecida avó que onde quer que ela esteja sempre me apoiou e sonhou em me ver formada. Amo a senhora além da vida.

Agradecimentos

À Deus pelas oportunidades que me proporcionou e proporcionará. Gratidão pela vida!

Expresso minha gratidão a todos os professores do curso de engenharia de energia da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” FEC - Faculdade de Ciências e Engenharia - Câmpus de Rosana por todo o apoio e base necessária que me deram ao longo da realização do meu trabalho, agradeço com profunda admiração pelo vosso profissionalismo. E principalmente ao meu orientador, Kleber, que dedicou seu tempo e paciência me passando conhecimento nesta última etapa.

Aos meus pais, Rosane e William, por todo apoio, amor incondicional, incentivo e vontade de me ver vencer. Vocês são a razão de tudo isso! Obrigada por tudo. Um dia retribuirei toda essa gratidão à vocês.

Às minhas amigas de república Alcoóiris, Morga, Pudim, Giló, Baiana, Yamilla, Rocío, Mari, Gianni, Matilha, Lígia, Majo e Ju, obrigada por estarem comigo nos meus melhores e piores momentos durante a vida da graduação, pela hospitalidade, amizade, respeito, tolerância e descontração, vocês moram em meu coração.

Aos meus verdadeiros amigos e amigas por fazerem parte dos anos de faculdade! Ao Diogo, meu grande amigo que levarei pra vida toda!

Aos colaboradores do CAUR e Paim que compartilharam esse projeto comigo.

Gratidão Primavera, UNESP e à todos que puderam fazer parte dessa etapa inesquecível da minha vida! Muito sucesso à todos!

Resumo

Com a chegada da tecnologia 5G, oportunidades para o setor elétrico se abrirão, como conexões mais rápidas e um tráfego maior de dados, possibilitando, assim, o surgimento de serviços que exigem aplicações em tempo real e tempo de resposta quase imediato. A tecnologia 5G inevitavelmente fará parte do cotidiano das empresas do setor elétrico. Uma das tendências no setor de energia com a chegada do 5G é o maior estímulo à adoção das redes elétricas inteligentes (do inglês: smart grid). Smart grids são um conceito do setor elétrico que combina técnicas e métodos inteligentes de detecção, medição, controle e supervisão. Suas características e vantagens são apontadas como soluções em diversos segmentos do setor elétrico, uma vez que prometem alta velocidade, maior confiabilidade e possibilidade de conexões massivas para aplicação do conceito de Internet das Coisas (sigla em inglês: IoT). O presente trabalho tem por objetivo analisar a performance do 5G no avanço das smart grids. Como são temas recentes, o trabalho desenvolveu-se no contexto de pesquisa bibliográfica e documental aplicando o método descritivo e abordagem qualitativa, retirando os resultados de artigos e documentos disponíveis por empresas. Para o avanço das smart grids utilizando o 5G, tem-se aplicações, ligadas a geração, transmissão e distribuição de energia, como a inspeção remota com drones, a automação distribuída de alimentadores inteligentes, a aquisição de informações de sistema de baixa tensão e as fontes de geração distribuída. Como conclusão, o trabalho pôde relacionar essas aplicações com os casos de uso do 5G, como mMTC, eMBB e URLLC.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Redes 5G. Redes Elétricas Inteligentes. Internet das Coisas.

Abstract

With the arrival of 5G, opportunities for the electricity sector will open up, such as faster connections and greater data traffic, thus enabling the emergence of services that require real-time applications and an almost immediate response time. 5G technology will inevitably be part of the daily lives of companies in the electricity sector. One of the trends in the energy sector with the arrival of 5G is the biggest stimulus to the adoption of smart grids. The smart grid is a concept that combines intelligent detection, measurement, control and supervision techniques and methods. Its characteristics and advantages are pointed out as solutions in several segments of the electricity sector, since they promise high speed, greater reliability and the possibility of massive connections for the use of IoT. The present work aims to analyze the performance of 5G in the advancement of smart grids. As these are recent topics, the work was developed in the context of bibliographic and documentary research, applying the descriptive method and qualitative approach, extracting the results of articles and documents available by companies. For the advancement of smart grids using 5G, there are applications linked to energy generation, transmission and distribution, such as remote inspection with drones, distributed automation of smart feeders, the acquisition of low voltage system information and the distributed generation sources. In conclusion, the work was able to relate these applications to 5G use cases, such as mMTC, eMBB and URLLC.

Keywords: Electricity. 5G Networks. Smart Grid. Internet of Things.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Comparação da rede elétrica tradicional com as redes elétricas inteligentes	16
Figura 2 – Generalização da operação da Smart Grid	19
Figura 3 – Infraestrutura de Comunicação em Smart Grid	20
Figura 4 – Arquitetura da Smart Grid	21
Figura 5 – Aprimoramento dos principais recursos do IMT-Advanced para o IMT-2020	25
Figura 6 – Roadmap genérico de padrões 3GPP e disponibilidade de serviços associados	29
Figura 7 – Aplicações associadas aos casos de uso do 5G	31
Figura 8 – A importância dos principais recursos em diferentes cenários de uso . .	34
Figura 9 – Requisitos e tipos de interação	35
Figura 10 – Aplicações relacionadas com os casos de uso do 5G aplicadas no setor elétrico	44
Figura 11 – Cenários da smart grid e requisitos da 5G	48

Lista de abreviaturas e siglas

2G	2nd generation
3G	3th generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Automação Distribuída
AMI	Advanced Metering Infrastructure
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AR	Realidade aumentada
ASCOM	Assessoria de Comunicação
BT	Baixa Tensão
CFTV	Circuito Fechado de Televisão
CIGRE Brasil	Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
DER	Distributed Energy Resources
DL	Download
DMS	Distribution Management Systems
EMS	Energy Management Systems
ERB	Estação Rádio Base
EUA	United States of America
FDIR	Fault Detection, Isolation and Recovery
GPS	Global Position System
GSMA	Global System for Mobile Communications
HAN	Home Area Network

IA	Inteligência Artificial
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IMT	International Mobile Telecommunicatios
ISO/IEC	International Organization of Standardization / International Electrotechnical Commission
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LT	Linha de Transmissão
LTE	Long Term Evolution
MIMO	multiple-input multiple-output
ML	Machine Learning
MT	Média Tensão
NBR	Norma Brasileira
NIST	National Institute of Standards and Technology
NR	Norma Regulamentadora
NSA	Non-Stand-Alone
PAIS	Programa Amazônia Integrada e Sustentável
PMU	unidades de medição de fasores
QoS	Quality of Service
REI	Rede Elétrica Inteligente
RITs	Radio Interface Technologies
RV	Realidade Virtual
SA	Stand-Alone
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition ou Aquisição de Dados e Controle Supervisão
SE	Subestação

SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio as micro e pequenas Empresas
SG	Smart Grid
SIN	Sistema Interligado Nacional
SRIT	Set of Radio Interface Technologies
TI	Tecnologia da Informação
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communications
V2X	Vehicle to Everything
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VR	Realidade Virtual
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Network
eMBB	enhanced Mobile Broadband
mMTC	massive Machine Type Communication

Sumário

1	Introdução	12
2	Objetivo	14
3	Revisão da Literatura	15
3.1	<i>Smart Grids</i>	15
3.2	Redes 5G	22
3.2.1	Aplicações e casos de uso do 5G	30
3.2.1.1	Enhanced Mobile Broadband (eMBB) ou Banda Larga Móvel melhorada	31
3.2.1.2	Massive Machine Type Communications (mMTC) ou Comunicações do tipo de Máquina Massiva	32
3.2.1.3	Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC) ou Comunicações Ultra Confiável e de Baixa Latência	32
3.2.2	Tecnologias aplicadas ao 5G	35
3.3	<i>Internet of Things (IoT)</i>	38
4	Materiais e Métodos	41
5	Resultados e Discussões	43
5.1	Fontes de geração distribuídas	45
5.2	Automação distribuída de alimentadores inteligentes	45
5.3	Aquisição de informações de sistemas de distribuição de baixa tensão	46
5.4	Inspeção remota com drones	47
6	Conclusão	50
	Referências	51

1 Introdução

No final do século 20 e início de 21 nossas ações de automação de rede já estava adiantada. Um dos grandes problemas está no volume de dados. O 5G para solucionar velocidade, continuidade e confiabilidade além dos dados. A nova era da hiperconectividade, também conhecida como 5G, envolverá e potencializará várias tecnologias, como a inteligência artificial (AI), telemedicina (cirurgia remota), realidade aumentada (AR), realidade virtual (VR), automação mecânica (carros autônomos), aprendizado de máquina (do inglês: *machine learning* - ML), Internet das Coisas (do inglês: *Internet of Things* - IoT), *Big Data*, entre outras. Com tanta tecnologia envolvida, o 5G trata de uma transição (4G para 5G) incentivadora para a melhoria da quantidade do compartilhamento dos dados e novas aplicações e inovações, significando novas perspectivas em termos de saúde, educação, ganhos de competitividade e produtividade para os setores econômicos, industriais, comerciais, de agronegócio, de automação (CONEXIS, 2021; GALLOTTI, 2021) e principalmente para o setor elétrico. O benefício para o consumidor final chegará pelas operadoras e pelo desempenho desses setores (QUITANILHA, 2021).

A mesma sociedade que se beneficiará com as tecnologias do 5G é a mesma sociedade consumidora dos serviços relacionados a energia elétrica (CASTRO; MARTINI, 2021). Conseguir uma eficiência maior nas redes é algo que se torna cada vez mais necessário, o que traz também um grande desafio, como implementar uma tecnologia que supra a necessidade dos consumidores, aumentando a confiabilidade do sistema de transmissão e distribuição de energia, além de integrar ao sistema novas fontes de energia limpa (FERREIRA, 2010). Neste contexto, o setor elétrico será impactado e estimulado a reagir, criando novos produtos, serviços e sistemas com base nessas tecnologias digitais, levando em consideração os algoritmos de análise, as topologias de redes e os sistemas de comando e proteção (GARCIA; DUZZI JUNIOR, 2012), se modernizando no sentido das redes elétricas inteligentes (REIs), com um custo razoável, investimento em inovação e tecnologia e, implementação coerente, sustentável e benéfica para a sociedade.

As REIs (do inglês: *smart grids*) têm objetivo de revolucionar o setor elétrico. Os novos modelos de consumo de energia exigem redes de distribuição mais desenvolvidas e complexas, incluindo a modernização na infraestrutura, instalação de camadas digitais, implantação de novos *softwares* (programas) e *hardware* (equipamentos) e aumento da capacidade do processamento de dados (COSTA, 2012). Também, por possibilitarem a utilização em larga escala de energias renováveis, as *smart grids* são um pilar fundamental para a transição energética (NEOENERGIA, 2021). Em conformidade com a chamada nº11/2010 da ANEEL, a REI, além de contribuir com qualidade do serviço prestado ao cliente, reduz os desperdícios, melhora a confiabilidade do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) e melhora a eficiência do uso da infraestrutura de distribuição da rede elétrica.

O desenvolvimento de energias renováveis para novos meios de produção de energia

como as fontes de geração distribuídas, a evolução das redes de energia tradicionais em redes inteligentes mais flexíveis e robustas que apoiarão a geração e armazenamento distribuído de energia, a automação distribuída de alimentadores inteligentes, a aquisição de informações de sistemas de distribuição de baixa tensão, exigirão avanços em tecnologias de comunicação sem fio, como a inspeção remota com drones, que podem ser fornecidas pelo 5G (5G AMERICAS WHITEPAPER, 2017).

Portanto, entender como as redes 5G potencializam e contribuem no avanço das REIs, se tornando bastante atraente como opção de banda larga e, sabendo que o processo de inovação tecnológica e transição energética exigem aplicação de novas arquiteturas e ferramentas para gestão de energia, é de fundamental importância que o meio de transmissão de dados suporte o tráfego e demanda desta tecnologia e, que as entidades relacionadas a cada uma das partes constituintes do SEB e do setor de comunicação se mobilizem para ter conhecimento de quais são as tendências de aplicação do 5G.

2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo identificar os benefícios e limitações de aplicações com requisitos 5G implantadas no setor elétrico (geração, transmissão e distribuição), aplicações as quais foram encontradas em documentos de empresas, a fim de mapear suas contribuições para o tráfego de dados e para o avanço das REIs.

3 Revisão da Literatura

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos fundamentais para a compreensão desta monografia, com base em uma revisão bibliográfica e documental.

3.1 *Smart Grids*

Amin e Wollenberg (2005) citaram Smart Grid (SG) através de um estudo científico intitulado como “Toward A Smart Grid” com a finalidade de demonstrar meios de renovar a infraestrutura energética dos EUA, considerada até então ultrapassada. Esses autores definiram o termo como “uma infraestrutura de rede elétrica em larga escala caracterizada por segurança, agilidade e resiliência/robustez que enfrenta novas ameaças e condições não previstas” (RIVERA; ESPOSITO; TEIXEIRA, 2013).

Por se tratar de um conceito e não um produto ou tecnologia, sua definição é diferente entre os institutos de pesquisa, empresas do setor e órgãos governamentais. Segundo o NIST (2010) (National Institute of Standards and Technology), *smart grid* é uma rede moderna que permite o fluxo bidirecional de energia, usando comunicação nos dois sentidos e técnicas de controle, que possibilitará novas funcionalidades e novas aplicações. Para o Grupo IBERDROLA (2020), a qual a Elektro faz parte, *smart grids* são redes elétricas que podem integrar de forma inteligente e dinâmica as ações de todos os usuários conectados a elas — aqueles que geram energia, que a consomem ou ambos — a fim de fornecer eletricidade de forma eficiente, sustentável, econômica e segura.

Os seus componentes são sensores e atuadores (medidores inteligentes, medição fasorial sincronizada, *intelligent electronic devices* e chaves automáticas), recursos energéticos distribuídos (do inglês: *Distributed Energy Resources* - DERs; definidos pela EPE como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, como microgeração, minigeração, geração distribuída, armazenamento de energia), automação e controle (religadores e reguladores de tensão inteligentes), eletrificação de transportes (veículos elétricos) e aplicações dos consumidores (eletrodomésticos inteligentes e sistemas domésticos de gerenciamento de energia) (GALLOTTI, 2021). Conectar estes dispositivos à rede de comunicação é fundamental para a construção das SG. A figura 1 adaptada de Lopes, Franco e Molano (2012), descreve a comparação da rede elétrica tradicional com as redes elétricas inteligentes.

Figura 1 – Comparação da rede elétrica tradicional com as redes elétricas inteligentes

Rede tradicional	Rede inteligente
Dominada pela produção centralizada, muito limitada na geração e armazenamento.	Recursos energéticos <i>plug and play</i> para complementar a produção centralizada, integrando de forma transparente uma variedade de fontes de energia de várias dimensões, tecnologias e demandas.
Mercado limitado.	Mercado integrado, possibilitando inovação.
Concentra-se em falhas ao invés da qualidade da energia.	Qualidade é prioridade, com uma variedade de opções de preço de acordo com as necessidades do cliente.
Inteligência da rede limitada.	Integração inteligente da rede com a gerência.
Foco na proteção após a falha.	Evita interrupções, minimiza o impacto e se auto recupera.
Vulnerável a vândalos e a desastres naturais.	Tolerância a ataques externos: detecta, atenua e se restaura rápida e eficientemente após desastres; capacidade de mitigar e resistir a ataques físicos e ciberataques.

FONTE: Próprio autor

De acordo com Falcão (2010) e outros autores, algumas das principais características atribuídas às SG são:

- análise do comportamento dos consumidores nos processos de planejamento e operação da rede;
- distribuidoras contarão com menos perdas na distribuição de energia e os custos de manutenção serão minimizados;
- entrega de serviço com mais qualidade, confiabilidade e segurança, de maneira mais sustentável;
- redução do impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade, utilizando fontes de baixo impacto ambiental;
- *self healing*.

O *self healing* (auto recuperação) é uma tecnologia que trabalha com sistema de lógica aplicada às ferramentas de comando à distância instaladas na rede de distribuição. A princípio, o sistema identifica de forma ágil e imediata falhas na rede, geradas por quedas de árvores, descargas atmosféricas ou ações de animais, analisa, se auto recupera sem a necessidade da intervenção humana, isola o trecho da rede e ativa soluções para fazer com que a energia chegue por outras rotas aos consumidores afetados. Reforçando, desse modo, a confiabilidade do sistema elétrico (NEOENERGIA, 2021), ou seja, a probabilidade de um ativo desempenhar sua função – especificada pelo projeto e de acordo com as condições da operação – durante um determinado período, definição estabelecida pela NBR-5462 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a IBERDROLA (2020) modernização, digitalização e automação das redes são os elementos-chave para aprimorar a qualidade do sistema de distribuição e garantir a

incorporação de energias renováveis em um futuro, bem como para oportunizar a eletrificação da mobilidade, das edificações e da indústria. Há investimentos da base de ativos nos EUA, Brasil, Reino Unido e Espanha, acreditando que as redes elétricas de transmissão e distribuição modernas e flexíveis são capazes de integrar de forma eficiente um sistema renovável e descarbonizado.

A inteligência inserida na digitalização da rede transforma o setor elétrico, pois apresenta um conjunto de tecnologias e sistemas que tem como objetivo facilitar a gestão e simplificar a relação do consumidor com a energia (IZUMIDA, 2021). Com os consumidores mais conectados à rede, os mesmos serão capazes de consultar em tempo real suas curvas de consumo, a demanda máxima de potência, suas faturas, planos, preços, opções de compra e venda, o que lhes permite uma maior capacidade de escolha da tarifa que mais se adapta às suas necessidades, além de receber os benefícios de uma rede mais confiável mesmo em face da demanda crescente (LOPES; FRANCO; MOLANO, 2012). A digitalização, assim como a descarbonização e descentralização, resumem as ações em prol do desenvolvimento sustentável do SEB. Também chamados 3Ds de energia, são os pilares da transformação do setor que buscam uma maior eficiência energética (ESFERA BLOG, 2021).

O sistema de automação das redes inteligentes depende de uma comunicação extremamente robusta e confiável, diz Frederico Candian, diretor de Processos e Tecnologia da Neoenergia. Em momentos críticos em uma operação na rede elétrica, é fundamental que haja segurança e confiabilidade para uma rápida recuperação. A automação de rede inteligente baseada na lógica de distribuição mediante a presença de tensão, é um método altamente confiável e econômico de implementação da rede inteligente (NOJA POWER, 2019).

Sobre a situação das redes inteligentes no Brasil, a ANEEL publicou em 2010, a Chamada de Projetos de P&D Estratégicos nº011/2010 denominado “Programa brasileiro de rede elétrica inteligente”, originando o Plano Nacional das Redes Elétricas Inteligentes a fim de verificar os desafios a serem superados para atualização do sistema elétrico nacional. De acordo com a chamada, a implantação das REIs no Brasil teria como motivação a busca das eficiências comercial e energética, o aumento da credibilidade do sistema elétrico, a segurança operacional e sistêmica e sustentabilidade econômica e ambiental (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), 06/2010). Graças à REI, é possível identificar as áreas geográficas mais consumidoras de energia e as quais mais ocorrem interrupções. Além de detectar irregularidades nos equipamentos, reconhecer incidentes e fraudes dentro da rede e monitorar a manutenção que os ativos da rede necessitam (IBERDROLA, 2020).

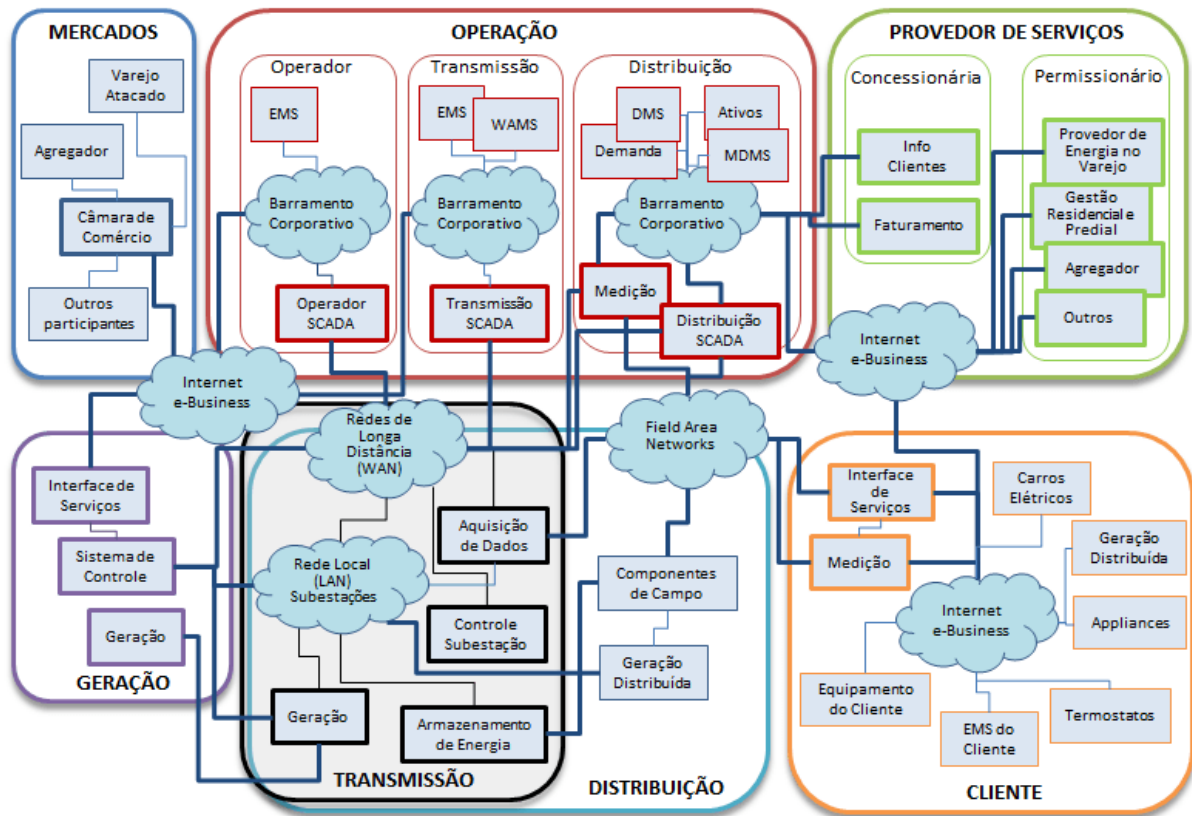
Uma SG é uma rede elétrica modernizada que usa tecnologias de informação e comunicação para coletar informações fora da rede; essas informações são usadas para

conciliar a produção e distribuição de eletricidade, medir o consumo a fim de economizar energia, reduzir perdas e aumentar a confiabilidade e eficiência da rede. Os sistemas de comunicação em *smart grids* propõem uma interoperabilidade entre os mais diversos níveis de tecnologias empregados na sua infraestrutura, por isso torna-se importante o estabelecimento de padrões de comunicação (ALONSO, 2014). Segundo a Organização Internacional de Normalização (ISO), interoperabilidade é a habilidade de dois ou mais sistemas (computadores, meios de comunicação, redes, *software* e outros componentes de tecnologia da informação) interagir e intercambiar dados de acordo com um método definido, de forma a obter os resultados esperados.

Tendo em vista a comunicação de duas vias, entre a concessionária e seus clientes, e entre os dispositivos instalados na rede elétrica e o centro de controle, a *smart grid*, dentro da área da distribuição de energia, possibilita um conjunto de funcionalidades que trazem vantagens para toda a sociedade. Na era digital, as operadoras de telecomunicações são essenciais por serem responsáveis pela criação, manutenção e expansão de tais funcionalidades (SPADINGER, 2021). A Telecom é um dos grandes segmentos que envolvem as *smart grids*, uma vez que os dispositivos conectados a essa rede, ou estão nas residências ou nos postes espalhados pela cidade, se tornam essenciais, exigindo uma capacidade enorme para tratar um volume de dados significativo dentro da rede.

O setor elétrico consiste em cinco fases: geração, transmissão, transformação, distribuição e consumo (CASTRO; MARTINI, 2021). Essas fases da infraestrutura da rede podem ser analisadas no contexto de SG na figura 2 retirada de Fagundes (2015) explicando como a integração dos sistemas dentro de cada dimensão e com outras dimensões é fundamental para o perfeito funcionamento dos serviços.

Figura 2 – Generalização da operação da Smart Grid

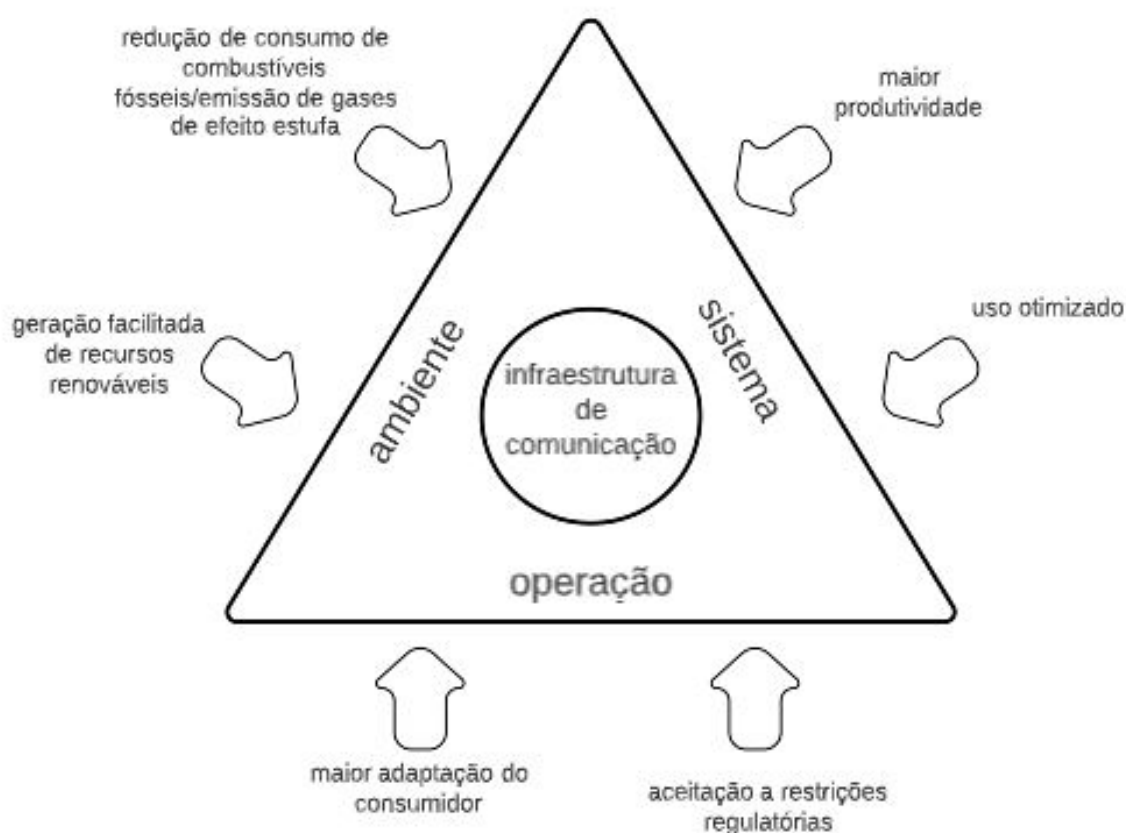


FONTE: Eduardo Fagundes (2015)

A divisão de mercados representa as possibilidades de inserção da tecnologia das REIs no mundo. A divisão de geração caracteriza as fontes e infraestruturas de produção de energia. A divisão de operações inclui sistemas de gestão de energia (EMS - *Energy Management Systems*) e sistemas de gestão de distribuição (DMS - *Distribution Management Systems*), responsáveis por todo o gerenciamento e atividade de uma rede inteligente. Por último, a divisão de provedores de serviços é responsável pela implantação e fornecimento desses projetos à divisão final composta pelos consumidores.

Segundo Yan *et al.* (2013), operação, ambiente e sistema são motivações para o estudo dos meios de comunicação para SG, conforme mostrado na figura 3 e discutida a seguir.

Figura 3 – Infraestrutura de Comunicação em Smart Grid



FONTE: Adaptado de Yan (2012)

Ambiente: SG com sistemas eficientes de comunicação são capazes de apresentar uma melhor análise do uso de energia elétrica, resultando em uma utilização mais precisa de seu potencial, promovendo a redução do uso de energia e emissão de degradantes ambientais. Até mesmo sua habilidade de possibilitar a integração controlada de várias fontes de energia, torna o sistema mais equilibrado e independente de uma só forma de geração.

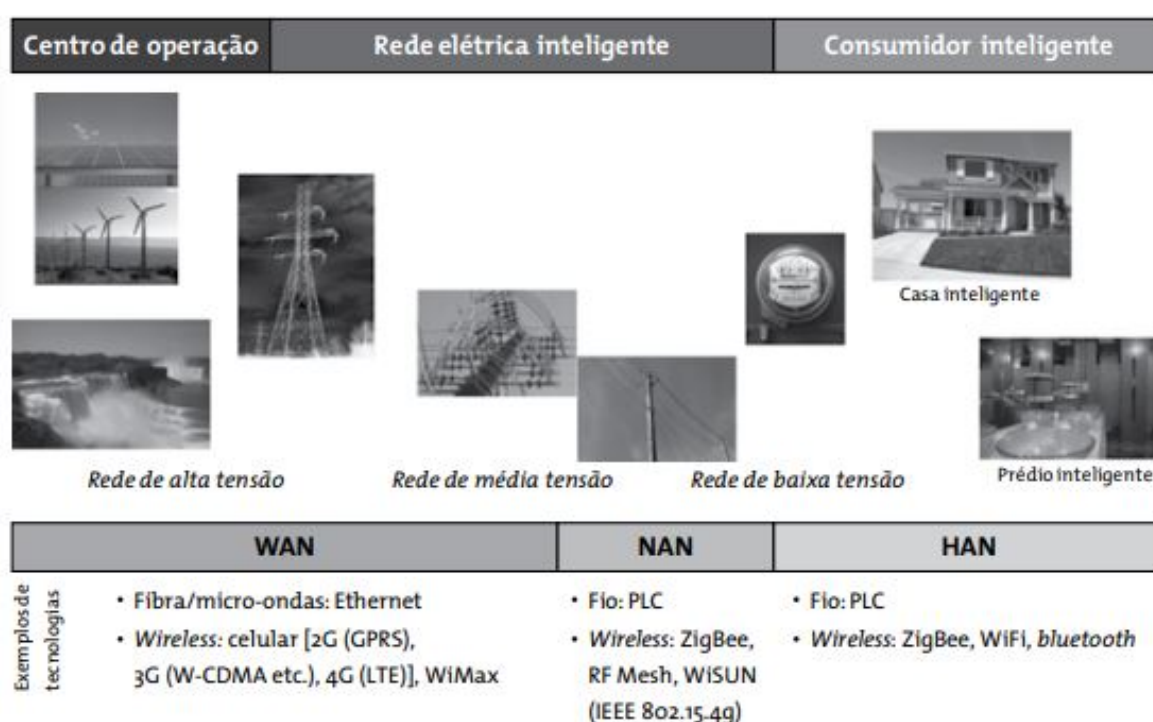
Operação: meios de comunicação bem estabelecidos podem proporcionar maior confiabilidade e qualidade dos serviços oferecidos em um sistema inteligente de energia, resultando em clientes com um maior entendimento do sistema e oferecendo ferramentas que os auxiliam a usar esses serviços mais eficientemente. Paralelamente, com um maior conhecimento sobre as operações envolvidas, há um maior conhecimento dos regulamentos empregados na taxação de serviços.

Sistema: infraestruturas de comunicação têm a capacidade de prover estudos em tempo real sobre um sistema elétrico de potência, consumo de energia e previsões de demanda que otimizam o sistema elétrico. Em seguimento, uma maior produtividade é

resultante de um uso otimizado.

Desde o centro de operação de energia até a distribuição para o consumidor final, a comunicação na REI pode ser dividida em três segmentos: (i) *Wide Area Network* (WAN) – cobre toda a extensão, desde o centro de controle até a região local da *Neighborhood Area Network* (NAN); (ii) NAN – abrange a comunicação vinda da WAN até a *Home Area Network* (HAN) e cobre a rede de média tensão; e (iii) HAN – comunicação no ambiente residencial, entre os utensílios domésticos e o medidor. Essa topologia de rede de telecomunicações pode ser visualizada na figura 4 retirada de Rivera, Esposito e Teixeira (2013).

Figura 4 – Arquitetura da Smart Grid



FONTE: Ricardo Rivera (2013)

O meio pelo qual trafega a informação pode adotar diferentes tecnologias simultaneamente, as cabeadas (fibra ótica, cabo coaxial ou cabos metálicos) ou sem fio (do inglês: *wireless*) (Wi-Fi, redes de celulares, radiofrequência - WiMax, ZigBee, Bluetooth, 3G, 4G, 5G, entre outros -, satélites). A escolha de qual deverá ser adotada para a rede de comunicações implantada, depende de fatores como os custos, distância entre os sensores e medidores até o ponto concentrador de dados e deste até a rede da concessionária, da topologia física do local, da área de cobertura, da taxa de transmissão, do desempenho do sistema e atenuação de ruídos. A rede de comunicações atenderá a requisitos de transmissão de dados bidirecional, largura de banda, escalabilidade (suportar o aumento de dispositivos sem redução de desempenho), latência (tempo para a transmissão dos dados e eventuais atualizações de *software*), tolerância a falhas, confiabilidade, segurança, entre

outros (RIVERA; ESPOSITO; TEIXEIRA, 2013).

A tecnologia *wireless* não se restringe à necessidade de cabeamentos e limitações físicas impostas pelo espaço, sendo implementada em setores como telefonia. Nessas redes, seus nós de comunicação são elos críticos na transmissão e no processamento de dados de fontes variadas, inseridas dentro da complexidade de uma rede inteligente (ALONSO, 2014). De acordo com Walls (2013), vice-presidente de relações públicas da CTIA – *The Wireless Association*, os nós de comunicação sem fio são os links críticos dos sistemas de rede inteligente, reunindo e processando fluxos de dados de uma variedade de fontes. Os nós conectam aparelhos inteligentes da rede em residências com medidores inteligentes e, podem fornecer aos consumidores informações sobre quais aparelhos estão consumindo energia e a capacidade de controlá-los de qualquer lugar, a qualquer hora; estão sincronizados com os sensores de linha, que detectam quanta energia está fluindo pelo sistema a qualquer momento e, em seguida, transmitem essas informações a uma central de operações.

Segundo a Neoenergia, o diferencial das *smart grids* é incorporar a transformação digital para facilitar a bidirecionalidade de energia, de comunicações e tecnologias de informações, com o objetivo de elaborar uma infraestrutura inteligente de energia elétrica que respondam às necessidades dos usuários e dos produtores de energia, construindo uma rede mais segura e eficiente. As SG fazem o uso da tecnologia digital avançada para analisar e controlar o transporte de eletricidade em tempo real com o fluxo bidirecional de energia e informações, garantindo uma maior interação entre o sistema de fornecimento de energia e o consumidor final (GALLOTTI, 2021).

3.2 Redes 5G

Em uma década de *smartphones* e computadores cada vez mais sofisticados, fica claro que as pessoas continuarão aumentando não só a quantidade desses dispositivos como também a quantidade de conteúdo/dados móveis que consomem, impulsionados pelos vídeos, jogos e resoluções mais altas. Supõe-se que já existam mais de 15 bilhões de dispositivos conectados em todo o mundo, entre dispositivos móveis, sensores, equipamentos médicos, *wearables*, medição inteligente e equipamentos de transporte com sensores de rastreamento. A previsão é que em 2025 esse número cresça mais 20 bilhões (COMUNICAÇÃO, 2019). Assim, nos próximos anos, os provedores de serviços precisarão fornecer aos clientes, redes capazes de suportar o rápido crescimento do consumo de dados (BEAT, 2019) e do número de dispositivos com diversos requisitos de serviço, melhor qualidade de experiência do usuário e melhor acessibilidade. O 5G permitirá esse crescimento, possibilitando uma enorme ampliação da tendência mundial da IoT e trazendo mais eficiência na comunicação entre as coisas (ERICSSON, 2019), conseqüentemente, ela surge com o aumento da demanda por conectividade.

A rede 4G LTE, com a introdução da banda larga móvel, foi marcada por serviços voltados para o consumidor, pois foi quando as velocidades melhoraram suficientemente até que o usuário tivesse a possibilidade de estar conectado em uma rede de alta velocidade o tempo todo, desencadeando o amplo uso de dispositivos conectados à internet (SPADIN-GER, 2021). Com a LTE (acrônimo de *Long Term Evolution*, em português: Evolução de Longo Prazo) foi possível atingir velocidades médias de acesso à internet de 50 Mega bits por segundo na maior parte das zonas urbanas, o que permite uma qualidade de experiência no compartilhamento de conteúdos multimídia quase imediatamente (MARQUES, 2020). O conselheiro Moisés Moreira, da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), constatou que o 5G traz avanços em relação à geração anterior no quesito de banda larga móvel, com velocidade máxima de 20 Gbps DL (*download*) e 10 Gbps UL (*upload*) (MECHAILEH, 2020) (Gbps = gigabits por segundo), simbolizando enorme avanço nas velocidades de conectividade (ANATEL, 29/03/2021). De acordo com Tim Fisher, da Lifewire, a diferença fundamental entre as duas redes é que o 5G opera por meio de frequências de rádio exclusivas que não são sobrecarregadas pelos bilhões de dispositivos já conectados. Segundo Marcos Ferrari, presidente executivo do Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e de Serviço Móvel Celular e Pessoal (Conexis), a nova geração de internet móvel permitirá o tráfego de dados em altíssimas velocidades e com latência mais baixa de aproximadamente 1 milésimo de segundo (ms).

O 5G é um padrão de quinta geração para redes móveis e banda larga e, graças às inovações e as necessidades, sua evolução se dá gradativamente e naturalmente com o desenvolvimento do 4G. Ao mesmo tempo em que as novas especificações ficarem prontas e os novos equipamentos forem produzidos, testados, aprovados e instalados, a rede será revolucionária, uma vez que oferecerá mais velocidade de *download* e *upload* de dados, maior cobertura e estabilidade para a conexão e, originará novas características, possibilidades e serviços que modificam o ecossistema, o setor elétrico, as cidades inteligentes (do inglês: *smart cities*), as indústrias, o transporte urbano (DECODE, 2020), agricultura, segurança pública, saúde e educação.

Uma pesquisa da Ericsson (2021) informou que até o final de 2027, o 5G terá 4,4 bilhões de assinaturas respondendo por 49% de todas as assinaturas de celular. Será a tecnologia de comunicação móvel de mais rápido desenvolvimento já lançada em escala global, sem esquecer da expansão contínua da cobertura 4G. Um estudo da QUALCOMM (2021) indica que até 2035, o 5G pode gerar 22,8 milhões de empregos e produzir US \$13,1 trilhões de bens e serviços.

Para que uma rede de telefonia móvel entre em operação no Brasil, primeiramente é necessário que a operadora de telecomunicação adquira uma faixa de frequência em um leilão. Para a implementação do 5G no Brasil foi realizado um leilão nos dias 4 e 5 de novembro de 2021. Promovido pela Anatel, o leilão das frequências de operação da nova geração de internet móvel é considerado não arrecadatório, uma vez que as

verbas levantadas serão investidas em infraestrutura de comunicação e aprimoramento da conectividade em áreas desprovidas desse elemento de rede, proporcionando a expansão de rede das operadoras. O mesmo prevê a licitação das radiofrequências nas faixas de 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz, sendo a maior oferta de espectro da história da Anatel, movimentando R\$ 47,2 bilhões e 45 lotes vendidos. De quinze, apenas dez operadoras venceram a disputa das 4 faixas de frequências divididas por lotes nacionais e regionais, como Claro, Vivo, TIM, Winity II, Algar, Brisanet, entre outras. O sinal 5G será ofertado somente após toda a infraestrutura necessária estar pronta e promete ser disponibilizado em todas as capitais brasileiras até julho de 2022 e em todo o país até dezembro de 2029 (GOVERNO DO BRASIL, 05/11/2021).

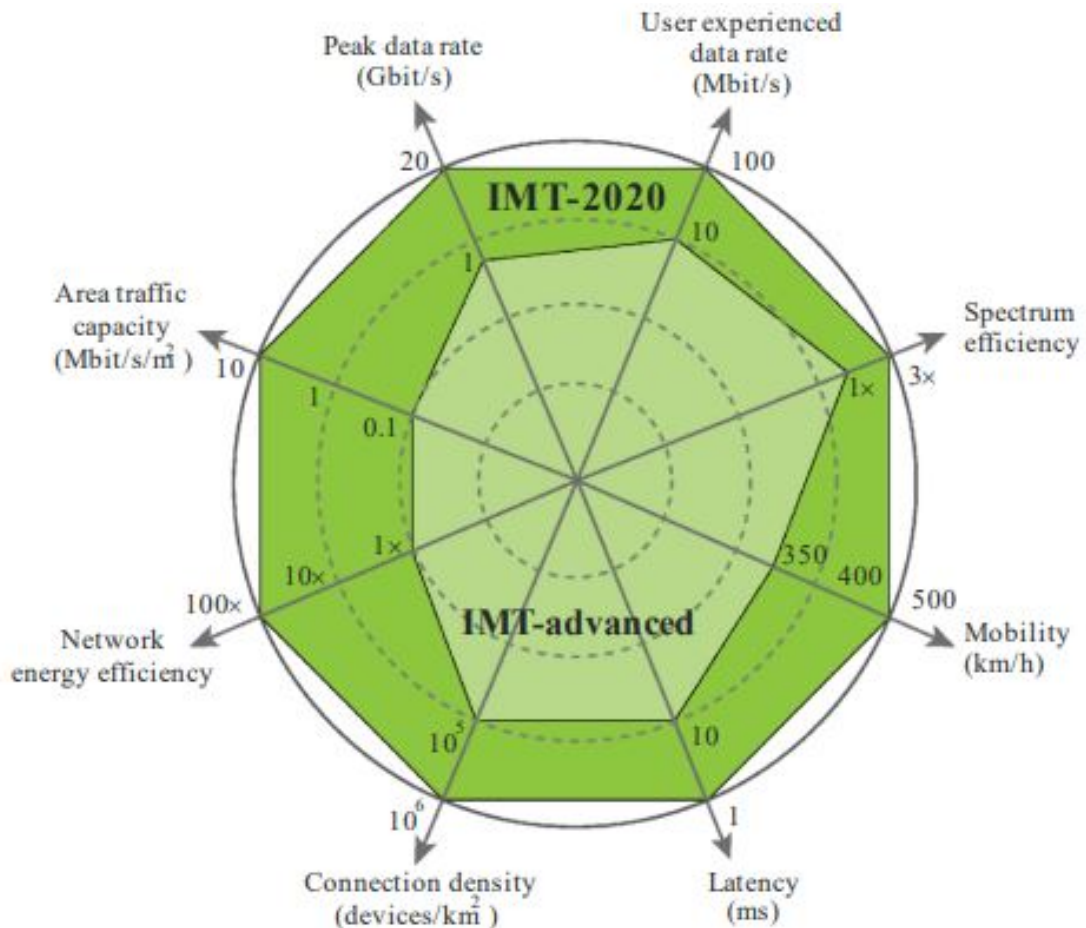
De acordo com as informações do site gov.br, a empresa que ficou com a faixa de 700 MHz, usada atualmente na frequência 4G, terá como compromisso a cobertura e *backhaul* de 4G ou tecnologia superior à áreas pouco ou não servidas, levando internet a 31 mil km de rodovias federais. Na faixa de 2,3 GHz, as empresas terão que levar o 4G ou tecnologias superiores à municípios que não possuem o serviço. A faixa de frequência de 3,5 GHz é uma das mais usadas em todo o mundo e foi licitada de forma regional e nacional para que as empresas atuem nas áreas mais rentáveis com as empresas menos lucrativas, juntas democratizarão o 5G no país pela migração do sinal da TV parabólica (antena que interfere no sinal 5G) por aparelhos que recebem sinal via satélite; construirão uma Rede Privativa de Comunicação da Administração Pública Federal para sustentação dos serviços de governo; e implementarão redes de transporte de fibra óptica via fluvial na região Norte (Programa Amazônia Integrada e Sustentável (PAIS) - incluído no Programa Norte Conectado). Por último, a frequência de 26 GHz, com maior capacidade de transmissão de dados, as empresas investidoras terão que garantir a conectividade às escolas públicas de ensino básico (ANATEL, 29/03/2021).

As faixas de 3,5 GHz e de 26 GHz serão destinadas exclusivamente para o 5G, levando a tecnologia diretamente aos consumidores, indústrias e áreas urbanas. Já as faixas de 700 MHz e de 2,3 GHz são compatíveis com o 5G, mas serão usadas inicialmente para expandir o 4G pelo país. As quatro faixas de frequência funcionam como “avenidas no ar” por onde há a transmissão de dados. Faixas mais elevadas são caracterizadas por maior largura de banda, embora com faixa mais curta.

A *International Telecommunication Union* (ITU) é uma agência das Nações Unidas especializada em Telecomunicações responsável por desenvolver e aprovar as especificações e faixas de radiofrequências dos sistemas IMT (*International Mobile Telecommunications*), que inclui três padrões: IMT-2000 (tecnologia 3G), IMT-Advanced (4G) e IMT-2020 (5G). No início de 2012, a ITU iniciou um projeto para desenvolver o “IMT for 2020 and beyond”, delineando o cenário para as redes 5G. Em 2015, publicou a RECOMMENDATION ITU-R M.2083-0 (2015) “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond” que estabelecia objetivos globais para as novas redes IMT-

2020, considerando oito indicadores: taxa de dados de pico, taxa de dados experimentada pelo usuário, eficiência espectral, mobilidade, latência, densidade de conexões, eficiência energética e capacidade de tráfego por área, vistos na figura 5 (ANATEL, 2021).

Figura 5 – Aprimoramento dos principais recursos do IMT-Advanced para o IMT-2020



M.2083-03

FONTE: ITU-R M.2083-0 (2015)

De acordo com Mohyeldin (2016) da NOKIA, os tópicos de desempenho técnico mínimo podem ser descritos como:

Taxa de dados de pico: é a taxa de dados máxima alcançável sob condições ideais (em bit/s), que são os bits de dados recebidos assumindo que não há erros atribuíveis a uma única estação móvel, quando todos os recursos de rádio atribuíveis para a direção de link correspondente são utilizados (ou seja, excluindo recursos de rádio que são usados para sincronização de camada física, sinais de referência ou pilotos, bandas de guarda e tempos de guarda). Esse requisito é definido para fins de avaliação no cenário de uso do eMBB e taxa de dados de pico é de 20 Gbps.

Eficiência espectral máxima: mesma definição da taxa de dados de pico, porém os requisitos mínimos para eficiências espectrais de pico de *downlink* é 30 bits/s/Hz e *uplink* é

15 bits/s/Hz.

Taxa de dados experimentada pelo usuário: é definido como o número de bits contidos nas unidades de dados de serviço, durante um determinado período de tempo. Esse requisito é definido para fins de avaliação no cenário de uso do eMBB e os valores alvo para a taxa de dados experimentada pelo usuário em um cenário urbano de *downlink* é 100 Mbit/s e *uplink* é 50 Mbit/s.

Densidade de conexões: é o número total de dispositivos que atendem a uma qualidade de serviço (QoS) específica por unidade de área (por km²). Este requisito deve ser alcançado para uma largura de banda limitada, para fins de avaliação no uso do mMTC e o requisito mínimo para densidade de conexão é 1.000.000 dispositivos por km².

Mobilidade: é a velocidade máxima da estação móvel na qual uma QoS definida pode ser alcançada (em km/h); este requisito é definido para fins de avaliação no cenário de uso do eMBB.

Latência: é a contribuição da rede de rádio desde o momento em que a fonte envia um pacote até o momento em que o destino o recebe (em ms); este requisito é definido para fins de avaliação nos cenários de uso de eMBB e URLLC e os requisitos mínimos para a latência do plano do usuário são 4 ms para eMBB e 1 ms para URLLC.

Eficiência energética: é a capacidade de tecnologias de interface de rádio (RITs)/conjunto de tecnologias de interface de rádio (SRIT) de minimizar o consumo de energia da rede de acesso via rádio em relação à capacidade de tráfego fornecida; esse requisito é definido para fins de avaliação no cenário de uso do eMBB.

Capacidade de tráfego por área: é a taxa de transferência total de tráfego servido por área geográfica (em Mbit/s/m²); este requisito é definido para fins de avaliação no ambiente de teste eMBB relacionado e o valor alvo para a capacidade de tráfego de área no *downlink* é 10 Mbit/s/m² no *Hotspot Indoor* – teste eMBB ambiente.

O GSMA INTELLIGENCE (2014) (*Global System for Mobile Communications*) é uma associação de operadoras de telefonia móvel e empresas digitais e, emitiu o relatório “Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile” destacando critérios que uma conexão 5G deve cumprir:

- 1) Conexões entre 1 e 10 Gbps;
- 2) Latência de 1 ms;
- 3) Até 1 milhão de dispositivos conectados por quilômetro quadrado;
- 4) 99,999% de confiabilidade;
- 5) Banda larga 1000 vezes mais rápida por unidade de área;
- 6) 100% de cobertura;

- 7) Redução de até 90% no consumo de energia da rede;
- 8) Até 10 anos de vida útil das baterias dos dispositivos de baixa potência IoT.

Esses requisitos se associarão a diferentes tipos de aplicações e serviços, cada qual com suas exigências próprias de disponibilidade, largura de banda e latência.

Apesar de ter sido classificado como IMT-2020 somente em 2021, a primeira versão do *Release 15* do 3GPP foi aprovada em 2017. Os padrões desenvolvidos pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project* - entidade internacional de padronização da tecnologia móvel) estão estruturados em *Releases*, os quais estabelecem especificações técnicas e reportes técnicos e podem passar por diversas revisões e evoluções. Cada *Release* prevê novos recursos, mantendo os anteriores.

As especificações da primeira versão do *Release 15* incluem sistemas de rádio NR 5G NSA (*New Radio 5G Non-Stand-Alone* - não autônomo) que funcionam integradas ao núcleo de rede das gerações anteriores do 4G LTE, por conta disso a implementação da rede 5G NSA pode ser mais rápida, embora não possibilite a oferta plena das potencialidades das redes 5G. No final de 2018, o *Release 15* evoluiu para incluir também sistemas de rádio NR 5G SA (*New Radio 5G Stand-Alone* - autônomo), com um sistema de rádio complementado por um núcleo de rede de nova geração, o 5GC (*5G Core*), possibilitando a oferta plena das potencialidades e atrasando sua implementação. O *Release 15* tem como características:

- sistema 5G fase 1;
- especificação de sistemas de rádio NR 5G;
- mMTC e IoT;
- *Vehicle-to-Everything Communications (V2X)* fase 2;
- Mission Critical (MC) interoperabilidade com sistemas legados;
- uso de WLAN e espectro não licenciado;
- *slicing* (fatiamento) de redes lógicas fim-a-fim.

O edital do 5G foi aprovado pela Anatel no leilão com exigência do *Release 16* que, por sua vez, traz melhorias nos SA. Com processo de especificação encerrado em meados de 2020, o *Release 16* tem como características:

- sistema 5G fase 2;
- V2X fase 3;
- IoT industrial;

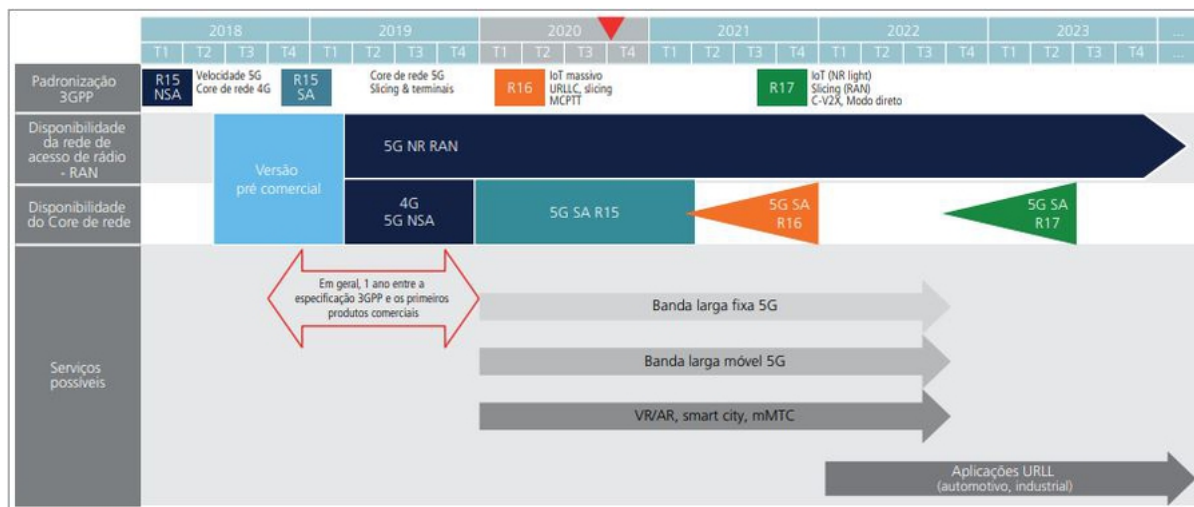
- URLLC aprimoramentos;
- sistema de rádio NR 5G com acesso a espectro não licenciado (NR-U);
- melhoramentos na eficiência do 5G;
- acesso satelital em 5G.

Em dezembro de 2020 foi divulgado o cronograma para o processo de especificação do *Release 17* com previsão de conclusão no final de 2022. Os seguintes tópicos foram priorizados, dentre outros:

- Aperfeiçoamento para Veículos Aéreos Não Tripulados Estágio 1 (TR 22.829);
- NR MIMO;
- IoT industrial e URLLC aprimoramentos;
- NR posicionamento avançado;
- dispositivos NR de baixa complexidade;
- baixo consumo;
- melhorias na cobertura NR;
- aprimoramentos de redes privadas;
- automação da rede 5G fase 2;
- *Edge Computing* no 5GC;
- *slicing* de rede fase 2;
- serviços interativos avançados;
- convergência de 5G sem fio e com fio;
- serviços 5G tipo LAN.

Na figura 6 pode-se observar a situação da padronização do 5G feita por (SPADIN-GER, 2021) na nota técnica nº 79 do Diset (Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura), com base em dados fornecidos pela Qualcomm e 3GPP.

Figura 6 – Roadmap genérico de padrões 3GPP e disponibilidade de serviços associados



FONTE: Robert Spadinger (2021)

Para Spadinger (2021) fornecedores vendem o 5G como uma nova oportunidade de receitas para as operadoras ou até para outras indústrias. Rubens Milito Mendonça, Executivo de Desenvolvimento de Negócios da Huawei, explica que ou a operadora usará uma faixa de frequência que já possui na plataforma em que o *hardware* já está preparado para o 5G e só será atualizado com o *upgrade* de um *software*, ou será preciso adaptar a estrutura das redes para suportar a nova tecnologia, agregando equipamentos na torre e uma antena adicional caso a existente não esteja preparada para a faixa de frequência específica; já a estação rádio base pode manter o equipamento já existente. Quando os dispositivos estiverem conectados à rede, 4G e 5G coexistirão para fornecer uma cobertura mais ampla e facilitar o uso de novas tecnologias na rede. Mas a expectativa é de que as tecnologias 4G, 5G e até mesmo a convergência com Wi-Fi continuarão a funcionar em conjunto por um longo tempo, segundo Mechaileh (2020).

De acordo com Luciano Santos do Rego, diretor da Enterprise Business da Huawei Brasil, a implementação do 5G, principalmente para as operadoras de telecomunicação, traz uma tendência de aumentar o consumo de energia elétrica e emissões, conforme cresce o volume de dados transacionados. As operadoras estão no processo de virtualização das redes de comunicação e revitalizando os prédios de operação - retrofit. Ao fazer o retrofit e utilizar novas tecnologias, a empresa libera espaço e melhora o consumo de energia, isso porque os novos equipamentos têm uma redução do consumo relevante, maior eficiência, além de permitir um gerenciamento mais efetivo (MACHADO, out. 2021).

A, Banu e Fareeth (2017), Notícias (2021) citam algumas diferenças do ponto de vista do usuário, entre as gerações atuais e técnicas esperadas para 5G:

- oferecer uma maior taxa de transferência de dados;
- menor consumo de bateria;

- baixa probabilidade de falha: melhor cobertura e altas taxas de dados disponíveis na borda da célula;
- múltiplos caminhos de transferência de dados simultâneos (MIMO);
- mais segurança;
- maior nível de eficiência espectral;
- World Wide Wireless Web (WWWW): aplicações sem fio baseadas na web que incluem completa capacidade multimídia além das velocidades do 4G;
- mais aplicações combinadas com IA antecipando que a vida humana será cercada por sensores artificiais que poderão se comunicar com telefones celulares;
- não é prejudicial para a saúde humana;
- taxas de tráfego mais baratas devido aos baixos custos de implantação da infraestrutura.

3.2.1 Aplicações e casos de uso do 5G

De acordo com Mechaileh (2020) e outros autores, os serviços e aplicações típicos possibilitados por redes 5G incluem:

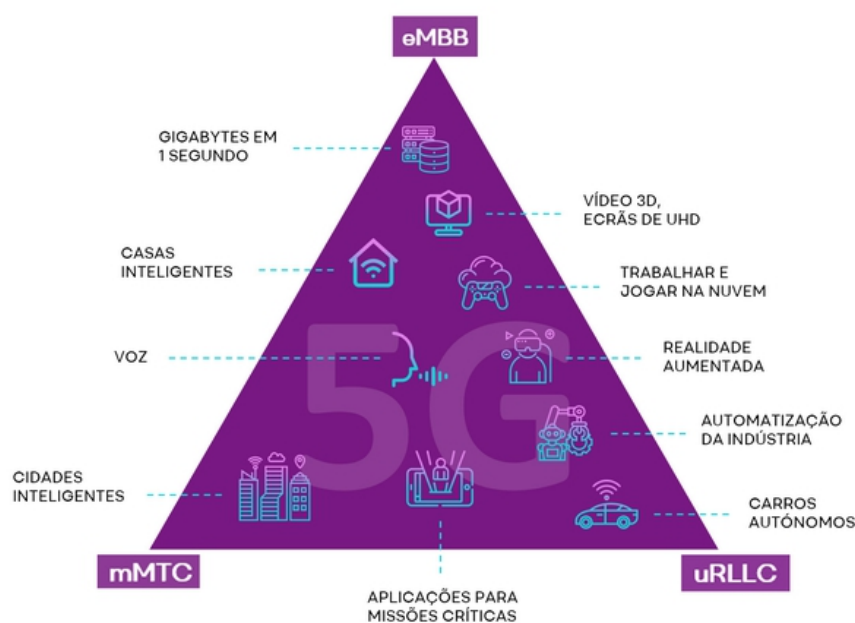
- internet móvel ultrarrápida;
- aplicações em grande escala da IoT;
- aplicações de missão crítica;
- aplicações do tipo *smart city*.

Afirma Tiago Machado, diretor do Grupo Setorial de Telecomunicações da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), que o 5G é mais que uma tecnologia, é uma plataforma de inovação. A plataforma busca atender alguns indicadores-chave de desempenho, visando aplicações mais exigentes, inteligentes, confiáveis, seguras e sustentáveis. Por conseguinte, foram definidos pelo 3GPP três grupos de casos de uso associados às novas redes 5G, em que cada grupo tem um conjunto de aplicações e serviços e compartilham os mesmos requisitos.

- *Enhanced Mobile Broadband – eMBB*;
- *Massive Machine Type Communications – mMTC*;
- *Ultra-Reliable Low-Latency Communications – URLLC*.

A figura 7 retirada do PORTAL 5G (2020) site criado pela ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações), é adaptada da RECOMMENDATION ITU-R M.2083-0 (2015), mostrando os cenários de utilização do 5G em cada caso de uso.

Figura 7 – Aplicações associadas aos casos de uso do 5G



FONTE: Portal 5G

3.2.1.1 Enhanced Mobile Broadband (eMBB) ou Banda Larga Móvel melhorada

A maior velocidade e capacidade da rede tem como objetivo prover a máxima experiência de usuário mediante conectividade em ambientes internos e externos com alta qualidade de serviço, incluindo condições desafiadoras para as redes (5G AMERICAS WHITEPAPER, 2017). Abrange serviços e aplicações que exigem altas taxas de dados em uma ampla área de cobertura (MECHAILEH, 2020):

- altas taxas, baixa/média mobilidade;
- *download* e *streaming* de conteúdo multimídia 4K/8K/HD;
- devido a baixa latência, AR, VR, drones, jogos on-line funcionam com menos atraso entre a máquina e o usuário;
- vídeos 360°;

- frequência de 3,5 GHz será a primeira aplicação comercial de 5G.

Esta característica permitirá utilizar com melhor desempenho e experiência de utilização as aplicações de banda larga móvel já existentes.

3.2.1.2 Massive Machine Type Communications (mMTC) ou Comunicações do tipo de Máquina Massiva

A massificação da comunicação entre dispositivos é focada em suportar de forma massiva um tráfego de dados com uma alta densidade de dispositivos em uma pequena área, levando a Internet das Coisas a um novo patamar de atendimento (MECHAILEH, 2020):

- baixas taxas, baixa mobilidade;
- aplicações em grande escala de IoT;
- gerenciamento automatizado de inventário em *warehouses*;
- tecnologias de *smart sensor* para monitoramento em agricultura;
- *smart home* - *amazon alexa*, *apple siri* e *google assistant* compatíveis.

Esta característica servirá de base para a implementação das *smart cities*, *smart grids*, *smart homes* e mobilidade automatizada.

3.2.1.3 Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC) ou Comunicações Ultra Confiável e de Baixa Latência

A conectividade contará com requisitos rigorosos de altíssima confiabilidade e baixa latência, garantindo tempos de resposta do envio e recebimento de dados quase que imediato para aplicações de tempo crítico, ou seja, aplicações sensíveis a atrasos e erros com monitoramento em tempo real (MECHAILEH, 2020), como:

- automação industrial;
- telemedicina;
- direção autônoma e assistida;
- drones e robôs.

A URLLC faz parte do *Release 15* do 3GPP com o objetivo de reduzir a latência para 1 ms, tempo ideal para aplicações que exigem segurança ponta-a-ponta e confiabilidade. O tempo de espera entre a execução de um comando feito pelo usuário e a identificação

e retorno da informação, é a chamada latência. Latência é diferente de vazão de dados, que tem relação com o tamanho da largura de banda, ou seja, o diâmetro do tubo pelos quais os dados passam; quanto maior o duto, maior a quantidade de dados. Como afirma Henry Douglas, engenheiro de telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), haverá casos em que a latência será mais necessária, como nos carros autônomos, e outras, a vazão, como em um evento com milhares de celulares conectados (MOREIRA, 2021), o 5G oferecerá as duas, já que são independentes.

Parte da melhor performance do 5G deve-se à baixíssima latência, necessária para aplicações como a transferência e recebimento de dados em tempo real, carregamento instantâneo de vídeos em altíssimas resoluções (como 4K e 8K), jogos on-line sem interrupções, formatos e aplicativos de mídia mais imersivos, como RV, RA e vídeos em 360°, *smart homes* entre muitas outras (ASCOM/MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES, 04/2021). A latência é extremamente importante, uma vez que na proteção de sistemas de potência o gerenciamento dos dispositivos de comutação impõe requisitos severos de latência e atraso de comunicação, dificilmente atendidos pelas atuais infraestruturas de comunicação (SLICENET,). O tempo de latência reduzido é um fator importante para garantir que as aplicações sejam interativas, o qual possibilitará meios econômicos de redução de custos e riscos, como conta Marcelo Zuffo, professor titular da Poli-USP atuante na linha de pesquisa com Internet das Coisas (MOREIRA, 2021):

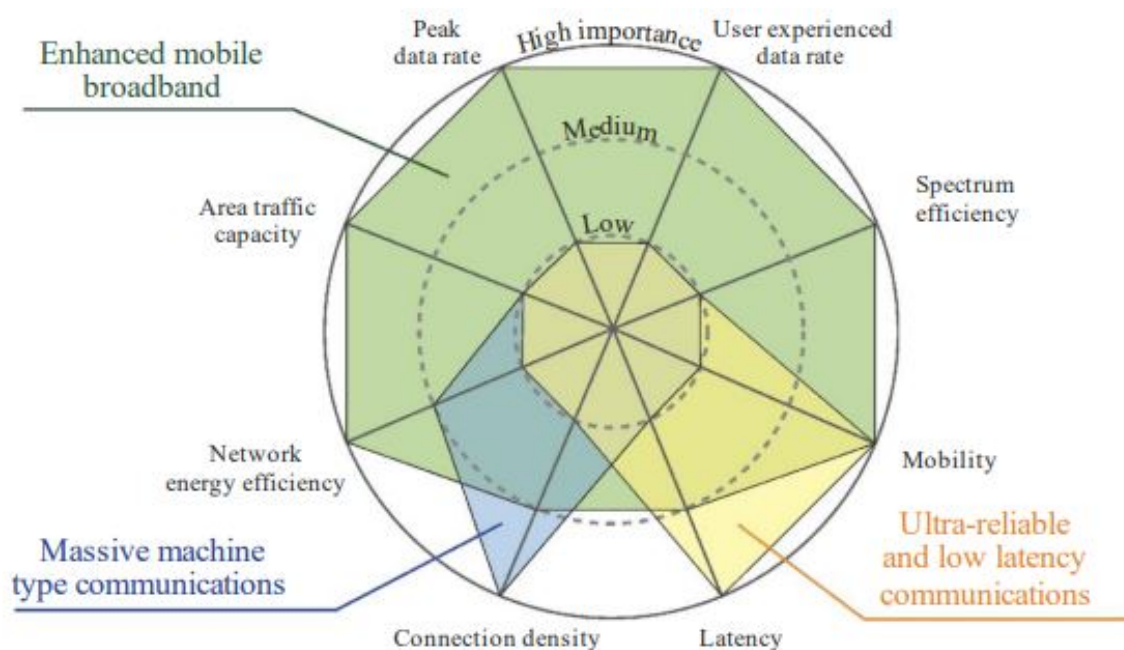
Milissegundos num carro que anda a 100 km/h equivale a alguns metros. Por isso, a latência precisa ser mínima. Qualquer falha poderá resultar em acidentes de trânsito. No entanto, com certeza essa é a aplicação mais desejada. E não só para veículos autônomos urbanos. No agronegócio também estão se desenhando aplicações para o controle da produção com os veículos aéreos não tripulados, os drones.

A largura de banda refere-se à quantidade de dados que podem ser movidos (carregados ou baixados) por meio de uma rede em um determinado período. Isso significa que, em condições ideais, quando há muito pouco ou nenhum outro dispositivo ou interferências para afetar a velocidade, um dispositivo poderia, teoricamente, experimentar o que é conhecido como velocidade de pico (GUEDES, 2021). A capacidade de largura de banda do RIT/SRIT é definida para fins de avaliação do IMT-2020. O requisito de largura de banda é de pelo menos 100MHz, e o RIT/SRIT deve suportar larguras de banda até 1 GHz para operação em bandas de frequência mais altas (por exemplo, acima de 6 GHz) (MOHYELDIN, 2016).

A figura 8 retirada de RECOMMENDATION ITU-R M.2083-0 (2015) mostra os critérios e os casos de uso. No cenário eMBB, taxa de dados de pico, taxa de dados experimentada pelo usuário, eficiência de espectro, mobilidade, eficiência energética e capacidade de tráfego de área possuem grande importância. No cenário mMTC é necessário alta densidade de conexão para suportar o enorme número de dispositivos na rede, o que torna essencial um dispositivo de baixo custo com longa vida útil operacional. No cenário URLLC a latência se destaca por permitir aplicações críticas de segurança; tal segurança seria

necessária em casos de alta mobilidade.

Figura 8 – A importância dos principais recursos em diferentes cenários de uso

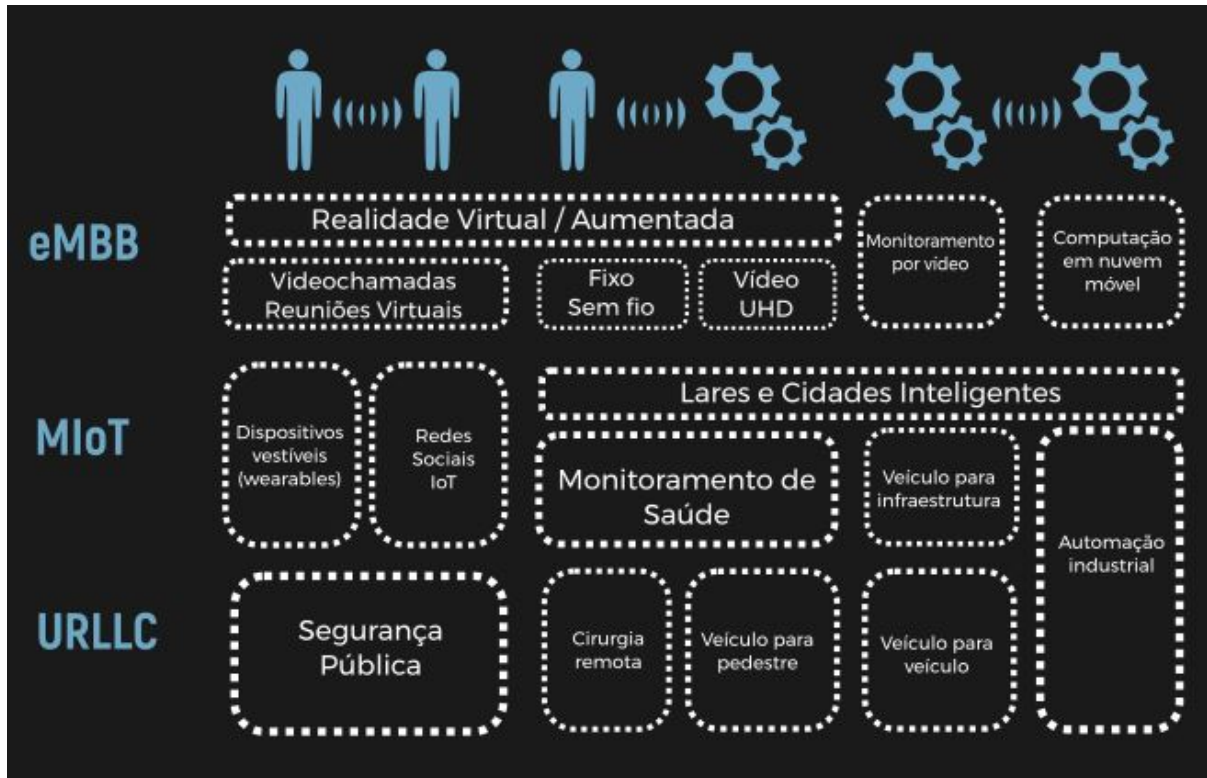


M.2083-04

FONTE: M.2083-04 (2015)

Além dos requisitos de desempenho, os casos de uso também devem considerar os termos de seus tipos de interação: humano-humano, humano-máquina ou máquina-máquina, como pode ser observada na figura 9 produzida pelo 5G Americas, no documento “5G Services & Uses Cases”, em junho de 2019.

Figura 9 – Requisitos e tipos de interação



FONTE: 5G Services & Uses Cases (2019)

Quando se trata de rede 5G no setor elétrico, trata-se de potencialidades importantes para trazer mais inteligência para os processos e melhorar o serviço prestado pelas empresas. O 5G também permitirá a digitalização, automação e o controle inteligente da rede elétrica, levando melhorias para os mercados de energia e proporcionando maiores benefícios para as concessionárias e consumidores (CARDOSO, nov. 2021).

3.2.2 Tecnologias aplicadas ao 5G

Embora haja uma série de bandas de espectro que poderiam ser potencialmente usadas para atender a alguns dos requisitos do 5G, há atualmente um foco substancial no espectro de rádio de frequência mais alta. No entanto, as bandas de frequência mais altas oferecem raios de células menores e, portanto, seria um desafio alcançar uma cobertura ampla usando um modelo de topologia de rede tradicional, sendo necessário o uso da *smart grid*.

Dentre as diversas tecnologias fundamentais para a implantação dos diferentes tipos de serviços e aplicações nas redes 5G, tem-se as ondas milimétricas, *small cells*, MIMO massivo e *beamforming*, conforme descritas por Nordrum e Clark (2017), VIAVI SOLUTIONS (2021). Tecnologias as quais alcançarão melhor eficiência de espectro (RECOMMENDATION ITU-R M.2083-0, 2015) podendo reduzir o problema da cobertura de sinal. De acordo com a SIEMENS () o 5G funciona por meio das ondas de rádio (radiofrequência). Quanto

mais dispositivos ficarem conectados, a disputa pelas bandas do espectro de radiofrequência crescerá, acarretando em um serviço mais lento e conexões perdidas. Uma maneira de contornar essa situação, é transmitir sinais em uma faixa totalmente nova do espectro, com isso os provedores estão experimentando a transmissão em ondas milimétricas.

As ondas milimétricas são chamadas assim porque a faixa de comprimento de onda varia de 1 a 10 mm e são transmitidas em frequências entre 30 e 300 GHz, frequências mais altas do que as ondas de rádio, o que possibilita um aumento da velocidade de propagação e o envio de dados entre pontos estacionários, como duas estações base. “Inicialmente o 5G tinha proposta de usar apenas bandas de alta frequência. Mas, apesar da alta velocidade e baixa latência que a alta frequência traz, ela também tem baixo alcance e maior dificuldade em passar por barreiras físicas, como paredes”, explica Henrique Maia, especialista em *back-end* na Decode. As *mmWave*, como também são conhecidas, são ideais para áreas densamente povoadas, porém ineficazes para comunicação em longa distância, pois são facilmente absorvidas por chuva, plantas e bloqueadas por objetos e construções, exigindo um aumento dos pontos para retransmissão do sinal e à necessidade de adaptação nas antenas já existentes, as quais serão acopladas às da rede 5G para funcionarem com a nova infraestrutura de conexão, introduzindo outra nova tecnologia, as *small cells*.

As *small cells* são pequenas células com antenas que melhoram a cobertura de sinal com mínima infraestrutura e requerem energia mínima para operar. *Small cell* é um aparelho transmissor e receptor sem fio que permite ampliação da cobertura do sinal de dados dos provedores em locais com maior demanda ou com densas coberturas. Este aparelho complementa a rede macro, melhorando a cobertura, adicionando capacidade direcionada e oferecendo suporte a novos serviços e experiências de usuários (KOVACS, 2020). As *small cells* ajudam a fornecer experiência aprimorada ao usuário final, fortalecendo as velocidades de transferência de dados e eliminando a necessidade de dispositivos competirem por largura de banda; demonstram prolongar a vida útil da bateria do aparelho reduzindo o consumo de energia para que os dispositivos possam ficar mais tempo sem precisar de carga.

Já foram implantadas em redes 3G e 4G, mas as *small cells* 5G permitirão à rede estender a cobertura e fornecer latência mais baixa, além de servir a mais usuários, mantendo o desempenho multi-gigabit. Se conectadas, garantem uma cobertura de rede com rendimento necessário para iniciativas, análises e inteligência. Neste processo, a instalação das *small cells* será essencial para a implementação e densificação das redes 5G.

Para evitar a queda de sinais, o mercado prevê uma célula 5G a cada 250 metros (BAICELLS,) e as operadoras podem instalar milhares dessas estações em uma cidade para formar uma rede densa atuante como uma equipe de retransmissão, recebendo sinais de outras estações base e enviando dados aos usuários em qualquer local. Ter mais estações significa que as frequências que uma estação usa para se conectar com dispositivos em

uma área, podem ser reutilizadas por outra estação em uma área diferente para servir outro cliente. Um estudo da GSMA estima que em 2025, 81% das torres celulares implantadas no Brasil serão 4G e 18% vão utilizar a tecnologia 5G.

As estações base 4G atuais têm uma dúzia de portas para antenas que controlam todo o tráfego de celular: oito para transmissores e quatro para receptores. Mas as estações base 5G podem suportar centenas de antenas. A tecnologia MIMO massivo refere-se à transferência simultânea de muitas mensagens de entrada e saída de uma só vez, é um sistema que incorpora um número muito maior de antenas de rádio em matrizes em torres de celular, o que representa uma carga maior de teste para garantir que todas as antenas integradas estejam operando. MIMO significa *Multiple-Input and Multiple-Output* e esta tecnologia tende a superar algumas desvantagens associadas às *mmWave*, transmitindo fluxos de dados em paralelo e permitindo que o dispositivo os restabeleça em uma única mensagem. No entanto, a instalação de mais antenas causa mais interferências quando os sinais se cruzam, por esse motivo as estações 5G devem incorporar a formação de feixes - *beamforming*.

O *beamforming* é um sistema de sinalização de tráfego para estações base de um celular que identifica a rota de entrega de dados mais eficiente para um usuário e reduz a interferência de usuários próximos no processo. Ao mesmo tempo em que as antenas são muito menores, elas fornecem controle direcional preciso, através de um mecanismo inteligente das antenas 5G. Esse mecanismo será responsável por focalizar o sinal de rádio em vez de emití-lo para todas as direções. A direção do foco, por sua vez, será determinada pela demanda de dispositivos que requisitarem conexão com a rede, otimizando assim, a capacidade de cada antena (HELERBROCK,). Como uma estação base pode utilizar ainda mais antenas direcionais, o 5G suportará mais de mil dispositivos por unidade de área. Contudo, para que o sistema funcione perfeitamente, atingindo um alto desempenho, será necessário posicionar estrategicamente cada antena, como aponta Sascha Segan, da PCMag, o roteador 5G precisa estar extremamente próximo da célula de rádio 5G, sem qualquer interferência, obstáculo ou congestionamento da rede.

A formação de feixes pode ajudar matrizes MIMO massivas a fazer um uso mais eficiente do espectro ao seu redor. O principal desafio para MIMO massivo é reduzir a interferência enquanto transmite mais informações de muito mais antenas de uma vez. Em enormes estações base MIMO, algoritmos de processamento de sinal traçam a melhor rota de transmissão pelo ar para cada usuário. Então, eles podem enviar pacotes de dados individuais em muitas direções diferentes, rebatendo-os de edifícios e outros objetos em um padrão precisamente coordenado. Ao coreografar os movimentos dos pacotes e o tempo de chegada, o *beamforming* permite que muitos usuários e antenas em um enorme arranjo MIMO troquem muito mais informações de uma vez.

3.3 *Internet of Things (IoT)*

O avanço da telefonia móvel é explicado pela necessidade de comunicação universal em todas as áreas, entre pessoas físicas, entre empresas e consumidores, de simples aplicativos até processos complexos gerenciados na internet. Essa dependência faz com que o setor de Telecomunicações evolua e crie maneiras de suportar o grande volume de dados trafegados diariamente nas redes. A Internet das Coisas é um ótimo exemplo para justificar a necessidade do avanço em pesquisas e investimentos na próxima rede de telefonia móvel. A complexidade das aplicações e a dependência cada vez maior pela internet faz com que o segmento cresça e melhore cada vez mais seus produtos e serviços (TRISTÃO, 2015).

A recente expansão do mercado de IoT torna ainda mais fundamental o desenvolvimento das redes inteligentes de medição de energia elétrica. O novo padrão de tecnologia de quinta geração para redes móveis tem suas características relacionadas à Internet das Coisas tanto para aplicações massivas, como os agronegócios, quanto para aplicações que requerem baixa latência e sensibilidade ao atraso, como aplicações relacionadas à indústria 4.0. Esses modos de uso da nova tecnologia impulsionarão aplicações eficientes no desenvolvimento de serviços para diversas atividades econômicas (CÂMARA IOT, 2016).

No Brasil é esperado que o 5G impulse principalmente o agronegócio/agroindústria, um dos principais setores econômicos do país. Em maio de 2021 o Governo Federal juntamente com a Nokia, instalaram a primeira antena 5G em caráter experimental em área rural na fazenda modelo do Instituto Mato-Grossense de Algodão (IMAmt) em Rondonópolis (MT). O uso do 5G na agricultura possibilitará o monitoramento remoto de toda a plantação por meio de imagens em alta resolução captadas por drones, chips, GPS e outros equipamentos, com interesse de monitorar a saúde dos animais e condições climáticas das lavouras, funcionamento autônomo dos tratores, sistemas de irrigação acionados à distância, reduzir custos e perdas na produção. De acordo com o ministro Fábio Faria, espera-se que o 5G traga um avanço em média de 20% no crescimento do agronegócio brasileiro (OLHAR DIGITAL, 2021).

A tecnologia 5G tornará possível uma alta capacidade em conectividade para grandes números de dispositivos IoT, além dos tempos imediatos de resposta conseguidos graças à sua latência ultrabaixa (TI INSIDE, 2019). Outra característica que impulsiona o IoT é a velocidade no processamento de informações, graças à alta banda larga. O 5G permite uma velocidade de maior conexão com aparelhos, o que envolve mais qualidade de resolução de imagens, sons e vídeos, por conta da operação com mais frequências, ou seja, caminhos para transmitir informações gerando mais dados. Esse aumento de dados faz com que tenha mais informação para processar, o que por sua vez, contribui para impulsionar o ML (DECODE, 2020).

O fato de muitos dados trafegarem na rede implica no desenvolvimento de ferra-

mentas computacionais que sejam capazes de auxiliar o processamento desse volume, de modo a obter um sistema de gerenciamento de energia que seja eficiente, visando, também, a segurança da rede de comunicação, já que os dados dos consumidores devem ser protegidos. As redes inteligentes usam tecnologias digitais e soluções de IoT para responder e se adaptar de forma inteligente às mudanças na rede. Infundir inteligência energética é a chave para alavancar os dados na rede que permitem tornar a operação da rede confiável, econômica, flexível e segura (SIEMENS, 2020).

A rede 5G contribui diretamente para transformação digital da sociedade e da indústria de modo totalmente conectado com a infraestrutura de rede para IoT (REDAÇÃO, 2021), já que está vinculada aos novos serviços e novos modelos de produção, como:

- serviços e aplicações para o cidadão;
- transporte e rastreamento de mercadorias;
- redução da exclusão digital;
- impulso da indústria;
- mobilidade;
- aplicativos voltados para segurança.

Sistemas de iluminação pública e residencial, *smartphones*, *smartwatches*, eletrodomésticos, dispositivos de monitoramento, sensores de presença, frequencímetros cardíacos, centrais de segurança, guichês de estacionamento, caixas de supermercados, sensores meteorológicos, religadores automáticos, transformadores, seccionadoras, entre muitos outros dispositivos e equipamentos específicos da área de transmissão e distribuição poderão se comunicar mutuamente por meio do uso da quinta geração de redes móveis (ANATEL, 2021).

Para Márcio Kanamaru, sócio de tecnologia, mídia e telecomunicações da KPMG, recursos como *big data*, IA e IoT trouxeram grandes possibilidades para a indústria de energia, setor muito relevante no processo de implementação do 5G. O setor utiliza ferramentas como soluções de robótica submarina, drones para inspeção de plataformas, IoT para operações remotas e interconexão de equipamentos, IA para processo de milhares de informações e análise de dados a fim de prever a duração dos aparelhos e possíveis falhas (CONNECTED SMART CITIES, mar. 2021).

As novas tecnologias também possibilitam a formação da Internet das Coisas, uma rede aberta e interoperável, que pode ser compartilhada para que todos os elementos conectados operem para oferecer mais serviços e qualidade à população, formando cidades inteligentes. Independentemente da interoperabilidade, que se torna mais complexa à medida que novos padrões surgem, entende-se que é muito importante o desenvolvimento

de novos padrões para atender a missão crítica e o massivo. A tecnologia 5G possui características para atender essas demandas.

4 Materiais e Métodos

A questão de pesquisa é como as aplicações com requisitos do 5G e relacionadas ao setor elétrico se aplicam nas redes elétricas inteligentes. Aplicações as quais possuem características relacionadas e exclusivas da nova tecnologia, viabilizando assim o avanço da SG.

A pesquisa de artigos foi realizada a partir de uma busca inicial nas bases de dados do google acadêmico, scielo e IEEE explore. As palavras-chaves de busca foram 5G, redes inteligentes, *smart grid*, IMT-2020 e setor elétrico. Mediante a supervisão do orientador, o estudo ocorreu entre agosto de 2021 e janeiro de 2022 e, foram contemplados 70 documentos nos idiomas português e inglês com datas recentes de publicação.

Tendo em vista o cenário da pandemia no período do estudo, a orientação do professor com a aluna se deu de forma remota e, infelizmente, não houve a possibilidade de experimentos da tecnologia estudada, pelo fato dos objetos de estudos ainda serem muito recentes no mercado. Logo, os resultados e discussões se basearam em bibliografias reconhecidas, artigos de periódicos, revistas, monografias, documento de acesso exclusivo em meio eletrônico, documento sonoro como um todo, casos de experiência, relatórios técnicos e estudos desenvolvidos por empresas, operadoras e fornecedores como Siemens, Qualcomm, Ericsson, Huawei e 5G Americas.

Também foram retiradas informações baseadas no webinar da CIGRE BRASIL (junho de 2021) (Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica) intitulado como Tech Talks - aplicações de tecnologia 5G no setor elétrico, com apresentações de representantes da Huawei, Siemens, Nokia, Neoenergia, TIM e Anatel. As informações extraídas de todas as referências foram sobre o funcionamento, características, detalhes, requisitos, vantagens, arquitetura e infraestrutura dos objetos de estudo. Excluiu-se documentos em geral que não possuem nenhuma relação ou avaliação do 5G e da *smart grid*.

É importante conhecer os tipos de pesquisas para uma correta definição dos instrumentos e procedimentos que serão utilizados. Nesse contexto, para o desenvolvimento e obtenção dos resultados, o método de pesquisa aplicado neste trabalho foi o descritivo com abordagem qualitativa. Segundo Gil (2008), as pesquisas descritivas têm como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Através da revisão da literatura do tema em discussão, empregou-se o referencial metodológico qualitativo, compreendendo os “fenômenos” comportamentais através da coleta de dados narrativos e estudando as preferências individuais de cada um. Com uma abordagem subjetiva, a análise dos dados para chegar a uma conclusão se baseia em observações e comentários, tendo o próprio pesquisador como fonte para a coleta dos dados.

Para fazer a pesquisa qualitativa, primeiro foram definidos os objetos de pesquisa,

feita a pesquisa bibliográfica, organizado o roteiro de pesquisa, a coleta dos dados e a análise e interpretação dos mesmos.

A pesquisa bibliográfica é caracterizada quando a elaboração da pesquisa se dá a partir de livros, artigos de periódicos, bem como a consulta em sites especializados sobre o tema abordado para embasamento teórico. Apesar da pesquisa possuir materiais confiáveis encontrados na internet, também possui materiais que ainda não receberam tratamento analítico, abrangendo a pesquisa documental. O desenvolvimento da pesquisa documental segue os mesmos passos da pesquisa bibliográfica. Apenas há que se considerar que o primeiro passo consiste na exploração das fontes documentais que são em grande número. Existem, de um lado, os documentos de primeira mão, que não receberam qualquer tratamento analítico, tais como: documentos oficiais, reportagens de jornal, cartas, contratos, diários, filmes, fotografias, gravações etc. De outro lado, existem os documentos de segunda mão que de alguma forma já foram analisados, tais como: relatórios de pesquisa, relatórios de empresas, tabelas estatísticas etc. (GIL, 2008).

5 Resultados e Discussões

A implantação do conceito de redes inteligentes no sistema elétrico, assim como das tecnologias que poderão ser integradas, como 5G, deve produzir uma convergência relevante entre a infraestrutura de geração, transmissão e distribuição de energia, com a infraestrutura de comunicações digitais e processamento de dados, conforme Zimmer e Franco Junior (2014). Para a implementação da rede 5G no setor elétrico, as empresas fazem o planejamento de funcionamento da rede definindo algumas características do sistema, visto que a nova rede funcionará paralelamente à estrutura atual.

Adiante serão discutidas as mudanças, desafios, casos e aplicações que envolvem os requisitos do 5G em 3 fases do setor elétrico, baseados na apresentação de Sérgio Sevilleanu, da Siemens, no webinar da CIGRE BRASIL (junho de 2021), com o tema “aplicação de tecnologia 5G no setor elétrico”. Sérgio primeiramente aponta os desafios para o segmento elétrico que traz mudanças no mercado, como:

- aumento da participação de renováveis na matriz em todos os níveis de tensão: isso demanda esforços da transmissão e distribuição desses recursos;
- tendência de eletrificação da mobilidade e conseqüente inclusão massiva de dispositivos de armazenamento de energia (baterias) na rede;
- uso crescente de DERs;
- aumento dos participantes no mercado de energia e necessidade de conectar a oferta e demanda;
- uso de micro-redes para aumentar a confiabilidade e resiliência de instalações críticas.

Com a inserção de novas energias no mercado é necessário manter a confiabilidade do sistema de distribuição. Essas mudanças criam desafios para as *concessionárias de energia* (serviços de utilidade pública na geração, na distribuição e na transmissão, como água, gás e energia, de acordo com EOS ORGANIZAÇÃO E SISTEMAS LTDA. (2021)). O 5G para as concessionárias (na geração, distribuição e transmissão) não é um problema, pois não são empresas de comunicação, mas dependem cada vez mais de uma rede de comunicação que se faça confiável e capaz de executar tarefas importantes à rede, como:

- manter a estabilidade dinâmica da rede em função da intermitência das fontes e do novo comportamento dos consumidores;
- aumentar a flexibilidade e a eficiência da rede sem reduzir a sua confiabilidade e qualidade: absorver e controlar as fontes e DERs;

- aumentar a capacidade de monitoramento e controle dos ativos da rede em tempo real.

Os requisitos dos parceiros da indústria de energia elétrica são pesquisados, discutidos e analisados, sendo assim haverá cenários de aplicação da REI que podem exigir comunicações sem fio. Cenários de serviços típicos de uma rede inteligente habilitada para divisão de rede 5G foram desenvolvidos no projeto “5G Network Slicing Enabling the Smart Grid” em uma colaboração entre China Telecom, SGCC (State Grid Corporation of China) e Huawei. Os cenários que serão discutidos estão destacados no quadro, são eles: automação distribuída de alimentador inteligente, aquisição de informações de sistema distribuído de baixa tensão, fontes de geração distribuídas e inspeção remota com drones (CHINA TELECOM; STATE GRID CORPORATION; HUAWEI, 2019).

A figura 10 “Aplicações relacionadas com os casos de uso do 5G aplicadas no setor elétrico” feita pelo autor, mostra como os casos de uso do 5G e suas aplicações se traduzem no mercado elétrico, em que algumas tecnologias ainda não possuem um caso de uso concreto.

Figura 10 – Aplicações relacionadas com os casos de uso do 5G aplicadas no setor elétrico

	Geração	Transmissão	Distribuição
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> - crescente integração dos DERs - usinas híbridas - integração com micro-redes - suporte ao despacho e preço por oferta 	<ul style="list-style-type: none"> - crescente integração da geração centralizada com renováveis - necessidade de aumentar o monitoramento das condições do sistema, para garantir estabilidade - conexão de novos agentes 	<ul style="list-style-type: none"> - crescente integração dos DERs - eletrificação do transporte público, pessoal e de carga, inserção de baterias - armazenamento virtual de energia - integração com micro-redes
eMBB	<ul style="list-style-type: none"> - acesso remoto e manutenção - inspeção remota com drones - interface homem-máquina - realidade aumentada 	<ul style="list-style-type: none"> - acesso remoto e manutenção - uso de CFTV (Circuito fechado de televisão) na operação e monitoramento - inspeção com AGV's (Automated Guided Vehicle) - realidade aumentada 	<ul style="list-style-type: none"> - acesso remoto e manutenção - uso de CFTV na operação e monitoramento - realidade aumentada
URLLC	<ul style="list-style-type: none"> - monitoramento e controle locais - controle remoto - armazenamento de energia distribuído 	<ul style="list-style-type: none"> - unidades de medição de fasores (PMU) - controle remoto - monitoramento e controle locais - fontes de geração distribuídas 	<ul style="list-style-type: none"> - armazenamento de energia distribuída rural - gerenciamento de carregador veicular - automação distribuída de alimentadores inteligentes
mMTC	<ul style="list-style-type: none"> - IoT e uso massivo de sensores sem fio - monitoramento da qualidade de energia 	<ul style="list-style-type: none"> - IoT e uso massivo de sensores sem fio - monitoramento de condição de ativos 	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestrutura de Medição Avançada (AMI) - aquisição de informações de sistemas de distribuição de baixa tensão - sensores para BT e MT

FONTE: Próprio autor

5.1 Fontes de geração distribuídas

Conforme SEBRAE (2018), SG têm sido uma tendência crescente em nível global, especialmente devido ao crescimento exponencial da inserção da geração distribuída (geração de energia eólica e solar, estações de carregamento de veículos elétricos, dispositivos de armazenamento de energia e micro-redes) e DERs (termostatos inteligentes, sistemas de armazenamento de energia, veículos elétricos conectados à rede, tecnologias de gestão de dados do sistema interligado). Os novos tipos de fontes de geração distribuídas são modos de fornecimento de energia construídos no final do usuário, tornando-os geradores de eletricidade. Essas fontes podem funcionar de forma independente ou ser implantadas em redes de energia. Depois que as fontes são integradas, uma rede radial com uma única fonte de geração se torna uma rede com duas ou mais fontes. O modo do fluxo de energia na rede de distribuição se torna mais complexo, bidirecional e dinâmico.

À medida em que a transformação de energia se desenvolve, a integração e acomodação de energia limpa se tornam questões urgentes para as empresas de rede elétrica. A conexão de fontes de geração distribuídas às redes de distribuição de energia traz problemas técnicos e desafios para a operação segura e estável das redes, isso porque as fontes de geração não foram consideradas no projeto das redes de distribuição tradicionais. A integração de fontes de geração distribuídas em redes de energia é um elo indispensável no desenvolvimento de redes inteligentes fortes e trará grandes benefícios como a economia de investimentos em redes de transmissão de energia, melhoria da confiabilidade, flexibilidade e eficiência do sistema, fornecimento de energia de emergência (energia para hospitais, centros de tráfego) e suporte à rede de energia de pico de carga.

Um sistema de monitoramento de energia distribuída pode ser usado para monitorar e controlar automaticamente a operação de fontes de geração distribuída. Este sistema tem muitas funções, incluindo coleta e processamento de dados, ajuste de potência ativa, controle de potência reativa/tensão, detecção de ilhamento da rede, controle de programação e coordenação e interconexão com sistemas de serviço relacionados. Ao facilitar a conexão e a coordenação de DERs, a rede inteligente tornará mais prático atender às necessidades locais com a geração local. Isso fornecerá alternativas de baixo custo para fortalecer subestações e linhas de energia em áreas de alto crescimento.

5.2 Automação distribuída de alimentadores inteligentes

A automação distribuída (AD) é um sistema integrado de gerenciamento de informações que usa equipamentos modernos com tecnologias avançadas de controle e comunicação, para automatizar o chaveamento do alimentador, monitorar a tensão e as condições dos equipamentos (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, 2020), e principalmente proteger a rede, gerenciando suas interrupções e assegurando a disponi-

bilidade da comunicação entre as diferentes aplicações do sistema (JOÃO, 2021). A AD inclui subestações, alimentadores e automação dos consumidores (BOVOLATO, 2013). Os alimentadores são circuitos de média tensão que saem das subestações levando energia elétrica para os transformadores das redes de baixa tensão (NEOENERGIA, 2019).

A AD se torna essencial para executar a capacidade do self healing (auto restauração), alta confiabilidade das fontes de geração, qualidade de energia da SG e para permitir a integração dos DERs (BOVOLATO, 2013). Segundo Mariângela (2013) algumas das aplicações da AD são a localização de faltas e o isolamento de detecção de falhas e restauração de serviço (FDIR).

O principal aspecto da auto restauração, quando aplicada no sistema de distribuição, é a necessidade de identificar com precisão o local da falta de energia nos componentes do alimentador com falha (poste, linha de distribuição, etc.), e se possível antecipar a ocorrência desta, com pequena ou nenhuma intervenção humana (BOVOLATO, 2013), se necessária intervenção, a tecnologia de localização de faltas guia rapidamente as equipes até o ponto da falta para que os reparos possam ser feitos e o serviço seja restabelecido mais rapidamente (SCHEWITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL), 2020), reduzindo o tempo médio de atendimento aos usuários e melhorando o gerenciamento da restituição da rede. Tudo feito de forma inteligente e automática (JOÃO, 2021). O alimentador abre e fecha chaves para minimizar o impacto de tempo e quantidade de atingidos.

Esse sistema possibilita a concessionária de energia elétrica monitorar remotamente, coordenar e operar componentes da proteção do sistema de distribuição em tempo real, através do compartilhamento de dados sobre os ativos da rede nas linhas de distribuição, esse ativo identifica a falta de energia e automaticamente isola a região afetada. Isso possibilita uma resposta mais direcionada e eficiente sobre a falha, aperfeiçoando a proteção do sistema, aumentando os indicadores de confiabilidade, e assegurando que o religamento e a interrupção de energia tenham menor duração e gerem menos perdas (JOÃO, 2021).

O isolamento de serviço das redes garante que os serviços de diferentes segmentos não afetem uns aos outros, e o rechaveamento da rede permite que o fornecimento de energia seja retomado a partir de uma fonte alternativa, mantendo o fornecimento ininterrupto. O conceito de auto restauração em sistemas de distribuição parece ser mais adequado para alimentadores de média tensão urbano e suburbano, onde abrem laços (malhas) e as rotas alternativas de fornecimento estão disponíveis (BOVOLATO, 2013). Por isso, os alimentadores de alta confiabilidade são necessários para fornecer uma fonte de alimentação contínua e garantir que o tempo de isolamento da falta não exceda milissegundos.

5.3 Aquisição de informações de sistemas de distribuição de baixa tensão

Do ponto de vista da implantação do serviço, o 5G não só permite novos serviços de controle industrial da rede elétrica, mas também herda os serviços de coleta de informações

suportados pelas atuais redes públicas 2G / 3G / 4G. O sistema de aquisição de informações do usuário de energia elétrica é usado principalmente para medição e transmite o tráfego do serviço de dados, o qual inclui parâmetros de estados carregados de terminais para sites primários (direção de *uplink*) e instruções de rotina e comandos entregues de sites primários para terminais (direção de *downlink*); há mais tráfego de *uplink*.

As informações de consumo de energia dos usuários são coletadas, processadas, analisadas em tempo real, são elas o monitoramento de medições anormais, da qualidade do consumo, da liberação de informações relacionadas, da energia distribuída e troca de informações de dispositivos elétricos inteligentes.

Novos serviços trarão requisitos para relatórios de dados quase em tempo real. Além disso, o número de terminais aumentará ainda mais. No futuro, a coleta de informações de consumo de energia será estendida às famílias para obter as informações de carga de todos os terminais elétricos. Isso ajudará os clientes do setor de rede elétrica de baixa tensão a reduzir custos de maneira eficaz, garantir um equilíbrio mais refinado entre a oferta e a demanda e orientar o consumo de energia fora do pico razoável. Nesse caso, a política de preços de eletricidade pode ser aplicada. Essa política diz que o preço da eletricidade precisa ser divulgado em tempo real para que os usuários possam comprar a eletricidade quando necessário.

5.4 Inspeção remota com drones

No setor eólico, as pás dos aerogeradores precisam ser monitoradas regularmente, pois há deterioração e danos na estrutura. Com a inspeção remota utilizando drone acima de um local com turbina eólica, o mesmo detectará pontos quentes do condutor ou isoladores quebrados, até mesmo com as pás em funcionamento. No setor solar fotovoltaico, os painéis podem ser danificados devido aos efeitos do clima ou ações de animais, logo a inspeção pode ser realizada e replicada para localizar danos, rachaduras e sombras e fornecer aos operadores imagens atualizadas, além de monitorar a geração, temperatura e eficiência dos painéis (PIX FORCE,). No setor hidrelétrico, as paredes das barragens das hidrelétricas podem ter ocos por falhas no concreto, logo a inspeção com drones e sensores termais de alta precisão servem para identificar de forma mais rápida e automatizada, possíveis diferenças de temperatura que vão apresentar a presença ou não de ocos por trás do concreto, se houver, o trabalho manual é realizado, diz Luis Carlos Costa Pinto Filho, CEO da Levitar Drone Intelligence.

Enel, Copel e Cemig têm utilizado drones para inspecionar suas redes de distribuição (subterrânea), linhas de transmissão (LT) e subestações (SE) a fim de garantir o perfeito funcionamento das instalações, economizar recursos e diminuir os riscos da equipe. O VANT (veículo aéreo não tripulado) conta com câmeras termográficas e câmeras visuais, que conseguem trazer informações das condições físicas das estruturas e de seus equipamentos

(para-raios, espaçadores, esferas de sinalização e acessórios). O uso de VANTs ajudam a inspecionar anormalidades, prevenindo possíveis danos e estendendo a vida útil do equipamento. Usados em inspeções preventivas e corretivas nas linhas de distribuição, os drones servem também para remover e incinerar objetos não desejados.

No caso de VANTs autônomos controlados por Inteligência Artificial (IA), os requisitos do VANT em relação à rede sem fio devem ser considerados, para fornecer uma taxa de transmissão alta de *uplink* e uma taxa de *downlink* quase sem atraso. O sistema 5G poderá fornecer a qualidade de serviço (QoS) necessária (por exemplo, confiabilidade, latência de ponta a ponta e largura de banda) para um serviço que suporte a priorização de recursos quando necessário, além de fornecer informações de posicionamento de alta precisão ao sistema de IA para auxiliar no processo de cálculo e tomada de decisão para decisões de voo do VANT (5G SERVICES INNOVATION, 2019).

A figura 11 “Cenários da smart grid e requisitos da 5G” feita pelo autor, mostra se os requisitos do 5G de cada cenário para redes de comunicação é baixo, médio ou alto.

Figura 11 – Cenários da smart grid e requisitos da 5G

Cenário de serviço	Latência	Largura de banda	Confiabilidade	Quantidade de terminais	Isolamento de serviço	Caso de uso
Fontes de geração distribuídas	médio/alto	baixo	alto	alto	médio	mMTC (UP) + URLLC (DL)
Automação distribuída de alimentadores inteligentes	baixo	baixo	alto	médio	alto	URLLC
Aquisição de informações de sistema de distribuição de baixa tensão	baixo	médio	médio	alto	baixo	mMTC
Inspeção remota com drones	baixo	médio/alto	médio	baixo	médio	eMBB

FONTE: Próprio autor

De acordo com Boccuzzi (2007), sócio-diretor da ECOEE, em sua apresentação “smart grid: o projeto Eletropaulo”, as concessionárias de energia elétrica, como Cemig, Energisa, EDP, etc., buscam automatizar ao máximo suas redes, pois isso garante velocidade na resolução de alguns problemas. Na parte de geração e transmissão, há benefícios que a rede inteligente pode proporcionar às concessionárias, como melhoria no planejamento, previsão e controle de carga, melhoria da arbitragem e gerenciamento de riscos. Na distribuição, os benefícios englobam a detecção de falhas e fraudes, perfil de carga, gerenciamento de rede, geração distribuída e redução de serviços de manutenção. E na parte de comercialização, há vantagens como serviços de valores agregados, redução da reclamação dos clientes, redução do custo do medidor e do serviço de manutenção,

gerenciamento de restituição da energia, reduzindo o tempo médio de atendimento e novas tarifas.

A implantação de SG nas fases de transmissão e distribuição de energia, permite monitorar o consumo na rede, aumentando a capacidade de detecção de falhas, armazenamento de energia em horários de pouca demanda e o acionamento de mecanismos para evitar a interrupção do serviço. Tudo isso em tempo real. Nesse sentido, quando se fala de 5G no setor elétrico, trata-se de potencialidades importantes para trazer mais inteligência para os processos e melhorar o serviço prestado pelas empresas (CARDOSO, nov. 2021).

Por tratar-se de um insumo vital para as economias modernas, a produção e distribuição de energia elétrica é altamente regulada, e há uma preocupação fundamental com as vulnerabilidades do sistema elétrico. A segurança dos dados trafegados deve proteger os indivíduos e as organizações quanto à confiabilidade, integridade, tolerância a falhas e autenticidade. Por isso, as concessionárias e distribuidoras devem investir na implementação de políticas de segurança da informação, seguindo, por exemplo, as recomendações da norma NBR ISO/IEC 27002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (RIVERA; ESPOSITO; TEIXEIRA, 2013).

6 Conclusão

As smart grids aplicam recursos digitais e tecnologia da informação no sistema de energia, elas são consideradas peça-chave na transição energética, pois preparam o caminho para a digitalização, descentralização, descarbonização e eletrificação da economia, facilitando a integração das fontes de geração distribuída baseadas em mMTC e URLLC e reduzindo custos. As tecnologias de comunicação 5G permitirão a inteligência necessária para implementar a SG e apoiar a distribuição bidirecional e novos modelos de negócios que alavancam maior eficiência na produção, entrega, uso e coordenação de recursos de energia limitados, como a inspeção remota com drones, melhorando a qualidade de serviço e atendendo aos requisitos de conexão de banda larga móvel melhorada. A comunicação ultra confiável e de baixa latência com redes 5G atenderão aos requisitos de comunicação para SG, em vista da conexão de equipamentos como medidores inteligentes, subestações, sensores e concentradores de dados em toda a área de serviço, como a automação distribuída, a qual só é possível graças à implementação de alimentadores inteligentes nas redes de distribuição de energia, fornecendo serviços de alta qualidade aos usuários. As redes inteligentes serão capazes de introduzir novas funcionalidades ao sistema atual de energia elétrica. A confiabilidade e a segurança dos sistemas de rede são essenciais para aplicativos de missão crítica que incluem autenticação de dispositivo, proteção de dados e identidade de dispositivos finais, como a aquisição de informações de sistema de distribuição de baixa tensão entre os dispositivos e o centro de operações. Portanto, o desenvolvimento de uma nova infraestrutura de comunicação baseada em tecnologias sem fio pode ser aproveitado nas SG, onde seu avanço só será possível devido às características do 5G, como o aumento da taxa de transferência de dados, menor consumo de energia e maior conectividade entre dispositivos.

Referências

- 5G AMERICAS WHITEPAPER. 5G Services and Use Cases. nov 2017. Disponível em: <https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5G_Service_and_Use_Cases_FINAL.pdf>.
- 5G SERVICES INNOVATION. Inovação dos serviços que utilizam 5G: Saúde, drones, banda larga e realidade estendida. *5G Americas*, novembro 2019. Disponível em: <<https://brechazero.com.br/wp-content/uploads/2020/04/INNOVACION-SERVICIOS-5G-ok-pt.pdf>>.
- A, S. I.; BANU, G. S.; FAREETH, A. Performance prediction of 5G: the next generation of mobile communication. *International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN)*, v. 9, n. 1, março 2017. Disponível em: <<https://airconline.com/ijngn/V9N1/9117ijngn01.pdf>>. Acesso em: 18/09/2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Chamada nº011/2010: PROJETO ESTRATÉGICO: “PROGRAMA BRASILEIRO DE REDE ELÉTRICA INTELIGENTE”**. [S.l.], 06/2010. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2008-ChamadaPE11-2010.pdf.
- ALONSO, A. M. dos S. **SMART GRIDS: TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO E SUA REALIDADE NO BRASIL**. 2014. 59 p. Dissertação (ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/images/MonografiasControleAutomacao/2014/AugustoMatheusDosSantosAlonso.pdf>.
- AMIN, S. M.; WOLLENBERG, B. F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 3, n. 5, p. 34 – 41, Setembro 2005. ISSN 1540-7977. Disponível em: http://www.massoud-amin.umn.edu/publications/Smart_Grid_IEEE_P&E_Amin_Wollenberg.pdf. Acesso em: 29/09/2018.
- ANATEL. **Perguntas e Respostas sobre o 5G**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 20/09/2021.
- ANATEL. **Tecnologia 5G**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g>. Acesso em: 04/01/22.
- ANATEL. **Anatel aprova o edital do leilão de 5G**. 29/03/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-aprova-o-edital-do-leilao-de-5g>. Acesso em: 20/12/21.
- ASCOM/MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **Brasil faz a primeira videochamada com uso do 5G “puro”**. 04/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2021/abril/brasil-faz-a-primeira-videochamada-com-uso-do-201c5g-puro201d-nesta-sexta-feira>. Acesso em: 20/12/21.
- BAICELLS. **Small cells são peças-chave para ampliar acesso à Internet móvel no Brasil**. Disponível em: <https://infranewstelecom.com.br/small-cells-sao-pecas-chave-para-ampliar-acesso-a-internet-movel-no-brasil/>. Acesso em: 05/01/22.

BEAT, V. **Como o 5G está mudando o tráfego de dados móveis**. 2019. Disponível em: <https://sempreupdate.com.br/como-o-5g-esta-mudando-o-trafego-de-dados-moveis/>. Acesso em: 06/10/21.

BOCCUZZI, C. V. “Smart Grid”: O Projeto Eletropaulo. **Abinee Tec 2007**, São Paulo, abril 2007. Disponível em: <http://www.tec.abinee.org.br/2007/arquivos/s1702.pdf>. Acesso em: 05/01/22.

BOVOLATO, M. de C. **Micro Redes: Sistema de Proteção com auto-restauração (Self Healing)**. Ilha Solteira: [s.n.], 2013. Disponível em: MariângeladeCarvalhoBovolato.

CÂMARA IOT. **Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação: Identificação dos tópicos de relevância para a viabilização da Internet das Coisas no Brasil**. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/aiot.pdf>. Acesso em: 03/10/21.

CARDOSO, B. B. **5G no setor elétrico: conheça aplicações que contribuem para a segurança**. nov. 2021. CERTI Insights. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/5g-no-setor-eletrico/>. Acesso em: 02/01/22.

CASTRO, N. J. de; MARTINI, S. A Evolução da tecnologia 5G e o Setor Elétrico. **Broadcast Energia do Grupo Estado de São Paulo**, abril 2021. Disponível em: http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/23_castro291.pdf.

CHINA TELECOM; STATE GRID CORPORATION; HUAWEI. 5G Network Slicing Enabling the Smart Grid. **IEEE 25th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)**, 2019. Disponível em: <https://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/News/5g-network-slicing-enabling-the-smart-grid.pdf>.

CIGRE BRASIL. **Teck Talks Aplicação de Tecnologia 5G no Setor Elétrico**. junho de 2021. Webinar.

COMUNICAÇÃO, A. . A. de. **MCTIC e BNDES apresentam estudo do Plano Nacional de IoT com 76 ações para o setor**. 2019. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/salaImprensa/noticias/arquivos/2017/10/MCTIC_e_BNDES_apresentam_estudo_do_Plano_Nacional_de_IoT_com_76_acoes_para_o_setor.htm?plano%20nacional%20de%20iot&tipoBusca=expressaoExata. Acesso em: 22/09/21.

CONEXIS. **Para acelerar investimentos no 5G, presidente executivo da Conexis defende flexibilizar limpeza da faixa de 3,5 GHz**. 2021. Disponível em: <https://conexis.org.br/para-acelerar-investimentos-no-5g-presidente-executivo-da-conexis-defende-flexibilizar-limpeza-da-faixa-de-35-ghz/amp/>. Acesso em: 20/05/21.

CONNECTED SMART CITIES. **KPMG Analise impacto da tecnologia 5G na indústria de energia**. mar. 2021. Disponível em: <https://portal.connectedsmartcities.com.br/2021/03/14/kpmg-analisa-impacto-da-tecnologia-5g-na-industria-de-energia/>. Acesso em: 04/01/22.

COSTA, E. A. da. **Automação da medição e segurança de dados em redes inteligentes: estudo da experiência brasileira**. 2012. 131 p. Dissertação (Metrologia) — Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1112831_2012_completo.pdf.

DECODE, E. **5G E BIG DATA: QUAL A RELAÇÃO DA NOVA TECNOLOGIA COM A GERAÇÃO DE DADOS?** 2020. Disponível em: <https://decodehub.buzz/5g-e-big-data/>. Acesso em: 7/10/21.

EOS ORGANIZAÇÃO E SISTEMAS LTDA. **MERCADO DE UTILITIES: SAIBA MAIS SOBRE O CENÁRIO EM 2021.** 2021. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/mercado-de-utilities/>. Acesso em: 15/01/22.

ERICSSON. Ericsson Mobility Report June. junho 2019. Disponível em: <https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report November 2021.** 2021. Disponível em: <https://www.ericsson.com/4ad7e9/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2021/ericsson-mobility-report-november-2021.pdf>. Acesso em: 20/12/21.

ESFERA BLOG. **Os 3Ds de energia: descarbonização, descentralização e digitalização.** 2021. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/blog/descarbonizacao-descentralizacao-digitalizacao/>. Acesso em: 24/07/21.

FAGUNDES, E. **Big Data, Analytics, IoT and Smart Grid GRC.** 2015. Disponível em: <https://efagundes.com/blog/big-data-analytics-iot-smart-grid-grc/>. Acesso em: 07/01/22.

FALCÃO, D. M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. **Fellow, IEEE,** 2010. Disponível em: http://www.eletrica.ufpr.br/odilon/te339/artigo_SMART_GRID.PDF.

FERREIRA, M. C. A. F. **Perspectivas e Desafios para a Implantação das Smarts Grids: um estudo de caso dos EUA, Portugal e Brasil.** 2010. 78 p. Monografia (INSTITUTO DE ECONOMIA) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/2457/1/MCAFFerreira.pdf>.

GALLOTTI, V. D. M. Intelligent electric power networks (Smart Grids). **Research, Society and Development,** e30010918322, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, v. 10, n. 9, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18322/15836>.

GARCIA, D. A. de A.; DUZZI JUNIOR, F. E. Capítulo III: Aspectos de evolução do smart grid nas redes de distribuição. **IEE,** São Paulo, v. 7, n. 75, p. 60 – 70, abril 2012. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed75_fasc_distribuicao_cap3.pdf.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** Sexta. São Paulo: Atlas, 2008. 220 p. Disponível em: <https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>.

GOVERNO DO BRASIL. **Leilão do 5G confirma expectativas e arrecada R\$ 47,2 bilhões.** 05/11/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/11/leilao-do-5g-confirma-expectativas-e-arrecada-r-47-2-bilhoes>. Acesso em: 20/12/21.

GSMA INTELLIGENCE. Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile. dezembro 2014. Disponível em: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2015/01/2014-12-08-c88a32b3c59a11944a9c4e544fee7770.pdf>. Acesso em: 27/10/21.

GUEDES, K. **REDES4G e 5G: Conheça todas as diferenças**. 2021. Disponível em: <https://www.topgadget.com.br/howto/redes/4g-e-5g-conheca-todas-as-diferencas.htm>. Acesso em: 06/01/22.

HELERBROCK, R. **Rede 5G**. Mundo Educação UOL. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/informatica/rede-5g.htm>.

IBERDROLA. **Smart grids**. 2020. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/energetica-do-futuro/smart-grids>. Acesso em: 16/07/21.

IZUMIDA, M. **Digitalização da rede elétrica: o futuro dos sistemas de energia nas grandes cidades**. 2021. CERTI Insights. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/digitalizacao-da-rede-eletrica/>. Acesso em: 24/07/21.

JOÃO, D. V. **Tecnologias para automação do sistema de distribuição de energia elétrica**. 2021. CERTI Insights. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/tecnologias-para-automacao-do-sistema-de-distribuicao-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 14/01/22.

KOVACS, L. **O que é uma small cell? [Antena de celular]**. 2020. Tecnoblog. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-uma-small-cell-antena-de-celular/>. Acesso em: 14/12/21.

LOPES, Y.; FRANCO, R. H. F.; MOLANO, D. A. Minicurso para o SBRT'2012: Smart Grid e IEC6 1850: Novos Desafios em rede e telecomunicações para o sistema elétrico. **XXX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBRT'2012**, Brasília, setembro 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267626119_Smart_Grid_e_IEC_61850_Novos_Desafios_em_Redes_e_Telecomunicacoes_para_o_Si

MACHADO, N. **Como 5G e transição energética estão conectados**. out. 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/como-5g-e-transicao-energetica-estao-conectados/>. Acesso em: 04/01/22.

MARQUES, P. O 5G em tempos de pandemia. **Revista do Instituto Politécnico de Castelo Branco. ISSN 1647-9335.**, v. 9, n. 16, p. 8 – 9, 2020. Disponível em: https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/7110/1/Opini%C3%A3o_O%205G%20em%20tempos%20de%20pandemia.pdf.

MECHAILEH, J. A. **Redes 5G: Tecnologia e Implantação**. 2020. Disponível em: <https://www.eldorado.org.br/blog/redes-moveis-5g-tecnologia-implantacao/>. Acesso em: 04/01/22.

MOHYELDIN, E. Minimum Technical Performance Requirements for IMT-2020 radio interface(s). **ITU-R Workshop on IMT-2020 terrestrial radio interfaces**, NOKIA, 2016. Disponível em: https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/S01-1_Requirements%20for%20IMT-2020_Rev.pdf. Acesso em: 15/01/22.

MOREIRA, D. **Mudanças e desafios com chegada do 5G**. 2021. Sindicato dos engenheiros do estado de São Paulo. Disponível em: http://repositorioiri5g.iri.usp.br/jspui/bitstream/123456789/143/1/Mudan%C3%A7as%20e%20desafios%20com%20chegada%20do%205G_dep_Moacyr.pdf. Acesso em: 23/09/2021.

NEOENERGIA. **Elektro inicia obra de alimentador em Nova Independência**. 2019. Disponível em: <https://www.neoenergiaelektro.com.br/noticias/10/25/2019/elektro-inicia-obra-de-alimentador-em-nova-independencia>. Acesso em: 09/01/22.

NEOENERGIA. **Smart grids: o que é e como funciona essa inovação em distribuição de energia elétrica**. 2021. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/inovacao/Paginas/smart-grid-o-que-e-como-funciona-inovacao-em-distribuicao-de-energia-eletrica.aspx>. Acesso em: 20/05/21.

NIST. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0. **NIST Special Publication 1108**, Janeiro 2010. Disponível em: https://www.nist.gov/system/files/documents/public_affairs/releases/smartgrid_interoperability_final.pdf.

NOJA POWER. **Automação de distribuição IV - Lidando com a coordenação de proteção**. 2019. Disponível em: <https://www.nojapower.com.br/press/2019/lidando-com-coordenacao-de-protecao.html>. Acesso em: 13/01/22.

NORDRUM, A.; CLARK, K. **Everything You Need to Know About 5G**. 2017. IEEE SPECTRUM. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/everything-you-need-to-know-about-5g>.

NOTÍCIAS, A. C. de. **Lira ressalta importância da tecnologia 5G em evento promovido pelo Ministério das Comunicações**. 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/755018-lira-ressalta-importancia-da-tecnologia-5g-em-evento-promovido-pelo-ministerio-das-comunicacoes/>. Acesso em: 15/09/2021.

OLHAR DIGITAL. **Inaugurada a primeira antena 5G em área rural**. 2021. Disponível em: <http://www.sistemaafaemg.org.br/faemg/noticias/inaugurada-a-primeira-antena-5g-em-area-rural>. Acesso em: 05/01/22.

PIX FORCE. **Como os drones estão revolucionando a indústria de energia?** Disponível em: <https://pixforce.com.br/como-os-drones-estao-revolucionando-a-industria-de-energia/#:~:text=As%20informa%C3%A7%C3%B5es%20mapeadas%20por%20drones,um%20dos%20setores%20de%20energia>.

PORTAL 5G. **O que é o 5G**. 2020. ANACOM. Disponível em: <https://portal5g.pt/5g/>. Acesso em: 04/01/22.

QUALCOMM. **5G is Driving Economic Growth, Resiliency, and Sustainability**. 2021. Disponível em: <https://www.qualcomm.com/5g/the-5g-economy>. Acesso em: 20/12/21.

QUITANILHA, D. **5G no Brasil: Chega quando? Para que serve? Tire suas dúvidas sobre a nova rede**. 2021. NEWSLETTER: ISTO É DINHEIRO. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/5g-no-brasil-chega-quando-para-que-serve-tire-suas-duvidas-sobre-a-nova-rede/>. Acesso em: 20/05/21.

RECOMMENDATION ITU-R M.2083-0. IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. setembro 2015. Disponível em: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!PDF-E.pdf. Acesso em: 04/01/22.

- REDAÇÃO. **Infraestrutura de fibra óptica: o impacto das redes 5G**. 2021. Disponível em: <https://www.pontoisp.com.br/infraestrutura-de-fibra-optica-o-impacto-das-redes-5g/>. Acesso em: 20/12/21.
- RIVERA, R.; ESPOSITO, A. S.; TEIXEIRA, I. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. **Revista do BNDES**, n. 40, dezembro 2013. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%C3%A9tricas%20inteligentes_P.pdf.
- SCHEWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Automação da Rede de Distribuição (DNA)**. 2020. Disponível em: <https://selinc.com/pt/solutions/distribution-network-automation/>. Acesso em: 03/01/22.
- SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES. **Automação de distribuição**. 2020. Disponível em: <https://selinc.com/pt/products/automation/power-system-automation/distribution-automation/?fallback>. Acesso em: 15/01/22.
- SEBRAE. Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. p. 220 –, 2018. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Cadeia%20de%20Valor%20da%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20no%20Brasil.pdf>.
- SIEMENS. **Aprenda sobre a tecnologia 5G**. Disponível em: <https://new.siemens.com/br/pt/empresa/stories/tecnologia/5g.html>. Acesso em: 27/10/21.
- SIEMENS. **Inteligência energética para uma rede mutável e mais adaptável**. 2020. Disponível em: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/topics/smart-grid.html>. Acesso em: 04/10/21.
- SLICENET. **5G Smart Grid Self-Healing Use Case**. Disponível em: <https://slicenet.eu/5g-smart-grid-self-healing-use-case/>. Acesso em: 16/01/22.
- SPADINGER, R. **Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e indústria 4.0**. [S.l.], 2021. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10419/1/NT_79_Diset_ImplementacaoTecnologia5G_Industria4.0.pdf.
- TI INSIDE. **Uruguai sai na frente e inaugura primeira rede 5G da AL**. 2019. Disponível em: <https://tiinside.com.br/10/04/2019/uruguai-sai-na-frente-e-inaugura-primeira-rede-5g-da-al/>. Acesso em: 14/12/21.
- TRISTÃO, R. V. **Redes 5G**. 2015. 36 p. Dissertação (Departamento de Eletrônica da) — UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/19981/1/CT_TELEINFO_1_2014_04.pdf. Acesso em: 26/09/2021.
- VIAVI SOLUTIONS. **Arquitetura do 5G**. 2021. Disponível em: <https://www.viavisolutions.com/pt-br/arquitetura-do-5g>. Acesso em: 19/12/21.
- WALLS, J. **Private: Wireless powers smart grids**. 2013. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/sf/brand-connect/wp/2013/04/15/wireless-powers-smart-grids/>. Acesso em: 05/01/22.
- YAN, Y. *et al.* A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 15, n. 1, p. 5 – 20, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/SURV.2012.021312.00034>.

ZIMMER, C.; FRANCO JUNIOR, M. A. **Automação da distribuição de energia:** Recomposição automática de redes de distribuição. 2014. 96 p. Dissertação (ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA) — UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em: https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2012_2_16/2012_2_16_final.pdf.