

## **GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

### **REFLEXÕES SOBRE O POTENCIAL DE USO DE TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO 5G NO SETOR ELÉTRICO**

**ALEXANDRE PINHEL(1);  
IONY PATRIOTA DE SIQUEIRA(2);  
DIOGO PINTO GUIMARÃES(3);  
ATILA LEÃO FLORES XAVIER(3);  
JOÃO GABRIEL ALEIXO(3);  
ROBERTO CRISTINO MARCOS(1);  
SERGIO SEVILEANU(4);  
GUSTAVO CORREA LIMA(5);  
ALAN LARA SOARES(6);**

**FURNAS-CENTRAIS ELETRICAS S.A.(1);  
TECNIX ENGENHARIA E ARQUITETURA LTDA.(2);  
TIM S.A(3);  
SIEMENS INFRAESTRUTURA E INDUSTRIA LTDA.(4);  
CPQD(5);  
STATE GRID BRAZIL(6)**

#### **RESUMO**

Diante do inevitável avanço das tecnologias de comunicação de quinta geração (5G), tornou-se premente a avaliação dos usos potenciais desse novo paradigma nos processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica bem como outras questões de interesse para o Setor Elétrico. Esse trabalho apresenta um amplo panorama inicial sobre o assunto, cobrindo tanto questões relacionadas às iminentes novidades nas comunicações quanto os impactos previstos na realidade operacional das concessionárias de energia elétrica. Além dos aspectos técnicos intrínsecos à essas tecnologias, são tratadas também questões de infraestrutura e segurança, compatibilidade eletromagnética, saúde do trabalhador, modelos de negócio e gestão de ativos.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Telecomunicações, 5G, Setor Elétrico, Indústria 4.0

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

Os processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica dependem de grande quantidade e diversidade de equipamentos de telecomunicações para as trocas de informações necessárias ao correto e seguro funcionamento dos sistemas elétricos de potência.

Devido à criticidade desses processos, usualmente as redes de telefonia celular não são utilizadas pelas concessionárias de eletricidade (*Electric Power Utilities* – EPU). Essa reticência deve-se, principalmente, a dois fatores: latência e confiabilidade. Porém a cena tecnológica está em vias de ser brutalmente alterada. Imensas pressões decorrentes dos movimentos de transformação digital, em especial da demanda exponencialmente crescente de dados por parte dos usuários finais e da demanda de produtividade e redução de custos da Indústria contribuíram para o desenvolvimento de um novo paradigma de Telecomunicações, as tecnologias de quinta geração, ditas 5G.

Esse movimento promete impacto disruptivo em diversos quesitos fundamentais, sugerindo fortemente que, pela primeira vez na história, há potencial viabilidade do emprego de telefonia celular como plataforma de comunicações de larga escala para as atividades de missão crítica das EPU. Esse trabalho mostra uma visão panorâmica inicial sobre esse potencial.

## 2.0 FUNDAMENTOS

Setores tecnológicos usualmente mantêm regimes evolutivos incrementais, porém a história da tecnologia mostra claramente que a Sociedade efetivamente avança quando há disruptura. No caso da comunicação móvel, essas disrupturas estão bem definidas e foram classificadas em gerações tecnológicas. Na tabela 1 pode ser visto, de forma simplificada, os ganhos que foram sendo disponibilizados desde o aparecimento do que foi denominado primeira geração (1G).

Tabela 1: Evolução das tecnologias de telefonia móvel celular

Tecnologia			Características			
			Banda	Acessos (/km <sup>2</sup> )	Latência (ms)	Segurança
1G	1980s	Início do uso de voz móvel	analógico	-	N/A	N/A
2G	1990s	Início do uso de dados móveis	9.6kb/s	-	600	Introdução do SIM card
3G	2003	Início do uso de multimídia móvel	2Mb/s	-	150	Autenticação mútua SIM card / Rede celular
4G	2010	Amplio uso do <i>smartphone</i>	300Mb/s	100k	30-50	Autenticações e autorizações em redes IP
5G	2020	Uso em aplicações críticas	1.5Gb/s	1M	1-5	Aumento da privacidade e inclusão da IoT

A conjugação de avanços tecnológicos como a disponibilidade de soluções de rádio com baixa latência, redes totalmente flexíveis, inteligência artificial e realidade aumentada e virtual produziram um cenário perfeito para o pleno aproveitamento das tecnologias 5G.

O 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), organismo colaborativo responsável pela padronização das redes móveis, definiu que essas tecnologias atuarão em três planos distintos (3GPP2021): banda móvel estendida (*enhanced Mobile Broadband* – eMBB), conectividade massiva (*massive Machine Type Communications* – mMTC) e baixa latência com alta confiabilidade (*Ultra Reliable Low Latency Communication* – URLLC).

Esses três pilares apresentam características complementares e conflitantes de forma que não será possível atender todos esses requisitos extremos simultaneamente. Porém essa aparente limitação não deve ser relevante uma vez que as aplicações práticas utilizarão os recursos pertinentes da rede de forma dinâmica, conforme diferentes perfis de funcionamento e de acordo com as demandas dos usuários. Isso se dará através do conceito de particionamento da rede (*network slice*).

Os perfis funcionarão a partir de camadas físicas distintas e desenhadas para serem eficientes em relação aos requisitos críticos desejados. A implantação e ampliação de disponibilidade desses recursos se darão ao longo de três ondas durante os próximos anos, cada uma com estratégias próprias de mercado. De forma geral, e somente com o intuito de enfatizar as diferenças entre esses perfis, tem-se que:

- Onda 1: eMBB irá operar em redes com alta eficiência espectral e elevada largura de banda;
- Onda 2: mMTC permitirá imensa quantidade de múltiplos acessos;
- Onda 3: URLLC viabilizará, a partir de mensagens curtas, aplicações críticas dependentes de baixa latência.

Na figura 1 podem ser vistas algumas aplicações de interesse do Setor Elétrico e suas correlações com os pilares do 5G. Essas funcionalidades, porém, só alcançarão efetividade no Setor Elétrico se outros aspectos também forem tratados, conforme a seguir.

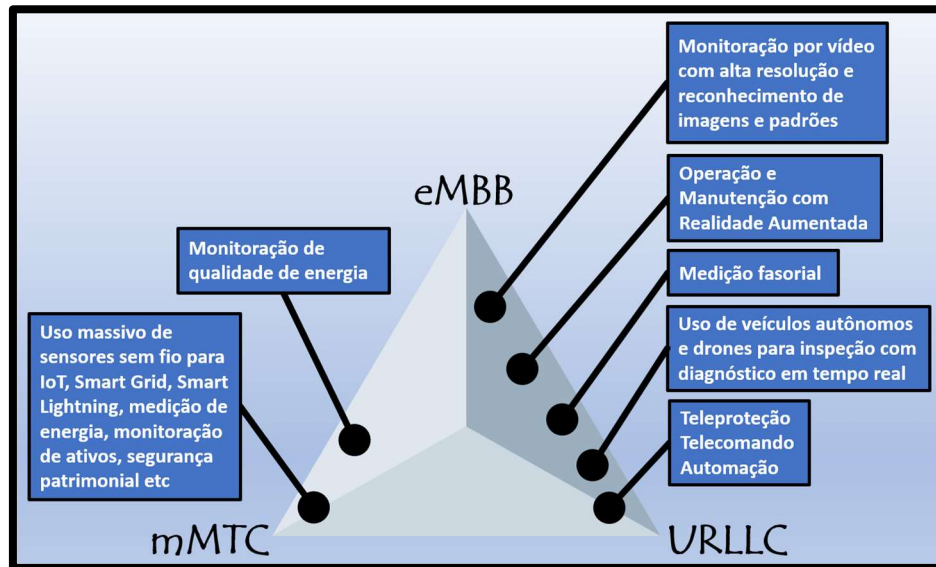


Figura 1 – Recursos fundamentais do 5G aplicados ao Setor Elétrico

### 3.0 5G NO SETOR ELÉTRICO

Em uma primeira abordagem, a distribuição do universo 5G nos temas a seguir procurou cobrir todos os aspectos de interesse do Setor Elétrico agrupando-os pelo melhor enquadramento com a realidade operacional.

#### 3.1) Recursos fundamentais

3.1.1 – eMBB: Esses recursos já estão proporcionando imenso aumento de banda. Testes iniciais da tecnologia 5G *Standalone* (3GPP Release 16) orientados à serviços eMBB realizados com 100MHz de banda, na faixa de frequência de 3,5GHz (3GPP2021) revelaram o alcance de taxas de dados acima de 1 Gbps, *jitter* de 6ms e tempo total de comunicação (*round-trip time* - RTT) de 12ms. Foram contempladas tanto soluções proprietárias quanto abertas, de fornecedores distintos.

Capacidades de banda dessa ordem permitirão uso de aplicações como monitoração patrimonial com câmeras de alta resolução e com reconhecimento facial.

Além disso, o acesso fixo sem fio (*Fixed Wireless Access* – FWA) permitirá também a substituição de soluções baseadas em cabeamento físico, metálico e ótico, com grande redução de custos, tanto nas aplicações corporativas quando de automação das instalações.

3.1.2 – mMTC: congrega o conjunto de características do 5G que permite que centenas de milhares de dispositivos troquem informações entre si praticamente em tempo real. Uma rede com a tecnologia e mMTC deve suportar densidade de conexões da ordem de um milhão de dispositivos por km<sup>2</sup>, cerca de dez vezes o limite das redes 4G. Além disso, deve ser tolerante à latência e ter baixo consumo energético.

As características mMTC serão importantes em ambientes onde os milhares de dispositivos a elas conectados transmitam e recebam apenas pequenas quantidades de dados de forma esporádica. No setor de distribuição de energia elétrica, o uso da tecnologia traria inúmeros benefícios, uma vez que possibilitaria a instalação de milhares de sensores de monitoramento nas cidades, como em transformadores, postes de iluminação e ainda nos ambientes domésticos com o uso de medidores de consumo de energia elétrica. Aplicações na área de eficiência energética também poderão ser implementadas com mais facilidade como, por exemplo, a otimização da iluminação pública (*smart lightning*) e monitorações de qualidade de energia.

3.1.3 – URLLC: Com esses recursos as transmissões de sinais de comando via rede 5G serão feitas com latências compatíveis com os sistemas atuais de teleproteção (1-5ms), e uma confiabilidade equivalente, no mínimo, às conexões metálicas e óticas.

Para tanto a implantação deverá ser feita dentro da arquitetura 5G *Standalone* (3GPP2021) focada no *User Plane* (UP), modo que entrega uma nova arquitetura fim a fim a partir do particionamento (*slicing*) da rede, onde cada serviço recebe recursos alocados para fornecer garantias de desempenho específicas e isoladas dos outros serviços.

A utilização do particionamento URLLC implica na seleção dos recursos de rede que melhor atenderão os requisitos de latência para uma determinada aplicação. Neste caso, as taxas de dados não serão prioritárias e a seleção dos recursos pode, por exemplo, estar orientada à utilização de elementos da rede de acesso (RAN) que operam em frequências altas (3.5GHz e 26GHz), oferecendo assim melhor desempenho tanto do ponto de vista de taxa de dados quanto de latência, ou mesmo na seleção de componentes e funções de rede implementados de forma a aproximar plataformas de serviço e usuários, explorando assim o conceito de computação de borda (*Multi-access Edge Computing* - MEC) e potencializando a redução do RTT. De forma geral, redes 5G podem permitir latências de até 1 milissegundo e confiabilidade acima de 99.999% para dar suporte a casos de uso mais críticos.

Outro aspecto importante é que, diferentemente das gerações anteriores que operam dependendo do estado (*stateful*), i.e., precisam armazenar contextos, dados de usuários, conexões e associações, redes 5G implementam o conceito de arquitetura independente do estado (*stateless*). Com isso tem-se maior confiabilidade, resiliência e otimização com impacto reduzido em casos de falhas de conexão.

#### 3.2) Infraestrutura e segurança

Os processos de geração e transmissão de eletricidade apresentam alta dependência de telecomunicações em tempo real. Em cenários de falta de energia essa dependência torna-se mais crítica ainda devido aos processos de recomposição da rede elétrica. Portanto a rede de dados deve apresentar alta confiabilidade e disponibilidade, especialmente diante de falhas no suprimento de energia para as estações radiobases (ERBs).

Historicamente essa exigência tem atuado como inibidor do uso de redes celulares como plataforma de dados para processos críticos nas EPU's, mesmo naqueles sem necessidade de baixa latência e que poderiam ser atendidos por

tecnologias inferiores ao 5G. Isso se dá, fundamentalmente, pelo alto índice de falhas nos sistemas de backup de energia das ERBs, em especial aos modos de falha associados às baterias. Estas, por questões de mercado, tipicamente são do tipo chumbo-ácidas que, além de sofrerem desgaste natural, comumente são alvo de furto para comercialização no mercado ilícito de metais, no caso chumbo secundário.

Para uma rede 5G conseguir alcançar níveis de ultra confiabilidade como prometido, sua infraestrutura de rede e das respectivas ERBs tem que ser muito mais robusta que as antecessoras. Essa questão foi solucionada com dois avanços importantes: redundância nos sistemas de alimentação e adoção de baterias de lítio em substituição às chumbo-ácidas. Essa última elimina as questões críticas de manutenção preditiva e furto uma vez que essas baterias possuem sistemas de supervisão embarcados, dispensando as inspeções e medições inerentes aos procedimentos de manutenção e não apresentam interesse em mercados ilícitos de metais.

A percepção de que as redes 5G estarão inexoravelmente suportadas por ERBs com sistemas de alimentação e energia backup robustos e extremamente confiáveis pela primeira vez traz confiança suficiente nos aspectos físicos para adoção de soluções celulares em processos críticos nas EPU.

Já quanto aos aspectos cibernéticos, características intrínsecas relacionadas ao mMTC permitirão a conexão de dezenas de bilhões de dispositivos inteligentes, resultando em imensa superfície de exposição a ataques. Além disso as redes 5G serão mais distribuídas e descentralizadas, aumentando assim o risco de violações.

Porém todos esses aspectos ameaçadores têm tratamentos nativos no 5G através de robustos processos de autenticação de usuários, criptografia de tráfego e integridade dos dados além de mecanismos para garantir proteção e resiliência e contornarem situações de sobrecarga da rede [Cisco2020]. No caso dos perfis de uso voltados para a indústria e missões críticas naturalmente as garantias de segurança deverão ser ainda mais fortes.

Embora o 3GPP se esforce para que o 5G traga muitas melhorias do ponto de vista da segurança, a responsabilidade por implementar estas funcionalidades nos produtos e ativá-las nas redes móveis cabe aos fornecedores de equipamentos e operadoras de redes, respectivamente.

Um relatório [ENISA2020] sobre segurança em redes 5G da ENISA (Agência Europeia para a Segurança das Redes e da Informação) alerta que “certos recursos de segurança importantes, no entanto, incluindo alguns dos recém-introduzidos, são definidos como opcionais, ou há um certo grau de flexibilidade para interpretação e implementação de alguns controles”. Essa liberdade na implementação trará insegurança e tornará imperativo o profundo conhecimento dos equipamentos para que possam ser adquiridos em conformidade com os níveis de segurança desejados. Ressalta-se que a padronização da segurança do 5G está limitada à conectividade, ou seja, às redes de telecomunicações. De maneira similar, melhores práticas de segurança cibernética devem ser levadas em conta no desenho dos equipamentos que serão conectados a estas redes e às aplicações que utilizam os dados produzidos e trafegados por eles.

Apesar de boa perspectiva em termos de segurança trazida por tecnologias desenvolvidas nativamente para suportar agressividades cibernéticas, a inevitável presença de equipamentos legados deverá trazer preocupações extras, já que o avanço do 5G se dará paulatinamente nas instalações já em operação. A exemplo da introdução, nas EPU, das redes locais cabeadas, metálicas e óticas, um longo período de convivência será necessário entre as tecnologias 5G e os equipamentos legados, exigindo o desenvolvimento de gateways entre estes sistemas, aumentando a vulnerabilidade das aplicações.

Outro aspecto que tem provocado reflexões é a possibilidade de monitoração e interferência remota, motivadas por interesses de espionagem, geopolíticos e econômicos. Algumas agências regulatórias sugerem a diversificação dos fornecedores como forma de minimizar estes riscos.

### 3.3) Aspectos eletromagnéticos:

A adoção de soluções 5G em usinas e subestações trará severas alterações nos ambientes eletromagnéticos, especialmente devido a inclusão de novas faixas de frequência e a grande distribuição espacial das antenas para garantir a cobertura.

A presença de campos magnéticos espúrios, em particular durante manobras de chaves seccionadoras e ocorrência de curto-circuito, sugere necessidade de testes de campo como os encontrados em [Kumari2019] para verificação de cobertura, latência e imunidade dos equipamentos 5G. Outro ponto importante, também identificado em [Kumari2019], é que já existem soluções proprietárias que fornecem a latência necessária para missões críticas em EPU. Em suma, Estratégias de implantação de redes 5G URLLC mais cautelosas e investigativas, com levantamentos de campo detalhados, darão mais condições para elaboração de projetos confiáveis.

Outra questão é a presença frequente de obstáculos móveis nas salas de controle e de relés em subestações, principalmente durante trabalhos de manutenção, operação e expansão, gerando dúvidas sobre a cobertura 5G nestas condições, em particular durante a atuação rápida de sistemas de proteção em contingências.

Há também preocupação com interferência com outras frequências, por exemplo as empregadas em aplicações meteorológicas para previsão de tempo, e para suporte à aviação. Este aspecto deverá ser tratado a partir de reduções nos ganhos das bandas utilizadas, para reduzir esta possibilidade.

O ambiente eletromagnético impacta não só máquinas, mas também pessoas. Uma pesquisa realizada pela empresa Deloitte [Deloitte2021] em 14 países constatou que em seis desses países, um quinto das pessoas acreditam que o 5G traz riscos à saúde. Essa percepção de risco associado às emissões eletromagnéticas remonta às origens da telefonia celular e deve ser reavaliada a cada avanço tecnológico. As redes 5G empregam frequências de banda baixa (0,6 GHz - 3,7 GHz), média (3,7 - 24 GHz) e alta (24 GHz e superior). Em termos gerais, são as frequências de banda alta que causam mais preocupação. Diante desse novo cenário de uso de espectro diversos órgãos investigaram o assunto.

Em 2020, a autoridade reguladora que cobre as indústrias de telecomunicações, radiodifusão e correio no Reino Unido (Ofcom - Escritório de Comunicações) realizou medições de EMF em 33 locais próximos a ERBs 5G, em 18 cidades. Os níveis medidos ficaram bem abaixo dos limites estabelecidos pela Comissão Internacional de Proteção contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP - *The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*), com o nível mais alto sendo aproximadamente 7,1% do nível de referência e o segundo nível mais alto sendo 1,5% [Ofcom2021].

Em março de 2020, a ICNIRP, após extensa pesquisa, comunicou publicamente que não há evidência de que as redes 5G têm potencial para causar câncer ou outras doenças [ICNIRP2020]. Em março de 2021, uma revisão de 138 estudos realizada pela Agência Australiana de Proteção contra Radiação e Segurança Nuclear [ARPANSA2020] ratificou a opinião do ICNIRP.

Além das questões relacionadas com o espectro em si, percebe-se preocupação com a densidade da infraestrutura 5G uma vez que haverá necessidade de grande aumento da quantidade de células por conta da redução de penetração das ondas uma vez que as frequências são maiores. Sobre essa questão o Instituto Nacional de Ciências de Saúde Ambiental dos EUA (NIEHS - *National Institute of Environmental Health Sciences*) declarou que a exposição à RF pode realmente ser menor com 5G pois, apesar da proximidade dos humanos às células aumentar, potencialmente levando a uma exposição maior, as antenas serão amplamente dispersas, o que significa que a RF emitida por 5G pode ser menor do que a transmitida atualmente por 2G, 3G e 4G [NIEHS2021].

O conjunto dessas pesquisas sugere que a implantação de redes 5G em usinas e subestações não causará preocupação nas EPU's quanto aos aspectos relacionados à saúde do trabalhador.

### 3.4) Modelos de negócio.

Com a entrada do 5G, novos modelos de negócios estão sendo pensados, e aspectos como o compartilhamento de infraestrutura e espectro, e a utilização de redes privadas e de redes abertas surgem como oportunidades atrativas para o setor elétrico. Sob o contexto de redes privadas, a infraestrutura deverá ser implantada em associação com Operadoras de Telecomunicações através do compartilhamento de Redes de Acesso por Rádio (*Radio Access Network – RAN sharing*). Nesse conceito, as antenas, rádios e conexão entre células e o núcleo da rede (enlace *backhaul*) serão da EPU e, a partir deste ponto, os equipamentos serão da Operadora detentora do serviço.

Outro aspecto importante a ser considerado é que soluções tradicionais para RAN em redes móveis são verticalmente integradas, e dificilmente permitem interoperabilidade entre elementos de RAN de diferentes fornecedores, causando grande barreira à entrada de novos fabricantes e desestimulando desenvolvimentos de tecnologias específicas voltadas para nichos de mercado como o Setor Elétrico. Essa falta de competição tem dificultado redução de custo e aparecimento de inovações em tecnologias RAN.

Com base neste cenário, o conceito do Open RAN (arquitetura de RAN aberta que promove a interoperabilidade entre elementos desagregados de *hardware* e *software* para RAN) surge como uma importante alternativa para endereçar os desafios supracitados. Nessa arquitetura, as funções RAN são divididas em microsserviços atômicos e agrupadas em entidades, de acordo com os requisitos da rede. As interfaces entre os microsserviços são padronizadas, permitindo interoperabilidade entre soluções desenvolvidas por fornecedores distintos, assim novos fornecedores poderão entrar no mercado 5G e desenvolver funções RAN específicas, aumentando o número de atores no ecossistema e, conseqüentemente, a competição.

O setor elétrico apresenta uma gama significativa de casos de uso, dentre eles o de atendimento de conectividade para infraestrutura de transmissão e de subestações de energia elétrica, onde o investimento para implantação de

uma rede privada com cobertura de uma região urbana significativa pode ser muito alto. Nestes casos, soluções Open RAN podem vir a ser opções complementares a fim de endereçar desafios como a redução dos custos de infraestrutura, o gerenciamento automatizado de equipamentos e controladores inteligentes em ambiente *multivendor* e a redução dos custos operacionais. A arquitetura Open RAN, por meio do uso de desagregação das funcionalidades, permite também uma maior flexibilidade na implementação de diferentes cenários e topologias 5G, auxiliando na adaptação às necessidades específicas das EPU.

O avanço do 5G como plataforma padrão permitirá eficiência, flexibilidade e escalabilidade sem precedentes por parte dos fabricantes de soluções RAN, reduzindo barreiras de entrada, facilitando a adoção de compartilhamento que terá também como motivador o fato das características de frequência do 5G demandarem grandes investimentos em ERBs para proporcionar a cobertura adequada. Como contra-partida, as EPU poderão entrar com suas redes ópticas como *backhaul* para as Operadoras de forma a reduzir alguns dos custos de implantação das redes 5G em suas instalações.

Por fim, estudos de custo que endereçam a utilização de redes abertas em cenários 5G vem sendo elaborados pelas Operadoras e, atualmente, encontram-se em fase de consolidação.

### 3.5) Gestão de ativos

A alta capacidade de comunicação e baixa latência do 5G permitirão que grandes recursos computacionais possam ser empregados remotamente viabilizando processos que, de outra forma, não poderiam ser realizados pela falta de recursos locais. O uso inteligente desse tipo de configuração poderá trazer grandes benefícios à manutenção dos equipamentos principais das EPU.

Inspecção em subestações, linhas de transmissão e plantas de geração eólica e fotovoltaica poderão ser feitos por veículos autônomos e drones com câmeras de alta resolução. Poderão ser utilizadas faixas de luz visível e térmica, com processamento na nuvem com uso de inteligência artificial, fornecendo diagnósticos em tempo real, reduzindo assim os tempos de manutenção. Monitoração para segurança patrimonial também poderá ser feita a partir de câmeras com reconhecimento facial e sistemas de monitoração por imagens e inteligência artificial para reconhecimento de padrões poderão ser implantados para verificação de estado de equipamentos.

A monitoração massiva e em tempo real de parâmetros técnicos das estruturas de linhas de transmissão e de parâmetros climáticos ao longo dos corredores das linhas poderá trazer ganhos na manutenção e operação, viabilizando ações preditivas e corretivas rápidas por parte das equipes. Em situações de acidentes com quedas de torres a recomposição pode ser bastante acelerada pelo ganho logístico com a identificação precisa e imediata das torres danificadas.

A possibilidade de utilização de enlaces *backhaul* de microondas ao invés de fibras ópticas poderá trazer reduções nos investimentos de novas instalações e redução no tempo de recomposição do enlace em caso de falha, uma vez que reparos em cabos de fibras ópticas são atividades demoradas.

O treinamento de atividades de risco com uso de realidade aumentada com equipes distantes também poderá trazer grandes benefícios às tarefas de manutenção, especialmente quanto ao aumento da segurança e redução dos tempos de parada. Um outro ganho na área de treinamento será o uso de tecnologias de gêmeos digitais (*digital twins*). Essa tecnologia permite a criação de uma versão digital de um objeto físico ou ambiente, com o qual se pode interagir remotamente. Isso pode envolver a recriação virtual de um espaço de trabalho, onde as pessoas podem treinar com segurança usando realidade virtual ou ajudar na identificação de situações perigosas.

#### 4.0 CONCLUSÕES

As tecnologias 5G dominarão a cena das Telecomunicações nos próximos anos. Cabe aos setores da Sociedade, Comércio e Indústria se prepararem para os efeitos que essas iminentes novidades irão causar. O Setor Elétrico deve, portanto, prospectar e investigar tendências de forma a se preparar com a cautela que sua missão crítica exige.

As características intrínsecas dessas tecnologias permitirão a implementação de soluções inéditas. Com as altas bandas proporcionadas pelo eMBB será possível segurança patrimonial com imagens de alta resolução e reconhecimento facial. A quantidade sem precedentes de acessos por área que será possibilitado pelo mMTC alavancará soluções smart grid e viabilizará grandes avanços na operação e manutenção das redes de distribuição. Já com a baixa latência das comunicações que será proporcionada pelo URLLC será possível o uso de teleproteção e automação totalmente sem fio. Isso só para citar algumas possibilidades.

Outros aspectos a serem aprofundados giram em torno dos impactos na gestão dos ativos e modelos de negócios que permitirão cenários economicamente favoráveis aos grandes investimentos que serão demandados para construção e expansão das redes 5G.

As infraestruturas das redes não deverão ser motivo de preocupação uma vez que estão sendo concebidas e implementadas para grande confiabilidade, especialmente considerando a adoção de baterias de lítio como padrão.

As faixas de frequência utilizadas não trazem preocupação quanto a interferências eletromagnéticas e impactos na saúde dos trabalhadores, mas deve haver cautela quanto ao uso de frotas de drones em tarefas de inspeção e manutenção.

Soluções utilizando redes abertas podem ser atrativas sob os pontos de vista de flexibilidade e fidelidade, porém deverão ser comparadas com soluções proprietárias em termos de confiabilidade.

Por fim deve-se enfatizar que esse trabalho procurou estabelecer um panorama inicial a partir do qual demais profissionais do Setor poderão dar continuidade às reflexões e investigações necessárias para os próximos anos. Para tanto parece sensato o estabelecimento, o mais brevemente possível, de núcleos de pesquisa e testes para darem condições satisfatórias às importantes tomadas de decisão que estão por vir.

#### 5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[3GPP2021] 3GPP, "TS 38.101-1: NR; *User Equipment (UE) radio transmission and reception*", 2021

[Arpansa2020] <https://www.arpansa.gov.au/research-and-expertise/electromagnetic-energy-program/electromagnetic-energy-research/5g-mobile-networks-and-health-state-science>, acesso em 7/9/2021

[Cisco2020] Stephen Orr et al, "*Examining the Security of Wi-Fi 6 and 5G*", Cisco White Paper, 2020

[Deloitte2021] Deloitte, "*Technology, Media, and Telecommunications Predictions*", 2021

[Enisa 2020] ENISA, "*Security in 5G Networks*", 2020

[ICNIRP2020], ICNIRP, "*Guidelines for limiting exposure to eletromagnetic fields (100 KHZ TO 300 GHZ)*", 2020

[Kumari2019] Neha Kumari et al., "*Enabling Process Bus Communication for Digital Substations Using 5G Wireless System*", 2019

[NIEHS2021] <https://factor.niehs.nih.gov/2021/2/beyond-the-bench/top-20/index.htm>, acesso em 7/9/2021

[Ofcom2021] Ofcom, "*Electromagnetic Field (EMF) measurements near 5G mobile phone base stations*", 2021



## DADOS BIOGRÁFICOS



Alexandre Pinhel é graduado em Engenharia Eletrônica (UFRJ 1994), tem MBA em Gestão da Inovação (UNICAMP 2011), mestrado em Propriedade Intelectual & Inovação (INPI 2014). É membro do Cigre e membro sênior do IEEE. Recebeu premiações técnicas da ABRAMAN, Cigre e do Ministério do Meio Ambiente. Desde 1994 é engenheiro de Furnas Centrais Elétricas e, em 2003, publicou um livro sobre Descargas Eletrostáticas. Atualmente estuda usos de tecnologias 5G e de Manufatura Aditiva no Setor Elétrico. Está em doutoramento na PUC-Rio com foco em Manufatura Aditiva com ligas de alumínio. É também artista plástico (Instagram @alexandre.pinhel).

(2) IONY PATRIOTA DE SIQUEIRA. Possui doutorado (Prêmio Brasil) e graduação em Engenharia Elétrica, Mestrado (com honras) em Pesquisa Operacional, e MBA em Sistemas de Informação. CIGRE Fellow e IEEE Member. Honorary Member, Distinguished Member, Estrategic Advisor e past-Chairman of Study Committee B5 do CIGRE, membro brasileiro da TC 57 da IEC, presidente da Comissão de Estudos da ABNT sobre Gestão de Sistemas de Energia e Intercâmbio de Informações. Autor de quatro livros. Convenor dos Grupos B5.32, B5.64 e TF B5.01 do CIGRE. Membro Permanente da Academia Nacional de Engenharia, Presidente da Tecnix Engenharia e Arquitetura, Diretor Técnico do CIGRE-Brasil.

(3) DIOGO PINTO GUIMARÃES. Especialista em telecomunicações com mais de 18 anos de experiência em desenvolvimento de projetos de redes móveis, comunicações ópticas e afins nos mercados de telecomunicações e de energia, estando atualmente na área de engenharia de infraestrutura de Telecom da TIM Brasil, na empresa desde 2011. Membro de Comissão Estudos no COBEL e CIGRE. Formado em Engenharia Elétrica com Telecomunicações pela Universidade Santa Úrsula, Pós-graduado em Gestão da Inovação e Tecnologia para Indústria 4.0 pela FGV, e Especialização em Sistemas Distribuição de Energia Elétrica e Smart-Grid pela PUC RJ. MBA em Ciência de Dados na UFF em andamento.

(4) ATILA LEÃO FLORES XAVIER. Responsável arquitetura, inovação e tecnologia na TIM Brasil, mestre em Sistemas de Comunicação e engenheiro eletrônico, com mais de 20 anos de experiência em telefonia móvel, dispositivos celulares e serviços de comunicação sem fio. Responde pelas definições e arquitetura de rede e TI, virtualização e migração de sistemas e plataformas para a nuvem, parcerias tecnológicas para compartilhamento e otimização de recursos, TIM labs e technology center, além de projetos como NB-IoT, e-SIM, 5G e QoS móvel, dentre outros.

(5) JOÃO GABRIEL ALEIXO. Atua como Especialista em Inovação e Tecnologia na TIM Brasil onde vem desenvolvendo iniciativas e projetos relacionados à inovação tecnológica no setor de telecomunicações. Atualmente é responsável pelas iniciativas de prospecção e testes de tecnologias no âmbito do TIM Lab (Laboratório de testes e inovação da TIM Brasil). É Graduado em Ciência da Computação, com Mestrado na área de Computação Aplicada e MBA em Gestão Estratégica da Tecnologia.

(6) ROBERTO CRISTINO MARCOS. Graduado em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (UFF 2003) e possui MBA em Engenharia de Manutenção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ 2016). Desde de 2004 é Engenheiro de Telecomunicações de Furnas Centrais Elétricas. Especialista em Telefonia IP, atua na operação e manutenção de toda rede telefônica de Furnas Centrais Elétricas, incluindo as comunicações dos Centros de Operação e Controle do Sistema Elétrico.

(7) SERGIO SEVILEANU. Formado em Engenharia Elétrica pela UNICAMP e pós-graduado em Administração de Empresas pela Fundação Getúlio Vargas. Tem mais de mais de 20 anos de experiência em desenvolvimento de negócios nos mercados de telecomunicações, energia e infraestrutura, tendo atuado na sede da Siemens na Alemanha. Faz parte das comissões de IoT e segurança cibernética da ABINEE, do grupo de trabalho de 5G do Cigre, vice-coordenador do tema 5G e redes privadas do Instituto Brasileiro do Petróleo e consultor do Fórum Brasileiro de IoT.

(8) GUSTAVO CORREA LIMA. Engenheiro Eletricista com ênfase em Telecomunicações pela UNIFEI (2001), mestre em Comunicações e Processamento de Sinais pela UFSC (2004) e Especialista em Regulação de Serviços Públicos de Telecomunicações pela ANATEL (2005). Trabalha há mais de 20 anos na área de Telecomunicações e atualmente atua como Gerente de Soluções de Comunicações Sem Fio no CPQD. É membro participante de iniciativas como Projeto 5G Brasil/Conexis, Fórum Brasileiro de Internet das Coisas, Grupo de Trabalho em Open RAN da Anatel, Grupo de Trabalho em Conectividade da Câmara Agro 4.0 e responsável pelo Community Lab do Telecom Infra Project (TIP) no CPQD.

(9) ALAN LARA SOARES. Tem 15 anos de experiência em Telecomunicações, sendo responsável pela área de Telecomunicações da State Grid. Formado pela Universidade Estácio de Sá, possui formação na UFF em MBA em Serviços de Telecomunicações, MBA em TV Digital e com Pós-Graduação em Comunicações Móveis. É colaborador do grupo STATE GRID BRAZIL HODING desde 2012 e ocupa a posição de especialista de Telecomunicações. Na State Grid, é coordenou a implantação na área de Telecomunicações para o Centro de controle Nacional e centros

regionais. Tem exercido importantes atividades no segmento, contribuindo para a expansão e melhoria da área de Telecom dentro do setor.