

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Um Survey Sobre a Rede de Comunicação Móvel de Sexta Geração (6G), os Requisitos e Suas Aplicações Futuras

Maria Meiriele Dias da Silva

JUIZ DE FORA
JULHO, 2023

Um Survey Sobre a Rede de Comunicação Móvel de Sexta Geração (6G), os Requisitos e Suas Aplicações Futuras

MARIA MEIRIELE DIAS DA SILVA

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Ciência da Computação
Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: Alex Borges Vieira

JUIZ DE FORA
JULHO, 2023

UM SURVEY SOBRE A REDE DE COMUNICAÇÃO MÓVEL
DE SEXTA GERAÇÃO (6G), OS REQUISITOS E SUAS
APLICAÇÕES FUTURAS

Maria Meiriele Dias da Silva

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Aprovada por:

Alex Borges Vieira
Doutor em Ciência da Computação

Edelberto Franco Silva
Doutor em Ciência da Computação

Luciano Jerez Chaves
Doutor em Ciência da Computação

JUIZ DE FORA
01 DE JULHO, 2023

A mim por não ter desistido.

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso tem como propósito investigar a concepção da futura geração das redes móveis (6G) no cenário mundial. A necessidade de uma nova geração de tecnologia móvel, como o 6G, surge em resposta às demandas crescentes por comunicações cada vez mais rápidas, confiáveis e eficientes. As gerações anteriores, como o 4G e o 5G, trouxeram avanços significativos em relação à velocidade de dados e à capacidade de conexão, mas à medida que novas tecnologias e aplicações emergem, surgem novos desafios que exigem uma nova infraestrutura de comunicação. A sexta geração promete revolucionar a forma como nos comunicamos e interagimos com o mundo, proporcionando velocidades de dados ultrarápidas, maior capacidade de conexão de dispositivos e latência quase zero. Neste estudo, será examinado as principais características do 6G, as tecnologias e inovações subjacentes, bem como os impactos potenciais nas áreas de telecomunicações, indústria, saúde, transporte e outros setores. Além disso, serão abordadas as preocupações relacionadas à segurança, privacidade e sustentabilidade associadas ao desenvolvimento e implantação da tecnologia 6G.

Palavras-chave: 6G, IA, IoT, aplicações, redes móveis, tecnologia, dispositivos, comunicação

Abstract

This undergraduate thesis aims to investigate the conception of the future generation of mobile networks (6G) in the global scenario. The need for a new generation of mobile technology, such as 6G, arises in response to increasing demands for faster, more reliable, and efficient communications. Previous generations, such as 4G and 5G, have brought significant advancements in data speed and connectivity capacity, but as new technologies and applications emerge, new challenges arise that require a new communication infrastructure. The sixth generation promises to revolutionize the way we communicate and interact with the world, providing ultra-fast data speeds, increased device connectivity, and near-zero latency. In this study, we will examine the key characteristics of 6G, the underlying technologies and innovations, as well as the potential impacts on telecommunications, industry, healthcare, transportation, and other sectors. Additionally, we will address concerns related to security, privacy, and sustainability associated with the development and deployment of 6G technology.

Keywords: 6G, IA, IoT, applications, mobile networks, technology, devices, communication

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha perseverança e fé em acreditar que os obstáculos foram feitos para serem superados; Numa jornada insana desde o primeiro período trabalhando em dois lugares, e morando em outra cidade, rodando ida e volta 140km todos os dias, exausta. Obrigada Deus por eu não ter morrido, porque tinha dias que o carro vinha sozinho, eu cochilava mesmo.

Aos meus irmãos que me faziam viajar no meio de todos os períodos, e me deixavam ferrada o resto do semestre. Ainda falam que me ama. Eu que lute com eles! Amo vocês incondicionalmente.

E um agradecimento especial a amiga que a UFJF me deu, Aline Sotte por sempre demonstrar a preocupação e o amor em forma de amizade verdadeira, ela nunca me deixou desistir, estava sempre pronta a ajudar. Meu muito obrigada a você.

E obrigada Daniella Scaldaferrri, amiga de 12 anos no trabalho, acho que ninguém acredita mais em mim do que você, obrigada pela força diária e por aturar meu stress esse tempo todo. Você é minha irmã de coração, amo você.

Ao professor Alex Borges pela orientação e parceria, muitíssimo obrigada.

E pôr fim aos meus pais que não fazem a menor ideia de que curso é esse que eu faço; Enquanto eu perambulava madrugada a fora “com carro autônomo” eles dormiam o sono dos justos. Certíssimos são eles que hoje tem menos cabelos brancos que eu.

“O fim de toda nossa busca será chegarmos onde começamos e ver o lugar pela primeira vez.” T.S.Eliot

–

Conteúdo

Lista de Figuras	8
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	10
1.1 Apresentação do Tema	10
1.2 Motivação	11
1.3 Objetivos	12
1.4 Organização do Documento	12
2 Fundamentação Teórica	13
2.1 O que é 6G?	13
2.2 Velocidades de Dados Ultrarrápidas	16
2.3 Latência Quase Zero	18
2.4 Maior Capacidade de Conexão de Dispositivos	20
2.5 Avanços na Realidade Virtual e Aumentada	21
2.6 Inteligência Artificial e Machine Learning na Comunicação Móvel	23
3 Infraestrutura e Tecnologias Subjacentes ao 6G	25
3.1 Redes Heterogêneas Integradas (HIN)	26
3.2 Terahertz (THz) e Espectro de Frequência Acima de 100 GHz	27
3.3 AN - Autonomous Mesh Networks	28
3.4 Computação em Nuvem e Edge Computing	29
3.5 Comunicação Holográfica	30
3.6 Redes de Comunicações Integradas LEO, MEO e GEO	31
4 Aplicações e Impactos Potenciais do 6G	33
4.1 Saúde e Medicina	33
4.2 Transporte e Mobilidade	34
4.3 Indústria e Automação	35
4.4 Entretenimento e Mídia	36
4.5 Cidades Inteligentes	36
4.6 Agricultura e Meio Ambiente	37
5 Desafios e Preocupações: Aspectos Sociais e Econômicos	38
5.1 Infraestrutura	38
5.2 Segurança e Privacidade	39
5.3 Sustentabilidade e Consumo Energético	41
5.4 Inovação e Crescimento Equânime	42
6 Quem está na Vanguarda?	43
6.1 Panorama Geral	43
6.2 Estados Unidos da América	44
6.3 República Popular da China	47

7 Considerações Finais

50

Bibliografia

52

Lista de Figuras

1.1	Evolução das Redes Móveis 0G para 6G	11
2.1	Arquitetura 6G	13
2.2	Sistema MIMO massive	17
2.3	Ilustração de uma Superfície Inteligente	17
2.4	XR, high-fidelity mobile hologram, and digital replica	21
3.1	Global 6G Conference 2023 -Opens Nanjing China	25
3.2	Uma arquitetura para rede integrada espaço-ar-solo	31
6.1	5G AI/ML and 6G AI/ML	45
6.2	Green G: O Caminho para o 6G Sustentável	46

Lista de Abreviações

4G	Quarta Geração
5G	Quinta Geração
6G	Sexta Geração
RV	Realidade Virtual
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Mista
CAV	Veículos Autônomos Conectados
IA	Inteligência Artificial
IOE	<i>Internet of Everything</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
HT	Telepresença Holográfica
UAV	Veículos aéreos não Tripulados
XR	Realidade Extendida
THz	<i>TeraHertz</i>
GHz	<i>GigaHertz</i>
TBPs	<i>Terabits</i> por segundo
HIN	Redes Heterogêneas Integradas
AN	<i>Autonomous Mesh Networks</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
MEO	<i>Medium Earth Orbit</i>
GEO	<i>Geosynchronous Earth Orbit</i>
AM	<i>Machine Learning</i>
MIMO	<i>Massive Multiple-Input Multiple-Output</i>
mMTC	<i>Massive Machine Type Communication</i>
uRLCC	<i>Ultra Reliable and Low Latency Communications</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
NTN	Redes não Terrestres
3D	3 Dimensões
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento

1 Introdução

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução sobre o tema proposto, justificativa, objetivos e organização do trabalho.

1.1 Apresentação do Tema

No atual panorama mundial, de crises geopolíticas e pandêmicas nas quais alguns países ainda lutam para se recuperar moralmente e financeiramente, estamos assistindo também a consolidação da tecnologia de quinta geração (5G). As grandes potências mundiais passaram anos se preparando para tornar realidade esse intento, e assim conseguir suprir as demandas que as novas aplicações exigiam, como Realidade Virtual (VR), Realidade Aumentada (AR), Realidade Mista (MR), Veículos Autônomos Conectados (CAV), Internet das Coisas (IoT) e Indústria 4.0.

O foco geral da tecnologia 5G não foi pensado para agilizar as conexões em âmbito de cobertura global abrangendo terra, água e espaço. Por outro lado a internet das coisas vem evoluindo para se tornar a internet de tudo (IOE) e para aplicativos como Telepresença Holográfica (HT), Veículos Aéreos Não Tripulados (UAV), Realidade Estendida (XR), Rede Inteligente 2.0, Indústria 5.0, turismo espacial e de profundidade surgem como aplicações principais de comunicação futura das redes.

Estima-se, que os requisitos exigidos por esses aplicativos, como taxas de dados ultra-altas, acesso em tempo real a poderosos recursos de computação, latência extremamente baixa, localização e detecção precisas e confiabilidade e disponibilidade extremamente altas, superam os recursos de rede prometidos pelo 5G. Essas questões tem feito com que pesquisadores da área divaguem sobre uma nova era das redes, uma que possa manter os recursos da 5G e suprir o que ela não conseguir atender. Nesse aspecto vem surgindo o conceito de Rede de comunicação Móvel 6G.

Pressupõe-se que as redes de comunicação móvel 6G inaugurem uma comutação disruptiva no paradigma de rede móvel, alcançando recursos de rede extremos para atender

às demandas da futura sociedade orientada por dados.

1.2 Motivação

Como supracitado, a tecnologia 5G vem se consolidando em boa parte do globo e com isso já surgem questões sobre as tecnologias futuras, e que o 5G provavelmente não será capaz de atender em sua totalidade. Por exemplo, estima-se que as futuras redes de comunicação precisarão mudar de células pequenas existentes para células minúsculas para conseguir suportar bandas de alta frequência no espectro de THz.

Diante dessas indagações, ademais já nos deparamos com matérias projetando a Sexta Geração de Comunicação Móvel (6G), porém faltam artigos e pesquisas que discorra sobre este tema.

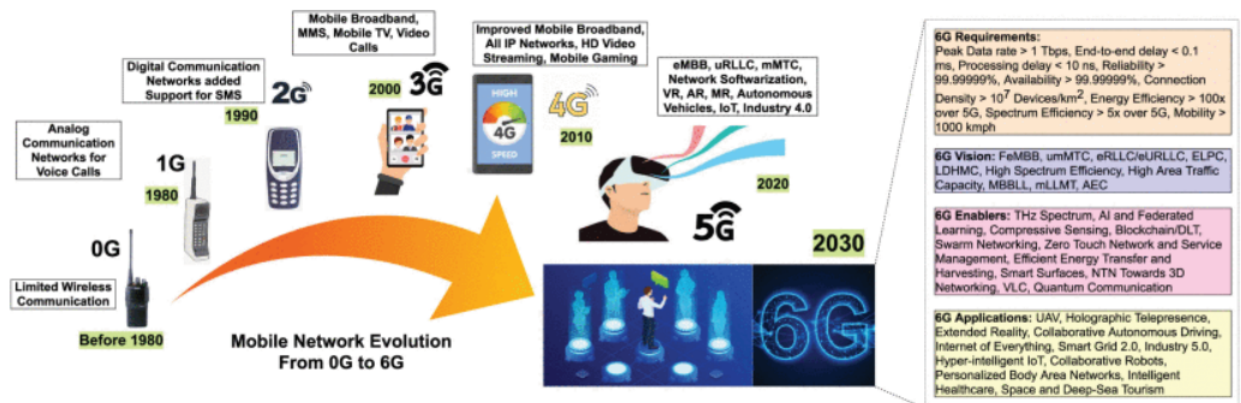


Figura 1.1: Evolução das Redes Móveis 0G para 6G

Evolução das redes de comunicação móvel retirada da revista (IEEE Open Journal of the Communications Society, 2023). Na imagem a tecnologia 6G é projetada para o ano de 2030, com detalhamento dos requisitos necessários e suas aplicações, tendo em vista uma sociedade hiperconectada na qual pessoas e dispositivos interagem perfeitamente uns com os outros e com seu ambiente. E um dos principais facilitadores em potencial disso tudo é uso de banda de frequência operando em terahertz, cobertura global com comunicações ultraconfiáveis e de baixíssima latência.

1.3 Objetivos

O presente trabalho propõem-se a realizar um Survey sobre a Rede de Comunicação Móvel de Sexta Geração (6G) seus requisitos e aplicações futuras. O objetivo final é contribuir para o conhecimento e a compreensão da tecnologia 6G, seus benefícios, desafios e implicações, tanto no cenário mundial quanto em contextos específicos.

1.4 Organização do Documento

O trabalho está organizado da seguinte forma, começa com uma introdução e apresentação do tema, a motivação e os objetivos. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica a cerca do tema, as principais características e possíveis benefícios que o 6G deverá suprir no futuro próximo. O Capítulo 3 faz um apanhado sobre a infraestrutura e tecnologias subjacentes ao 6G, em especial sobre as discussões da Conferência Global 6G, realizada em Nanjing, na China ocorrida entre os dias 22 e 24 de março de 2023. O Capítulo 4 apresenta as possíveis aplicações e impactos potenciais do 6G em áreas específicas, como saúde e medicina, transporte e mobilidade entre outros. No capítulo 5 é apresentado os possíveis desafios e preocupações, sociais e econômicas a cerca da futura tecnologia. Por fim no capítulo 6 é discutido o que os países de vanguarda, vem desenvolvendo para tornar o 6G realidade até o ano de 2030, com destaque especial para China e EUA.

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo trás a definição, e apresenta as principais características e possíveis benefícios que 6G deverá suprir no futuro.

2.1 O que é 6G?

É a tecnologia de comunicação móvel da sexta geração, cujo ideal é possuir recursos avançados para ser integrada com o 5G, como comunicações holográficas, inteligência artificial, alta precisão, novas tecnologias como Sub-THz ou VLC (Comunicações de Luz Visível), estrutura de cobertura em 3D, pontos de acesso de rádio terrestres e aéreos para habilitar funcionalidades em nuvem. O 6G utilizará uma arquitetura sem células, na qual o equipamento do usuário (UE) se conecta à rede de acesso por rádio (RAN) e não a uma única célula (RASHMI BHARDWAJ, 2023).

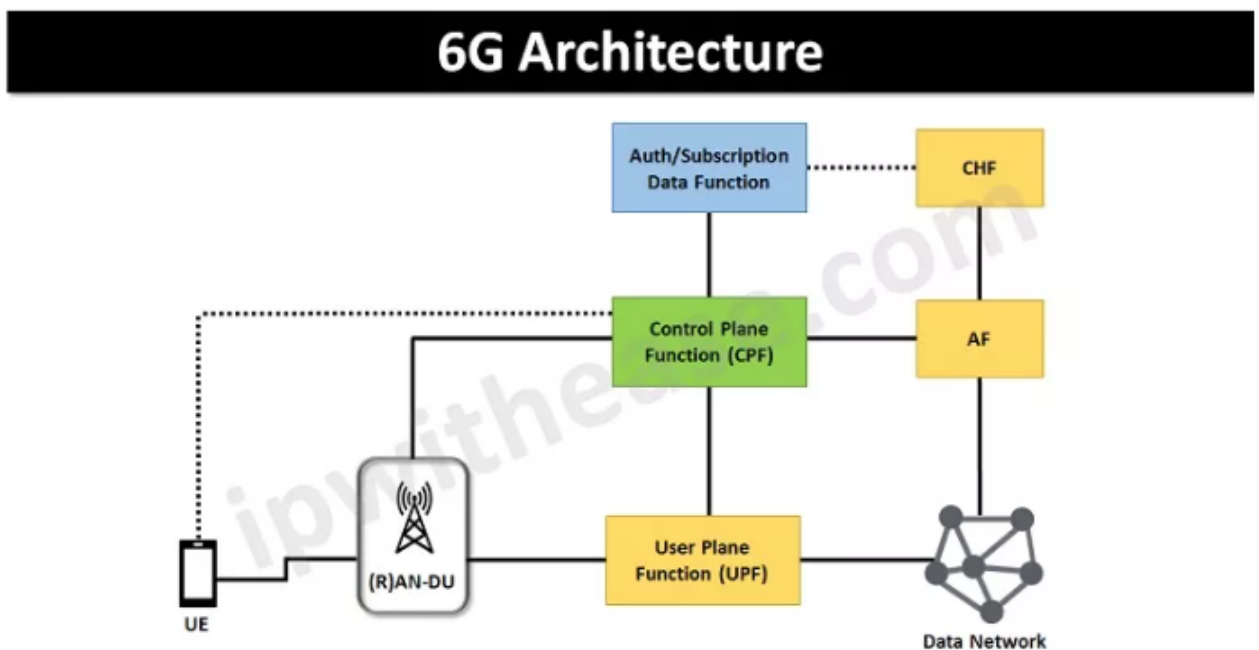


Figura 2.1: Arquitetura 6G

Imagem da arquitetura 6G (RASHMI BHARDWAJ, 2023). De acordo com a imagem a arquitetura se divide em UE, (R)AN-DU, Auth/Subscription Data Function,

Control Plane, CHF, AF e Data Network, onde:

UE (User Equipment) que seria o equipamento/dispositivos dos usuários finais que se conecta diretamente à rede de acesso por rádio em vez de se conectar apenas a uma célula específica como nas gerações anteriores.

O “(R)AN-DU” refere-se a “Radio Access Network - Distributed Unit” (Rede de Acesso por Rádio - Unidade Distribuída). Que seria uma parte da arquitetura da rede sem fio que descreve a distribuição das funções da rede de acesso por rádio em unidades físicas descentralizadas, ou seja, é responsável por fornecer conectividade sem fio para os dispositivos dos usuários (UEs) e gerenciar a comunicação entre eles e o núcleo da rede.

“Control Plane Function” (Função do Plano de Controle) como o próprio nome sugere, seria o responsável pelo controle e gerenciamento das operações da rede, incluindo a configuração, coordenação e controle dos recursos de rede. Essa função também lidaria com a alocação de recursos, controle de acesso, gerenciamento de mobilidade e tomada de decisões relacionadas à operação da rede. Ademais, a função Control Plane também pode ser responsável pela implementação de políticas de rede, gerenciamento de qualidade de serviço (QoS), segurança e integridade dos dados transmitidos pela rede.

A função Auth/Subscription Data seria responsável por autenticar os dispositivos de usuário (UEs) quando eles se conectam à rede, verificando sua identidade e autorizando o acesso aos serviços e recursos da rede. Isso envolve a validação dos dados de autenticação do usuário, como credenciais de login e informações da assinatura do serviço etc.

O User Plane, neste contexto seria o responsável pelo encaminhamento e processamento dos dados que são transmitidos entre os dispositivos conectados e os serviços de rede. Aqui dentro opera alguns protocolos como, IP (Internet Protocol), que é utilizado para rotear pacotes de dados de um dispositivo para outro.

O UDP (User Datagram Protocol), que é um protocolo de transporte que permite a transferência de dados de forma rápida e eficiente, sem a necessidade de estabelecer uma conexão prévia. É frequentemente utilizado para serviços que requerem uma comunicação mais leve, como streaming de vídeo e jogos online.

O TCP (Transmission Control Protocol), é um protocolo de transporte confiável que garante a entrega ordenada e sem erros dos dados. Ele é utilizado em serviços que

necessitam de uma transferência de dados precisa, como transferências de arquivos e comunicações sensíveis à ordem dos pacotes.

O QUIC (Quick UDP Internet Connections), que é um protocolo de transporte desenvolvido pelo Google que combina elementos do UDP e TCP. Ele visa fornecer uma comunicação rápida e segura, adequada para aplicações que requerem baixa latência e alta velocidade de transferência de dados, como streaming de vídeo e aplicações interativas em tempo real.

E o MPLS (Multi-Protocol Label Switching), que é um protocolo de roteamento que pode ser utilizado no User Plane para melhorar o desempenho e a eficiência na transferência de dados, por meio da utilização de rótulos para encaminhar pacotes pela rede. Vale ressaltar que os protocolos utilizados no User Plane podem variar e evoluir ao longo do tempo, conforme o desenvolvimento e a padronização do 6G.

Espera-se que o user plane seja projetado para suportar recursos avançados, como taxas de transferência extremamente altas, latência ultrabaixa e requisitos de qualidade de serviço (QoS) específicos para diferentes tipos de aplicativos e serviços. Além disso, o user plane pode incorporar tecnologias inovadoras, como roteamento baseado em inteligência artificial e técnicas de processamento distribuído, a fim de otimizar o desempenho da rede.

CHF (“Cloud Hosted Framework”) ou Estrutura Hospedada em Nuvem, é um modelo arquitetônico em que certas funcionalidades e serviços da rede seriam hospedados e executados em nuvem. No CHF, elementos da rede que normalmente seriam implementados em infraestrutura física, como pontos de acesso (APs) e funções de rede, são virtualizados e hospedados em ambientes de nuvem. Isso permitiria uma maior flexibilidade, escalabilidade e eficiência na implantação e gerenciamento das redes de comunicações.

AF (“Application Function”, ou Função de Aplicação, está relacionada ao processamento e entrega de serviços de aplicação, como serviços de realidade virtual/aumentada, jogos em nuvem, automação industrial, assistência médica remota, transporte autônomo, entre outros. Espera-se que a função AF seja altamente flexível e adaptável, capaz de lidar com uma ampla variedade de aplicativos e serviços que requerem altas taxas de transferência, baixa latência, confiabilidade e conectividade massiva.

E por fim “Data Network”, ou Rede de Dados seria uma infraestrutura de rede que

é projetada para transportar e processar grandes volumes de dados de maneira eficiente e rápida. Ela seria responsável pela transferência de dados entre os dispositivos dos usuários (UEs), os elementos da rede e os serviços de aplicação.

Além disso ela pode envolver tecnologias e protocolos avançados, como comunicação óptica, frequências de rádio mais altas, técnicas de modulação mais eficientes e processamento de dados em alta velocidade. E pode incorporar também, conceitos como a computação em borda (edge computing), onde parte do processamento de dados e serviços são distribuídos em servidores e dispositivos localizados mais próximos dos usuários finais. Isso pode ajudar a reduzir a latência e melhorar o desempenho dos aplicativos e serviços. (WEIHUA QIAO, 2023).

2.2 Velocidades de Dados Ultrarrápidas

No contexto do 6G, as velocidades de dados ultrarrápidas são um dos principais objetivos a serem alcançados. Essa característica visa proporcionar uma experiência de conectividade ainda mais rápida e eficiente em comparação com as gerações anteriores. O 6G buscará oferecer velocidades de dados significativamente mais altas do que o 5G, que por sua vez já oferece uma melhoria significativa em relação ao 4G.

As projeções atuais indicam que o 6G atingirá uma velocidade máxima de um terabit por segundo (Tbps), que é 100 vezes mais rápido que o 5G (PURVA RAJKOTIA, 2022). Tal velocidade possibilitaria a transmissão de grandes volumes de dados em velocidades excepcionalmente rápidas. Essas velocidades ultrarrápidas no 6G só serão possíveis devido a várias tecnologias e inovações e uma delas é o uso de frequências ainda mais altas, como as faixas de terahertz (THz) e acima de 100 GHz (6G RESEARCH VISIONS, NO. 13, 2021). Essas frequências têm maior capacidade de transmissão de dados, porém essa taxa é muito difícil de alcançar, pois é necessária uma grande largura de banda contínua, mas, na realidade, as larguras de banda disponíveis para uso são limitadas e divididas em diferentes bandas.

Outro aspecto é que a eficiência espectral faz uma troca direta com a Relação Sinal-Ruído (SNR) necessária para detecção, quanto mais alto o SNR necessário, mais curto se torna o respectivo alcance devido às limitações de potência transmitida em altas

freqüências, bem como ao ruído adicionado (JOAB COSTA RODRIGUES LIMA, 2020). Para melhorar ainda mais o alcance do enlace, bem como aumentar a taxa de dados, requisitos como, seleção de semicondutores apropriados e escolher materiais de perdas mínimas com uma pequena constante dielétrica e perdas de tangente reduzidas para evitar perdas substanciais na transmissão. É necessária uma nova estratégia de embalagem que integre de forma estreita os componentes de radiofrequência com as antenas. No entanto, é preciso lembrar que, à medida que os dispositivos ficam cada vez mais compactos, o gerenciamento térmico e de energia se torna ainda mais crítico (DR YU-HAN CHANG ; SONA DADHANIA, 2022).

Além disso, o 6G provavelmente se baseará em avanços na tecnologia de antenas, como massive MIMO e superfícies refletoras inteligentes, que consistem em um grande número de elementos de antena, permitindo um maior número de conexões simultâneas e melhorando a eficiência espectral, concentrando a energia nos usuários desejados (KARTHIK KUMAR VAIGANDLA; SANDYARANI BOLLA; RADHAKRISHNA KARNE, 2021).

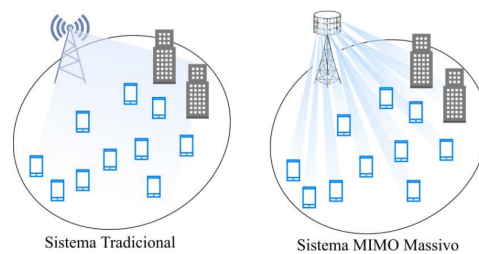


Figura 2.2: Sistema MIMO massivo

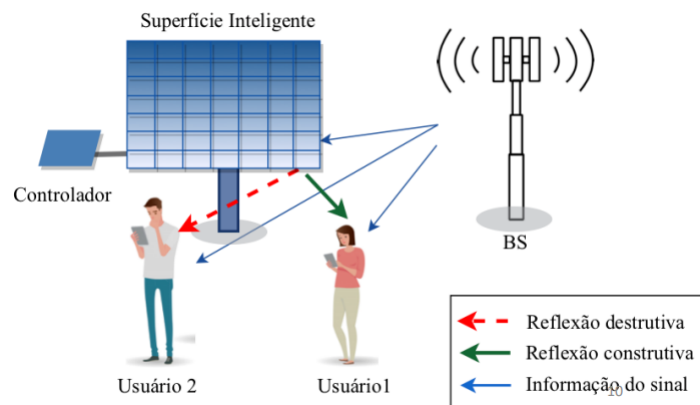


Figura 2.3: Ilustração de uma Superfície Inteligente

Acima duas imagens, uma referente ao MIMO massive e outra referente a superfície inteligente, retiradas do artigo: Avanços em Comunicações para Redes 6G escrita por: (DANIELY GOMES; MICHELLE FACINA, 2022).

Outra inovação que pode impulsionar as velocidades de dados ultrarrápidas é a utilização de redes heterogêneas integradas (HIN). Essas redes combinam várias tecnologias de comunicação, como redes de células pequenas, satélites e sistemas de comunicação em alta altitude (como balões estratosféricos e drones), para fornecer uma cobertura ampla e alta capacidade de transmissão. As velocidades de dados ultrarrápidas do 6G serão essenciais para suportar uma ampla gama de aplicativos avançados, como realidade virtual/aumentada, streaming de vídeo 8K/16K, jogos online imersivos, transmissão de hologramas em tempo real e comunicação entre dispositivos inteligentes em tempo real. No entanto, é importante destacar que o desenvolvimento e a implantação do 6G estão em estágios iniciais, e ainda há muito trabalho a ser feito para tornar as velocidades de dados ultrarrápidas uma realidade. É um desafio técnico complexo, que requer avanços significativos em termos de infraestrutura de rede, espectro de frequências, capacidade de processamento e eficiência energética. HIN será melhor detalhada à frente, dentro da sessão Infraestrutura e Tecnologias Subjacentes ao 6G.

2.3 Latência Quase Zero

A latência quase zero é uma das características-chave esperadas na tecnologia 6G. Ela se refere ao tempo extremamente curto necessário para a transmissão de dados entre dispositivos conectados. Essa redução significativa da latência é considerada essencial para permitir uma comunicação instantânea e experiências em tempo real em diversos setores. No 6G, espera-se que a latência seja reduzida de 1 milissegundo a 1 microssegundo, cinco vezes menor em relação a 5G, possibilitando transmissões massivas de dados em muito menos tempo, ou seja, em menos de 1 segundo (MOBILIT, 2022). Praticamente eliminaria qualquer atraso perceptível na comunicação. Isso é especialmente importante em aplicações que exigem interação em tempo real, como jogos online, realidade virtual/aumentada, cirurgia remota, veículos autônomos e automação industrial. Para alcançar uma latência quase zero, várias tecnologias e soluções tem sido motivo de estudos, e provavel-

mente alguns pontos como os citados abaixo deverão ser considerados.

1. Arquitetura de Rede Otimizada:

O 6G deve apresentar uma arquitetura de rede otimizada para reduzir a latência. Isso pode incluir a utilização Autonomous Mesh Networks (AN) do inglês redes de malha autônomas e computação em nuvem/edge computing, que possibilitam o processamento de dados mais próximo dos dispositivos, minimizando assim o tempo de transmissão.

2. Redes de Alta Velocidade:

A velocidade de transmissão de dados no 6G, mencionada anteriormente, contribui para a latência quase zero. Quanto mais rápido os dados são transmitidos, menos tempo é necessário para que as informações sejam enviadas e recebidas, reduzindo a latência.

3. Redes com Menor Congestionamento:

O 6G visa acomodar uma maior densidade de dispositivos conectados. Ao reduzir o congestionamento na rede, evitando a sobrecarga e garantindo um fluxo de dados suave, será possível reduzir a latência.

4. Avanços em Tecnologias de Antena:

A utilização de tecnologias avançadas, como antenas massivas (massive MIMO), pode contribuir para uma latência mais baixa. Essas antenas permitem uma melhor coordenação de sinais e comunicação simultânea com múltiplos dispositivos, resultando em tempos de resposta mais rápidos.

5. Otimização de Protocolos de Comunicação:

O desenvolvimento de protocolos de comunicação mais eficientes e otimizados para o 6G também desempenhará um papel importante na redução da latência. Protocolos mais eficazes podem melhorar a eficiência do fluxo de dados e reduzir o tempo de resposta. Ao atingir uma latência quase zero no 6G, espera-se proporcionar experiências de comunicação mais imersivas, permitindo aplicações em tempo real e

interações instantâneas entre dispositivos e sistemas. Isso abrirá possibilidades para avanços significativos em setores como saúde, entretenimento, transporte, indústria e muitos outros, transformando a maneira como nos conectamos e interagimos com o mundo ao nosso redor.

2.4 Maior Capacidade de Conexão de Dispositivos

A maior capacidade de conexão de dispositivos é uma das características essenciais que o 6G busca oferecer. À medida que a Internet das Coisas (IoT) continua a crescer e mais dispositivos se tornam conectados, surge a necessidade de uma infraestrutura de comunicação capaz de suportar uma densidade cada vez maior de dispositivos conectados de forma eficiente e confiável. No 6G, espera-se que a capacidade de conexão de dispositivos seja significativamente ampliada em comparação com as gerações anteriores. Enquanto o 5G tem como objetivo suportar até 1 milhão de dispositivos conectados por quilômetro quadrado, o 6G busca aumentar ainda mais essa capacidade para permitir a conexão massiva de dispositivos em uma área específica (INTELBRAS, 2022). Essa maior capacidade de conexão é viabilizada por meio de diversas tecnologias e abordagens, como as citadas abaixo:

1. Redes Heterogêneas Integradas (HIN):

O 6G deve integrar diferentes tecnologias de rede, como redes de células pequenas, satélites, balões estratosféricos e drones, em uma única infraestrutura. Isso permite uma cobertura mais ampla e uma capacidade de conexão mais abrangente, atendendo a uma grande quantidade de dispositivos simultaneamente.

2. Uso de Frequências Mais Altas:

O 6G pode aproveitar o uso de frequências além dos espectros tradicionais, como as faixas de terahertz (THz) e acima de 100 GHz. Essas frequências mais altas têm uma maior largura de banda disponível, permitindo acomodar um maior número de dispositivos conectados e aumentar a capacidade de comunicação.

3. Algoritmos Eficientes:

Algoritmos de acesso ao meio mais eficientes e otimizações de camada de rede podem ajudar a acomodar um maior número de dispositivos conectados, garantindo uma alocação eficiente de recursos de comunicação. A maior capacidade de conexão de dispositivos no 6G abrirá caminho para uma ampla gama de aplicações em IoT e casos de uso massivos. Isso inclui automação industrial, cidades inteligentes, monitoramento de infraestrutura, sistemas de transporte inteligentes, saúde remota, agricultura de precisão e muito mais. Essas capacidades avançadas permitem uma colaboração e conectividade abrangentes entre dispositivos, impulsionando a inovação e a transformação digital em diversos setores da sociedade.

2.5 Avanços na Realidade Virtual e Aumentada

Com o avanço da tecnologia 6G, espera-se que a realidade virtual (RV) e a realidade aumentada (RA) alcancem novos patamares de imersão, interatividade e experiências envolventes. O 6G tem o potencial de impulsionar essas tecnologias, oferecendo recursos aprimorados e capacidades avançadas com a velocidade de dados ultrarrápidas permitindo a transmissão e o processamento de conteúdo de RV e RA em tempo real e em alta resolução. Isso deverá garantir uma experiência fluida e sem atrasos, proporcionando uma sensação imersiva aos usuários.

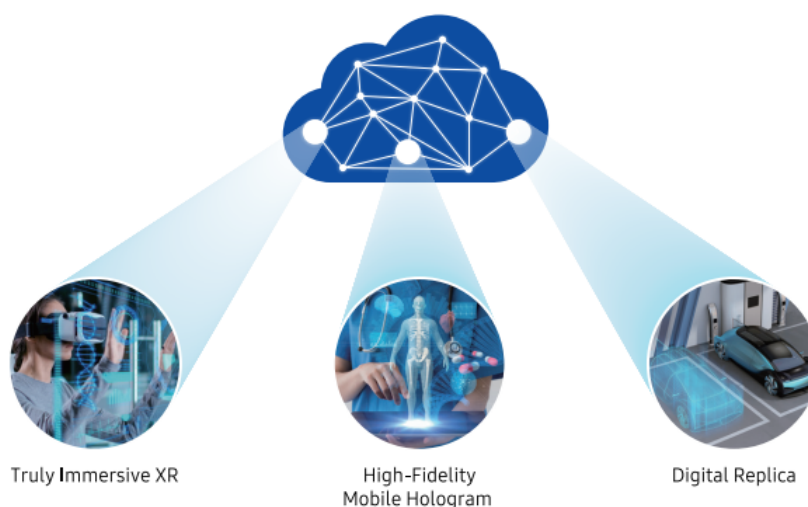


Figura 2.4: XR, high-fidelity mobile hologram, and digital replica

Imagem ilustrativa retirada do Write Paper: 6G Vision da Samsung (6G VISION: SAMSUNG, 2020).

A transmissão de grandes volumes de dados em velocidades excepcionalmente rápidas possibilitará uma maior riqueza de detalhes e maior complexidade nas aplicações de RV e RA. Outro fator determinante será a efetivação da latência quase zero, que será crucial para a RV e a RA, pois com uma latência quase zero, a interação entre os usuários e o ambiente virtual será instantânea e responsiva, eliminando a sensação de atraso. Isso permitirá experiências mais realistas e imersivas, onde os usuários poderão interagir de forma natural e em tempo real com os objetos e elementos virtuais.

Outro ponto importante a destacar será a necessidade de maior processamento em dispositivos móveis e em nuvem afim de permitir o processamento em tempo real de gráficos e cálculos complexos necessários para renderização de ambientes virtuais e para a sobreposição de elementos virtuais em ambientes reais na RA.

Os dispositivos de RV e RA poderão lidar com modelos 3D altamente detalhados, simulações realistas e algoritmos avançados para oferecer experiências mais sofisticadas. Além disso a conectividade massiva de dispositivos, permitindo a integração de um grande número de dispositivos de RV e RA em uma única rede, abrirá possibilidades para aplicações colaborativas e sociais em RV, onde várias pessoas deverão ter a possibilidade de interagir em um ambiente virtual compartilhado (YANG LU; XIANRONG ZHENG, 2020).

Ademais, a conectividade massiva de dispositivos permitirá a criação de ambientes de RA mais ricos, onde uma grande variedade de objetos virtuais pode ser sobreposta ao ambiente real. A integração com tecnologias emergentes como a Inteligência Artificial (IA), e Machine Learning (AM) do inglês aprendizado de máquina e computação quântica, devem aprimorar ainda mais a RV e a RA. A IA deverá ser usada para criar ambientes virtuais mais interativos e personalizados, enquanto o aprendizado de máquina pode melhorar a detecção e o rastreamento de objetos na RA e isso atrelado a computação quântica poderá permitir cálculos mais complexos e otimizados em ambientes virtuais.

2.6 Inteligência Artificial e Machine Learning na Comunicação Móvel

A inteligência artificial (IA) e machine learning desempenham papéis cada vez mais importantes na comunicação móvel. Essas tecnologias têm o potencial de aprimorar diversos aspectos da comunicação móvel, desde a eficiência espectral até a otimização da rede e a personalização dos serviços. Atingir esse objetivo exigirá as mais recentes inovações em transformadores e aprendizado de máquina, permitindo que a rede se autoevolua e tome decisões inteligentes que apoiem sua operação como rede mMTC+ (Massive Machine Type Communication) do inglês Comunicação do tipo de máquina massiva e URLLC+ (Ultra Reliable and Low Latency Communications) do inglês Comunicações Ultra Confiáveis e de Baixa Latência (BRENDAN BONNER, 2023). Abaixo segue alguns exemplos de como a IA e machine learning podem ser aplicados na comunicação móvel:

1. Otimização de Rede:

O uso da IA e o aprendizado de máquina podem ser usados para otimizar o desempenho da rede móvel. Os Algoritmos de IA podem analisar dados em tempo real, como informações de tráfego e padrões de uso, para ajustar dinamicamente os parâmetros da rede, melhorando a eficiência e a qualidade do serviço. Isso inclui a otimização da alocação de recursos, o gerenciamento de interferências e a adaptação às condições de propagação do sinal.

2. Gerenciamento de Tráfego:

Com o aumento do tráfego de dados móveis, a IA e o aprendizado de máquina podem ser usados para gerenciar e balancear a carga da rede de forma eficiente. Os algoritmos podem prever e ajustar o tráfego de dados, redirecionando-o para rotas mais eficientes e evitando congestionamentos. Isso resulta em uma experiência de usuário melhorada e em uma utilização mais eficiente dos recursos de rede.

3. Gerenciamento de Espectro:

A alocação e o gerenciamento do espectro de frequência são desafios significativos na comunicação móvel. A IA e o aprendizado de máquina podem ser empregados

para otimizar a utilização do espectro, permitindo a alocação dinâmica e flexível de frequências com base nas necessidades do momento. Isso resulta em uma utilização mais eficiente do espectro disponível e na capacidade de lidar com demandas variáveis de diferentes serviços e aplicativos.

4. Personalização dos serviços:

A IA e o aprendizado de máquina podem ser usados para personalizar os serviços de comunicação móvel com base nas preferências e no comportamento dos usuários. Por meio da análise de dados de usuário, como histórico de chamadas, uso de dados e padrões de comportamento, é possível fornecer recomendações personalizadas, sugestões de serviços e ofertas adaptadas às necessidades individuais de cada usuário.

5. Segurança e Detecção de Ameaças:

A IA e o aprendizado de máquina desempenharão um papel fundamental na detecção e na prevenção de ameaças de segurança na comunicação móvel. Algoritmos de IA podem analisar padrões de tráfego, identificar comportamentos suspeitos e detectar ataques cibernéticos em tempo real. Isso ajuda a proteger os usuários contra ameaças, como malware, phishing e ataques de negação de serviço.

3 Infraestrutura e Tecnologias Subjacentes ao 6G

Durante a Conferência Global 6G (EXAME, 2023), realizada em Nanjing, capital da província de Jiangsu, na China, entre os dias 22 e 24 de março de 2023, pesquisadores da indústria nacional e estrangeira discutiram sobre o desenvolvimento, progresso, intercâmbio e colaboração internacional em relação ao 6G e sobre algumas tecnologias subjacentes que serão fundamentais para o seu processo de desenvolvimento e efetivação no futuro.



Figura 3.1: Global 6G Conference 2023 -Opens Nanjing China

A imagem foi feita no dia 24 de março de 2023 e retirada da reportagem do (OURJIANGSU, 2023).

3.1 Redes Heterogêneas Integradas (HIN)

As Heterogeneous Integrated Networks (HIN), são uma abordagem de comunicação móvel que busca integrar diferentes tecnologias e infraestruturas de rede em uma única plataforma. Devido à flexibilidade na modelagem da heterogeneidade de dados, a rede de informação heterogênea (HIN) tem sido adotada para caracterizar dados auxiliares complexos e heterogêneos em sistemas de recomendação, chamada de recomendação baseada em HIN. Porém é um desafio desenvolver métodos eficazes para recomendação baseada em HIN tanto na extração quanto na exploração das informações das HINs. A maioria dos métodos de recomendação baseados em HIN dependem da similaridade baseada em caminho, que não pode explorar totalmente os recursos de estrutura latente de usuários e itens. Essa integração visa maximizar a eficiência e a capacidade de comunicação, atendendo às crescentes demandas de conectividade em um cenário diversificado de dispositivos e serviços. (CHUAN SHI; BINBIN HU; WAYNE XIN ZHAO; PHILIP S. YU, 2017).

As HINs são compostas por uma combinação de tecnologias de rede, como redes celulares tradicionais (2G, 3G, 4G, 5G), redes de células pequenas (small cells), redes Wi-Fi, satélites, balões estratosféricos e até mesmo drones. Cada uma dessas tecnologias tem suas próprias características e capacidades, e a integração de todas elas permite oferecer uma cobertura mais ampla e uma capacidade de conexão mais abrangente. Ao integrar diferentes tecnologias em uma única rede, as HINs podem aproveitar as vantagens específicas de cada uma delas. Por exemplo, as redes celulares tradicionais fornecem cobertura em larga escala, enquanto as células pequenas podem ser implantadas em áreas densamente povoadas para aumentar a capacidade de comunicação. O Wi-Fi, por sua vez, é amplamente utilizado em ambientes internos e pode complementar a cobertura das redes celulares. Além disso, o uso de satélites, balões estratosféricos e drones pode estender a conectividade para áreas remotas ou de difícil acesso. As HINs têm o objetivo de fornecer uma experiência de conectividade perfeita e contínua, permitindo que os dispositivos se conectem de forma transparente a diferentes tecnologias, dependendo de sua localização e das condições da rede. Essa abordagem dinâmica de seleção de rede pode garantir que os usuários obtenham a melhor qualidade de serviço possível, aproveitando as capacidades disponíveis em um determinado momento. Além disso, as HINs podem otimizar a alocação

de recursos de rede, direcionando o tráfego para as tecnologias mais adequadas de acordo com a demanda e as condições da rede. Isso resulta em uma melhor utilização dos recursos disponíveis e melhora a eficiência espectral, garantindo uma experiência de conectividade aprimorada para os usuários.

3.2 Terahertz (THz) e Espectro de Frequência Acima de 100 GHz

Em abril de 2023 o Instituto No. 25 da China Aerospace Science and Industry Corporation (CASIC, 2020), responsável pelo avanço da exploração do espaço profundo, anunciou recentemente um marco importante na tecnologia de comunicação 6G. Eles alcançaram a primeira transmissão de dados sem fio em tempo real em um nível de frequência de terahertz. A velocidade de transmissão sem fio foi de 100 Gigabits por segundo. A conquista na comunicação terahertz feita pelo Institute No. 25 exigiu o uso de antenas avançadas e modos de feixe múltiplo para aproveitar ao máximo a largura de banda disponível (ABDULLAH, 2023).

As frequências terahertz estão localizadas entre as ondas de rádio e a região do espectro eletromagnético conhecida como infravermelho. Essa faixa de frequência tem características interessantes, como uma largura de banda ampla e propagação de sinal de alta resolução espacial. Além disso, os terahertz são menos suscetíveis a obstáculos físicos do que as ondas de rádio convencionais, o que pode permitir comunicações mais diretas e de alta velocidade. Frequências acima de 100 GHz têm a capacidade de oferecer larguras de banda extremamente amplas, muito maiores do que as frequências atualmente utilizadas em comunicações móveis. Essa largura de banda ampla pode suportar a transmissão de grandes volumes de dados em velocidades ultrarrápidas, o que é especialmente relevante para aplicações de alta definição, realidade virtual/aumentada, transmissão de vídeo de alta qualidade e transferência de dados em alta velocidade. As frequências terahertz têm sido amplamente exploradas em aplicações de imagem e sensoriamento. Devido às suas propriedades de penetração em materiais e capacidade de distinguir substâncias com base em suas assinaturas espectrais, elas são usadas para análise de materiais, detecção de

gases, inspeção de segurança e diagnósticos médicos. A utilização de frequências acima de 100 GHz pode permitir melhorias significativas nessas aplicações, fornecendo resolução espacial e detalhes mais precisos. Devido às características de propagação dos terahertz, as comunicações nessa faixa de frequência são mais adequadas para aplicações de curto alcance, como comunicações ponto a ponto ou entre dispositivos próximos. Essa limitação é devido à maior atenuação do sinal em distâncias mais longas e a uma maior sensibilidade a obstáculos físicos. No entanto, para aplicações em ambientes de curto alcance, as frequências terahertz podem oferecer taxas de transmissão extremamente rápidas e capacidade de conexão em massa. Todavia, o comportamento do espectro de frequências THz condiciona a propagação que ocorre no sistema de comunicação pela sua elevada atenuação, originando graves perdas de propagação, o que exigiria soluções de amplificação e antenas especializadas (ANA RITA BETENCOURT DA COSTA RODRIGUES DOS SANTOS, 2023). Além disso, a implementação de circuitos eletrônicos de alta velocidade e eficiência nessa faixa de frequência é complexa e requer avanços tecnológicos. Superar esses desafios é crucial para viabilizar o uso comercial das frequências acima de 100 GHz. Em suma, as frequências acima de 100 GHz, incluindo a faixa do terahertz, têm o potencial de revolucionar as comunicações devido à sua largura de banda ampla, capacidade de transmissão de dados em alta velocidade e aplicações avançadas de imagem e sensoriamento. Embora existam desafios técnicos a serem superados, o desenvolvimento dessas tecnologias ofereceria oportunidades promissoras para futuras aplicações de comunicações móveis.

3.3 AN - Autonomous Mesh Networks

Autonomous Mesh Networks são uma forma de rede de comunicação onde os dispositivos se conectam diretamente entre si, formando uma malha de comunicação autoconfigurável e autônoma, sem a necessidade de um hub ou roteador central. Em uma rede mesh, cada nó atua como um retransmissor para outros nós, transmitindo pacotes de dados para o destino pretendido. Isso significa que as redes mesh podem ser mais robustas e flexíveis do que as redes tradicionais, pois podem redirecionar o tráfego automaticamente se um nó falhar ou se houver congestionamento na rede (JAVATPOINT, 2022).

Nesse tipo de rede, cada dispositivo funciona como um nó de comunicação e roteamento, permitindo que os dados sejam encaminhados de forma dinâmica e eficiente por meio dos diferentes nós. Sua principal característica é a capacidade de se adaptarem automaticamente às mudanças na topologia da rede e às condições do ambiente. Isso significa que, caso um nó falhe ou seja removido da rede, os demais nós podem reorganizar automaticamente as rotas de comunicação, garantindo a continuidade da conectividade. Além disso, novos nós podem ser facilmente adicionados à rede, expandindo sua cobertura e capacidade de comunicação.

Essas redes são extremamente úteis em cenários onde a infraestrutura de rede tradicional é limitada, inexistente ou não confiável. Elas são frequentemente utilizadas em áreas rurais, ambientes de desastre, redes comunitárias e até mesmo em redes de sensores sem fio. Nessas situações, as Autonomous Mesh Networks fornecem uma solução flexível e robusta de comunicação, superando as limitações de conectividade. Outra vantagem seria relacionado ao custo de implantação da infraestrutura, uma vez que os nós se comunicam diretamente entre si, não é necessário um backbone centralizado. Isso reduz os custos de implantação e manutenção da rede.

O grande desafio talvez seja em relação a escalabilidade da rede, gerenciamento de energia e segurança. Garantir a eficiência do roteamento, o consumo de energia otimizado e a proteção dos dados são aspectos críticos a serem considerados (PAULA LOUZADA, 2022).

3.4 Computação em Nuvem e Edge Computing

No contexto do 6G, a computação em nuvem continuará a ser uma infraestrutura fundamental para fornecer serviços e armazenamento de dados. Os aplicativos 6G poderão aproveitar a escalabilidade e a flexibilidade da computação em nuvem para processar grandes quantidades de dados e executar tarefas complexas.

Por outro lado, a edge computing envolve o processamento e o armazenamento de dados próximos aos dispositivos ou à “borda” da rede. Com a edge computing, o processamento de dados ocorre mais próximo do local onde são gerados, reduzindo a latência e melhorando a capacidade de resposta das aplicações. No contexto do 6G, a

edge computing será fundamental para suportar aplicativos que exigem baixa latência e alto desempenho, como realidade virtual e aumentada, carros autônomos, internet das coisas (IoT) e automação industrial avançada (ABDULLAH M. AL-ANSI; AHMED AL-ANSI; AMMAR MUTHANNA; IBRAHIM A. ELGENDY; ANDREY KOUCHERYAVY, 2021).

A interação entre a computação em nuvem e a edge computing no 6G será uma combinação de recursos centralizados e descentralizados. Algumas tarefas e serviços poderão ser processados na nuvem, aproveitando a capacidade de processamento e armazenamento de dados em larga escala, enquanto outras serão executadas na borda da rede, aproveitando a proximidade dos dispositivos e a capacidade de processamento local. Essa combinação de computação em nuvem e edge computing no 6G poderá proporcionar uma experiência acurada aos usuários, permitindo maior personalização, menor latência e maior eficiência de rede. Além disso, a capacidade de processar dados tanto na nuvem quanto na borda oferecerá maior resiliência, pois os serviços serão distribuídos em diferentes locais, reduzindo a dependência de um único ponto centralizado.

3.5 Comunicação Holográfica

Esse termo tem sido amplamente debatido em discussões sobre o 6G e suas possibilidades.

“O serviço de comunicação holográfica é uma solução de aplicativo holístico para a aquisição, codificação, transmissão, renderização e exibição de dados de cenas de aplicativos interativos multidimensionais altamente imersivos com base na tecnologia holográfica a olho nu, abrangendo todo o processo de ponta a ponta da aquisição de dados à restauração de dados sensoriais multidimensionais, e é uma forma de negócios interativa altamente imersiva e altamente natural. A arquitetura de comunicação holográfica aumentará significativamente a atratividade, praticidade e eficiência das informações entregues entre as partes comunicantes. Os sensores de captura fornecem status em tempo real do rosto e do corpo, aplicando conversão de formato e filtragem antes da codificação para reduzir os requisitos de taxa de bits na rede. O holograma compactado é transmitido ao dispositivo holográfico digital por meio de uma rede de transmissão confiável de baixa latência, como 6G. O holograma comprimido é decodificado e processado no dispositivo holográfico di-

gital antes de ser renderizado em um ambiente aéreo. Ao mesmo tempo, o mecanismo de renderização considera o posicionamento e as informações semânticas do dispositivo e da cena renderizada, permitindo que o holograma seja exibido diretamente no ar” (WIMI HOLOGRAM CLOUD INC, 2023).

3.6 Redes de Comunicações Integradas LEO, MEO e GEO

Tem sido comum deparar-se com matérias afirmando que o 6G deverá explorar a utilização de constelações de satélites em órbita terrestre baixa, do inglês Low Earth Orbit (LEO), órbita terrestre média, do inglês Medium Earth Orbit (MEO) e órbita terrestre geossíncrona do inglês, Geosynchronous Earth Orbit (GEO) para fornecer conectividade global, fornecendo cobertura em áreas remotas e melhorando a resiliência das comunicações.

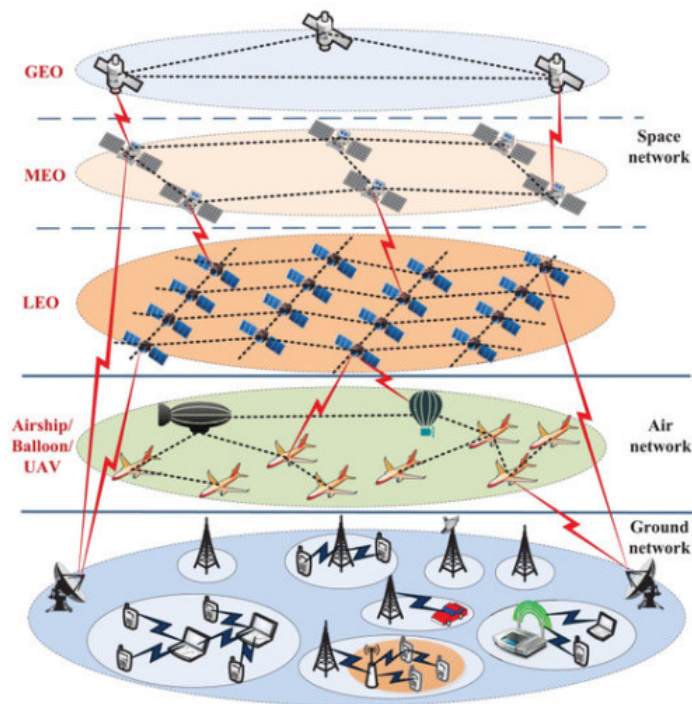


Figura 3.2: Uma arquitetura para rede integrada espaço-ar-solo

Imagem (FAN ZHANG ; YU ZHANG ; WEIDANG LU; YUAN GAO; YI GONG; JIANG CAO , 2022).

“Para a cobertura global extrema, o uso de redes aéreas é algo fundamental. Logo, as redes satelitais compostas por satélites LEO, MEO e GEO precisará se integrar

de forma simbiótica e completamente transparentes nas Redes 6G, ou seja, essa integração deve envolver a rede de acesso, de transporte e o núcleo, com um gerenciamento comum.

Efetivamente, os satélites serão elementos da Rede 6G que poderão assumir o papel de gateway, relay ou até mesmo de Estação Radiobase (ERB). Além de satélites, as redes aéreas irão contar com o uso de VANT, drones, balões e aviões, que irão atuar de forma integrada. A viabilidade desta rede enfrenta diversos desafios que vão desde o desenvolvimento de modelos de propagação, passando por economia de energia, latência e alta mobilidade dos terminais e ERBs” (INATELBRASIL6G, 2021).

No entanto, se pensarmos no contexto das políticas, a implementação de uma cobertura global envolve a adoção de diversas estratégias por parte de governos, agências reguladoras e operadoras de telecomunicações. Onde geralmente, no âmbito capitalista o objetivo quase sempre é viabilizar os investimentos, garantir retornos financeiros, assegurar a estabilidade jurídica e desenvolver um ambiente propício ao crescimento de um ecossistema, neste caso em torno das redes 6G. Nesse sentido, será fundamental considerar as ações assertivas aprendidas durante o desenvolvimento e implementação das redes de Quarta Geração (4G) e Quinta Geração (5G), assim como evitar erros que possam ter impactado negativamente a abrangência dessas tecnologias.

4 Aplicações e Impactos Potenciais do 6G

Sempre que uma nova tecnologia surge ou é aprimorada a partir de outra como é o caso do 6G, vários setores da sociedade são impactados diretamente. A partir do que já vivenciamos hoje não é difícil projetar impactos significativos em setores, como: saúde e medicina, transporte e mobilidade, automação industrial, meio ambiente, entretenimento e mídia entre outros.

4.1 Saúde e Medicina

O 6G tem o potencial de trazer várias aplicações e impactos significativos na área da saúde e medicina, proporcionando avanços tecnológicos que podem melhorar o diagnóstico, tratamento e cuidados de saúde de forma geral. Na tele-saúde por exemplo, com a conectividade ultrarrápida e de baixa latência as consultas médicas remotas e em tempo real, diagnósticos à distância e monitoramento de pacientes podem ser aprimorados, permitindo uma assistência médica acessível e eficiente, especialmente em áreas rurais ou remotas. Outro potencial interessante é em relação a cirurgias remotas usando realidade virtual, o 6G deverá possibilitar a realização de cirurgias remotas em tempo real. Especialistas em saúde poderão controlar robôs cirúrgicos de forma precisa e confiável, independentemente de sua localização geográfica. Além disso, a realidade virtual de alta definição poderão ser utilizada para treinamento e simulações cirúrgicas.

O Monitoramento de pacientes e dispositivos vestíveis (wearables) com o 6G, e sensores médicos podem ser amplamente utilizados para monitorar sinais vitais, coletar dados em tempo real e fornecer análises contínuas da saúde dos pacientes. Os implantes que possam se conectar à rede, como válvulas, marcapassos e outros wearables de uso externo, poderão transmitir dados sobre a saúde de um paciente aos profissionais da saúde em tempo real, o que pode permitir uma resposta rápida em caso de qualquer problema (MAPFRE, 2023).

Isso permitirá um monitoramento mais preciso e em tempo real de doenças

crônicas, permitindo intervenções precoces e personalizadas. A medicina personalizada e genômica poderá ser impulsionada, com a análise em tempo real de grandes volumes de dados genômicos, proteômicos e de saúde de indivíduos. Isso possibilitará diagnósticos mais precisos, terapias personalizadas e a identificação de fatores de risco genéticos.

A combinação de IA e IoT habilitados para assistência médica inteligente poderá melhorar a análise desses dados complexos e fornecer insights mais profundos, possibilitando uma colaboração global e em tempo real entre profissionais de saúde e pesquisadores (ASHISH KUMAR; NEHA GUPTA; PAARTH BHASIN; SHARAD CHAUHAN; IMANE BACHRI, 2023). Com a capacidade de compartilhar grandes volumes de dados e realizar análises complexas remotamente, a pesquisa em saúde pode avançar mais rapidamente e de forma mais eficiente. Isso pode levar a descobertas médicas importantes, avanços no tratamento de doenças e uma colaboração mais ampla em escala global. Essas são apenas algumas das aplicações e impactos potenciais que a sexta geração tecnológica poderá ter na saúde e medicina.

Logo o avanço da tecnologia 6G pode revolucionar a forma como a assistência médica é fornecida, tornando-a mais acessível, personalizada e eficiente, melhorando assim a qualidade de vida e os resultados de saúde dos indivíduos na sociedade.

4.2 Transporte e Mobilidade

A mobilidade conectada remonta a 1946, quando a Bell Systems introduziu o primeiro telefone automotivo. Tratava-se de um telefone de 36 kg instalado em um automóvel para que o motorista ou passageiro fizesse e recebesse ligações telefônicas. Na década de 1980, o telefone do carro era mais popular do que um telefone celular comum, no entanto, com a tecnologia GSM dos anos 90 e o Bluetooth tornando os telefones celulares mais leves e acessíveis, eles se tornaram uma opção mais popular para uso no carro (GREGÓRIO; BATES, 2006).

Com o 6G o transporte e mobilidade é mais uma área com potencial enorme de impacto e deve revolucionar a forma como nos deslocamos e interagimos com os sistemas de transporte. Os veículos conectados tornarão a mobilidade mais eficiente, segura, descontraída e inteligente. Para isso, os veículos – seja na estrada, no ar ou no chão de

fábrica – terão que ser capazes de trocar dados de forma confiável entre si e com seus arredores. Vários sensores, como radares, desempenharão um papel fundamental nisso. Os sensores permitirão que os veículos “vejam” e reconheçam seus arredores, ajudando-os a evitar colisões, melhorando a segurança, o gerenciamento de tráfego e a eficiência do transporte por exemplo (ATHANASSIOS KALIUDIS ; ROBERT BOSCH, 2022).

A coleta e o compartilhamento de dados feitos instantaneamente permitirão a análise em tempo real das condições de tráfego, otimizando o fluxo de veículos, reduzindo congestionamentos e melhorando a segurança nas estradas. Os veículos poderão acessar essas informações atualizadas sobre tráfego, condições da estrada, informações do ambiente e até mesmo orientações interativas de realidade aumentada.

O outro tema super discutido na área de transporte que poderá se beneficiar é o compartilhamento de veículos e mobilidade como serviço (MaaS), espera-se que a conectividade rápida e confiável do 6G permita uma comunicação perfeita entre os usuários e os provedores de serviços de compartilhamento de veículos, tornando o acesso a veículos compartilhados mais conveniente e eficiente. E por fim a comunicação direta e em tempo real que será benéfica na segurança e prevenção de acidentes.

4.3 Indústria e Automação

A automação industrial, juntamente com o advento da Indústria 5.0, é considerada uma das principais aplicações emergentes de sexta geração (6G) na próxima década. A indústria e automação deverá passar por uma transformação digital gigantesca trazendo benefícios em diversas áreas deste setor (CHAMITHA DE ALWIS; QUOC-VIET PHAM; MADHUSANKA LIYANAGE, 2023).

A Automação Industrial Avançada, por exemplo com a efetivação da conectividade mais rápida, confiável e com latência ultrabaixa do 6G permitirá a implementação de sistemas de controle e monitoramento em tempo real, robôs colaborativos, sistemas de manufatura inteligentes e fábricas autônomas. A comunicação instantânea entre máquinas e sistemas garantirá uma maior eficiência e produtividade na indústria.

Na manutenção preditiva será possível coletar e analisar grandes volumes de dados de sensores e equipamentos em tempo real. Essa capacidade permitirá a implementação de

sistemas de manutenção preditiva mais avançados, identificando falhas em equipamentos antes que ocorram, reduzindo custos de manutenção e tempo de inatividade não planejado.

Em relação a logística e gerenciamento de cadeia de suprimentos, através da conectividade ubíqua e a capacidade de gerenciar grandes volumes de dados em tempo real, o 6G aprimorará a eficiência e a visibilidade da logística e do gerenciamento da cadeia de suprimentos. Isso inclui rastreamento em tempo real de ativos, otimização de rotas, gerenciamento inteligente de estoques e implementação de sistemas de entrega autônomos. Essas aplicações têm o potencial de impulsionar a eficiência, a produtividade e a inovação nos setores, abrindo caminho para novas oportunidades e transformando a forma como a indústria opera.

4.4 Entretenimento e Mídia

Através da realidade aumentada e realidade virtual o 6G tem o potencial de trazer uma série de aplicações e impactos significativos no setor de entretenimento e mídia, proporcionando experiências imersivas e interativas aos consumidores. Streaming de alta qualidade, como vídeos em resoluções ultra HD, 8K e além, jogos com gráficos avançados e realistas, e transmissões ao vivo de eventos em tempo real, proporcionando uma experiência de visualização envolvente.

Aplicações holográficas, como holoportação e telepresença, permitirão uma comunicação verdadeiramente imersiva em 5D das informações sensoriais humanas (incluindo visão, audição, tato, olfato e paladar). Além disso, por meio de modelos imersivos ao vivo, será fornecida uma combinação do ambiente com múltiplos avatares digitais de diferentes fontes. Esse tipo de comunicação exige uma taxa de dados ainda maior do que 1 Tbps. Por exemplo, a telepresença holográfica de um humano de 77x20 polegadas requer uma taxa de dados de 4,62 Tbps. (M. PIRAN; D. Y. SUH , 2019).

4.5 Cidades Inteligentes

Conhecidas como cidades inteligentes, elas utilizam a tecnologia como meio, para proporcionar uma vida mais segura, eficiente e sustentável para os habitantes (TANIA GOMES,

2023).

O 6G deverá permitir a conexão de uma ampla gama de infraestruturas urbanas, como semáforos, postes de iluminação, sistemas de energia, sistemas de gestão de resíduos, sensores ambientais e muito mais, isso permitirá a coleta em tempo real de dados e a comunicação eficiente entre esses sistemas, possibilitando uma melhor gestão e otimização dos recursos urbanos. O transporte inteligente deverá ser uma realidade, enquanto o monitoramento e gestão ambiental poderá ser efetivo através de sensores ambientais que podem coletar dados sobre qualidade do ar, ruído, poluição, níveis de água, entre outros. Com tudo isso os serviços públicos poderão ser mais eficientes e otimizados.

4.6 Agricultura e Meio Ambiente

O 6G tem o potencial de melhorar o setor agrícola e o meio ambiente. Através de uma rede robusta, LEO, GEO, MEO que integra (espaço-ar-terra), especificamente por poder atender à demanda de comunicação em áreas rurais, e expandir a gama de aplicações de IoT no setor, impulsionando a agricultura de precisão, a sustentabilidade e a conservação dos recursos naturais (FAN ZHANG ; YU ZHANG ; WEIDANG LU; YUAN GAO; YI GONG; JIANG CAO , 2022).

Utilizando a análise de dados via sensores que poderão ser espalhados pelas fazendas será possível o monitoramento de variáveis ambientais, como umidade do solo, temperatura, níveis de nutrientes, pragas e doenças. Com base nessas informações, os agricultores poderão tomar decisões mais precisas e oportunas sobre irrigação, aplicação de fertilizantes e pesticidas, resultando em uso mais eficiente de recursos e maior produtividade.

Além disso através da coleta de dados, será mais fácil obter informações pontuais sobre a qualidade do ar, qualidade da água, níveis de poluição, biodiversidade e muito mais, e essas informações poderão ser usadas para avaliar o impacto das atividades agrícolas no meio ambiente e tomar medidas corretivas para minimizar os efeitos negativos.

5 Desafios e Preocupações: Aspectos Sociais e Econômicos

É importante observar que o desenvolvimento de uma nova tecnologia sempre traz muitos desafios e preocupações a cerca dos impactos sociais e econômicos no dia a dia das pessoas. Mesmo sendo uma tecnologia em andamento, com previsões de efetividade apenas para o ano de 2030, o 6G já carrega todas essas indagações e outras, como segurança e privacidade, sustentabilidade ambiental, ambas cada dia mais difíceis de assegurar.

5.1 Infraestrutura

“Os números tendem ao extremo. Ou irão crescer ao extremo, ou irão diminuir ao extremo. Latência será mais baixa, taxa de transmissão mais alta. Mas esse não é o problema. Hoje temos alta vazão ou temos baixa latência, mas na rede 6G teremos que ter alta vazão e baixa latência. Tenho que mandar pra rede tudo o que estou vivendo e receber da rede em tempo real as informações complementares para que possam ser sobrepostas a minha realidade. E como vamos atender isso? É claro que a infraestrutura tem que ser completamente diferente. Nada que usamos até hoje vai atender a uma demanda dessas. Estamos falando de trabalhar com frequências da ordem de Terahertz. Para viabilizar a comunicação nessa frequência, praticamente tudo o que está a nossa volta tem que ser capaz de receber e transmitir sinais, então estamos falando de colocar materiais inteligentes em prédios, janelas, portas, mesas. É uma mudança de concepção. Um ambiente livre de células, a comunicação acontecendo livre de hierarquias e de arquitetura clássica. Tudo será parte da rede” (LUCIANO LEONEL MENDES, 2021).

Tudo indica que a tecnologia 6G exigirá uma infraestrutura significativamente mais avançada em comparação com as gerações anteriores, mais robusta e densa para lidar com a enorme quantidade de dados e dispositivos conectados. A construção dessa infraestrutura exigirá investimentos significativos em termos de instalações de antenas,

redes de fibra óptica e estações base avançadas.

Um ponto complexo, e já citado algumas vezes é em relação a frequências mais altas, operando na casa de Terahertz (THz) e Frequências acima de 100 GHz, o 6G apresenta desafios técnicos adicionais, como menor alcance de sinal e maior suscetibilidade a obstáculos físicos. A alocação de espectro adequada sem "desperdício" será crucial para o sucesso (WILSON CARDOSO, 2023).

Recentemente um grupo da União Internacional de Telecomunicações (UIT) para tecnologias de redes de 2030 (FG NET-2030) levantou preocupações de que as capacidades das redes de acesso fixas já estejam ficando para trás em relação aos sistemas 5G emergentes. Nesse sentido comunicações ópticas de espaço livre e comunicações quânticas são candidatas promissoras para o Backhaul de 6G (é definido como o conjunto de links de cobre, fibra ou sem fio que conectam as redes principais ou Backbone com as sub-redes menores em direção à borda antes que os usuários possam acessar a internet acessando a sub-rede), a fim de atender aos requisitos (CHIRADEEP BASUMALLICK , 2023).

No entanto, elas ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento e será necessário abordar como essas tecnologias, serão integradas com os outros tipos de equipamentos de rede e capazes de lidar com a alta demanda de tráfego e a enorme quantidade de dados gerados por dispositivos (F. TARIQ; M.R. KHANDAKER; K.-K. WONG; M. IMRAN; M. BENNIS; M. DEBBAH, 2023).

Diante disso e da provável integração de várias tecnologias, incluindo comunicação sem fio, inteligência artificial, computação em nuvem e computação quântica, entre outras. Também será necessário superar desafios relacionados à cobertura em áreas remotas e urbanas densamente povoadas. Coordenar e integrar essas tecnologias de maneira eficiente e harmoniosa será um desafio complexo, mas necessário para garantir a viabilidade e o desempenho do 6G.

5.2 Segurança e Privacidade

Com a expansão das redes e dispositivos conectados, a segurança e a privacidade se tornam preocupações ainda maiores. O 6G precisará adotar medidas robustas de segurança cibernética para proteger as redes e os dados transmitidos. Além da privacidade dos

usuários que deverá ser levada em consideração desde o início do projeto, questões éticas relacionadas ao uso de inteligência artificial e automação também precisarão ser abordadas para evitar possíveis e eventuais abusos, como:

1. Vulnerabilidades de Rede:

O aumento da complexidade da infraestrutura de rede do 6G e a expansão do número de dispositivos conectados através do IoT, podem abrir portas para potenciais ataques cibernéticos, como invasões, malware, ransomware, roubo de dados e interrupção de serviços.

“Uma rede IoT pode incluir dezenas de bilhões de dispositivos inteligentes – e cada um é um gateway potencial para (ou alvo de) ataques cibernéticos. Depois que um dispositivo é hackeado, é possível que um invasor faça uso indevido desse dispositivo e mova-se lateralmente pela rede, acessando registros confidenciais, propriedade intelectual e outros dispositivos conectados. Quando você pensa em aplicativos de IoT na área de saúde, cidades inteligentes e outros serviços de missão crítica, os riscos de segurança cibernética se tornam ainda mais aparentes. Imagine um invasor controlando um carro conectado ou ganhando o controle do marca-passo de alguém!” (SEGINFO, 2021)

2. Privacidade dos Usuários:

Ponto crítico principalmente em relação a machine learning “pois diferentes técnicas de aprendizado podem ser aplicadas para a recuperação e correlação de dados, infringindo a privacidade dos usuários” (GUILHERME N. N. BARBOSA; GOVINDA MOHINI G. BEZERRA; DIANNE S. V. DE MEDEIROS; MARTIN ANDREONI LOPEZ; DIOGO M. F. MATTOS, 2021).

Assim, com a quantidade crescente de dados pessoais e sensíveis sendo coletados e compartilhados na era do 6G, a privacidade dos usuários pode ser comprometida, exigindo medidas robustas de proteção de dados e políticas de privacidade eficazes.

3. Espionagem e Interceptação de Comunicações:

“Geralmente esse tipo de ataque ocorre em duas etapas: obtenção dos fluxos de

dados através de monitoramento passivo e análise do tráfego capturado. Os ataques de espionagem do inglês, (eavesdropping attacks), ocorrem quando o atacante “escuta” os canais de comunicação disponíveis em busca de informações relevantes. Considerando as tecnologias de comunicação sem fio, o alcance da tecnologia será o principal fator para determinar o raio de ação do atacante. Sendo assim, tecnologias de alcance muito curto, como o Bluetooth, dificultam a ação dos atacantes, enquanto tecnologias como o Wi-Fi permitem que o atacante monitore a rede de uma distância maior” (ADRIANA V. RIBEIRO; FERNANDO NAKAYAMA; MICHELE NOGUEIRA; LEOBINO N. SAMPAIO , 2021).

Com o aumento da capacidade e velocidade de transmissão de dados no 6G pode tornar as comunicações mais suscetíveis à espionagem e interceptação, exigindo mecanismos avançados de criptografia e segurança nas redes.

É fundamental que sejam implementadas medidas adequadas de segurança para mitigar esses riscos à medida que a tecnologia evolui. Será preciso um consenso na definição dos padrões e regulamentações para garantir a efetivação do 6G em escala global, estabelecendo padrões comuns que permitam a interoperabilidade entre diferentes fabricantes e operadoras. Isso requer um esforço de colaboração internacional, entre empresas, governos e organizações para criar um ecossistema coeso, garantindo a compatibilidade e a interconexão perfeita dos dispositivos e redes 6G em todo o mundo.

5.3 Sustentabilidade e Consumo Energético

À medida que a tecnologia 6G se desenvolve, é importante considerar seu impacto ambiental. Serão necessárias soluções de eficiência energética para lidar com o aumento do consumo de energia e minimizar as emissões de carbono. Porque embora não existam números precisos sobre o consumo energético do 6G no momento, é possível fazer algumas estimativas com base nas tendências atuais e nas melhorias tecnológicas esperadas.

Por exemplo, utilizando frequências mais altas, como ondas milimétricas e terahertz, essas frequências mais altas geralmente exigem antenas mais densas e estreitamente espaçadas para garantir uma cobertura confiável, o que pode aumentar o con-

sumo de energia das estações base. A ampla gama de aplicativos e serviços avançados, como realidade virtual/aumentada, inteligência artificial, automação industrial e veículos autônomos também são processos e recursos que exigirão poder de processamento adicional, tanto nos dispositivos móveis quanto nas infraestruturas de rede, o que também pode aumentar o consumo de energia.

Espera-se que técnicas como o uso de antenas adaptáveis, a otimização do uso espectral e o desenvolvimento de hardware mais eficiente em termos energéticos sejam explorados na implantação do 6G. Além disso, as tecnologias de energia renovável e soluções de eficiência energética deverão ser integradas às infraestruturas de rede, ajudando a mitigar o aumento do consumo energético. Isso inclui o uso de painéis solares, turbinas eólicas e sistemas de armazenamento de energia. Para mais, o descarte adequado de equipamentos eletrônicos antigos e obsoletos também deverá ser uma preocupação.

5.4 Inovação e Crescimento Equânime

A implementação bem sucedida do 6G pode impulsionar a inovação e o crescimento econômico, através da transformação digital em várias áreas, como, saúde, transporte, manufatura e agricultura. O 6G abrirá as portas para novos aplicativos e serviços revolucionários, e isso pode estimular o surgimento de novas indústrias, criar empregos e gerar oportunidades econômicas, criando um ecossistema empresarial mais competitivo em termos de eficiência, velocidade e inovação. Isso pode fomentar a competitividade das empresas em níveis locais, regionais e globais, resultando em maior crescimento econômico e oportunidades de negócios.

Vale ressaltar que os aspectos econômicos do 6G podem variar em diferentes contextos e países, dependendo de fatores como, infraestrutura existente, políticas governamentais e acessibilidade. Será preciso haver um esforço conjunto entre governos nesse sentido para garantir a inclusão de todos e evitar a desigualdade digital entre regiões urbanas e rurais, bem como entre as classes socioeconômicas.

No entanto espera-se que o 6G tenha um impacto substancialmente positivo na economia e na sociedade em geral.

6 Quem está na Vanguarda?

6.1 Panorama Geral

Vários países tentam emplacar na corrida pela liderança do 6G. A Comissão Europeia por exemplo, já destinou o equivalente a quase 1 bilhão de dólares para pesquisas através da Nokia, a empresa foi a escolhida para liderar o Hexa-X, um programa europeu de pesquisas e desenvolvimento da tecnologia 6G (NEXTGALIANCE, 2021).

Embora o projeto seja liderado pela Nokia, tem também a participação de outras empresas com sede no continente, como Ericsson e Siemens, Universidades e institutos de pesquisas, além de grandes operadoras europeias, como Orange e Telefónica, também participam do projeto (FILIPE GARRETT, 2020).

Vale ressaltar que a Nokia que vai liderar as pesquisas do 6G na Europa é a empresa original e não a marca de celulares, que hoje está sob o comando da HMD Global. A Nokia finlandesa continua como uma das maiores fornecedoras do mundo de equipamento e tecnologia de telecomunicações, mas não tem mais relação direta com a marca de smartphones.

O Japão comprometeu 2 bilhões de dólares para apoiar pesquisas em tecnologia 6G. O Ministério de Assuntos Internos e Comunicações do Japão estabeleceu um grupo de pesquisa em janeiro de 2019, sob a presidência da Universidade de Tóquio e sob supervisão direta do ministro de assuntos gerais Takao Sanae. Pessoas relevantes da NTT, empresa telefônica que domina o mercado de telecomunicações do Japão, e da Toshiba também foram convidadas a discutir as metas de desempenho 6G (NIKKEI ASIAN, 2019).

O Japão alega que, ao usar a tecnologia de comunicação de alta velocidade “pós-5G”, é possível representar uma sociedade futura na qual imagens estereoscópicas individuais emergem de salas de conferência ou salas de aula distantes, e robôs cuidam de pessoas (OLHARDIGITAL, 2020).

A Coreia do Sul planeja lançar o primeiro serviço de internet 6G comercial em 2028, o governo sul-coreano planeja investir um total de cerca de 482 milhões de dólares

no projeto. A Coreia quer começar os testes com 6G já no ano de 2026, dando os primeiros passos para a implantação da rede. Informações apontam que o governo sul-coreano pretende aumentar a proporção de patentes 6G para 30%. Atualmente, o país é responsável por 25,9% das patentes 5G, atrás apenas da China com (26,8%). Isso mostra que o país busca ser o grande representante global do 6G (LUIZ SCHMIDT, 2023).

Parte dos recursos devem ser direcionados a empresas locais, como a gigante Samsung, na produção de materiais e componentes. O objetivo é acelerar a difusão da rede 6G por todas as áreas do país.

6.2 Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos, a Next G Alliance tem sido a grande propulsora em torno do 6G. A Next G Alliance é uma coalizão de organizações e especialistas, formada por uma colaboração entre indústria, governo e instituições acadêmicas da América do Norte, com o objetivo de avançar na liderança global pelo 6G.

A coalizão teve início no final de 2020, após o lançamento do chamado "The call to Action 6G", do inglês chamada de ação para 6G pela, Alliance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS). Os esforços da Next G Alliance estão alinhados com as recomendações de políticas que pedem ações urgente por parte dos legisladores nos Estados Unidos. Essas recomendações incluem o financiamento total das iniciativas existentes, a promoção de novas ações legislativas e parcerias entre governo, indústria e universidades para garantir a liderança norte-americana na corrida pelo 6G. A Next G cresceu rapidamente através da parceria público - privada, e hoje já conta com mais de 100 membros e quase 1.000 especialistas (NEXTGALLIANCE, 2023c).

A Next G Alliance passou a nortear - se em torno de prioridades setoriais e para isso definiu seis metas ousadas para a liderança da América do Norte com o 6G. São elas:

1. AI-Native Wireless Solutions:

Desenvolver uma rede sem fio nativa de IA, que incorpore técnicas de IA desde o início do ciclo de design e desenvolvimento, visando aumentar a robustez, desempenho e eficiência em diversas situações de tráfego, topologias de implantação densas

e desafios de espectro. Um sistema nativo de IA 6G pode aproveitar técnicas de IA em vários seguimentos, (por exemplo: aprendizado de máquina, aprendizado profundo, redes neurais) para o design, implantação, gerenciamento e operação de várias funções de rede e dispositivos.

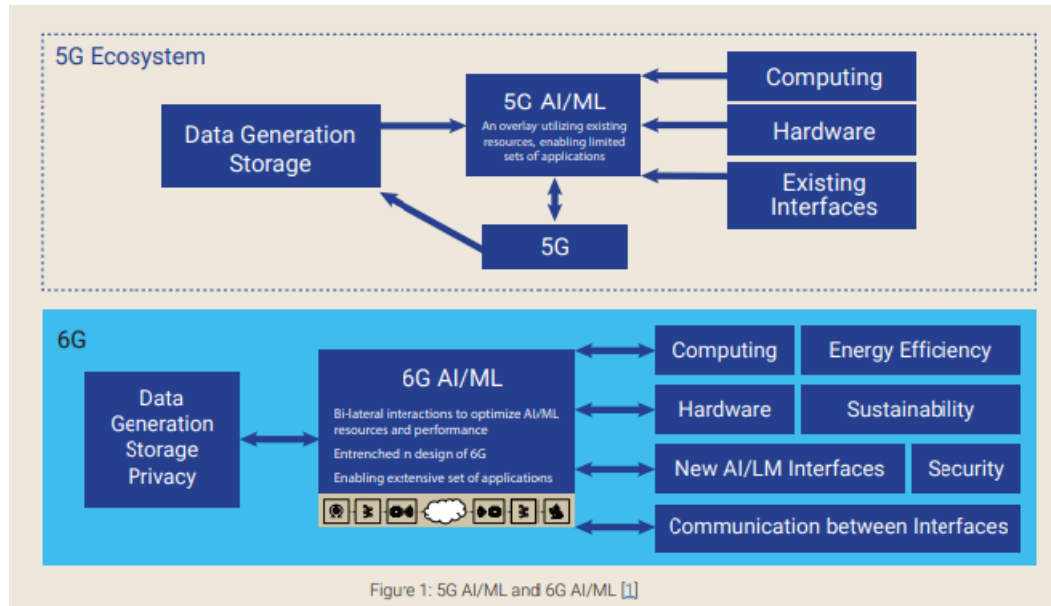


Figura 6.1: 5G AI/ML and 6G AI/ML

A imagem acima mostra como o 5G tem trabalhado a aplicação da inteligência artificial e linguagem de máquina com foco na melhoria dos módulos e funções existentes de interface aérea e rede especificadas de formas mais tradicionais. Já no 6G será uma ativador inerente, com o aprendizado de máquina distribuído e federado, em vez de uma sobreposição como ocorre no 5G. (NEXTGALIANCE, 2023a). A grande questão é que redes nativas de IA precisam ser plenamente confiáveis por pessoas, empresas e governos para serem resilientes, seguras, preservadoras de privacidade e disponíveis em todas as circunstâncias. Portanto, isso será um grande desafio, e está intimamente relacionado com a meta ousada de confiança e segurança da Next G Alliance (NEXTGALIANCE, 2023a).

2. Liderança em Padrões Globais:

Com o objetivo de estabelecer a América do Norte como líder na definição e desenvolvimento de padrões globais para o 6G, garantindo que a região esteja na vanguarda das tecnologias sem fio e desempenhe um papel crucial no cenário global e com isso

a região possa ter influência e contribuição significativas nas normas e especificações internacionais.

3. Cibersegurança:

Garantir que as redes 6G sejam confiáveis, seguras e resilientes, protegendo os usuários contra ameaças cibernéticas e preservando a privacidade das comunicações. Isso envolve o desenvolvimento de soluções de segurança robustas e a implementação de medidas para garantir a integridade e confidencialidade dos dados (NEXTGALLIANCE, 2023d).

4. Eficiência Espectral e Energética:

Aumentar significativamente a eficiência do espectro e o uso de energia nas redes sem fio 6G, permitindo uma melhor utilização dos recursos e reduzindo o impacto ambiental das comunicações móveis. A ideia é fazer isso utilizando o Green G: The Path Towards Sustainable 6G, um white paper de estudo que identifica as principais áreas em que o setor de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação), incluindo infraestrutura móvel, tecnologia de acesso por rádio, indústria de data center e fabricantes de dispositivos, fez melhorias significativas na última década na redução do consumo geral de energia do tráfego de rede.

O relatório também destaca a importância da sustentabilidade nas futuras gerações de wireless em um mundo cada vez mais conectado, com as necessidades de dados dos usuários aumentando a cada ano.



Figura 6.2: Green G: O Caminho para o 6G Sustentável

Acima a imagem que é o símbolo do projeto (NEXTGALLIANCE, 2023b).

5. Ecossistema Aberto e Interoperável:

Promover um ecossistema de dispositivos, aplicativos e serviços abertos e interoperáveis, permitindo uma maior colaboração entre os diferentes participantes da indústria e facilitando a adoção de tecnologias 6G por parte dos usuários finais.

6. Inovação e Competição:

Fomentar um ambiente de inovação e competição saudável no desenvolvimento e implantação do 6G, incentivando a participação de startups, empresas de pequeno porte e universidades, além de promover a concorrência justa e a diversidade de soluções no mercado.

Como essas seis metas a Next G Alliance pretende continuar estabelecendo parcerias estratégicas, para garantir investimentos adequados e promover políticas e regulamentações favoráveis para impulsionar a inovação e a liderança econômica dos EUA na era do 6G, principalmente após ficar para trás em relação à última geração de comunicações móveis (5G), nitidamente dominado pela China.

6.3 República Popular da China

O governo chinês tem colocado grande foco no desenvolvimento da tecnologia 6G, e reconhece que larga na frente nessa corrida devido ao domínio no desenvolvimento e implantação da última geração (5G). As operadoras na China têm expandido rapidamente a infraestrutura 5G em nível nacional e desenvolveram várias aplicações em segmentos específicos. Os dados mais recentes do governo sugerem que as operadoras chinesas implantaram um total de 2,3 milhões de estações base 5G no final do ano passado, representando mais de 60% do total global (JUAN PEDRO TOMÁS, 2023).

Em 2019 logo após o lançamento do 5G, o Ministério de Ciência e Tecnologia da China já anunciou o início de P&D para a sexta geração de comunicações móveis. Números recentes mostram que a China ocupa o primeiro lugar globalmente em pedidos de patentes 6G (40,3%), seguido pelos Estados Unidos em segundo lugar (35,2%). Em novembro de 2020 a China lançou o primeiro satélite 6G ao espaço, e a Huawei líder no segmento de tecnologia da informação e comunicação vem testando redes não terrestres

(NTN) 6G usando satélites de órbita baixa da Terra segundo o (PRYSMIANGROUP, 2023).

A China tem conseguido juntar várias empresas do setor de telecomunicações, numa cooperação mútua para dominar as pesquisas e padronizações do 6G. Recentemente foi publicado uma documentação a cerca dos requisitos e considerações de design do 6G, lançados pela gigante China Mobile juntamente com 16 operadoras internacionais de telecomunicações por meio da Next Generation Mobile Networks Alliance (NGMN). Os requisitos contemplam um conjunto de necessidades essenciais relacionadas à evolução da rede, como inclusão digital, eficiência energética e sustentabilidade ambiental. Os objetivos do trabalho foram explorar os requisitos de design e fornecer orientação oportuna para a pesquisa e desenvolvimento do setor, para evitar a fragmentação dos padrões e ecossistemas 6G para alcançar implantações acessíveis e envolver-se com diferentes partes interessadas, além de monitorar 6G externo, atividades e facilitar intercâmbios oportunos com organizações de fora do país. (GLOBAL TIMES, 2023).

A China tem o maior mercado em áreas cruciais da indústria de telecomunicações, desde desenvolvimento até equipamentos essenciais, com empresas líderes de mercado como Huawei e ZTE. No entanto, o país vem enfrentando grandes desafios no campo da tecnologia devido às sanções e tarifas sobre as exportações para a China impostas pelo então presidente, Donald Trump em 2018, após a China lançar o 5G, os EUA alegaram na época que as sanções tinham como finalidade impedir supostas práticas comerciais desleais e roubos de propriedade intelectual.

Mesmo com a saída de Donald Trump da casa branca as sanções não mudaram, pelo contrário o atual presidente Joe Biden não apenas proibiram suas empresas de exportar semicondutores e tecnologias relacionadas para a China, mas também envolveram aliados como Japão, Holanda, Taiwan e Coréia do Sul para impedir que suas empresas exportassem semicondutores para a China. As sanções e restrições limitaram as opções de importação da China, já que grandes empresas de semicondutores como Nvidia, ASML, Tokyo Electronics e outras agora estão impedidas de vender sua tecnologia avançada e produtos para o mercado Chinês. Para piorar a situação, Washington agora planeja limitar o uso de semicondutores fabricados na China por empresas estrangeiras que usam

tecnologia americana. Isso significa que empresas como Samsung e SK Hynix, que têm suas unidades de fabricação na China, podem não ter permissão para fabricar e vender chips fabricados na China (JOANE, 2023).

De acordo com os dados publicados pelo departamento de alfândega chinês, as importações de chips do país caíram 27% em janeiro e fevereiro de 2023 (ANN CAO, 2023). Não é de surpreender que as importações tenham diminuído, considerando que a China experimentou uma queda de 15% nas importações de semicondutores no ano passado, a primeira queda dessa magnitude em duas décadas.

Segundo dados divulgados pela Administração Geral das Alfândegas, a China importou 67,6 bilhões de Circuitos Integrados (CI) nos últimos dois meses, valor 26,5% menor que as importações do mesmo período do ano anterior. O valor total das importações também caiu de US\$ 68,8 bilhões para US\$ 47,8 bilhões, uma queda de 30,5%. Embora os preços globais de chips estejam caindo, a China não consegue tirar vantagem dos preços competitivos, devido as restrições ao comércio dos EUA (BRUNO XAROPE, 2023).

Com todos esses percalços externos a China precisará se reinventar para conseguir o domínio do 6G, uma vez que parece estarmos presenciando uma guerra, mundo versus China na corrida tecnológica. O fato de ter sido pioneira no desenvolvimento do 5G e deter a maioria das patentes pode ser o ponto chave para vencer essa corrida.

7 Considerações Finais

Como visto ao longo deste trabalho o 6G é a próxima geração de tecnologia de comunicação móvel que está sendo desenvolvida para oferecer conectividade ainda mais rápida e confiável em comparação com as gerações anteriores, como o 5G. Embora ainda esteja em estágios iniciais de pesquisa e desenvolvimento, o 6G promete trazer avanços significativos em termos de velocidade, latência, capacidade de rede e experiência do usuário.

Uma das principais expectativas é em relação a velocidade de dados extremamente alta, potencialmente alcançando velocidades de terabits por segundo. Isso permitiria transferências de dados ultrarrápidas, tornando possível a transmissão e o processamento de grandes volumes de informações em tempo real. Além disso, espera-se que a latência do 6G seja significativamente reduzida, possibilitando uma resposta quase instantânea em aplicações críticas, como realidade virtual, realidade aumentada, telemedicina avançada e veículos autônomos.

Outra característica-chave do 6G é a capacidade de rede aprimorada. A tecnologia deve suportar uma quantidade muito maior de dispositivos conectados simultaneamente, permitindo a expansão da Internet das Coisas (IoT) em larga escala. Isso abrirá caminho para aplicações inovadoras, como cidades inteligentes mais avançadas, fábricas automatizadas e redes de sensores distribuídos. Com isso a sustentabilidade deverá ser motivo de grandes preocupações, uma vez que com tantos dispositivos conectados há demanda por energia será enorme. Logo espera-se que soluções nesse aspecto possam ser desenvolvidas, juntamente com a prioridade de utilização de fontes renováveis afim de reduzir o consumo de energia em comparação com as gerações anteriores. Além disso, o 6G pode incorporar recursos de rede mais inteligentes, como o uso de aprendizado de máquina e inteligência artificial para otimizar o uso de recursos e minimizar o impacto ambiental.

Embora o 6G ainda esteja em fase de pesquisa e as especificações técnicas exatas não estejam claramente definidas, a previsão de implantação comercial é que esta ocorra em algum momento da próxima década. À medida que a tecnologia 6G avança, é essencial que as preocupações de privacidade e segurança sejam abordadas adequadamente,

garantindo a confiança dos usuários e a proteção de dados sensíveis. A conscientização e a colaboração entre governos, provedores de serviços, especialistas em segurança e fabricantes de dispositivos serão fundamentais para garantir uma transição segura e protegida para o 6G.

No campo das disputas geopolíticas, pode haver uma fragmentação do mercado de tecnologia, de uma lado a China que busca fortalecer sua posição como líder tecnológico global, enquanto os Estados Unidos alegam preocupação com a segurança nacional e tenta a todo custo proteger seus interesses econômicos. No entanto, é importante promover a colaboração internacional e a adoção de padrões comuns para garantir uma implantação segura, interoperável e benéfica do 6G em todo o mundo. A cooperação entre países e a preocupação contínua com a segurança e a privacidade são fundamentais para maximizar os benefícios dessa nova geração de redes móveis.

Bibliografia

6G RESEARCH VISIONS, NO. 13. *WHITE PAPER ON RF ENABLING 6G – OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FROM TECHNOLOGY TO SPECTRUM*. 2021. Disponível em: <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526228419.pdf>. Acesso em: 21 de maio 2023.

6G VISION: SAMSUNG. *6G The Next Hyper - Connected Experience for All*. 2020. Disponível em: <https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/6G%20Vision.pdf>. Acesso em: 20 de maio 2023.

ABDULLAH. *CHINA TAKES A GIANT STEP IN 6G: 100GBPS SPEED ACHIEVED!* 2023. Disponível em: <https://www.gizchina.com/2023/04/22/china-takes-a-giant-step-in-6g-100gbps-speed-achieved/>. Acesso em: 27 de maio 2023.

ABDULLAH M. AL-ANSI; AHMED AL-ANSI; AMMAR MUTHANNA; IBRAHIM A. ELGENDY; ANDREY KOUCHERYAVY . *Survey on Intelligence Edge Computing in 6G: Characteristics, Challenges, Potential Use Cases, and Market Drivers*. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-5903/13/5/118>. Acesso em: 10 de maio 2023.

ADRIANA V. RIBEIRO; FERNANDO NAKAYAMA; MICHELE NOGUEIRA; LEOBINO N. SAMPAIO . *Um Panorama dos Serviços de Saúde Avançados: Conectividade e Segurança em Sistemas de Vida Assistida*. 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/download/120/533/818-1>. Acesso em: 28 de junho de 2023.

ANA RITA BETENCOURT DA COSTA RODRIGUES DOS SANTOS. *Reconfigurable Intelligent Surfaces based system design for future 6G wireless networks*. 2023. Disponível em: <https://www.iscte-iul.pt/tese/13619>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

ANN CAO. *Tech war: China's chip imports slump 27 per cent in the first 2 months of 2023 as US sanctions bite*. 2023. Disponível em: <https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3212677/tech-war-chinas-chip-imports-slump-27-cent-first-two-months-2023-us-sanctions-bite>. Acesso em: 22 de junho de 2023.

ASHISH KUMAR; NEHA GUPTA; PAARTH BHASIN; SHARAD CHAUHAN; IMANE BACHRI. *6G-Enabled IoT and AI for Smart Healthcare*. 2023. Disponível em: file:///C:/Users/Meiriele/Downloads/9781003321668_previewpdf.pdf. Acesso em: 25 de junho de 2023.

ATHANASSIOS KALIUDIS ; ROBERT BOSCH. *6G project opens up new possibilities for connected mobility*. 2022. Disponível em: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/6g-project-opens-up-new-possibilities-for-connected-mobility-249984.html>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

BRENDAN BONNER. *Unleashing the Potential: Exploring the Exciting 6G Features of the Future*. 2023. Disponível em: <https://www.extremenetworks.com/extreme-networks-blog/>

unleashing-the-potential-exploring-the-exciting-6g-features-of-the-future/). Acesso em: 21 maio de 2023.

BRUNO XAROPE. *China com uma queda acentuada nas importações de semicondutores devido aos EUA*. 2023. Disponível em: <https://androidgeek.pt/china-com-uma-queda-acentuada-nas-importacoes-de-semicondutores-devido-aos-eua>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

CASIC. *China Aerospace Science and Industry Corporation*. 2020. Disponível em: <http://www.casic.com/>. Acesso em: 20 de maio 2023.

CHAMITHA DE ALWIS; QUOC-VIET PHAM; MADHUSANKA LIYANAGE. *Industrial Automation*. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9972754>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

CHIRADEEP BASUMALLICK . *What Is Backhaul? Meaning, Working, and Applications*. 2023. Disponível em: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-backhaul/>. Acesso em: 28 de maio 2023.

CHUAN SHI; BINBIN HU; WAYNE XIN ZHAO; PHILIP S. YU. *Heterogeneous Information Network Embedding for Recommendation*. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1711.10730>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

DANIELY GOMES; MICHELLE FACINA. *Comunicações das Redes 6G*. 2022. Disponível em: <https://inatel.br/brasil6g/images/images/workshop/documentos/comunicacoes.pdf>. Acesso em: 30 de maio 2023.

DR YU-HAN CHANG ; SONA DADHANIA. *The frequency matters*. 2022. Disponível em: <https://www.idtechex.com/en/research-report/6g-market-2023-2043-technology-trends-forecasts-players/911>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

EXAME. *Inovação em tecnologia 6G deverá ser unificada globalmente neste ano, dizem especialistas*. 2023. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/inovacao-em-tecnologia-6g-devera-ser-unificada-globalmente-neste-ano-dizem-especialistas/>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

F. TARIQ; M.R. KHANDAKER; K.-K. WONG; M. IMRAN; M. BENNIS; M. DEBBAH. *A speculative study on 6G*. 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1902.06700.pdf>. Acesso em: 18 de maio 2023.

FAN ZHANG ; YU ZHANG ; WEIDANG LU; YUAN GAO; YI GONG; JIANG CAO . *6G-Enabled Smart Agriculture: A Review and Prospect*. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/18/2845>. Acesso em: 27 de junho de 2023.

FILIPE GARRETT. *Nokia vai liderar pesquisas do 6G na Europa*. 2020. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/12/nokia-vai-liderar-pesquisas-do-6g-na-europa.ghtml>. Acesso em: 21 de maio 2023.

GLOBAL TIMES. *China Mobile publica white paper sobre requisitos 6G e projetos com 16 operadoras de telecomunicações*. 2023. Disponível em: <https://www.globaltimes.cn/page/202303/1287671.shtml>. Acesso em: 02 de junho de 2023.

GREGÓRIO, D.; BATES, R. *Manual de Comunicações de Voz e Dados*. Nova York, NY, Estados Unidos: McGraw Hill Professional, 2006.

GUILHERME N. N. BARBOSA; GOVINDA MOHINI G. BEZERRA; DIANNE S. V. DE MEDEIROS; MARTIN ANDREONI LOPEZ; DIOGO M. F. MATTOS. *Segurança em Redes 5G: Oportunidades e Desafios em Detecção de Anomalias e Predição de Tráfego baseadas em Aprendizado de Máquina*. 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/download/71/311/567-1?inline=1>. Acesso em: 27 de junho de 2023.

IEEE Open Journal of the Communications Society. *Survey on 6G Frontiers: Trends, Applications, Requirements, Technologies and Future Research*. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9397776>. Acesso em: 13 de Abril 2023.

INATELBRASIL6G. *Casos de Uso e Requisitos para as Redes 6G*. 2021. Disponível em: <https://inatel.br/brasil6g/brasil-6g/329-brasil-6g-meta-2-atividade-2-3-requisitos/file>. Acesso em: 25 de junho de 2021.

INTELBRAS. *O que é 5G e o como a tecnologia vai mudar a nossa vida?* 2022. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/como-5g-vai-mudar-nossa-vida/>. Acesso em: 30 de maio 2023.

JAVATPOINT. *Mesh Networks: A decentralized and Self-Organizing Approach to Networking. Introduction to Mesh Networks*. 2022. Disponível em: <https://www.javatpoint.com/mesh-networks>. Acesso em: 31 de maio 2023.

JOAB COSTA RODRIGUES LIMA. *ANÁLISE DE SISTEMA MIMO-NOMA COOPERATIVO COM SELEÇÃO DE ANTENA E RETRANSMISSÃO DF*. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/50659/1/2020_dis_jcrl.pdf. Acesso em: 20 de maio 2023.

JOANE. *US proposes restrictions to stop China from using the \$52 billion semiconductor fund*. 2023. Disponível em: <https://www.gizmochina.com/2023/03/22/us-restrictions-stop-china-from-52-billion-semiconductor-fund/>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

JUAN PEDRO TOMÁS. *China ramps up 6G R&D focus to spur Industry 4.0 drive*. 2023. Disponível em: <https://www.rcrwireless.com/20230302/6g/chinese-government-increase-focus-6g-report>. Acesso em: 03 de junho de 2023.

KARTHIK KUMAR VAIGANDLA; SANDYARANI BOLLA; RADHAKRISHNA KARNE. *A Survey on Future Generation Wireless Communications-6G: Requirements, Technologies, Challenges and Applications*. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355241831_A_Survey_on_Future_Generation_Wireless_Communications6G_Requirements_Technologies_Challenges_and_Applications. Acesso em: 23 de Abril 2023.

LUCIANO LEONEL MENDES. *6G: onde o mundo físico e virtual se tornam um só*. 2021. Disponível em: <https://inatel.br/blog/tecnologia/224-6g-onde-o-mundo-fisico-e-virtual-se-tornam-um-so>. Acesso em: 22 de Abril de 2023.

LUIZ SCHMIDT. *Coréia do Sul planeja lançar primeiro serviço de internet 6G em 2028*. 2023. Disponível em: <https://mundoconectado.com.br/noticias/v/31763/coreia-do-sul-lancar-internet-6g-em-2028>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

M. PIRAN; D. Y. SUH . *Learning-driven wireless communications, towards 6G,*” in *Proc. IEEE International Conference on Computing, Electronics & Communication Engineering*. 2019. Disponível em: [⟨https://arxiv.org/pdf/1908.07335.pdf⟩](https://arxiv.org/pdf/1908.07335.pdf). Acesso em: 23 de maio 2023.

MAPFRE. *Impacto das tecnologias 5G e 6G no atendimento da saúde*. 2023. Disponível em: [⟨https://www.mapfre.com/pt-br/actualidade/inovacao/impacto-tecnologias-5g-6g-no-atendimento-da-saude/⟩](https://www.mapfre.com/pt-br/actualidade/inovacao/impacto-tecnologias-5g-6g-no-atendimento-da-saude/). Acesso em: 25 de junho de 2023.

MOBILIT. *Rede 6G – O que é e quando deverá acontecer?* 2022. Disponível em: [⟨https://www.mobilit.com.br/rede-6g-o-que-e-e-quando-devera-acontecer/⟩](https://www.mobilit.com.br/rede-6g-o-que-e-e-quando-devera-acontecer/). Acesso em: 23 de Abril 2023.

NEXTGALIANCE. *European 6G Flagship Project Hexa-Xt*. 2021. Disponível em: [⟨http://6gglobal.org/download/1-5.%20Mikko%20Uusitalo.pdf⟩](http://6gglobal.org/download/1-5.%20Mikko%20Uusitalo.pdf). Acesso em: 12 de maio de 2023.

NEXTGALIANCE. *AI-Native Wireless Solutions*. 2023. Disponível em: [⟨https://www.nextgalliance.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2023/04/AI-Native-Wireless-Networks.pdf⟩](https://www.nextgalliance.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2023/04/AI-Native-Wireless-Networks.pdf). Acesso em: 12 de maio de 2023.

NEXTGALIANCE. *Green G: The Path Toward Sustainable 6G*. 2023. Disponível em: [⟨https://www.nextgalliance.org/white_papers/green-g-the-path-towards-sustainable-6g/⟩](https://www.nextgalliance.org/white_papers/green-g-the-path-towards-sustainable-6g/). Acesso em: 12 de maio de 2023.

NEXTGALIANCE. *The Next Frontier of Innovation and Investment*. 2023. Disponível em: [⟨https://www.nextgalliance.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2023/05/6G-%E2%80%93-The-Next-Frontier-of-Innovation-and-Investment-1.pdf⟩](https://www.nextgalliance.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2023/05/6G-%E2%80%93-The-Next-Frontier-of-Innovation-and-Investment-1.pdf). Acesso em: 14 de maio de 2023.

NEXTGALIANCE. *Trust-Security-and-Resilience*. 2023. Disponível em: [⟨https://www.nextgalliance.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2022/08/Trust-Security-and-Resilience-White-Paper-Report-V5.pdf⟩](https://www.nextgalliance.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2022/08/Trust-Security-and-Resilience-White-Paper-Report-V5.pdf). Acesso em: 12 de maio de 2023.

NIKKEI ASIAN. *Japão prepara 2 milhões de dólares para pesquisas do 6G*. 2019. Disponível em: [⟨https://valor.globo.com/empresas/noticia/2019/11/22/japao-prepara-us-2-bilhoes-para-apoiar-pesquisa-em-tecnologia-6g.ghtml⟩](https://valor.globo.com/empresas/noticia/2019/11/22/japao-prepara-us-2-bilhoes-para-apoiar-pesquisa-em-tecnologia-6g.ghtml). Acesso em: 21 de maio de 2023.

OLHARDIGITAL. *Japão planeja chegar ao 6G até 2030*. 2020. Disponível em: [⟨https://olhardigital.com.br/2020/01/20/noticias/japao-planeja-chegar-ao-6g-ate-2030/⟩](https://olhardigital.com.br/2020/01/20/noticias/japao-planeja-chegar-ao-6g-ate-2030/). Acesso em: 21 de maio de 2023.

OURJIANGSU. *2023 Global 6G Technology Conference held in Nanjing*. 2023. Disponível em: [⟨http://www.ourjiangsu.com/a/20230324/1679630055108.shtml⟩](http://www.ourjiangsu.com/a/20230324/1679630055108.shtml). Acesso em: 23 de maio 2023.

PAULA LOUZADA. *Redes Mesh: conectividade inteligente, dinâmica e de qualidade*. 2022. Disponível em: [⟨https://www.fm2s.com.br/blog/redes-mesh-conectividade-inteligente-dinamica-e-de-qualidade/⟩](https://www.fm2s.com.br/blog/redes-mesh-conectividade-inteligente-dinamica-e-de-qualidade/). Acesso em: 16 de maio 2023.

- PRYSMIANGROUP. *Chinese Government prioritising development of 6G*. 2023. Disponível em: <https://www.rcrwireless.com/20230302/6g/chinese-government-increase-focus-6g-report>). Acesso em: 03 de junho de 2023.
- PURVA RAJKOTIA. *THE 6G FUTURE: HOW 6G WILL TRANSFORM OUR LIVES*. 2022. Disponível em: <https://incompliancemag.com/article/the-6g-future-how-6g-will-transform-our-lives/>). Acesso em: 23 de maio 2023.
- RASHMI BHARDWAJ. *5G vs 6G: What to expect with 6G?* 2023. Disponível em: <https://ipwithease.com/5g-vs-6g-what-to-expect-with-6g/>). Acesso em: 28 de junho de 2023.
- SEGINFO. *Grande poder ou grande vulnerabilidade? Protegendo redes 5G e 6G*. 2021. Disponível em: <https://seginfo.com.br/2021/08/10/grande-poder-ou-grande-vulnerabilidade-protetendo-redes-5g-e-6g/>). Acesso em: 28 de junho de 2023.
- TANIA GOMES. *6G e Smart Cities: como a tecnologia transformará o futuro?* 2023. Disponível em: <https://www.hojeemdia.com.br/opiniaopiniaop/6g-e-smart-cities-como-a-tecnologia-transformara-o-futuro-1.963653>). Acesso em: 26 de junho de 2023.
- WEIHUA QIAO. *6G Network Architecture*. 2023. Disponível em: https://ofinno.com/wp-content/uploads/2021/03/OFNO_White_Sheet_032421.pdf). Acesso em: 30 de junho de 2023.
- WILSON CARDOSO. *TCom inteligência artificial, 6G vai ser a internet de todas as coisas — até mesmo do seu corpo*. 2023. Disponível em: <https://tecnoblog.net/noticias/2023/06/06/com-inteligencia-artificial-6g-vai-ser-a-internet-de-todas-as-coisas-ate-mesmo-do-seu-corpo/>). Acesso em: 22 de junho de 2023.
- WIMI HOLOGRAM CLOUD INC. *WiMi Explores 6G Holographic Communication for Multi-Dimensional Digital Remote Interaction*. 2023. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/wimi-explores-6g-holographic-communication-for-multi-dimensional-digital-remote-interaction-3017.html>). Acesso em: 25 de junho de 2023.
- YANG LU; XIANRONG ZHENG. *6G: A survey on technologies, scenarios, challenges, and the related issues*. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452414X20300339>). Acesso em: 24 de maio 2023.