



Casos de Uso das Redes 6G

xGMobile
Centro de Competência EMBRAPII
Inatel em Redes 5G e 6G

Inatel

xGMobile – Centro de Competência EMBRAPII Inatel em Redes 5G e 6G

O Centro de Competência, localizado no Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), é um modelo inédito no Brasil, destinado a impulsionar o desenvolvimento de tecnologias avançadas com elevado potencial para o mercado. A iniciativa posicionará o Brasil entre as principais nações inovadoras do mundo.

Formado por um grupo de pesquisa credenciado em uma área temática específica, o Centro foi desenvolvido para enfrentar desafios e questões de elevada complexidade que tenham impacto social e econômico. Além disso, conta com infraestrutura moderna e uma equipe com competência e experiência comprovadas na área de atuação.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Cenários Futuros: Inovações e Serviços em Desenvolvimento.....	2
2.1 Serviços 6G: Detalhes e Requisitos de Capacidade.....	4
3. Conclusão.....	16

1. Introdução

A cada transição de geração de redes móveis (Figura 1), a indústria se dedica a prever as futuras necessidades dos usuários, identificar deficiências na capacidade das redes atuais e explorar novas oportunidades trazidas por inovações tecnológicas e conceituais. Com o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias e aprimoramento das existentes, as aplicações e serviços oferecidos pelo IMT-2030 visam integrar os universos físico, virtual e biológico. Esse avanço não apenas ultrapassa as barreiras de conectividade existentes, mas também supera as limitações apresentadas pelas redes de quinta geração (5G).

Os casos de uso referem-se a diversos serviços, aplicações e cenários específicos nos quais a tecnologia de sexta geração (6G) será implementada. Nesse contexto, os avanços nas interfaces homem-máquina impulsionam o desenvolvimento de sistemas interativos de vídeo de alta resolução, como *displays* de realidade estendida e interfaces multissensoriais que englobam elementos auditivos, visuais e táteis.

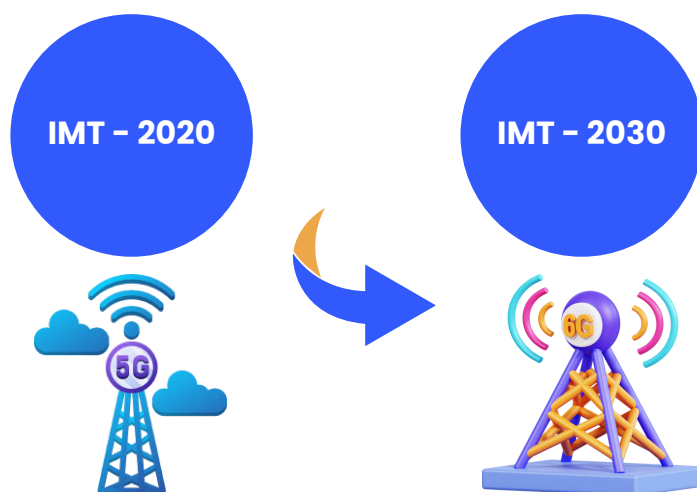


Figura 1. Transição das redes IMT-2020 (5G) para IMT-2030 (6G).

O IMT-2030 visa proporcionar aos seres humanos experiências imersivas, criadas virtualmente ou que ocorrem à distância. Paralelamente, as máquinas estão se tornando mais inteligentes, autônomas, responsivas e precisas, graças aos avanços na percepção de máquinas e nas interações entre elas, especialmente através da aplicação de Inteligência Artificial (IA).

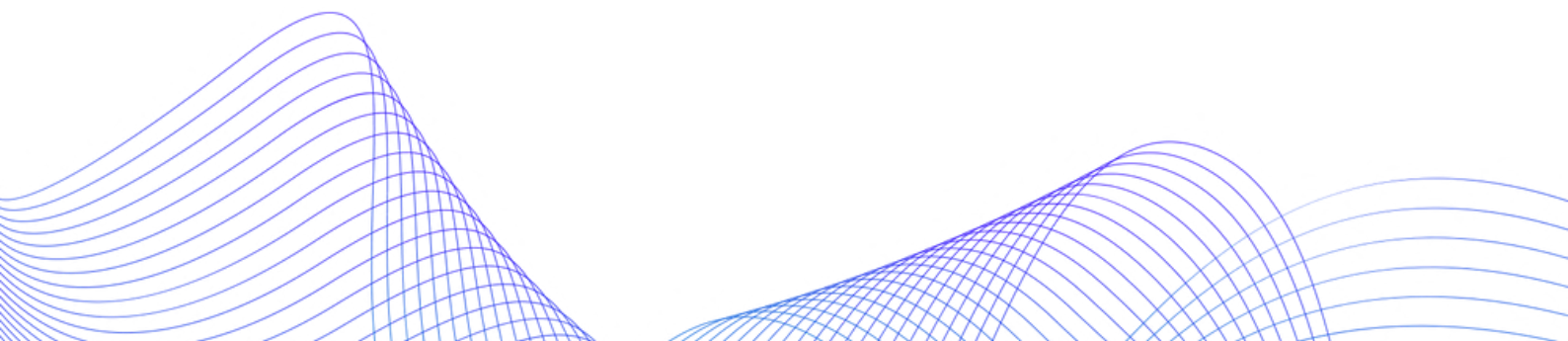
Com isso, as redes 6G se estabelecem como um elemento fundamental na evolução contínua da comunicação e interação entre seres humanos e tecnologias avançadas.

2. Cenários Futuros: Inovações e Serviços em Desenvolvimento

Diante dos cenários de uso previstos para o IMT-2030, uma variedade de serviços inovadores está sendo desenvolvida no âmbito da tecnologia 6G, conforme apresentado na Tabela 1. Entre os serviços em fases iniciais de desenvolvimento, destacam-se exemplos promissores como as comunicações holográficas. Outro destaque é a categoria de alta capacidade xHaul, que proporciona conectividade confiável e eficiente entre os diferentes elementos da infraestrutura de rede, adaptando-se às necessidades específicas de cada cenário.

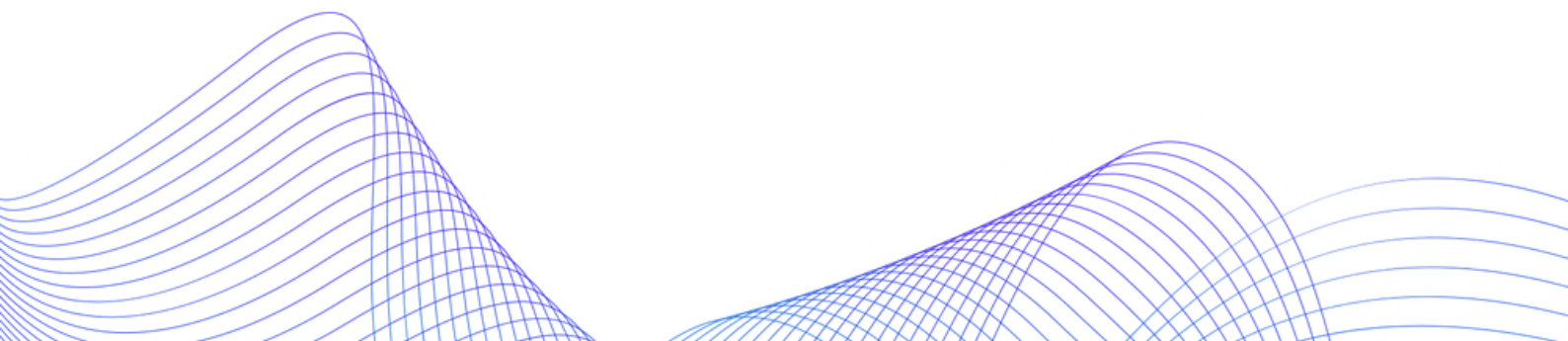
Tabela 1. Cenários de uso e novos serviços provenientes das redes 6G.

Cenários de uso do IMT-2030	Novos serviços
Comunicação Imersiva	Comunicação Confiável de Banda Larga Móvel com Baixa Latência (MBRLLC, <i>Mobile Broadband Reliable Low Latency Communication</i>); Comunicações holográficas; Capacidade extrema xHaul; <i>Hotspot</i> aprimorado; <i>Hotspot</i> de alta mobilidade.
Sensoriamento Integrado e Comunicação	Desenvolvimento sustentável e ambientes inteligentes; Gêmeos digital.



Comunicação Hiperconfiável e de Baixa Latência	Comunicação Massiva de Ultra Confiabilidade e de Baixa Latência (mURLLC, <i>Massive Ultra Reliability Low Latency Communication</i>); Fabricação de alta precisão; Comunicações de curto alcance de dispositivo para dispositivo; Aplicações da Internet tátil e háptica.
Comunicação Massiva	Desenvolvimento sustentável e ambientes inteligentes; Realidade estendida multissensorial; Cidades inteligentes; Conectividade para todas as coisas.
Conectividade Ubíqua	Conectividade em áreas remotas; Resgate global de comunicação de emergência.
Inteligência Artificial e Comunicação	Serviços centrados no ser humano; Serviços relacionados a convergência de comunicações, computação, controle, localização e sensoriamento (3CLS) e serviços relacionados à energia; Gêmeos digital.

Além disso, observam-se avanços nas interações entre dispositivos em curtas distâncias. Essas inovações refletem a diversidade de aplicações que a tecnologia 6G promete oferecer, visando satisfazer as necessidades futuras.



2.1 Serviços 6G: Detalhes e Requisitos de Capacidade

Os novos serviços associados à tecnologia 6G, listados na Tabela 1, serão explorados em detalhes a seguir e ilustrados na Figura 2, que destaca seus principais requisitos de capacidade. Vale ressaltar que esses serviços fundamentam os requisitos de capacidade projetados para os sistemas 6G.

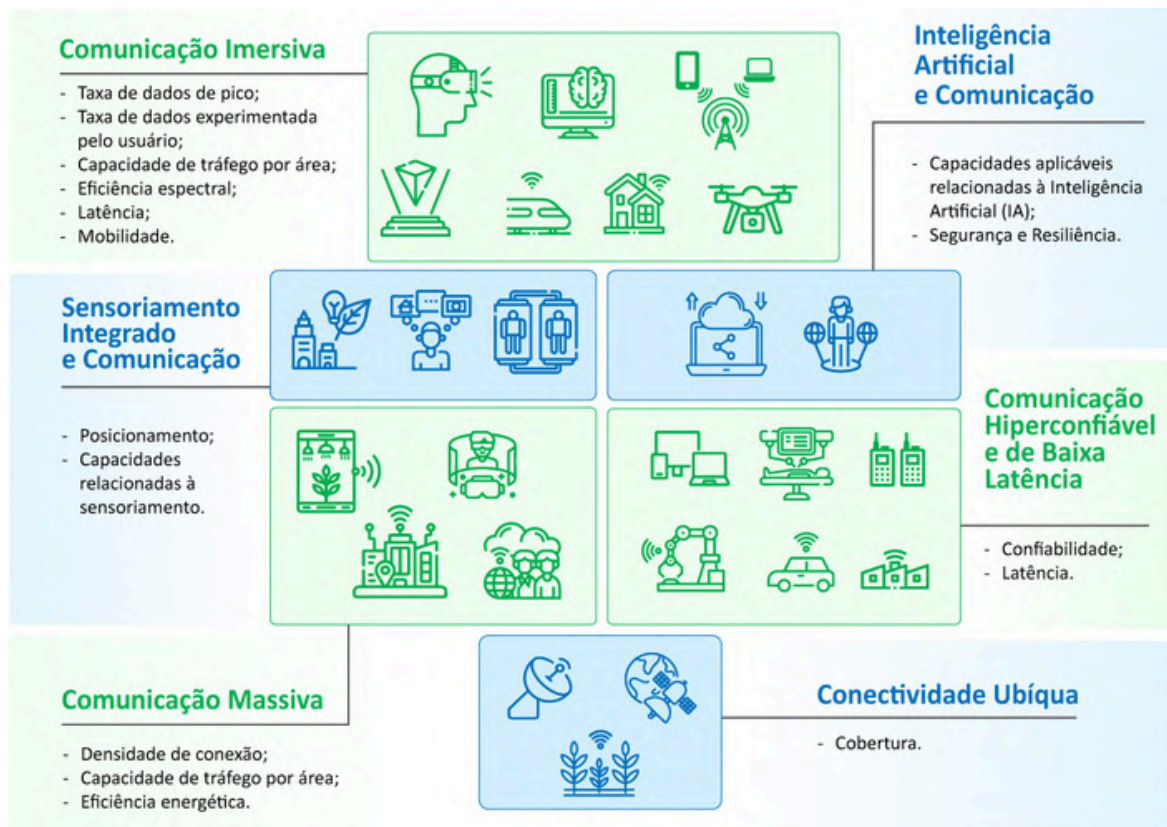
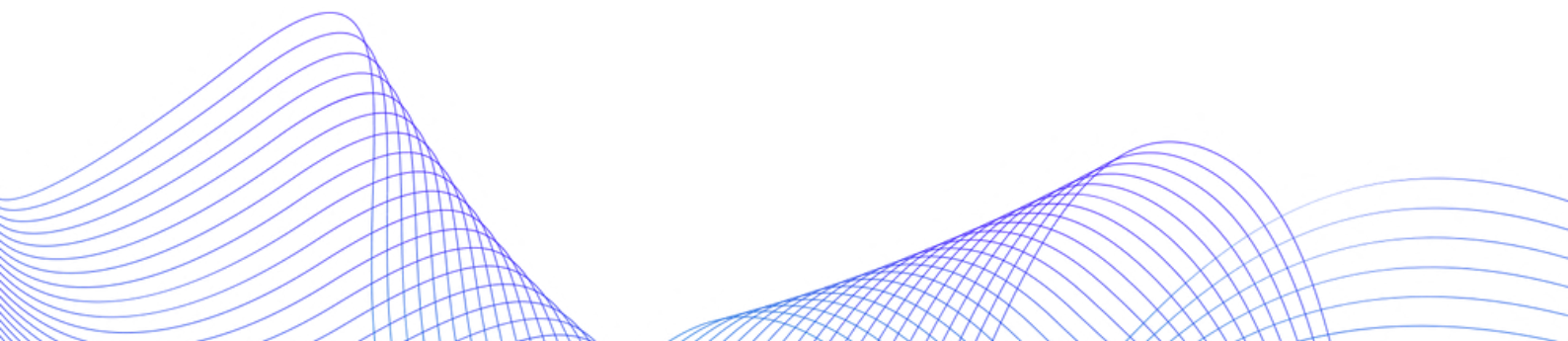


Figura 2. Cenários de uso e seus respectivos serviços, destacando os principais requisitos de capacidade.

Comunicação Confiável de Banda Larga Móvel com Baixa Latência (MBRLLC, *Mobile Broadband Reliable Low Latency Communication*): esta nova classe de serviço é capaz de fornecer o desempenho necessário para aplicações como Realidade Estendida (XR, *Extended Reality*), Robótica Conectada e Sistemas Autônomos (CRAS, *Connected Robotics and Autonomous Systems*) e Interface Cérebro-Computador (BCI, *Brain-Computer Interface*), conforme ilustrado na Figura 3. Essas aplicações exigem simultaneamente alta confiabilidade, baixa latência e altas taxas de dados, atendendo a dispositivos heterogêneos tanto em *uplink* quanto em *downlink*.

- **Realidade Estendida (XR, *Extended Reality*):** é uma tecnologia inovadora que oferece aplicações imersivas, integrando o mundo real e o ambiente digital. Abrange as realidades virtual, aumentada e mista, cada uma proporcionando experiências únicas. As redes 5G atuais enfrentam desafios para fornecer a experiência totalmente imersiva exigida pela XR, especialmente devido às suas limitações em suportar baixas latências para aplicações que demandam altas taxas de dados. A realidade virtual cria um ambiente totalmente imersivo e interativo, permitindo que os usuários explorem e interajam com objetos virtuais. Em contraste, a realidade aumentada mistura elementos do mundo real com conteúdos digitais interativos, adicionando sobreposições digitais ao ambiente físico. A realidade mista combina elementos tanto da realidade virtual quanto da aumentada, sobrepondo ou integrando objetos virtuais ao ambiente real de forma que possibilite a interação entre os elementos virtuais e o mundo físico. Essa combinação proporciona uma experiência mais realista e envolvente, promovendo uma interação única entre os mundos digital e físico.
- **Robótica Conectada e Sistemas Autônomos (CRAS, *Connected Robotics and Autonomous Systems*):** abrangem uma variedade de sistemas autônomos, incluindo carros autônomos, robôs e veículos aéreos não tripulados (UAVs). Esses sistemas dependem de conectividade avançada, como redes de comunicação sem fio, para estabelecer comunicação entre si e com outros dispositivos, formando uma rede interconectada. As aplicações CRAS exigem baixa latência, alta confiabilidade e elevadas taxas de transferência de dados para garantir precisão na localização e no compartilhamento de mapas de alta definição. Atualmente, os requisitos das aplicações CRAS ultrapassam as capacidades da rede 5G. No entanto, espera-se que a futura rede 6G seja capaz de atender a essas crescentes demandas de forma eficaz.
- **Interface Cérebro-Computador (BCI, *Brain-Computer Interface*):** é um sistema que permite a transferência direta de informações entre o cérebro humano e unidades de processamento, dispensando a necessidade de comandos físicos ou verbais. As BCIs têm o potencial de melhorar a vida de pessoas com deficiências motoras ou de comunicação e também há interesse em seu uso em aplicações como jogos interativos, proporcionando uma experiência imersiva e intuitiva.



Além disso, podem ser empregadas na pesquisa neurocientífica para um melhor entendimento do cérebro humano, trazendo avanços significativos no campo da neurociência. Similar à XR, os serviços de BCI necessitam de altas taxas de transmissão de dados, latência extremamente baixa e confiabilidade elevada. No entanto, as BCIs diferem da XR por serem mais sensíveis às percepções e reações físicas, exigindo um nível mais alto de garantia na qualidade da experiência do usuário.



Figura 3. Alguns serviços relacionados a MBRLLC. (a) CRAS, (b) XR e (c) BCI.

Comunicações holográficas: representam uma inovação significativa na tecnologia de comunicação, utilizando hologramas para a transmissão de informações. Um holograma é uma representação tridimensional (3D) detalhada de um objeto, produzida por técnicas avançadas como o registro fotográfico e gravações a laser. As exibições holográficas oferecem um avanço na experiência multimídia, proporcionando imagens 3D de diversas fontes para vários espectadores, resultando em uma experiência 3D profundamente imersiva. Para viabilizar a interatividade holográfica em ambientes de rede, é essencial combinar altíssimas taxas de transferência de dados com latência mínima. A necessidade de elevadas taxas de dados decorre da complexidade dos hologramas, que compreendem múltiplas imagens 3D. A baixa latência é crucial para permitir uma interação dinâmica do usuário com a imagem, possibilitando ajustes instantâneos em tempo real conforme as variações na posição e movimentos do observador. Isso proporciona uma experiência 3D não apenas imersiva, mas também altamente interativa e responsiva.

Capacidade extrema xHaul: o conceito xHaul engloba diferentes tipos de conexões de rede em infraestruturas de telecomunicações. Este caso de uso refere-se a um enlace ponto a ponto, projetado para gerenciar volumes elevados de tráfego de dados.

Para alcançar essa capacidade, é essencial uma combinação otimizada de ampla largura de banda e elevada eficiência espectral. Essa abordagem assegura um alto desempenho na transmissão de dados, além de maximizar a eficiência da rede, tornando-a adequada para suportar uma variedade de aplicações avançadas, como Internet das Coisas (IoT), comunicações holográficas, XR, entre outras.

Hotspot aprimorado: refere-se a uma área de conexão sem fio (Wi-Fi), ilustrada na Figura 4, projetada para oferecer altas taxas de transferência de dados do ponto de acesso aos dispositivos dos usuários. Com um alcance mais limitado, foca em fornecer uma conexão de alta qualidade em uma área mais compacta. É ideal para aplicações que exigem um grande volume de dados, como o *streaming* de vídeos em alta definição, e atende às demandas avançadas das tecnologias de WLAN (*Wireless Local Area Network*).

Hotspot de alta mobilidade: é um sistema Wi-Fi, representado na Figura 5, concebido para operar em ambientes onde os usuários e/ou a infraestrutura da rede estão em constante movimento. Abrange diversas aplicações, incluindo conectividade em transportes como ônibus, metrô, trens e aviões, onde é essencial manter uma conexão estável e rápida apesar do movimento contínuo. O principal desafio é garantir altas taxas de dados e baixas latências, mantendo uma disponibilidade próxima a 100%, mesmo quando o veículo se desloca a velocidades superiores a centenas de km/h.

Para suportar a demanda de tráfego de dados agregadas de todos os usuários em um veículo em movimento, são necessárias larguras de banda de vários GHz.



Figura 4. Exemplo de vários dispositivos conectados a um ponto de acesso Wi-Fi.



Figura 5. Exemplo de aplicação de Wi-Fi em sistemas em constante movimento.

Essas demandas são frequentemente atendidas com o uso de tecnologias avançadas, como as ondas milimétricas e as bandas de frequência terahertz (THz), que podem ser utilizadas para otimizar a performance da conectividade em cenários de alta mobilidade, garantindo uma comunicação eficiente e sem interrupções, mesmo sob condições de movimento rápido e constante.

Desenvolvimento sustentável e ambientes inteligentes: as inovadoras tecnologias de comunicações sem fio, computação em nuvem e IoT são fundamentais para impulsionar a sustentabilidade em escala global e elevar a qualidade de vida. Essas tecnologias oferecem contribuições para o desenvolvimento de cidades inteligentes e para a melhoria dos sistemas de transporte e distribuição de energia. A tecnologia 6G será projetada para proporcionar uma contribuição significativa, com foco em plataformas de comunicação 3D que integram funcionalidades avançadas de computação em nuvem, como mecanismos de decisão distribuídos, que se adaptam às demandas específicas de tempo e localização e estão disponíveis conforme necessário. Em aplicações críticas, como a condução autônoma, a robustez dos mecanismos de segurança é fundamental para a prevenção de acidentes, exigindo uma confiabilidade de comunicação superior a 99,9999% e uma latência abaixo de 1 ms. Além disso, a interconexão eficiente entre veículos e entre veículos e unidades à margem das estradas é essencial para minimizar os riscos de acidentes, necessitando de conexões de dados de alta velocidade. E, diante do contexto de desenvolvimento sustentável, conforme ilustrado na Figura 6, a atenção ao consumo de energia é primordial. Portanto, a rede 6G precisa desenvolver estratégias de comunicação que sejam tanto eficientes quanto inovadoras em termos energéticos. O objetivo é, sempre que viável, implementar comunicações que dispensem o uso de baterias, buscando uma eficiência energética na faixa de 1 pJ/bit, alinhando-se aos esforços globais de redução do impacto ambiental.



Figura 6. Ambientes inteligentes com integração de tecnologias sustentáveis.

Gêmeos Digitais: com a evolução das tecnologias de sensoriamento, comunicações e inteligência artificial, objetos e processos do mundo real serão replicados no ambiente digital, conforme demonstrado na Figura 7. Interações entre pessoas, entre pessoas e objetos, e entre objetos serão mapeadas de forma inteligente e precisa no universo digital. Esta transformação é potencializada pelo uso avançado de mineração de dados e algoritmos sofisticados, permitindo que o mundo digital aproveite um vasto repositório de dados históricos e informações em tempo real. Esta abordagem possibilita a simulação, verificação, previsão e gestão de objetos físicos ou processos com precisão inédita, proporcionando soluções ideais e altamente eficazes para os desafios enfrentados no mundo físico.

Na área da saúde, sistemas médicos podem utilizar gêmeos digitais para realizar diagnósticos mais precisos e desenvolver tratamentos personalizados mais eficientes. No desenvolvimento de produtos, os gêmeos digitais permitem uma otimização abrangente, reduzindo significativamente os custos operacionais e aumentando a eficiência. Na agricultura, a utilização de simulações baseadas em gêmeos digitais facilita a previsão de fatores adversos e melhora a eficiência produtiva e o uso sustentável do solo.

No entanto, a implementação eficaz dos gêmeos digitais apresenta desafios para a arquitetura e funcionalidades das redes 6G. As redes 6G deverão suportar conexões de trilhões de dispositivos e oferecer latências inferiores a milissegundos, fundamentais para o monitoramento preciso e em tempo real de variações sutis no mundo físico. A qualidade dos dados precisa ser assegurada através de modelos de dados e interfaces padrão com capacidades de autocorreção e autogeração. Além disso, para atender aos requisitos de volume de dados para modelagem, simulação e verificações precisas, será essencial dispor de uma taxa de transmissão de dados na ordem de terabits por segundo (Tbps).

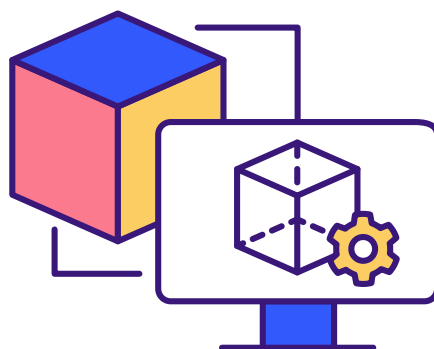


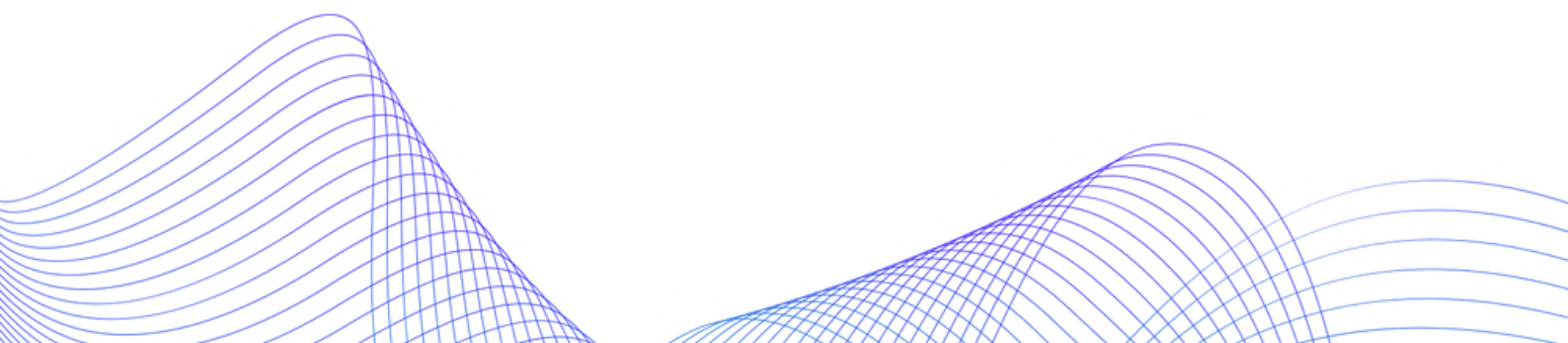
Figura 7. Representação do conceito de gêmeos digital.

Comunicação Massiva de Ultra Confiabilidade e Baixa Latência (mURLLC, *Massive Ultra Reliability Low Latency Communication*): este conceito representa um avanço significativo na integração e expansão dos serviços de Comunicações Ultra Confiáveis e de Baixa Latência (URLLC, *Ultra-Reliable Low-Latency Communications*) e Comunicações Machine-Type Massivas (mMTC, *Massive Machine Type Communications*), cenários de uso das redes 5G. O objetivo é proporcionar uma infraestrutura de comunicação capaz de suportar um número massivo de dispositivos conectados, assegurando alta confiabilidade e baixa latência. Essa combinação de capacidades permite o desenvolvimento de aplicações avançadas em diversas áreas, incluindo a indústria 4.0, cidades inteligentes e saúde digital.

Fabricação de alta precisão: para aperfeiçoar a precisão na fabricação, é essencial a utilização de sistemas de controle automático e tecnologias de comunicação de última geração nos processos industriais. Isso se traduz em uma alta confiabilidade, na ordem de 99.9999999%, e uma latência extremamente baixa, variando de 0,1 a 1 ms no tempo de resposta. O principal objetivo da indústria 4.0 é minimizar a necessidade de intervenção humana nos processos industriais através do uso desses sistemas automatizados e tecnologias de comunicação avançadas. Embora a introdução da 5G tenha marcado o início da implementação da indústria 4.0, espera-se que a tecnologia 6G desbloqueie seu potencial máximo, atendendo a esses rigorosos requisitos com tecnologias revolucionárias e inovadoras inerentes às redes 6G.

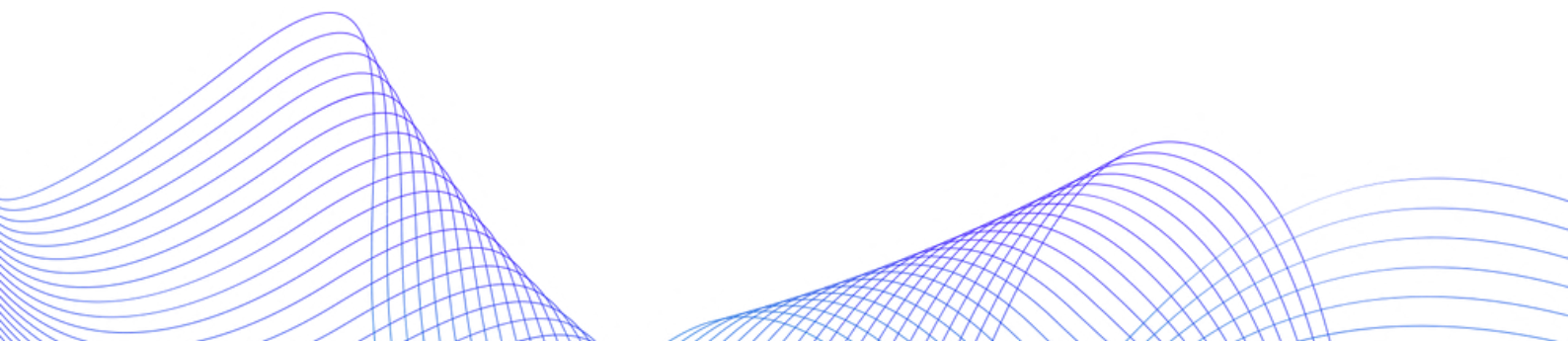
Comunicações de curto alcance de dispositivo para dispositivo: este caso de uso foca na transferência de dados entre dispositivos de usuários que estão a uma curta distância, com envolvimento limitado da infraestrutura de rede. Considera uma conexão ponto a ponto que oferece elevadas taxas nos enlaces de subida e descida, operando sob restrições severas de energia. Essas comunicações desempenham um papel fundamental em vários aspectos, particularmente na era dos dispositivos inteligentes e no contexto da IoT, facilitando a interconectividade e a comunicação eficiente em curta distância.

Aplicações da Internet tátil e háptica: os sistemas de comunicação atuais são limitados em termos de interação física ou manipulação de objetos. A próxima fronteira na evolução da comunicação é permitir que as pessoas toquem umas às outras e objetos à distância, abrindo caminho para experiências verdadeiramente imersivas.



As comunicações hápticas focam no uso de tecnologias avançadas para simular ou recriar sensações táteis, como vibração, textura e temperatura, ampliando a percepção sensorial em ambientes digitais. Por outro lado, as comunicações táteis utilizam o toque natural como uma forma de interação direta. Existem diversas aplicações para a internet tátil e háptica, e entre as mais notáveis, representadas na Figura 8, estão os seguintes exemplos:

- **Automação robótica e industrial:** envolve o uso de robôs e tecnologias avançadas de automação em ambientes de produção industrial. Este setor é impulsionado por redes avançadas que aprimoram a comunicação eficiente entre humanos e entre humanos e máquinas, promovendo uma integração mais eficaz e produtiva. Essa abordagem, parte integrante da visão da indústria 4.0, está fomentando uma diversidade de novas aplicações, facilitando a comunicação autônoma entre grandes sistemas interconectados e reduzindo a necessidade de intervenção humana. O gerenciamento industrial remoto se baseia na supervisão e controle em tempo real dos sistemas industriais. No campo da robótica, é essencial garantir um controle preciso e em tempo real para prevenir movimentos oscilatórios. Cenários avançados em robótica industrial exigem uma latência máxima de 100 μ s em enlaces de comunicação, com tempos de resposta de ida e volta não excedendo 1 ms. Além disso, operadores humanos podem monitorar as máquinas remotamente através de tecnologias de realidade virtual ou holográfica, apoiados por sensores táteis para uma interação mais efetiva.
- **Condução autônoma:** impulsionada pela comunicação e coordenação veículo-a-veículo (V2V) e veículo-a-infraestrutura (V2I), promete uma redução significativa de acidentes de trânsito e congestionamentos. Essa tecnologia requer uma latência mínima de apenas alguns milissegundos para garantir a eficácia na prevenção de colisões e na realização de condução remota. Entre suas aplicações mais promissoras, destacam-se a assistência avançada ao condutor, a formação de comboios de veículos e a implementação de sistemas de condução totalmente automatizados. Estas são as áreas focais que a tecnologia 6G pretende sustentar e aperfeiçoar. Contudo, é importante reconhecer que, dada a atual ausência de veículos autônomos plenamente operacionais, espera-se que novos requisitos e aplicações surjam e se desenvolvam na próxima década.



- **Cuidados de saúde:** telediagnóstico, cirurgia remota e telereabilitação são apenas algumas das diversas aplicações inovadoras na área da saúde. Essa tendência já foi parcialmente observada durante a pandemia de COVID-19, quando uma quantidade significativa de consultas médicas foi realizada por videoconferência. Com o avanço e a adoção de ferramentas sofisticadas de telediagnóstico, o conhecimento médico e a possibilidade de consultas se tornam globalmente acessíveis, disponíveis a qualquer hora e independentes da localização física de pacientes e profissionais de saúde. Um exemplo notável é a cirurgia remota e robótica, onde cirurgiões operam pacientes à distância, utilizando transmissões de áudio e vídeo em tempo real. Esses profissionais realizam procedimentos cirúrgicos com a ajuda de imagens visuais detalhadas e informações táteis enviadas e recebidas do robô cirúrgico. A internet tátil desempenha um papel fundamental nessa colaboração, possibilitando uma interação mais imersiva e precisa. No entanto, os requisitos técnicos para essa capacidade avançada da internet tátil ainda não podem ser plenamente atendidos pelos sistemas atuais.

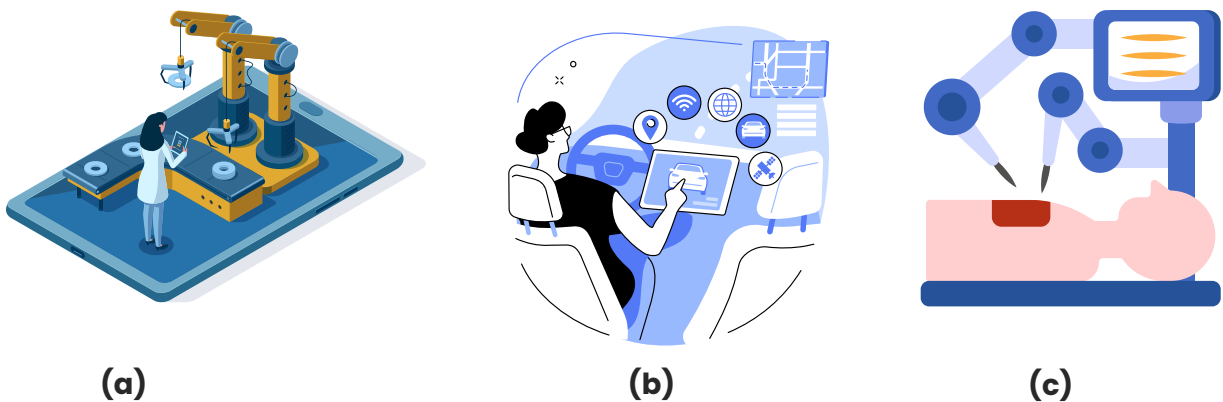


Figura 8. Aplicações da internet tátil e háptica. (a) Automação robótica e industrial, (b) Condução autônoma e (c) Cuidados de saúde.

Realidade estendida multissensorial: as aplicações de realidade aumentada, mista e virtual são essenciais neste caso de uso, pois captam entradas multissensoriais e permitem interações em tempo real do usuário. Para oferecer uma experiência imersiva de alta qualidade, são exigidas taxas de dados extremamente altas, na ordem de gigabits por segundo (Gbps), acompanhadas de latências muito baixas. Além disso, a interação remota, impulsionada por comunicações holográficas que sincronizam todas as informações de entrada sensorial humana, irá elevar ainda mais as exigências de taxa de dados e redução de latência.

A utilização de múltiplas câmeras nas comunicações holográficas, por sua vez, necessitará de taxas de transmissão de dados que chegam a Tbps para capturar e transmitir imagens com a riqueza de detalhes necessária para estas aplicações.

Cidades inteligentes: são definidas pela aplicação de tecnologias avançadas com o objetivo de ampliar a eficiência, impulsionar a sustentabilidade e elevar a qualidade de vida em espaços urbanos. Este conceito envolve a integração estratégica de sensores distribuídos em áreas públicas e edifícios, que desempenham um papel importante na coleta e análise de dados urbanos. Esses dados, quando combinados com as capacidades da inteligência artificial, permitem uma gestão urbana mais dinâmica e adaptativa, abrangendo aspectos como segurança pública, conectividade sem interrupções, implementação em larga escala de soluções urbanas, manutenção automatizada e a capacidade de identificar e resolver potenciais riscos e desafios urbanos.

Conectividade para todas as coisas: abrange vários cenários, estendendo-se ao monitoramento em tempo real de uma variedade de elementos urbanos e ambientais. Isso inclui edifícios, cidades, ambientes naturais, veículos e sistemas de transporte, estradas e infraestruturas vitais como redes de água e energia. Além disso, a Internet das Coisas Biológicas, impulsionada por dispositivos vestíveis e comunicações realizadas através de sensores implantados no corpo humano (Figura 9), promete elevar a necessidade de conectividade a um patamar muito além das atuais capacidades do mMTC. Para esses casos de uso, os principais requisitos de capacidade são altas taxas de dados, devido ao volume de informações proveniente dos sensores. Além disso, a segurança e a privacidade dos dados são de extrema importância, especialmente na transmissão de informações médicas. Em situações de emergência médica, como um ataque cardíaco, a baixa latência na transmissão de dados torna-se vital para possibilitar uma resposta rápida e eficaz.

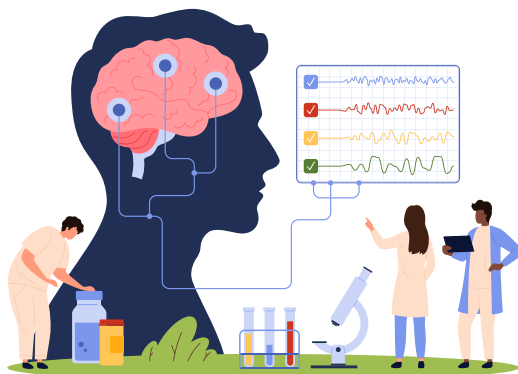


Figura 9. Utilização de sensores para o monitoramento do cérebro humano.

Conectividade em áreas remotas: atualmente, metade da população mundial carece de acesso básico à conectividade de banda larga. Em particular, a expansão da rede de telecomunicações em áreas remotas enfrenta desafios devido à ausência ou limitação da infraestrutura tradicional, como cabos de fibra óptica e torres de telefonia celular. Essa dificuldade é frequentemente agravada por fatores como terrenos acidentados, florestas densas, recursos energéticos limitados, baixa densidade populacional e a falta de investimentos econômicos necessários para a construção dessa infraestrutura. Esses fatores, quando combinados, estabelecem barreiras para a implementação de soluções de conectividade convencionais, enfatizando a necessidade de abordagens inovadoras e adaptadas para superar esses obstáculos e conectar as populações dessas áreas ao resto do mundo. Para diminuir essa divisão digital, um objetivo essencial da rede 6G é garantir 10 Mbps em todas as áreas habitadas do mundo, utilizando uma combinação de componentes de rede terrestres e espaciais. É importante que essa meta não seja apenas uma possibilidade teórica oferecida pela tecnologia, mas que os sistemas 6G sejam projetados de forma eficiente em termos de custo, permitindo implantações reais que ofereçam banda larga a toda a população mundial. A Figura 10 ilustra a cobertura em áreas remotas.

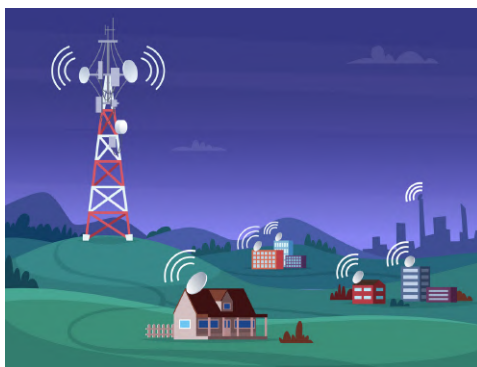


Figura 10. Cobertura em áreas remotas.

Resgate global de comunicação de emergência: com o avanço para as redes 6G, espera-se uma cobertura abrangente em todas as regiões do mundo, reforçando a infraestrutura de comunicação em situações de emergência. Esse avanço tecnológico será fundamental em cenários como terremotos, onde as redes de comunicação terrestres tradicionais frequentemente sofrem danos severos ou destruição total. Nessas circunstâncias, sistemas alternativos, como redes aéreas não tripuladas e comunicações via satélite, podem ser mobilizados para coleta de dados ambientais e monitoramento de segurança, conforme apresentado na Figura 11.

Essa integração de diversas plataformas e tecnologias é capaz de assegurar uma resposta rápida e eficiente durante emergências, mas também pode proteger vidas e otimizar os procedimentos de resgate.



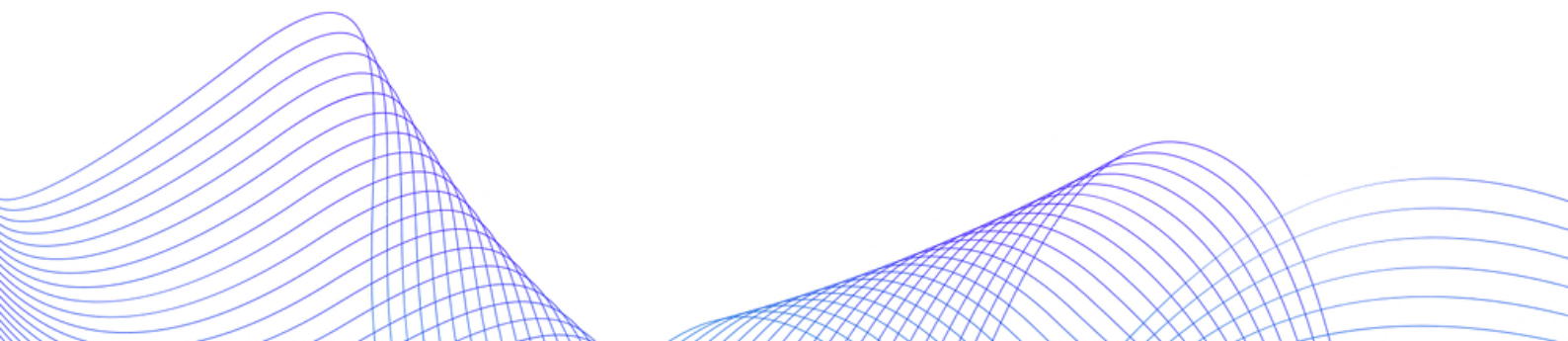
Figura 11. Ilustração de redes aéreas não tripuladas utilizadas para a coleta de dados ambientais e monitoramento de segurança em áreas remotas.

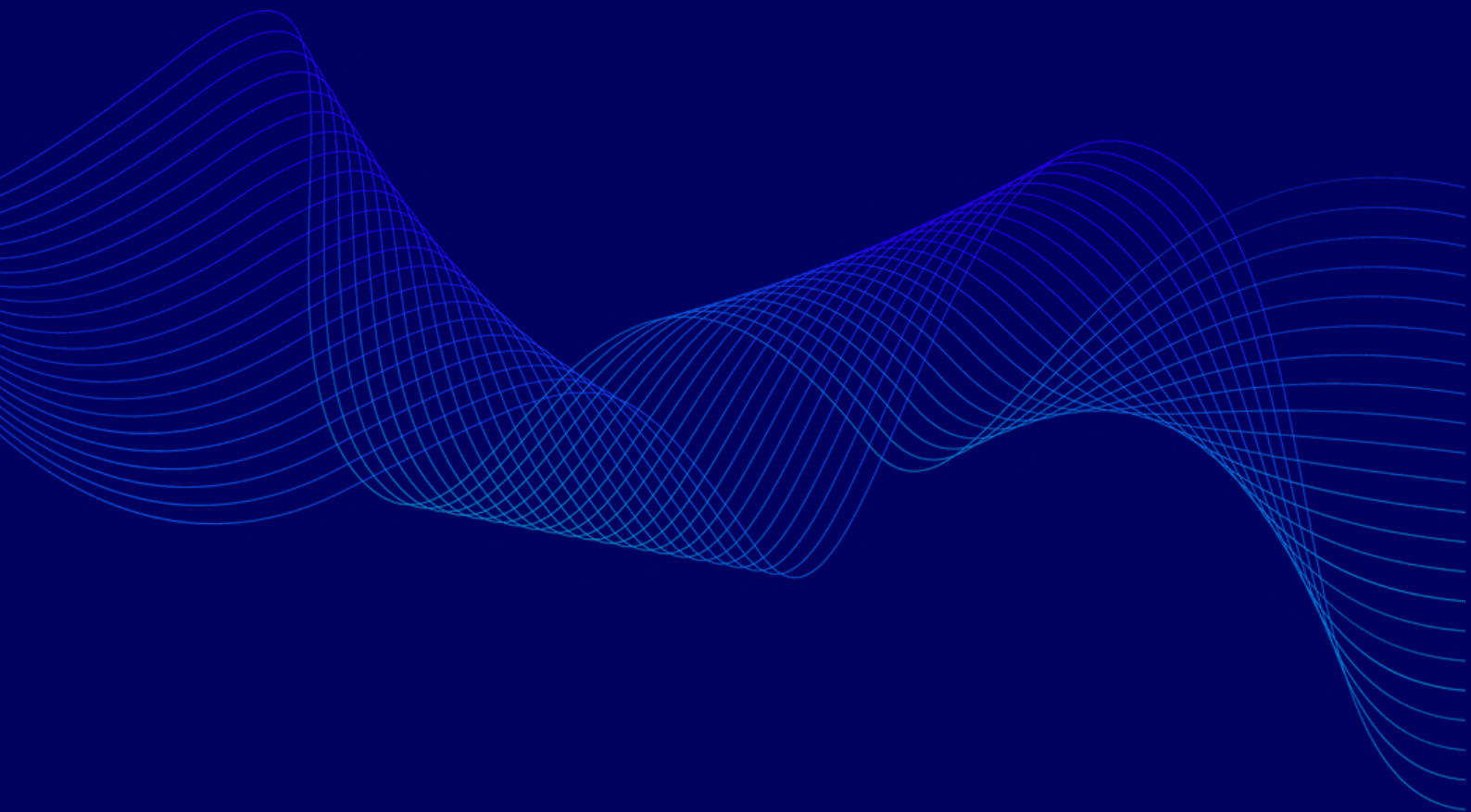
Serviços centrados no ser humano: são caracterizados pela necessidade de atingir metas específicas de Qualidade da Experiência Física (QoPE, *Quality of Physical Experience*), alinhadas às características e necessidades dos usuários. O conceito de QoPE busca expandir a compreensão da Qualidade de Serviço (QoS, *Quality of Service*) e da Qualidade de Experiência (QoE, *Quality of Experience*), ampliando o foco para além dos aspectos técnicos e da percepção subjetiva do usuário. Em vez de se limitar apenas à eficiência técnica ou à satisfação do usuário, a QoPE incorpora uma análise detalhada dos efeitos fisiológicos e físicos que as redes e os serviços de comunicação exercem sobre os indivíduos. A QoPE é relevante para tecnologias como XR, BCIs e outros serviços avançados. Nestas áreas, onde a interação entre o ser humano e a máquina é mais intensa e complexa, uma compreensão profunda e abrangente da QoPE torna-se indispensável. Essa compreensão é crucial para refinar e aprimorar a experiência do usuário, assegurando que os serviços oferecidos não sejam apenas tecnicamente eficientes, mas também proporcionem conforto, intuição e uma adaptação precisa às necessidades físicas e cognitivas dos usuários.

Serviços relacionados a convergência de comunicações, computação, controle, localização e sensoriamento (3CLS) e serviços relacionados à energia: os sistemas 6G estão sendo desenvolvidos para fornecer, de maneira conjunta e simultânea, serviços 3CLS. Esses serviços incluem comunicações sem fio avançadas, que envolvem não apenas a transmissão eficiente de dados, voz e vídeo, mas também a implementação de soluções inovadoras para otimizar a troca de informações. A computação de alto desempenho abrange desde o processamento intensivo de dados até a computação em nuvem, focada em realizar cálculos complexos, frequentemente necessários em tempo real. Adicionalmente, os sistemas 6G integram funções de controle automatizado e inteligente, variando desde a gestão de dispositivos IoT até a automação de processos industriais em larga escala. A precisão em localização e rastreamento é outro aspecto fundamental, para aplicações que exigem navegação precisa, mapeamento detalhado e gerenciamento eficiente de logística. Por fim, o sensoriamento, capaz de coletar informações do ambiente por meio de sensores diversificados, pode variar desde sensores ambientais até sensores biométricos. Tais serviços são essenciais para aplicações em XR e CRAS, nas quais o rastreamento, controle, localização e processamento computacional são elementos fundamentais. Além disso, a capacidade de sensoriamento das redes 6G permitirá aos usuários um mapeamento 3D detalhado do ambiente de rádio em diferentes frequências. Outra característica inovadora dessas redes é a capacidade de fornecer energia a dispositivos pequenos e portáteis sem a necessidade de cabos ou conexões físicas, usando tecnologias como a indução eletromagnética ou transferência de energia por radiofrequência.

3. Conclusão

Os avanços previstos para o IMT-2030 destacam a contínua adaptação e expansão dos cenários de uso, atendendo às demandas emergentes de diversas aplicações e serviços. Os casos de uso das redes 6G visam proporcionar uma infraestrutura de comunicação que não apenas satisfaz as necessidades atuais, mas também possibilita novas aplicações e serviços. Essas inovações têm o potencial de revolucionar diversos setores da sociedade, promovendo uma conectividade mais inteligente, eficiente e abrangente.





xGMobile
Centro de Competência EMBRAPPI
Inatel em Redes 5G e 6G

Inatel