

Wi-Fi 6 e Wi-Fi 6E: Uma análise comparativa dentro do novo padrão 802.11ax

Wi-Fi 6 and Wi-Fi 6E: A comparative analysis within the new 802.11ax standard

Wi-Fi 6 y Wi-Fi 6E: Un análisis comparativo dentro del nuevo estándar 802.11ax

André Andrade Santos¹

Alex Ferreira dos Santos²

Robson Hebraico Cipriano Maniçoba³

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar uma análise comparativa entre os modelos da sexta geração (802.11ax), do padrão IEEE 802.11: Wi-Fi 6 e Wi-Fi 6E. Este estudo foi impulsionado pela necessidade de trabalhos correlatos a essas duas tecnologias. Posto isto, será abordado a importância dessas para o desenvolvimento das próximas gerações, haja vista que, em alguns anos, os dispositivos Wi-Fi estarão transportando mais da metade do tráfego de dados global.

Palavras-chave: Wi-Fi 6; Wi-Fi 6E; Análise; Comparação.

Abstract: This article aims to present a comparative analysis between the sixth generation models (802.11ax), of the IEEE 802.11 standard: Wi-Fi 6 and Wi-Fi 6E. This study was driven by the need for work related to these two technologies. That said, their importance for the development of the next generations will be addressed, given that, in a few years, Wi-Fi devices will be carrying more than half of global data traffic.

Key-words: Wi-Fi 6; Wi-Fi 6E; Analysis; Comparison.

Resumen: Este artículo tiene como objetivo presentar un análisis comparativo entre los modelos de sexta generación (802.11ax), del estándar IEEE 802.11: Wi-Fi 6 y Wi-Fi 6E. Este estudio fue impulsado por la necesidad de trabajo relacionado con estas dos tecnologías. Dicho esto, se abordará su importancia para el desarrollo de las próximas generaciones, dado que, en unos años, los dispositivos Wi-Fi transportarán más de la mitad del tráfico de datos mundial.

Palabras-llave: Wifi 6; Wifi 6E; Análisis; Comparación.

1 Graduado em Sistemas de Informação. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). E-mail: whoisandrade@gmail.com

2 Doutor em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e Pós-Graduação em Ciência da Computação (PGCC) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). E-mail: alex.ferreira@ufrb.edu.br

3 Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). E-mail: rhcmanicoba@uesb.edu.br

1 Introdução

Wireless Fidelity ou simplesmente Wi-Fi é o nome dado a conexões de Internet de alta qualidade que não necessitam de cabeamento. Essas conexões passaram, ao longo do tempo, por diversas mudanças e melhorias, como o aumento de amplitude, a velocidade suportada e a diminuição de latência, buscando garantir maior autonomia, rapidez, segurança e conforto para os seus usuários. Atualmente, existe uma infinidade de dispositivos que utilizam dessa tecnologia nas mais diversas áreas da nossa sociedade (CHOPRA; GUPTA; LAMBORA, 2019).

Segundo previsões da Wi-Fi Alliance, até 2022, quase 18 bilhões de dispositivos Wi-Fi estarão em uso no mundo, transportando mais da metade do tráfego de dados global (WI-FI ALLIANCE, 2022). Engana-se quem limita a sua utilização apenas a smartphones, tablets e notebooks. Nesse sentido, vários outros segmentos utilizam a presente tecnologia citada, tais como: entretenimento, saúde, lazer, segurança, dentre outros. Através da realidade aumentada, assistida pelo padrão de qualidade Wi-Fi, estudantes podem ter uma experiência de aprendizado mais envolvente e médicos podem fornecer um diagnóstico mais rápido e consistente aos seus pacientes (ZTE, 2020).

Periodicamente, em razão do aumento de pesquisas e publicações na área, essa tecnologia passa por uma série de melhorias, permitindo com que um novo padrão seja criado. No presente momento, o padrão a ser estabelecido no mercado é o 802.11ax, também conhecido como Wi-Fi 6 (MOZAFFARIAHRAR; THEOLEYRE; MENTH, 2022). Como consequência do lançamento desse modelo, além do padrão principal, foi anunciado, meses depois, uma extensão desse exemplar em 6 GHz, chamado Wi-Fi 6E (WI-FI ALLIANCE, 2023). Com o intuito de obter a um conhecimento mais profundo acerca dessas recém-lançadas tecnologias e sobre as decisões envolvendo tais mudanças, percebe-se a necessidade de um estudo mais específico, concentrado e completo.

Assim, busca-se estabelecer um painel comparativo entre tais tecnologias, além do mapeamento a respeito das possibilidades que cada uma tem a oferecer, apresentando conceitos e termos importantes sobre o tema. Os assuntos estão dispostos em seção, de maneira a contribuir para a fluidez da leitura. Na primeira seção, serão abordados os conceitos importantes que garantem total compreensão do estudo. Posteriormente, os aspectos presentes no Wi-Fi 5 e seus antecessores serão relatados. Em seguida, será realizada a apresentação do Wi-Fi 6 e Wi-Fi 6E, respectivamente. Por fim, as observações entre as ideias abordadas serão exposta.

2 Conceitos

A discussão analítica envolvendo assuntos atuais, sobretudo no meio tecnológico, deve ser realizada de maneira minuciosa. As áreas relativas à tecnologia avançam diariamente e manter-se atualizado requer muita leitura e dedicação.

Segundo a teoria construtivista da aprendizagem do psicólogo norte-americano Jerome Bruner (1956), a aprendizagem é um processo ativo baseado nos conhecimentos prévios, a partir dos quais o aprendiz constrói novas ideias a respeito de um conceito, transformando-o em algo novo, através de sua estrutura cognitiva.

Dessa forma, serão apresentados alguns conceitos relativos à temática abordada nesse estudo, com o intuito de garantir um maior aprendizado da narrativa.

- **Bandas ISM (*Industrial Scientific and Medical*) não licenciadas:** As faixas de frequência ISM são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento industrial, científico e médico. Em 1985, o FCC (*Federal Communications Commission*), que é um órgão regulador da área de telecomunicações e radiodifusão, fundado em 1934, nos Estados Unidos, desvencilhou parte do espectro de frequência para desenvolvimentos livres, sem a necessidade de licenciamento de utilização de frequência, e introduziu normas para limitação de potência de transmissão e técnicas de modulação dentro dessas faixas (TELECO, 2023).
- **Camada MAC (*Medium Access Control*):** Os protocolos usados para determinar quem será o próximo em um canal de multiacesso pertencem a uma subcamada da camada de enlace de dados, chamada subcamada MAC. A subcamada MAC é especialmente importante em LANs que, em sua maioria, utilizam um canal de multiacesso como base na sua comunicação (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).
- **MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*):** É um método para multiplicar a capacidade de um link de rádio usando várias antenas de transmissão e recepção para explorar a propagação de multicaminhos (SANAYEI; NOSRATINIA, 2004).
- **CCA (*Clear Channel Assessment*):** É um elemento central dos protocolos de controle de acesso ao meio (MAC) da rede de sensores sem fio (WSN – *Wireless Sensor Network*), que é usado no lado do transmissor e do receptor. As implementações atuais de CCA não podem determinar o tipo de dispositivo que ocupa a mídia, deixando os nós incapazes de diferenciar entre tráfego WSN e interferência (KING; ROEDIG, 2018).

- **Coloração BSS (*Basic Service Set*):** A BSS marca as frequências compartilhadas para permitir que os pontos de acesso 802.11ax determinem se o uso simultâneo do espectro é permitido. Essa tecnologia reduz a interferência devido ao congestionamento e garante um serviço consistente para vários dispositivos conectados em ambientes de alta densidade (MORAIS, 2023).
- **DFS (*Dynamic Frequency Selection*):** A Seleção Dinâmica de Frequência (DFS) é um mecanismo de compartilhamento de espectro que permite que várias redes locais sem fio coexistam com sistemas de radar. Esse seleciona, automaticamente, a uma frequência que não interfere com determinados sistemas de radar enquanto opera na banda de 5 GHz.
- **DL/UL MU MIMO:** É um novo recurso importante introduzido com Wi-Fi 6 (802.11ax). Aproveitando o UL MU-MIMO, vários clientes conectados ao ponto de acesso serão capazes de enviar respostas de confirmação (*ack*), simultaneamente, economizando tempo de antena. Em última análise, isso melhora o rendimento e a eficiência da rede (CISCO, 2023).
- **DCM (*Dual Carrier Modulation*):** Esse modula as mesmas informações em um par de subportadoras. Isso, efetivamente, reduz pela metade a taxa de transmissão em comparação com a transmissão não DCM. O DCM é compatível apenas com transmissões MIMO não MU de 1 e 2 fluxos e não pode ser combinado com a codificação de bloco no espaço-tempo (STBC) (ARISTA, 2023).
- **DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*):** É uma técnica de modulação de espectro de difusão usada, principalmente, para reduzir a interferência geral do sinal. A modulação de sequência direta torna o sinal transmitido mais largo em largura de banda do que a largura de banda de informação (MADDY, 2023).
- **FHSS (*Frequency-Hopping Spread Spectrum*):** É um método de transmissão de sinais de rádio, por meio do deslocamento de portadoras. Desta forma, vários canais são transmitidos com sequência pseudoaleatórias, sendo estes já conhecidos pelo emissor e pelo receptor (DOSTERT, 1990).
- **Largura de Banda de Canal:** A Largura de Banda ou *Bandwidth* (termo original em inglês) é a medida de capacidade de transmissão de um determinado meio, conexão ou rede, determinando a velocidade que os dados passam através desta rede específica (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

- **Long OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) symbol:** É um sinal que permite um intervalo de guarda de até 3,2 microssegundos com a área do pacote de dados sendo aumentada 4x, ou até 12,8 microssegundos. Isso oferece uma tolerância muito mais ampla, reduz a sobrecarga e aumenta a taxa de transferência, tornando o Wi-Fi externo mais confiável (CommScope, 2023).
- **Modulação 1024-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*):** É um esquema de modulação de ordem superior mais eficiente (ZTE, 2020).
- **OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*):** É uma versão multiusuário de esquema de modulação digital OFDM. Esse agrupa subportadoras para formar unidades de recursos (RUs) e, em seguida, aloca as RUs para implementar a transmissão simultânea para vários usuários, em vários endereços (ZTE, 2020).
- **CSMA/CA (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance*):** É um protocolo de contenção de rede utilizado para a transmissão de operadora em redes que usam o padrão 802.11. Em contraste com o protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect*), que lida com as transmissões somente após a ocorrência de uma colisão, o CSMA/CA trabalha para evitar colisões antes de sua ocorrência. O CSMA/CA aumenta o tráfego da rede, pois, requer o envio de um sinal para a rede antes mesmo de transmitir quaisquer dados reais. Isso serve para ouvir quaisquer cenários de colisão na rede e para informar outros dispositivos para não transmitir (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).
- **QoE (*Quality of Service*):** É um termo que emergiu historicamente de QoS (*Quality of Service*). Enquanto o QoS tem como objetivo medir e garantir a entrega de determinados parâmetros de rede (perda de pacotes, jitter, latência, etc), o QoE mede o grau de satisfação do usuário com um determinado fornecedor, seja este de conteúdo, internet, serviço, equipamentos, entre outros (ZHU *et al*, 2004).
- **RSSI (*Received Signal Strength Indication*):** Tem a função de medir um sinal para determinar se existe potência suficiente para obter uma boa conexão sem fio. Nota: Como um valor RSSI é obtido da placa Wi-Fi do dispositivo do cliente (portanto, força do sinal "recebido"), não é o mesmo que transmitir energia de um roteador ou AP (*Access Point*) (KAEMARUNGSI, 2006).
- **SR (*Spatial Reuse*):** A coloração BSS permite que um dispositivo distinga as transmissões

de sua própria rede Wi-Fi daquelas das redes adjacentes. A potência de transmissão e o limite de detecção de potência (PD) podem ser ajustados dinamicamente para aumentar SR (WILHELMI *et al.*, 2021).

- **Segmentação de Rede:** Segmentação de rede é uma técnica de segurança de rede que divide uma rede em sub-redes menores e distintas que permitem que as equipes de rede compartilhem as sub-redes e forneçam controles e serviços de segurança exclusivos a cada sub-rede (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).
- **TWT (*Target Wake Time*):** Esse reduz o consumo de energia e a competição de acesso à mídia (NURCHIS; BELLALTA, 2019).

3 Wi-Fi 5 e Antecessores

Nos últimos 20 anos, o IEEE 802.11, comumente conhecido como Wi-Fi, evoluiu de 2 Mbps para velocidades de gigabit, um aumento de 1000 vezes na taxa de transferência. Desde o 802.11, que foi lançado em 1997, até o 802.11ax, que foi implementado em 2019, a família 802.11 de padrões Wi-Fi passou por seis gerações. Desde então, a tecnologia Wi-Fi passou por um notável desenvolvimento e ampla adoção. O lançamento do 802.11ax é mais um avanço da tecnologia Wi-Fi. Em outubro de 2018, a Wi-Fi Alliance decidiu nomear as gerações de Wi-Fi no formato “Wi-Fi + número”. Em setembro de 2019, eles revelaram um programa de certificação Wi-Fi 6 para promover a aplicação da tecnologia Wi-Fi em dispositivos, assim como em inúmeros setores da indústria (BANERJI; CHOWDHURY, 2013).

A partir desses lançamentos e implementações, com a abertura do mercado e o surgimento de novas tecnologias, o mundo começou a mudar. Cada novo padrão se baseia em modelos anteriores, melhorando a velocidade e a confiabilidade. A seguir serão apresentadas as versões do Wi-Fi (KLEINROCK, 2008), (KAUSHIK, 2012), (CHEN *et al.* 2022).

3.1 Wi-Fi 1

Em 1997, o primeiro padrão sem fio da família foi lançado, o 802.11, mas, agora está obsoleto. Esse padrão define o protocolo e a interconexão compatível de equipamentos de comunicação de dados, via aérea, em uma rede local (LAN - *Local Area Network*) usando protocolo de acesso múltiplo com detecção de portadora com prevenção de colisão (CSMA/CA). Esse protocolo oferece suporte a três tecnologias de camada física, incluindo infravermelho operando a 1 Mbps, um espectro de propagação de salto de frequência (FHSS), com suporte da mesma

velocidade e uma taxa de dados opcional de 2 Mbps, ou, um espectro de difusão de sequência direta (DSSS), com suporte a taxas de dados de 1 e 2 Mbps. Essa geração não foi amplamente aceita, devido a problemas de interoperabilidade, custo e falta de taxa de transferência suficiente.

3.2 Wi-Fi 2

Em meados de 1999, contendo, teoricamente, uma taxa de dados de 11 Mbps, e, usando o mesmo método de acesso ao meio CSMA/CA definido no padrão original, os produtos do padrão 802.11b apareceram no mercado. O forte aumento na taxa de transferência e a redução no preço fizeram com que esse modelo fosse amplamente aceito como uma tecnologia sem fio. Essa geração possui uma largura de banda de canal de 22 MHz, podendo operar a 11 Mbps, mas voltar para 5,5, depois para 2 e depois para 1 Mbps (seleção de taxa adaptativa), a fim de diminuir a taxa de retransmissões resultantes de erros. O padrão 802.11b compartilha a mesma largura de banda de frequência de outros padrões sem fio. Portanto, em ambientes fechados, dispositivos sem fio, como fornos de micro-ondas, dispositivos Bluetooth e telefones sem fio, podem interferir no Wi-Fi.

Em 1999, também foi lançado o padrão 802.11a, usando o mesmo protocolo principal do padrão original. Esse, opera a 5 GHz e usa uma multiplexação por divisão de frequência ortogonal de 52 subportadoras (OFDM), com uma taxa de dados teóricos de 54 Mbps. Isso atinge uma taxa de transmissão real de 20 Mbps. Esse modelo não pode funcionar com 802.11b porque eles operam em diferentes bandas ISM não licenciadas. À medida que 2,4 GHz se torna, cada vez mais, congestionado, a banda de 5 GHz oferece vantagens significativas para 802.11a. A largura de banda do canal é de 20 MHz e a largura de banda ocupada é de 16,6 MHz. Inicialmente, os produtos 802.11a não foram amplamente aceitos devido ao custo, baixo alcance e incompatibilidade com 802.11b.

3.3 Wi-Fi 3

No ano de 2003, a terceira geração o 802.11g tornou-se disponível. Esse usa a mesma tecnologia de multiplexação por divisão de frequência ortogonal de 52 subportadoras (OFDM) introduzida no 802.11a. Conforme padrão anterior, suporta a uma taxa teórica máxima de 54 Mbps. Todavia, como no 802.11b, opera no congestionamento da frequência de 2,4 GHz e, portanto, pode apresentar problemas de interferência. Essa terceira geração é compatível com 802.11b (ou seja, dispositivos 802.11b podem se conectar a um ponto de acesso 802.11g). Esse padrão foi capaz de lidar com os pontos de acesso de banda dupla ou modo duplo usando 802.11a e 802.11b/g.

3.4 Wi-Fi 4

Com o 802.11n, o Wi-Fi se tornou ainda mais rápido e confiável, com a adição de canais MIMO e 40 MHz à camada física (PHY - *Physical Layer*). É importante ressaltar que foi implementado os quadros à camada MAC. A quarta geração da família permite até 4 fluxos espaciais com uma taxa de transferência máxima teórica de 600 Mbps. Além disso, essa geração é compatível com versões anteriores de 802.11g, 11b e 11a.

3.5 Wi-Fi 5

Fornecendo velocidades de gigabit por segundo através da extensão dos conceitos da versão anterior, que incluem largura de banda mais ampla (até 160 MHz), mais fluxos espaciais MIMO (até 8), MIMO multiusuário de *downlink* (até quatro clientes) e modulação de alta densidade (até 256 QAM), a primeira onda do 802.11ac foi lançada em 2013. Nessa época, era suportado apenas canais de 80 MHz e até 3 fluxos espaciais, fornecendo até 1300 Mbps na camada física. Esse padrão funciona exclusivamente na banda de 5 GHz, portanto, os clientes e pontos de acesso de banda dupla continuarão a usar o 802.11n a 2,4 GHz.

Os produtos da segunda onda foram lançados em 2015 e suportam mais ligação de canal, mais fluxos espaciais e MU-MIMO, além de usar uma tecnologia chamada *beamforming*. Enquanto o MIMO direciona fluxos múltiplos para um único usuário, o MU-MIMO pode direcionar fluxos espaciais para vários clientes, simultaneamente, melhorando, assim, a eficiência da rede. Os roteadores 802.11ac são compatíveis com as versões anteriores de 802.11b, 11g, 11a e 11n, o que significa que todos os clientes legados funcionam bem com o roteador 802.11ac. A Tabela 1 apresenta o comparativo entre as gerações da família 802.11.

Tabela 1 - Comparativa entre as gerações da família 802.11

IEEE 802.11	Data de Lançamento	Banda(s) de frequência	Largura de Banda	Taxa de Transferência máxima
802.11-1997	1997	2.4	22	2 Mbps
11b	1999	2.4	22	11 Mbps
11 ^a	1999	5	20	54 Mbps
11g	2003	2.4	20	54 Mbps
11n (Wi-Fi 4)	2009	2.4/5	20/40	600 Mbps
11ac (Wi-Fi 5)	2013	2.4/5	20/40/80/160	6.8 Gbps
11ax (Wi-Fi 6)	2019	2.5/5	20/40/80/160	10 Gbps

Fonte: QORVO (2023)

3.6 Wi-Fi 6

802.11ax é o nome atribuído pela organização de padrões IEEE 802.11 ao padrão WLAN de nova geração, lançado em 2019. Para facilitar a popularização desta tecnologia, como visto anteriormente, a Wi-Fi Alliance decidiu, em outubro de 2018, nomear as gerações de Wi-Fi no formato “Wi-Fi + número”. Quando os usuários usam Wi-Fi, eles podem saber o padrão de tecnologia e o nível de taxa de acordo com o número, da mesma forma que conhecem o padrão de rede celular que usam de acordo com o adesivo 3G/4G em seus telefones celulares. No novo formato, Wi-Fi 5 corresponde a 802.11ac e Wi-Fi 6 a 802.11ax.

À medida que novos serviços como casas inteligentes, videoconferência e realidade aumentada ganham popularidade, as redes Wi-Fi começam a ter congestionamento graças ao número crescente de dispositivos inteligentes. Isso torna o aumento da eficiência espectral (medida de eficiência usada em sistemas de comunicação, ou seja, relaciona a taxa máxima de transmissão para uma dada largura espectral do canal), mais um problema do que o aumento da taxa teórica de transmissão para a próxima geração de Wi-Fi para resolver enquanto busca fornecer acesso para mais estações.

Em termos de aumento da taxa teórica de transmissão, a sexta geração herda a tecnologia 8x8 (MIMO) da versão anterior, ao mesmo tempo em que fornece a modulação 1024-QAM de ordem superior e suporta longos símbolos de multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) para melhorar o rendimento. Para melhorar a eficiência espectral, o 802.11ax apresenta de forma inovadora a tecnologia de acesso múltiplo por divisão de frequência ortogonal (OFDMA) enquanto usa 8x8 MU-MIMO para implementar a diversidade espacial. Embora a taxa teórica de transmissão da sexta geração seja apenas 37% maior do que a da quinta geração, a taxa de transferência por usuário do 802.11ax em ambientes densos deve ser pelo menos quatro vezes maior do que do 802.11ac devido à utilização espectral mais eficiente e devido a melhorias projetadas para implantação intensiva.

Ao contrário do 802.11ac, o 802.11ax é uma tecnologia de banda dupla de 2,4 e 5 GHz. Desta forma, os clientes que tiverem apenas 2,4 GHz, continuarão tendo acesso a essa tecnologia. Mais importante ainda, o suporte a 802.11ax 2,4 GHz aumenta significativamente o alcance do Wi-Fi, adicionando *beamforming* baseado em padrões e permitindo novos casos de uso e modelos de negócios para cobertura interna e externa.

Para aprimorar a eficiência espectral, aumentar a taxa de transferência e melhorar o

desempenho em cenários densos, a sexta geração tem melhorias nas seguintes tecnologias principais em comparação com o 802.11ac:

Quadro 1 - Comparação de recursos entre 802.11ax e 802.11ac.

Recurso	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6
OFDMA	Não tem suporte	Suportado
MU-MIMO	Apenas Downlink	Tanto Downlink quanto Uplink são suportados
1024QAM	Não tem suporte	Suportado
Spatial Reuse (SR)	Não tem suporte	Suportado
Target Wake Time (TWT)	Não tem suporte	Suportado
Long OFDMsymbol	GI: 0.4 μ s/0.8 μ s Symbol duration: 3.2 μ s	GI: 0,8 μ s, 1,6 μ s ou 3,2 μ s Duração dosímbolo: 12,8 μ s
Dual Carrier Modulation (DCM)	Modulação de portadora única	Suportado. Um sinal é transmitido simultaneamente por duas subportadoras para alcançar a diversidade.
Extended Range (ER)	Não tem suporte	Suportado

Fonte: (ZTE, 2020)

Comparado com o Wi-Fi 5, o Wi-Fi 6 é mais aplicável aos lugares onde exigem de alta taxa, alta densidade e baixa latência. Aplicativos domésticos de alta taxa são principalmente aqueles que envolvem dispositivos usáveis de vídeo inteligentes, como vídeo HD (*High Definition*) e realidade virtual e aumentada. Os cenários de alta densidade são principalmente para casas inteligentes e segurança inteligente. Os cenários de baixa latência são principalmente para serviços emergentes, incluindo jogos On-line e jogos em nuvem. Os tópicos a seguir resumem os principais indicadores de capacidade do Wi-Fi 6 nesses cenários (ZTE, 2020).

- **Alta largura de banda:** O Wi-Fi 6 pode atingir de forma estável 500 Mbps de largura de banda na faixa de 5 GHz, que é mais do que o dobro da taxa exigida pela realidade virtual;
- **Baixa latência:** Com base na identificação do serviço de realidade virtual, o Wi-Fi 6 garante que o tráfego do canal dedicado de realidade virtual seja inferior a 50% do tráfego de pico e que a latência média seja inferior a 5ms;
- **Alta densidade:** O Wi-Fi 6 permite que 128 estações sejam conectadas simultaneamente, possibilitando o desenvolvimento de serviços como Internet das coisas (IoT - *Internet of Things*) em casa.

Uma rede de acesso, sem fio, construída com a tecnologia Wi-Fi 6, pode facilmente

fornecer acesso sem fio de alta densidade e habilitar serviços sem fio de alta capacidade. O Wi-Fi 6 não representa simplesmente um aumento na taxa, que é de até 9,6 Gbps. Ao introduzir as tecnologias DL/UL MU MIMO e OFDMA, o Wi-Fi 6 atende aos requisitos de acesso em cenários de multiusuários densos e melhora a eficiência geral da rede sem fio. Essa usa tecnologias que incluem estreitamento de espaçamento de subportadora, extensão de comprimento de símbolo, coloração BSS e CCA dinâmico para melhorar a capacidade anti-interferência para atender aos requisitos de transmissão de baixa latência de serviços de vídeo e jogos.

O IEEE 802.11ax permite que os pontos de acesso suportem mais clientes em ambientes densos e forneçam uma melhor experiência para redes LAN sem fio típicas. Essa, também, proporciona um desempenho mais previsível para aplicativos avançados, como vídeo 4K, Ultra HD, escritório sem fio e Internet das Coisas. O agendamento flexível do horário de ativação permite com que os dispositivos clientes muito mais do que com 802.11ac e, estendendo a vida útil da bateria de smartphones, IoT e outros dispositivos.

Por exemplo, o Wi-Fi 6 pode ser utilizado para fornecer acesso, sem fio, nas redes do campus. Com base no acesso de baixo custo, ampla cobertura e alta qualidade resultante, os serviços de colaboração de escritório, baseados em vídeo, podem ser implementados para melhorar a experiência de rede dos funcionários e aumentar a eficiência do trabalho (LINEPOINT, 2023).

Além disso, a tecnologia Wi-Fi 6 pode ser usada para fornecer acesso, sem fio, em grandes locais públicos, internos e externos. Por exemplo, o aeroporto é um típico local público de alta densidade. Para que um aeroporto ofereça aos passageiros serviço de acesso Wi-Fi, três questões ~~também~~ devem ser consideradas, além da operação e gerenciamento da rede (ZTE, 2020).

Primeiro, muitos usuários de terminal precisam estar conectado sem diminuir a eficiência de toda a rede sem fio. O Wi-Fi 6 apresenta tecnologias como *uplink* MU-MIMO, OFDMA e codificação de alta ordem 1024-QAM para aumentar a utilização dos recursos do espectro e permitir o acesso multiusuário, o que, por sua vez, aumenta a capacidade da rede e a eficiência de transmissão. Em um ambiente denso, o Wi-Fi 6 aumenta a taxa de transferência, por usuário, pelo menos quatro vezes, e, o número de usuários simultâneos pelo menos três vezes em comparação com o Wi-Fi 5. Por esse motivo, o Wi-Fi 6 também é chamado de WLAN de alta eficiência (KAUSHIK, 2012).

Em segundo lugar, os passageiros devem usufruir de transmissão sem fio estável e de alta qualidade. À medida em que mais aplicativos de vídeo, como filmes, TV, Realidade

Virtual/Realidade Aumentada e escritório móvel surgem, eles impõem requisitos mais elevados de qualidade de transmissão de rede. Especificamente, eles exigem alta largura de banda, baixa latência e baixas taxas de erro de bit. O Wi-Fi 6 usa o estreitamento de espaçamento de subportadora, extensão de comprimento de símbolo, coloração BSS e CCA dinâmico para melhorar a capacidade anti-interferência, garantindo transmissão sem fio estável e de alta qualidade e aprimorando a experiência de serviço (CHEN *et al.* 2022).

Terceiro, os passageiros devem ter acesso e transmissão de dados seguros, especialmente em um ambiente aberto. Embora o padrão Wi-Fi 6 em si não especifique nenhuma nova função ou aprimoramento de segurança, a Wi-Fi Alliance (WFA) lançou um padrão de criptografia de nova geração - WPA3. É um modo de criptografia mais seguro e se tornou parte da configuração padrão do Wi-Fi 6. O WPA3 criptografa dados personalizados para aprimorar a proteção da privacidade do usuário em redes de acesso aberto. É um recurso usado para criptografar as conexões entre cada dispositivo e o ponto de acesso. Portanto, o WPA3 pode ser usado em conjunto com o Wi-Fi 6 para garantir o acesso seguro aos passageiros do aeroporto (ZTE, 2020).

3.7 Wi-Fi 6E

O Wi-Fi 6E tem sido fortemente difundido e utilizado, pela indústria e comércio. De fabricantes de chipsets e equipamentos a provedores de serviços e usuários finais, todos concordam que mais do que dobrar o espectro disponível revolucionará a experiência do usuário Wi-Fi. Os fabricantes de chipsets já anunciaram novos produtos capazes de suportar a banda de 6 GHz e os equipamentos de consumo podem estar disponíveis no final de 2020 (MORAIS, 2023).

Para alguma perspectiva sobre por que esse é um evento tão marcante para o Wi-Fi, deve-se notar que desde o seu início nos Estados Unidos, em 1985 até o presente, o Wi-Fi recebeu um total de apenas 583 MHz de espectro em ambas as bandas de 2,4 e 5 GHz combinadas. Esse acúmulo de espectro ocorreu em várias concessões separadas ao longo dos anos. O Wi-Fi tem crescido constantemente em popularidade e fornece benefícios econômicos comprovados. As capacidades do Wi-Fi também aumentaram e, como resultado, seu uso nas bandas de 2,4 e 5 GHz atingiu seus limites (KAUSHIK, 2012).

O Wi-Fi 6E não aconteceu da noite para o dia e as soluções que traz foram todas estudadas e amplamente direcionadas para resolver a desafios específicos. O Wi-Fi fez muitos avanços que contribuíram para seu sucesso crescente ao longo dos anos. Assim como o Wi-Fi 6 foi criado para resolver alguns dos problemas inerentes às operações de Wi-Fi 1 ao 5, o Wi-Fi 6E agora

implementará regras de espectro que favorecem a melhores operações de Wi-Fi. A especificação Wi-Fi 6E foi projetada e implementada para remover os obstáculos do espectro que impediram os usuários de aproveitar alguns dos recursos mais interessantes do Wi-Fi (como canais de 80 e 160 MHz) (CISCO, 2023).

Espectro não licenciado adicional é necessário para enfrentar os principais desafios que os usuários de Wi-Fi enfrentam, conforme descrito abaixo (KLEINROCK, 2008), (KAUSHIK, 2012), (CHEN *et al.* 2022):

- **Congestionamento:** O baixo número de canais Wi-Fi disponíveis hoje força os usuários a compartilharem a largura de banda disponível e cria congestionamento. Como cada estação cliente espera sua vez para transmitir (ou receber) dados, o congestionamento é causado por dispositivos, pontos de acesso e estações, compartilhando o mesmo canal.
- **Disponibilidade de canal restrita de 80 MHz e 160 MHz:** Hoje, a quantidade limitada de espectro contíguo torna difícil habilitar canais de 80 MHz ou 160 MHz, limitando, assim, a uma maior taxa de transferência que só pode ser alcançada com largura de banda de canal amplo. Em ambientes densos, como estádios e aeroportos ou em grandes empresas, é difícil encontrar um canal de 80 MHz ou 160 MHz livre de interferências causadas por dispositivos em canais sobrepostos. Em resposta, os administradores de rede geralmente optam por desabilitar esses recursos, restringindo ~~assim~~ as velocidades de dados disponíveis em sua rede.
- **Dispositivos legados:** os padrões IEEE 802.11 sempre garantiram que os modelos mais novos fossem compatíveis com os anteriores. Dispositivos mais antigos e mais novos podem interoperar, no entanto, a taxa de transferência geral de dados é limitada pelos dispositivos mais lentos. Dispositivos legados, como 802.11b/g/n, requerem mais tempo de transmissão para transmitir dados, aumentando a latência e reduzindo a taxa de transferência para todos os usuários.

Intervalos historicamente definidos para operações de Wi-Fi foram adicionados ao longo do tempo, conforme o espectro se tornava disponível. As faixas de espectro desejáveis que não estão sendo usadas são difíceis de encontrar, mas, as tecnologias mudam ou se tornam obsoletas com o tempo. Conforme isso acontece, as faixas do espectro enxergam cada vez menos usuários primários, e algumas faixas eventualmente são atribuídas novamente para outros usos. O espectro é um recurso precioso e à medida que o Wi-Fi amadureceu, a tecnologia também se desenvolveu.

O DFS, por exemplo, foi desenvolvido para permitir uma coexistência mais cognitiva entre o Wi-Fi e os sistemas de radar existentes, permitindo a adição de 240 MHz (U-NII-2c) para operações de Wi-Fi em 2003.

O Wi-Fi nos Estados Unidos, por exemplo, tem permissão para operar em U-NII-1, U-NII-2a, U-NII-2c e U-NII-3, totalizando 500 MHz de largura de banda de 5 GHz. No entanto, os intervalos deixam lacunas de cobertura entre os intervalos atuais do U-NII. Essas lacunas podem ser vistas nos números de canal atribuídos, que saltam de 64 para 100 entre U-NII-2a e 2c e novamente entre U-NII-2c e 3. Como tal, o Wi-Fi tem operado em uma faixa descontínua. Começando com o protocolo 802.11n (Wi-Fi 4), uma técnica chamada união de canais permitiu que dois canais de 20 MHz fossem unidos para formar um único canal de 40 MHz. Dobrar a largura do canal quase dobrou a taxa de transferência de dados que poderia ser enviada (CISCO, 2023).

Assim como uma rodovia mais larga permite mais tráfego, a vinculação de canais permite com que mais dados sejam enviados durante o mesmo período. No entanto, a ligação de canal requer que o canal ligado seja criado a partir de uma faixa de frequência contínua. Com as lacunas de cobertura em 5 GHz, esse requisito limita quantos canais largos podem ser formados. Além disso, o uso de alguns dos maiores canais deixa faixas de frequência que são como fragmentos; eles não podem ser combinados. Em outras palavras, existe espectro desperdiçado.

Wi-Fi 6E é 1200 MHz de espectro contíguo que fornece cobertura contínua em U-NII⁴-5, U-NII-6, U-NII-7 e U-NII-8. Sem lacunas na cobertura para a maioria das classes de acesso, permite uma extensão eficiente do plano do canal, independentemente da largura, sem desperdícios. Canais mais amplos são mais rápidos (CHEN *et al.* 2022).

Indiscutivelmente, uma das razões pelas quais o Wi-Fi teve tanto sucesso é a compatibilidade com versões anteriores que é integrada para garantir que os protocolos da geração anterior ainda possam ser utilizados. Hoje em dia é bastante comum encontrar uma mistura de tipos de clientes e recursos operando na rede Wi-Fi. Acontece que isso não é o ideal por dois motivos (CISCO, 2023), (KLEINROCK, 2008), (KAUSHIK, 2012), (CHEN *et al.* 2022):

- Os clientes mais antigos simplesmente não são tão eficientes e exigem uma parte maior do tempo de transmissão para enviar a mesma quantidade de dados;
- A sobrecarga do protocolo de gerenciamento para manter a compatibilidade com versões anteriores geralmente é mensurável e contribui para maiores perdas de eficiência.

⁴ Unlicensed National Information Infrastructure

O Wi-Fi 6E acaba com as complexidades de multiprotocolos do passado, limitando o acesso apenas ao Wi-Fi 6 e aos protocolos mais recentes na banda de 6 GHz. O acoplamento do protocolo Wi-Fi 6 com o espectro do Wi-Fi 6E permitirá que os recursos do Wi-Fi 6 brilhem em um ambiente essencialmente novo. O Wi-Fi 6 fornece um MAC agendado determinístico e suporta segmentação de rede, excelente QoE e latência otimizada de menos de 2 ms em uma direção.

Podemos pensar na seguinte situação: “Wi-Fi 6E parece legal e tudo, mas as frequências mais altas não vão tão longe quanto as frequências mais baixas e 6 GHz é mais alto que 5 GHz.” Embora seja verdade que frequências mais altas não vão tão longe, isso não é um obstáculo. O impacto é mínimo e bastante controlável. A modelagem da diferença na distância de propagação entre 5 GHz e 6 GHz mostra que as diferenças são mínimas.

A 10 metros de um ponto de acesso, o RSSI que um cliente veria de um ponto de acesso operando no canal 36 seria 1,05 dB maior do que um ponto de acesso operando no canal 157, assumindo que ambos estão transmitindo na mesma potência. A diferença na perda de propagação é de apenas 1,05 dB em todo o intervalo. 6 GHz oferece 1200 MHz (em comparação com 5 GHz de 500 MHz) e, como tal, perde um pouco mais entre a parte inferior do U-NII-5 e a parte superior do U-NII-8, 1,6 dB em toda a faixa. Na verdade, a queda total é inferior a 3 dB do início do U-NII-1 ao final do U-NII-8. Para alguma perspectiva, nos Estados Unidos, a potência máxima permitida entre U-NII-2c e U-NII-3 é mais de 3 dB.

Embora a banda de 6 GHz oferece grandes benefícios para o Wi-Fi, é importante entender quem são seus titulares atuais e apreciar os esforços que foram feitos para disponibilizar essa banda para uso não licenciado. A banda de 6 GHz (5,925 - 7,125 GHz) hospeda os serviços incumbentes operando em uma base primária. Esses serviços incluem ponto a ponto fixo, serviço fixo por satélite (FSS), serviço auxiliar de transmissão (BAC) e serviço de retransmissão de televisão a cabo (CARS).

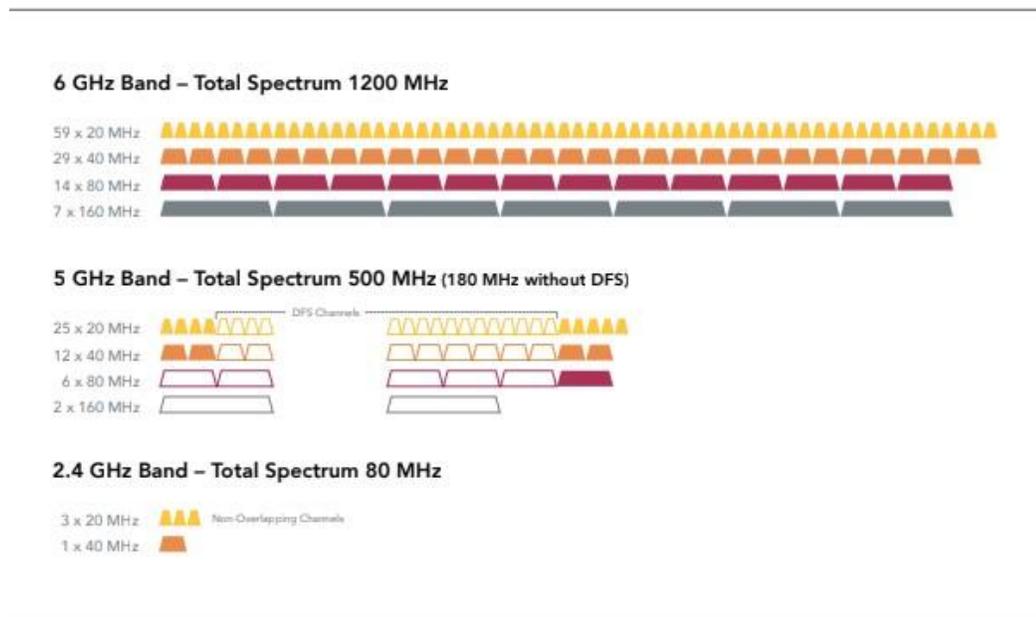
4 Observações

O Wi-Fi 6E não foi anunciado como um competidor para o padrão principal, mas, como um extensor das funcionalidades do seu antecessor, com o intuito de trazer inovações de acordo com as demandas do mercado. Conforme foi exposto nas seções anteriores, o Wi-Fi 6 resolveu a inúmeros “problemas” que a geração anterior ~~a sua~~ estava enfrentando, porém, três pontos principais ficaram sem solução ou tiveram apenas uma redução do impacto negativo: congestionamento, disponibilidade de canal restrita de 80 MHz e 160 MHz e dispositivos legados.

Essa não foi a primeira vez que um evento como esse aconteceu, visto que, em 1999, foram lançados dois exemplares da segunda geração, conhecidos anteriormente como, 802.11b e 802.11a, ambos em frequências diferentes. Assim, podemos levantar diferenças e propostas que ambas as tecnologias vieram entregar.

Na Figura 1, podemos observar uma comparação entre os espectros das três bandas de frequências utilizadas pelo Wi-Fi.

Figura 1 - Comparação de espectro de Wi-Fi



Fonte: LINEPOINT (2023)

Como demonstra a imagem, ambas as faixas 2,4 GHz e 5 GHz estão congestionadas, além de apresentarem desperdício de espectro por conta dos canais já ocupados anteriormente ou que não são contínuos. Outro fator notável e já observado nas seções anteriores é o total de espectro disponível em cada faixa de frequência, evidenciando o potencial do Wi-Fi 6E com 6 GHz, apresentando mais do que o dobro da faixa anterior. A Tabela 1 apresenta a disponibilidade de canal.

Tabela 1 - Disponibilidade de canal nas bandas de 2,4, 5 e 6 GHz

Largura do Canal	Banda de 2.4 GHz	Banda de 5 GHz	Banda de 6 GHz
Canal de 20 MHz disponível	3	25 (9 Sem, sem DFS)	59
Canal de 40 MHz disponível	1	12 (4 Sem, sem DFS)	29
Canal de 80 MHz disponível	0	6 (2 Sem, sem DFS)	14
Canal de 160 MHz disponível	0	2 (0 Sem, sem DFS)	7

Canal de 320 MHz disponível (futura capacidade de 802.11be)	0	0	3
--	---	---	---

Fonte: LINEPOINT (2023)

Com 59 novos canais de 20 MHz disponíveis na banda de 6 GHz, os problemas de congestionamento serão aliviados imediatamente. Os pontos de acesso de Wi-Fi 6E não precisarão competir por espectro e serão capazes de operar em canais sem congestionamento. Alguns dos principais recursos de tecnologia dos padrões Wi-Fi são destacados na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais recursos das últimas gerações de Wi-Fi

	Banda de 2.4 GHz	Banda de 5 GHz	Banda de 6 GHz
Bandas operacionais	5 GHz	2.4 GHz, 5 GHz	6 GHz
Esquema de Modulação	OFDM	OFDM	OFDM
Largura de Banda	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz
Maior Modulação	256-QAM	1024-QAM	1024-QAM
Esquema de MIMO	Até 8x8	Até 8x8	Até 8x8
MU-MIMO	Downlink MU-MIMO	Downlink and Uplink MU-MIMO	Downlink and Uplink MU-MIMO
Target Wake Time (TWT)	Não	Sim	Sim
Coloração BSS	Não	Sim	Sim
Extender Range Improvements	Não	Sim	Sim

Fonte: LINEPOINT (2023)

Conforme mostrado abaixo, os dispositivos Wi-Fi 6 e Wi-Fi 6E são semelhantes em todos os aspectos, exceto para a operação na banda de 6 GHz.

5 Considerações Finais

Como a tecnologia de conectividade mais prevalente, o Wi-Fi provou ser uma história de sucesso além das mais altas expectativas. Estima-se que o Wi-Fi contribua com mais de 3,5 trilhões de dólares para a economia global a cada ano (WI-FI ALLIANCE, 2023).

Conseguir mais espectro de órgãos reguladores tem sido um passo árduo e importante no caminho para fornecer equipamentos Wi-Fi 6E de baixo custo, mas, construir a próxima geração de equipamentos capazes de tirar o máximo proveito de 1200 MHz de novo espectro também retira sua parcela de desafios.

Mesmo que a banda de 6 GHz fique logo acima da banda de 5 GHz, cruzar a barreira de

6 GHz é uma grande mudança para equipamentos de Rádio Frequência (RF). Até agora, os dispositivos de consumo com tecnologias de conectividade comuns, como Wi-Fi, Bluetooth e celular, suportavam apenas frequências de até 5,9 GHz. Portanto, componentes e equipamentos utilizados para projeto e fabricação foram historicamente otimizados para frequências abaixo de 6 GHz. O ajuste para suporte de até 7,125 GHz tem um grande impacto em todo o ciclo de vida do produto, desde o projeto e validação do produto até a fabricação.

Apesar de terem nomenclaturas distintas, os dois modelos lançados na sexta geração são extremamente importantes e necessários para a evolução dessa tecnologia. Os avanços alcançados mostram que o Wi-Fi possui impacto direto em todas as áreas da vida em sociedade. Logo, priorizar algumas demandas referentes a mesma, faz-se necessário.

Referências

ARISTA. **WiFi 6: A technological leap for Next Generation Enterprise WiFi Networks**. 2023. Disponível em https://www.arista.com/assets/data/pdf/White_papers/WiFi-6.pdf. Acesso em: 28 novembro 2023.

BANERJI, Sourangsu; CHOWDHURY, Rahul Singha. **On IEEE 802.11: wireless LAN technology**. arXiv preprint arXiv:1307.2661, 2013.

BRUNER, Jerome. A Cognitive Theory of Personality [Review of the book The psychology of personal constructs. **Contemporary Psychology**, v. 1, n. 12, p. 355-357, 1956.

CHEN, Cheng et al. Overview and performance evaluation of Wi-Fi 7. **IEEE Communications Standards Magazine**, v. 6, n. 2, p. 12-18, 2022.

CHOPRA, Kriti; GUPTA, Kunal; LAMBORA, Annu. **Future internet: The internet of things- a literature review**. IEEE International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), p. 135-139, 2019.

CISCO. **What is WiFi 6? (802.11ax)**. 2023. Disponível em <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wi-fi-6.html#~elements>. Acesso em: 28 novembro 2023.

CommScope. **The Evolution of Wi-Fi 6: Part 4**. 2023. Disponível em <https://www.commscope.com/blog/2019/the-evolution-of-wi-fi-6-part-4/>. Acesso em: 28 novembro 2023.

DOSTERT, Klaus. Frequency-hopping spread-spectrum modulation for digital communications over electrical power lines. **IEEE Journal on selected areas in communications**, v. 8, n. 4, p. 700-710, 1990.

KAEMARUNGSI, Kamol. Distribution of WLAN received signal strength indication for indoor location determination. **IEEE International Symposium on Wireless Pervasive Computing**, p. 6 p. 6-14, 2006.

KAUSHIK, Shailandra. An overview of technical aspect for WiFi networks technology. **International Journal of Electronics and Computer Science Engineering (IJCSE)**, v. 1, n. 01, p. 28-34, 2012.

KING, Alex; ROEDIG, Utz. Differentiating clear channel assessment using transmit power variation. **ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)**, v. 14, n. 2, p. 1-28, 2018.

KLEINROCK, Leonard. History of the Internet and its flexible future. **IEEE Wireless Communications**, v. 15, n. 1, p. 8-18, 2008.

LINEPOINT. **A Guide to Wi-Fi 6E – Wi-Fi 6 in the 6 GHz Band**. 2023. Disponível em: <<https://www.litepoint.com/knowledgebase/a-guide-to-wi-fi-6e-wi-fi-6-in-the-6-ghz-band/>>. Acesso em: 28 novembro 2023.

MADDY. **Definição - O que significa Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)?**. 2023. Disponível em <https://definirtec.com/espectro-de-propagacao-de-sequencia-direta-dsss/>. Acesso em: 28 novembro 2023.

MORAIS, Douglas. **Wi-Fi 6 Overview. 5G NR, Wi-Fi 6, and Bluetooth LE 5: A Primer on Smartphone Wireless Technologies**. Cham: Springer Nature Switzerland, p. 131-156, 2023.

MOZAFFARIAHRAR, Erfan; THEOLEYRE, Fabrice; MENTH, Michael. A survey of Wi-Fi 6: Technologies, advances, and challenges. **Future Internet**, v. 14, n. 10, p. 293, 2022.

NURCHIS, Maddalena; BELLALTA, Boris. Target wake time: Scheduled access in IEEE 802.11 ax WLANs. **IEEE Wireless Communications**, v. 26, n. 2, p. 142-150, 2019.

QORVO. **Wi-Fi Innovation Simplified**. 2023. Disponível em <https://www.qorvo.com/innovation/wi-fi>>. Acesso em: 28 novembro 2023.

SANAYEI, Shahab; NOSRATINIA, Aria. Antenna selection in MIMO systems. **IEEE Communications magazine**, v. 42, n. 10, p. 68-73, 2004.

TANENBAUM, Andrew; FEAMSTER, Nick; WETHERALL, David. **Redes de Computadores**. Bookman, 6ª edição, 2021.

TELECO. **Redes Wi-Fi I: Espectro de Frequência ISM**. 2023. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswifi1/pagina_5.asp>. Acesso em: 28 novembro 2023.

WI-FI ALLIANCE. **Value of Wi-Fi. 2023**. Disponível em: <[https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/value-wi-](https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/value-wi-fi)

