

- a) O tamanho das células diminuiu para aumentar a capacidade da rede, reutilizar frequências de forma mais eficiente e atender à alta demanda por dados em áreas densas, reduzindo interferências e melhorando o desempenho.
  - b) Os quatro campos permitem identificar o remetente, o recetor, a origem inicial e o destino final, essenciais para gerir transmissões em redes Wi-Fi com APs e sistemas de distribuição (DS).
  - c) Numa rede Wi-Fi infraestruturada, as comunicações passam por um ponto de acesso (AP), que gere a conectividade. Já numa rede ad-hoc, os dispositivos comunicam diretamente entre si, sem necessidade de um AP.
  - d) Uma piconet é uma rede Bluetooth formada por um dispositivo mestre e até sete dispositivos escravos conectados diretamente. Uma scatternet interliga múltiplas piconets, com dispositivos que atuam como ponte entre elas, permitindo comunicação entre diferentes piconets.
  - e) O P4 é uma linguagem de programação projetada para descrever o comportamento de processamento de pacotes em dispositivos de rede, como switches e roteadores programáveis.
  - f) Os principais desafios numa WSN são: energia limitada, escalabilidade, comunicação confiável, segurança, latência, largura de banda e custo.
  - g) A superframe no ZigBee é uma estrutura de tempo organizada em slots, usada para sincronizar dispositivos e gerir acessos ao canal. É composta por períodos ativos (com beacon, dados e comandos) e inativos (economia de energia).
  - h) Os problemas incluem interferência, colisões de pacotes, contenção pelo canal, atraso, perda de pacotes e falta de segurança devido ao acesso não controlado ao meio partilhado.
  - i) Um dispositivo pode escutar pacotes de outros canais devido à sobreposição de frequências, especialmente na banda de 2.4 GHz, onde os canais não são totalmente isolados. Os pacotes captados pertencem a canais adjacentes ao que está a ser monitorizado.
  - j) As arquiteturas do 5G incluem a NSA (Non-Standalone), que é um upgrade ao 4G utilizando o core LTE (EPC) em conjunto com o 5G NR para maior capacidade, e a SA (Standalone), que reflete uma rede 5G completa com um novo core (5GC) e funcionalidades exclusivas, como slicing e baixa latência.
2. a) A ligação de um dispositivo STA a uma rede Wi-Fi envolve três fases principais. A primeira é o Scanning (Probing), onde a STA procura redes disponíveis, enviando mensagens Probe Request ou ouvindo Beacon Frames enviados pelos APs, para identificar redes próximas e os seus parâmetros, como SSID e canal. A segunda fase é a Authentication, em que a STA estabelece a sua identidade com o AP. Por fim, na fase de Association, a STA solicita associação ao AP, que reserva recursos e configura a conexão, permitindo à STA acesso à rede para iniciar a transmissão de dados.
- b) As redes de satélite GEO (Geostationary Earth Orbit) e LEO (Low Earth Orbit) diferem significativamente em altitude, cobertura, latência e aplicações. As redes de satélites GEO cobrem grandes áreas, contudo, a sua elevada altitude resulta numa maior latência e menor capacidade para suportar tráfego intensivo, sendo ideais para transmissões de TV e comunicação em regiões remotas. As redes de

satélites LEO, movendo-se rapidamente em relação à Terra; oferecem uma latência reduzida e maior capacidade, tornando-os adequados para aplicações como banda larga de alta velocidade e IoT.

- c) No Bluetooth, o inquiry e o paging são fases do processo de conexão entre dispositivos. O inquiry é usado para descoberta de dispositivos próximos. Um dispositivo envia mensagens de pesquisa para identificar dispositivos Bluetooth na área e obter informações como o endereço Bluetooth. O paging, por outro lado, é o processo de estabelecimento de conexão com um dispositivo específico. Após o inquiry, o dispositivo inicia o paging para sincronizar os relógios e negociar parâmetros de conexão com o dispositivo alvo, permitindo a troca de dados.
  - d) O propósito do LoRa-WAN (Long Range Wide Area Network) é fornecer conectividade sem fios de longo alcance para dispositivos de baixa potência, como sensores IoT, em grandes áreas geográficas. Ele permite comunicações bidirecionais eficientes com consumo de energia reduzido, sendo ideal para aplicações como cidades inteligentes, monitorização ambiental, agricultura de precisão e gestão de recursos. O LoRa-WAN utiliza bandas não licenciadas e técnicas de espalhamento espectral para alcançar distâncias de até 15 km, garantindo cobertura em áreas urbanas e rurais.
  - e) O 5G atende a três casos de uso principais: eMBB (Enhanced Mobile Broadband), para altas velocidades e capacidade, como streaming 4K e realidade virtual; mMTC (Massive Machine Type Communications), para conectar muitos dispositivos IoT de baixa potência, como sensores em cidades inteligentes; e URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications), com alta fiabilidade e latência muito baixa, suportando aplicações críticas como veículos autónomos e telemedicina.
3. a) As NFV (Network Function Virtualization) e SDN (Software Defined Networks) trazem contribuições significativas para as redes móveis, promovendo maior flexibilidade, eficiência e inovação.
- A NFV virtualiza funções de rede, como firewall, NAT e EPC (Evolved Packet Core), permitindo que sejam implementadas em servidores genéricos em vez de hardware dedicado. Isso reduz custos operacionais e de capital, melhora a escalabilidade e facilita a implantação de novas funções. Na rede móvel, a NFV simplifica a criação de novos serviços e acelera a resposta a demandas dinâmicas de tráfego, essencial para suportar o 5G e IoT.
- As SDN separam o plano de controlo do plano de dados, centralizando a gestão da rede. Isso permite uma configuração e orquestração dinâmicas, ajustando rapidamente os recursos às necessidades do tráfego. No contexto de redes móveis, o SDN facilita o slicing de rede, permitindo a criação de redes virtuais personalizadas para diferentes casos de uso, como eMBB, mMTC e URLLC.
- Juntas, NFV e SDN aumentam a eficiência operacional, reduzem custos, melhoram a qualidade do serviço e tornam as redes mais ágeis para atender a requisitos modernos, como baixa latência, alta capacidade e suporte a milhões de dispositivos IoT. Elas são fundamentais para a transformação digital das redes móveis, especialmente no 5G.

b) A camada MAC (Medium Access Control) utiliza diferentes mecanismos para assegurar equidade na utilização do meio aéreo, dependendo da tecnologia de acesso. Aqui estão os principais mecanismos discutidos:

CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) é utilizado no Wi-Fi (802.11), este mecanismo evita colisões ao verificar se o meio está ocupado antes de transmitir. Caso esteja, o dispositivo aguarda um tempo aleatório (backoff) antes de tentar novamente, promovendo equidade entre os utilizadores.

Polling é aplicado em redes como Bluetooth, onde o mestre controla o acesso ao meio, permitindo que cada dispositivo transmita de forma alternada. Este esquema garante que todos os dispositivos conectados tenham a oportunidade de comunicar.

ALOHA e Slotted ALOHA é usados em sistemas mais simples, como redes de satélite, onde os dispositivos transmitem livremente ou em intervalos de tempo específicos. No entanto, a equidade depende da sincronização e do controlo de colisões.

Time Division Multiple Access (TDMA) é usado em redes como GSM, onde cada utilizador recebe um slot de tempo fixo, assegurando que todos tenham acesso ao meio de forma ordenada.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) é utilizado no 5G e Wi-Fi6, divide o espectro em subportadoras, permitindo que múltiplos utilizadores transmitam simultaneamente em diferentes frequências, promovendo uma alocação eficiente e justa.

c) As redes de comunicações móveis oferecem maior liberdade de movimento e conectividade em qualquer lugar, mas enfrentam diversas limitações e desafios. Um dos principais desafios é a interferência, devido ao uso compartilhado do espectro e à presença de múltiplos transmissores no mesmo ambiente. Além disso, a atenuação do sinal é significativa em sistemas sem fios, causada por obstáculos como edifícios, árvores e até condições atmosféricas, o que afeta a qualidade da conexão.

Outro desafio importante é a segurança, já que as transmissões sem fios são mais suscetíveis a intercepções e ataques, como escutas, exigindo criptografia robusta e autenticação confiável. A latência e largura de banda limitada também são problemas frequentes, especialmente em áreas com alta densidade de utilizadores, onde o congestionamento pode degradar a experiência do utilizador. A mobilidade, embora seja uma vantagem, traz complexidade, como a necessidade de handover eficiente entre células, garantindo a continuidade da conexão. Além disso, o consumo de energia dos dispositivos móveis é um desafio constante, já que estes dependem de baterias com capacidade limitada.

Por fim, a implementação de redes sem fios requer uma infraestrutura mais densa, como estações base e antenas, aumentando os custos e a complexidade da gestão. Apesar desses desafios, avanços tecnológicos, como o 5G, continua a mitigar essas limitações, melhorando a eficiência e a fiabilidade das redes móveis.