



UNIVERSIDADE ÓSCAR RIBAS

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS

CURSO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA E COMUNICAÇÕES

SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÃO II

TECNOLOGIA 5G

DOCENTE

Márcio da Costa Faria

LUANDA, 2022

INTEGRANTES DO GRUPO

1. João Lemos pereira - 20210633
2. Murillo Januário -
3. Vivia Abel - 20210111
4. Itamar Fragoso – 20222197
5. – António

ÍNDICE

1-INTRODUÇÃO	4
1.1-JUSTIFICATIVA	5
1.2-OBJETIVOS	5
1.2.3-METODOLOGIA DE PESQUISA.....	5
2-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1-REDE DE COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR	6
2.1.1 Core Network	7
2.1.2 RAN	7
2.1.3- UE	8
2.2-EVOLUÇÃO DA COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR.....	9
Primeira geração da comunicação móvel celular (1G)	9
Segunda geração da comunicação móvel celular (2G)	10
Terceira geração da comunicação móvel celular (3G).....	10
Quarta geração da comunicação móvel celular (4G)	11
3- A QUINTA GERAÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS	13
PILARES DO 5G	16
ESPECTRO.....	19
MASSIVE MIMO	20
ARQUITETURA DA REDE 5G	23
STAND ALONE E NON-STANDALONE.....	23
NETWORK SLICING	27
APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA 5G.....	30
BANDA LARGA	32
CONCLUSÃO.....	36
BIBLIOGRAFIAS	Erro! Indicador não definido.

1-INTRODUÇÃO

A comunicação sem fio vem ganhando espaço considerável nas tecnologias de transmissão de dados, em especial com o advento do IoT (Internet of things), que promete uma explosão das mais diversas coisas conectadas à rede. Tendo em vista esse cenário de transformação digital, instituições como fabricantes de chipset, equipamentos de redes, associações de tecnologia, governos e operadoras buscam oferecer soluções que facilitem e permitam que essa experiência seja simples e ao mesmo tempo robusta. A cooperação internacional entre estes múltiplos agentes tem produzido um conjunto de especificações técnicas que, além de atender a demanda pela conectividade sem fio com a melhor tecnologia, definem o padrão globalmente adotado pela indústria e países, garantindo escalabilidade dos produtos, plena mobilidade do usuário e interoperabilidade. As redes de comunicações moveis da quinta geração, ou 5G, tem se colocado como o sistema de comunicação sem fio capaz de suportar todos os desafios dessa nova era. Como será observado nos capítulos a seguir, aplicações críticas como sistemas de transporte autônomo, realidade virtual aumentada e aplicações críticas na área da saúde, exigirão um nível de garantia e qualidade extrema, que nenhum sistema sem fio atual pode fornecer. De acordo com o relatório Road to 5G Introduction and Migration (2018) produzido pela GSMA, a quinta geração das redes de comunicação móvel terá como objetivo fornecer vinte vezes a taxa de dados de pico, dez vezes menor latência e três vezes mais eficiência espectral do que a última geração 4G LTE. Nos capítulos a seguir, será apresentado a evolução da comunicação móvel celular, os requisitos técnicos, tecnologias envolvidas, características e aplicações da quinta geração das redes de comunicação móvel (5G).

1.1-JUSTIFICATIVA

Diante da problemática que existem poucos artigos e estudos significativos sobre o tema em português, uma vez que o termo 5G é bastante recente, esta pesquisa apresentará um estudo técnico da rede de comunicação celular 5G com as vantagens em relação às tecnologias anteriores, desafios para a implementação em massa, bem como uma abordagem mercadológica de suas aplicações.

1.2-OBJETIVOS

1.2.1-Objetivo Geral

- Apresentar um estudo consistente sobre a tecnologia 5G fazendo uma conexão com a evolução técnica e suas respectivas aplicações e vantagens no mercado.

1.2.2-Objetivos Específicos

- Apresentar conceitos essenciais da comunicação móvel fazendo um comparativo das redes móveis atuais com a tecnologia 5G;
- Apresentar detalhes técnicos sobre a tecnologia 5G fazendo uma abordagem das características da rede, seus protocolos e funcionalidades;
- Apresentar possíveis aplicações sobre a tecnologia 5G e o impacto da transformação digital numa era de hiperconectividade;
- Apresentar um estudo sobre a expectativa de mercado para os próximos anos, volume de negócios e investimentos relacionados à tecnologia 5G.

1.2.3-METODOLOGIA DE PESQUISA

Foi utilizado o método de pesquisa exploratória de forma qualitativa, através de bases bibliográficas para a coleta de informações, consultas em meios eletrônicos, livros, teses, white papers, dissertações, além de artigos científicos.

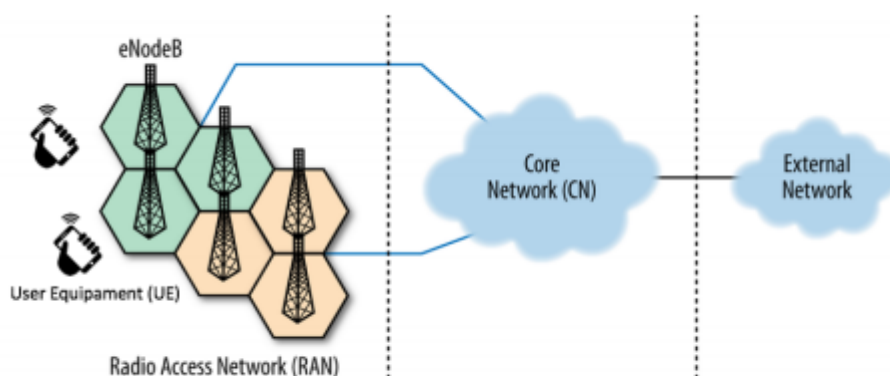
2-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo compreende o embasamento dos conceitos que serão utilizados no desenvolvimento do estudo, para isso aborda a definição de rede de telefonia móvel, evolução da comunicação móvel celular, primeira, segunda, terceira e quarta geração. É abordado ainda o conceito de internet das coisas (IoT), o qual consiste em uma das aplicações que rodam sobre uma rede 5G

2.1-REDE DE COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR

Há diversos registros do que possa ter sido a primeira comunicação móvel utilizando um sistema de telefonia celular. Segundo Rappaport (2009), ainda que de forma rudimentar, em 1897 o italiano Guglielmo Marconi demonstrou a primeira comunicação sem fio quando realizou com sucesso transmissões de sinal de rádio através do Oceano Atlântico. De acordo com Zaki (2013), um sistema de comunicação de rádio móvel, por definição, consiste em uma infraestrutura de telecomunicações que atende usuários que em tese estão em movimento, ou seja, móveis, mas não necessariamente. A comunicação entre os usuários e a infraestrutura é feita através de um meio sem fio conhecido como canal de rádio. Desde o primeiro registro de comunicação móvel em 1897, a estrutura da rede móvel mudou consideravelmente. À medida que a demanda pela nova tecnologia aumentava, novos componentes físicos e virtuais foram sendo adicionados à rede com o objetivo de tornar o sistema de telefonia móvel mais confiável e robusto. Miquelin e Fiori (2012), apresentam a arquitetura da rede de telefonia móvel considerando as últimas gerações com três componentes principais para o seu funcionamento, CN (Core Network), RAN (Radio Access Network) e UE (User Equipment), conforme Figura 1. Ainda que sejam muito similares, a arquitetura nas gerações anteriores tinha outra estrutura que ainda hoje é amplamente conhecida, CCC (Central de Comutação e Controle), ERB (Estação Radio Base) e EM (Estação Móvel).

Figura 1 - Estrutura simplificada da Rede de Comunicação Móvel Celular



Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

2.1.1 Core Network

O Core Network é o elemento central do sistema de comunicação móvel e a ele são atribuídas como atividades principais a comutação de circuitos, comutação de pacotes, tarifação, sinalização com outras redes e banco de dados, sendo esta última, elemento responsável pelo registro das informações que trafegam pelo núcleo de circuitos e pacotes.

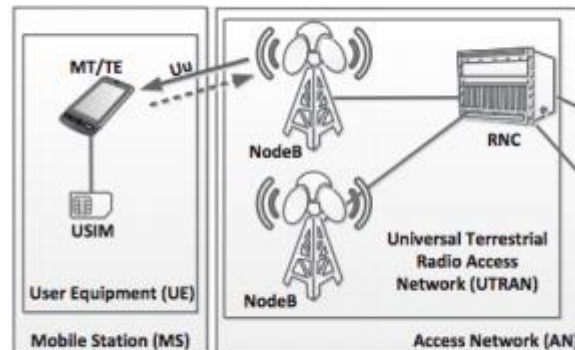
A partir das últimas gerações do sistema de telefonia móvel, novos conceitos como HLR (Home Location Register) e AUC (Authentication Center) foram introduzidos, ambos mecanismos de armazenamento, identificação e autenticação dos usuários. Segundo Kurose (2006), o HLR é um banco de dados de usuários (assinantes), que contém informações e perfis de usuários. De forma mais prática e lúcida, os HLRs são usados pelas MSCs (Mobile Switching Center) ou Centrais de Comutação Móveis para verificar se o assinante pode originar uma chamada, quais serviços foram contratados e existência de créditos do terminal móvel.

2.1.2 RAN

Desde a primeira versão do UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) que segundo Zaki (2013), tinha como objetivo a padronização global do sistema de comunicação móvel, a interface aérea que provê acesso à rede para os terminais móveis é chamada de RAN (Radio Access Network). Derivações podem ser utilizadas como GERAN, período da tecnologia GSM; UTRAN, período da tecnologia 3G; e, a mais recente eUTRAN, na quarta geração da comunicação móvel 4G. 16 Ainda segundo Zaki (2013), a rede de acesso por rádio (RAN) no UMTS é denominada Rede de Acesso por

Rádio Terrestre (UTRAN) e é composta por um elemento RNC (Radio Network Controller) e por vários NodeBs, que representam as estações rádio base UMTS.

Figura 2 - Estrutura de RAN no UMTS



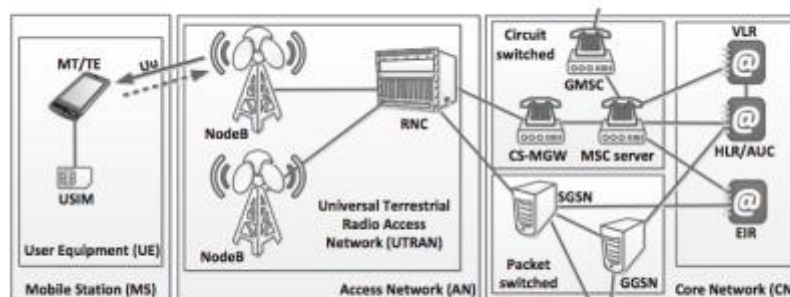
Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

Essa parte do sistema possui as funções de transmissão e recepção, codificação e alocação do canal, correção e detecção de erros, controle de potência, controle de handover, encriptação do sinal, além de outras funções.

2.1.3- UE

Também conhecido como MS (mobile station) ou estação móvel, o UE (user equipment) corresponde ao conjunto do terminal móvel e seu identificador de assinante USIM (Universal Subscriber Identity Module)

Figura 3 - Arquitetura da rede UMTS

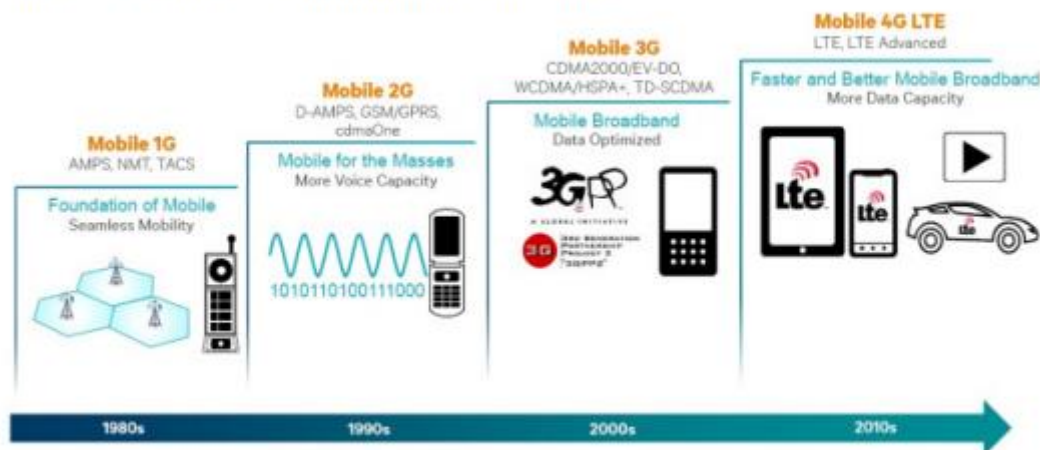


Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

2.2-EVOLUÇÃO DA COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR

Desde os primórdios da civilização, na Grécia antiga, com o uso de sinais de fumaça como forma de comunicação, observa-se o desejo de comunicar-se livre de fios e aparatos (DIAS, 2001). Os primeiros experimentos com a comunicação via rádio aconteceram em 1897 e, a partir de então, a evolução dos sistemas de telefonia móvel transformaram não somente a forma como nos comunicamos uns com os outros, mas também causaram uma revolução na forma como vivemos. A partir de 1940, nos Estados Unidos, começaram a surgir as primeiras propostas de sistemas de comunicação móvel, introduzidas pela operadora AT&T e aprovadas pela FCC (Federal Communications Commission) para comercialização. Inicialmente, esse sistema era projetado para utilização embarcada em automóveis, somente nos anos seguintes fabricantes e operadoras do mundo todo enxergaram a oportunidade de trazer a comunicação móvel, efetivamente, para o uso pessoal. O que se viu nos anos seguintes e que estamos presenciando é uma corrida tecnológica que além impulsionar o aumento da capacidade, velocidade e confiabilidade das redes móveis, promove também a competitividade de países e organizações com viés econômico-político e orienta as próximas gerações da tecnologia e dispositivos eletrônicos conectados à rede.

Figura 4 - Evolução da Comunicação Móvel Celular



Fonte: Site Tech Space, *Evolution from 1G to 4G LTE* (2018).

Primeira geração da comunicação móvel celular (1G)

A primeira geração, denominada 1G, é a geração analógica que surgiu nos anos de 1980. Diversos padrões foram adotados em diferentes países, sua principal característica é a limitação no serviço de voz, que operava na faixa de 800MHz.

De acordo com Dahlman et al. (2007), o primeiro sistema de comunicação móvel internacional foi o sistema analógico NMT (Nordic Mobile Telephony), introduzido nos países nórdicos em 1981, ao mesmo tempo em que o AMPS analógico (Advanced Mobile Phone Service) foi introduzido na América do Norte. Além desses, também surgiram o TACS (Total Access Communications System) no Reino Unido, o JTACS (Japan Total Access Communications Systems) no Japão.

Segunda geração da comunicação móvel celular (2G)

Em meados de 1990, com o advento da comunicação digital, surgiu o GSM (Global System Mobile) que foi o sistema padronizado em grande parte dos países europeus. De acordo com Rappaport (2009), o sistema utilizava tecnologia TDMA (Time Division Multiple Access) que permitia múltiplos usuários realizarem conexões por um mesmo canal de rádio, cada um ocupando uma fração do tempo (time slot). Rappaport (2009) complementa que nos Estados Unidos, Coreia, Japão, China e Austrália fora adotada a tecnologia CDMA (Code Division Multiple Access) permitindo que os usuários pudessem se comunicar ao mesmo tempo, através do compartilhamento da frequência, cada acesso usando um código ortogonal único por 19 célula. Essa técnica permitiu aumentar a capacidade em dez vezes, se comparado aos sistemas de primeira geração usando o mesmo espectro. O sistema ficou conhecido como Padrão CDMA (IS-95)

Terceira geração da comunicação móvel celular (3G)

À medida que o número de assinantes do serviço de comunicação móvel foi crescendo, e a necessidade pelo consumo de dados já era maior que a necessidade da comunicação de voz, o sistema GSM já não era mais capaz de suportar a demanda dos usuários. A nova geração deveria estar preparada para uma nova era, trazendo alta qualidade de conteúdo multimídia móvel, streaming de vídeo em altas definições e suportar a crescente demanda que as redes sociais trariam para essa nova fase. Foi então que surgiram as redes da terceira geração 3G. Esta nova geração está baseada no mecanismo de acesso CDMA e suas diversas ramificações como CDMA2000/EV-DO, WCDMA/HSPA+ e TD-SCDMA. As faixas de frequência que atuam o sistema 3G variam de acordo com a região, podendo ser de 850MHz até 2170 MHz. Nesse período, a ITU-T (União Internacional de Telecomunicações) conduziu o projeto IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000), que tem por objetivo o

desenvolvimento de sistemas móveis com características de faixa larga. Já o 3GPP (Third Generation Partnership Project), organização que contempla fornecedores, operadoras, e órgãos controladores como ETSI (European Telecommunication Standards Institute) definiu o UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) como padrão para a continuidade dos estudos na área. O UMTS é o termo adotado para designar o padrão de terceira geração e que utiliza como interface de rádio o Wideband CDMA (WCDMA) e suas evoluções, conforme Quadro 1. Foi a partir dessas técnicas que se deu início ao acesso a banda larga móvel em grande escala.

Quadro 1 - Comparativo da rede 3G no padrão UMTS

Tecnologia	WCDMA	HSPA	HSPA+
Downlink	2,0 Mbps	7,2/14,4 Mbps	21/42 Mbps
Uplink	474 Kbps	5,76 Mbps	7,2/11,5 Mbps
Canalização (MHz)	5	5	5
Latência (ms)	250	~ 70	~ 30
Espec. Release	99 e 4	5 e 6	7
Início de Operação Comercial	2002	2007	2009

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

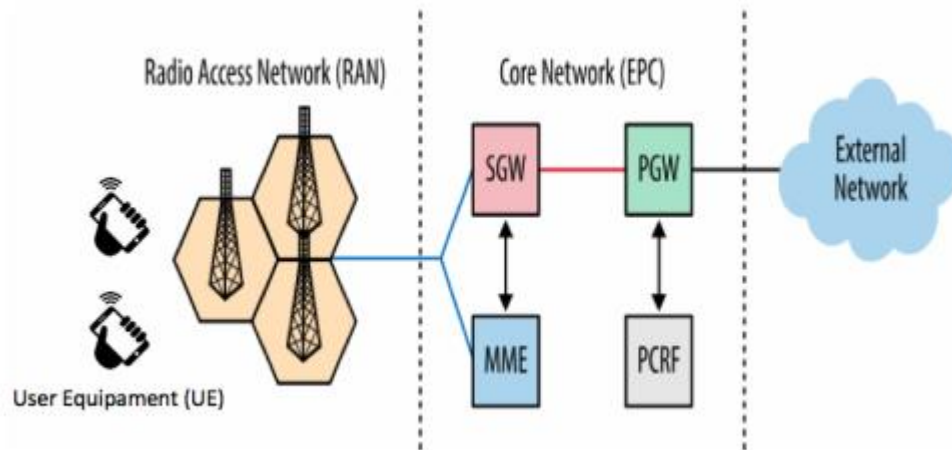
Quarta geração da comunicação móvel celular (4G)

Long Term Evolution (LTE), um padrão desenvolvido pelo 3GPP, é atualmente a principal tecnologia conhecida como 4G. Alguns autores classificam que a primeira geração do LTE deva ser chamada de 3.9G, já que de acordo com os requisitos da ITU para redes de quarta geração não são atendidos plenamente pela tecnologia LTE. 21 De acordo com Gonçalves Neto (2014, p. 1), “o sistema LTE é uma tecnologia IP (Internet Protocol), projetada para obter baixa latência e uma alta eficácia no aproveitamento do espectro quando comparados a sistemas de gerações anteriores”.

De acordo com Gonçalves Neto (2014, p. 1), “o sistema LTE é uma tecnologia IP (Internet Protocol), projetada para obter baixa latência e uma alta eficácia no aproveitamento do espectro quando comparados a sistemas de gerações anteriores”. Considerando o LTE release 8 do 3GPP, que trouxe essa mudança fundamental para uma rede totalmente baseada no tráfego por pacotes de dados, foi necessário também uma nova terminologia para descrever a arquitetura da rede. Para isso ficou definido como

eUTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network), eNodeB (Evolved Node B) e a principal mudança deu-se no core da rede, EPC (Evolved Packet Core) com a inclusão de gateways IPs responsáveis pela alocação de endereços IP para o UE (User Equipment).

Figura 5 - Arquitetura da rede LTE



Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

Rodvalho e Sodré Junior (2014), destacam que um dos principais benefícios dessa nova tecnologia é a técnica de multiplexação por divisão em frequências ortogonais (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM), que traz grandes vantagens na alocação de recursos de rádio e adaptação dos enlaces. Tal tecnologia de acesso consiste em transmitir uma única onda subportadora de cada vez por um determinado instante de tempo, ao invés de transmitir diversos conjuntos de sinais ao mesmo tempo. Isso implica em menor consumo de energia no UE (User Equipment). Além do LTE, dois novos padrões foram especificados pelo 3GPP dentro da quarta geração que apresentaram ganhos significativos de capacidade e velocidade na rede, LTE Advanced e LTE-Advanced Pro.

Quadro 2 - Comparativo rede 4G pela UMTS

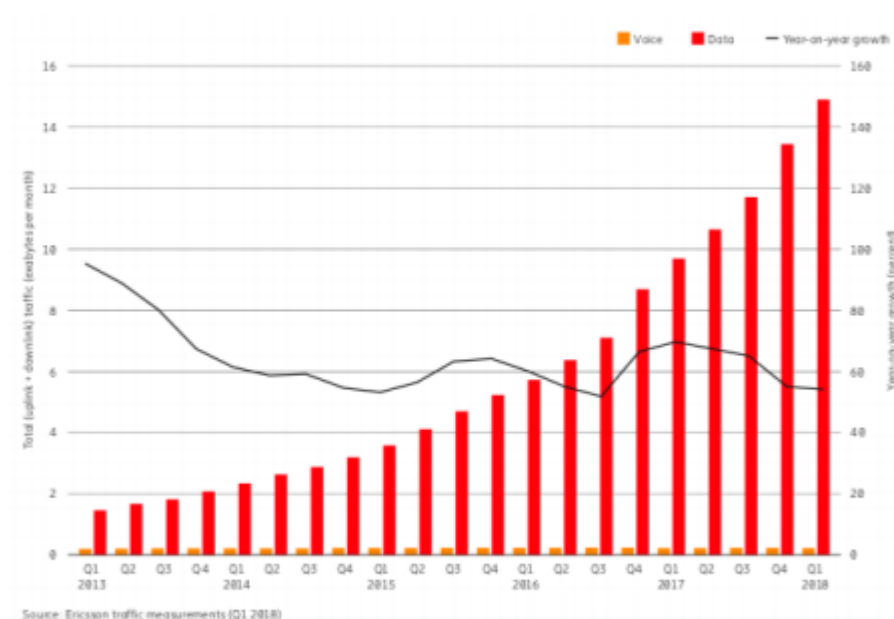
Tecnologia	LTE	LTE-Advanced	LTE-Advanced Pro
Downlink	100 Mbps	1,0 Gbps	3,0 Gbps
Uplink	50 Mbps	0,5 Gbps	1,5 Gbps
Canalização (MHz)	20	100	640
Latência (ms)	~ 10	~10	<2
Espec. Release	8 e 9	10,11, 12	13

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3- A QUINTA GERAÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Antes de introduzir os conceitos de 5G, faz-se necessário uma profunda reflexão para onde o rumo das comunicações está caminhando. De acordo com o último Relatório de Mobilidade da Ericsson divulgado em junho de 2018 (ver Figura 10), no primeiro trimestre de 2018, o tráfego de dados móveis no mundo cresceu cerca de 54% ao ano comparado com o primeiro trimestre de 2017. O mesmo relatório ainda mostra que em 2017, 56% de todo o tráfego foram aplicações de vídeo e a perspectiva para 2023, é que essa aplicação represente 73% do volume total de tráfego móvel

Figura 10 - Crescimento Dados Móveis por trimestre



Fonte: Relatório de Mobilidade da Ericsson (2018).

Enquanto as quatro primeiras gerações das redes móveis esforçaram-se para oferecer comunicação de voz e dados eficiente, conectando pessoas, a rede de quinta geração 5G promete fazer muito mais, não só conectando pessoas e coisas como também redefinindo uma nova dinâmica de imersão digital. Várias áreas de aplicação distintas podem ser identificadas conforme Figura 11, onde as redes sem fio atuais terão dificuldades para fornecer a melhor experiência de uso: elas incluem sistemas de transporte autônomo; aplicações de automação industrial e utilitários; serviços de saúde; serviços de realidade virtual aumentada para consumidores e empresas; aplicações de cidades inteligentes; casas inteligentes, e uma série de usos para a banda larga móvel, incluindo a entrega de conteúdo em todos os lugares, e o uso de redes sem fio como o principal serviço de acesso de banda larga.

Figura 11 - Aplicações para redes 5G



Fonte: Relatório *Making 5G NR a reality* (2018).

Duas tendências significativas estão impulsionando a indústria móvel a desenvolver uma quinta geração de tecnologia de rede: o aumento explosivo na demanda por serviços de banda larga sem fio, que precisam de redes mais rápidas e de maior capacidade, capazes de fornecer vídeo e outros serviços ricos em conteúdo; e a Internet of Things (IoT), que está alimentando a necessidade de conectividade massiva de dispositivos, e também a necessidade de conectividade ultra confiável e de latência ultra baixa sobre o Protocolo de Internet (IP). O relatório sobre 5G da NGMN (Next Generation Mobile Network) afirma que, o 5G é um ecossistema de ponta a ponta para permitir uma sociedade totalmente móvel e conectada. Ele possibilita a criação de valor para clientes e parceiros, por meio de casos de uso existentes e emergentes, fornecidos com experiência consistente e possibilitados por modelos de negócios sustentáveis.

O Relatório Making 5G NR a reality (2016) produzido pela Qualcomm, define o 5G como uma plataforma para inovações que redefinirá uma ampla gama de indústrias conectando virtualmente todos e tudo, desde trabalhadores e pacientes até robôs e culturas, suportando as necessidades de conectividade em diversos casos de uso que mudam o mundo.

O 5G reunirá os mundos das pessoas para alcançar novos níveis de eficiência que beneficiarão toda a sociedade. 28 Enquanto a indústria e as organizações regulamentadoras estão trabalhando em propor uma nova estrutura de rede 5G, introduzindo elementos novos como 5G core (5GC), e uma nova tecnologia de acesso via rádio chamada 5G New Radio (NR). Tecnicamente, o 5G é um sistema projetado para atender aos requisitos do IMT-2020 conforme Figura 12, definidos pela especificação ITU-R e fornecerá recursos mais avançados em comparação com o 4G LTE (IMT-Advanced).

A rede 5G terá como objetivo fornecer vinte vezes a taxa de dados de pico, dez vezes menor latência e três vezes mais eficiência espectral do que a última geração 4G LTE. Na figura 13 é apresentado um comparativo entre as redes 4G e 5G.

Figura 13 - Comparativo principais características redes 4G e 5G

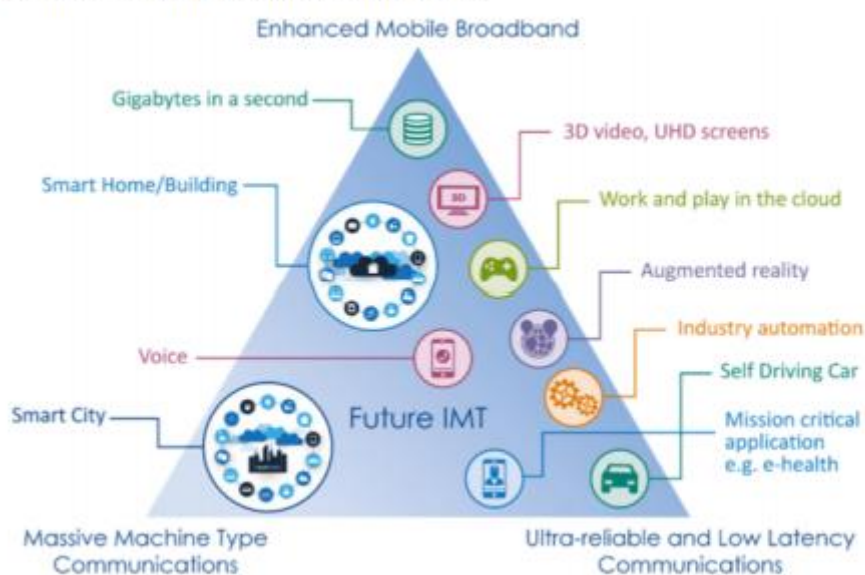
	IMT-Advanced (4G)	IMT-2020 (5G)
Taxa de Dados de pico	DL: 1Gbps UL: 0,5Gbps	DL: 20Gbps UL: 10Gbps
Taxa de Dados da Experiência do usuário	10 Mbps	100 Mbps
Eficiência do Espectro	1 (normalizado)	3x melhor IMT-Advanced
Mobilidade	350 Km/h	500 Km/h
Latência para usuário	10 ms	1 ms
Densidade de conexões	100 mil dispositivos/km ²	1 milhão dispositivos/km ²
Eficiência energética da rede	1 (normalizado)	100x melhor IMT-Advanced
Banda	Até 20 MHz por radio	Até 1 GHz por radio

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

PILARES DO 5G

As altas velocidades e a baixa latência prometidas pelo 5G, impulsionarão as sociedades para uma nova era de cidades inteligentes e a Internet das Coisas (IoT). De acordo com o Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018), dentre mais de 70 casos de uso, foram definidos e agrupados três principais aos quais serão abordados nessa pesquisa conforme Figura 14: enhanced mobile broadband (eMBB), massive machine-type communications (mMTC) e ultra-reliable and low-latency communications (URLLC)

Figura 14 - Principais casos de uso do 5G

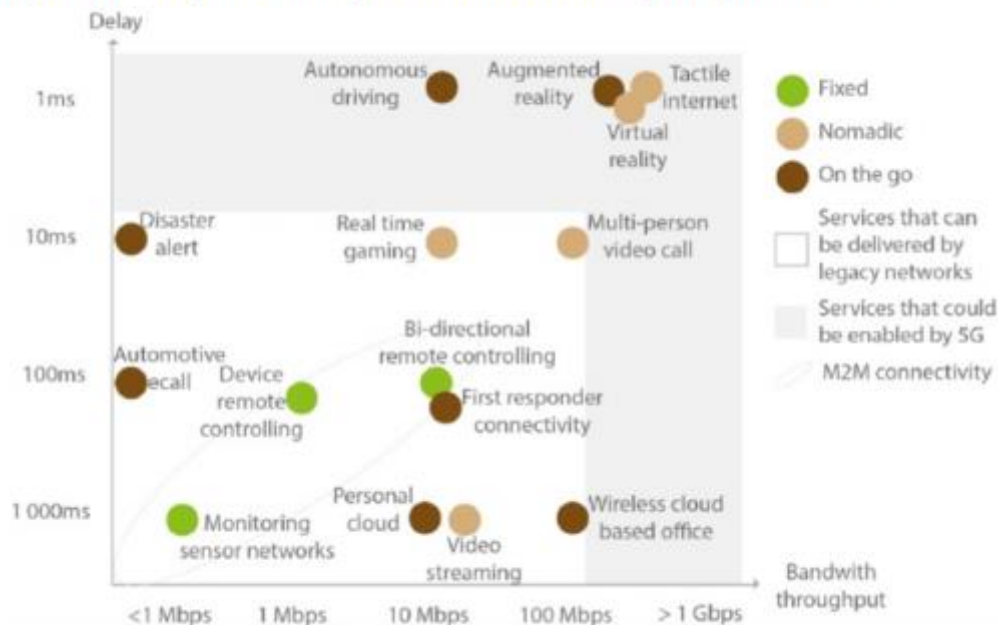


Fonte: Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018).

Na fase inicial de implantação do 5G, com a adoção de cenários NSA (Non-Standalone), o principal caso de uso será o eMBB. Segundo Popovski et al. (2018), o tráfego de eMBB pode ser considerado como uma extensão direta do serviço de banda larga 4G. Popovski et al. (2018) destaca que esse caso de uso é caracterizado por grandes payloads e por um padrão de ativação de dispositivo que permanece estável durante um longo intervalo de tempo. Isso permite que a rede programe recursos sem fio para os dispositivos eMBB, de modo que não haja dois dispositivos eMBB acessando o mesmo recurso simultaneamente. O objetivo do serviço eMBB é maximizar a taxa de dados, garantindo uma confiabilidade moderada, com taxa de erro de pacote (PER) na ordem de 10^{-3} . De acordo com o Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018) produzido pelo ITU, o eMBB trará banda larga móvel de alta velocidade para áreas populosas, permitindo que os consumidores desfrutem de streaming

de alta velocidade para dispositivos em ambientes residenciais, aplicações em telas e dispositivos móveis sob demanda, e permitirá que os serviços de colaboração entre empresas evoluam. Algumas operadoras também estão considerando o eMBB como a solução de última milha nas áreas sem conexões de cobre ou fibra para as residências.

Figura 15 - Requisitos de largura de banda e latência para aplicações 5G



Fonte: Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018).

Com base nessas interdependências, diferentes parâmetros como tempo de guarda, espaçamento da subportadora, volume de dados e características do canal, eles fornecem diretrizes para o projeto de numerologia de rádio e elaboram a estrutura de quadros para comunicações de IoT em redes 5G para suportar a densidade massiva de conexão de dispositivos de baixa potência e taxa. De acordo com Ijaz et al. (2016), o parâmetro mais importante na estrutura do quadro é o espaçamento da subportadora Df , uma vez que a maioria dos outros parâmetros depende desse valor, direta ou indiretamente. O valor de Df precisa ser cuidadosamente escolhido, considerando as características de propagação do ambiente onde o sistema se destina a operar e pode também afetar diferentes requisitos de serviço, como densidade do usuário e taxa máxima de dados. O artigo “Enabling massive IoT in 5G and beyond systems: PHY radio frame design considerations” ainda destaca os indicadores chave de desempenho (KPIs) para uma boa experiência e performance de aplicações IoT em cenários críticos.

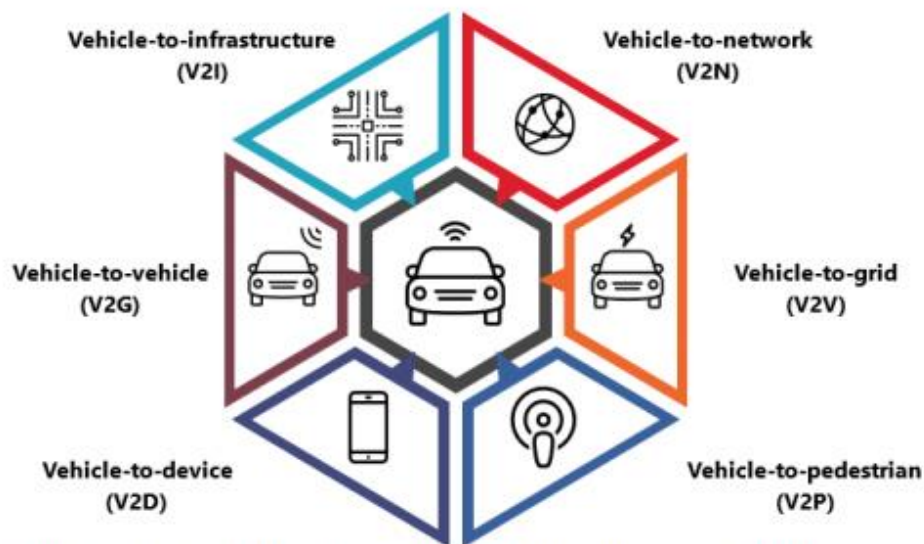
	KPI	Requirement
User experience requirements [4]	User experienced data rate	Low (typically 1-100 kb/s)
	End-to-End (E2E) latency	Seconds to hours
	Mobility	Low (0-3 km/h)
System performance requirements	Connection density	200,000/km ² [4] 300,000 per cell [46] 1 million/km ² [17]
	Coverage	99.9% [46]
	Protocol scalability	80% protocol efficiency at 300,000 devices per access node [46]
	Energy efficiency	0.015 uJ/bit for data rate in the order of 1 kb/s [46]

Fonte: *Enabling Massive IoT in 5G and Beyond Systems: PHY Radio Frame Design Considerations* (2016).

O último caso de uso definido pelo Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018), é o ultra-reliable and low-latency communications (URLLC), também conhecido como comunicações de missões críticas. Segundo Popovski et al. (2018), o serviço URLLC suporta transmissões de baixa latência de pequenos payloads com confiabilidade muito alta de um conjunto limitado de terminais, que serão ativados de acordo com padrões normalmente especificados por eventos externos, como alarmes.

O relatório *5G Mobile: Impact on the Health Care Sector* produzido pelo autor Teece (2017), afirma que o 5G tem um papel importante a desempenhar na entrega de intervenções de missão crítica. Um exemplo citado no relatório é um caso relacionado ao tratamento de um paciente com AVC onde as redes ultra confiáveis e de baixa latência (URLLC) têm um papel fundamental a desempenhar do ponto em que o dispositivo de monitoramento do paciente envia um sinal de socorro à ambulância, onde imagens de alta resolução e dados sobre sinais vitais podem ser transmitidos para o hospital antes da chegada do paciente. Segundo Teece (2017), no campo da saúde, o 5G é a base de sustentação para o que é chamado de Internet of Medical Things (IOMT). O IOMT envolve um ecossistema de conexões que facilitarão a comunicação e o feedback entre pacientes, por um lado, e dispositivos médicos e equipamentos de monitoramento, por outro. Além disso, a rede 5G trará uma diferença enorme em termos de capacidade de diagnósticos e análises de forma remota, com o uso de aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada realmente imersivos. A capacidade de simular uma experiência ao vivo e de fazer perguntas ao paciente em tempo real, não apenas fornece tratamento e diagnóstico imediatos, mas também tratamento e diagnóstico mais eficazes.

Em seu outro relatório 5G Mobile: Disrupting the Automotive Sector, Teece (2017) destaca que o 5G será o habilitador e acelerador dos benefícios sociais dos carros autônomos e veículos inteligentes. Os recursos de baixa latência (URLLC) e alta taxa de bits (eMBB) do 5G possibilitarão as comunicações V2X (vehicle-to-everything) que abrange uma gama de habilidades de comunicação: veículo para pedestre, veículo para veículo, veículo para rede, veículo para dispositivo móvel e veículo para infra-estrutura.



Fonte: Site Access Partnership: *Tapping into the Connected Car* (2018).

Popovski et al. (2018) ressalta que as transmissões de URLLC também são intermitentes assim como os serviços mMTC, mas o conjunto de potenciais transmissores de URLLC é muito menor se comparado ao segundo caso de uso. A taxa de transmissão de um URLLC é relativamente baixa, e o principal requisito é garantir um alto nível de confiabilidade, com um PER tipicamente menor que 10^{-5} .

Todos os casos de uso e requisitos técnicos da rede 5G definidos pelo IMT-2020 citados acima, somente serão possíveis devido a uma colaboração intensa entre a indústria, institutos de pesquisa, agentes reguladores e operadoras. Novas tecnologias, protocolos, infraestrutura e modelos de negócios estão sendo desenvolvidos e testados. Nas seções a seguir será possível compreender as principais características da rede 5G.

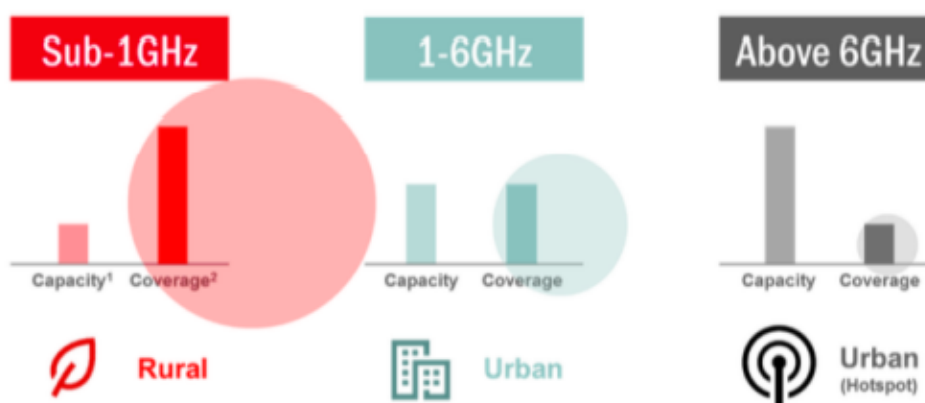
ESPECTRO

A variedade de requisitos e as necessidades de espectro mostram que há muitas opções e desafios para introdução do 5G. Diferentes bandas de espectro serão necessárias para suportar todos os casos de uso. As operadoras de telefonia móvel devem, portanto,

considerar a viabilidade de diferentes opções para atender aos casos de uso inicialmente pretendidos e garantir a interoperabilidade de suas redes.

Em termos de características físicas, o espectro pode ser dividido em três faixas de frequência: até 1 GHz, até 6 GHz e acima de 6 GHz. 34 Cada intervalo de espectro tem características específicas que o tornam adequado para determinados cenários de implantação, conforme pode ser observado na Figura 18. A faixa de baixo espectro tem aspectos de propagação muito bons que a tornam viável para a cobertura de grandes áreas, como ambientes rurais. A faixa intermediária do espectro (até 6 GHz), fornece um tipo de cobertura mais viável para a implantação em áreas urbanas e com maior capacidade de dispositivos conectados. Por último, a faixa de alto espectro (acima de 6 GHz) é mais limitada na cobertura, porém pode fornecer uma capacidade muito alta devido à quantidade de espectro não utilizado e disponível nessas frequências.

Figura 18 - Capacidade vs Cobertura considerando o espectro por categoria



Fonte: *Road to 5G Introduction and Migration* (2018).

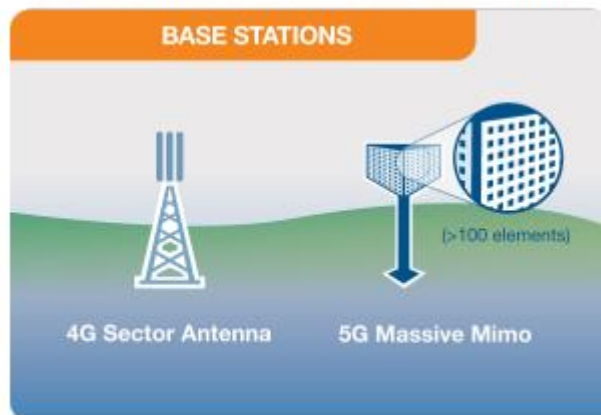
Dessa forma, com diferentes características para cada faixa de espectro, não é possível utilizar apenas uma única banda que seja possível de atender os requisitos das redes 5G. Os requisitos técnicos estabelecidos pelo ITU e que vão de encontro ao IMT-2020, especificam que as operadoras de telefonia precisam de pelo menos 100 MHz de banda para garantir as aplicações e casos de uso inicialmente definidos. Para frequências acima de 6 GHz, o requisito é de até 1 GHz de banda por operadora.

MASSIVE MIMO

Uma das principais áreas de inovação em comunicações sem fio está nas tecnologias avançadas de antenas. Usando mais antenas de forma inteligente, pode-se

melhorar a capacidade e a cobertura da rede. Ou seja, mais fluxos de dados espaciais podem aumentar significativamente a eficiência espectral, permitindo que mais bits sejam transmitidos, e conforme apresentado com técnicas de beamforming pode-se estender o alcance das estações base concentrando energia RF em direções específicas.

Figura 25 - Diferença entre estações base atuais vs 5G massive mimo



Fonte: Site EMF 5G Explained - How 5G Works (2018)

No LTE hoje, as redes estão evoluindo de 2x2 para 4x4 MIMO (multiple input multiple output), com ainda mais antenas à vista. No entanto, há uma limitação intrínseca em quantas antenas pode-se encaixar de forma realista em um dispositivo, especialmente em frequências mais baixas, onde as antenas são grandes devido ao maior comprimento de onda. Mas uma forma de aumentar ainda mais a capacidade sem adicionar mais antenas é ter mais antenas nas estações base (ver Figura 25). De acordo com o relatório Making 5G NR a reality, o 5G suportará MIMO massivo que pode utilizar um número ainda maior de elementos de antena, suportando até 256, conforme definido atualmente na especificação do IMT-2020

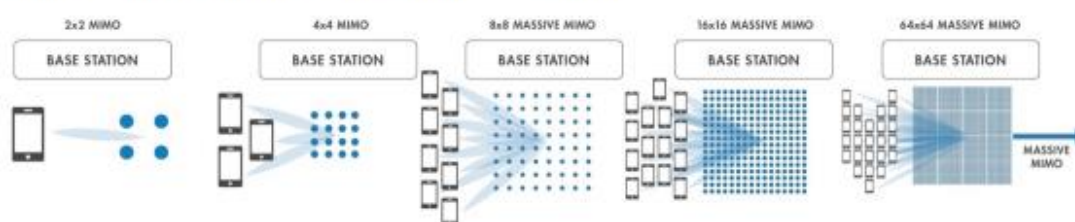
Figura 26 - Número de antenas e capacidade de dados

Number of Antenna Ports	Radio Channel Bandwidth			
	10 MHz	20 MHz	200 MHz	1GHz
2	1 Gbps	2 Gbps	20 Gbps	100 Gbps
8	4 Gbps	8 Gbps	80 Gbps	400 Gbps
64	32 Gbps	64 Gbps	640 Gbps	3,200 Gbps
256	128 Gbps	256 Gbps	2,560 Gbps	12,800 Gbps

Fonte: ITU *Technical Report* (2018)

Segundo artigo do IEEE, 5G and Beyond Technology Roadmap White Paper, a tecnologia MIMO tem sido considerada uma abordagem vital para melhorar a eficiência espectral de sistemas de comunicações sem fio nos últimos 20 anos. Em sistemas 4G, o número de antenas suportadas na estação base não pode ser maior que 64 e, assim, o ganho de desempenho do MIMO é bastante limitado. Para sistemas 5G, para melhorar ainda mais a eficiência espectral e a eficiência energética, uma nova técnica denominada antenas de grande escala foi proposta para atender a múltiplos usuários no mesmo recurso de frequência-tempo. Conforme mostra a Figura 27, o MIMO massivo usa centenas, se não milhares de antenas.

Figura 27 - Representação de sistema Massive MIMO



Fonte: Site *MathWorks - Large-scale antenna systems for 5G wireless systems* (2019)

De acordo com Wang et al. (2014), os sistemas MIMO consistem em múltiplas antenas no transmissor e no receptor. Assim, uma melhoria significativa no desempenho pode ser obtida em termos de confiabilidade, eficiência espectral e eficiência energética. Em sistemas MIMO massivos, o transmissor e/ou receptor são equipados com um grande número de elementos de antena, tipicamente dezenas ou até centenas. Wang et al. (2014) destaca que em sistemas MIMO massivos, os efeitos de ruído e desvanecimento rápido desaparecem, e a interferência intracelular pode ser mitigada usando métodos simples de pré-codificação e detecção linear. Usando adequadamente o MIMO multiusuário (MU-

MIMO) em sistemas MIMO massivos, a camada de controle de acesso ao meio (MAC) pode ser simplificada evitando algoritmos complicados de programação e assim a estação base pode enviar sinais separados para usuários individuais usando o mesmo recurso de frequência e tempo. Essas vantagens permitem que o sistema MIMO massivo seja considerado promissor para redes de comunicação sem fio 5G.

ARQUITETURA DA REDE 5G

Para resolver os desafios citados até então e atender aos requisitos do sistema 5G, será necessária uma mudança radical no design da arquitetura celular. Segundo relatório Making 5G NR a reality, o core network da próxima geração alavancará funções de rede virtualizadas para criar slices (fatias) de rede otimizadas para uma ampla gama de serviços hospedados na mesma rede física. Cada fatia da rede pode ser configurada independentemente para fornecer conectividade de ponta a ponta com o 5G NR, que é otimizado para as aplicações necessárias. Além de permitir uma alocação e utilização de recursos mais eficiente, o core network da rede 5G também oferecerá aprimoramentos na ativação de modelos de assinaturas flexíveis para operadoras e a criação dinâmica de serviços que são especialmente úteis para conectar uma ampla gama de novos serviços e dispositivos.

A corrida para o 5G já está em andamento e com muitas operadoras participando ativamente. Algumas ainda estão em fase de planejamento, mas muitas anunciaram seu envolvimento em testes ou redes piloto pré-comerciais. A GSMA informou que em novembro de 2018, havia 192 operadoras ativamente envolvidas em experiências, testes ou em processo de licenciamento do 5G.

A partir do momento em que as operadoras móveis decidirem iniciar a implantação do 5G em suas redes, Teral (2019) apresenta que as operadoras terão que escolher entre implantar uma rede 5G Standalone (SA) completa que ofereça experiência E2E (end to end) 5G, ou implantar uma rede 5G Non-StandAlone (NSA) para ser complementada e suportada pela rede LTE. Enquanto a primeira opção levará tempo para se desenvolver, a última oferece benefícios limitados de 5G confinados à melhoria em alguns KPIs da rede (ver Figura 28).

STAND ALONE E NON-STANDALONE

A partir do momento em que as operadoras móveis decidirem iniciar a implantação do 5G em suas redes, Teral (2019) apresenta que as operadoras terão que

escolher entre implantar uma rede 5G Standalone (SA) completa que ofereça experiência E2E (end to end) 5G, ou implantar uma rede 5G Non-StandAlone (NSA) para ser complementada e suportada pela rede LTE. Enquanto a primeira opção levará tempo para se desenvolver, a última oferece benefícios limitados de 5G confinados à melhoria em alguns KPIs da rede.

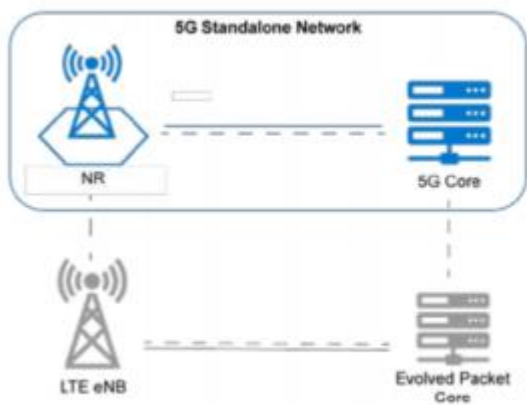
Figura 28 – Arquitetura 5G SA vs NSA

	Standalone (SA)	Non-standalone (NSA)
Investment needed	Short-term	High
	Long-term	N/A
		Low to medium
Spectrum availability	Sub-6GHz band	Best choice for good network coverage
	mmWave band	Can work with SA by using hotspot-based network
		Depends on LTE network for good coverage
Service offerings		Needed for hotspot-based network deployment
		Covers all use cases including eMBB and those dependent on URLLC and mMTC.
		Supports only eMBB use cases
Network KPIs		
	Data rate (DL/UL)	20Gbps/10Gbps
	Latency	1ms
	Network density	1 mil devices per km ²

Fonte: Relatório 5G Best Choice Architecture (2019).

De acordo com Teral (2019), em seu relatório 5G Best Choice Architecture, uma rede StandAlone refere-se a ter uma rede independente 5G com uma nova interface aérea 5G New Radio (NR) e o novo 5G Core (5GC) na arquitetura. Dessa forma, uma rede 5G independente fornece ao usuário uma experiência 5G de ponta a ponta e ainda terá interoperabilidade com a rede 4G/LTE existente para fornecer continuidade de serviço entre as duas gerações de rede, conforme pode ser observado.

Figura 29 - Arquitetura da rede 5G modo SA

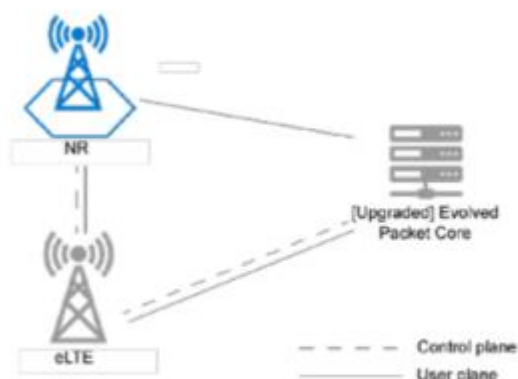


Fonte: Relatório 5G Best Choice Architecture (2019).

Teral (2019) destaca que o 5G Core é verdadeiramente uma nova geração de rede core móvel, projetado para ser cloud native e altamente dependente da virtualização. O 5GC permitirá que as operadoras estendam as ofertas de serviços para além da banda larga móvel aprimorada (eMBB) e introduzam novos serviços, como comunicações ultraconfiáveis de baixa latência (URLLC) e comunicações massivas de máquina (mMTC). 49 Devido às tecnologias de nuvem e virtualização, as operadoras podem implantar 5GC de qualquer tamanho e capacidade, além de adicionar instâncias de cada função 5GC conforme necessário.

Por outro lado, Teral (2019) destaca que a rede 5G Non-StandAlone, utiliza apenas células 5G NR mas com EPC como core da rede (ver Figura 30). Sendo assim, as operadoras irão implantar células 5G e depender inteiramente da rede LTE existente para todas as funções de controle e serviços adicionais.

Figura 30 - Arquitetura da rede 5G modo NSA



Fonte: Relatório *5G Best Choice Architecture* (2019).

Segundo Teral (2019), a arquitetura de duas redes, SA e NSA, é compatível com 3GPP que foram introduzidas no release 15 e complementa que a viabilidade depende em grande parte de fatores externos, como prontidão do equipamento, disponibilidade do equipamento do usuário e complexidade da implantação.

Quadro 3 - Comparativo do *Core Network* e RAN em redes 5G

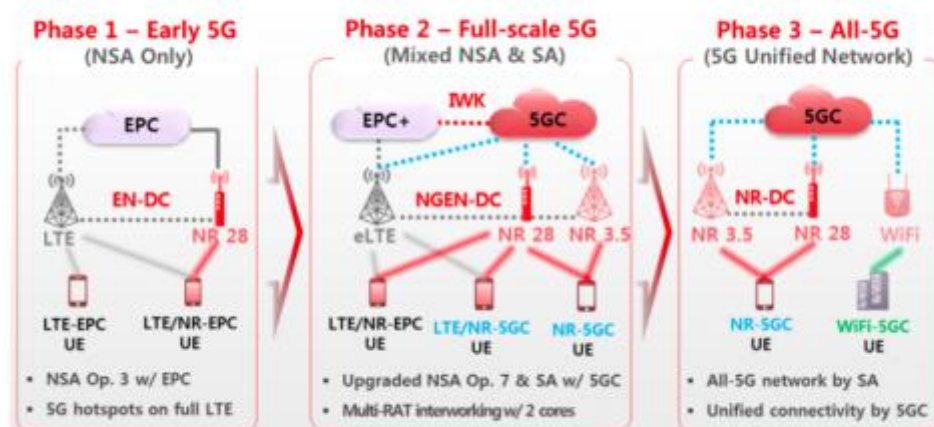
		Vantagens	Desvantagens
Radio Access Network	SA	<p>Simple de gerenciar</p> <p><i>Handover</i> entre as gerações 4G-5G</p>	<p>Não consegue aproveitar as implantações LTEs existentes se o NR é usado</p>
	NSA	Aproveita as implantações de LTE existentes	Interoperação delicada/difícil entre LTE e NR

			Podem impactar a experiência do usuário
Core Network	EPC	Aproveite a implantação de EPC existente	Suporte a <i>Cloud</i> é opcional
	5GC	<p>Estrutura em <i>Cloud</i> nativa</p> <p>Simple de suportar múltiplos acessos</p>	Novas implantações necessárias

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Portanto, ao contrário das gerações anteriores que exigiam que tanto o acesso, quanto o core da rede fossem implantados da mesma geração, com o 5G é possível integrar elementos de diferentes gerações em diferentes configurações e isso pode ser observado no Quadro 3. Segundo o relatório Road to 5G Introduction and Migration, existem diversas opções para iniciar a migração para redes 5G, e se imagina que esta acontecerá por etapas. A operadora Korea Telecom apresentou uma visão de roadmap, considerando sua estratégia de introdução no mercado 5G.

Figura 31 - Possível plano de migração para redes 5G



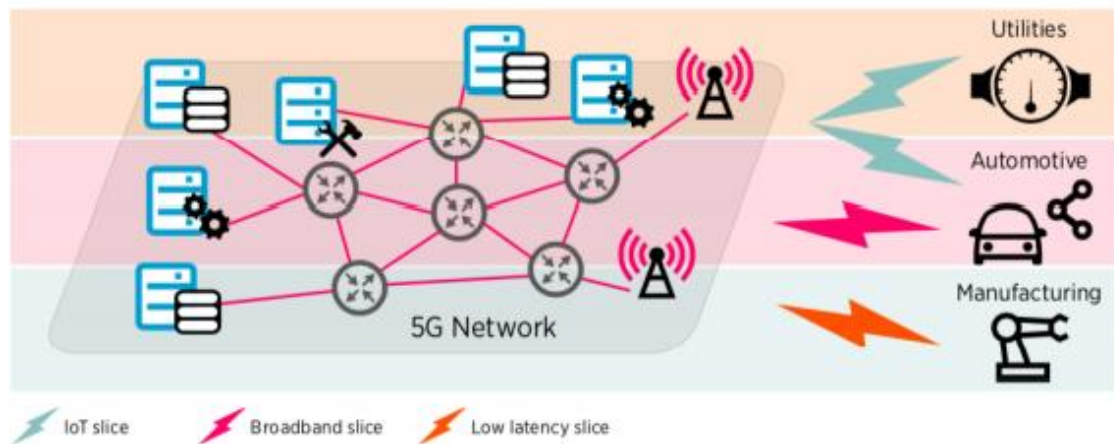
Fonte: Relatório *Road to 5G Introduction and Migration* (2018).

NETWORK SLICING

Dentre os recursos que acompanham o 5GC, Teral (2019) explica que o mais notável de todos é o Network Slicing (fatiamento da rede) pois é ele que permite que as operadoras apliquem e ofereçam diferentes tipos de QoS (Quality of Service) para diferentes casos de uso. 51 Por exemplo, uma operadora pode dedicar uma fatia de rede a comunicações de veículo para veículo (V2V) e essa fatia de rede fará uso da URLLC para fornecer canais de comunicação que são críticos para a missão e sensíveis à latência.

No Relatório *An Introduction to Network Slicing*, realizado pelo grupo GSMA, do ponto de vista de uma operadora de telefonia móvel, network slice é uma rede lógica ponta-a-ponta independente que é executada em uma infraestrutura física compartilhada, capaz de fornecer uma qualidade de serviço negociada.

O Grupo 5GPPP em seu artigo *View on 5G Architecture*, afirma que até 2020, a rede 5G do futuro envolverá a integração de várias redes entre domínios, e os sistemas 5G serão construídos para permitir fatias lógicas de rede em vários domínios e tecnologias para criar redes específicas para serviços. O fatiamento da rede deve realizar a visão de ponta a ponta (E2E) a partir da borda móvel, continuando pelo transporte móvel, incluindo segmentos fronthaul (FH) e backhaul (BH), e até a rede core. Isso permitirá que as operadoras forneçam suas redes como serviço e atendam à ampla gama de casos de uso que o cronograma de 2020 exigirá.



Fonte: Relatório *An Introduction to Network Slicing* (2017).

Segundo Oliveira, Alencar e Lopes (2018), o objetivo do network slicing é criar instâncias virtuais de rede dedicadas para diferentes serviços (ver Figura 32). A fatia de rede pode ser considerada como uma coleção de funções da rede móvel necessária para operar do começo ao fim de uma rede móvel lógica. Assim, uma única rede física pode ser particionada em múltiplas redes virtuais, permitindo que a operadora ofereça suporte dedicado para diferentes tipos de serviços ou usuários.

De acordo com o relatório *An Introduction to Network Slicing*, o principal recurso do networking slicing é a capacidade de personalizar os recursos e a funcionalidade que uma rede móvel oferece aos clientes corporativos. Esse serviço personalizado pode ser separado logicamente em dois componentes: Serviço de Conexão de Rede ou Serviço de Recursos de Rede.

O Serviço de Conexão de Rede compreende um conjunto de atributos técnicos que determinam o comportamento da fatia, bem como a topologia e a distribuição geográfica de uma fatia. Tais atributos citados no relatório da GSMA incluem:

- A. Latência quase em tempo real;
- B. Altas e estáveis altas velocidades de upload e download;
- C. SLA garantido;
- D. Cobertura para garantir uma experiência de serviço perfeita entre redes e fronteiras;
- E. Gerenciamento de dispositivos conectados;
- F. Mobilidade contínua para entrega de serviços ininterrupta e qualidade estável;

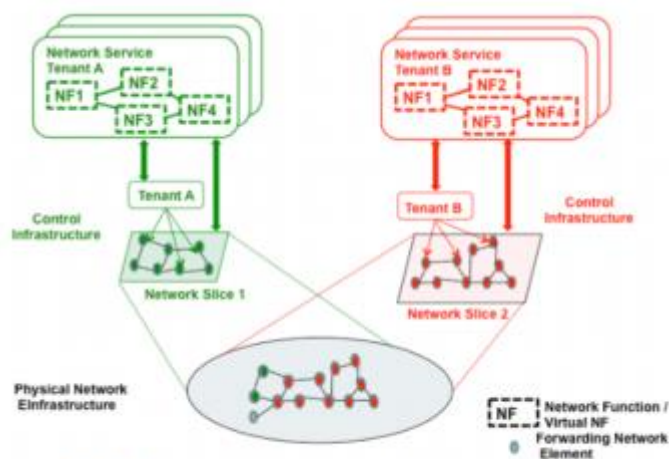
G. Eficiência energética;

H. Segurança de dados para satisfazer requisitos de segurança e privacidade

Além desses serviços de recursos de rede, a rede é capaz de oferecer serviços de plataforma adicionais. O relatório *An Introduction to Network Slicing*, realizado pelo grupo GSMA detalha exemplos de elementos de tecnologia que podem ser usados para personalizar os serviços da plataforma das operadoras.

- a. Big Data Analytics que pode ser oferecida como um serviço para apoiar o gerenciamento de dados para orquestração de processos ou ecossistemas complexos;
- b. Gerenciamento de ID / Ativo para autenticação automatizada, em tempo real e segura;
- c. Segurança da plataforma como um serviço para fornecer vários níveis de segurança;
- d. Cobrança dinâmica de interações em tempo real;
- e. Cloud computing;
- f. Computação de ponta para computação distribuída e armazenamento de dados para serviços com requisitos de baixa latência;
- g. Integração de parceiros para integração fácil e instantânea de parceiros;
- h. Posicionamento como um serviço que é adaptado aos requisitos do serviço;
 - i) APIs que fornecem diferentes recursos de controle e gerenciamento.

De acordo com o Grupo 5GPPP em seu artigo *View on 5G Architecture*, o network slicing fornece os meios pelos quais as operadoras da rede podem fornecer recursos programáveis de rede para provedores OTT (provedor de serviço Over The Top) e outros participantes do mercado sem alterar sua infraestrutura física. As fatias podem oferecer suporte a vários serviços dinâmicos e meios de integração para players de mercado como a indústria automotiva, a indústria de energia, a indústria de assistência à saúde, a indústria de mídia e entretenimento.



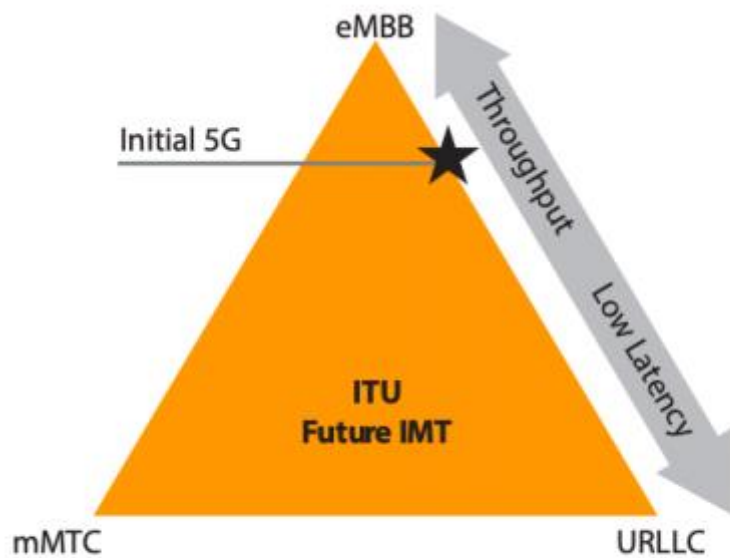
Fonte: Relatório *View on 5G Architecture* (2017).

APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA 5G

Todas as tecnologias citadas até o momento são impulsionadas por aplicações e serviços que visam de alguma forma beneficiar a sociedade. Até as redes 4G, as aplicações foram movidas por recursos de rede disponíveis, oferecendo serviços principalmente focados em comunicação de voz e dados. No entanto, com o surgimento de uma nova geração de aplicações over-the-top (OTT), serão necessários novos recursos que definirão e impulsionarão a rede 5G para uma nova era de aplicações

Segundo artigo do IEEE, 5G and Beyond Technology Roadmap White Paper, a rede 5G permitirá os provedores e operadoras de serviços a criar novas plataformas para permitir a próxima geração de aplicações, além de desenvolver novos modelos de negócios. Streaming de vídeo e aplicações baseadas em IoT são os atuais “killers applications” que combinados com os recursos de realidade virtual e aumentada, criarão oportunidades em vários setores

De acordo com o estudo da GSMA, The 5G era in the US 2018, a maioria das operadoras de comunicação móvel em todo o mundo indicam que a banda larga móvel aprimorada (eMBB) será a principal proposta nas primeiras implementações de 5G, com comunicações IoT massivas e ultraconfiáveis de baixa latência ganhando escala em um estágio posterior.



Fonte: Relatório *A New Era for Enhanced Mobile Broadband* (2018)

De acordo com o relatório *A New Era for Enhanced Mobile Broadband* (2018) os requisitos essenciais para a rede sem fio nesse primeiro estágio são respectivamente: largura de banda, latência e capacidade.

A fase inicial das implantações 5G estão no lado do triângulo eMBB-URLLC mais próximo do eMBB. O caso de uso MTC (machine type communication) testemunha com certa timidez ainda o surgimento das tecnologias NB-IoT e eMTC da 3GPP Release 13, enquanto o URLLC completo exigirá a implantação de 5G Core para a redução total da latência de E2E. As aplicações de missão crítica que são especialmente exigentes no quesito latência, também exigem cobertura em grande escala, o que é difícil de imaginar nas implantações iniciais.

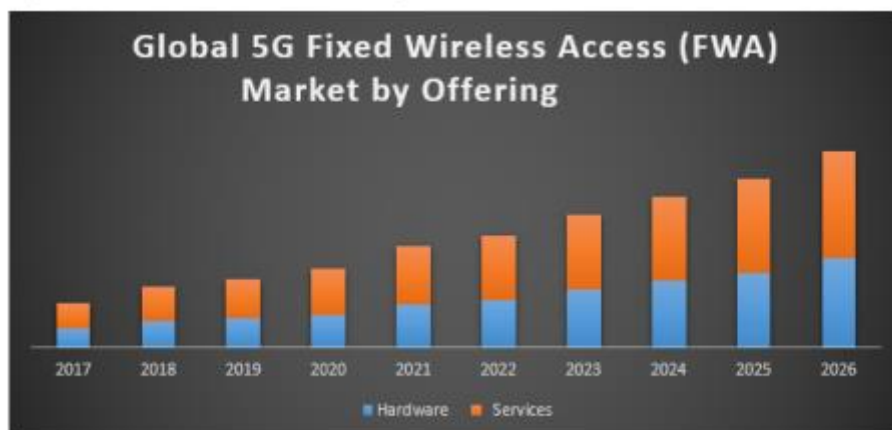
O relatório *A New Era for Enhanced Mobile Broadband* (2018) destaca que no primeiro estágio, espera-se um crescimento adicional da largura de banda, complementado por melhorias de latência no 5G NR, mas também no LTE. Isso ajudará a desenvolver os casos de uso de banda larga móvel de hoje para alavancar aplicações emergentes de AR/VR (realidade aumentada/realidade virtual), vídeo 360 UHD e outras aplicações.

BANDA LARGA

Podemos considerar que o 5G estará disponível em duas formas de acesso de alto nível: como um serviço móvel onde é possível acessar através de dispositivos móveis em qualquer lugar, com ou sem mobilidade, e também como um serviço de acesso fixo FWA (fixed wireless access) que funciona em um único local.

Segundo dados da Ericsson em seu artigo Making fixed wireless access a reality (2018), cerca de metade de todos os lares do mundo - mais de 1 bilhão - não possuem conexão de banda larga fixa. Dada a atual velocidade e capacidade das redes de telefonia celular com LTE e sua evolução para 5G, há oportunidades significantes para as operadoras fornecerem serviços de banda larga para residências e pequenas e médias empresas usando FWA (Fixed Wireless Access).

Uma pesquisa recente feita pela empresa Maximize Market Research, Global 5G Fixed Wireless Access Market (FWA) – Industry Analysis and Forecast (2018-2026), mostrou que o mercado global de acesso sem fio Fixo 5G (FWA) foi avaliado em US\$ 352 Milhões em 2017 e deve chegar a US\$ 94.566 Milhões até 2026, a um CAGR (taxa de crescimento anual composta) de 101,21% durante um período de previsão.



Fonte: Maximize Market Research (2019)

De acordo com artigo publicado pela GSMA, Fixed Wireless Access: Economic Potential and Best Practices (2018), o FWA não é um conceito novo, pois já tem sido usado como um substituto para a conexão com fio na última milha e é comparável ao FTTX (Fiber to-the-x), pois ambas são soluções de alta conectividade para a borda da rede.

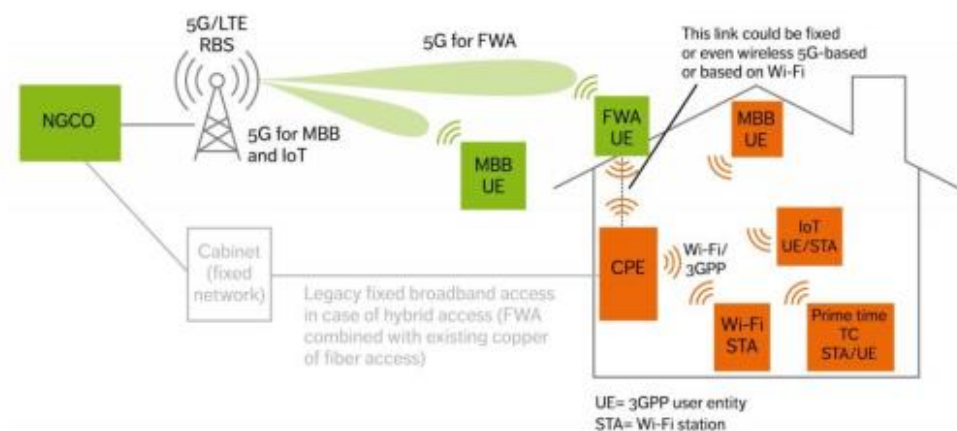
O artigo destaca que um grande benefício do FWA é relacionado aos custos operacionais e de implantação que são relativamente baixos em comparação com a infraestrutura cabeada que fornece acesso de banda larga aos usuários. A Huawei estima que o custo

total por linha de banda larga comparado ao FTTx é significativamente maior que o do FWA. Concentrando-se apenas no CAPEX, o FTTx custa aproximadamente de US\$ 500 a US\$ 1.000 por assinante, enquanto a rede de transporte sem fio (FWA) custaria aproximadamente de US\$ 100 a US\$ 400.

A economia do FWA pode não ser tão boa quanto a da infraestrutura fixa legada, como a DSL, mas as operadoras devem considerar os recursos avançados que podem ser entregues principalmente com a tecnologia 5G e não são possíveis com a DSL. Experiências com o FWA fornecendo serviços de banda larga ao consumidor sugerem que o custo por bit para conectar uma residência à banda larga pode ser reduzido em 74% quando comparado com as conexões de rede fixa.

Além disso, o artigo publicado pela GSMA destaca que a implementação de inovações de rádio, como MIMO massivo com beamforming, pode reduzir ainda mais o custo para 80% em comparação com as conexões com fio, uma vez que os custos de investimento para desenvolver essas tecnologias foram absorvidos. A redução de custo permite que as operadoras implantem com rapidez e flexibilidade a conexão de dados para os casos de uso pretendidos.

Usar o FWA para fornecer serviços de banda larga requer o uso de uma nova CPE FWA, com um ou mais dispositivos internos para fornecer sinal indoor e uma unidade fixa instalada ao ar livre para receber o sinal da ERB. A Figura 36 apresenta uma alternativa para implantação de FWA.



Fonte: Relatório *Fixed wireless access on a massive scale with 5G* (2016)

De acordo com o artigo *Leading the Way in 5G Fixed Wireless Access* (2018), alguns casos de uso potencial para o FWA 5G incluem aplicações de VPN, comunicações unificadas, acesso à internet gigabit e streaming de vídeo 4K, serviços que seriam desafiadores para fornecer na infraestrutura de rede fixa legada. Diversos segmentos de clientes, desde empresas, universidades, hospitais até clientes residenciais podem se beneficiar dos casos de uso habilitados. O FWA contribuirá também para aliviar a pressão de backhaul de rede móvel, permitindo descarregar parte do tráfego que seria entregue através de conexões de celular, bem como estender o alcance e a capacidade da rede da operadora de telefonia móvel.

A operadora AT&T, em cooperação com a Ericsson, Nokia, Samsung e Intel, liderou a avaliação do FWA conduzindo vários testes que ajudaram a esclarecer como a tecnologia atua em um ambiente de negócios. A AT&T tem usado o espectro de ondas milimétricas (mmWave) juntamente com protótipos de rádio e antena 5G RAN e um core 5G totalmente virtualizado.

De acordo com o relatório da GSMA, a operadora conseguiu atingir desempenho superior com throughput na faixa de gigabits por segundo e latência de menos de 10ms nas avaliações do 5G Fixed Wireless Access. Os ensaios também demonstraram que não houve impacto significativo no sinal 5G mmWave devido a eventos climáticos como chuva e que o desempenho do sinal para materiais por exemplo, folhagem, vidro e parede foi melhor que o esperado em alguns locais. A Figura 37 apresenta os principais resultados do ensaio.

Location	Customer segment	Performance	Highlights
Austin, Texas	Local businesses	1Gbps speed & <10ms RAN latency	Enterprise trial in 2016, residential and small business trials in 2017.
Waco, Texas	Retail shopping centre	1.2Gbps speed & 9-12ms RAN latency in 150m range	400MHz bandwidth in 28GHz band
Kalamazoo, Michigan	Small businesses	1Gbps speeds in 275m range (line of sight)	No significant impact on 5G mmWave signal performance due to rain and better than expected performance in some locations (based on e.g., foliage, glass and wall)
South Bend, Indiana	Small business and residential customers	Gigabit speed and extremely low latency in both line of sight and non-line of sight conditions	Full end-to-end 5G network architecture, including the 5G radio system and core

Fonte: Relatório *Leading the Way in 5G Fixed Wireless Access (2018)*

CONCLUSÃO

Desta feita verifico-se que o estudo e a implementação da rede 5G representam um marco significativo no desenvolvimento das comunicações sem fio e têm o potencial de revolucionar a maneira como interagimos com a tecnologia. Essa nova geração de rede oferece velocidades de transmissão de dados ultrarrápidas, baixa latência e capacidade de conexão maciça, abrindo caminho para uma série de avanços tecnológicos e aplicativos inovadores.

Uma das principais vantagens do 5G é sua capacidade de suportar um maior número de dispositivos conectados simultaneamente, o que é fundamental para o desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT). Com uma rede mais eficiente, será possível conectar uma ampla variedade de dispositivos inteligentes, desde eletrodomésticos até veículos autônomos, criando um ecossistema altamente interconectado.

Além disso, o 5G trará melhorias significativas em áreas como saúde, indústria e entretenimento. Na área da saúde, por exemplo, a rede 5G permitirá o desenvolvimento de soluções médicas remotas e cirurgias assistidas por robôs, aproveitando a baixa latência e a alta confiabilidade da rede. Na indústria, a tecnologia 5G possibilitará a implementação da automação avançada, aumentando a eficiência e a produtividade das operações.

No campo do entretenimento, a velocidade de transmissão do 5G permitirá experiências imersivas, como streaming de vídeos em ultra-alta definição (8K) e realidade virtual de alta qualidade, proporcionando aos usuários uma nova forma de interagir e consumir conteúdo.

Apesar de seus benefícios, a implementação da rede 5G também apresenta desafios, como a necessidade de infraestrutura adicional e a questão da segurança cibernética. É importante que sejam realizados investimentos significativos em infraestrutura de rede e que sejam adotadas medidas de segurança robustas para garantir a confiabilidade e a privacidade dos usuários.

Em conclusão, o estudo e a implementação da rede 5G são fundamentais para impulsionar a transformação digital em diversas áreas

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBERTIN, ALBERTO LUIZ e ALBERTIN, ROSA MARIA DE MOURA. A Internet das coisas irá muito além das coisas.

GVEXECUTIVO Mar/Abr 2017. ARICENT. The Future of Cellular for IoT. California: Aricent, 2017. DAHLMAN, Erik et al. 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband. Oxford: Elsevier, 2007.

DIAS, K. L; Sadok, D. F.H. Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 19, 2001, Florianópolis. Anais ...Florianópolis: GTA: UFRJ, 2001