



**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA E DE TELECOMUNICAÇÕES**  
**UNIVERSIDADE AUTÓNOMA DE LISBOA**  
**“LUÍS DE CAMÕES”**

**COMUNICAÇÕES SEM FIO PARA CONDUÇÃO AUTÓNOMA**

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Informática e de  
Telecomunicações

Autor: Isaías Sebastião Mabiala

Orientador: Professor Doutor Héctor Dave Orrillo Ascama

Número do candidato: 30005802

**Julho de 2021**

**Lisboa.**



## Dedicatória

Dedico essa dissertação de mestrado a Deus, essa força maior que me guia e ilumina meus pensamentos para que eu desenvolva minha luz.

## Agradecimentos

A realização desta Dissertação de mestrado contou com brilhantes apoios e incentivo, sem isso não tornaria uma realidade, ficarei sempre grato ao longo da minha vida.

Em primeiro lugar, agradeço ao professor Héctor Dave Orrillo Ascama, pela orientação, disponibilidade, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões e críticas, total colaboração nos dilemas que foram surgindo no percurso da realização desta dissertação.

Agradeço aos meus pais pelas lindas palavras sábias de encorajamento e pelo suporte dado quando surgiram dilemas.

Agradeço também à minha família e amigos que sempre me apoiaram de forma coerente e motivadora.

Agradeço aos meus colegas pela paciência, constante motivação que transmitiram durante essa caminhada do curso.

Por fim, agradeço, todos os professores que fazem parte do Mestrado em Engenharia Informática e Telecomunicações pela partilha de conhecimentos.

## RESUMO

Nesta dissertação apresenta-se conceitos relacionados com a evolução de novos sistemas tecnológicos, neste caso, estudo e análise de novos protocolos de comunicações sem fio para condução autónoma (V2X). A condução autónoma visa reduzir drasticamente o número de acidentes com veículos, gestão de tráfego, bem como a redução da poluição ambiental causada pelo tráfego rodoviário. Com os atuais protocolos de comunicação veículos para tudo (V2X) nomeadamente LTE V2X e 5G NR V2X houve um avanço fundamental para a segurança da condução autónoma. As aplicações para a área de condução autónoma precisam que a informação chegue ao destino mais rápido possível. Nesta senda, LTE V2X fornece múltiplas opções de largura de banda e os recursos de transmissão são atribuídos aos utilizadores que necessitam processar alta carga útil num regime de modulação e codificação escolhido o que significa que a largura de banda atribuída pode ser partilhada entre os utilizadores. 5G NR V2X complementa com eficiência o LTE V2X no suporte aos casos de uso da condução autónoma que não podem ser suportados pelo LTE V2X, mas também inclui bandas mmWave, espaçamento de subportadora escalável e MIMO massivo. Neste trabalho foram avaliados estes protocolos de comunicação nomeadamente LTE V2X e 5G NR V2X. A latência de transmissão e taxa de dados, bem como modulação foram consideradas como métricas para tal avaliação. Nesta senda o 5G NR V2X, obteve significativamente o melhor desempenho.

**Palavras-chave:** Veículo para tudo (V2X), LTE V2X, 5G, NR V2X, Ultra-Reliable Low Latency.

## ABSTRACT

This dissertation presents concepts related to the evolution of new technological systems, in this case, study and analysis of new wireless communications protocols for autonomous conduction (V2X). Autonomous driving aims to drastically reduce the number of vehicle traffic management accidents, as well as the reduction of environmental pollution caused by road traffic. With the current vehicles communication protocols for everything (V2X) namely LTE V2X and 5G NR V2X there was a fundamental advance for the safety of autonomous steering. Applications for the autonomous driving area need information to reach its destination as quickly as possible. In this path, LTE-V2X provides multiple bandwidth options transmission resources are assigned to users who need to process high payload on a chosen modulation and encoding regime which means that the allocated bandwidth can be shared between users. 5G NR V2X efficiently complements LTE V2X in support of autonomous driving use cases that cannot be supported by LTE V2X, but also includes mmWave bands, scalable subcarrier spacing, and massive MIMO. In this work, these communication protocols were evaluated, namely LTE V2X and 5G NR V2X. Transmission latency and data rate, as well as modulation were considered as metrics for such evaluation. On this path the 5G NR V2X, achieved significantly the best performance.

**Keywords:** Vehicle for Everything (V2X), LTE V2X, 5G, NR V2X, Ultra-Reliable Low Latency.

# ÍNDICE

<b>Dedicatória</b> .....	<b>3</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS</b> .....	<b>11</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 Justificativa e Enquadramento.....	13
1.2 Objetivos.....	14
1.3 Estrutura da dissertação .....	15
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 Redes Veiculares .....	16
2.2 Condução Autónoma .....	19
2.2.1 Origem da Condução Autónoma .....	19
2.2.2 Módulo Essencial para Condução Autónoma .....	21
2.3 Comunicação V2X .....	23
<b>3. QUINTA GERAÇÃO DAS REDES MÓVEIS (5G)</b> .....	<b>27</b>
3.1 Redes 5G.....	27
3.2 Cenários de uso previstos para 5G .....	28
3.3 Principais Requisitos do 5G .....	30
<b>4. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO</b> .....	<b>32</b>
4.1 LTE V2X.....	32
4.2 NR V2X.....	34
4.3 Coexistência entre LTE V2X e NR V2X .....	36
4.4 Estrutura do Quadro 5G.....	42
<b>5. METODOLOGIA E ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
5.1 Métodos de cálculo para Latência de transmissão e Taxa de dados.....	51
5.1.1 Método matemático para o cálculo das métricas do protocolo LTE V2X	51

5.1.2	Método matemático para o cálculo das métricas do protocolo NR V2X..	53
5.2	Análise de resultados .....	55
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Modelo típicos para a condução autónoma. ....	22
Figura 2- Tipos de Comunicações V2X.....	24
Figura 3- Comparação de características entre 4G e 5G. ....	28
Figura 4- Faixas prioritárias para o 5G em diversos países.....	28
Figura 5- Mapeamento de casos de uso do 5G dentro de cenários de uso. ....	29
Figura 6- Elementos de IoT.....	30
Figura 7- Canalização LTE-V2X.....	33
Figura 8- Mecanismo de Prevenção em NR V2X.....	38
Figura 9- Numerologia, Espaçamento Sub-carrier: Estrutura do quadro 5G.. ....	43
Figura 10- CP normal, Numerologia = 0, Estrutura de Quadro de Rádio 5G. ....	44
Figura 11- CP normal, Numerologia = 0, Estrutura de Quadro de Rádio 5G. ....	45
Figura 12 - CP, Normal, Numerologia = 2, Estrutura de Quando de Rádio 5G.....	46
Figura 13- Normal CP, Numerologia = 3, Estrutura de Quadro de Rádio de 5G.....	47
Figura 14- Normal CP, Numerologia = 3, Estrutura de Quadro de Rádio de 5G.....	48
Figura 15- CP estendido, Numerologia = 2, Estrutura de Quadro de 5G.....	49
Figura 16 - Largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz para LTE V2X e NR V2X .....	57
Figura 17- Largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadora (SCS) de 15 KHz para taxa de dados do LTE V2X .....	58
Figura 18 - Largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz para taxa de dados do NR V2X.....	59
Figura 19- Largura de banda do canal de 20 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 30 KHz para LTE V2X e NR V2X .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipo de mensagens de control autónomo.....	23
Tabela 2- Comparação de LTE V2X e NR V2X.....	40
Tabela 3- Comparação da latência de transmissão e taxa de dados para largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadoras de 15 KHz.....	55
Tabela 4 - Comparação da latência de transmissão e taxa de dados para largura de banda do canal de 20 MHz com espaçamento de subportadoras de 30 MHz.....	56

## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
ADC	Autonomous Driving Control
ADCM	Autonomous Driving Control Message
ATM	Action Triggered Message
ADV	Autonomous Driving Vehicle
CAPEX	Capital Expenditure
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything
D2D	Device to Device
DMRS	Demodulation Reference Signals
DSRC	Dedicated Short Range Communications
ECDSA	Elliptic Curve Digital Signature Algorithm
EDCA	Access to the Enhanced Distribution
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
eMBMS	Evolved Multimedia Broadcast Multicast
3GPP	3rd Generation Partnership Project
FDM	Frequency Division Multiplexing
5G-V2X	Five Generation Vehicle -to- Everything
ITS	Intelligent Transport System
LDPC	Low Density Parity Check
LIDAR	Light Detection and Ranging
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Technology
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	Massive Machine Type Communication
NAT	Network Access and Transport
NLOS	Non-Line-of-Sight
NOMA	Multiple Non-Orthogonal
NR-V2X	New Radio Vehicle to Everything

OBU	On-Board Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPEX	Operation Expenditures
PC	Cyclic Prefix
PHY	Physical (Layer)
PSCCH	Physical Side link Control Channel
PSFCH	Physical Side link Feedback Channel
PSM	Periodic State Message
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RADAR	Radio Detection and Ranging
RAT	Radio Access Technology
RAN	Radio Access Network
RSA	Rivest-Shamir-Adleman
RSU	Road-Side Unit
SAE	Forms Society of Automobile Engineers
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SDN	Software Defined Network
SNR	Signal-to-Noise Ration
TDM	Time Division Multiplexing
UE	User Equipment
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
V2X	Vehicle to Everything
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2N	Vehicle to Network
V2P	Vehicle to Pedestrian
V2	Vehicle to sensor

# 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, na sociedade em que vivemos o avanço tecnológico nas comunicações têm sofrido uma enorme evolução nos últimos anos, devido não só ao aumento do número de utilizadores ativos móveis, mas também pelo aparecimento de várias tecnologias, que oferecem melhor qualidade de serviço, maior velocidade de transmissão de dados, mobilidade, alta densidade de conexão, menor latência e alta taxa de dados. A quinta geração de comunicações móveis (5G), posiciona-se como o sistema de comunicação sem fio capaz de suportar todos os desafios dessa nova era. O surgimento da rede 5G tem como foco primordial, conectar o mundo, por intermédio de pessoas, dispositivos, aplicações, dados, sistemas de transporte e cidades inteligentes em base de redes de comunicação [1]. 5G começou a ser implementada em todo o mundo após 2018, é o sucessor planejado das redes 4G que fornecem conectividade para a maioria dos dispositivos atuais. 5G oferece taxa de dados de 10 Gbps, densidade de conexão de  $1000.000/Km^2$ , Taxa de dados de experiência do utilizador de 100 Mbps em áreas urbanas / suburbanas ou 1 Gbps em Ponto de acesso, mobilidade maior que 500 Km/h, latência na ordem de ms, etc. [2].

## 1.1 Justificativa e Enquadramento

Como justificativa, serve de argumento de que atualmente o congestionamento de tráfego e acidentes de trânsito recentes envolvendo veículos autônomos, bem como a poluição ambiental causada pelo tráfego rodoviário causam grande apreensão em relação à segurança e fiabilidade na condução autônoma. Sendo que a comunicação entre veículos, pode sofrer interferências que causem a perda de conectividade ou perda na conexão à rede de alta velocidade. Com atuais protocolos propostos pelos órgãos Internacionais de Telecomunicações, nomeadamente IEEE e 3GPP, pretende-se melhorar a eficiência na comunicação entre veículos e veículos com a infraestrutura nomeadamente V2X [3]. Como podem melhorar a eficiência na comunicação veicular? Implementando protocolos eficientes, que serão benéficos para a segurança de veículos autônomos. Além disso, mesmo para os veículos atuais, o processamento de dados recebidos de sensores de veículos ao redor com a ajuda das tecnologias V2X, NR V2X, LTE V2X e 5G contribuem para melhor conectividade de veículos, direção segura e fornecimento de serviços telemáticos de alta qualidade aos motoristas. Com o aumento da disponibilidade de veículos capazes de suportar níveis mais elevados de automação, a necessidade de comunicação e cooperação entre veículos torna-se ainda mais importante [4].

Certamente, as aplicações para área de condução autónoma precisam que a informação chegue ao destino em tempo real e com mínima latência a fim de que os veículos recebam a informação solicitada em tempo oportuno. Entretanto, é necessário ter um modelo de infraestrutura de rede que suporta às novas tecnologias de comunicação, especificamente 5G. Na rede de comunicações V2X, nota-se umas grandes contribuições, visto que cada veículo transmite informações *Múltiplo Não Ortogonal* (NOMA), é usado para reduzir a latência de acesso e melhorar a probabilidade de receção de pacote [5].

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho que se estuda e analisa na presente proposta de dissertação, são as novas propostas de protocolos de comunicação no que diz respeito, a evolução tecnológica destes protocolos e a associação da tecnologia 5G com a comunicação V2X que atualmente estão em constante desenvolvimento.

Nesta secção apresentamos os vários objetivos específicos que se pretende atingir durante o desenvolvimento deste trabalho

### Objetivos específicos

- Pretende-se analisar e estudar as soluções propostas pelo 3GPP, no que tange aos novos protocolos de comunicações sem fio para condução autónoma que permitam incrementar a segurança dos veículos. Os protocolos analisados são LTE V2X e NR V2X
- Analisar o protocolo de comunicação LTE V2X com as respetivas variáveis (latência de transmissão e taxa de dados).
- Analisar e estudar o protocolo de comunicação 5G NR V2X com as respetivas variáveis (latência de transmissão e taxa de dados).
- Analisar a latência de transmissão e a taxa de dados dos protocolos LTE V2X e NR V2X para as seguintes configurações: largura de banda do canal 10 MHz com espaçamento de subportadora (SCS) de 15 KHz.
- Analisar a latência de transmissão e a taxa de dados dos protocolos LTE V2X e NR V2X para as seguintes configurações: largura de banda do canal 20 MHz com espaçamento de subportadora (SCS) de 30 KHz.

### 1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação será organizada em seis capítulos: No capítulo 1, apresenta-se as justificativas e o enquadramento do tema, a sua importância para a realização deste trabalho, bem como os seus objetivos e termina-se com a descrição da estrutura do documento.

No capítulo 2, é realizado o estudo acerca das redes veiculares, condução autónoma, protocolos de comunicação, e serão apresentados alguns conceitos teóricos necessários para melhor percepção do problema abordado nesta dissertação.

O capítulo 3, apresenta os conceitos relativos a 5G, os novos serviços da rede móvel desta nova tecnologia e os requisitos de 5G.

Quanto ao capítulo 4, este descreve os protocolos de comunicação.

O capítulo 5, aborda sobre Análise de Resultado, especificamente protocolos de comunicação LTE V2X e 5G NR V2X com as determinadas variáveis sendo a latência de transmissão e a taxa de dados.

O sexto capítulo, apresenta a discussão e as conclusões a cerca do estudo realizado, bem como o trabalho futuro relacionado com o tema abordado.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo, serão abordados os estudos concernentes as redes veiculares, diferentes tipos de condução autónoma sem mais tardar os protocolos de comunicação adequados de *veículos para tudo* (V2X) e serão apresentados alguns conceitos teóricos necessários para melhor Perceção do problema realizado nesta dissertação.

### 2.1 Redes Veiculares

Cada dispositivo na rede veicular, seja ele veículo ou infraestrutura, é considerado um componente principal da rede, designado por nó.

A comunicação entre os nós caracteriza-se por uma comunicação, *veículo pra veículo* (V2V), sendo que a troca de mensagens entre si é realizada de modo a obterem informações sobre o ambiente envolvente onde se encontram, que pode ajudar a reduzir o número de acidentes e diminuir a intensidade do tráfego [6]. Cada *On Board Unit* (OBU) funciona em modo Ad-hoc podendo encaminhar mensagens através de um salto ou de múltiplos saltos, ou seja, vários veículos intermediários retransmitem as mensagens entre veículos na mesma área de cobertura da comunicação sem fio [6]. Porém, neste modo, a conectividade da rede depende da densidade de veículos na vizinhança, isto é, caso existam poucos veículos em circulação, a informação pode não chegar ao destino final, e por outro lado, caso existam muitos veículos serão necessários algoritmos sofisticados para evitar as colisões de mensagens [7].

A comunicação estabelecida entre o nó e a infraestrutura (modo infraestruturado), representada, designa-se de comunicação, *veículo para infraestrutura* (V2I), sendo que neste modo, a conectividade da VANET pode aumentar através de comunicação com outras redes e serviços ou até mesmo com a Internet, verificando-se que, contudo, o custo de implementação deste sistema aumenta, visto que há necessidade de ter *Road-Side Unit* (RSU) espalhados pelas estradas [8]. Existem três tipos de arquiteturas, ou seja, topologias de rede que podem ser caracterizadas como:

1. Arquitetura modo Ad-hoc puro, na qual os veículos não necessitam de uma infraestrutura externa para poderem trocar informações sempre que estiverem próximos o suficiente de outros veículos – VANET.

2. Arquitetura modo infraestruturado, que resulta na comunicação entre veículo e infraestruturas localizadas nas faixas de rodagem.

3. Arquitetura híbrida, que se caracteriza pela existência dos dois tipos de comunicações, V2V e V2I, cuja finalidade é tentar obter o melhor destas duas últimas arquiteturas. Nesta topologia, os dispositivos rodoviários podem executar tarefas como a agregação e processamento de rede, acesso a redes maiores como Internet ou recursos de segurança [6].

Uma rede Ad-hoc é fácil de configurar, não necessita de ser implementada e só está presente quando existem dados para transmitir. No entanto, o encaminhamento de mensagens numa rede Ad-hoc é complexo e a confiabilidade depende muito do número de veículos.

Algumas aplicações, como a conectividade à Internet, não são possíveis numa rede puramente Ad-hoc, uma vez que os veículos apenas comunicam entre si, não tendo acesso a nenhum gateway [9].

Conforme indicado anteriormente, as VANETs são redes móveis formadas principalmente por veículos, são um tipo de MANET que promovem a comunicação entre veículos [10]. Assim sendo, os desafios encontrados na implementação das MANETs são também os desafios encontrados na implementação das VANETs [11]. As VANETs herdam algumas características das MANETs, mas contêm também características próprias que as diferenciam das restantes redes Ad-hoc, tais como:

- Densidade da rede variável, esta característica varia consoante o número de veículos, isto é, a densidade é elevada quando existem um elevado número de veículos, por exemplo, congestionamentos. A densidade é baixa quando existe um número reduzido de veículos;

- Alta Mobilidade, os nós da rede (veículos) encontram-se em constante movimento, deslocando-se a velocidades variáveis e em diversas direções, o que dificulta a predição do nó;

- Topologia da rede dinâmica, devido às velocidades variáveis dos nós e direções variáveis, existe uma alteração constante na posição dos nós em relação aos nós vizinhos, alterando-se assim muito rapidamente a topologia da rede;

- Tamanho da rede ilimitada, as VANETs podem ser instaladas em regiões, cidades ou até mesmo por todo o país, ou seja, o tamanho da rede é ilimitado em relação à região geográfica.

- Desconexões frequentes, devido à topologia da rede dinâmica, à alta mobilidade dos nós, às condições climáticas, à baixa densidade do tráfego (nós mais afastados) e à obstrução momentânea causada por obstáculos, podem verificar-se desconexões frequentes;

- Troca rápida de mensagens, devido às altas velocidades e mobilidade constantes dos veículos na rede, as trocas dos vários tipos de mensagens devem ser rápidas, logo as mensagens

devem ser entregues num tempo mínimo para que as ações apropriadas possam ser tomadas pelo recetor de acordo com a mensagem;

- Energia Suficiente, os nós não apresentam problemas relacionados com a energia, visto que existem várias técnicas como *Rivest-Shamir-Adleman* (RSA) e *Elliptic Curve Digital Signature Algorithm* (ECDSA) que são implementadas e fornecem potência de transmissão infinita [12].

Os principais objetivos das VANETs são assegurar a segurança rodoviária, melhorar a eficiência do tráfego e proporcionar uma maior comodidade aos ocupantes do veículo, associada à possibilidade de planificar de forma eficiente o percurso durante a viagem. De acordo com a maioria dos casos, as aplicações implementadas em VANETs podem ser classificadas em dois tipos: aplicações seguras e aplicações não-seguras. Tipicamente, a intenção das aplicações de segurança é a prevenção de acidentes, e esta é a principal motivação para o desenvolvimento das redes veiculares Ad-hoc. O consórcio de *Comunicações de Segurança de Veículos* (VSC) identificou algumas aplicações de segurança: aviso de violação Comunicação Veículo para Veículo de sinal de trânsito, aviso de velocidade numa curva, luzes de travagem de emergência, aviso de pré mudança de faixa, travagem, aviso e assistência de movimento com sinalização. Estas aplicações apresentam uma grande necessidade de comunicação entre veículos e/ou entre veículos e infraestruturas [12].

Por essa razão, os veículos encontram-se equipados com vários sensores que recolhem dados de tráfego e monitorizam o ambiente continuamente e, também com aplicações cooperativas de segurança veicular podem alterar informações de trânsito em tempo real e enviar, receber mensagens de aviso através de comunicação V2I ou V2V a fim de melhorar a segurança rodoviária e evitar acidentes. As aplicações não seguras incluem informações sobre o estado e a eficiência do tráfego, conforto, entretenimento e aplicações de infotainment (informação e entretenimento). Alguns exemplos destas aplicações são a monitorização do tráfego nas vias por exemplo: a existência de um congestionamento na faixa rodoviária e o tempo previsto para o mesmo, aviso de aproximação de veículos prioritários, assistência em viagem e assistência turística [12]-[13].

## 2.2 Condução Autónoma

### 2.2.1 Origem da Condução Autónoma

A origem na pesquisa de veículos autónomos remonta a 1977, quando o *Tsukuba Mechanical Engineering Lab* (TMEL) no Japão construiu o primeiro veículo inteligente do mundo que seguia linhas brancas de uma estrada, conseguindo alcançar velocidades até 30Km/h [14]. A condução autónoma é suportada por veículos autónomos, considerados como veículos que se movem sem intervenção humana, interpretando o meio que os rodeia, e recorrendo a diversas tecnologias, como *Radio Detection And Ranging*, (RADAR) *Light Detection And Ranging* (LIDAR), GPS, Odometria e Visão Computacional. Estes veículos são capazes de adaptar a sua condução em frações de segundos [15].

Os veículos autónomos encontram-se equipados com sistemas de condução autónoma e são descritos na literatura como autónomos, sem motorista, robótico ou auto conduzido. A *antiga Sociedade de Engenheiros Automóveis* Internacional (SAE) especifica 5 níveis de condução autónoma, e a Administração Nacional de Segurança de Transito nos EUA adaptou este sistema recentemente. Os 5 níveis de automação classificam-se da seguinte forma:

Nível 0 – Sem automação: a condução do veículo depende da intervenção humana em tempo integral, para todos os aspetos de condução;

Nível 1– Assistência ao Motorista: o sistema, por vezes auxilia com tarefas específicas, como a escolha da direção ou aceleração e desaceleração, com o condutor humano realizando as restantes tarefas;

Nível 2 – Automação Parcial: o sistema executa tarefas, tais como escolha da direção juntamente com aceleração e desaceleração, sendo os humanos responsáveis pelas restantes tarefas;

Nível 3 – Automação Condicional: o sistema gere todas as tarefas e monitoriza o ambiente de condução, sendo que o ser humano só intervém quando o sistema requer assistência;

Nível 4 – Automação Elevada: o sistema conduz e monitoriza determinados ambientes e condições sem intervenção humana e é considerado totalmente autónomo em certos cenários, mesmo que o condutor humano não responda adequadamente a um pedido de intervenção;

Nível 5 – Automação Completa: o sistema faz tudo o que um motorista humano faz em todas as condições, combinando ou excedendo as capacidades de um humano em cada cenário de condução [16].

Entre 1987 e 1995, a comissão europeia financiou o *Projeto EUREKA Prometheus* (EPP), um programa de investigação dedicado ao desenvolvimento de veículos autónomos. Os veículos autónomos Vamp e VITA-2, desenvolvidos por uma equipa de engenheiros da Universidade Federal das Forças Armadas Alemãs em Munique em colaboração com a Mercedes-Benz, foram apresentados, em 1994, no decorrer da apresentação final do Projeto EUREKA em Paris. Estes veículos usaram visão dinâmica para detetar objetos em movimento e foram capazes de evitar e ultrapassar outros carros na via pública. No total percorreram mais de 1000 km com trânsito caótico e numa autoestrada com três faixas, atingindo a velocidade de 130 km/h. Um ano mais tarde, um modelo da Mercedes-Benz, desenvolvido pela mesma equipa, efetuou um percurso ida e volta desde Munique até Copenhaga excedendo a velocidade de 177 km/h de velocidade e completando o trajeto com 95% de condução autónoma.

O projeto italiano ARGO, desenvolvido entre o ano de 1996 e 2001, concebeu veículos que eram capazes de seguir faixas brancas numa autoestrada modificada. Um dos veículos resultantes deste projeto é o Lancia Tema que após modificações, conseguiu atingir uma velocidade média de 90 km/h com 94% de condução autónoma. O veículo estava equipado com apenas duas câmaras a preto e branco, e usava algoritmos de visão estereoscópica para seguir o trajeto pretendido. A habilidade impressionante demonstrada na área dos veículos robóticos terrestres despoletou o interesse mundial e o aumento da pesquisa científica nessa área, incluindo os projetos “DEMO” da DARPA (uma organização de investigação do departamento de defesa dos EUA). Estes projetos focavam-se no desenvolvimento de veículos capazes de navegar por terrenos hostis e providenciar o conhecimento e experiência inicial no campo da robótica automobilística.

A DARPA, uma organização de investigação, centralizada na criação e desenvolvimento de tecnologias para fins militares, lançou, em 2004, o DARPA Grand Challenge, uma competição criada para incentivar a investigação e o desenvolvimento em veículos autónomos. Para a DARPA, todas as tarefas perigosas devem ser realizadas por uma máquina em vez de um ser humano, de modo a proteger os soldados e permitir que os esforços humanos sejam empregues de forma mais eficiente, sendo esta a filosofia que fundamentou todo o investimento efetuado pelo governo dos EUA na área da condução autónoma.

Aproveitando o sucesso do Grand Challenge, a DARPA organizou, em novembro de 2007, um evento chamado Urban Challenge, a primeira competição de condução autónoma em que veículos tiveram de interagir, com ou sem condutor, num ambiente urbano. O evento

requeria que as equipas desenvolvessem um veículo autónomo capaz de se mover em tráfego congestionado, efetuando manobras complicadas em cenários de interseções e de cedências de passagem, e em estacionamento. A viagem envolvia um trajeto de 96 km ao longo de uma área urbana em que os veículos autónomos tinham de obedecer às regras de trânsito, evitar outros carros na estrada que partilhavam a mesma via. De todas as 35 equipas de todo o mundo, apenas 6 conseguiram terminar a prova com uma velocidade média de 20 km/h [16].

A evolução da tecnologia tem permitido melhorar a capacidade dos sensores e dos sistemas de processamento de dados, o que permite ampliar os automatismos. O objetivo agora é chegar à condução totalmente autónoma, que dispensa na totalidade o condutor humano.

Contudo, de acordo com a maioria das marcas automóveis associadas a esta temática, ainda é necessário esperar que a tecnologia “amadureça” e que os testes que já se encontram a ser realizados demonstrem fiabilidade na condução autónoma. Este acumular de experiências é fundamental para levar as autoridades a criar legislação que permita a chegada dos carros autónomos ao mercado [17].

### 2.2.2 Módulo Essencial para Condução Autónoma

Recentemente, a indústria automóvel tem privilegiado o desenvolvimento de veículos mais seguros e confortáveis, o que estimula a procura de novos veículos inteligentes com controlo de condução autónoma. Um veículo autónomo é um veículo com condução autónoma que tem a capacidade de perceber o ambiente ao seu redor e realizar o controlo e planeamento do caminho sem a necessidade de intervenção humana.

Em 2020, as multinacionais, General Motor, Volkswagen, Toyota e Google esperam vender veículos autónomos, e em 2035, prevê-se que 25% dos veículos que circularão nas estradas serão autónomos, beneficiando da cooperação de veículo-para-veículo. Um veículo de condução autónoma está equipado com um módulo de comunicação apropriado, por exemplo, com comunicação DSRC e LTE, que suporta a troca de informação em tempo real entre veículos vizinhos, e entre veículos e estações de base. Além do módulo de comunicação, existem outros cinco módulos básicos que são necessários para apoiar a condução autónoma: a perceção, a localização, o planeamento, controlo e gestão do sistema [18].

A perceção é o processo que deteta o ambiente envolvente em torno do veículo autónomo, utilizando vários tipos de técnicas, tais como RADAR, LIDAR e computação visual que permitem a recolha de informação. O módulo de localização é implementado com o

objetivo de encontrar a posição exata do veículo autónomo na estrada, utilizando o *Sistema de Posicionamento Global* (GPS), estimativas e mapas de estrada.

A função de planeamento determina o comportamento e movimento de um *veículo de condução autónoma*, (ADV) com base nas informações obtidas através dos módulos de perceção e localização na Figura 1. Esta função planeia as rotas para cumprir a missão de viagem considerando tempo de viagem, distância e condição de tráfego. O módulo de controlo é responsável pela execução dos comandos desejados pelo módulo de planeamento, gestão, controlando os atuadores, como por exemplo, direção, aceleração e travagem de um ADV.

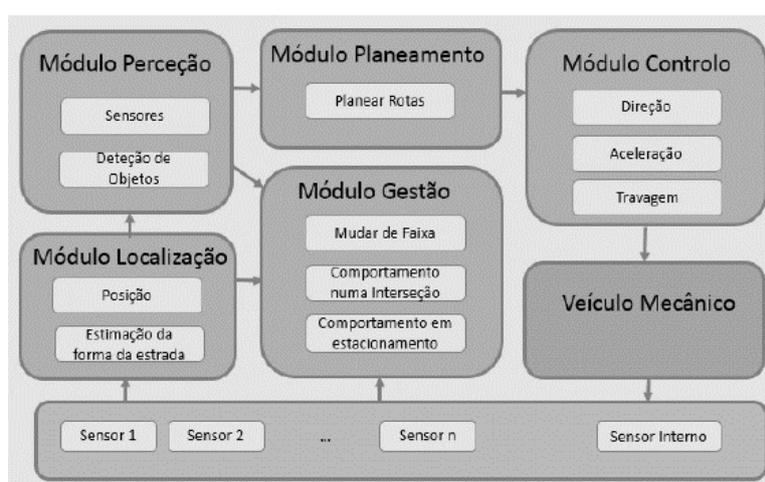


Figura 1- Modelo típicos para a condução autónoma. Fonte: Imagem retirada do documento da Ref. [19]

O módulo de gestão orienta comportamentos de condução, tais como mudança de faixa, comportamento a ser realizado numa interseção e comportamento de estacionamento, com base nas informações de trânsito e informação interna do veículo, a partir da função de perceção, enquanto segue a navegação a partir da função de planeamento. O módulo de gestão do sistema, tem também como função supervisionar o estado geral do sistema de um veículo autónomo, como por exemplo, a gestão de falhas, sistemas de login e *interface homem-máquina* (HMI) [19]. As aplicações de *controlo de condução autónoma* (ADC) são responsáveis pelo controlo e gestão dos ADVs. A camada de mensagens ADC (ADCMs) é utilizada para suportar essas aplicações. Os ADCMs podem ser categorizados em dois tipos: PMS e ATM

As PSMs são mensagens periódicas, utilizadas principalmente para indicar a informação acerca do estado do veículo, como posições e trajetos de viagem. Estas informações são recolhidas pelos veículos autónomos vizinhos para estimar os fatores de segurança antes de se tomar qualquer ação, sendo também transmitidas para as estações de base. Com base nas PSMs, o centro de serviços analisa os dados e reúne estatísticas acerca do fluxo do tráfego. Por sua

vez, as AMTs são mensagens acionadas por uma ação, estas incluem o conteúdo da ação dos ADVs, que podem ser utilizadas para a tomada de decisão no próximo momento. Só através destas mensagens é que o veículo pode saber exatamente o movimento dos outros veículos. Desta forma, pode tomar a decisão mais apropriada de forma autônoma e, em seguida, enviar o seu estado de mudança para outro veículo [20].

*Tabela 1- Tipo de mensagens de control autónomo. Fonte [19]*

<b>Tipo de Mensagens</b>	<b>Dado das mensagens</b>	<b>Exemplos</b>
	Posição	Exemplo1: Quando ADVs circulam na estrada, precisam transmitir as PSMs em intervalo adequados.
<b>PSMs</b>	Direção	Exemplo2: quando qualquer ADVs não se encontra em funcionamento correto, transmite mensagem de mau
	Velocidade	Funcionamento para ADVs
	Mau funcionamento	Próximos, a fim de manterem uma certa distância de segurança.
<b>ATM</b>	Mudar de faixa	Exemplo 1: ADV 1 transmite ATM para alterar os veículos vizinhos alega sua intenção de ultrapassar, antes de ultrapassar.
	Ultrapassar	Exemplo 2: quando um veículo de emergência entra num segmento rodoviário, é preciso transmitir ATM para outros ADVs lhe forneçam prioridade.
	Travar	
	Aviso de veículo de Emergência	

Dada a circunstância de desenvolvimentos verificados, sabemos que existem ainda vários por menores que devem ser melhorados totalmente a fim de evitar obstruções nas sinistralidades rodoviárias, porém, o atual protocolo de comunicação para condução autônoma V2X, está ao seu alcance dando repostas significativas para os casos de géneros [21].

### 2.3 Comunicação V2X

O V2X é um conjunto de protocolos baseado em *Wireless Local Area Network*, (WLAN) que permite a transmissão de dados de um veículo, para qualquer sistema que tenha o poder de afetar tal veículo desde que seja vice-versa [21].

Atualmente, para enfrentar estes desafios, além dos sensores utilizados no módulo de percepção, um novo sensor de longo alcance, a comunicação V2X, permite novos níveis de condução autónoma [22]. A comunicação *Vehicle-to-everything*, (V2X) também conhecida como veículos conectados cooperativos, engloba os veículos que trocam dados entre si e com a infraestrutura, com o objetivo de melhorar a segurança rodoviária, aumentar a eficiência do tráfego, reduzir os impactos ambientais e fornecer serviços adicionais aos ocupantes do veículo. As comunicações V2X são de quatro tipos: *Vehicle-to-Vehicle* (V2V), *Vehicle-to-infrastructure* (V2I), *Vehicle-to-network* (V2N) e *Vehicle-to-pedestrian* (V2P). A Figura 2 ilustra os tipos de comunicações V2X. Está implícito que estas comunicações são geralmente bidirecionais, isto é, por exemplo as comunicações V2I e V2N envolvem também o envio de mensagens da infraestrutura para os veículos.

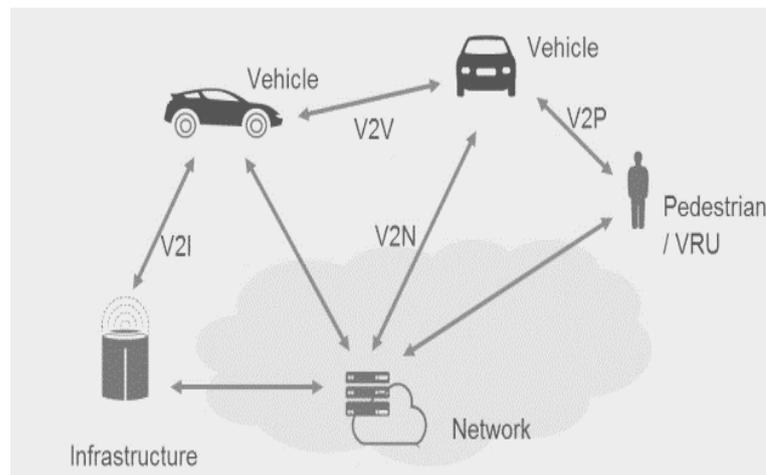


Figura 2- Tipos de Comunicações V2X.

Fonte: Imagem retirada do documento da Ref. [22]

As comunicações V2V e V2P baseiam-se essencialmente na capacidade de transmissão entre veículos ou entre veículos e utentes vulneráveis da estrada (por exemplo, pedestre, ciclista), com o objetivo de fornecer informações sobre a localização, velocidade e trajeto para evitar acidentes. A comunicação V2I ocorre entre um veículo e um RSU. Este tipo de comunicação pode incluir a comunicação entre veículos e dispositivos de controle de tráfego, e nas proximidades de trabalhos rodoviários.

A comunicação V2N ocorre entre um veículo e um servidor de aplicação V2X, esta comunicação pode incluir a comunicação entre o veículo e o servidor via rede 4G e 5G, como para operações de tráfego. As tecnologias utilizadas pela V2X incluem a tradicional *Wireless Access Network* (WAN) e as comunicações Wi-Fi, bem como o *Wireless Access in Vehicular*

*Environments* (WAVE), baseado na DSRC para as camadas mais baixas e, nas comunicações móveis como é o exemplo do LTE. A comunicação V2X permite a partilha automática de informação em tempo real entre os utentes da estrada, promete melhorar significativamente a segurança rodoviária e minimizar os poluentes e combustível, bem como maximizar o uso eficiente das estradas e outras infraestruturas de transporte. Por exemplo, os veículos e os seus ocupantes podem ter conhecimento das fases do sinal de trânsito, das zonas de trabalho rodoviário e dos perigos da estrada. Algumas dessas informações já estão disponíveis, como por intermédio de aplicações móveis.

As comunicações V2X podem ser vistas como outro sensor no veículo. Enquanto outros sensores ativos como o RADAR, o LIDAR e a Visão computacional estão ativamente verificando o ambiente ao redor do veículo autónomo, o sensor sem fio V2X, com capacidade quando não existe linha de visão, está ativamente ouvindo e também conversando com outros carros para perceber melhor o que está a acontecer em torno do veículo, recolhendo também informação sobre a intenção do condutor. Outro benefício dos serviços V2X é que estes permitem a comunicação entre os ocupantes do veículo e o seu ambiente. Isto dá aos ocupantes acesso aos seus próprios dados e meios de comunicação e acesso à Internet no automóvel, o que permite uma vasta gama de novas aplicações e serviços [22].

O tráfego IEEE 802.11 pode sofrer bastante retransmissões principalmente em uma configuração de hotspot, o que pode ser utilizado como métrica para distinguir entre a forma Wireless da rede cabeada, uma vez que o Wi-Fi sofre uma alta taxa de retransmissões por contenção de canal, interferências ou extras de sobrecarga do Mac. É por isso que apenas 40% do tempo está disponível para a transmissão de pacotes de dados. Porque a maior parte dele é usado na retransmissão, reconhecimento e gerenciamento de sinais de rádio [23].

O IEEE 802.11p foi proposto como uma emenda ao IEEE 802.11. Ele suporta a troca de tráfego em redes veiculares funciona com o mecanismo central de sua camada MAC com base na priorização e com a contenção baseada no esquema de *Acesso ao Canal de Distribuição Enhaced* (EDCA) de 802.11e e na operação multicanal do sistema WAVE [14].

O padrão IEEE 802.11p/DSRC incorpora o conjunto de IEEE 802.11s e IEEE 802.1609.x, possui modificações, e com arquitetura descentralizada para a qual o protocolo PHY é baseado com *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), enquanto a camada *Media Access Technology* (MAC) suporta diferentes peris de QoS e prioriza o tráfego de dados. Este protocolo opera sem cobertura de rede de forma totalmente distribuída, devido à comunicação

direta entre a origem e os terminais de destino que permite a transmissão efetiva e imediata de dados dentro e fora/fora dos veículos. No entanto, o rendimento e o desempenho de atraso ponta a ponta degradam rapidamente à medida que a carga da rede aumenta e não é confiável além da faixa de comunicação que normalmente se estende a vários 100s de metros.

Para superar as deficiências do IEEE 802.11p/DSRC, o IEEE 802.11px é a versão aprimorada do protocolo que traz o mecanismo de *codificação de bloco de tempo de espaço* (STBC) para aumentar o desempenho em transmissões de canal ruidosas, para melhorar em cerca de 40% a taxa de entrega de pacotes, e fornecer capacidade de antena MIMO com melhores layout de OFDM e quadros de throughput muito altos, aumentando a capacidade do canal [24].

As comunicações V2X vão trazer aplicações ilimitadas sozinhas. Em veículos, eles vão auxiliar na melhor gestão do tráfego, levando a vários outros benefícios pelo transporte inteligente (ITS). Hoje, as duas principais tecnologias de acesso a rádio (RATs) que permitem comunicações V2X são as Comunicações dedicadas de curto alcance (DSRC) e a Cellular-V2X (C-V2X). O DSRC foi projetado para operar principalmente na banda de 5,9 GHz, que foi destinada em muitos países para aplicações ITS. Por outro lado, o C-V2X pode operar na banda de 5,9 GHz, bem como na operadora licenciada das operadoras de telefonia celular [23].

O DSRC conta com o padrão IEEE 802.11p para suas camadas físicas (PHY) e de *controle de acesso médio* (MAC). O DSRC usa um protocolo MAC simples, bem caracterizado e capaz de operações distribuídas. No entanto, a adoção do DSRC nos veículos foi adiada devido à sua baixa escalabilidade e desafios de comunicação impostos por ambientes de alta mobilidade. Enquanto isso, o *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) desenvolveu o C-V2X, um RAT baseado em *Evolução de Longo Prazo* (LTE), que pode permitir que veículos sejam capazes de operarem de forma distribuída na ausência de infraestrutura celular, ao mesmo tempo em que aproveita a infraestrutura para alocações eficientes de recursos quando os veículos operam dentro da cobertura [23].

### 3. QUINTA GERAÇÃO DAS REDES MÓVEIS (5G)

Neste Capítulo, serão apresentados os principais aspetos relativos para implementação da rede 5G, dentre esses, os novos casos de usos da rede móvel desta tecnologia e abordará também sobre os requisitos dessa mesma rede.

#### 3.1 Redes 5G

**5G** é o novo protocolo de comunicações celulares [24] e está sendo construído sob os requisitos de desempenho estabelecidos pela União Internacional de Telecomunicações (ITU) em 2015 [25]. Ao contrário de suas gerações anteriores, o 5G será muito mais do que apenas comunicações celulares e terá diferentes casos de uso para fornecer diferentes serviços. De facto, uma das características mais interessantes em relação ao design do 5G é a sua flexibilidade, que é provocada pelo chamado fatiamento de rede [26] e permite diferentes serviços que vão consideravelmente além do que foi oferecido por seus antecessores [27].

A investigação por altas taxas de dados incitou o desenvolvimento das redes móveis a partir de 3ª Geração (3G). Visto que na quarta geração, 4G (LTE) trouxe resultados com performance elevado ao 3G, certamente em relação à taxa de dados, tendo em conta as questões relacionadas a latência, não foram suficientemente correspondidas [28].

Nesta senda, o 5G exhibe propostas adequadas, em relação as características como flexibilidade, escalabilidade e confiabilidade, excedendo as tecnologias anteriores em vários aspetos, com isto, o 5G não vai substituir tais tecnologias, mas que todas possam trabalhar juntamente, de tal forma que contribuam para que os serviços atuem possivelmente de maneira eficiente [28]. A Figura 3 ilustra um resumo das principais diferenças no que tange as redes 5G e 4G.

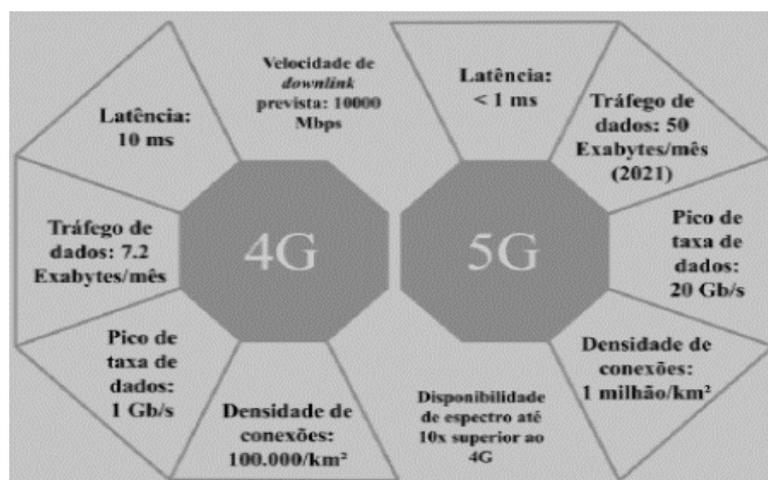


Figura 3- Comparação de características entre 4G e 5G.

Fonte: Imagem retirada do documento da Ref. [28].

A utilização do espectro de frequência é um dos pontos pertinente avaliado, uma vez que o 5G ocupe várias bandas espectrais para suportar as aplicações e serviços sugeridos. Bandas em 600 MHz, 700 MHz e sub 6 GHz (1 GHz a 6 GHz) encontram-se indicadas para alocação em diferentes países [29], todavia, para atender o espectro é necessário, bandas superiores de 24 GHz até 100 GHz dentro do espectro de onda milimétrica, sendo abordada para o uso do 5G. A Figura 4 apresenta as principais bandas para uso do 5G à nível global.

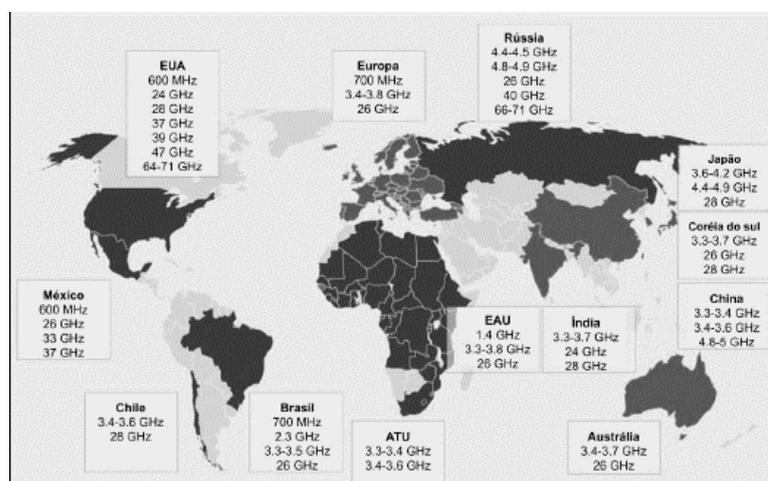


Figura 4- Faixas prioritárias para o 5G em diversos países.

Fonte: Imagem retirada do documento da Ref. [29].

### 3.2 Cenários de uso previstos para 5G

O mundo promete um futuro tecnológico melhor no qual o 5G, dará acesso as aplicações que visam apoiar vários aspetos da sociedade. Estes cenários vão desde os veículos autónomos. Noutro, permitirá implementações de small cells, na qual são células de curto alcance com diferentes benefícios, sendo alta velocidade de transmissão e segurança. As comunicações 5G

envolvem três casos de uso, e fornecerão aplicações muito diferentes, como realidade virtual, veículos autónomos e cidades inteligentes, sendo aspetos pertinente da indústria 4.0 [30].

1. **Enhanced Mobile Broadband (eMBB)**: este cenário envolve diversos casos, contendo cobertura de área extensa e hotspot, os quais tem requisitos diferentes. Para uma área com elevada densidade de utilizadores, necessita-se uma capacidade de tráfego muito alta, ao passo que a necessidade de mobilidade é baixa e a taxa de dados do utilizador é elevada.

2. **Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC)**: este cenário está relacionado a serviço que estabelecem altos requisitos de latência, confiabilidade e alta disponibilidade tendo em conta que neste cenário a comunicação é centralizada em humano e máquinas.

3. **Massive Machine Type Communication (mMTC)**: Neste caso os serviços um grande número de dispositivos conectado, amplas áreas de cobertura, que utilizem dispositivos de baixo custo apresentando vida útil de bateria demasiado longa. Distingue-se como comunicação centrada em máquina e a tecnologias 5G exige mais os requisitos. A Figura 5 apresenta tipos de casos de uso importantes.

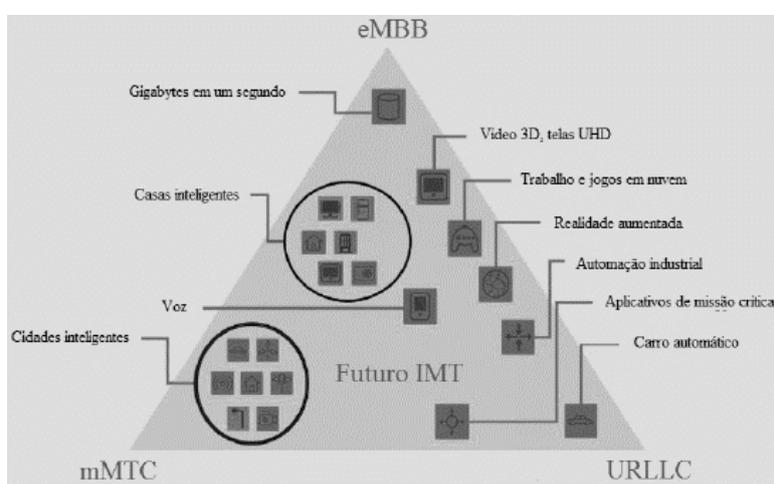


Figura 5- Mapeamento de casos de uso do 5G dentro de cenários de uso.

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref. [30].

A Internet das Coisas (Internet of Things IoT) é visto como principal aplicação ligada para tecnologia 5G, definido como conexão entre dispositivos inteligentes e pessoas à internet, coletando e transmitido informações o tempo todo, tornando o processos e serviços automatizado [31]. A IoT classifica-se em seis aspetos: Identificação, Sensoriamento, Tecnologias de comunicação, computação, serviços e semântica, ilustrada na Figura 6 [32].

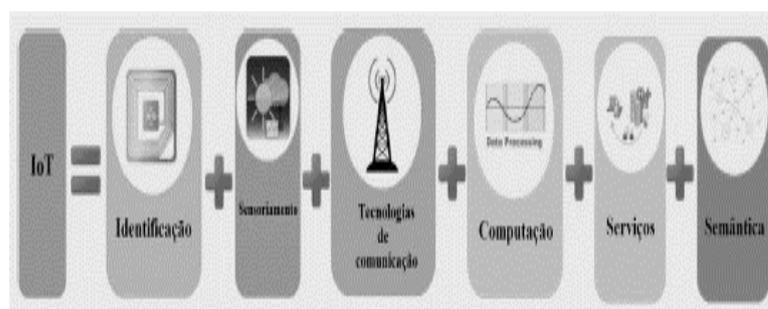


Figura 6- Elementos de IoT.

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref [32].

Na Identificação, efetua-se a nomeação entre serviços com sua demanda, sendo códigos de produtos eletrônicos.

No sensoriamento: é efetuada a coleta de dados de parâmetro e enviado para um banco de dados. Tais dados são analisados e executado em ações adequadas, baseando nos serviços necessários. Como exemplo: o uso sensores de umidade, sensores de temperatura, etc.

As tecnologias de comunicação: os dispositivos heterogêneos para fornecimento de serviços inteligentes encontram-se conectados. Os protocolos de comunicação usados são exemplificados como: IEEE 802.11, Bluetooth, IEEE 802.15, Z-wave, LTE-Advanced e o 5G.

Ao passo que na computação, as unidades de processamento de hardware e aplicações de software são responsáveis pela capacidade computacional da IoT na elaboração de tarefas [33]. Os serviços em IoT são classificados em quatro aspectos: serviços mencionados à identidade, onde cada aplicativo que mapeia dispositivos do mundo real para o mundo virtual, serviços de agregação de informações, reuni e miniaturiza às informações brutas que precisam ser processadas e relatadas.

Serviços de conhecimento colaborativo, utilizam dados brutos coletados para poder tomar decisões e reagir de acordo com cada exigência etc. Por fim, a semântica diz respeito a capacidade de extrair conhecimento de diversos dispositivos, de forma inteligente para proporcionar os serviços necessários [33].

### 3.3 Principais Requisitos do 5G

As tendências tecnológicas do setor de redes sem fio nomeadamente 5G, detêm alguns requisitos de mera importância, porém trata-se da capacidade de suportar quantidade de tráfego maior e de utilizadores com altas taxas de dados.

No que tange as recomendações ITU-R M: 2410-0 [34], ITU-R M: 2411-0 [35] e ITU-R M: 2412-0 [36], definem as capacidades, requisitos e critérios de aceitação de grandes necessidades para o estabelecimento de um sistema 5G.

Nesta recomendação, ITU-R M: 2410, explicita as capacidades mínimas ao desempenho da interface de rádio. Ao passo que na recomendação ITU-R M: 2411, define modelo utilizado de aderência para aceitação de tecnologia candidata ao 5G. Por fim, ITU-R M: 2412, são detalhadas as formas utilizadas para validação dos requisitos da rede 5G, incluindo métodos de estudos de simulações reais, métodos analíticos e análise de função e parametrização de propostas [37].

A recomendação ITU-R M: 2410-0 [38] estabelece diferentes tipos de requisitos relacionada às capacidades da interface do rádio 5G:

1. Taxas de dados: está relacionada a taxa máxima de bit/s recebida em um móvel em condições livres de erros. Em caso de uso eMBB, requer uma taxa de uplink de até 10 Gb/s e downlink de até 20 Gb/s.

2. Eficiência espectral: dada pela taxa de dados máxima normalizadas pela largura de banda do canal em bit/s/Hz e de 15 bit/s/Hz para uplink e 30 bit/s/Hz para downlink.

3. Taxas de experiência de utilizador: corresponde a 50 Mb/s para uplink e 100 Mb/s para downlink.

4. Latência: é o tempo de envio de dados bem-sucedido que um pacote leva da fonte até o recebimento pelo recetor, em ms. Para poder suportar aplicações de eMBB e URLLC, são necessárias latências de 4 ms e 1 ms. Entretanto, espera-se uma latência de 20 ms referido ao tempo de transição de um estado de inatividade para o começo da transferência de dados, e também será preciso obter latência dentre 10 ms.

5. Largura de banda: a largura de banda mínima no 5G é de 100 MHz e suporta largura de banda de até 1 GHz para operação em bandas de frequências mais altas, acima de 6 GHz.

Portanto, esses requisitos podem ser exibidos de tal maneira: taxas de dados muito alta, taxa de dados de utilizadores demasiado alta e garantida, eficiência espectral meramente melhorada, alta flexibilidade de espectro e largura de banda [38].

## 4. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Com a evolução da nova era de tecnologias avançadas, tais como veículos autônomos, sendo que o desenvolvimento de *tecnologias de acesso por rádio* (RATs) que permitem comunicações veiculares confiáveis e de baixa latência tornou-se pertinente. *As comunicações de curto alcance dedicadas* (DSRC) e V2X celular (LTE V2X) são tecnologias importantes, capazes de suportar aplicações veiculares. Tanto o DSRC quanto LTE V2X estão passando por aprimoramentos para suportar aplicações veiculares avançadas que na verdade caracterizam-se por alta confiabilidade, baixa latência e alto requisitos de throughput.

### 4.1 LTE V2X

O LTE V2X, como um dos principais protocolos de comunicação V2X, iniciado e impulsionados principalmente pela Datang Telecom, pode permitir baixa latência alta, alta confiabilidade, alta taxa de dados e segurança nas comunicações [39].

No que toca, LTE V2X, pode operar com canais de 10 MHz ou 20MHz, e utiliza uma estrutura de recursos de frequência de tempo idêntica à de LTE. O tempo é estruturado em sub-quadro de 1 ms que contém 14 símbolos OFDM, sendo que a sua largura de banda do canal é repartido em blocos de recursos (RBs) de 180 KHz, feito de 12 subportadora OFDM separados por 15 KHz, visto que dentro do mesmo sub-quadro são organizados em sub canais. Sobre tudo os diferentes tipos de esquemas de modulação e codificação utilizando codificação turbo e 16 QAM, dado que as informações de dados e controle são encapsuladas em *blocos de transporte* (TBS) e *Informações de controle de sidelink* (SCI).

Os TBS são transmitidos através de canais compartilhados de sidelink físico (PSSCH) e SCIs sobre canais de controle de sidelink físicos (PSCCH) [40]. O bloco de transporte contém um pacote completo e pode ocupar um ou mais sub-canais, dependendo do MCS e do número de RBs por sub-canal. Cada Informações de controle de sidelink está associado a um bloco de transporte e ocupa 2 RBs. Um SCI contém informações importantes para decodificar uma TB, por exemplo, o MCS utilizado, os RBs utilizados para transmitir o Bloco de transporte ou informações relacionadas aos sub-canais reservados para a transmissão a seguir. O SCI deve ser recebido corretamente para poder decodificar o Bloco de transporte associada. Ambos os dois devem ser transmitidos no mesmo sub-quadro tal como são ilustrado na Figura 7 abaixo [40].

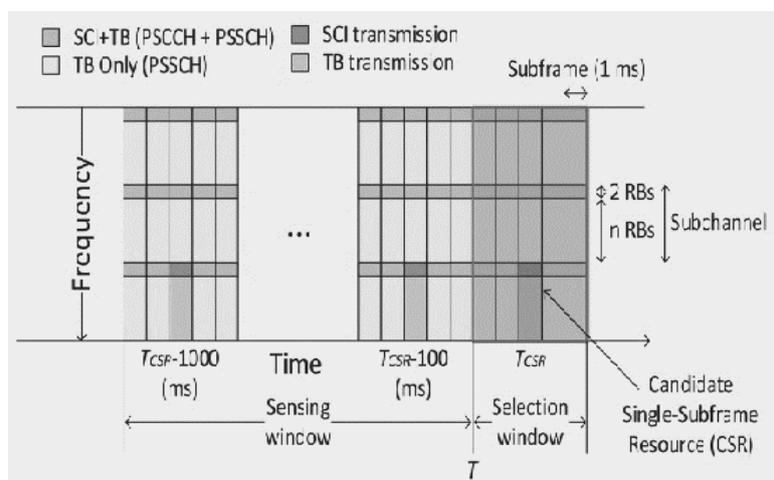


Figura 7- Canalização LTE-V2X

Imagem retirada da Fonte: IEE 802.11p e LTE-V2X [40]

Portanto, LTE V2X, pode operar sob o modo 3 ou modo 4. No Modo 3, a estação base celular (ou eNB) seleciona e gerência os sub-canais para a comunicação direta entre os veículos. No modo 4, os veículos selecionam de forma autónoma seus sub-canais. Os veículos que operam sob o modo 4 precisam utilizar um conjunto comum de parâmetros para que possam se comunicar entre si. Esses parâmetros incluem, entre outros, o número de sub-canais por subquadro e o número de RBs por sub-canal [41]. Esses parâmetros não são fixados pelo padrão. Eles podem ser pré-configurados, por exemplo, usando os valores padrão definidos pelo ETSI [42]. Alternativamente, eles podem ser configurados pela rede celular quando os veículos estão sob cobertura celular.

No modo LTE V2X 4, os veículos utilizam o esquema de Agendamento Semi-Persistente (SPS) baseado em sensoriamento [40], [43] definido na Versão 14 para selecionar de forma autónoma seus sub-canais. Este esquema de agendamento é baseado em sensoriamento e é usado por veículos para identificar e selecionar sub-canais que não são ocupados por outros veículos. Para isso, o esquema de agendamento inclui um processo de reserva Semi-Persistente que os veículos utilizam para notificar os veículos vizinhos dos sub-canais selecionados e reservados. Em particular, os veículos utilizam o *Intervalo de Reserva de Recursos (RRI)* incluído no SCI para informar os veículos vizinhos quando utilizarão os sub-canal reservados para sua próxima transmissão.

Efetivamente, um veículo que usa um determinado sub-canal para transmitir o TB atual tanto como o SCI associado no momento, usará o RRI para notificar veículo próximo que planeja usar o mesmo sub-canal a próxima transmissão em RRI, e, é usado para impedir que

outros veículos usem os mesmos sub-canal, de modo que pode ser configurado de igual modo a 20 ms, 50 ms e 100 ms ou seja qualquer múltiplo de 100 ms [43].

O processo para selecionar e reservar novos sub-canais é referido como reSeleção. Para selecionar novos sub-canais no momento o veículo de ego executa as três etapas a seguir do esquema SPS baseado em sensoriamento:

- O veículo de ego identifica primeiro os Recursos individuais candidatos, recursos de sub-quadro (CSRs) dentro da janela de seleção. A Janela de Seleção é o período de tempo entre T e o prazo de latência do pacote de entrada (igual ou inferior a 100 ms) [40].
- O veículo de ego exclui os CSRs identificados que estima que serão usados por outros veículos. Para este objetivo, o veículo ego deteta as transmissões de outros veículos durante a chamada Janela de Sensoriamento. A Janela de Detecção é o período de tempo que inclui os últimos 1000 sub-quadro antes T.
- O veículo de ego constrói uma lista  $L_2$  com os CSRs incluídos em  $L_1$  que possuem o menor Indicador de Força de Sinal Recebido médio (RSSI) sobre todos os seus RBs.

## 4.2 NR V2X

O 3GPP finalizou especificações para 5G NR com o Release 15 na qual foi a primeira fase. Foi relatado que segundo o estudo, do novo uso V2X, casos e requisitos para NR- V2X, sendo que já se encontra concluído, visto que as especificações têm sido finalizadas no final de 2019. Com lançamento, ou seja, Release 16 (Fase 2) [44].

Uma vez que NR V2X, tendo suas especificações, mas ainda não estejam disponíveis, tendo em conta que facilmente indicado o que se espera, em detrimento de que a maioria das funcionalidades PHY estão sendo adotadas a partir da ligação 5G NR.

O 5G NR suporta tanto o OFDM, para uma elevada eficiência de produção como o DFTs - OFDM para dispositivos orçamentais de ligação baixa para transmissões de ligação. Portanto, são definidas duas gamas de frequências (FR) na qual apresentam as seguintes: Sub – 6 GHz (FR1: 450 MHz – 6 GHz) e milímetro ondas (FR2: 24, 25 GHz – 52, 6 GHz). O FR1 e FR2 têm como único utilizador máximo, largura de banda de 100 MHz e 400 MHz respetivamente, superior do que a largura de banda LTE máxima de 20 MHz [44].

5G NR, apresenta benefícios, comparado às tecnologias anteriores. O primeiro passo vela sobre o suporte para exploração de outras faixas de espectro em que a tecnologia de acesso por rádio seja implementada, de modo que opera em diversos espectros, para suportar grandes

larguras de bandas. Na verdade, o 5G NR suporta operação em faixas licenciadas sub 1 GHz até 52,6 GHz, projetando para extensão em faixas não licenciadas [45].

O segundo passo do 5G NR baseia-se ao uso do design ultra-learn que visa reduzir a interferência causada por recurso de sinalização de forma a aumentar a eficiência dos recursos.

O terceiro está baseado a chamada compatibilidade à frente, que resulta progresso de um design de interface de rádio permitindo evoluções posteriores para novas tecnologias e de novos serviços com requisitos [45].

O quarto diz respeito, a possibilidade de baixa latência. É de salientar que os requisitos de dispositivos e rede são reduzidos no 5G NR comparando com o LTE.

Por fim o quinto está relacionado ao suporte para os elementos de antena para transmissão e recepção. O beamforming é usado para atender principalmente a cobertura de transmissão, ao passo que o MIMO massivo é realizado as bandas mais baixas [45].

NR V2X [46] indica que o objetivo de design do NR V2X não é substituir o LTE V2X, mas complementar o LTE V2X no suporte aos casos de uso que não podem ser suportados pelo LTE-V2X. Como o LTE V2X já está padronizado e as implantações comerciais estão em andamento, é provável que LTE V2X e NR V2X possam coexistir na mesma região geográfica, onde veículos mais novos terão recursos LTE V2X e NR V2X. Nessas circunstâncias, casos de uso que podem ser suportados de forma confiável usando LTE V2X podem usar procedimentos LTE V2X, enquanto os demais casos de uso podem usar procedimentos NR V2X [47]. No entanto, para garantir que o NR V2X possa fornecer suporte unificado para todas as aplicações V2X no futuro, o NR V2X deve ser capaz de suportar não apenas aplicativos V2X avançados, mas também aplicativos básicos de segurança que são suportados pelo LTE V2X atual.

NR V2X está sendo projetado para suportar aplicativos V2X que possuem diferentes graus de latência, confiabilidade e requisitos de throughput. Embora alguns desses casos de uso exijam a transmissão de tráfego periódico, um grande número de casos de uso de NR V2X são baseados na entrega confiável de mensagens aperiódicas. Além disso, enquanto alguns casos de uso exigem transmissões, outros, como o pelotão de veículos, são eficientemente suportados pela transmissão de mensagens apenas para um subcontrato específico de veículos (UEs). Em alguns casos, de facto, o 3GPP vê benefícios na transmissão de pacotes para apenas um único veículo (UE) [48]. Para suportar esses casos de uso, dois novos tipos de comunicação, unicast e groupcast, serão introduzidos no NR V2X. Assim como o IEEE 802.11bd, o NR V2X também

considera o uso de bandas mmWave para aplicativos V2X, particularmente para aplicativos que requerem um alcance curto e de alto a muito alto rendimento.

O Item de Estudo NR V2X descreve seus seguintes objetivos.

- Design de sidelink aprimorado: Ressarço os procedimentos do sidelink para suportar aplicações V2X avançadas.
- Aprimoramentos da interface Uu: Identifique melhorias na interface NR Uu para suportar aplicativos V2X avançados.
- Alocação de configuração sidelink baseada em interface Uu: Identifique melhorias para configuração/alocação de recursos sidelink usando a interface NR Uu.
- Seleção RAT/Interface: Estude mecanismos para identificar a melhor interface (entre sidelink LTE, NR sidelink, LTE Uu e NR Uu) para dada transmissão de mensagem V2X.

Gerenciamento de QoS: Estude soluções que atendam aos requisitos QoS de diferentes interfaces de rádio.

- Convivência: Estudo de viabilidade e soluções técnicas para a coexistência de LTE V2X e NR V2X dentro de um único dispositivo, também referido como coexistência no dispositivo.

#### 4.3 Coexistência entre LTE V2X e NR V2X

Os veículos equipados com LTE V2X devem chegar às estradas em breve [48]. Considerando que os veículos normalmente têm uma vida útil de uma ou mais décadas [49], é provável que o NR V2X tenha de coexistir com o LTE V2X. No entanto, o NR V2X não é compatível com LTE V2X. Essa incompatibilidade decorre, entre outros fatores, do uso de múltiplas numerologias em NR V2X. Um dispositivo LTE V2X operando a um espaçamento subportadora de 15 kHz, não pode decodificar mensagens transmitidas usando o espaçamento de 30 ou 60 KHz. Os veículos mais novos, assim, serão equipados com módulos de ambas as tecnologias, ou seja, LTE V2X e NR V2X, tornando imperativo projetar mecanismos eficazes de convivência [50].

Para a coexistência LTE V2X e NR V2X, o item de estudo NR V2X [50] considera apenas o cenário "não co canal", ou seja, um cenário onde LTE V2X e NR V2X operam em diferentes canais. Duas abordagens podem ser usadas para essa coexistência não-co-canal [51]:

i) *Multiplexing Division of Frequência* (FDM), ou ii) *Multiplexing Division Time* (TDM). Observe que o termo TDM é um pouco enganoso neste contexto, pois não só os recursos LTE V2X e NR V2X são ortogonais no tempo, mas também são ortogonais em frequência.

### 1. **Abordagem FDM para a Convivência**

Nesta abordagem, as transmissões nos dois RAT podem se sobrepor no tempo. Esta abordagem é vantajosa porque não há necessidade de sincronização de tempo apertado entre os módulos LTE V2X e NR V2X. No entanto, apesar do uso de dois rádios diferentes (um para LTE V2X e outro para NR V2X), se os canais atribuídos estiverem adjacentes ou não estiverem suficientemente distantes, o vazamento devido às emissões fora de banda de um terminal de rádio prejudicará a recepção no outro terminal de rádio. Além disso, se os dois RATs operarem na mesma banda (por exemplo, 5,9 GHz sua banda), a potência total irradiada pelo veículo pode ser restrita por limites regulatórios e pode ter de ser dividida entre os dois RATs, afetando os requisitos QoS das aplicações V2X. O ajuste do poder de transmissão através dos dois RATs pode levar em consideração as prioridades do pacote [51]. Por exemplo, se o pacote NR V2X tem uma prioridade maior, então o poder de transmissão do LTE V2X pode ser reduzido de tal forma que a energia total irradiada esteja dentro dos limites regulatório

### 2. **Abordagem TDM para convivência**

Nesta abordagem, as transmissões nos dois RATs ocorrem em canais diferentes e em momentos diferentes. A vantagem dessa abordagem é que a potência máxima de transmissão admissível pode ser usada por ambas as tecnologias porque apenas uma interface transmite a qualquer momento. Além disso, não há vazamento entre os canais. No entanto, a abordagem TDM é desvantajosa para casos críticos de uso de latência, pois a interface NR V2X pode estar desligada enquanto um pacote sensível à latência é gerado no veículo. Além disso, a abordagem TDM coloca restrições severas na sincronização de tempo entre LTE-V2X e NR V2X [52].

Ademais, se a abordagem TDM for usada quando os canais LTE V2X e NR V2X estiverem adjacentes, devido ao problema do meio duplex quando um RAT transmite (digamos NR V2X), o outro RAT (LTE V2X) será incapaz de realizar sensoriamento para essa duração, o que afetará o desempenho de seu algoritmo de reserva de recursos baseado em sensoriamento (LTE V2X).

Diferentes mensagens transmitidas pela mesma UE usando NR V2X podem ter requisitos QoS muito diferentes. Por exemplo, o líder do pelotão UE, deve transmitir mensagens

de transmissão, groupcast e unicast. Aliás, algumas dessas mensagens podem ser periódicas, enquanto outras são aperiódicas. O tráfego de transmissão periódica pode usar o algoritmo de reserva de recursos do modo LTE V2X 4 no cenário fora de cobertura. No entanto, outras categorias de tráfego (como unicast aperiódico) podem utilizar diferentes mecanismos de transmissão.

Uma abordagem para realçar a questão da convivência entre diversos padrões de tráfego é usar o mecanismo *de prevenção* [50]. Considere um cenário em que o tráfego periódico e aperiodado compartilhe o mesmo pool de recursos enquanto uma mensagem de alta prioridade chega a uma UE e todos os recursos dentro do orçamento de latência do pacote são reservados por tráfego periódico de baixa prioridade. Utilizando o mecanismo de prevenção, a UE pode utilizar um dos recursos que foram originalmente reservados por outra UE para tráfego de menor prioridade, conforme ilustrado na Figura 8. A intenção da UE de antecipar esse tráfego pode ser comunicada através do uso de uma mensagem de indicação de pré-esvaziamento (PI), uma mensagem que pode ser enviada no mesmo pool de recursos ou em um pool de recursos dedicado reservado para transmitir mensagens PI. Ademais, a mensagem PI pode ser repetida para aumentar sua confiabilidade, bem como para mitigar o problema do meio duplex.

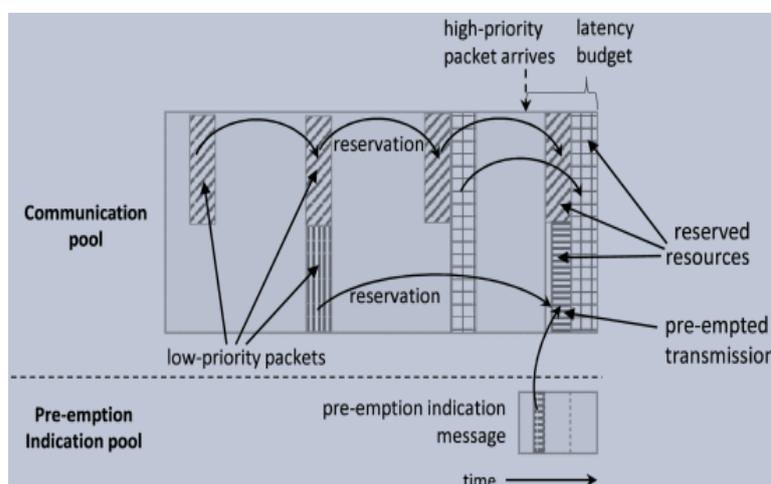


Figura 8- Mecanismo de Prevenção em NR V2X. Fonte: 5G NR V2X.

O projeto do mecanismo de prevenção, no entanto, não é desprovido de desafios. Por exemplo, as preempções frequentes de tráfego periódico podem afetar significativamente a confiabilidade de aplicativos que dependem dessas mensagens. Uma alternativa ineficiente, mas simples, de recursos à prevenção é usar pools de recursos separados, um para cada classe de requisitos de comunicação [53].

### 3. Projeções de Desempenho

Embora o desenvolvimento de mecanismos que constituam o NR V2X esteja em andamento, estudos preliminares de desempenho têm sido conduzidos por alguns membros do 3GPP [53] – [54][55]. Os resultados em [55] indicam que grandes ganhos de desempenho podem ser obtidos usando o espaçamento subportadora de 60 KHz ao longo do espaçamento de 15 KHz usado em LTE V2X. Esses ganhos são mais acentuados em velocidades relativas mais altas (280,500 Km/h). Por exemplo, a 500 Km/h, usando 4 símbolos DMRS/slot e modulação *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), um ganho de codificação de 7 dB é obtido para um BLER de  $10^{-2}$ . Para cobrir grandes distâncias, o uso do espaçamento subportadora de 60 KHz requer o prefixo cíclico estendido, adicionando à sobrecarga de comunicação.

No entanto, isso pode ser compensado usando menos símbolos DMRS/slot em espaçamento subportadora de 60 KHz. Como mostrado em [54], com o uso de técnicas de múltiplas antenas, a redução no número de símbolos/slot DMRS de 4 para 2 a 60 KHz de espaçamento subportadora leva a praticamente nenhuma perda mesmo a 500 Km/h. Assim, aproveitando espaçamentos maiores de sub-operadora possibilitado pelo uso de numerologias NR flexíveis, o NR V2X pode superar significativamente o LTE V2X.

O desempenho superior em nível de link do NR V2X se traduz em desempenho superior em nível de sistema, como mostrado em [53]. Nos cenários rodoviários, utilizando o espaçamento de sub-operadora de 60 KHz e um canal de 20 MHz, a taxa de entrega de pacotes (PDR) é de  $\sim 99,7 - 99,8\%$  para todos os tipos de comunicação (ou seja, transmissão e groupcast) e tipos de mensagens (ou seja, periódicos e aperiódicos). A taxa de geração de pacotes para tráfego periódico é de 10 Hz, enquanto para tráfego aperiódico um pacote é gerado uma vez a cada X msec. Isso indica que, pelo menos no cenário da rodovia, a NR V2X está perto de atender a alguns dos requisitos de desempenho.

No entanto, no cenário urbano, que normalmente é caracterizado por uma maior densidade de veículos e grandes perdas de caminhos, o desempenho do NR V2X varia em 93-97%, indicando assim que são necessárias melhorias adicionais para comunicações confiáveis em ambientes urbanos. Além disso, os resultados apresentados são para taxas relativamente baixas de transmissão de mensagens ( $\sim 10$  Hz). O desempenho do NR V2X para aplicações mais exigentes ainda está para ser visto. [53]-[54]-[55].

## Comparação LTE V2X com NR V2X

A Tabela 2 resume as principais diferenças entre características/mecanismos de LTE V2X e NR V2X.

Tabela 2- Comparação de LTE V2X e NR V2X. Fonte: [56].

<b>Feature</b>	<b>LTE V2X</b>	<b>NR V2X</b>
<i>Comm. types</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast, Groupcast, Unicast</i>
<i>MCS</i>	<i>Rel. 14: QPSK, 16-QAM Rel. 15: 64-QAM</i>	<i>Broadcast, Groupcast, Unicast</i>
<i>Waveform</i>	<i>SC-FDMA</i>	<i>OFDM</i>
<i>Re-transmissions</i>	<i>Blind</i>	<i>HARQ</i>
<i>Feedback Channel</i>	<i>Not Available</i>	<i>PSFCH</i>
<i>Control, data Multiplexing</i>	<i>FDM</i>	<i>TDM</i>
<i>DMRS</i>	<i>Four/ sub-frame</i>	<i>Flexibile</i>
<i>Sub-carrier Spacing</i>	<i>15KHz</i>	<i>Sub-6 GHz: 15,30,60 KHz mmWave: 60,120 KHz</i>
<i>Scheduling interval</i>	<i>One sub-frame</i>	<i>Slot, mini-slot, or slot</i>
<i>Sidelink modes</i>	<i>Modes 3 and 4</i>	<i>Modes 1 and 2</i>

O Celular associado ao veículo para tudo (LTE V2X) é uma base comunicante que oferece maior segurança viária e direção autónoma [56]. Ele usa um modo de transmissão chamado LTE V2X direto, que fornece maior alcance de comunicação e maior confiabilidade para conectar veículos, coisas e humano. A solução de chip set LTE V2X será compatível com 5G e com os *Sensores de Sistemas de Assistências aos Condutores Avançados* (SAAC) como comunicação direta LTE V2X [57].

Na verdade, estudos indicam que tanto o DSRC quanto o LTE V2X podem suportar de forma confiável aplicações de segurança que exigem uma latência de cerca de 100 milissegundos (msec), desde que a densidade veicular não seja muito alta [58]. No entanto, à medida que os requisitos de qualidade de serviço (QoS) dos casos de uso V2X se tornam mais rigorosos, o que é o caso de muitos aplicativos V2X avançados [59], os dois RATs V2X atuais ficam aquém de fornecer o desempenho desejado.

Além dos símbolos de dados, no entanto, os utilizadores de LTE V2X também transmitem informações de controle e sinais de referência. *O sinal de referência de desmodulação* (DMRS) é um desses sinais, que é usado para estimativa de canal. No LTE, os símbolos DMRS são

inseridos em dois dos quatorze símbolos OFDM. No entanto, uma vez que o LTE V2X foi projetado para ambientes de alta mobilidade, quatro símbolos DMRS são inseridos em um subquadro LTE V2X [24].

Como o LTE V2X pode operar em cenários de cobertura, bem como fora de cobertura, o LTE V2X pode operar usando a interface de ar LTE tradicional, bem como a interface de ar sidelink.

### 1. **V2X Usando interface aérea LTE**

LTE é a interface de ar tradicional entre um eNodeB e um *User Equipment* (UE). Qualquer UE que use a interface LTE deve transmitir sua mensagem para o eNodeB no uplink, que é enviado pelo eNodeB para o destino UE no downlink. Usando a interface LTE, um UE pode transmitir um pacote para o eNodeB no uplink. O mesmo ou um eNodeB diferente pode transmitir este pacote para um UE distante, usando downlink unicast ou serviço multicast de transmissão multimídia aprimorado (eMBMS). Assim, uma grande vantagem do uso da interface LTE é o aumento da gama de disseminação que pode ser alcançado aproveitando a rede do núcleo celular. Os aprimoramentos LTE para V2X geralmente estão nas camadas mais altas (rede e acima) e no nível de arquitetura do sistema. O LTE V2X considera principalmente o eMBMS para o downlink, onde os dados são transmitidos para todos, muitos UEs simultaneamente em oposição ao unicast, pelo qual os dados são transmitidos para cada UE um de cada vez. Esta arquitetura eMBMS é ainda mais otimizada em LTE V2X, aproximando as entidades eMBMS do eNodeB. Isso é benéfico para aplicações V2X porque para a maioria dos transmissores em LTE V2X, os recetores pretendidos estão localizados nas proximidades e provavelmente serão servidos pelo mesmo eNodeB.

Além dos recursos acima mencionados, ao usar a interface LTE, o eNodeB pode usar agendamento Semi-Persistente, pelo qual o eNodeB atribui recursos a um UE não apenas para a transmissão seguinte, mas também para uma série de transmissões subsequentes. O agendamento Semi-Persistente é benéfico na redução da sobrecarga de agendamento associada às transmissões de uplink V2X. Tal mecanismo de agendamento é benéfico para aplicações V2X porque a maioria desse tráfego é periódica e tem pacotes de tamanho semelhante [60].

### 2. **V2X Usando interface de ar PC5**

A interface de ar PC5 permite comunicações diretas entre UEs sem exigir que cada pacote passe pelo eNodeB. Os UEs podem usar a interface PC5 tanto na presença quanto na ausência do eNodeB.

A. Um pacote transmitido na interface PC5 é composto pelo componente de dados e as *informações de controle de sidelink* (SCI) [60]. O SCI carrega informações importantes necessárias para decodificar a transmissão de dados correspondente, como o *esquema de modulação e codificação* (MCS) utilizado, recursos ocupados por transmissões atuais e futuras, etc. O canal físico usado para transmitir o SCI é chamado de *Canal de Controle de Sidelink Físico* (PSCCH), enquanto o Canal Compartilhado de Sidelink Físico (PSSCH) carrega o componente de dados. Em LTE V2X, PSCCH e PSSCH são multiplexados em frequência, ou seja, transmitidos em diferentes recursos de frequência no mesmo sub-quadro [61].

O futuro da mobilidade inclui a condução autônoma [62] [63]. Um carro pode ser visto como um robô que usa sensores e comunicações para interagir com o ambiente, gerando uma grande quantidade de dados e usando inteligência artificial para tomar decisões. As comunicações de quinta geração (5G) desempenham uma chave importante na condução autônoma, usando *comunicações ultra-confiáveis de baixa latência* (URLLC) [64], o URLLC foi projetado para suportar novos serviços, como cirurgia remota ou veículos autônomos, que são serviços sensíveis a atrasos que exigem taxas de erro de bit muito baixas (erros sendo quase inaceitáveis). As comunicações 5G suportam comunicações de veículo para veículo (V2V) sem fazer uso de uma estação base. As comunicações ponto a ponto também são consideradas em outros serviços 5G.

#### 4.4 Estrutura do Quadro 5G

Comparando-se à numeração da evolução de longo prazo (LTE), espaçamento de Sub-carrier e comprimento do símbolo, a distância mais notável é o suporte ao NR múltiplos tipos diferentes de espaçamento de Sub-carrier isso quer dizer que em LTE há apenas um tipo de espaçamento de Sub-carrier, que corresponde à 15 KHz ( $2^1 * 15$  KHz). Os tipos de numerologia NR, resumidamente foi debruçado e convertido a tabela em ilustração para dar uma compreensão imediata dessas numerologias em 38.211.

A duração de 1 comprimento de quadro LTE é 10 ms, no qual divide-se em 10 sub-quadro e 1 ms de cada sub-quadro é dividido em 2 slot 0,5 ms de cada slot tendo 6 ou 7 símbolos (OFDM), estão presentes e dependem do prefixo cíclico, se o prefixo cíclico for CP isso quer dizer que o símbolo 7 OFDM será trilhado em um slot e se o CP for estendido, o símbolo 6 será empregado em um slot [65].

Cada numerologia é formada como um parâmetro ( $\mu$ ,  $\mu$  em grego). A numerologia ( $\mu$  0) representa 15 kHz, o que é igual ao LTE. E como se vê na segunda coluna, o espaçamento

do Sub-carrier de outros  $u$  é derivado de ( $u=0$ ) escalando-se na potência de 2 ilustrado de forma detalhada na Figura 9 [65].

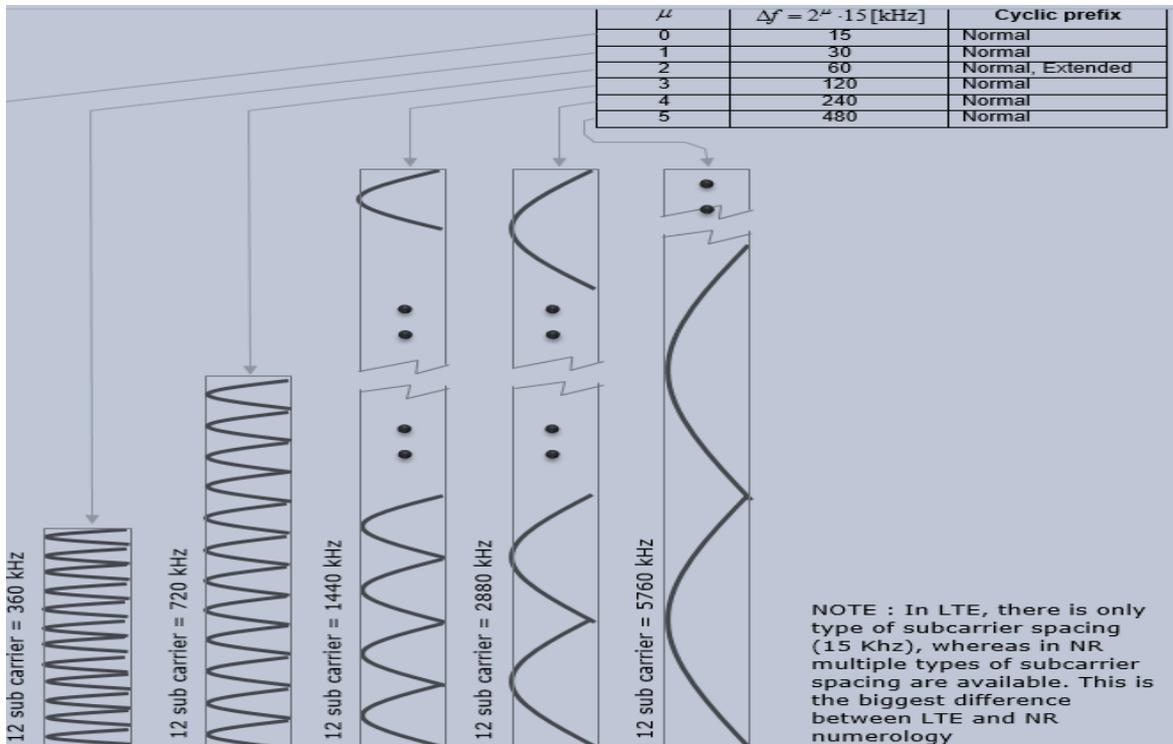


Figura 9- Numerologia, Espaçamento Sub-carrier: Estrutura do quadro 5G. [65].

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref. [65]

Em 5G NR várias numerologias (configuração de forma de onda como espaçamento de sub-quadro) são suportadas e a estrutura do quadro de rádio fica um pouco diferente dependendo do tipo da numerologia. No entanto, independentemente da numerologia, o comprimento de um quadro de rádio e o comprimento de um sub-quadro é o mesmo. O comprimento de um Quadro de Rádio é sempre de 10 ms e o comprimento de um sub-quadro é sempre de 1 ms.

Há diferentes tipos de espaçamento de subportadora usado,  $u = 0, 1, 2, 3, 4$ . Sendo que 0, para 15 KHz, 1, para 30 KHz, 2, para 60 KHz, 3, para 120 KHz e 4, para 240 KHz usado em 5G NR. O espaçamento de subportadora tipo 2 é usado para 60 KHz e é usado normal e estendido, porém, o restante do tipo de espaçamento de subportadora é usado para CP normal.

Então o que deve ficar diferente para abordar a propriedade física da numerologia diferente? A resposta é colocar um número diferente de slot dentro de um sub-quadro. Há outro parâmetro variado com a numerologia. É o número de símbolos dentro de um slot. No entanto, o número de símbolos dentro de um slot não muda com a numeração, ele só muda com o tipo

de configuração de slot. Para a configuração do slot 0, o número de símbolos para um slot é sempre 14 e para a configuração de slot 1, o número de símbolos para um slot é sempre 7 [65].

Agora vamos olhar os detalhes da estrutura do quadro de rádio para cada numerologia e configuração de slot determinadas figuras abaixo.

CP normal, Numerologia = 0

Nesta configuração, um sub-quadro tem apenas um slot nele, significa que um quadro de rádio contém 10 slot nele. O número de símbolos OFDM dentro de um slot é de 14, ilustrada na Figura 10.

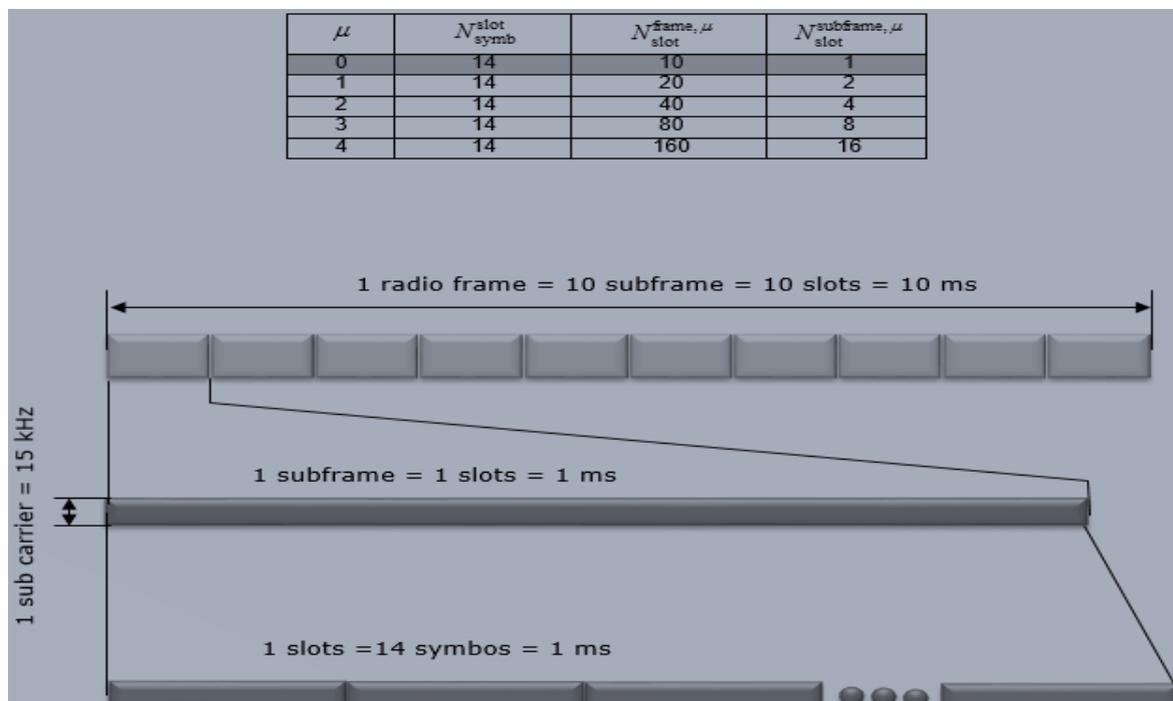


Figura 10- CP normal, Numerologia = 0, Estrutura de Quadro de Rádio 5G. [65]

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref. [65]

Normal CP, Numerologia = 1

Nesta configuração, um sub-quadro tem 2 slot nele, significa que um quadro de rádio contém 20 slot nele. O número de símbolos OFDM dentro de um slot é de 14, detalhada na Figura 11.

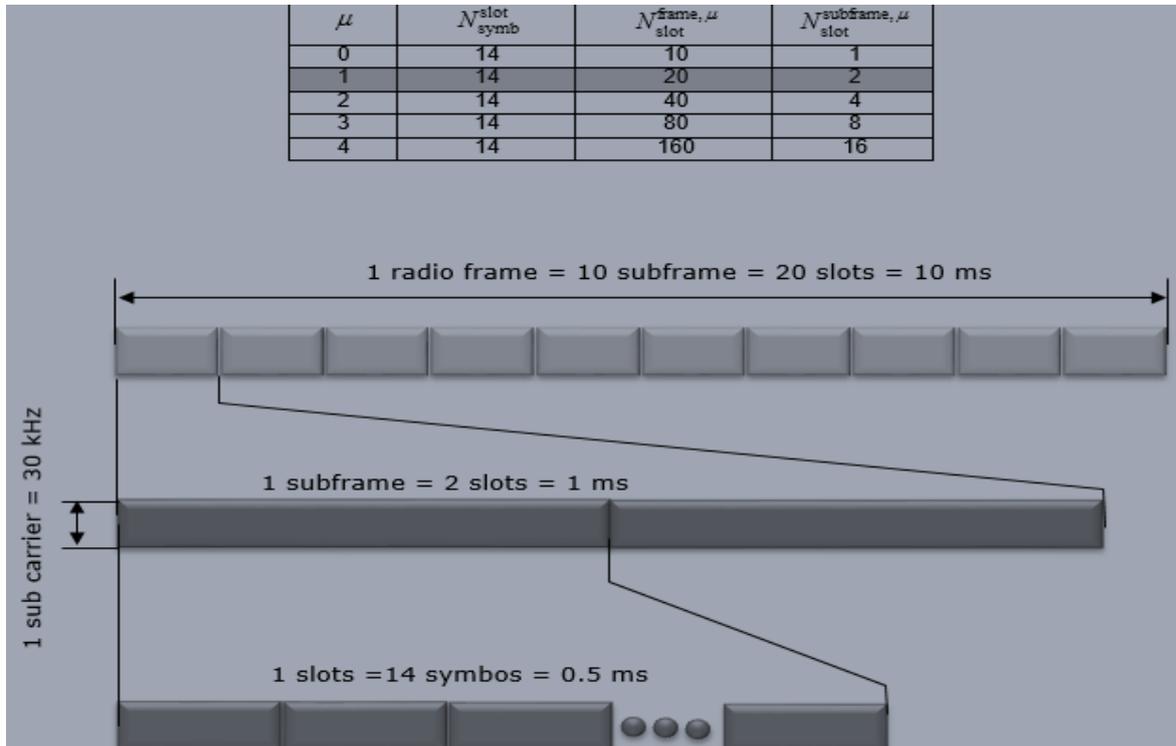


Figura 11- CP normal, Numerologia = 0, Estrutura de Quadro de Rádio 5G. [65]

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref. [65]

Normal CP, Numerologia = 2

Nesta configuração, um sub-quadro tem 4 slot nele, significa que um quadro de rádio contém 40 slot nele. O número de símbolos OFDM dentro de um slot é de 14, ver Figura 12

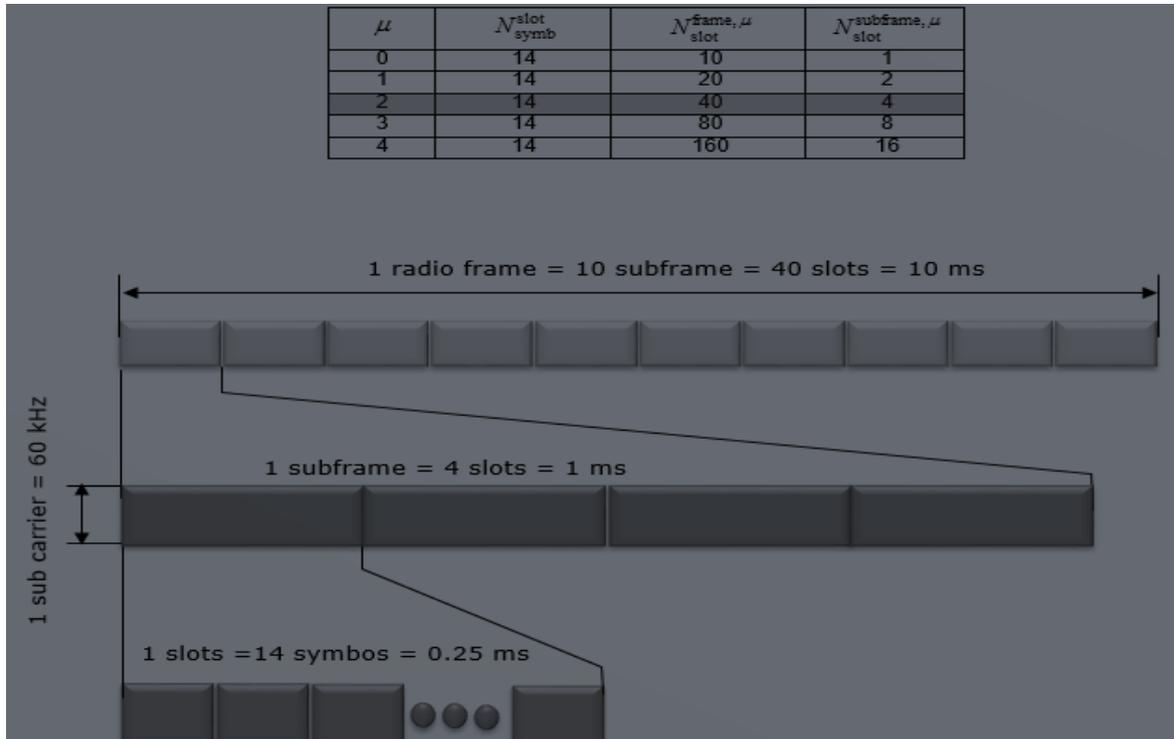


Figura 12 - CP, Normal, Numerologia = 2, Estrutura de Quando de Rádio 5G.

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref. [65]

Normal CP, Numerologia = 3

Nesta configuração, um sub-quadro tem 8 slot nele, significa que um quadro de rádio contém 80 slot nele. O número de símbolos OFDM dentro de um slot é de 14, ilustrada na Figura 13.

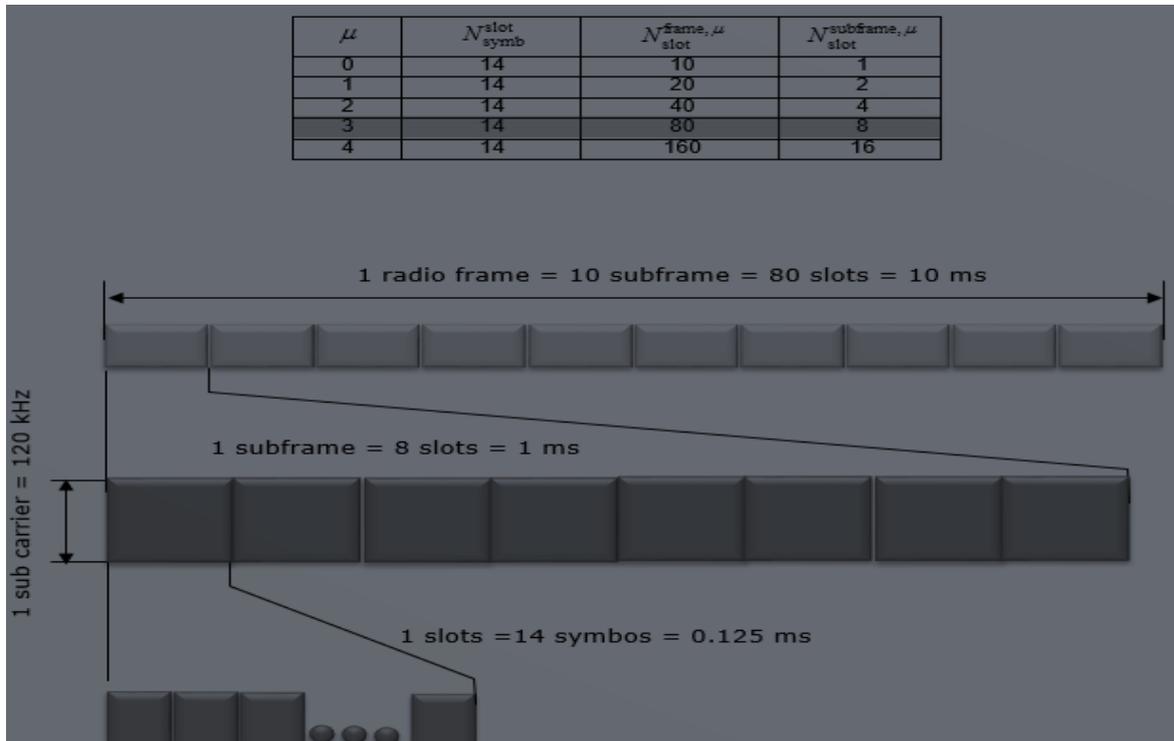


Figura 13- Normal CP, Numerologia = 3, Estrutura de Quadro de Rádio de 5G.

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref. [65]

Normal CP, Numerologia = 4

Nesta configuração, um sub-quadro tem 16 slot nele, significa que um quadro de rádio contém 160 slot nele. O número de símbolos OFDM dentro de um slot é de 14, e detalhada na Figura 14.

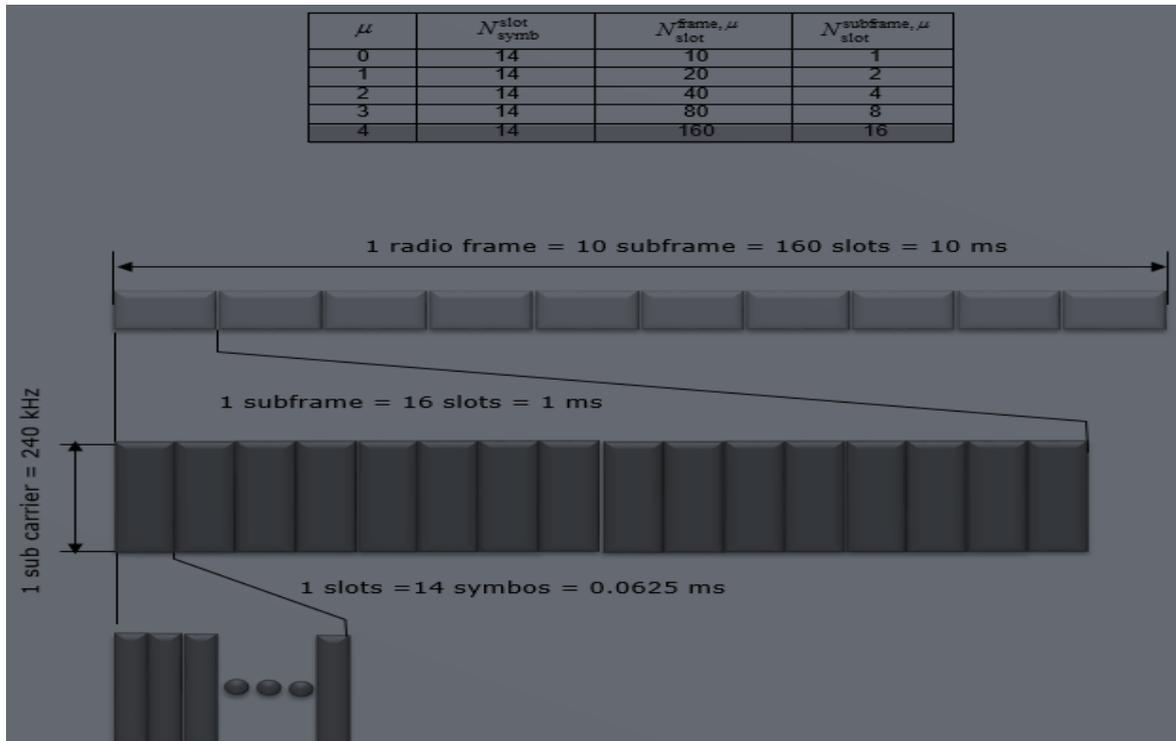


Figura 14- Normal CP, Numerologia = 3, Estrutura de Quadro de Rádio de 5G.

Fonte: Imagem Retirada do Documento de Ref. [65]

CP estendido, Numerologia = 2

Nesta configuração, um sub-quadro tem 4 slot nele, significa que um quadro de rádio contém 40 slot nele. O número de símbolos OFDM dentro de um slot é de 12, ilustrada na Figura 15.

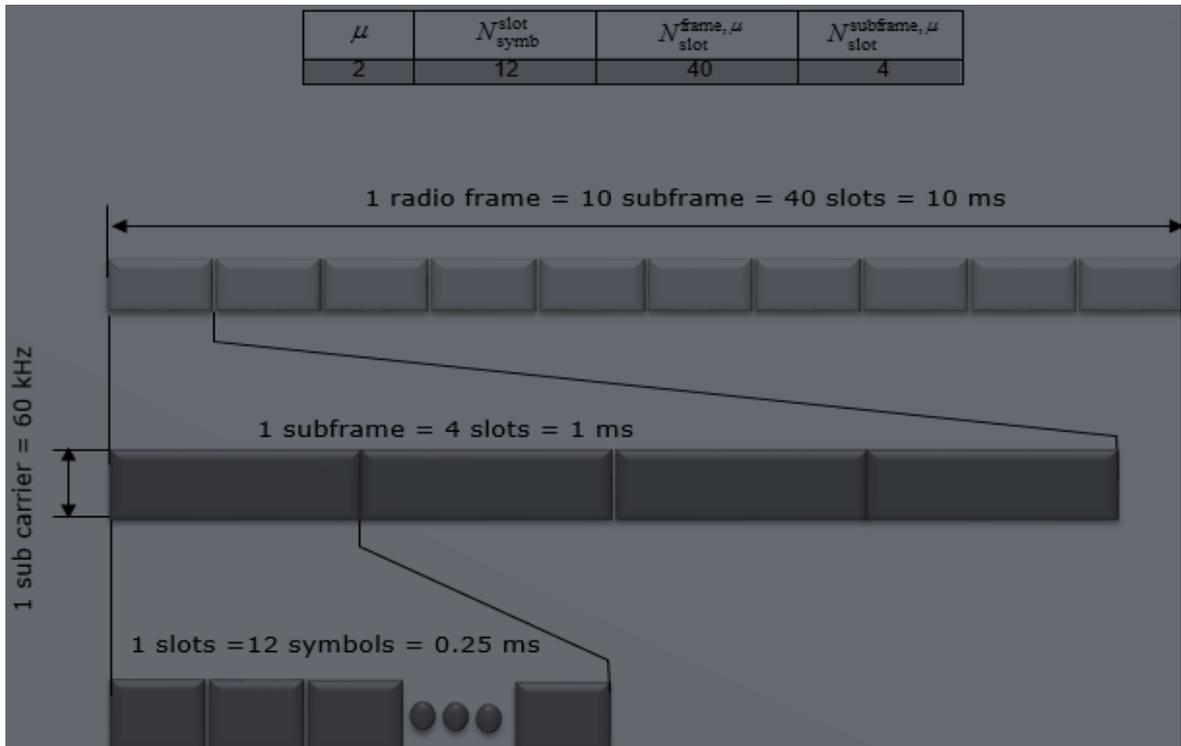


Figura 15- CP estendido, Numerologia = 2, Estrutura de Quadro de 5G.

Fonte: Imagem Retirada do Documento da Ref. [65]

## 5. METODOLOGIA E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da análise realizada aos protocolos de comunicação LTE V2X e 5G NR V2X. Também se esclarece os conceitos sobre modulação, latência de transmissão, taxa de dados e taxa de código.

### **Modulação**

É um procedimento que serve para adaptar informação transmitida, em uma forma conveniente às características do meio de transmissão, no domínio da frequência, na qual acontecerá a transmissão. Neste processo o sinal original é a que corresponde à informação a transmitir e a portadora é o sinal responsável pelo transporte da informação no meio de transmissão. O resultado deste processo é um sinal modulado. No receptor ocorre o processo oposto conhecido por demodulação, no qual se extrai a informação do sinal modulado. Nas modulações digitais, os bits do sinal de informação são codificados através de símbolos. A modulação é responsável por mapear cada possível sequência de bits de um comprimento predefinido em um símbolo determinado. O conjunto de símbolos gerado por uma modulação é chamado de constelação, sendo que cada tipo de modulação gera uma constelação de símbolos diferentes. Os símbolos nos quais as sequências de bits de um sinal de informação são transformadas é que serão transmitidos pela onda portadora [66]. A seguir, serão apresentadas algumas técnicas de modulação bem como algumas vantagens que estas possam proporcionar.

Para o cálculo e análise das métricas de taxa de dados e latência de transmissão abordaram-se as seguintes técnicas de modulação: QPSK e QAM.

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) é uma técnica de modulação derivada do PSK, porém neste caso, são utilizados parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação. Devido ao uso dos parâmetros utilizados, existem mais tipos possíveis de símbolos nesta constelação, o que permite que sejam transmitidos mais bits por símbolo. Por exemplo, se quisermos transmitir 2 bits por símbolo, ao invés de 1 bit por símbolo como no caso PSK, neste caso, como teremos 4 tipos de símbolos possíveis, a portadora pode assumir 4 valores de fase diferentes, cada um deles correspondendo, como por exemplo  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  e  $315^\circ$ , quadratura (IQ) os 4 possíveis símbolos gerados pela modulação QPSK usando 2 bits por símbolo [66].

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) é um sinal no qual duas operadoras deslocadas em fase em 90 graus tais como (seno e cosseno) são moduladas e combinadas.

QAM, quando usada para transmissão é capaz de transportar taxas de dados mais altas do que esquemas modulados de amplitude comum e esquemas modulados de fase.

No caso do 16 QAM, a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama o que significa que cada símbolo representa 4 bits. Por exemplo 64 QAM, cuja constelação apresenta 64 símbolos, cada deles representando 6 bits. Nota-se que no modo 16 QAM alcança-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM visto que cada símbolo transporta um número menor de bits [66].

### **Latência de transmissão**

A latência de transmissão (*transmission Latency*) é o tempo de envio de dados que é necessário pela camada física PHY possa transmitir um pacote à interface aérea, ou seja, o tempo de transmissão que parte fonte até ao recebimento pelo recetor em ms, e pode ter uma influência significativa numa latência End to End. Em comparação com LTE V2X, as latências são de 1 ms e para NR V2X, às latências mínimas são de 0,25 ms para 100 bytes, por tanto, no NR V2X a latência de transmissão é melhor do que LTE V2X.

### **Taxa de dados**

A taxa de dados (*Data rate*) é definida como o número de bits transmitidos num determinado intervalo de tempo. O valor de esta métrica ajuda a determinar quantos utilizadores podem utilizar um canal de comunicação. No presente trabalho, considera-se que um único utilizador transmite dados continuamente. No caso de operação multiutilizador, as taxas de dados podem ser subdivididas entre os utilizadores.

### **Taxa de código**

A taxa de código é definida como uma proporção de fluxo de dados que é útil (não redundante). Ou seja, se a taxa de código for para cada  $k$  bits de informação útil, o codificador gera um total de  $n$  bits de dados, dos quais são redundante.

## **5.1 Métodos de cálculo para Latência de transmissão e Taxa de dados**

Nesta seção, descreve-se os métodos matemáticos utilizados para o cálculo das métricas a analisar nomeadamente, latência de transmissão e taxa de dados dos protocolos LTE V2X e NR V2X.

### **5.1.1 Método matemático para o cálculo das métricas do protocolo LTE V2X**

LTE V2X fornece múltiplas opções de largura de banda tais como 1,4 MHz, 5 MHz, 10 MHz e 20 MHz [68]. É atribuído aos utilizadores uma quantidade variável de blocos de

recursos (RB), esta quantidade depende do tamanho de carga útil (payload) e do regime de modulação e codificação (MCS). Este processo de atribuição permite a partilha da largura de banda entre os utilizadores do canal. Ver tabela 8.6.1-1 de [68].

As transmissões em LTE consistem em quadros (ou frames) cada um com uma duração ( $t^{fr}$ ) de 10 ms. Os quadros estão divididos em sub-frame ( $t_{sub-fr}^{LTE}$ ) de 1 ms que são subdivididos em faixas de 0,5 ms. O tempo mínimo de transmissão de intervalo (TTI) é igual a um sub-quadro.

**Latência de transmissão ( $T_{tx}^{LTE}$ ):** para cálculo da latência de transmissão será necessário aplicar a divisão de número de RB necessário para transmitir Pb, com o número total de RB disponível num quadro para transmissão de dados para 10 MHz, multiplicando por sub frame. Na equação 1, é mostrado a forma de calcular a latência de transmissão do protocolo LTE V2X.

$$T_{tx}^{LTE} = \left[ \frac{n_{RB}^{LTE}}{n_{RB-fr/10}^{LTE}} \right] \times t_{sub-fr}^{LTE} \quad (1)$$

Onde:

$n_{RB}^{LTE}$ : é o número de RBs necessário para transmitir Pb. Ver tabela 7.1.7.2.1-1 de [68].

$n_{RB-fr}^{LTE}$ : é o número total de RBs disponível num quadro para transmissão de dados para 10 MHz. Ver tabela 2 de [69].

**Taxa de dados ( $DR^{LTE}$ ):** Dado a carga útil (Pb) a taxa de dados é calculada da seguinte maneira como é mostrado na equação 2.

$$DR^{LTE} = \frac{n_{bits-RB}^{LTE}}{n_{RB}^{LTE} \times n_{d-Sym}^{LTE} \times n_{sc}^{LTE} \times nbps} \quad (2)$$

Onde:

$n_{bits-RB}^{LTE}$ : é o número transportados por blocos de Recursos

$n_{d-Sym}^{LTE}$ : é o número de símbolos de dados num sub-quadro (= 9)

$n_{sc}^{LTE}$ : é o número de sub-portadoras num único RB (= 12). Ver página 12 de [70].

nbps: é o número de bits transportados por esquema de modulação.

**Taxa de código ( $CR^{LTE}$ ):** É calculada com a seguinte fórmula matemática.

$$CR^{LTE} = \frac{n_{bits-RB}^{LTE}}{n_{RB}^{LTE} \times n_{d-Sym}^{LTE} \times n_{sc}^{LTE} \times nbps} \quad (3)$$

### 5.1.2 Método matemático para o cálculo das métricas do protocolo NR V2X

Para o cálculo das métricas analisadas para o protocolo NR V2X considerou-se a seguinte configuração: largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadora (SCS) de 30 KHz.

Uma das características mais importantes consideradas na norma 5G (NR) é a utilização de diferentes formas de onda como (OFDM) e de propagação da DFT-OFDM, dependendo de diferentes condições de canal e cenário de implementação de uplink.

**NR<sup>0</sup>**: normalmente usa a propagação DFT-s-OFDM, no qual tem uma ligação e dispositivos de baixo recursos de transmissão.

**NR<sup>2</sup>**: por ser um novo protocolo de comunicação, também tem usado a propagação DFTs – OFDM de modo que alcance uma alta fiabilidade. [71].

Um RB é composto por 168 elementos de recurso (RE), ou seja, 12 subportadora no domínio da frequência e 14 símbolos OFDM no domínio do tempo. Devido à rápida mudança e às condições do canal, 16 REs com 3 símbolos adicional, são utilizadas para uma desmodulação de alta densidade sinal de frequência (DMRS) [71].

Entretanto, o número de REs disponível para transmissão de dados  $n_{d-RE}^{NR}$  são reduzidos. O número de RB necessários para transmitir uma carga útil ( $P_b$ ) é calculado e mostrado na equação 4, para o protocolo NR V2X.

$$n_{RB}^{NR} = \left\lceil \frac{P_b \times 8}{n_{d-RE}^{NR} \times n_{nbpm}^{NR}} \right\rceil \quad (4)$$

Onde:

$n_{nbpm}^{NR}$ : é a eficiência espectral de um dado MCS obtido da Tabela 6.1.4.1-1 de [71].

**Latência de transmissão ( $T_{tx}^{NR}$ )**: É o tempo necessário para transmitir uma carga útil. Para o cálculo da latência de transmissão efetiva, será necessário multiplicar este tempo pela duração de um slot. Na equação 5, é mostrado a forma de calcular a latência de transmissão do protocolo NR V2X.

$$T_{tx}^{NR} = \left[ \frac{n_{RB}^{NR}}{n_{RB-slot}^{NR} \times (1-OH)} \right] \times t_{slot}^{NR} \quad (5)$$

Onde:

$n_{RB-slot}^{NR}$ : número de RBs disponíveis para um utilizador em uma certa largura de banda.

Ver a Tabela 5.3.2-1 de [72].

$t_{slot}^{NR}$ : é a duração de um slot

OH: é a sobrecarga de ligação. Ver tabela 4.1.2 de [73].

**Taxa de dado ( $DR^{NR}$ ):** É calculada com a seguinte fórmula matemática como é mostrado na equação 6,

$$DR^{NR} = \frac{Pb \times 8 \times n_{RB-slot}^{NR} \times (1-OH)}{n_{RB}^{NR} \times t_{slot}^{NR}} \quad (6)$$

**Taxas de código ( $CR^{NR}$ ):** A taxa de código para NR V2X é calculada com a seguinte fórmula matemática como é mostrado na equação 7.

$$CR^{NR} = \frac{Pb \times 8}{n_{d-RE}^{NR} \times nbpm} \quad (7)$$

## 5.2 Análise de resultados

Nesta seção, apresenta-se os resultados obtidos dos cálculos realizados ao aplicar os métodos matemáticos descritos na seção 5.1, entretanto, são comparados os resultados da latência de transmissão e taxa de dados dos protocolos LTE V2X e NR V2X, para determinadas configurações: tamanho de pacotes de 100 bytes, largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadora (SCS) de 15 KHz e para largura de banda do canal de 20 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 30 KHz.

### Comparação de padrões LTE V2X e NR V2X

A tabela 3 mostra a comparação dos resultados da latência de transmissão e a taxa de dados dos protocolos LTE V2X e NR V2X para a seguinte configuração: Largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadora (SCS) de 15 KHz.

*Tabela 3- Comparação da latência de transmissão e taxa de dados para largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadoras de 15 KHz.*

LTE V2X						NR V2X					
MCS	M	CR	RB	T(ms)	DR(Mbps)	MCS	M	CR	RB	T(ms)	DR(Mbps)
0	QPSK	0,1	30	1	2,18	0	QPSK	0,12	23	0,25	5,04
2	QPSK	0,5	8	1	3,44	2	QPSK	0,44	7	0,25	7,92
5	QPSK	0,6	7	1	6,53	5	QPSK	0,51	6	0,25	15,13
7	QPSK	0,8	5	1	9,33	7	16-QAM	0,33	4	0,25	20,8
11	16-QAM	0,6	4	1	13,06	11	16-QAM	0,48	3	0,25	27,73
13	16-QAM	0,8	3	1	16,32	13	64-QAM	0,46	2	0,25	41,6
16	64-QAM	0,8	2	1	21,76	16	64-QAM	0,65	2	0,25	55,47
21	64-QAM	1	2	1	32,64	21	64-QAM	0,93	1	0,25	83,2

A tabela 4, mostra a comparação de resultados da latência de transmissão e taxa de dados dos protocolos LTE V2X e NR V2X para a seguinte configuração: Largura de banda do canal de 20 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 30 KHz.

Tratando-se da figura 16 de largura de banda do canal 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz, nomeadamente, LTE V2X e NR V2X, são realçados alguns pontos importantes para pacote de 100 bytes. Comparando ambos os dois protocolos de comunicação, LTE V2X e NR V2X, no que toca as métricas referidas de latência e taxa de dados, os resultados mostram que NR V2X supera a LTE V2X na confiabilidade na entrega rápida de pacotes já que apresenta menor latência na transmissão de dados.

*Tabela 4 - Comparação da latência de transmissão e taxa de dados para largura de banda do canal de 20 MHz com espaçamento de subportadoras de 30 KHz*

LTE V2X						NR V2X					
MCS	M	CR	RB	T(ms)	DR(Mbps)	MCS	Modulação	CR	RB	T(ms)	DR(Mbps)
0	QPSK	0,12	30	1	4,32	0	QPSK	0,12	23	0,5	2,47
6	QPSK	0,47	8	1	6,82	2	QPSK	0,44	7	0,5	3,89
7	QPSK	0,56	7	1	12,96	5	QPSK	0,51	6	0,5	7,42
10	QPSK	0,8	5	1	18,52	7	16-QAM	0,33	4	0,5	10,2
13	16-QAM	0,58	4	1	25,92	11	16-QAM	0,48	3	0,5	13,6
17	16-QAM	0,82	3	1	32,4	13	64-QAM	0,46	2	0,5	20,4
21	64-QAM	0,77	2	1	43,2	16	64-QAM	0,65	2	0,5	27,2
27	64-QAM	1,02	2	1	64,8	21	64-QAM	0,93	1	0,5	40,8

A latência de transmissão, de LTE V2X, tendo em conta o tipo de modulação, encontram-se constantes, visto que essa mesma latência sendo superior, corresponde a 1 ms, foram alcançados basicamente em cálculos de número de sub-quadro necessário para transmitir  $P_b (T_{tx}^{LTE})$ , ao passo que NR V2X os sinais de modulação, em detrimento, com a latência de transmissão, especificamente são 0,25 ms (100 bytes) logo é melhor do que LTE V2X em termos da latência de transmissão conforme ilustrado na figura 16.

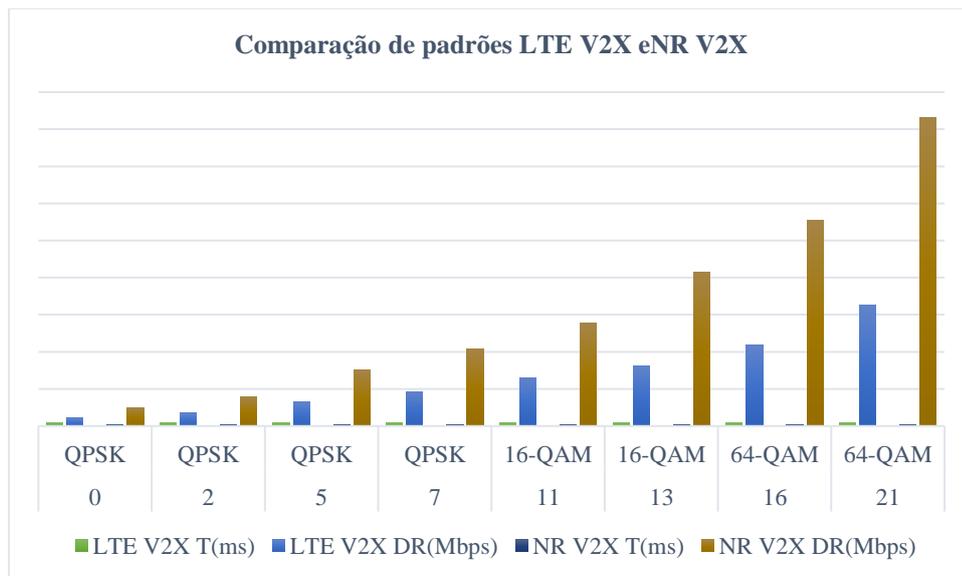


Figura 16 - Largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz para LTE V2X e NR V2X

Relativamente à taxa de dados de LTE V2X, os níveis de desempenho de taxa de dados atingem posições mais reduzidas visto que em NR V2X, as taxas de dados são superiores comparando-se com LTE V2X no qual o incremento de números aumentam, tendo em conta a escalabilidade dos sinais da modulação. Entre tanto, isso prova realmente de que o NR V2X é superior que LTE V2X em termos de taxas de dados, conforme mostra a figura 16. Os valores obtidos resultaram por intermédio de cálculo de LTE V2X, usando a fórmula de taxa de dados. Ver equação número (2) de taxa de dados ( $DR^{LTE}$ ), ao passo que em NR V2X, usou-se o cálculo número (6) da taxa de dados denominado ( $DR^{NR}$ ).

Como se mostra na Figura 17, especificamente a taxa de dados de LTE V2X, tem um nível de desempenho reduzido em termos da taxa de dados e fiabilidade. Normalmente os valores são variáveis de acordo com o protocolo LTE V2X, baseando nos níveis de modulação.

Como podemos ver, a modulação 0 QPSK tem (2,18 Mbps), 6 QPSK com (3,44 Mbps), 7 QPSK (6,53 Mbps), 10 QPSK apresenta taxa de dados (9,33 Mbps), entretanto nota-se também que a modulação 16 QAM (13,06 Mbps), e 16 QAM com (16,32 Mbps) e 64 QAM (21,76 Mbps e 32,64 Mbps).

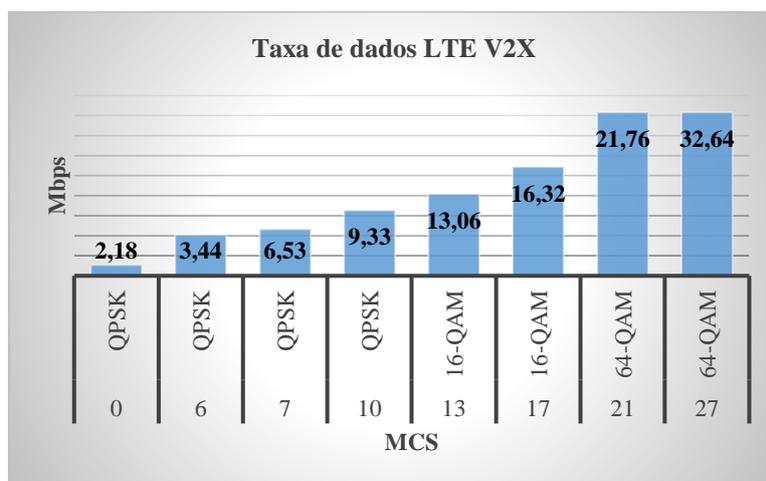


Figura 17- Largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadora (SCS) de 15 KHz para taxa de dados do LTE V2X

Sobre o NR V2X, nomeadamente a taxa de dados para largura de banda do canal 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz, como mostra a Figura 18, os resultados da taxa de dados no NR V2X apresentam melhor desempenho quando a modulação (MCS) aumenta.

Por isso, considera-se que a modulação 0 QPSK tem como valor (5,04 Mbps), 6 QPSK contendo (7,92 Mbps), 7 QPSK (15,13 Mbps) e 16 QAM com respetivos resultados tais como (20,8 Mbps e 27,73 Mbps), como é visto na Figura 18.

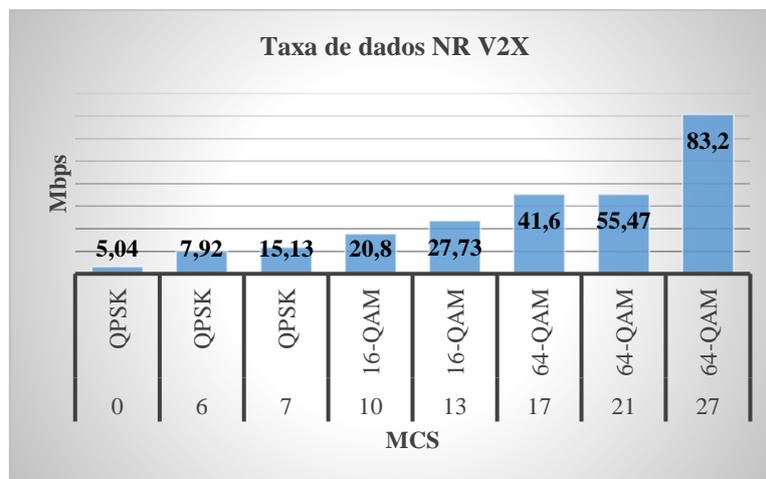


Figura 18 - Largura de banda do canal de 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz para taxa de dados do NR V2X

De certa forma, a Figura 19, largura de banda do canal 20 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 30 KHz, apresenta-nos sucintamente a comparação entre LTE V2X e NR V2X em termos da latência de transmissão e taxa de dados.

Uma vez que a latência de transmissão de LTE V2X é constante e corresponde a 1 ms, dado que este valor se resultou a partir do cálculo de número de sub-quadro necessário para transmitir um pacote de 100 bytes e sendo superior que NR V2X visto que tem uma latência de transmissão que corresponde a 0,5 ms com menos desempenho. Porém, tem uma tendência de aumento ou diminuição de nível de acordo com os respectivos sinais de modulação, como podemos ver na Figura 19, os valores da latência de transmissão do NR V2X são baixos quando comparado com o LTE V2X, este fato representa bom desempenho do protocolo NR V2X.

Todavia, os valores da taxa de dados relacionada ao LTE V2X, são altos quando comparado com o NR V2X, este fato representa melhor nível de desempenho do protocolo LTE V2X.

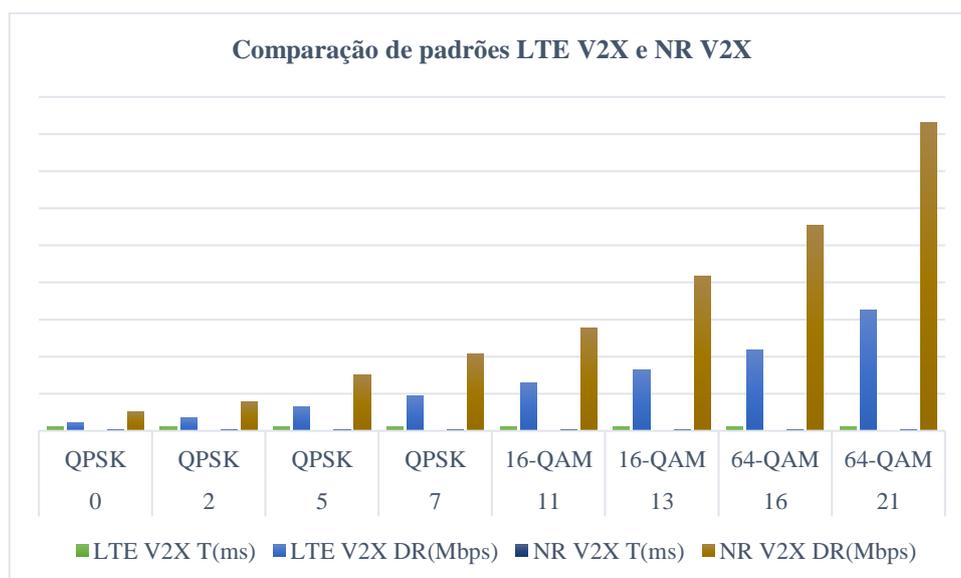


Figura 19- Largura de banda do canal de 20 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 30 KHz para LTE V2X e NR V2X

Entretanto, é importante salientar de que o LTE V2X melhora significativamente a taxa de dados por ter eficientemente uma largura de banda melhor, usando a equação 6 para calcular a taxa de dados do NR V2X, como é mostrado na Figura 19.

## 6. CONCLUSÃO

Nesta dissertação foi abordado o estudo relacionado à comunicação sem fio em redes veiculares e principalmente analisa-se o desempenho dos novos protocolos de comunicações sem fio para condução autónoma. Avaliou-se as métricas de latência de transmissão e taxa de dados para os protocolos de comunicações LTE V2X e 5G NR V2X da camada física.

A comunicação entre veículos faz possível o trabalho cooperativo de forma a melhorar a segurança rodoviária, aumenta eficiência na gestão do tráfego rodoviário e minimizar os impactos ambientais.

5G sendo uma tecnologia com melhor desempenho spectral, apresenta características interessantes como flexibilidade, confiabilidade e escalabilidade. Da análise realizada nesta investigação, conclui-se para as métricas de latência e taxa de dados, o NR V2X apresenta melhor desempenho que o LTE V2X.

Para o protocolo NR V2X na configuração de largura de banda do canal 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz a taxa de dados é variável, tendo o melhor desempenho para a modulação 64-QAM com um valor máximo de 83,2 Mbps.

Os resultados destas análises, mostram que a latência de transmissão de NR V2X tem melhor desempenho. A taxa de dados de LTE V2X, tendo um nível de desempenho baixo para a modulação 64-QAM com um valor de 32,64 Mbps, quando a configuração é largura de banda do canal 10 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 15 KHz ao passo que é melhor na taxa de dados com um valor de 64,8 Mbps, quando a configuração é largura de banda do canal 20 MHz com espaçamento de subportadoras (SCS) de 30 KHz.

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. ITU-R, Radiocommunication Study Groups. 2016. Disponível em: Acesso em: 22 maio de 2019.
- [2]. LIU, G.; et al., 5G Features from Operation Perspective and Fundamental Performance Validation by Field Trial. *China Communications*, vol. 15, pp. 33-50, 2018.
- [3]. Vehicle-to-Everything (v2x) Services Supported by LTE disponível em [https://www.semanticscholar.org/paper/Vehicle-to-Everything-\(v2x\)-Services-Supported-by-Chen-Hu/3ed2265e1f5854306ebd2ed85159c4e23b8f1eb2](https://www.semanticscholar.org/paper/Vehicle-to-Everything-(v2x)-Services-Supported-by-Chen-Hu/3ed2265e1f5854306ebd2ed85159c4e23b8f1eb2). 26 de Julho 2017.
- [4]. Husain, S.S.; Kunz, A., Prasad, A.; Pateromichelakis, E.; and Samdanis, K. "Ultra-high reliable 5G V2X communications", *IEEE Commun. Standards Mag*, vol. 3, no. 2, pp. 46-52, Jun. 2019.
- [5]. Masini, M. B.; Bazzi, A.; and Natalizio, E. "Radio access for future 5G Vehicular networks," in *Proc. IEEE 86th Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall)*, Toronto, ON, Canada, Sep. 2017, pp. 1-7, 1 de Outubro 2018.
- [6]. Wangham, M.; Nogueira, M.; Fernandes, P. C.; Paviani, O.; e F. da Silva, B. "Capítulo 4: Segurança em Redes Veiculares: Inovações e Direções Futuras," *Minicursos do XIV Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacional*.
- [7]. "Intelligent Transportation Systems and IEEE 802.11p", Anritsu Ltd, Tóquio, 2016.
- [8]. Jindal, V.; e Bedi, P. "Vehicular Ad-Hoc Networks: Introduction, Standards, Routing Protocols and Challenges," *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, vol. 13, no. 2, pp. 44-55, 2016.
- [9]. Barrachina, J.; et al., "V2X-d: A vehicular density estimation system that combines V2V and V2I communications," *Wireless Days (WD), 2013 IFIP*, Valencia, SP, pp. 1-6. 2013.
- [10]. Yang, F.; Li, J.; Lei, T.; and Wang, S. "Architecture and key technologies for Internet of vehicles: A survey," *J. Commun. Inf. Netw.*, vol. 2, no. 2, pp. 1-17, Jun. 2017.
- [11]. Singh, R. O.; Kaiwa, e Miglani, S. "Efficient and secure message transfer in VANET", *Inventive Computation Technologies (ICICT), 2016 International Conference*, Coimbatore, IN, 2016.

[12]. Storck R. C.; and Figueiredo, D. F. "5G V2X ecosystem providing Entertainment on board using mm wave communications," in Proc. IEEE10th Latin-Amer. Conf. Commun. (LATINCOM), Guadalajara, México, pp. 1-6, Nov. 2018.

[13]. Singh, R.; e Miglani, S. "Efficient and secure message transfer in VANET," Invetive Computation Technologies (ICICT), 2016 International Conference, Coimbatore, IN, 2016.

[14]. "DARPA's Urban Challenge 2007". [Online]. <http://thefutureofthings.com/3019-darpas-urban-chal-lenge-2007/>, [consultado a 26/03/2021]. Comunicação Veículo para Veículo.

[15]. "OPINIÃO: Veículos autónomos. O que esperar desta nova realidade de mobilidade?" Outubro 2016. [Online]. <http://fleetmagazine.pt/2016/10/31/veiculos-autonomos/> [consultado a 30/03/2021].

[16]. Janet Fleetwood, "Public Health, Ethics, and Autonomous Vehicles," American Journal of Public Health, pp. 1-6, 2016.

[17]. "Acaminhodoscarrsautónomos" fevereiro 2016. [Online]. <http://exameinformatica.sapo.pt/li-festyle/carros/23/02/2016-A-caminho-dos-carros-autónomos> [Consultado a 25/03/2021].

[18]. Zheng, K.; et al., "Reliable and efficient autonomous driving: the need for heterogeneous Vehicular networks," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 12, pp. 72-79, 2015.

[19]. Zheng, B.; et al., "Next Generation Automotive Architecture Modeling and Exploration for Autonomous Driving," 2016 IEEE Computer Society Annual Symposium, VLSI (ISVLSI), 2016.

[20]. Zheng, K.; et al., "Reliable and efficient autonomous driving: the need for heterogeneous Vehicular networks," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 12, pp. 72-79, 2015.

[21]. "V2X Cellular Solutions", 5G Americas, Bellevue, USA, 2016. [Online]. Disponível: [http://www.5gamericas.org/files/2914/7769/1296/5GA\\_V2X\\_Report\\_FINAL\\_for\\_upload.pdf](http://www.5gamericas.org/files/2914/7769/1296/5GA_V2X_Report_FINAL_for_upload.pdf). [consultado a 15/04/2021].

[22]. Wang, X.; Mao, S.; e Gong, X.; M. "Uma visão geral dos padrões 3GPP de veículo para tudo", GetMobile Mobile Comput. Comuni., vol. 21, pp. 19-25, nov. 2017.

[23]. Filippi, A.; Moerman, K.; Martinez, V.; e Turley, A. White Paper: IEEE802.11p à frente do LTE-V2V, para aplicações de segurança, 2017.

[24]. Thompson, J.; Ce, X; Wu, C.X.; Irmer, R; Jiang, G; Fettweis, G.; Alamouti, A. "5G Wireless Communication Systems: Prospects and Challenges". IEEE Commun. Mag, o que está aqui? no. 52, 62-64, 2014.

[25]. Marques da Silva, M.; Correia, A.; Dinis, R.; Souto, N.; Silva, J. Técnicas de Transmissão para Sistemas Emergentes Multicast e Broadcast, 1ª ed.; CRC Press Auerbach Publicações: Nova York, NY, EUA, 2010.

[26]. Andrews, J.; Buzzi, G.; Choi, S.; Hanly, W.; Lozano, V.; S. A.E.; Soong, A.C.K.; Zhang, J.C. "O que será o 5G?" IEEE J. Sel. Áreas Comunas. 2014, 32, 1065-1082.

[27]. DAHLMAN, E.; et al., "5G Wireless Access: Requirements and Realization". IEEE Communications Magazine, vol. 52, pp. 42-47, 2014.

[28]. GSMA-TMG. Study On socio-Economic Benefits of 5G Services Provided in mmWave Bands. Disponível em: Acesso em: 28 de junho de 2019.

[29]. Recommendation ITU-R M.2083. IMT Vision Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. [S.1.], 2015.

[30]. AL-FUQAHA, A.; et al., Internet of Things: A Survey On Enabling Technologies, Protocols, and Applications. IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, Fourthquarter 2015.

[31]. ITU-R M.2410-0, R. Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s). [S.1.], 2017.

[32]. JAVAID, N.; et al., Intelligence in IoT-Based 5G Networks: Opportunities and Challenges. IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 10, pp. 94-100, Out. 2018.

[33]. ZHU, C.; et al., Green internet of things for smart world. IEEE Access, vol. 3, pp. 2151-2162, 2015.

[34]. ITU-R M.2411-0, R. Requirements, Evaluation Criteria and Submission Templates for the Development of IMT-2020. [S.1.], 2017.

[35]. ITU-R M.2412-0 Report. Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-2020. [S.1.], 2017.

[36]. DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKOLD, J. 5G NR: the next generation wireless access technology. [S.1.]: Academic Press, 2018.

[37]. HOEFEL, R. IEEE 802.11ac: "A Performance Assessment of Single-User Transmit Beamforming and Multi User MIMO Transceiver Architectures". In: ISWCS 2013; The Tenth International Symposium On Wireless Communication Systems. [S.l.: s.n.], pp. 1–5, 2013.

[38]. Chen, S.; et al.; tecnologias, padrões e aplicações de LTE-V2X para redes veiculares, ciência das telecomunicações, 2018.

[39]. Masegosa M.R.; e Gozalvez, J. "LTE-V para comunicações veiculares sidelink 5G V2X: Uma nova tecnologia 5G para comunicações de curto alcance veículo-para-tudo", IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 12, no. 4, pp. 30-39, dez. 2017.

[40]. TS 36.213 Evoluído Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Procedimentos de camada física (vol. 14.12.0 Liberação 14), 3GPP, setembro 2019.

[41]. Evoluído Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Controle de recursos de rádio (RRC); Especificação do protocolo vol. 14.12.0 Versão 14, setembro 2019.

[42]. Especificação da camada de acesso para ITS Usando comunicação LTE-V2X no 5 de novembro 2018.

[43]. 3GPP, "Technical specification group services and system aspects; study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical report (TR) 22.886, 09 2018.

[44]. Wang, X.; Mao, S.; e Gong, X.; M. "Uma visão geral dos padrões 3GPP de veículo para tudo," GetMobile Mobile Comput. Communi, vol. 21, pp. 19-25, Nov. 2017.

[45]. RP-181480: Novo SID: Estudo sobre NR V2X, Proc. 3GPP Plenary Meeting, vol. 80, pp. 1-10, jun. 2018.

[46]. Kutila, M.; et al., "C-V2X supported automated driving," in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC Workshops), Shanghai, China, pp. 1-5, May 2019.

[47]. Butler, D. Como veículos falando e ouvindo poderiam tornar as estradas mais seguras cidades melhores, jan. 2019.

[48]. Avaliação da Alocação de Recursos NR V2X Mode 2, Atenas, Grécia, fevereiro 2019.

[49]. R1-1902484: Esquemas de alocação de recursos para comunicação NR V2X, Atenas, Grécia, fevereiro 2019.

- [50]. Esquemas de alocação de recursos para NR V2X Sidelink Communications, Spokane, WA, EUA, nov. 2018.
- [51]. Resumo dos Aspectos da Convivência no Estudo NR-V2X, Chengdu, China, 2018.
- [52]. Coexistência entre NR V2X e LTE V2X, Spokane, WA, EUA, novembro 2018.
- [53]. Discussão sobre a coexistência do sidelink LTE e do sidelink NR em NR V2X, Spokane, WA, EUA, 2018.
- [54]. Design para-NR V2X Groupcast Resource Allocation, Chengdu, China, out. 2018.
- [55]. Cao, H.; Gangakhedkar, S.; Ali, M.; A.; Gharba, R.; and Eichinger, J. "A 5G V2X testbed for cooperative automated driving", in Proc. IEEE Veh. Netw. Conf. (VNC), Columbus, OH, USA, pp. 1-4, Dec. 2016.
- [56]. Kutila, M.; Pyykonen, P., Huang, Q.; Deng, W.; Lei, W.; and Pollakis, E. "C-V2X supported automated driving," in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC Workshops), Shanghai, China, pp. 1-5, May 2019.
- [57]. Teste de benchmarking de tecnologia, V2X, SEP, 2018, [online] Disponível: <https://www.fcc.gov/ecfs/filing/109271050222769>.
- [58]. Molina, M.R.; e Gozalvez, J. "LTE-V para comunicações veiculares 5G V2X sidelink: Uma nova tecnologia 5G para comunicações de curto alcance veículo-para-tudo", IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 12, no. 4, pp. 30-39, dez. 2017.
- [59]. Estudo sobre o Aprimoramento do Suporte 3GPP para serviços 5G V2X (versão vol. 16.2.0 16), dez. 2018.
- [60]. Evoluído Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Procedimentos de Camada Física (vol. 14.3.0 Liberação 14), jun. 2017.
- [61]. Rajasekhar, M.; Jaswal, A. "Veículos autónomos: O futuro dos automóveis". Em Processo da Conferência Internacional de Eletrificação de Transporte (ITEC), Chennai, Índia, 27 de agosto 2015.
- [62]. Febbraro, A.; Sacco, N.; Saeednia, M. "Maximização de lucros de participação de carros unidireções por meio de realocação de veículos baseados no usuário". IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 20, 628-641, 2019.
- [63]. Sachs, J.; Wikstrom, G.; Dudda, T.; Baldemair, R.; Kittichokechai, K. 5G Radio Network Design for Ultra-Reliable Low-Latency Communications. IEEE 32, 24-31, Netw. 2018.

[64]. Zaidi, A.; Zhao, W.; et al., 5G Estrutura do quadro, Disponível em: [https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G\\_FrameStructure.html](https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_FrameStructure.html). 2016.

[65]. Simon Haykin Communication Systems (4th Editions), Editora Wiley, 6 de maio 2013.

[66]. Zhang, H.; Cao, R.; Zhang, Y.; Chao, L.Y.; and Lou, L. H. "NGV PHY feasibility discussions," IEEE 802.11-18/0860r3, 05 2018.

[67]. 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 36.213, 09 2018.

[68]. Tung, L.; and Gerla, M. "LTE resource scheduling for vehicular safety applications," in 2013 10th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), pp. 116–118, March 2013.

[69]. LIU, G.; et al., 5G Features from Operation Perspective and Fundamental Performance Validation by Field Trial. China Communications, vol. 15, pp. 33–50, 2018.

[70]. 3GPP, "NR, Physical layer procedures for data," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 38.214, 09 2018.

[71]. 3GPP, "NR, User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 38.101-1, version 15.3.0. 09 2018.

[72]. 3GPP, "NR, User Equipment (UE) radio access capabilities," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 38.306, 09 2018.

[73]. Anwar, W.; et al., "3GPP, NR, User Equipment (UE) radio access capabilities," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS), 09 2018.