

Tecnologias habilitadoras para pesquisas em 5G-V2X

Fernando da Silva Dutra, Rodolfo I Meneguette, Lourenço Alves Pereira Jr
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP - Brasil

Resumo—As comunicações veiculares ou *Vehicle-to-Everything (V2X)* estão em desenvolvimento desde 2010 com a publicação da especificação baseada em *WLAN, IEEE 802.11p*, criando as redes veiculares (*Vehicular Ad-hoc NETWORKS - VANETs*), no entanto evoluíram rapidamente em direção ao padrão celular com o *C-V2X*, especificado sobre o *LTE (Long Term Evolution)* primeiramente em 2016. Com o advento do 5G, novas possibilidades técnicas permitiram a melhoria de performance das aplicações existentes e a criação de novos casos de uso com requisitos mais estritos de latência, taxas de transmissão, disponibilidade e confiabilidade. O artigo, baseado em revisão de literatura, apresenta uma visão geral do V2X, sua evolução, requisitos e arquitetura, acrescentando também uma descrição de duas tecnologias importantes para o desenvolvimento do 5G-V2X, a *Network Slicing* e a *Edge Computing*, além da descrição de casos de uso, seus benefícios e desafios. Finalmente o artigo apresenta oportunidades de pesquisa sobre o tema, reforçando as novas possibilidades oferecidas pelo novo contexto do 5G.

Palavras-Chave—*Vehicle-to-everything (V2X)*, Comunicações veiculares, *VANETs*.

I. INTRODUÇÃO

Comunicações veiculares *V2X (Vehicle-to-Everything)* referem-se à troca de informações entre veículos (*V2V*), de veículos para pedestres (*V2P*), Internet (*V2N*) ou infraestrutura (*V2I*) de um Sistema de Transporte Inteligente (*intelligent Transport System - ITS*), que utiliza tecnologias inovadoras de informações e comunicações para aumentar a segurança, eficiência e sustentabilidade do trânsito [1].

Devido ao aumento do tráfego nos grandes centros urbanos e o conseqüente aumento de colisões, engarrafamentos e emissões, cresce de importância a pesquisa de soluções para mitigar esses problemas, de modo a tornar o trânsito mais seguro e eficiente [2]. Portanto, o desenvolvimento das comunicações veiculares foi impulsionado pela crescente necessidade de aperfeiçoamento do tráfego e pelo amadurecimento das tecnologias de transmissão wireless e celulares, chegando, eventualmente, em uma fase de evolução mais lenta, devido às limitações das tecnologias da época. Eventualmente, o advento da tecnologia 5G trouxe novas possibilidades às comunicações veiculares, lançando novas aplicações ou aperfeiçoando as já existentes, permitindo a implementação de serviços personalizados e programáveis, com uma ampla possibilidade de aplicações.

O presente artigo é produto de uma revisão bibliográfica de diversas fontes com o objetivo de reunir informações sobre comunicações veiculares no contexto do 5G e visa ambientar o leitor sobre os conceitos atinentes ao assunto e as possíveis linhas de pesquisa ligadas a este tema.

E-mail para correspondência com autor: dutrafsd@ita.br. Agradecimentos ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) por todo apoio prestado a esta pesquisa.

O artigo está subdividido em uma seção de visão geral da tecnologia, onde são abordadas as tecnologias V2X, a evolução para o 5G, seus requisitos e um exemplo de arquitetura do sistema; uma seção sobre a utilização de duas novas tecnologias críticas para o 5G-V2X e alguns casos de uso; finalmente o artigo apresenta uma seção de oportunidades de pesquisa em 5G-V2X.

II. 5G-V2X VISÃO GERAL

Esta seção descreve as tecnologias V2X, estado atual, avanços recentes e uma arquitetura proposta.

A. Tecnologias V2X

a) Dedicated Short Range Communications (DSRC): Foi desenvolvida com base na *IEEE 802.11p* (Emenda ao padrão *IEEE 802.11* para adicionar comunicação wireless em ambientes veiculares), utilizando links de curto alcance entre equipamentos especializados. Suas *VANETs (Vehicular Ad Hoc Networks)* são compostas por duas unidades principais: as Unidades Embarcadas (*Onboard Units - OBU*), localizadas à bordo dos veículos e as Unidades de “Beira de Estrada” (*Roadside Units - RSU*), colocadas ao longo das estradas.

A *DSRC* tem sido estudada analiticamente, através de simulações [3] e em aplicações reais [4]. A principal métrica para avaliação da sua performance tem sido a Taxa de entrega de pacotes (*Packet Delivery Ratio - PDR*), que é definida pela razão entre o número de pacotes recebidos e o número de pacotes transmitidos. Os resultados alcançados nos estudos demonstraram uma performance aceitável em aplicações de segurança veicular que necessitam de latência superior a 100 ms [5]. Entretanto, sua performance deteriora-se drasticamente conforme a densidade da rede aumenta, devido às colisões de pacote que resultam de transmissões simultâneas.

b) V2X Celular (C-V2X): A tecnologia V2X Celular (*C-V2X*) utiliza a ampla cobertura já existente do sistema de comunicações móveis, fazendo uso do *Long Term Evolution (LTE)* para as comunicações V2X. Sua possibilidade de reutilização da infraestrutura de comunicações existente, traz consigo uma grande vantagem potencial em termos de investimento, o que despertou o interesse em pesquisas para o seu desenvolvimento [6]. Por ser uma tecnologia mais recente, a *C-V2X* dispõe de menos estudos que a *DSRC*, e a maioria dos estudos existentes são decorridos de simulação. Seus resultados demonstram que a performance da *C-V2X* é superior à *DSRC*, porém, conforme o tráfego aumenta, a performance da *C-V2X* também diminui devido a interferência por reuso de frequência [7].

B. New Radio (NR) V2X: evolução do V2X

A nova tecnologia *NR*, ou 5G, é uma evolução da 4G (*LTE*), no entanto possui diferenças importantes por motivos

técnicos, possuindo, por exemplo, uma maior densidade de pequenas estações rádio base com uma menor distância de transmissão por causa de sua característica de frequência e permite uma grande capacidade de taxa de transferência de dados ao mesmo tempo que oferece a possibilidade de ultra-baixa latência e alta confiabilidade.

A nova geração traz novas possibilidades como o serviço de proximidade, o qual funciona baseado em dados de localização do usuário, melhorando a descoberta de aparelhos nas proximidades, facilitando a comunicação via *sidelink* entre dispositivos, bem como os benefícios de gerenciamento de dados de uma rede definida por software e computação na nuvem. O novo sistema 5G está sendo desenvolvido para ser totalmente compatível com a geração passada e operar em modo de compatibilidade enquanto ocorre a transição para o 5G.

Como o C-V2X já está em uso, o NR V2X não chega com a finalidade de substituí-lo, e sim de complementá-lo naqueles serviços que possuem requisitos mais estritos e que não possuem um suporte eficiente e confiável no C-V2X. O NR V2X pode lidar eficientemente com situações diversas de latência, tráfego e taxas de transmissão, e pode utilizar dois tipos de comunicação, *unicast* e *group cast*, quando os dados são enviados para um veículo específico ou para um grupo de destinatários [8].

Assim como o C-V2X, o 5G V2X conta com dois modos *sidelink*: **Modo 1**, quando todos os usuários estão dentro da área de cobertura do *gNodeB* (estação base 5G-NR), a comunicação é estabelecida diretamente entre os usuários com recursos alocados pelo próprio *gNodeB*; **Modo 2**, quando os usuários estão fora da área de cobertura do *gNodeB*, comunicando-se diretamente entre si.

O 5G oferece três serviços primários que permitem a introdução de novos casos de uso V2X.

a) *Ultra-Reliable and Low-latency Communications (uRLLC)*: Utilizadas para aplicações críticas sensíveis à variação de latência, como a direção autônoma e outras aplicações de tempo real.

b) *Enhanced Mobile Broadband (eMBB)*: Para aplicações que requerem uma alta largura de banda, como aplicações multimídia ou jogos.

c) *Massive Machine Type Communications (mMTC)*: Para aplicações em internet das coisas que requerem a comunicação de muitos dispositivos, oferecendo baixa latência, alta velocidade, serviços de localização, mobilidade e capacidade de atualização de firmware.

C. Requisitos 5G-V2X

A mobilidade dinâmica e altas velocidades relativas são parte essencial da própria natureza das comunicações veiculares, no entanto o suporte a esse requisito é um dos desafios da C-V2X, mas que no contexto 5G já está sendo solucionado, utilizando-se estratégias como a distribuição ótima de antenas ao longo da rede, técnicas de *massive MIMO* e *beamforming*, o 5G aperfeiçoou as técnicas de sincronização e o suporte à alta mobilidade, chegando a suportar velocidades relativas de até 280 km/h em V2X baseados em LTE e de até 500 km/h em 5G.

O suporte a requisitos de latências extremamente baixas é uma das principais inovações do 5G, especialmente no que

se refere a aplicações críticas para veículos autônomos. As RSU devem se comunicar com os veículos e informar, por exemplo, sobre obstáculos na pista, pedestres, ou alterações de tráfego e as comunicações devem ser eficientes de forma a permitir que o sistema de direção autônoma tome decisões acertadas em tempo útil e aumente a segurança, para isso os requisitos de latência são essenciais para os serviços.

Taxas de transmissão de dados ultra-altas são fundamentais nas aplicações de direção autônoma e transferências de informações em tempo real, como por exemplo informações de localização, velocidades, transferências de mapas e *streaming* de vídeo são realizadas a todo momento e o *delay* não deve ser maior do que microssegundos. Mesmo que a alta mobilidade das redes V2X seja o ponto principal de evolução a partir das redes celulares tradicionais, algumas soluções para prover essas altas taxas ainda estão sendo testadas em condições de baixa mobilidade ou redes estáticas, como o *D2D*, *Massive MIMO* e transmissões *mmWave*.

A arquitetura 5G para V2X deve ser capaz de suportar comunicações descentralizadas em tempo real, coordenar as transmissões de informações entre os veículos, ser segura, proporcionar baixíssima latência e ser capaz de conectar os veículos dinamicamente, sob condições de alta mobilidade, e ser escalável.

O sensoriamento ambiental é uma realidade no contexto 5G, pois os veículos são praticamente uma plataforma de sensoriamento, equipados com diversos equipamentos, como *LIDAR (Light Detection and Ranging - Medição por Laser)*, radar e câmeras, por exemplo, que poderão compartilhar informações com a rede e com os demais veículos.

O 5G deve possuir uma alta capacidade de tráfego de mensagens, pois um alto volume de mensagens é esperado, devido ao grande número de participantes no ecossistema 5G, incluindo veículos, pedestres e infraestrutura, com muitas mensagens enviadas e recebidas de cada participante, gerando um grande tráfego de mensagens, sendo necessário que o sistema esteja preparado para transmiti-las, além de gerenciar e controlar o fluxo de mensagens, enquanto a estrutura da rede deve ser capaz de suportar múltiplas conexões simultâneas com altos níveis de disponibilidade e confiabilidade, por exemplo as aplicações de segurança, que exigem informações precisas e com tempo de resposta baixo, sendo que algumas das aplicações mais críticas não são tolerantes à falhas.

D. Arquitetura

O projeto 5GCAR (*Fifth Generation Communication Automotive Research and innovation*) é considerado um dos projetos essenciais que propõem técnicas, aplicações, casos de uso e arquiteturas para habilitar a comunicação V2X dentro do 5G. A arquitetura proposta, como descrita no projeto 5GCAR, envolve cinco domínios: Gerenciamento da rede utilizando *SDN (Software Defined Network)*, segurança, conectividade *multi-RAT (Radio Access Technology)*, *Edge-computing* e *Network Slicing*. Na figura, uma visão geral da arquitetura, com a otimização de tráfego e *QoS* integrados aos equipamentos veiculares, estações rádio base e RSUs, com a segurança envolvendo a todos, transversalmente [9].

O 5GCAR utiliza Infraestrutura como um serviço (*IaaS*) como um conceito fundamental para a administração do sistema, utilizando técnicas de virtualização das funções de

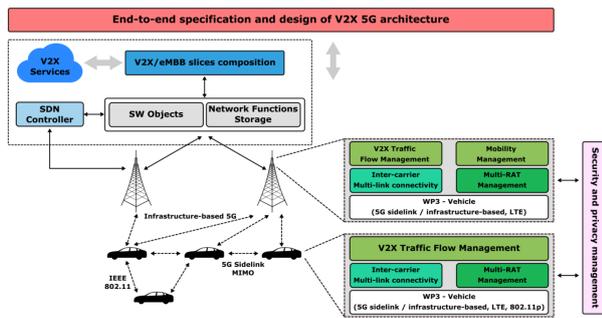


Fig. 1

ARQUITETURA DO SISTEMA 5GCAR [9]

rede (NFV) e redes definidas por software (SDN) para uma implementação eficiente das aplicações V2X.

III. CASOS DE USO E TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Esta seção descreve as tecnologias de *Network slicing*, *Edge Computing* e casos de uso importantes para o 5G-V2X.

A. Network Slicing

Network slicing é o gerenciamento de diferentes redes lógicas *end-to-end* como redes independentes e separadas em uma infraestrutura física compartilhada. O *Network slicing* separa as Funções de rede (NFs) dos recursos de rede, que podem ser alocados de acordo com a demanda pelos serviços na rede. O *slicing* permite gerenciar os serviços do plano do usuário (*User Plane (UP) services*), tornando-os configuráveis e programáveis [10]. A abordagem mais promissora de *slicing* é com a separação das funções *User Plane (UP)* e *Control Plane (CP)* e com o fornecimento de uma API aberta para suportar a programação das funções de rede oferecidas pela SDN e NFV. As funções do plano do usuário devem estar distribuídas próximas ao usuário para reduzir a latência de acesso aos serviços, enquanto as funções do plano de controle devem estar em um local centralizado, a fim de tornar o gerenciamento das operações de rede menos complicadas.

B. Edge Computing

A tecnologia de *Edge Computing* utiliza um desenho descentralizado, que gera capacidades de computação em nuvem próximo ao usuário [11], e pode operar como uma plataforma de computação simples ou cooperativa com outras entidades da rede [12]. A tecnologia de *Edge Computing* surgiu com a finalidade de lidar com aplicações que demandam requisitos de *Hard real-time*, que é o tipo de dados com os requisitos de latência mais exigentes, utilizando, portanto, servidores em datacenters fisicamente mais próximos dos usuários, reduzindo dessa forma a latência da transmissão, como nas aplicações de direção autônoma, por exemplo. Já para as aplicações de *Soft real-time*, que é o tipo de dados pode tolerar uma certa variação de latência, a computação ocorre na nuvem central, entretanto a *Edge Computing* pode tratar dessas requisições caso a rede esteja lenta ou sobrecarregada, como exemplo podemos citar o sistema de controle de semáforos [13].

A disponibilidade de *Edge computing* é crítica para suportar os casos de uso V2X. De acordo com o projeto 5GCAR, as

capacidade de *Edge Computing* geram oportunidades para muitas melhorias nas redes móveis para manter diferentes casos de uso V2X. Além disso, juntamente com o avanço da nova geração 5G, espera-se um grande aumento na quantidade de dados transmitidos, aumento na demanda de melhores condições de QoS para manter serviços com *ultra-low latency* e alta taxas de transferências de dados, e uma ampla variedade de dispositivos conectados ao mesmo tempo, além de *smartphones*, veículos e todo o tipo de equipamentos IoT, elevando, portanto, o impacto que a *Edge Computing* pode causar para a melhoria da qualidade dos serviços e da percepção dos usuários.

C. Casos de uso

Devido a crescente automação dos veículos, a coordenação entre os veículos têm se destacado como um requisito crítico para a nova geração. Dentre as aplicações possíveis para os veículos autônomos e semi-autônomos, podemos destacar o *Platooning* (Gerenciamento de comboio), mudança de faixa cooperativa e evasão de colisão cooperativa, onde os dados são obtidos dos sensores dos veículos das proximidades e da infraestrutura, com a finalidade de possibilitar a coordenação entre os veículos e a tomada de decisão dos veículos autônomos. Muitos tipos de serviços e casos de uso V2X podem ser beneficiados pelo *Network Slicing* do 5G, que tem a capacidade de oferecer serviços customizados na rede, de acordo com as necessidades. A seguir serão apresentados alguns casos de uso 5GV2X existentes [13]:

a) *Infoentretenimento*: O objetivo é promover uma atmosfera agradável ao motorista e aos passageiros, que podem consumir *streaming* de músicas, vídeos, jogos, chamadas de vídeo, videoconferências, etc. Esse serviço não tem as exigências críticas dos serviços de segurança, sendo utilizada transferência de dados por MBB (*Mobile Broadband*).

b) *Telemática*: Seu principal objetivo é auxiliar na experiência do motorista, com serviços como provisionamento de posição precisa remota, monitoramento da saúde do veículo, provisão de navegação, estacionamento automatizado e descoberta de vaga de estacionamento.

c) *Segurança na rodovia e eficiência*:

- *Road Warning*

São avisos disparados por situações específicas que podem exigir alguma ação do motorista. Esse caso de uso não possui requisitos tão estritos como os de direção autônoma, mas é preferível que seja entregue rapidamente para que dê mais tempo para o motorista reagir. Como exemplos podemos citar avisos de engarrafamento, acidentes ou outros perigos na pista.

- *Informação (Dados de sensores)*

Compartilhamento de informações captadas pelos sensores dos veículos é um dos aspectos mais importantes dos serviços de segurança veicular. Os dados captados por radar ou câmera de um veículo, podem ser aproveitados por outros para auxiliar na tomada de decisões do motorista, sendo ainda mais relevante nos casos envolvendo veículos autônomos.

- *Serviço Avançado de direção*

Permite a direção autônoma e semi-autônoma.

- *Direção cooperativa*

Com o principal objetivo de evitar colisões, a informação compartilhada inclui os dados do próprio veículo, como o acionamento dos freios, aceleração, etc. Pode ser utilizada para aplicações de fluxo de tráfego como *Lane Merging*, para que os veículos possam mudar de faixa com segurança.

- *Platooning*

Caso de uso onde os veículos viajam em comboio, muito perto uns dos outros, agindo em conjunto. Pode ser útil para diminuição do consumo de combustível e de número de motoristas. Exige o compartilhamento intenso de informações entre os veículos sobre a aceleração, freios, direção e velocidade.

- Tele-operação

O veículo é controlado remotamente. O controlador pode estar em um centro de controle remoto acessando imagens de câmeras do veículo e das redondezas, dirigindo o veículo como se estivesse embarcado na realidade, utilizando realidade virtual pode ser utilizada para melhorar a experiência do usuário.

D. Casos de uso 5GCAR para 5GV2X

O projeto 5GCAR desenvolve especificações que sejam reconhecidas como habilitadoras das aplicações V2X. A fim de ampliar a exemplificação de casos de uso 5G-V2X, serão elencadas a seguir, cinco casos de uso essenciais publicados pelo 5GCAR [9].

a) *Manobra cooperativa*: Trata-se do compartilhamento, entre veículos próximos, das trajetórias planejadas, intenções de direção e consciência situacional. Pode ser aplicado em qualquer ambiente e tem por objetivo aumentar a eficiência e segurança dos veículos através da coordenação das trajetórias de um conjunto de veículos.

Os principais benefícios são a eficiência no tráfego e segurança, redução de emissões, conforto (manobras mais suaves), melhoria na tomada de decisões e redução do consumo de combustíveis, enquanto os principais desafios para sua implementação, são a interpretação das trajetórias e decisões de direção, confiança de que os planos de manobra foram recebidos e aceitos pelos outros veículos, otimização da junção das manobras e o mais crítico, que é a incorporação de veículos legados aos cálculos de trajetória.

Um exemplo desse caso de uso é a mesclagem de faixas, quando um veículo está passando de uma faixa lateral para uma faixa principal e os veículos na faixa principal podem ajudar o veículo entrante a fazer a junção de modo mais suave, com o mínimo de impacto no fluxo da faixa principal.

b) *Percepção cooperativa*: Trata-se do compartilhamento das informações dos sensores embarcados entre os veículos, de forma que o veículo que recebe essas informações possa tomar consciência situacional de veículos ou obstáculos os quais os seus próprios sensores ainda não captaram.

Pode ser aplicado em qualquer ambiente e tem por finalidade dois objetivos principais, o primeiro é desenvolver um sistema de auxílio à direção que pode estender a visão local do veículo para melhorar a segurança, e o segundo é a construção de um Mapa local dinâmico (*Local Dynamic Map – LDM*) que poderia auxiliar na direção autônoma ou cooperativa ao mesclar as informações de um mapa estático com dados dinâmicos dos sensores através de diferentes padrões de tráfego.

Um dos principais benefícios desse caso de uso é o aumento da consciência situacional sem o custo do aumento da quantidade de sensores embarcados em um mesmo veículo, pois a relação de benefício/custo de módulos adicionais de comunicações Wireless é maior do que sensores extras ou mais potentes. Outro benefício é o auxílio a evitar obstáculos ou prevenir colisões, além de melhorar a escolha de rotas baseada em uma perspectiva mais ampla, enquanto os principais desafios são a união das informações dos sensores do veículo e dos recebidos dos outros veículos, e ainda garantir que as informações tenham a mesma padronização, visto que os veículos possuem diferentes fabricantes e sensores de diferentes formas de obtenção das informações.

Um exemplo de aplicação é o *See-Through*, ocasião na qual o veículo que tem sua vista impedida pelo veículo a sua frente, pode ter acesso aos sensores e câmera de vídeo do veículo da frente, para que possa ter a consciência do que está acontecendo fora da sua área de visão imediata.

c) *Segurança cooperativa*: A principal motivação desse caso de uso é a segurança dos usuários vulneráveis das estradas (*Vulnerable Road User – VRU*), como pedestres, motociclistas, ciclistas e animais, por exemplo. O objetivo é utilizar informação disponível de todos os sensores, dos veículos, da infraestrutura e inclusive dos próprios *smartphones* dos usuários, caso disponíveis, para determinar a posição dos VRU e enviar alertas para os veículos no caso de algum VRU adentrar alguma área restrita, por exemplo, para que os veículos possam tomar ações de forma a preservar a segurança dos VRU.

O desafio é determinar a exata posição dos VRU em diferentes ambientes, com diferente iluminação, clima e demais condições ambientais e então informar a tempo os veículos circulando pelas redondezas.

Um exemplo de aplicação é a proteção aos pedestres vulneráveis que estejam tentando atravessar uma pista e sua visão esteja bloqueada por algum veículo estacionado, enquanto o veículo que vem trafegando na pista não tem visão desse pedestre. Nesse caso o veículo trafegando seria avisado pela infraestrutura de que um pedestre estaria entrando em uma área restrita, de perigo, e o veículo poderia tomar ações de modo a preservar a segurança do pedestre.

d) *Navegação autônoma*: A finalidade é criar um mapa inteligente de tempo-real em alta definição que tem por objetivo ser distribuído por uma única fonte confiável, a fim de guiar os veículos com informações atualizadas e precisas, a partir das informações recebidas dos sensores dos veículos e da infraestrutura, atualizado dinamicamente conforme o trânsito evolui.

Os benefícios incluem o suporte à direção autônoma e semi-autônoma e auxílio na experiência de direção do motorista, enquanto o desafio de implementação é calcular as rotas utilizando informações do tráfego em tempo real e entregar informações consistentes e fidedignas para todos os veículos.

e) *Direção remota*: O objetivo é possibilitar que um veículo seja dirigido remotamente, com o comando de todos os controles: volantes, aceleração e freios, podendo ser dirigido por um motorista ou por um computador remoto. Pode ser utilizado em um veículo não autônomo, mas se o veículo for autônomo, um motorista supervisor remoto pode trazer mais segurança para a viagem em casos de problemas inesperados.

Um exemplo pode ser a direção remota para estacionamento automatizado, no qual o veículo recebe comandos remotos para manobrar corretamente o veículo na “última milha”, encontrar a vaga e estacionar exclusivamente por controle remoto.

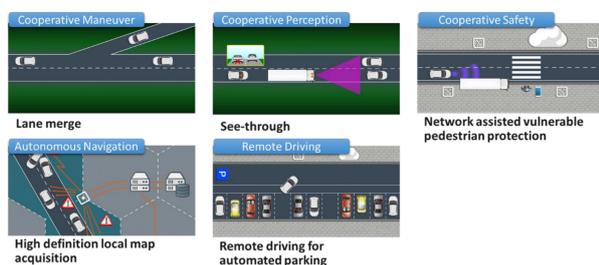


Fig. 2
CASOS DE USO 5GCAR

IV. OPORTUNIDADES DE PESQUISA

A demanda por automação na sociedade está aumentando, bem como a automação veicular, que promete trazer uma maior segurança e eficiência para o trânsito nas rodovias. Os casos de uso das aplicações veiculares são numerosos e heterogêneos, abrangendo diferentes domínios do conhecimento, muitos casos de uso estão apoiados em tecnologias inovadoras e ainda existem apenas em teoria ou simulações, faltando muita pesquisa e desenvolvimento para que possam ser implementados na prática.

A seguir serão elencadas algumas oportunidades de pesquisa em 5G-V2X:

- *mmWave*

O espectro ocupado pelo 5G pode incluir ondas de altas frequências que possibilitariam uma transmissão de dados em altas taxas, porém com o revés de ser mais vulnerável a interferências.

- Técnicas de multi-antenas

Utilização das características de *Beamforming* e *massive MIMO* para compensar os efeitos da mobilidade dos veículos.

- *Slice Handovers*

Uma das características do *Network Slice* é fornecer serviços específicos conforme a necessidades dos usuários, no entanto, a alta mobilidade dos veículos, causa a necessidade de *slicing handovers*, quando o veículo precisa mudar seu ponto de acesso à rede (*Point of Attachment*), mudando o *POA* para um *slice* de destino para que receba os serviços do novo *slice*.

- *Offload* de funções em *Edge Computing*

Estudo das melhores formas de implementar funções para computação na borda de determinada aplicação V2X.

V. CONCLUSÃO

Este artigo objetivou descrever as comunicações veiculares no contexto do 5G, seu desenvolvimento, tecnologias envolvidas e casos de uso, com base em uma revisão bibliográfica a fim de elucidar o seu estado atual e as possíveis lacunas de pesquisa na área. Ficou evidente que as comunicações veiculares evoluíram muito desde o seu surgimento, ganhando

novo fôlego com o advento do 5G, aperfeiçoando as possibilidades técnicas, melhorando a sua aplicabilidade e permitindo o surgimento de novos casos de uso.

As fontes pesquisadas revelaram que muitos casos de uso ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento e ainda não puderam ser testados em ambientes realísticos de mobilidade e saturação. De acordo com as informações colhidas e apresentadas, os autores consideram que o 5G-V2X é um campo de pesquisa com muitas possibilidades a serem desenvolvidas e esperam contribuir com a comunidade científica ao apontar as oportunidades de pesquisa em 5G-V2X.

Deseja-se como trabalho futuro, explorar e aprofundar os estudos sobre o 5G-V2X, com o objetivo de abordar algumas das oportunidades de pesquisa apresentadas. Por fim, os autores deste artigo gostariam de agradecer à Força Aérea Brasileira (FAB), através do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), por todo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- [1] J. B. Kenney, “Dedicated short-range communications (dsrc) standards in the united states,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162–1182, 2011.
- [2] H. Zhou, W. Xu, J. Chen, and W. Wang, “Evolutionary v2x technologies toward the internet of vehicles: Challenges and opportunities,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 108, no. 2, pp. 308–323, 2020.
- [3] M. May, T. Ilseher, N. Wehn, and W. Raab, “A 150mbit/s 3gpp lte turbo code decoder,” in *2010 Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE 2010)*, 2010, pp. 1420–1425.
- [4] Y. Shi *et al.*, “Lte-v: a cellular-assisted v2x communication technology,” in *ITU workshop*, 2015.
- [5] A. Papanthassiou and A. Khoryaev, “Cellular v2x as the essential enabler of superior global connected transportation services,” *IEEE 5G Tech Focus*, vol. 1, no. 2, pp. 1–2, 2017.
- [6] K. Abboud, H. A. Omar, and W. Zhuang, “Interworking of dsrc and cellular network technologies for v2x communications: A survey,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 12, pp. 9457–9470, 2016.
- [7] S. Islam, J. M. Kim, and K. S. Kwak, “On non-orthogonal multiple access (noma) in 5g systems,” *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 40, no. 12, pp. 2549–2558, 2015.
- [8] C. Campolo, A. Molinaro, A. Iera, and F. Menichella, “5g network slicing for vehicle-to-everything services,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 6, pp. 38–45, 2017.
- [9] Fifth Generation Communication Automotive Research and innovation, “Deliverable d1.3 5gcar final project report version: V1.0,” 2019, acessado em 14/07/2021. [Online]. Available: https://5gcar.eu/wp-content/uploads/2019/08/5GCAR_D1.3_v1.0.pdf
- [10] A. E. F. Barciela *et al.*, “New mobility services and how they will be affected by the connectivity,” in *Electronic components and systems for automotive applications*. Springer, 2019, pp. 231–237.
- [11] N. Hassan, K.-L. A. Yau, and C. Wu, “Edge computing in 5g: A review,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 127 276–127 289, 2019.
- [12] M. Boban, K. Manolakis, M. Ibrahim, S. Bazzi, and W. Xu, “Design aspects for 5g v2x physical layer,” in *2016 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*, 2016, pp. 1–7.
- [13] S. A. A. Hakeem, A. A. Hady, and H. Kim, “5g-v2x: Standardization, architecture, use cases, network-slicing, and edge-computing,” *Wireless Networks*, vol. 26, no. 8, pp. 6015–6041, 2020.