

RESEARCH AND DEVELOPMENT (R&D) PROJECT IDEA PAPER			Date: 14/02/2021
Project Idea Title	Enhanced VRU Safety with V2X Communications (Comunicações V2X e computação Fog na melhoria da segurança rodoviária dos utilizadores mais vulneráveis)		
Bosch Leader	UMinho Leader	Alexandre Santos	
Scientific-technological areas	Tecnologias de comunicação V2X (V2-X Celular, IEEE802.11p); Protocolos (ITS G5, DSRC); Segurança nas comunicações e aplicações V2X; Computação "Fog"; Segurança rodoviária suportada por aplicações V2X;		
[1] Project Idea background. Outline the problem/need. <Present the main business problem or need, technological challenge or market opportunity to be targeted. List the most relevant scientific / technological challenges to be investigated. (From the most important to the least important). A minimum of three issues/challenges.>			
<p>O problema</p> <p>-----</p> <p>Num contexto em que o nível de autonomia na condução dos veículos aumenta, as comunicações V2X são consideradas como inevitáveis. Um veículo com nível de autonomia igual ou superior a 3 [no referencial de 5 níveis indicado pela Sociedade de Engenheiros Automóveis (SAE-Society of Automotive Engineers)], precisa de complementar a informação rigorosa dos sensores e do posicionamento que obtém via satélite, com comunicações entre veículos e com a infraestrutura que o rodeia. Nas tecnologias V2X permanece a disputa entre a tecnologia mais madura baseada nas normas sem fios IEEE802.11p e a emergente tecnologia celular V2X (C-V2X) baseada em LTE (<i>Long Term Evolution</i>), geralmente apontada como mais promissora. Apesar dessa indecisão momentânea, parece claro que em breve todos os veículos automóveis virão obrigatoriamente equipados, por força da lei, com comunicações V2X de base, mono ou multitecnologia, e com sistemas de posicionamento precisos. O que permitirá o uso universal de um novo leque de aplicações V2X de segurança rodoviária.</p> <p>No entanto, do lado dos peões e ciclistas (entre outros), não se prognostica igual capacidade no imediato. Embora seja comum que estes utilizadores mais vulneráveis estejam munidos de telemóveis cada vez mais sofisticados, estes dispositivos não possuem ainda autonomia energética, sensores adequados ao posicionamento preciso, e suporte para comunicações veiculares com normas V2X. Há duas vias para aumentar a percepção dos veículos em relação ao meio que os rodeia: melhorar a sua capacidade sensorial do meio ambiente, ou, receber informação confiável e verificável, via tecnologia de comunicações V2X. O recurso às comunicações V2X permitirá aos peões e outros utilizadores rodoviários vulneráveis (e.g. ciclistas) aumentar consideravelmente a percepção do perigo imposto pela circulação rodoviária e também permitirá aos veículos a deteção e localização atempada dos utilizadores vulneráveis. Isto levará naturalmente a um aumento da segurança dos utilizadores vulneráveis nas vias públicas partilhadas com os veículos.</p>			

A visão

Podemos descrever uma visão do problema e das propostas de solução a investigar, com base num conjunto inicial de cenários e casos de uso. Num primeiro exemplo (ver figura 1), suponhamos que numa via urbana, *a priori* construída para circulação a baixa velocidade, entra um veículo em excesso de velocidade. A via tem semáforos e passadeiras e está rodeada de habitações e estabelecimentos comerciais. Se todos os veículos usarem tecnologia V2X vão receber mensagens a alertar da posição e velocidade do veículo (mensagens CAM- Cooperative Awareness Messages, segundo as normas ETSI - European Telecommunications Standards Institute). Os veículos fora de alcance do sinal rádio não vão ser informados. Os peões e outros utilizadores vulneráveis também não, e correm risco de atropelamento. Os veículos podem expandir o alcance das mensagens do veículo original com encaminhamento multi-salto, fazendo chegar a informação a outros veículos mais à frente. Trata-se de uma solução exclusivamente V2V.

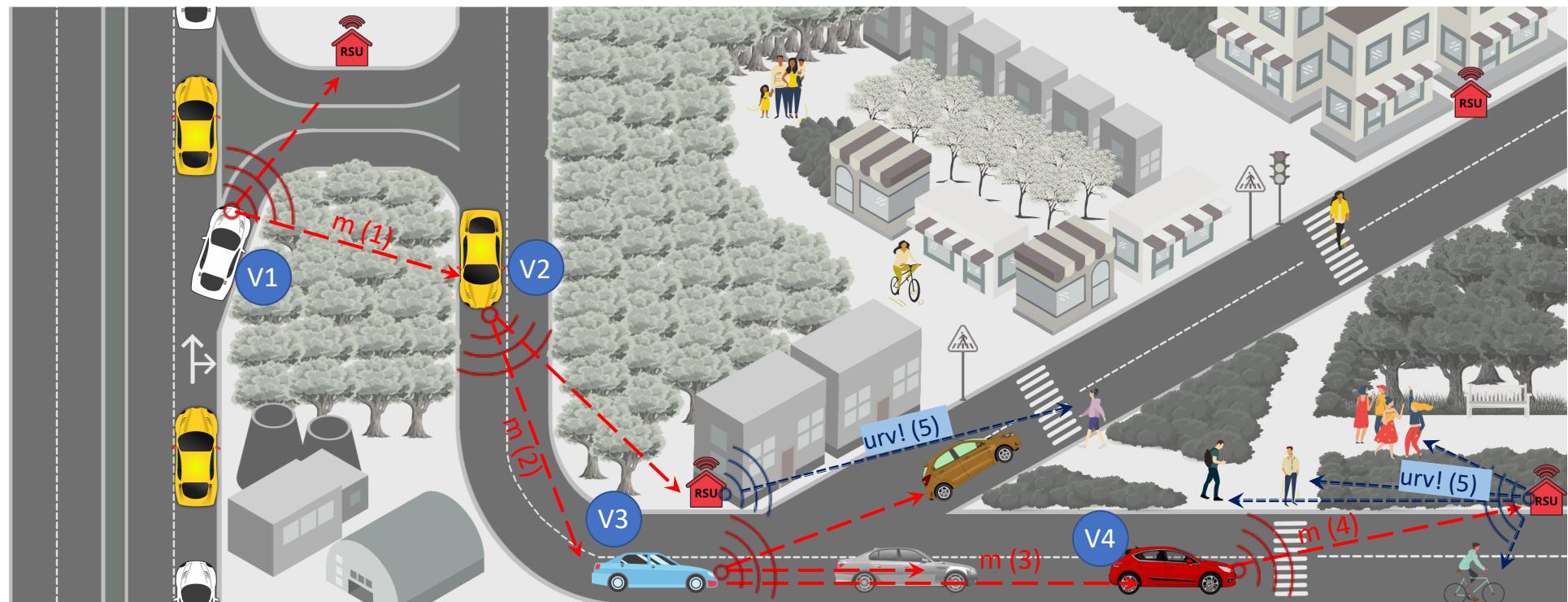


Figura 1: Cenário 1: Veículo V1 em excesso de velocidade; Mensagem V2X enviada com encaminhamento multi-salto para V2->(V3, RSU)->V4->RSU; RSUs alertam URVs.

Mas a infraestrutura pode fazer ainda melhor, levando-nos ao segundo caso de uso (ver figura 2), em que se implementa uma solução de semáforos virtuais com atuação coordenada, pelo menos entre os semáforos próximos. A atuação pode ser mais eficaz se for calculada pela infraestrutura, com base num conhecimento mais amplo do estado do trânsito. Isso implica manutenção de informação enriquecida num mapa virtual, cálculo dos tempos ótimos dos semáforos, atuação coordenada com comunicações entre RSUs (*Road Side Units*) do lado da infraestrutura. Um ou mais servidores *fog* pode receber e processar toda a informação dos veículos, recebida através dos RSUs, e atuar os semáforos de forma adequada, melhorando a segurança rodoviária. Adicionalmente, esses mesmos servidores, com uma visão abrangente do cenário e operando de forma colaborativa, podem detetar peões, ciclistas ou outros utilizadores vulneráveis na via, e alertá-los de eventuais situações de perigo iminente, via RSUs, usando as tecnologias de comunicação mais adequadas. Os veículos também podem de igual modo ser notificados, pelos RSUs usando mensagens V2X.

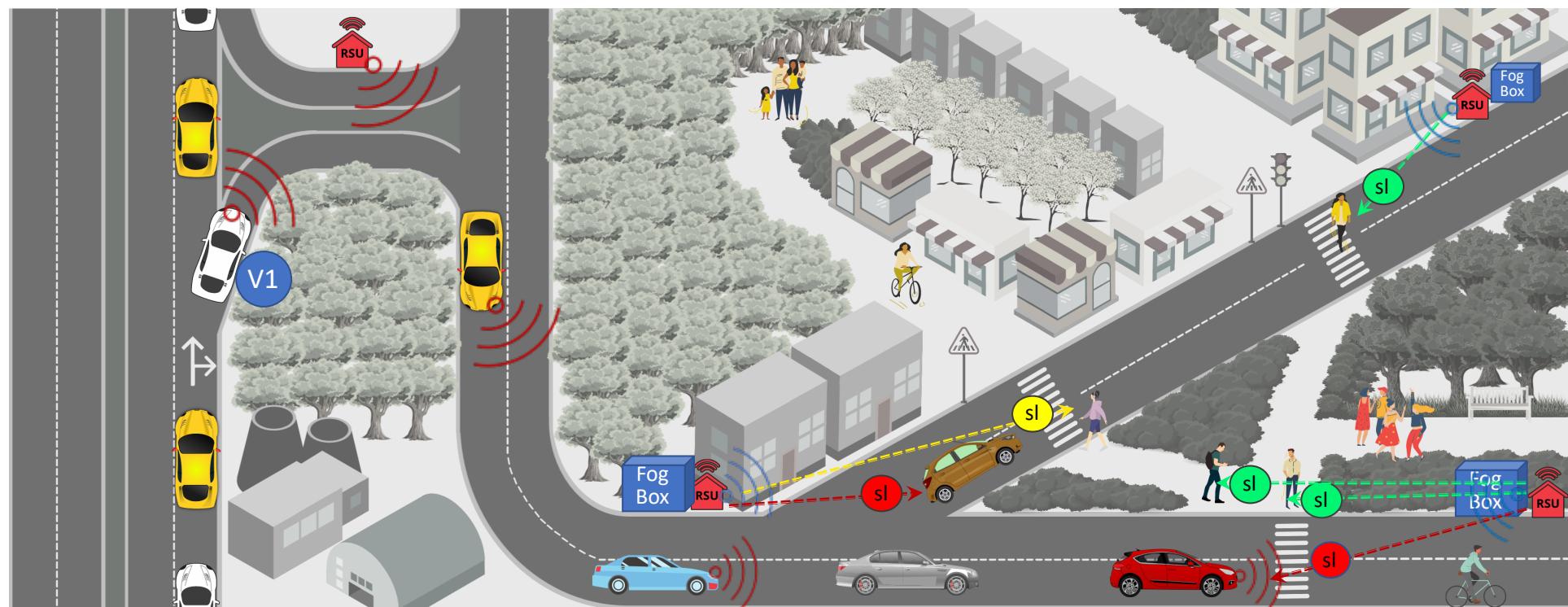


Figura 2: Cenário 2 - RSUs conhecem estado do trânsito com base em mensagens V2X recebidas e atuam de forma coordenada em semáforos virtuais inteligentes (SL) em cada passadeira.

Finalmente um terceiro caso de uso (ver figura 3), também focado na segurança dos Utilizadores Rodoviários mais Vulneráveis (URVs). É frequente nas freguesias existirem ruas desprovidas de passeios e de ciclovias, obrigando os peões e ciclistas moverem-se juntamente com os veículos, o que potencia possíveis atropelamentos. O mesmo se passa nas ruas entre freguesias próximas. Para melhorar a segurança dos peões e ciclistas, estes utilizadores vulneráveis e os veículos enviam regularmente a sua posição para os RSUs instalados ao longo dessas vias. Os peões e ciclistas podem enviar essa informação através dos *smartphones* e os veículos através dos OBUs (*On-Board Units*). Os RSUs por sua vez entregam a informação recebida a um servidor *fog*, que analisando os dados recolhidos consegue identificar os veículos que se vão cruzar brevemente com peões e ciclistas. Uma vez identificadas estas situações, o servidor *fog* envia, através da rede de RSUs, um alerta ao condutor do veículo, avisando que vai encontrar em breve um peão ou ciclista.

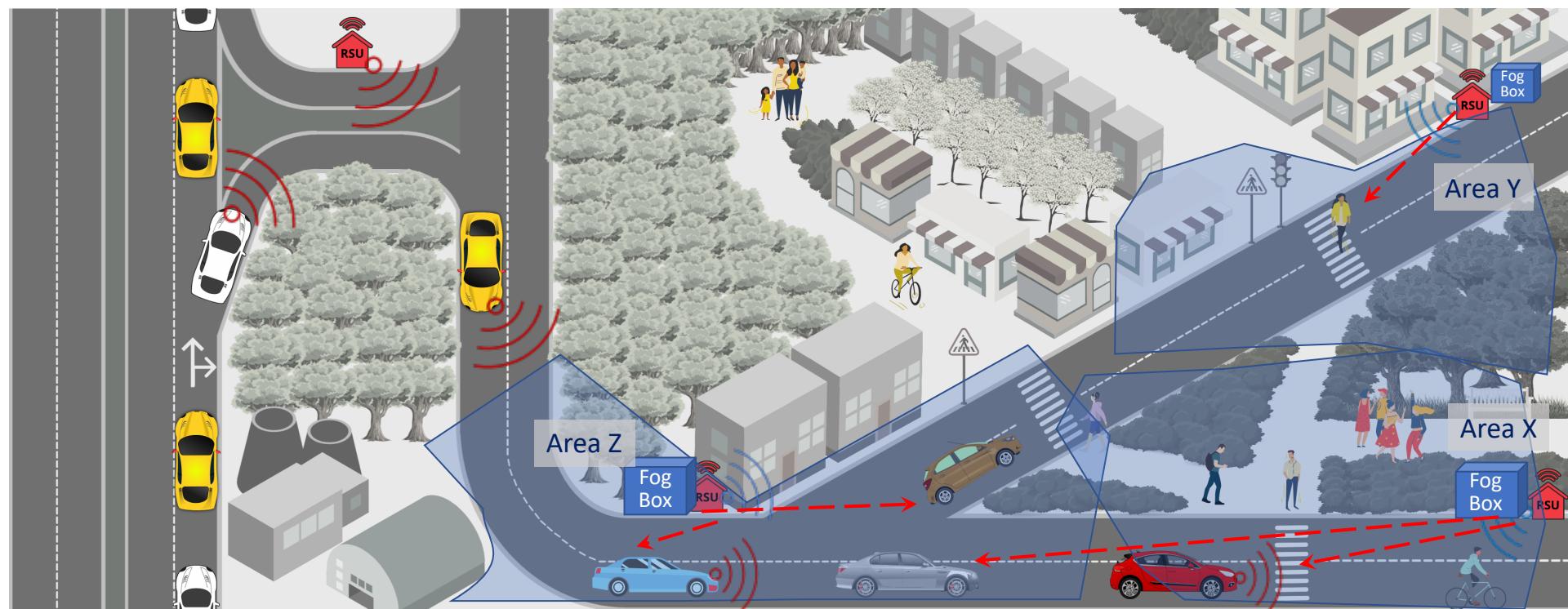


Figura 3: Cenário 3 - Servidores Fog recebem informação via RSUs, calculam localizações e situações de risco dentro de uma área; RSUs enviam mensagens V2X de aviso.

Os cenários propostos permitem também manter os olhos no futuro, quer em termos da tecnologia de comunicações V2X que se venha a afirmar como alternativa no futuro próximo (ex: 5G-V2X), quer também em termos das novas arquiteturas de rede que vão sendo ensaiadas como soluções para a Internet do futuro. São laboratórios de teste que permitem estudar e preparar a transição. No respeitante às comunicações V2X, espera-se que uma tecnologia única, comum a diferentes tipos de utilizadores (veículos, peões, ciclistas), venha a permitir soluções menos complexas e de melhor desempenho. Essas soluções podem ser antecipadas e até preparadas com recurso a multi-tecnologia. No respeitante à arquitetura, uma futura arquitetura de rede única não parece assim tão percutível nem tão imediata. No entanto as dificuldades atuais são fáceis de identificar. As aplicações ditas de segurança rodoviária fazem uso intensivo de *broadcasting*, exceto em cenários de comunicação a múltiplos saltos onde se pode recorrer ao endereçamento direto das zonas geográficas ou dos veículos. Noutras aplicações, como por exemplo as de entretenimento e as que requerem conectividade global, percebe-se facilmente que o modelo IP tem dificuldades em se impor. Lida mal com a mobilidade, usa endereços por interface, difíceis de gerir num ambiente veicular, e assenta o seu modelo de segurança sobretudo em canais seguros fim-a-fim. Há muito que se antecipam novas soluções, algumas de rutura, mas continua em aberto uma solução única, sem estas restrições, capaz de suportar diferentes tipos de aplicações. Os modelos centrados na informação (*information-centric*), que não recorrem ao endereçamento dos sistemas nem abusam do broadcast, apresentam-se atualmente como alternativas promissoras, como, por exemplo, o NDN (*Named Data Networking*), que é atualmente uma proeminente arquitetura de rede centrada na informação. O NDN permite a descentralização através do caching nos nós da rede, tornando-a muito adequada para ambientes de grande escala com topologias bastante dinâmicas, como as VANETs (*vehicular ad-hoc networks*). Mas mais uma vez é preciso investigar estes novos modelos, recorrendo a casos de uso que mostrem a sua efetiva adequabilidade nas VANETs.

Os grandes desafios científicos e tecnológicos

- Recurso a comunicações V2X, sobretudo na vertente dos utilizadores rodoviários mais vulneráveis (URVs), aliviando a carga computacional com recurso à computação em nevoeiro (*Fog Computing*), para tarefas como a deteção de utilizadores, coleção de dados, processamento e distribuição de informação relativa a situações de perigo iminente, dentro de uma zona definida (*cluster*) ou entre zonas.
- Conceber mecanismos de localização de utilizadores rodoviários vulneráveis (URVs), utilizando comunicações, sensores, ou soluções híbridas, com a precisão adequada para uso em previsão e alerta de situações de risco iminente, apoiados por modelos de previsão de mobilidade, para os diferentes tipos de intervenientes (ex: peões, ciclistas), incluindo modelos de mobilidade em grupo.
- Evoluir para uma nova arquitetura de software, englobando sobretudo os OBUs/RSUs e servidores Fog, com interfaces de interação bem definidas, e que esteja preparada para suportar as necessidades das aplicações V2X de segurança rodoviária.
- Estudar formas de adaptar a arquitetura de dados nomeados NDN (*Named Data Networking*) para as redes veiculares V-NDN (VANETs), mantendo o seu modelo de comunicação centrado no receptor, de modo a satisfazer os requisitos das aplicações V2X de segurança rodoviária.

[2] Project goals (scientific and/or technological) <Present the goals of the project using bullet points by decreasing order of relevance (from the most important to the least important). A minimum of three objectives. Use SMART goals (Specific, Measurable, Attainable, Realistic and Timely). The goals should be consistent with the expected impact of the project.>

Objetivos científico-tecnológicos:

- Investigar formas adequadas de localização e previsão de movimento de utilizadores vulneráveis dentro de uma zona da rede V2X, com suporte computacional integrado na infraestrutura com auxílio de computação em nevoeiro (*Fog Computing*);
- Investigar a organização e estruturação automática da rede V2X em agrupamentos (*clusters*) autogeríveis de dimensão adequada, em termos de acesso rádio, identificação, posicionamento e previsão de mobilidade dos veículos, peões e outros utilizadores dentro do agrupamento, e capacidade de interligação a outros agrupamentos circundantes;
- Investigar o uso da computação nevoeiro (*Fog Computing*), devidamente integrado na infraestrutura V2X composta por RSUs, para disponibilizar um suporte aplicacional adequado às aplicações de segurança rodoviária;
- Investigar uma arquitetura de software dos OBUs e RSUs, com interfaces bem definidas e um conjunto de novos serviços comuns de suporte às aplicações, como um serviço cooperativo de mapa do ambiente;
- Identificar os requisitos de segurança das aplicações e comunicações V2X associadas, e estudar os modelos de segurança adequados;
- Estudar formas de adequar a arquitetura emergente NDN, com o seu modelo centrado no recetor, de modo a satisfazer os requisitos das aplicações V2X de segurança rodoviária, aferindo a sua adequabilidade.
- Conceber um protótipo funcional a validar em ambiente laboratorial, simulado ou híbrido (*hardware-in-the-loop simulation*), que integre os resultados obtidos e que possa ser testado num (ou mais) dos casos de uso a seguir identificados (ou equivalentes):
 - Cenário urbano (descrito como cenário #1), onde as ruas possuem um perfil de estrada nacional com habitações e casas comerciais construídas ao longo da mesma; veículo entra em excesso de velocidade criando perigo; Objetivo: i) envio de mensagens de alerta multi-salto ii) alerta aos URVs; Requere: comunicações V2X;
 - O mesmo cenário (descrito como cenário #2), mas com ação da infraestrutura; Objetivo: i) ativação coordenada de semáforos virtuais ii) alerta aos URVs; Requere: deteção e previsão de movimento do veículo, computação Fog (algoritmo de semáforos virtuais coordenados), OBUs e RSUs com software adequado;
 - O mesmo cenário (descrito como cenário #3), mas o perigo vem de um conjunto de pedestres ou ciclistas que sai de local de fraca visibilidade com intenção de atravessar a via principal; Objetivo: i) cálculo da situação de risco ii) alerta aos veículos; Requere: deteção, posicionamento e previsão de movimento de URVs num cluster, computação Fog (cálculo do cenário de perigo), OBUs e RSUs com software adequado;
- Conceber um cenário de simulação V-NDN para um dos casos de uso considerados, comparando abordagem e desempenho.

[3] Expected scientific-technological results <Present the expected processes/tools/concepts/products that will result from the Project Idea development, using bullet points by decreasing order of relevance (from the most important to the least important). Please, present final results.>

- Uma estratégia colaborativa de deteção e posicionamento de peões e ciclistas (URVs) dentro de um cluster;
- Um modelo de integração e comunicação para distribuição de eventos e potenciais alertas de perigo, suportado pela computação em nevoeiro (*Fog Computing*) capaz de agregar, processar e distribuir informação crítica em tempo útil;
- Uma proposta de arquitetura de software para OBUs e RSUs com interfaces aplicacionais bem definidas, que permita o suporte adequado de um ecossistema aberto de aplicações de segurança rodoviária;
- Um modelo de segurança para a arquitetura proposta;
- Um protótipo funcional em ambiente laboratorial, simulado ou híbrido (simulado com hardware no circuito), que permita a implementação e teste de um caso de uso de segurança rodoviária de utilizadores vulneráveis (URVs), que integre os módulos e as arquiteturas propostas, nomeadamente:
 - OBUs e RSUs com tecnologia de comunicação V2X e arquitetura de software adequado (protótipos Bosch e outros);
 - Sistema de deteção/posicionamento colaborativo de URVs num cluster e modelos de mobilidade por tipo de VRU
 - Servidor de computação em nevoeiro (*Fog Server*) integrado com RSU, que implemente esses módulos e suporte as aplicações de segurança rodoviária;
 - As aplicações V2X de alerta e semáforos virtuais.
- Uma proposta de arquitetura V-NDN, que mantenha os pressupostos base da arquitetura NDN, capaz de suportar de forma adequadas as aplicações de segurança rodoviária.

[4] State-of-the-art <Describe the progress proposed by the Project Idea in relation to the state-of-the-art. Point out some literature references.>

In scientific-technological research <Describe the novelty of this project in terms of its scientific and technological field>	<p>[Aplicações V2X para URVs]</p> <p>Aplicações V2X de utilizadores rodoviários vulneráveis (URV) podem ser compreendidas de forma resumida por um conjunto de três fases. A primeira consiste na deteção quer comunicacional, sensorial ou híbrida dos utilizadores rodoviários. Depois da deteção é feito o <i>tracking</i> dos utilizadores e que por fim é concluída com a fase de ação que consiste no envio de alertas e na execução de manobras que tenham por vista a evasão da colisão [1]. Em todas as etapas de uma aplicação deste tipo, um dos fatores mais cruciais é a precisão que está associada à localização dos utilizadores rodoviários. De um ponto de vista meramente tecnológico, este nível de precisão em alguns casos é difícil de atingir, especialmente para os utilizadores mais vulneráveis como por exemplo os pedestres que requerem precisões na ordem dos 0.5 metros [2]. Olhando de um ponto de vista das condicionantes ao uso efetivo da tecnologia, poderão existir locais e zonas altamente urbanizadas onde o sinal GNSS esteja deteriorado, ou seja, inexistente no caso de túneis ou áreas de circulação subterrâneas.</p> <p>Independentemente do tipo de abordagem que pode vir a ser utilizada para resolver cenários que visam a proteção dos utilizadores rodoviários vulneráveis, existe também a necessidade que estas soluções sejam eficientes, particularmente perante condições adversas. Outros cenários preocupantes, são a presença de uma elevada densidade de utilizadores rodoviários numa determinada área (problema da escalabilidade) e a necessidade deste tipo de aplicações de guardar, processar e disseminar uma elevada quantidade de informação [3].</p>
--	--

Uma das soluções típicas para este tipo de problema é a aplicação de técnicas de *clustering*, que de uma forma muito resumida, consistem na divisão da rede em vários grupos de nós. Em cada grupo (ou *cluster*) existirá um membro que ocupará a posição de líder (*cluster head*). Este será responsável não só por comunicar com os outros nós membros do seu cluster como também comunicar com o exterior como, por exemplo, um cluster vizinho ou algum nó mais centralizado como, por exemplo, um RSU. Os principais desafios que estão associados à aplicação destas técnicas estão relacionados primeiramente com a determinação de quem será o *cluster head* e que tipo de formação o *cluster* terá. Existem múltiplos critérios que podem ser utilizados no que toca ao processo de decisão do nó que será eleito como *cluster head*. Um dos critérios que pode ser utilizado neste processo é ter em conta o número de ligações associado a cada nó, ou seja, o nó que é eleito para *cluster head* será aquele que terá maior número de conexões com os nós vizinhos [4]. Outro grande desafio prende-se com a necessidade da manutenção de um cluster. O objetivo será manter a estabilidade comunicacional não só entre membros do mesmo *cluster* como também com os nós externos ao grupo, algo que é bastante desafiador dado que, a maioria dos nós está em constante movimento.

Observando casos de uso cujo o foco seja a proteção de utilizadores rodoviários perante intersecções ou cruzamentos, uma proposta válida de solução poderá ser a colocação de vários RSUs em pontos estratégicos de uma intersecção de forma a possibilitar a deteção colaborativa de pedestres e dos restantes URVs em zonas onde o risco iminente de colisão é elevado. Para além de serem responsáveis pela deteção dos utilizadores rodoviários, estes nós podem ainda suportar grande parte do processamento que é necessário para analisar a mobilidade dos utilizadores nas suas proximidades e, em cenários em que uma colisão é previsível, bem como alertar os intervenientes ou todos aqueles aos quais essa informação é relevante.

Podem-se também aplicar as técnicas de *clustering* em múltiplos níveis, quando existem múltiplos URVs e veículos numa mesma área de cobertura de um RSU. Num primeiro nível podemos agrupar os nós por tipo de utilizador rodoviário, que por sua vez segue uma metodologia de *clustering* mais orientada à mobilidade e a um nível superior associar múltiplos *clusters* deste tipo a um maior grupo supervisionado por um RSU. Refira-se ainda que as técnicas de *clustering* permitem reduzir a carga dos RSUs, uma vez que são inquiridos grupos de utilizadores representados por um líder e não os utilizadores individualmente.

[Fog Computing na segurança rodoviária: semáforos virtuais]

Os semáforos virtuais permitem não só melhorar a segurança dos utilizadores vulneráveis (e.g., peões e ciclistas), mas também melhorar a fluidez do tráfego e, por conseguinte, reduzir a poluição emitida pelos veículos, melhorando assim a qualidade do ar. Para que esta ação seja mais eficiente, será necessário ter uma visão de conjunto do tráfego na cidade, de forma que os semáforos atuem em consonância, pelos menos os semáforos dos cruzamentos mais próximos. A visão conjunta permite também distribuir o tráfego pelas várias ruas da cidade de forma a otimizar a fluidez rodoviária. Os excessos de velocidade podem ser facilmente monitorizados a partir das coordenadas GPS enviadas pelos carros, sendo então enviadas mensagens de alerta quer ao carro infrator, quer aos URVs colocados em situação de risco por esse mesmo carro, e aos agentes de polícia para que tomem as devidas medidas contra o infrator.

Esta visão tecnológica poderá *a priori* ser implementada recorrendo-se à computação na nuvem (*cloud computing*), havendo já alguns trabalhos que abordam esta solução. Por exemplo, em [5] os carros enviam a sua informação para a *cloud*, que decide quais os carros que devem passar ou parar nas intersecções. Em [6] é proposta uma arquitetura para VANETs (*Vehicular Area Network*) totalmente baseada na *cloud*. Dada a dificuldade em recolher toda a informação emitida pelos utilizadores das vias públicas urbanas (veículos motorizados, bicicletas, trotinetes e peões), devido ao volume elevado de tráfego gerado, será conveniente uma abordagem em nevoeiro (*fog*), em que os servidores locais agregam a informação emitida pelos utilizadores presentes nas áreas afetas a esses servidores. A grande diferença entre *cloud computing* e *fog computing*, é que a primeira é um sistema centralizado, ao passo que a segunda é uma infraestrutura distribuída e mais próxima da fonte de informação, o que possibilita a obtenção de tempos de resposta menores e uma melhor segurança. Assim, a informação recolhida, por exemplo, relativa ao movimento dos veículos e peões, é pré-processada nos servidores *fog*, a fim de evitar ser entregue aos servidores da nuvem, diminuindo a sobrecarga destes e melhorando o desempenho da rede veicular. Os servidores *fog* estariam colocados em pontos estratégicos da cidade, como, por exemplo, nos cruzamentos, onde desempenhariam o papel de RSUs (*road side units*). Alguns trabalhos publicados abordaram a utilização de semáforos virtuais em VANETs ou os algoritmos de decisão do sinal do semáforo virtual (VTL). Em vez de instalar semáforos convencionais nos cruzamentos, é usado um RSU em cada cruzamento agindo como controlador de tráfego[7]. O RSU recolhe a informação dos veículos que chegaram ou vão chegar ao cruzamento, processa a informação, e, em seguida, envia uma mensagem a cada veículo indicando se deve passar ou parar no cruzamento. Esta abordagem é explorada em [8], embora recorrendo ao paradigma NDN. Porém, há outro tipo de abordagens para implementar semáforos virtuais, como, por exemplo, os baseados em clusters. No trabalho apresentado em [9], os veículos que se movem na mesma direção formam um cluster. O líder (*cluster head*) é o veículo mais distante do cruzamento para onde o *cluster* se dirige e é responsável por escolher as prioridades e transmitir mensagens VTL para os outros veículos do *cluster*. Em [10] é usado um esquema baseado em *clustering* de carros para evitar atropelamentos de peões, baseado na tecnologia LTE. Em [11], cada veículo recolhe informação do vizinho para selecionar um líder. Então, o líder cria e mantém o VTL, e transmite os sinais de trânsito para os restantes veículos do grupo. No entanto, nenhum dos trabalhos mencionados leva em consideração a presença de utilizadores vulneráveis nos cruzamentos, o que deixa em aberto uma área com enorme potencial de investigação e de utilidade pública.

[NDN Veicular]

A arquitetura *Named Data Networking* (NDN) é apresentada como uma das mais promissoras arquiteturas para o futuro da Internet e faz parte de uma classe mais abrangente de arquiteturas denominada *Information Centric Networking* (ICN). Seguindo os paradigmas das ICNs, o foco da arquitetura NDN é o conteúdo, o qual é identificado por um nome hierárquico que é transportado tanto nos pedidos (pacotes de interesse) como nas respostas (pacotes de dados), em vez dos tradicionais endereços de origem e destino. Logo, o paradigma de comunicação deixa de ser centrado no *host* e passa a ser centrado na informação. A arquitetura NDN traz vários benefícios relativamente ao tradicional TCP/IP, sendo que o *cache* nativo na rede e o encaminhamento *multi-path* são dois dos recursos principais que podem melhorar significativamente o desempenho e a resiliência da rede.

A adaptação da arquitetura NDN às redes veiculares, nomeadamente às VANETs, é ainda um campo muito recente de investigação. Apesar de apresentar dificuldades de várias ordens em termos de *naming*, *routing*, *caching* e mobilidade [12], algumas características nativas da arquitetura NDN tornam a sua aplicação às VANETs (V-NDN) bastante apelativa. Entre essas características está a capacidade da rede em suportar comunicações intermitentes devido ao cache na rede e encaminhamento *multi-path*. O facto da arquitetura NDN não atribuir endereços permite uma maior abstração sobre o conhecimento topológico da rede, o que é bastante útil em cenários de alta mobilidade. No que toca à segurança em NDN, o foco são os dados e não a ligação. Este aspeto permite que a integridade e autenticidade (se necessário) possam ser asseguradas sem que para tal seja imposta troca de informação previa, tornando o *overhead* geral da comunicação menor, o que é oportuno em cenários de alta mobilidade.

Neste projeto pretende-se estudar como adaptar a arquitetura NDN, mantendo o seu modelo de comunicação centrado no receptor, de forma a satisfazer os requisitos das aplicações de segurança para redes veiculares. Nomeadamente aplicações que sirvam Utilizadores Rodoviários Vulneráveis (URVs).

Em NDN, o modelo de comunicação é centrado no receptor, ou seja, o receptor, aquele que pretende consumir conteúdo, tem sempre de emitir um pedido para obter uma resposta. Para tal, este deve emitir um pacote de interesse com o nome do conteúdo a consumir. Este pacote será encaminhado, de salto em salto, até ao produtor do conteúdo, ou até a um *router* intermédio que tenha esse conteúdo armazenado em *cache*. Esse interesse será satisfeito por um único pacote de dados que fará o caminho inverso para chegar ao receptor/consumidor. Este modelo de comunicação cria entraves a aplicações de segurança para URVs, pois não permite tirar partido total do *broadcast* que caracteriza as comunicações V2X. Ou seja, em NDN não é possível enviar um pacote de interesse para a rede e obter respostas de múltiplos produtores do conteúdo. Outro aspeto a ter em consideração, é a volatilidade da validade dos dados em aplicações de segurança. O conteúdo das aplicações de segurança para URVs têm restrições geográficas e temporais bem definidas e a validade do conteúdo, imposta por tais restrições, pode ser bastante reduzida. Em NDN os conteúdos têm de ser identificados por nome de forma única, o que significa que o nome do conteúdo mudará com frequência, em virtude das restrições temporais e geográficas. É, portanto, necessário encontrar soluções para estes problemas sem recorrer a profundas alterações à arquitetura NDN.

- [1] P. Sewalkar, S. Krug, and J. Seitz, "Towards 802.11 p-based vehicle-to-pedestrian communication for crash prevention systems," in *2017 9th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, 2017, pp. 404–409.
- [2] ETSI (European Telecommunications Standards Institute), "ETSI TS 103 300-2 - Vulnerable Road Users (VRU) awareness - Part 2: Functional Architecture and Requirements definition," *ETSI, Sophia Antip. Cedex, Fr.*, vol. 1, pp. 1–74, 2019.
- [3] O. Senouci, S. Harous, and Z. Aliouat, "A new heuristic clustering algorithm based on RSU for internet of vehicles," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 44, no. 11, pp. 9735–9753, 2019.
- [4] M. Gavahale and P. D. Saraf, "Survey on algorithms for efficient cluster formation and cluster head selection in MANET," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 78, no. C, pp. 477–482, 2016.
- [5] W. Münst et al., "Virtual traffic lights: Managing intersections in the cloud," in *2015 7th International Workshop*

	<p><i>on Reliable Networks Design and Modeling (RNDM)</i>, 2015, pp. 329–334.</p> <p>[6] S. Bitam, A. Mellouk, and S. Zeadally, "VANET-cloud: a generic cloud computing model for vehicular Ad Hoc networks," <i>IEEE Wirel. Commun.</i>, vol. 22, no. 1, pp. 96–102, 2015.</p> <p>[7] O. Gama <i>et al.</i>, "Evaluation of push and pull communication models on a VANET with virtual traffic lights," <i>Inf.</i>, vol. 11, no. 11, 2020, doi: 10.3390/info11110510.</p> <p>[8] M. Al-Qutwani and X. Wang, "Smart Traffic Lights over Vehicular Named Data Networking," <i>mdpi.com</i>, 2019, doi: 10.3390/info10030083.</p> <p>[9] M. Ferreira, R. Fernandes, H. Conceição, W. Viriyasitavat, and O. K. Tonguz, "Self-Organized Traffic Control," in <i>Proceedings of the Seventh ACM International Workshop on VehiculAr InterNETworking</i>, 2010, pp. 85–90, doi: 10.1145/1860058.1860077.</p> <p>[10] H. Artail, K. Khalifeh, and M. Yahfoufi, "Avoiding car-pedestrian collisions using a VANET to cellular communication framework," <i>2017 13th Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf. IWCMC 2017</i>, pp. 458–465, 2017, doi: 10.1109/IWCMC.2017.7986329.</p> <p>[11] L. Chou, J. Tseng, and J. Yang, "Adaptive Virtual Traffic Light Based on Vanets for Mitigating Congestion in Smart City," in <i>The Third International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP2013)</i>, 2013, pp. 40–44.</p> <p>[12] H. Khelifi <i>et al.</i>, "Named Data Networking in Vehicular Ad hoc Networks: State-of-the-Art and Challenges. Communications Surveys and Tutorials," <i>Commun. Surv. TUTORIALS</i>, vol. XX, p. 1, 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2894816.</p>
In the enterprise (Bosch Group) < Describe the current situation of technology/Product on the enterprise >	A Bosch desenvolveu, a partir do trabalho realizado nos projetos anteriores, equipamentos de comunicação V2X, que podem equipar quer veículos (OBU) quer unidades de comunicação na berma da estrada (RSU). Os dispositivos constituem instâncias completas (hardware+software) do que a ETSI designa por ITS-Stations (<i>Intelligent Transport System – Stations</i>). Em complemento, desenvolveu capacidade para compilar o <i>firmware</i> adequado e desenvolver soluções aplicacionais V2X
In the Market <Describe the current situation in the Market of this new technology/product>	<p>Existem OBU/RSU comerciais disponíveis, baseados sobretudo na tecnologia IEEE802.11p. Espera-se que o mercado evolua rapidamente com novas soluções baseadas em LTE, ou mesmo híbridas, e ainda que venha a tornar-se equipamento obrigatório por lei nos veículos a produzir no futuro. Para já, os OBUs só estão disponíveis nalguns modelos. Muitas autoestradas portuguesas já estão equipadas com RSUs com suporte DSRC / ITS G5.</p> <p>As aplicações V2X de segurança rodoviária com recurso à computação em nevoeiro, com as características das propostas neste projeto, não são ainda disponibilizadas comercialmente.</p>

**Partnership
(Bosch- UMinho)**

<Identification of the previous Programme's and Project's achievements related to this project Idea; highlight the differences between this project Idea and the previous ones, emphasizing the need for this project Idea>

Este projeto sucede e dá continuidade a dois outros, um integrado no programa INNOVCAR (2015-2018) e outro integrado no programa EASYRIDE (2018-2021).

No âmbito do INNOVCAR, o projeto P07-CAR2X permitiu, para além da aquisição de conhecimento crítico nas áreas em causa, os seguintes resultados concretos: um protótipo completo de um OBU para comunicações V2X, monotecnologia, com suporte para comunicações baseadas no standard IEEE802.11p, e pilha V2X compatível DSRC e ITS G5. O dispositivo foi testado em laboratório e em estrada com aplicações desenvolvidas pela equipa de projeto, designadas por aplicações "first day". Também foi testado numa plataforma híbrida, com o hardware integrado nas plataformas de simulação. O projeto não se ficou apenas pelas aplicações ditas de primeiro dia, e implementou também uma aplicação *Platooning*, especificada, desenhada e testada com recurso a plataformas de simulação de código aberto. Dessa implementação, um pequeno exemplo simplificado de *car-following* foi testado em troço fechado com 2 veículos. Foi proposta e testada uma arquitetura de software agnóstica em relação à tecnologia, que também foi usada no desenvolvimento dos protótipos. As plataformas de simulação que foram preparadas permitiram investigação de base em torno de novas arquiteturas baseadas em dados nomeados (NDN).

No âmbito do programa EASYRIDE, o projeto P24-V2X (ainda em curso) levou ao desenho e implementação de um novo OBU, agora já multitecnologia tendo em conta a crescente tendência de uso de tecnologias celulares C-V2X nas comunicações V2X, com interfaces rádio IEEE802.11p e LTE específicas V2X, além de outras tecnologias de comunicação complementares *Wifi* e *automotive-ethernet*. Em paralelo, estão a ser desenvolvidas aplicações V2X de segurança para utilizadores rodoviários vulneráveis, como peões e ciclistas, capazes de alertar para situações de perigo. Com recurso à simulação, estão a ser testadas novas abordagens de encaminhamento *multi-hop*. Está também a ser desenvolvido um cenário baseado em semáforo virtual, usando primeiramente a pilha protocolar V2X normalizada, mas também em alternativa uma nova abordagem baseada exclusivamente em dados nomeados, para verificar o desempenho e o cumprimento de requisitos dessas novas arquiteturas. Finalmente, prevê-se o melhoramento da aplicação de *Platooning*, partindo da identificação de possíveis ameaças de segurança, propondo e integrando mecanismos de segurança nas comunicações, com vista à criação de um novo protótipo de *Platooning* seguro.

Com esta nova proposta de projeto, pretende-se melhorar significativamente o desempenho das aplicações de segurança para utilizadores rodoviários vulneráveis com recurso a comunicações com a infraestrutura (V2I) e computação nevoeiro (*Fog Computing*). O foco é melhorar a eficácia com uma nova abordagem. Não sendo viável em muitos casos o recurso à computação *cloud* clássica, pelos requisitos rígidos do tempo de atraso das aplicações, a estratégia passa por trazer a capacidade de armazenamento e de cálculo de situações de perigo para junto dos RSUs, em unidades de computação localizada, com requisitos Plug&Play. Isso implica, em primeiro lugar, uma divisão da rede V2X em agrupamentos (*clusters*) de dimensão adequada, que permitam também o uso da capacidade computacional adicional no posicionamento dos URVs, na previsão de mobilidade a muito curto prazo, no cálculo de situações de perigo iminente, para suporte às aplicações de alerta que podem ser usadas por peões ou condutores. No contexto urbano, as situações

de perigo estendem-se a mais que um local ou área, havendo necessidade de comunicação entre áreas, estendendo de forma adequada a informação a outros locais.
Em termos de arquitetura de software dos OBUs/RSUs, pretende-se fazê-la evoluir para o suporte à computação em nevoeiro.

[5] Quantitative innovative features <Present quantifiable innovative features of the results to be achieved. >					
#	Innovative feature	Current situation	Goal	Explanation	Relevance (%)
1	Deteção e posicionamento de URVs com comunicações V2X, para OBUs e RSUs	Produtos OBUs e RSUs monotecnologia baseados em IEEE 802.11p. Protótipos multitecnologia que incluem IEEE 802.11, LTE e WiFi. Em todos a pilha protocolar V2X de base inclui a camada "Facilities Layer", normalizada, com suporte para envio e receção de mensagens CAM e DENM.	Melhorar o suporte dos OBUs e RSUs para aplicações V2X, com um serviço estendido de localização (mapa local), enriquecido com informação acerca dos URVs	A informação dos sensores do veículo e as mensagens V2X recebidas, permitem criar um mapa interno do ambiente, útil para muitos cenários de condução autónoma, mas também para alertas ao condutor. As comunicações V2X podem ser usadas para enriquecer esse mapa com novas informações, de peões, ciclistas e outros utilizadores. Essa informação pode ser obtida de forma colaborativa e de forma confiável.	20%
2	Computação em nevoeiro para deteção e posicionamento de URVs, previsão de mobilidade, e cálculo de situações de alerta	Não existem evidências de produtos ou aplicações já em uso. Trabalhos académicos em curso.	Melhorar o suporte para aplicações V2X, e a eficiência das aplicações de segurança rodoviária para URVs, usando computação em nevoeiro	A maioria das aplicações para telemóvel hoje em dia usa computação na nuvem. As aplicações veiculares, tendo em conta os requisitos temporais (ex: baixa latência), poderão ter um melhor suporte com computação em nevoeiro. Os OBUS e RSUs atuais não foram desenhados para serem unidades de computação ou de armazenamento, mas sim sistemas de comunicações V2X. São precisas novas formas de suporte integrado de computação externa, em servidores Fog muito próximos. Em particular, na deteção de situações de perigo eminentes para URVs, mas não só.	40%
3	Modelo de computação em nevoeiro genérico com possibilidade de ser replicado em novas aplicações V2X".	Não existem evidências de produtos ou aplicações já em uso. Trabalhos académicos em curso.	Propor um modelo de computação em nevoeiro para aplicações V2X.	A maioria das aplicações para telemóvel hoje em dia usa computação na nuvem. As aplicações veiculares, dados os requisitos temporais (baixo tempo de atraso), poderão ter melhor suporte com computação em nevoeiro.	40%
					Total 100%

[6] Product Innovation <Identify the innovations for the product(s) (Sensors systems for autonomous driving (e.g UAD, RCS, APP, V2X, SbW, APS, etc.) resulting from the "Innovative features" (section 5)>

ID	Innovative features < Identified Innovative Features>	Product Impact < Identify the impact that innovation will have on the product>	Innovation Type ¹ <Choose one of the following options- footnote>	TRL Classification ² < Choose one of the following options- footnote >
#1	OBUs e/ou RSUs com módulo de software de posicionamento colaborativo de URVs integrado nos serviços comuns	OBUs e RSUs para um novo tipo de aplicações V2X	Incremental	TRL4
#2	Fog Box com módulo de software de posicionamento colaborativo, previsão de mobilidade e cálculo de situações de alerta	Possível novo produto. Grande impacto nas futuras smart cities.	Disruptive	TRL2/TRL3
#3	Aplicações V2X suportadas por computação em nevoeiro	Ampliar leque de aplicações V2X indispensáveis	Incremental	TRL4

¹ **Innovation Type:** **Sustaining:** A significant improvement on a product that aims to sustain the position in an existing market (High impact on the market – Low impact technology newness); **Incremental:** Gradual, continuous improvements on existing products and services (Low impact on the market – Low impact technology newness); **Disruptive:** Technology or new business model that disrupts the existing market (High impact on the market – High impact technology newness); **Radical:** Technological breakthrough that transform industries, often creates a new market (Low impact on the market – High impact technology newness)

² **TRL Classification:** **TRL0:** Idea. Unproven concept, no testing has been performed; **TRL1:** Basic research. Principles postulated and observed but no experimental proof available; **TRL2:** Technology formulation, Concept and application have been formulated; **TRL3:** Applied Research. First laboratory tests completed; proof of concept; **TRL4:** Small scale prototype built on a laboratory environment; **TRL5:** Large scale prototype tested in intended environment; **TRL6:** Prototype system tested in intended environment close to expected performance; **TRL7:** Demonstration system operating environment at pre-commercial scale; **TRL8:** First of a kind commercial system. Manufacturing issues solved; **TRL9:** Full commercial application, technology available for consumers

[7] Main R&D activities/tasks to execute <The R&D cycle predicts a certain number of Activities that can be decomposed into tasks. For each Task, give a description of the work to be performed, indicate its start and end date and which partner (Bosch or UMinho) is responsible>					
Activity	Task	Task description	Start Date	End Date	Responsible partner
[A1] Definição detalhada dos desafios científico-tecnológicos Enhanced VRU Safety with V2X Communications	[T1.1] Caracterização do problema e definição de requisitos de localização e previsão de mobilidade de URVs	Com vista à definição de uma estratégia de deteção e posicionamento de VRUs adequada, nesta tarefa deve-se estudar o problema e definir os requisitos considerando os seguintes aspetos: i) caracterização do problema da localização de VRUs numa zona geográfica sem clusters; ii) definição adequada de cluster, por tipo de URV ou área geográfica, requisitos para a sua delimitação, critérios de escolha do líder do cluster, caracterização dos resultados esperados; iii) caracterização do problema da integração entre clusters distintos, em termos de comunicações V2X ou outras; iv) caracterização do problema da localização de VRUs dentro de um cluster; v) caracterização do problema e definição de requisitos para a localização dos VRUs no cluster; vi) caracterização do problema e definição de requisitos para a mobilidade dos VRUs; vii) caracterização do problema e definição de requisitos para o mapeamento dos VRUs.	01/07/2021	31/03/2022	UM/Bosch
	[T1.2] Caracterização do problema e definição de requisitos para uma arquitetura de software V2X baseada em computação Fog	Nesta tarefa pretende-se caracterizar o problema e definir os requisitos para uma arquitetura de software V2X que integre OBUs/RSUs, servidores Fog e clientes que podem ser VRUs e veículos. Definição dos requisitos para os servidores Fog que vão executar os algoritmos de localização de URVs e de cálculo de situações de perigo iminente. Requisitos computacionais e comunicacionais. Identificação de componentes de serviços comuns e sua integração na pilha V2X. Caracterização das interfaces aplicacionais e protocolos de suporte necessários. Requisitos para as notificações e alertas de perigo para cada tipo de utilizador. Levantamento dos requisitos de segurança associados a esta arquitetura, incluindo segurança nas comunicações, segurança aplicacional e deteção de intrusões.	01/07/2021	31/03/2022	UM/Bosch

	[T1.3] Definição de requisitos para uma arquitetura NDN veicular	Definição de requisitos para uma arquitetura aplicacional V-NDN adequada aos casos de uso apontados inicialmente e que mantenha no essencial os pressupostos de base das Redes de Dados Nomeados (NDN). Durante o processo devem ser tidas em conta não só as limitações do NDN, mas sobretudo as mais valias que podem tornar estas arquiteturas uma solução de futuro para as redes veiculares.	01/07/2021	31/03/2022	UM
[A2] Aquisição de Conhecimento Crítico do Enhanced VRU Safety with V2X Communications	[T2.1] Localização e previsão de mobilidade de URVs	Estudo sistemático do estado da arte de localização e previsão de mobilidade de URVs em termos de normas e publicações científicas relevantes. Enumeração dos principais desafios de investigação. Enquadramento normativo e vigilância tecnológica.	01/12/2021	30/09/2022	UM/Bosch
	[T2.2] Fog Computing em Redes Veiculares	Estudo sistemático do estado da arte de Fog Computing no contexto das redes veiculares em termos de normas e publicações científicas relevantes. Enumeração dos principais desafios de investigação. Enquadramento normativo e vigilância tecnológica.	01/12/2021	30/09/2022	UM/Bosch
	[T2.3] Redes NDN veiculares: desafios	Estudo sistemático do estado da arte de arquiteturas V-NDN em termos de normas e publicações científicas relevantes. Enumeração dos principais desafios de investigação. Enquadramento normativo e vigilância tecnológica.	01/12/2021	30/09/2022	UM

[A3] Desenvolvimento do protótipo laboratorial do Enhanced VRU Safety with V2X Communications	[T3.1] Protótipo laboratorial de módulo de localização de URVs em clusters	Especificação, desenho, implementação e teste de um protótipo laboratorial do componente de localização e previsão de mobilidade de URVs, em clusters, tendo em conta a definição de requisitos feita na tarefa T1.1 e com base no conhecimento crítico adquirido em T2.1. Nesta tarefa pretende-se desenvolver trabalho experimental em ambiente laboratorial (simulado ou híbrido) com vista a: i) correta especificação deste componente, de modo a que possa integrar a arquitetura de computação Fog; ii) desenvolvimento de um protótipo laboratorial que possa ser testado nos cenários e casos de uso previamente identificados nesta proposta; iii) implementação do protótipo conforme especificação; e iv) execução de testes laboratoriais do protótipo concebido para localizar num mapa os utilizadores e prever a sua mobilidade de curto prazo, com base em modelos de mobilidade adequados, dentro de um dado cluster. Os testes devem ser concebidos de acordo com os casos de uso identificados <i>a priori</i> como relevantes para o projeto, ou outros que possam, entretanto, vir a ser definidos. Este protótipo deve ser especificado e concebido tendo em conta a sua futura integração na arquitetura de computação Fog.	01/04/2022	31/08/2023	UM/Bosch
---	--	---	------------	------------	----------

	[T3.2] Protótipo laboratorial de computação Fog em redes V2X	Especificação, desenho, implementação e teste de um protótipo laboratorial de computação Fog em redes veiculares tendo em conta a definição de requisitos feita na tarefa T1.2 e com base no conhecimento crítico adquirido em T2.2. Esta arquitetura deve incluir dispositivos OBU/RSU e servidores Fog, com software adequado ao cálculo de situações de risco e envio de notificações adequadas a cada tipo de utilizador. Nesta tarefa pretende-se desenvolver trabalho experimental em ambiente laboratorial (simulado ou híbrido) com vista a possibilitar: i) correta especificação da arquitetura de software baseada em computação Fog, componentes e interações entre eles; ii) desenvolvimento de um protótipo laboratorial que possa ser testado nos cenários e casos de uso previamente identificados nesta proposta; iii) implementação do protótipo conforme especificação; e iv) execução de testes laboratoriais do protótipo. Os testes devem ser concebidos de acordo com os casos de uso identificados <i>a priori</i> como relevantes para o projeto, ou outros que possam, entretanto, vir a ser definidos. A especificação técnica deve incluir os componentes e as interligações entre eles. Os servidores Fog integram os componentes de <i>clustering</i> V2X, localização e previsão de mobilidade de VRUs e cálculo de situações de perigo iminente, que numa primeira fase podem ainda não estar totalmente operacionais, podendo ser primeiramente substituídos por componentes simplificados para teste da arquitetura, e só mais tarde pelos componentes completos finais.	01/04/2022	31/08/2023	UM/Bosch
--	--	--	------------	------------	----------

	[T3.3] Protótipo laboratorial para teste da arquitetura NDN veicular	Especificação técnica e criação de um protótipo laboratorial (simulado ou híbrido) de arquitetura NDN veicular, de acordo com a definição de requisitos feita na tarefa T1.3 e com base no conhecimento crítico adquirido em T2.3. Esta arquitetura deve poder ser testada num ou mais dos casos de uso previamente identificados no projeto como relevantes. Nesta tarefa pretende-se desenvolver trabalho experimental em ambiente laboratorial (simulado ou híbrido) com vista a: i) correta especificação da arquitetura V-NDN que mantenha os princípios base da NDN; ii) desenvolvimento de um protótipo laboratorial que possa ser testado num dos casos de uso previamente identificados nesta proposta; iii) implementação do protótipo conforme especificação; e iv) execução de testes laboratoriais do protótipo.	01/04/2022	31/08/2023	UM
[A4] Especificação técnica e desenho das soluções do Enhanced VRU Safety with V2X Communications	[T4.1] Especificações técnicas e desenho das soluções	Nesta tarefa, e com base na experiência adquirida e nos resultados das tarefas T3.1, T3.2 e T3.3, pretende-se elaborar as especificações técnicas e desenho da solução completa, integrando num único protótipo a arquitetura de computação Fog para redes veiculares com o componente de localização e previsão de mobilidade de URVs em clusters. A especificação técnica deve incluir os componentes e as interligações entre eles, protocolos e aplicações. Deve também ter em conta os aspetos relacionados com a segurança das comunicações.	01/06/2023	31/01/2024	UM/Bosch
	[T4.2] Especificação do setup de teste	Nesta tarefa pretende-se especificar uma instalação de teste em ambiente relevante, tendo em vista os cenários de teste e casos de uso previamente identificados e já incluídos na proposta. Os cenários de teste devem ser reavaliados à luz da experiência adquirida com os protótipos laboratoriais. A especificação deve ser suficiente para permitir recriar a instalação de teste e adaptá-la a outros casos de uso.	01/06/2023	31/01/2024	UM/Bosch
[A5] Construção de protótipos e testes das soluções Enhanced VRU Safety with V2X Communications	[T5.1] Construção dos protótipos	Com base no trabalho realizado nas atividades T4.1 e T4.2 pretende-se, com a presente atividade, conceber e implementar o protótipo final e as instalações de teste em ambiente relevante.	01/10/2023	30/06/2024	UM/Bosch
	[T5.3] Testes em ambiente relevante	Nesta atividade pretende-se realizar testes em ambiente relevante, para os cenários de teste e casos de uso identificados e reavaliados na tarefa T4.2. Os resultados devem ser coligidos e analisados para publicação.	01/10/2023	30/06/2024	UM/Bosch

...	...			
[8] Deliverables <Deliverables: technical reports on the work performed to fulfil a given task, which will be handed over to the funding entity. Therefore, every task identified within the project execution must have one or more deliverables. The number of deliverables per task is defined by the Project Idea team, after the assessment of the project execution plan. The Deliverable ID is given after the task ID: if you are assigning a deliverable to the Task T5.2, the deliverable should have the ID E5.2.1..>				
ID	Name/Description	Contents	Delivery Date	
E1.1.1	Comunicações V2X e computação Fog na melhoria da segurança rodoviária dos utilizadores mais vulneráveis: Caracterização do problema de definição de requisitos	<p>Este entregável deverá conter os resultados da atividade [A1] de caracterização do problema e definição de requisitos, estruturado de acordo com o resultado obtido das tarefas específicas T1.1 a T1.3.</p>	31/03/2022	
E2.1.1	Comunicações V2X e computação Fog na melhoria da segurança rodoviária dos utilizadores mais vulneráveis: Conhecimento crítico	<p>Este entregável deverá conter os resultados da atividade [A2] de aquisição do conhecimento crítico, estruturado de acordo com o resultado obtido das tarefas específicas T2.1 a T2.3.</p> <p>O resultado constituirá um estudo sistemático do estado da arte em termos de normas e publicações científicas relevantes. Enumeração dos principais desafios de investigação. Enquadramento normativo e vigilância tecnológica.</p>	31/09/2022	
E3.1.1	Comunicações V2X e computação Fog na melhoria da segurança rodoviária dos utilizadores mais vulneráveis: Protótipos laboratoriais	<p>Este entregável deverá conter os resultados da atividade [A3] de especificação técnica, estruturado de acordo com os resultados obtidos nas tarefas específicas T3.1 a T3.3.</p> <p>O resultado será um conjunto de protótipos laboratoriais, respetivas especificações, documentação dos testes laboratoriais e resultados obtidos. Este entregável poderá por conveniência ser entregue partes, uma por componente, dependendo da dimensão do seu conteúdo.</p>	31/08/2023	
E4.1.1	Comunicações V2X e computação Fog na melhoria da segurança rodoviária dos utilizadores mais vulneráveis: Especificação técnica e desenho das soluções	<p>Este entregável deverá conter os resultados da atividade [A4] de especificação técnica, estruturado de acordo com os resultados obtidos nas tarefas específicas T4.1 e T4.2.</p>	31/01/2024	
E5.1.1	Comunicações V2X e computação Fog na melhoria da segurança rodoviária dos utilizadores mais vulneráveis: Protótipo final	<p>Protótipo resultante da atividade [A5], nomeadamente da tarefa T5.1. Documentação de suporte.</p>	31/05/2024	
E5.1.2	Comunicações V2X e computação Fog na melhoria da segurança rodoviária dos utilizadores mais vulneráveis: Testes e resultados	<p>Este entregável deverá conter os resultados da tarefa T5.2, descrevendo todos os testes efetuados com o protótipo final, análise dos resultados e conclusões.</p>	30/06/2024	
...				
[9] Milestones <Milestone: is a significant point or event in the project.>				

ID	Name/Description	Contents	Delivery Date
M1	Caracterização do problema	Nesta meta, a equipa fez a caracterização do problema e a definição de requisitos. Finalizar o entregável.	31/03/2022
M2	Conhecimento crítico adquirido	Atingindo esta meta, a equipa tem o conhecimento crítico necessário para poder especificar e desenhar protótipos laboratoriais.	31/09/2022
M3	Desenho dos primeiros protótipos laboratoriais	Nesta meta a equipa concluiu a especificação, desenho e teste dos primeiros protótipos laboratoriais	31/08/2023
M4	Especificações técnicas e desenho das soluções concluído	A equipa terminou a especificação e o desenho do protótipo final. Pode-se passar à implementação e teste.	30/01/2024
...			

[10] Dissemination and valorisation of potential results <At the "Publications" boxes, identify the number of potential publications and possible conferences/journals in which papers may be published. In the "Patents" boxes, identify the number and describe the predicted developments/results that have potential to benefit from intellectual property protection, namely patent protection. In the "Others" boxes identify others forms of intellectual property protection.>				
Results:	Nº	Description		
Publications	6	6 publicações em conferências e revistas internacionais de relevo na área das redes veiculares, como por exemplo: IEEE Vehicular Networking Conference (VNC); EAI International Conference on Ad Hoc Networks; IEEE Transactions on Vehicular Technology; IEEE Vehicular Technology Magazine; Mobile Networks and Applications (Elsevier); ACM international workshop on Vehicular inter-networking, systems, and applications; Journal of Communications Software and Systems (JCOMSS);		
Patents	0	Não está prevista nenhuma patente		
Others	2	2 dissertações de mestrado nas temáticas definidas no projeto		
[11] Technical risks <This analysis will help the Project Idea Team to assess the scientific complexity of the Project Idea.>				
Nº	Risk description	Risk cause	Risk impact	Risk response
1	Indefinição tecnológica	Tendências de evolução das tecnologias. Influências políticas e económicas. Atrasos ou lacunas normativas.	Médio	Acompanhamento permanente das normas (versões de trabalho e finais) para percecionar tendências. Participação nos grupos de trabalho (se possível). Desenho de novos protótipos que acompanhem tendências.
2	Precisão e usabilidade dos mecanismos de deteção e localização colaborativa dos URVs	Implementação prática em protótipo com resultados aquém dos definidos nos requisitos	Médio	Rigor na aquisição de conhecimento crítico e na especificação das soluções. Validação dos algoritmos e modelos propostas.
3	Segurança	Ameaças de segurança às comunicações sem fios V2X	Elevado	Todas as soluções e protótipos devem ser concebidas de base com requisitos de segurança bem identificados.
4	Integração dos componentes	O protótipo final é composto por múltiplos elementos, que interagem entre si, num complexo sistema distribuído.	Médio	Especificações devem ter em conta todas as interfaces e todas as interações protocolares entre componentes. Linguagens de especificação adequadas.
5				
...				
[12] Resources (Procurement/human resources/etc.)*				
<i>*please fill out the EXCEL file attached under the name "Plano_de_Investimento_[SC2.0]".</i>				

[13] Technical skills and/or relevant previous experience of the main researchers involved			
Researcher	Research Centre/Department	Scientific-technological skills	Relevant experience
Alexandre Santos	Centre ALGORITMI / Dep. Informatics	Arquiteturas para serviços de rede; protocolos de rede; segurança em redes	Experiência em gestão de investigação e gestão de projetos; sistemas de telecomunicações; protocolos; redes veiculares; Internet of Things. Projetos EU INTERREG: TORGAnet, CSI; Projeto TriComFor CYTED; Projeto INNOVCAR; Projeto EASYRIDE;
António Costa	Centre ALGORITMI / Dep. Informatics	Simulação de redes; encaminhamento; redes ad-hoc; desenvolvimento de software	Experiência em gestão de projetos; gestão de desenvolvimento de software. Projeto EU INTERREG CSI; Projeto TriComFor CYTED; Projeto INNOVCAR; Projeto EASYRIDE;
Bruno Dias	Centre ALGORITMI / Dep. Informatics	Network Management; Internet of Things	Projeto EU INTERREG CSI; Projeto TriComFor CYTED; Projeto INNOVCAR; Projeto EASYRIDE;
Joaquim Macedo	Centre ALGORITMI / Dep. Informatics	Redes oportunistas; redes centradas em informação (NDNs); segurança em redes	Experiência em redes centradas em informação (NDNs); redes tolerantes a atrasos (DTNs). Projeto FP6 CYCLOPS; Projetos FCT; Projeto TriComFor CYTED; Projeto INNOVCAR; Projeto EASYRIDE;
Maria João Nicolau	Centre ALGORITMI / Dep. Information Systems	Sistemas Location based; simulação de redes; técnicas de posicionamento	Projetos FCT; Projeto PdNet; Projeto INNOVCAR; Projeto Innovative Factory; Projeto EASYRIDE;
...			
[14] Pre-existing critical resources (Equipment, tools, pre-existing critical knowledge)			
Equipamentos já existentes:			
<ul style="list-style-type: none"> - Protótipos de hardware+firmware de comunicações V2X (desenvolvidas pela Bosch nas anteriores parcerias); - Placas V2X de outros fabricantes para testes de interconectividade (várias) - Servidor para desenvolvimento e teste de software - Equipamento de testes Rohde&Schwarz: R&S®TS-ITS100 RF Conformance Test System 			
Software já existente:			
<ul style="list-style-type: none"> - SDK de desenvolvimento de novas imagens para os protótipos desenvolvidos nas anteriores parcerias; - Ambientes de simulação: Veins/SUMO; VSimRTI/SUMO; - Protótipos de aplicações V2X: Platooning, Cooperative Traffic Warning System, infotainment; - Ambiente de teste híbrido (simulação e real, com hardware no meio) 			

Conhecimento crítico já adquirido:

- Requisitos para comunicações ITS / V2X
- Requisitos aplicacionais ITS / V2X
- Normas internacionais ITS / V2X, entidades de normalização, normas em fase de planeamento, perspetivas futuras
- Pilhas protocolares V2X: DSRC (IEEE 802.11p / WAVE) e LTE-V
- Arquiteturas: ETSI ITS, G5 e outras
- Segurança em comunicações V2X
- Desenvolvimento de aplicações V2X
- Novas aplicações V2X (ex: Platooning)