

Comparativo de Estratégias para Resposta a Emergências usando Redes Ad Hoc Veiculares e Computação em Névoa*

Bruno P. Campos¹, João Henri¹, Daniel M. Batista¹, R. Hirata Jr¹,
Kifayat Ullah²

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo – SP – Brasil

²CECOS University of Information Technology and Emerging Sciences
Peshawar – Pakistan

{brunopereira, joao.henri}@usp.br,

{batista, hirata, kifayat}@ime.usp.br

Abstract. *In extreme vehicular accidents, victims often fail to contact emergency response teams in time. Aiming to automate the accident detection and reporting process, this paper presents partial results of the comparison between different strategies to provide an emergency response that uses the communication capabilities of Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) assisted by fog computing to report emergencies with the help of an emergency response unit. Simulation experiments showed that some strategies were able to reduce the total emergency response time by up to 60.13%. The developed software is shared as open-source software, allowing the reproduction of experiments.*

Resumo. *Em acidentes de trânsito extremos, vítimas frequentemente não conseguem entrar em contato com as equipes de resposta a emergência a tempo. Visando automatizar o processo de detecção e relato de acidentes, este artigo apresenta resultados parciais da comparação de diferentes estratégias para resposta a emergências que usam as capacidades de comunicação de Redes Ad Hoc Veiculares (VANETs) assistidas por computação na névoa para relatar emergências com a ajuda de uma unidade de resposta a emergência. Experimentos de simulação mostraram que algumas estratégias podem reduzir o tempo total de resposta a emergências em até 60,13%. O software desenvolvido está disponível como software livre permitindo a reprodução dos experimentos.*

1. Introdução

O último relatório sobre segurança viária da Organização Mundial da Saúde (OMS) revela que, devido a acidentes de trânsito, mais de 1,3 milhão de pessoas morrem e cerca de 20 a 50 milhões ficam feridas a cada ano em todo o mundo. Além disso, o relatório indica que, em 2015, mais de 38.000 pessoas morreram em acidentes de trânsito no Brasil [World Health Organization 2018]. É um problema global fornecer serviços imediatos de resposta a emergência nesses casos.

*Este artigo apresenta resultados parciais de uma pesquisa em andamento.

Uma abordagem tradicional para relatar acidentes de trânsito é fazer uma ligação para um número de emergência. No entanto, essa abordagem tem várias desvantagens. Primeiro, em geral, é necessário lembrar diferentes telefones emergenciais, algo dificultado em um momento de estresse pós-acidente. Segundo, é preciso ter um telefone ao alcance para discagem do número, algo que pode ser impossível caso as vítimas tenham sido movidas para longe destes aparelhos. Terceiro, é necessário que a chamada seja feita em uma área com cobertura telefônica, algo que não é garantido mesmo com a expansão das telecomunicações móveis nos últimos anos [ANATEL 2022]. Quarto, a vítima comumente não tem ideia da localização atual e pode demorar até determinar e explicar o local do acidente. Em situações críticas, cada segundo conta, e esse atraso não pode ser tolerado. Em [White et al. 2011], afirma-se que uma redução de 1 minuto nos sistemas de respostas a emergência pode reduzir a taxa de mortalidade em 6%.

As Redes Ad Hoc Veiculares (*Vehicular Ad Hoc Networks* – VANETs) desempenham um papel importante nas cidades inteligentes pois possibilitam diversas aplicações, inclusive algumas voltadas para segurança [Ullah et al. 2016]. Muitas dessas aplicações precisam do uso da localização do veículo para fornecer diferentes serviços. A técnica mais eficiente para encontrar a localização do veículo atualmente é o Sistema de Posicionamento Global (GPS), disponível em qualquer smartphone moderno, fora a ampla variedade de atuadores e sensores (por exemplo, acelerômetro, câmera e giroscópio). Esses smartphones se tornaram parte integrante de nossa vida diária. Por conseguinte, um grande número de aplicativos para esses dispositivos foi desenvolvido ou proposto para fornecer diferentes serviços, incluindo resposta a emergências [Dar et al. 2019, Al-khafajiy et al. 2019, Siddiqua et al. 2019, Nepomuceno et al. 2022]. Embora esses aplicativos resolvam vários problemas relacionados aos sistemas tradicionais de resposta a emergências, eles têm suas próprias limitações: conexão à Internet, bateria do telefone celular ou mesmo o próprio telefone nem sempre estão disponíveis. Em caso de lesões graves, o acesso ao telefone, aplicativo e serviço apropriado é também por vezes impossibilitado.

Para lidar com os problemas associados aos atuais sistemas de resposta a emergências, pode-se automatizar o processo de encontrar a localização do acidente e relatá-lo às autoridades competentes para fornecer serviços de emergência rápidos. Esse processo pode ocorrer por meio de uma infraestrutura dedicada ao relato de acidentes de trânsito, o que evita a necessidade da presença de dispositivos de comunicação como celulares e de conexão com a rede telefônica e com a internet.

Este artigo compara, por meio de simulação, soluções com as características acima que podem ser expandidas para a análise de várias técnicas voltadas à redução do tempo de resposta a acidentes (e.g. abertura de semáforos ou abertura de passagem para ambulâncias, escolha do hospital mais próximo, etc. . .). Assume-se que a detecção do acidente é automática e analisada por meio de computação em névoa. Considera-se que a comunicação é realizada tanto entre veículos quanto com uma infraestrutura disponível nas vias. Resultados parciais obtidos por meio de experimentos de simulação realizados com as ferramentas OMNeT++, Eclipse SUMO e Veins mostraram que foi possível reduzir o tempo de resposta a acidentes em até 60,13%. Para permitir a reprodutibilidade e para que outras pessoas possam avançar a pesquisa realizada, todo software desenvolvido está disponível como software livre. Tal software representa uma das principais

contribuições desta pesquisa.

Vale destacar que para que as técnicas avaliadas funcionem é necessário que sejam empregados mecanismos para detecção de colisões. Tais mecanismos foram amplamente explorados na literatura, por exemplo com a utilização de algoritmos baseados em vídeo adaptativo [Maaloul et al. 2017] ou com o uso de sensores embarcados em smartphones para detectar as grandes acelerações causadas por acidentes [Thompson et al. 2010]. Propor novos modelos está fora do escopo deste trabalho e assume-se que o veículo acidentado é sempre capaz de identificar e relatar o acidente imediatamente.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: A Seção 2 explica em detalhe a solução proposta. A Seção 3 expõe como foram desenvolvidos os cenários de experimentação. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos. A Seção 5 conclui o artigo e apresenta os trabalhos futuros.

2. Solução

Visando um atendimento mais rápido a acidentes de trânsito, a nossa solução consiste em um sistema que considera estratégias diferentes para o reporte de tais eventos, tomando como base comunicações V2V (*Vehicle-To-Vehicle*) e V2I (*Vehicle-To-Infrastructure*). Nesse sistema, diversas estratégias podem ser implementadas para reduzir o tempo de resposta a acidentes.

Os agentes de comunicação na infraestrutura podem se comunicar de forma cabeada ou sem fio. Comunicações entre agentes estáticos são feitas de forma cabeada, com o protocolo Ethernet. Comunicações que envolvam veículos são feitas sem fio, com o padrão IEEE 802.11p. O sistema segue o esquema descrito na Figura 1.

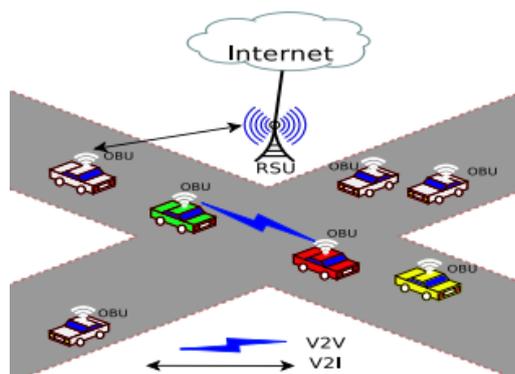


Figura 1. Comunicações V2V e V2I.

A solução contém os seguintes agentes: veículos, semáforos, Roadside Units (RSUs), Emergency Response Units (ERUs) e hospitais. Todos os agentes com exceção dos veículos são estáticos.

Todos os veículos são equipados com dispositivos com suporte a *beacons* 802.11p denominados On-Board Units (OBU's). Ainda, os veículos são divididos em três subcategorias: o carro que sofre o acidente, a ambulância que faz o resgate e veículos comuns que trafegam as vias. Entretanto, para os cenários a seguir, apenas a ambulância faz o envio *broadcast* de mensagens.

Os semáforos também são equipados com os dispositivos mencionados acima. Ao receber mensagens das ambulâncias e RSUs, eles podem reagir e mudar o seu ciclo semafórico, antecipando o sinal verde para ambulâncias.

As RSUs também suportam 802.11p. Além disso, estão interconectadas de maneira cabeada entre si e também com a ERU. No sistema, as RSUs têm duas responsabilidades principais. A primeira é receber ARMs (*Accident Report Messages*) de veículos acidentados e garantir que um hospital seja notificado do acidente para que possa ocorrer o envio de uma ambulância. Como as RSUs estão conectadas entre si, elas têm a capacidade de repassar mensagens. Sendo assim, a segunda responsabilidade consiste em repassar mensagens da localização da ambulância para que várias RSUs no caminho possam retransmitir as mensagens da ambulância com antecedência e dessa forma semáforos e demais veículos possam priorizar o caminho da ambulância.

A ERU possui conexões cabeadas seguras diretas com os hospitais. Então, tendo recebido uma ARM, a ERU tem a capacidade de acionar o hospital mais próximo do acidente. Finalmente, os hospitais recebem mensagens da ERU e enviam ambulâncias ao local.

O funcionamento do sistema pode ser descrito pelas seguintes etapas consecutivas: (1) O acidente ocorre e é detectado pelo veículo acidentado; (2) o veículo comunica o acidente à RSU com *beacons* 802.11p; (3) A RSU repassa a mensagem à ERU por meio de conexão cabeada; (4) A ERU comunica o hospital mais próximo ao local do acidente, também por meio de conexão cabeada; (5) O hospital envia uma ambulância para fazer o resgate; (6) a ambulância se comunica por meio de *beacons* com veículos e semáforos para abrir passagem; (7) os semáforos também se comunicam entre si para abrir passagem; (8) a ambulância chega ao local de resgate. A Figura 2 descreve o fluxograma do funcionamento do sistema.

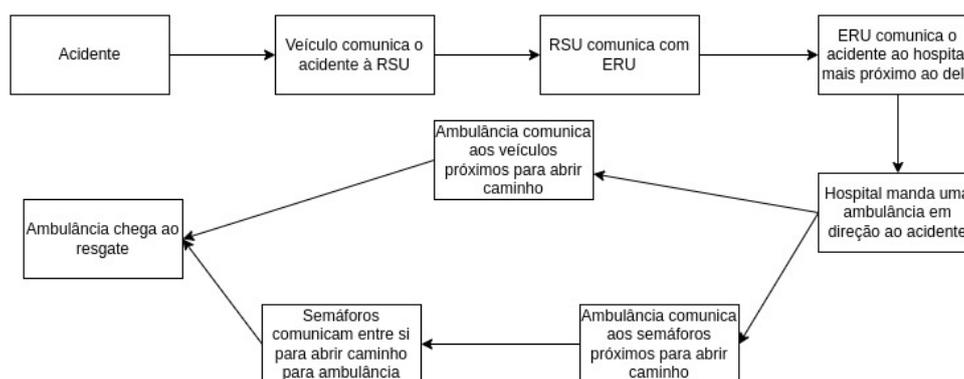


Figura 2. Esquema das estratégias utilizadas nas simulações.

O sistema permite que as seguintes ações sejam realizadas como técnicas para redução do tempo de resposta (elas serão avaliadas na Seção 4):

- **Abertura de Semáforos (AS):** à medida que a ambulância aproxima-se de semáforos, eles são abertos para criar um “corredor verde” para a mesma;
- **Abertura de Passagem (AP):** A ambulância comunica-se com os veículos na via para que os mesmos facilitem a sua passagem;
- **Escolha do Hospital (EH):** o hospital mais próximo é informado para que uma equipe se prepare para receber a(s) vítima(s), além de enviar uma ambulância;

- **Resposta Completa (RC):** execução das ações AS, AP e EH.

3. Ambiente de Simulação

Para realizar as simulações do sistema, foi utilizada a combinação de três ferramentas: OMNeT++¹, Eclipse SUMO² e Veins [Sommer et al. 2011]. O OMNeT++ é um simulador de redes, Eclipse SUMO é um simulador de tráfego urbano e o Veins é um framework que conecta o tráfego gerenciado pelo Eclipse SUMO à rede gerenciada pelo OMNeT++.

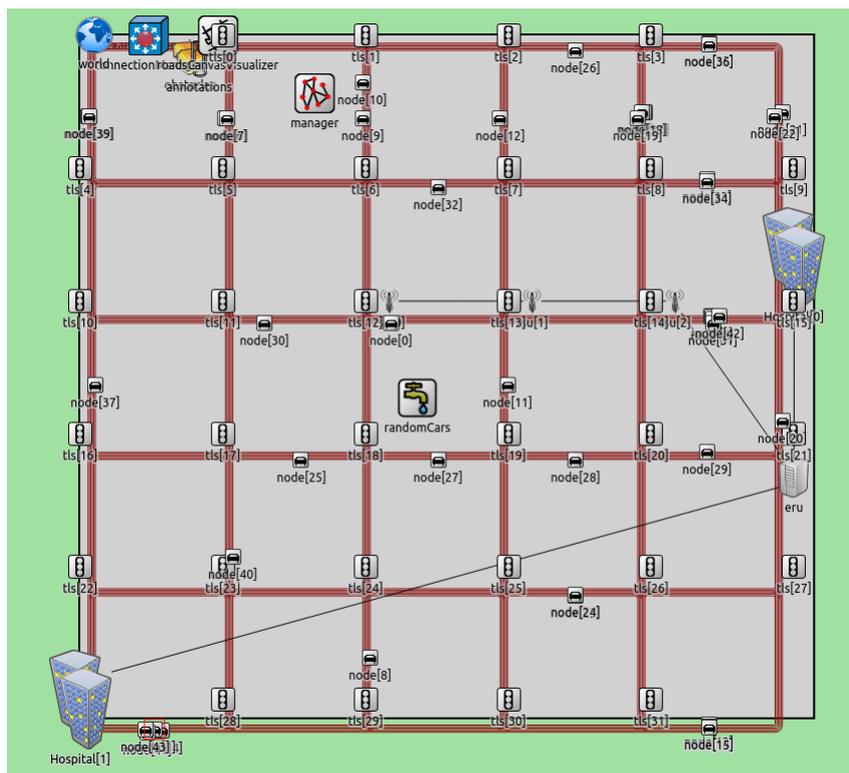


Figura 3. Grade simulada.

Para avaliação de desempenho, foi simulada a grade quadrada de rodovias representada na Figura 3. Essa grade é composta por 6 rodovias verticais paralelas e outras 6 rodovias horizontais paralelas. A distância entre a faixa central de duas rodovias paralelas vizinhas é de 300 metros. Nessa grade, há 32 semáforos, isto é, um em cada um dos cruzamentos entre rodovias horizontais e verticais, exceto nas 4 extremidades. Cada rodovia possui 1,5 km de comprimento com três faixas por sentido, totalizando uma grade de 2,25 km². Foram posicionados dois hospitais nessa grade. O primeiro fica à direita da terceira rodovia horizontal, de cima para baixo. O segundo hospital se localiza no canto inferior esquerdo do mapa. Há uma ERU que está conectada de forma cabeada aos dois hospitais e a uma das RSUs. Há três RSUs espalhadas pelo centro da grade. Essas RSUs também estão conectadas de forma cabeada. Para as conexões 802.11p, foi definido que as mensagens são enviadas para receptores dentro de um raio de até 200 metros de distância.

Foi feita a suposição de que o ambiente se trata de um conjunto de vias arteriais. Assim, a velocidade limite dos veículos comuns é de 60 km/h. As simulações

¹O simulador de eventos OMNeT++ está disponível em <https://omnetpp.org>.

²O simulador de Mobilidade Urbana SUMO está disponível em <https://eclipse.org/sumo>.

usam uma distribuição normal tal que aproximadamente 95% dos veículos se mantém entre 80% e 120% do limite de velocidade. Ambulâncias andam cerca de 20 a 25% mais rápido que veículos comuns [Pappinen and Nordquist 2022]. Assim, nas simulações, andam a aproximadamente 75 km/h quando não obstruídas. Foi utilizado um intervalo de *broadcast* (tempo em que um carro demora para retransmitir uma mensagem) de 10 segundos. Para vias arteriais, ciclos semafóricos tipicamente variam entre 60 e 150 segundos [Bonneson et al. 2009]. Sendo assim, foi selecionado um ciclo semafórico de 90 segundos nas simulações, isto é, 90 segundos verde, 5 segundos amarelo e 90 segundos vermelho. Os demais parâmetros estão resumidos na Tabela 1.

Parâmetros	Intervalo de Valores
Densidades de Veículos	100, 225 e 350 $\frac{\text{veículos}}{\text{km}^2}$
Área de Abrangência	802.11p 200 metros
Velocidade Média da Ambulância	75 km/h
Velocidade Média dos Carros Comuns	60 km/h
Duração do Ciclo Semafórico	90 segundos
Distâncias entre os Hospitais e o Acidente	900 e 1500 metros
Duração da Simulação	660 segundos

Tabela 1. Parâmetros da simulação.

Foi utilizada apenas uma métrica para medir o desempenho do sistema: tempo total de resposta (TTR). Ela indica quantos segundos se passaram entre a ocorrência do acidente e a chegada da ambulância ao local. Foram feitas simulações com diferentes sementes aleatórias. A escolha das sementes foi baseada no índice de execução das simulações, garantindo sua unicidade. O OMNeT++ utiliza o algoritmo Mersenne Twister para geração de números aleatórios. Esse algoritmo tem largura de ciclo de 2^{19937} [Matsumoto and Nishimura 1998], suficiente para nosso cenário. Para cada par de cenário e número de veículos foram feitas 30 repetições. Essas repetições são necessárias porque as simulações são afetadas pela aleatoriedade, tanto na posição e no destino dos veículos comuns, quanto pela distribuição de suas velocidades.

O software desenvolvido para permitir a simulação do sistema está disponibilizado sob a licença MIT em <https://github.com/jaehnri/vanet-emergency-system>.

4. Resultados

O gráfico da Figura 4 expõe os resultados obtidos. As linhas de erro representam o intervalo de confiança de 95% para cada uma das amostras. Ao observar os valores para 225 veículos, é possível perceber uma clara superioridade do tempo de resgate da Resposta Completa (RC) em relação a cada um dos demais cenários. Além disso, é possível perceber uma pequena melhora no tempo para Abrir Semáforo (AS) e Abrir Passagem (AP) em relação a Sem Resposta (SR). Em relação a Escolha de Hospital (EH), não é claro se houve grande diferença em relação à SR. A média do TTR para SR foi de 134,43 segundos, enquanto que a média para RC foi de 53,6 segundos, uma melhoria de 60,13%.

Com 506 veículos é ainda mais clara a superioridade do sistema. Todos os cenários com melhorias RC, AS, AP e EH (em ordem crescente de menor tempo) exigem um TTR menor do que o exigido no cenário SR.

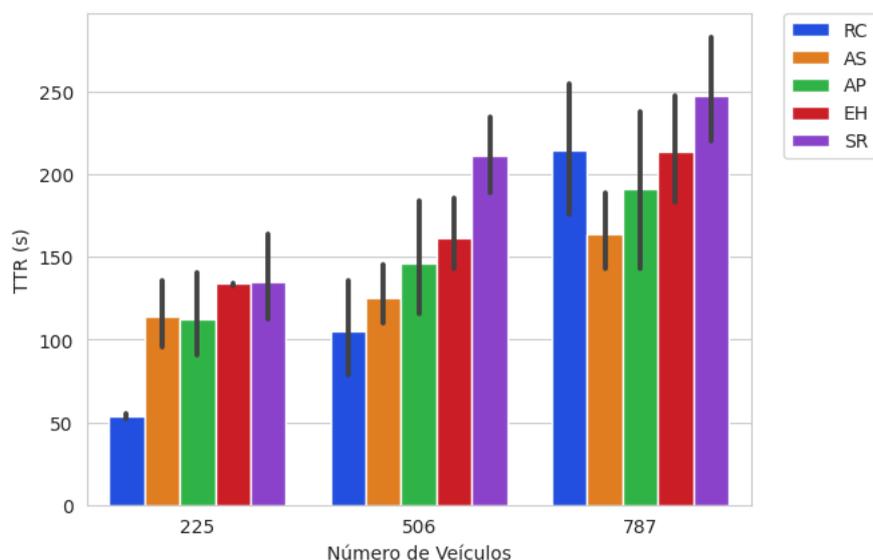


Figura 4. TTR para diferentes densidade de veículos

Com 787 veículos, é percebida uma irregularidade em relação aos resultados anteriores. O cenário com menor tempo é AS, seguido de AP e com EH e RC com tempos ainda maiores. SR continua sendo o mais lento (É possível que o número de carros seja tanto que, mesmo dando passagem, a ambulância não consiga aumentar sua velocidade). Notou-se que o alto número de carros causou instabilidades no simulador e colisões.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Esse artigo apresentou os resultados parciais de um projeto de iniciação científica que tem por objetivo desenvolver e comparar a eficácia de estratégias diferentes para resposta à emergência em acidentes de trânsito em um sistema baseado em VANETs e Computação em Névoa. Os resultados mostraram que algumas soluções podem resolver parte dos problemas dos sistemas de emergência atuais, diminuindo o tempo de resgate. Os próximos passos para esse projeto são a adição de mais métricas para a simulação e o uso de uma região urbana real. Ainda, existem muitas variáveis relevantes que não foram parametrizadas, como raio de transmissão das mensagens, velocidade das pistas, ciclos semafóricos, dentre outros. Pode-se considerar também que as estratégias apresentadas neste artigo não são cabíveis para o cenário com mais carros. Nesse sentido, vale um estudo mais profundo e separado para cenários como este.

Agradecimentos

Esta pesquisa é parte do INCT da Internet do Futuro para Cidades Inteligentes, financiado por CNPq (proc. 465446/2014-0), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e FAPESP (procs. 14/50937-1 e 15/24485-9). Ela também é parte do projeto FAPESP proc. 21/10647-8.

Referências

Al-khafajiy, M., Kolivand, H., Baker, T., Tully, D., and Waraich, A. (2019). Smart Hospital Emergency System. *Multimedia Tools and Applications*, 78.

- ANATEL (2022). Anatel - Panorama. Disponível em <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/panorama>. Acessado em 17 de março de 2023.
- Bonneson, J., Sunkari, S., and Pratt, M. (2009). Best TxDOT Practices for Signal Timing and Detection Design at Intersections. In *Traffic Signal Operations Handbook*, pages 46–50.
- Dar, B. K., Shah, M. A., Islam, S. U., Maple, C., Mussadiq, S., and Khan, S. (2019). Delay-Aware Accident Detection and Response System Using Fog Computing. *IEEE Access*, 7:70975–70985.
- Maaloul, B., Taleb-Ahmed, A., Niar, S., N., H., and Valderrama, C. (2017). Adaptive video-based algorithm for accident detection on highways. In *Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems*, pages 1–6.
- Matsumoto, M. and Nishimura, T. (1998). Mersenne twister: a 623-dimensionally equidistributed uniform pseudo-random number generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)*, 8(1):3–30.
- Nepomuceno, P., Ullah, K., Braghetto, K., and Batista, D. (2022). A Pothole Warning System using Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs). In *Proc. of the International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*, pages 147–152.
- Pappinen, J. and Nordquist, H. (2022). Driving Speeds in Urgent and Non-Urgent Ambulance Missions during Normal and Reduced Winter Speed Limit Periods—A Descriptive Study. *Nursing Reports*, pages 50–58.
- Siddiqua, A., Shah, M. A., Khattak, H. A., Ud Din, I., and Guizani, M. (2019). iCAFE: Intelligent Congestion Avoidance and Fast Emergency services. *Future Generation Computer Systems*, 99:365–375.
- Sommer, C., German, R., and Dressler, F. (2011). Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(1):3–15.
- Thompson, C., White, J., Dougherty, B., Albright, A., and Schmidt, D. (2010). Using Smartphones to Detect Car Accidents and Provide Situational Awareness to Emergency Responders. In *Proc. of the MOBILWARE*, pages 29–42.
- Ullah, K., Santos, L. M., Ribeiro, J. B., and Moreira, E. D. S. (2016). SADP: A Lightweight Beaconing-Based Commercial Services Advertisement Protocol for Vehicular Ad Hoc Network. In *Proc. of the ADHOC-NOW*, pages 279–293.
- White, J., Thompson, C., Turner, H., Dougherty, B., and Schmidt, D. C. (2011). WreckWatch: Automatic Traffic Accident Detection and Notification with Smartphones. *Mobile Networks and Applications*, 16:285–303.
- World Health Organization (2018). Global Status Report on Road Safety 2018. Disponível em <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1164010/retrieve>. Acessado em 16 de março de 2023.