

Protocolos Eficientes para Comunicação V2V em Redes Veiculares de Dados Nomeados

Lucas B. Rondon¹, Geraldo P. Rocha Filho² (Coorientador)
Leandro A. Villas¹ (Orientador)

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

²Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)

lucasborges@lrc.ic.unicamp.br, geraldof@unb.br, leandro@ic.unicamp.br

Resumo. *Este resumo estendido apresenta uma visão geral das principais contribuições da pesquisa de mestrado. O trabalho tem como objetivo desenvolver protocolos eficientes para comunicação V2V em VNDN, com o intuito de garantir alta taxa de entrega de conteúdo e reduzir o broadcast storm durante o processo de descoberta de cache. Os protocolos propostos foram avaliados e comparados com protocolos existentes na literatura por meio de simulações computacionais. Os resultados das simulações mostram que os protocolos propostos possuem um bom desempenho em três pontos chaves: (i) taxa de cache hit; (ii) taxa de entrega de conteúdo e (iii) transmissão de pacotes de interesse.*

Abstract. *This extended summary provides an overview of the main contributions of master's research. The work aims to develop efficient protocols for V2V communication over VNDN, in order to guarantee a high rate of content delivery and reduce the broadcast storm during the cache discovery process. The proposed protocols were evaluated and compared with existing protocols in the literature using computer simulations. The simulations results show that the proposed protocols perform well at three key points: (i) cache hit rate; (ii) content delivery rate and (iii) interest packets transmissions.*

1. Introdução

As Redes Veiculares de Dados Nomeados (*Vehicle Named-Data Networking - VNDN*) vêm se estabelecendo como uma arquitetura promissora, com potencial para superar os desafios de desempenho na distribuição de conteúdo em larga escala encontrados nas Redes *Ad hoc* Veiculares (*Vehicle Ad hoc Networks - VANETs*) centradas em *IP* [Duarte et al. 2019]. O paradigma de comunicação baseado em *IP* vem se mostrando incapaz de oferecer aos usuários tanto entrega de conteúdo em larga escala quanto garantia de requisitos de aplicações distribuídas nas VANETs referentes à Qualidade de Serviço (*Quality of Service - QoS*) e Qualidade de Experiência (*Quality of Experience - QoE*) [Khelifi et al. 2020, Kumar et al. 2020]. Isso se dá em decorrência da dinamicidade topológica da rede e conectividade intermitente, que advém da alta taxa de mobilidade dos veículos. Neste contexto, a mobilidade dos veículos resulta em sobrecarga na rede para manter os requisitos específicos da pilha de protocolos *TCP/IP*, tais como manutenção da lista de vizinhos, realocação de endereços, e sessões orientadas à conexão [Al-Omais et al. 2019, Amadeo et al. 2016, Wang et al. 2016].

Em Sistemas de Transporte Inteligentes (*Intelligent Transport System - ITS*), os atuais protocolos de disseminação de dados explorados nas VANETs [Durga et al. 2018, Sharma et al. 2019, Shabnam and Jamalipour 2020] são incapazes de lidar com a crescente demanda por distribuição de conteúdo, por exemplo, conteúdos de entretenimento. Visto que os protocolos de disseminação de dados desenvolvidos para VANETs são projetados, na maioria dos casos, para aplicações de segurança e controle de congestionamentos. Nesse contexto, o objetivo dessas aplicações é notificar veículos sobre eventos ocorridos em determinadas áreas de interesses (*Area of Interest - AoI*) como acidente de trânsito e áreas congestionadas [Lopes et al. 2019, Shah et al. 2019]. Portanto, esses protocolos não foram projetados para realizar distribuição de conteúdo em larga escala entre veículos.

Em VNDN, a comunicação entre veículos é realizada por meio da arquitetura centrada no conteúdo (*Named Data Networking - NDN*) que é uma implementação do paradigma de comunicação centrado na informação (*Information-Centric Networks - ICN*) [Nour et al. 2018]. Com isso, a comunicação entre veículos ocorre por meio de trocas de pacotes de interesse e dados [Li et al. 2020]. Ao contrário da arquitetura TCP/IP em que a troca de mensagens depende dos endereços de origem e destino, na arquitetura NDN os pacotes de interesse e dados usam o nome do conteúdo como identificação exclusiva na rede. Dessa forma, o plano de encaminhamento em NDN possui duas etapas no processo de comunicação entre os nós. Na primeira etapa, um nó consumidor envia um pacote de interesse determinando o nome do conteúdo desejado. Já na segunda etapa, qualquer veículo que contenha o pacote de dados correspondente retorna ao nó consumidor o conteúdo solicitado. Além disso, cabe ressaltar que os nós intermediários operam como consumidores e produtores de conteúdo [Fang et al. 2018]. Além disso, os nós da rede podem atuar como mula de dados para atender às solicitações futuras e manter o conteúdo mais próximo dos nós consumidores quando não há conectividade entre os veículos.

Diante disso, VNDN possui potencial para garantir uma distribuição eficiente de conteúdo em larga escala, levando em consideração os requisitos de QoS e QoE das aplicações distribuídas em ITS. Isso ocorre porque o paradigma de comunicação ICN muda o modo como o conteúdo é solicitado e recuperado na rede, visto que o nome do conteúdo é o elemento principal da rede e deve ser globalmente exclusivo, persistente, seguro e independente de localização [Coutinho et al. 2018]. Ressalta-se que outro elemento fundamental em VNDN é o *cache* de conteúdo na rede que, por sua vez, aumenta a disponibilidade de conteúdo com múltiplos provedores. Desse modo, o conteúdo pode ser recuperado por qualquer nó da rede que possui o conteúdo na *cache*.

Salienta-se, no entanto, que a integração da arquitetura NDN nas VANETs (isto é, VNDN) apresenta vários desafios referentes à mobilidade dos veículos tais como segurança de acesso, nomeação e armazenamento de conteúdo [Fang et al. 2018]. No que diz respeito à entrega de conteúdo em larga escala em VNDN, o principal desafio que esta pesquisa explora origina do problema do *broadcast storm* [Burhan and Rehman 2020] durante o processo de descoberta de *cache*. *Broadcast storm* é um problema crítico em redes sem fio *ad hoc*, principalmente nas VANETs por conta da alta mobilidade dos veículos, pois não aproveita de maneira eficiente os recursos da rede, além de degradar o desempenho das aplicações.

Em VNDN, a propagação de interesse é uma tarefa desafiadora, uma vez que

há uma implicação direta no desempenho da rede. Um dos principais desafios na comunicação entre veículos (*Vehicle-to-Vehicle - V2V*) é a colisão de pacotes. Diante disso, transmissões redundantes de interesse contribuem ainda mais para o aumento de colisões de pacotes, impactando em atrasos na entrega de conteúdo e perdas de pacotes, prejudicando o desempenho das aplicações em VNDN.

Com o intuito de mitigar o problema do *broadcast storm*, nesta pesquisa de mestrado é desenvolvido três protocolos (CDP, CLYMENE e PERSEU) para comunicação V2V em VNDN. Os protocolos CDP, CLYMENE e PERSEU possuem estratégias de descoberta de *cache* diferentes que visam: (i) maximizar a taxa de *cache hit*; (ii) maximizar a taxa de entrega de conteúdo e (iii) minimizar o número de transmissão de pacotes de interesse. Cabe ressaltar que os protocolos desenvolvidos não dependem da informação da localização dos veículos produtores (veículos que possuem o conteúdo em *cache*) no processo de descoberta de *cache*.

2. Objetivo

O principal objetivo da dissertação é projetar, implementar e avaliar protocolos eficientes para comunicação V2V em VNDN para reduzir o *broadcast storm* no processo de descoberta de *cache* e prover alta taxa de entrega de conteúdo.

3. Contribuição

A principal contribuição da pesquisa de mestrado é o desenvolvimento de três protocolos para descoberta de *cache* (CDP, CLYMENE e PERSEU) para reduzir o *broadcast storm* na comunicação V2V em VNDN. Cada protocolo desenvolvido é uma evolução do protocolo anterior com objetivo de aumentar o *cache hit* e a taxa de entrega de conteúdo, com o menor número de transmissão. Dessa forma, o funcionamento de cada protocolo com suas respectivas estratégias de descoberta de *cache* são:

- ***Content Discovery Protocol - CDP***: é o primeiro protocolo desenvolvido que utiliza o conceito de veículos melhores posicionados geograficamente (*sweet spot*) no processo de descoberta de *cache*. Dessa forma, a distância e a angulação dos veículos são usadas para escolher os veículos retransmissores. Os resultados das simulações demonstram que o CDP aumenta a taxa *cache hit* e a taxa de entrega de conteúdo, reduz o número de transmissões de pacotes de interesse e diminui a quantidade de colisões, em comparação com os protocolos na literatura [Rondon et al. 2019].
- ***Degree Centrality-based Caching Discovery Protocol for Vehicular Named-Data Networks - CLYMENE***: visando aumentar a taxa de *cache hit* e reduzir o *broadcast storm*, é desenvolvido o protocolo CLYMENE. O protocolo realiza o processo de descoberta de *cache* com base na centralidade de grau. Desse modo, CLYMENE escolhe os veículos que contém o maior número de veículos vizinhos para retransmitir o pacote de interesse. Os resultados da simulação mostram que o CLYMENE aumenta a taxa de *cache hit* e reduz o número de transmissões de pacotes de interesse, quando comparado com protocolos na literatura. [Rondon et al. 2020].
- **Protocolo Geométrico para Descoberta de *Cache* em VNDN - PERSEU**: é o último protocolo desenvolvido com o intuito de aumentar ainda mais a taxa de

cache hit e a taxa de entrega de conteúdo, com o menor número de transmissão de pacotes interesse. PERSEU é modelado utilizando o conceito de geometria computacional para escolher os veículos retransmissores dinamicamente e independente do cenário. Para escolher os veículos retransmissores, o PERSEU aplica o problema de encontrar a envoltória convexa em um dado conjunto de pontos. Conforme os resultados obtidos, o PERSEU aumenta tanto o processo de descoberta de *cache* quanto à taxa de entrega de conteúdo, ao mesmo tempo que reduz o número de transmissões de pacotes de interesse na rede, quando comparado com protocolos na literatura. [Rondon et al. 2020b].

4. Publicação

Como resultado da pesquisa de mestrado, foram publicados quatro artigos em anais de conferências nacionais e internacionais de prestígio na área de redes e sistemas distribuídos. Além dos artigos aceitos, há um trabalho em processo de submissão para a revista *Computer Networks*. O trabalho consiste em um protocolo para comunicação V2V em VNDN, que se fundamenta em teoria de conjuntos para escolher os veículos retransmissores e possui um mecanismo de controle *beacons* com base na densidade de veículos.

- Conferências

1. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), Qualis A4, h5 7 [Rondon et al. 2020b].
2. *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Spring)*, Qualis A1, h5 44 [Rondon et al. 2020].
3. *IEEE Latin-American Conference on Communications*, Qualis B2, h5 9 [Rondon et al. 2019].

- Periódico

1. *Vehicles* 2020, 2, 453-467 [Rondon et al. 2020a].
2. *Elsevier Computer Networks* 2021, Qualis A1, fator de impacto: 3.111 (a submeter).

5. Resultados

Os protocolos desenvolvidos (CDP, CLYMENE e PERSEU) foram validados e comparados com protocolos da literatura (Vanilla VNDN e OIFP), por meio de simulações computacionais. A avaliação é feita em duas etapas: (i) em um cenário com 300 veículos, variando o número de veículos produtores com o objetivo de investigar o comportamento dos protocolos desde um cenário com poucos veículos produtores até um cenário com bastante veículos produtores e (ii) variando a densidade de veículos, para investigar o comportamento dos protocolos partindo de um cenário esparsos para um cenário congestionado. Nesse contexto, o objetivo é analisar a eficiência dos protocolos na taxa de entrega de conteúdo a partir do início da incidência de *broadcast storm* durante o processo de descoberta de *cache*. Desse modo, as métricas escolhidas para avaliar o desempenho dos protocolos são: (i) *cache hit*; (ii) taxa de entrega de conteúdo; (iii) atraso médio; (iv) colisão média de pacotes e (v) transmissão média de interesses.

5.1. Análise dos Resultados Variando a Quantidade de Veículos Produtores

Em resumo, conforme os resultados da Figura 1(a), à medida que o número de veículos produtores aumenta na rede, o *cache hit* na etapa de busca pelo conteúdo cresce independente dos protocolos. De acordo com os resultados, o PERSEU foi o protocolo que obteve maior *cache hit*. Em um cenário crítico com 5% de veículos produtores, o PERSEU é 337,7% mais eficiente que o Vanilla VNDN e 49,7% mais eficiente quando comparado com o OIFP. Isso ocorre por conta da estratégia de encaminhamento do pacote de interesse que utiliza o conceito de geometria computacional (Polígono Mínimo Convexo) para selecionar os veículos retransmissores dinamicamente e independente do cenário.

Dado o melhor desempenho na etapa de descoberta de *cache*, o PERSEU também obteve melhor desempenho na taxa de entrega de conteúdo entre os protocolos, como pode ser observado na Figura 1(b). Em um cenário com 5% de veículos produtores, o PERSEU aumenta a taxa de entrega de conteúdo em 81,8% na média quando comparado com Vanilla VNDN e cerca de 16,4% na média em relação ao OIFP.

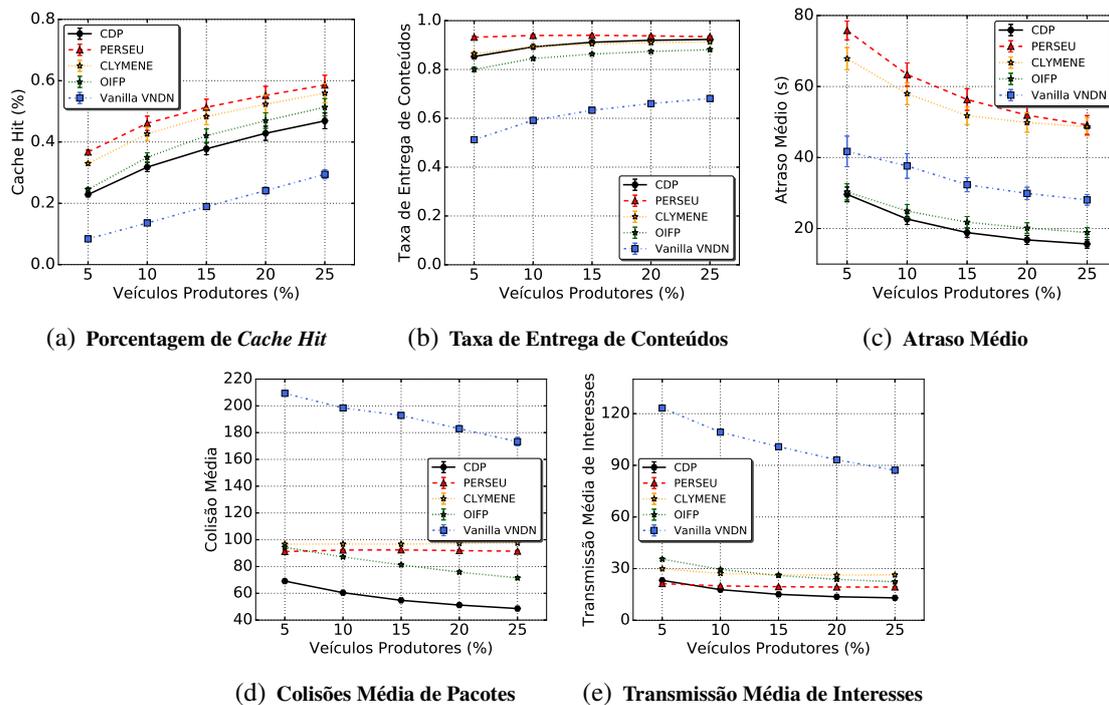


Figura 1. Resultados de Simulação Variando o Número de Veículos Produtores

Em relação à quantidade de transmissões de pacotes de interesse no processo de descoberta de *cache*, de modo geral, o protocolo CDP transmite menos pacotes de interesse na rede em comparação com os demais protocolos, como pode ser observado na Figura 1(e). Em um cenário esparsos, quando há 5% de veículos produtores, o CDP reduz significativamente o número de transmissões de pacotes de interesse para recuperar o conteúdo solicitado, transmitindo 82% menos que o Vanilla VNDN, e 35% menos que o OIFP. Essa redução é alcançada graças à estratégia de encaminhamento de interesse, que prioriza os veículos melhores posicionados geograficamente para continuar o processo de descoberta de *cache*, utilizando o conceito de *sweet spot*.

Devido à redução do número de transmissões de pacotes de interesse, o CDP obteve menor colisão e atraso na recuperação de conteúdo. Conforme a Figura 1(c), em um cenário crítico com apenas 5% de veículos produtores, o CDP é 29% e 2,3% mais rápido para obter todos os *chunks* do conteúdo solicitado em comparação com o Vanilla VNDN e OIFP, respectivamente. Em relação às colisões de pacotes, o CDP possui em média 66,9% e 26,7% menos colisão de pacotes que o Vanilla VNDN e OIFP, respectivamente (Figura 1(d)).

5.2. Análise dos Resultados Variando a Densidade de Veículos

Resumidamente, à medida que a densidade de veículos aumenta na rede, o *cache hit* também aumenta no processo de descoberta de *cache* (Figura 2(a)). Entre os protocolos avaliados, os resultados comprovam que o CDP, CLYMENE e PERSEU obtiveram melhor desempenho em relação ao Vanilla VNDN e OIFP em um cenário crítico com 5% de veículos produtores. Consequentemente, os protocolos CDP, CLYMENE e PERSEU obtiveram melhor desempenho na taxa de entrega de conteúdo (Figura 2(b)). Isso ocorre devido às estratégias de encaminhamento de interesse implementadas nos protocolos, que visam escolher os veículos mais adequados para continuar propagando o interesse pela rede. Em relação ao número de transmissões de pacotes de interesse (Figura 2(e)), os protocolos PERSEU e CDP transmitem menos pacotes de interesse na rede. Por conta disso, os protocolos PERSEU e CDP geram menos colisões de pacotes (Figura 2(d)), que é um dos grandes desafios abordado nesta pesquisa de mestrado. No que diz respeito ao atraso na recuperação do conteúdo, à medida que a densidade de veículos aumenta na rede, o atraso também aumenta na média. Isso ocorre por conta da colisão de pacotes em função das múltiplas transmissões de pacotes de interesse e dados ocorridos durante a comunicação entre veículos.

6. Considerações Finais

Este resumo estendido apresenta as principais contribuições da dissertação, tratando os desafios na distribuição de conteúdo e o *broadcast storm* durante a comunicação V2V em VNDN. A principal contribuição da dissertação é a proposição de um conjunto de três protocolos (CDP, CLYMENE e PERSEU). Os protocolos desenvolvidos possuem estratégias de descoberta de *cache* diferentes visando: (1) maximizar a taxa de *cache hit*; (2) maximizar a taxa de entrega de conteúdo e (3) minimizar a transmissão de pacotes de interesse. Dessa forma, o protocolo CDP fundamenta-se nos veículos melhores posicionados geograficamente (*sweet spot*) no processo de descoberta de *cache*. Enquanto o protocolo CLYMENE prioriza os veículos mais distantes do veículo emissor e com maior centralidade de grau. E por fim, o protocolo PERSEU utiliza o conceito de geometria computacional para escolher os veículos retransmissores dinamicamente, aplicando o problema de determinar a envoltória convexa em um dado conjunto de pontos. Os resultados obtidos durante a pesquisa de mestrado foram publicados em veículos de comunicação de alto fator de impacto na área.

Referências

Al-Omais, H., Sundararajan, E. A., and Abdullah, N. F. (2019). Towards vanet-ndn: A framework for an efficient data dissemination design scheme. In *2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, pages 412–417.

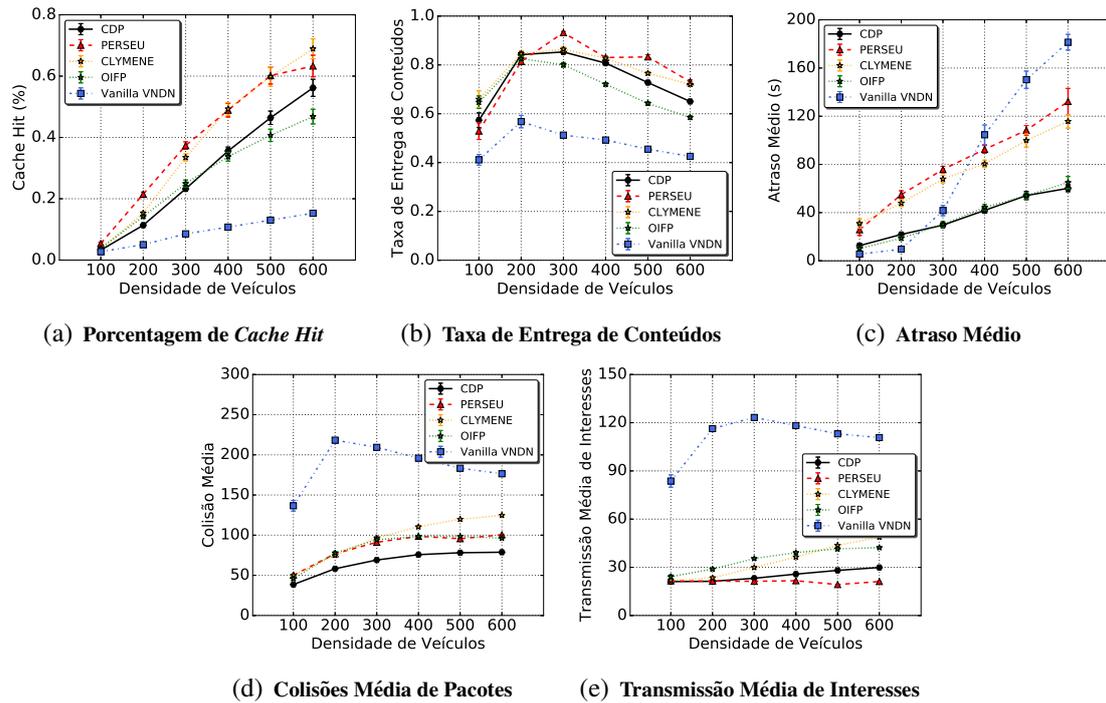


Figura 2. Resultados de Simulação Variando a Densidade de Veículos num Cenário Crítico (5% Veículos Produtores)

- Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2016). Information-centric networking for connected vehicles: a survey and future perspectives. *IEEE Communications Magazine*, 54(2):98–104.
- Burhan, M. and Rehman, R. A. (2020). Bsms: A reliable interest forwarding protocol for ndn based vanets. In *2020 3rd International Conference on Advancements in Computational Sciences (ICACS)*, pages 1–6.
- Coutinho, R. W. L., Boukerche, A., and Loureiro, A. A. F. (2018). Design guidelines for information-centric connected and autonomous vehicles. *IEEE Communications Magazine*, pages 85–91.
- Duarte, J. M., Braun, T., and Villas, L. A. (2019). Mobivndn: A distributed framework to support mobility in vehicular named-data networking. *Ad Hoc Networks*, 82:77 – 90.
- Durga, C. V., Chakravarthy, G., and Alekya, B. (2018). Efficient data dissemination in vanets: Urban scenario. In *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, pages 891–896.
- Fang, C., Yao, H., Wang, Z., Wu, W., Jin, X., and Yu, F. R. (2018). A survey of mobile information-centric networking: Research issues and challenges. *Communications Surveys Tutorials*, 20.
- Khelifi, H., Luo, S., Nour, B., Moun gla, H., Faheem, Y., Hussain, R., and Ksentini, A. (2020). Named data networking in vehicular ad hoc networks: State-of-the-art and challenges. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 22(1):320–351.
- Kumar, N., Chaudhry, R., Kaiwartya, O., Kumar, N., and Ahmed, S. H. (2020). Green computing in software defined social internet of vehicles. *IEEE Transactions on Intel-*

ligent Transportation Systems, pages 1–10.

- Li, D., Song, T., and Yang, Y. (2020). Content retrieval based on prediction and network coding in vehicular named data networking. *IEEE Access*, 8:125576–125591.
- Lopes, L. H. S., Mini, R. A. F., and Cunha, F. (2019). A v2x approach for data dissemination in vehicular ad hoc networks. In *2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 1–6.
- Nour, B., Sharif, K., Li, F., Khelifi, H., and Mounghla, H. (2018). Nncp: A named data network control protocol for iot applications. In *2018 IEEE CSCN*, pages 1–6.
- Rondon, L. B., da Costa, J. B. D., Filho, G. P. R., Rosário, D., and Villas, L. A. (2020). Degree centrality-based caching discovery protocol for vehicular named-data networks. In *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, pages 1–5.
- Rondon, L. B., da Costa, J. B. D., Rocha Filho, G. P., and Villas, L. A. (2019). A distance and position-based caching discovery protocol for vehicular named-data networks. In *2019 IEEE 11th Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, pages 1–6. IEEE.
- Rondon, L. B., Immich, R., P Rocha Filho, G., Venâncio Neto, A., Leone Maciel Peixoto, M., and Villas, L. A. (2020a). Towards improved vehicular information-centric networks by efficient caching discovery. *Vehicles*, 2(3):453–467.
- Rondon, L. B., Maziero, L. P., Rocha Filho, G. P., Neto, A. V., Peixoto, M. M. L., and Villas, L. A. (2020b). Protocolo baseado em geometria computacional para descoberta de cache em redes veiculares de dados nomeados.
- Shabnam, F. and Jamalipour, A. (2020). An efficient coordinator selection method for geo-routing protocol in vehicular network. In *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, pages 1–5.
- Shah, S. S., Malik, A. W., Rahman, A. U., Iqbal, S., and Khan, S. U. (2019). Time barrier-based emergency message dissemination in vehicular ad-hoc networks. *IEEE Access*, 7:16494–16503.
- Sharma, S., Chahal, M., and Harit, S. (2019). Transmission rate-based congestion control in vehicular ad hoc networks. In *2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*, pages 303–307.
- Wang, Y., Liu, H., Huang, L., and Stankovic, J. (2016). Efficient and proactive v2v information diffusion using named data networking. In *2016 IEEE/ACM 24th IWQoS*, pages 1–10.