

Análise da Eficiência de Nuvens Veiculares para o Processamento de Tarefas

Carlos A. P. de Souza¹, Ademar T. Akabane², Edmundo R. M. Madeira¹

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Cidade Universitária - Brasil

²Escola Politécnica – Pontifícia
Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), Brasil

carlossouza@lrc.ic.unicamp.br, ademar.akabane@puc-campinas.edu.br,
edmundo@ic.unicamp.br

Resumo. *O paradigma de Nuvens Veiculares está se destacando como uma área de pesquisa proeminente no contexto dos Sistemas de Transporte Inteligente (ITSs), devido à natureza dinâmica de sua topologia, que apresenta soluções que vão desde a otimização do gerenciamento de tráfego até o processamento de tarefas, fazendo uso dos recursos computacionais e o sistema de comunicação sem-fio disponíveis nos veículos. Vários trabalhos da literatura que exploram esse paradigma concentram-se na alocação de tarefas com o objetivo de otimizar a utilização dos recursos dos veículos, com apoio da infraestrutura viária, a fim de atender às requisições de maneira eficiente. No entanto, esses mesmos trabalhos deixam de realizar uma análise minuciosa das tarefas que foram finalizadas após a alocação em cada nuvem veicular, assim como a totalização das tarefas que não foram finalizadas, omitindo uma avaliação mais abrangente do desempenho do sistema. Com base nesta lacuna, este trabalho tem por objetivo investigar a viabilidade e a eficiência da nuvem veicular formada por veículos de 1-salto de comunicação, sem a necessidade de uma entidade centralizadora. Os resultados experimentais evidenciam que a solução proposta apresenta potencial como uma alternativa viável para o processamento de tarefas.*

Abstract. *The paradigm of Vehicular Clouds is emerging as a prominent research area within the context of Intelligent Transportation Systems (ITSs), due to the dynamic nature of their topology, which offers solutions ranging from traffic management optimization to task processing. This paradigm leverages the computational resources and wireless communication systems available in vehicles. Several works in the literature exploring this paradigm focus on task allocation to optimize vehicle resource utilization, with support from road infrastructure, to efficiently fulfill requests. However, these studies often fail to conduct a detailed analysis of tasks completed after allocation within each vehicular cloud, as well as the total number of tasks left unfinished, thereby omitting a comprehensive evaluation of the system performance. Addressing this gap, this study aims to investigate the feasibility and efficiency of vehicular clouds formed by single-hop communication vehicles, without the need for a centralizing entity. Experimental results indicate that the proposed solution demonstrates potential as a viable alternative for task processing.*

1. Introdução

Os Sistemas de Transporte Inteligente (ITSs) representam um conjunto abrangente de tecnologias e infraestruturas que integram comunicação, computação e sensoriamento para

aprimorar a eficiência, segurança e sustentabilidade do transporte urbano e rodoviário. Este campo tem despertado crescente interesse tanto na indústria quanto na academia devido à sua capacidade de oferecer soluções inovadoras para mitigar desafios enfrentados pelo sistema de transporte, como congestionamento do tráfego, poluição ambiental e acidentes rodoviários. Duas tecnologias-chave importantes para o sucesso dos ITSs que se pode destacar são: (i) computação em nuvem, que permite acesso sob demanda a recursos de computação via Internet, facilitando o armazenamento e processamento de grandes volumes de dados; e (ii) redes veiculares (VANETs), que permitem a comunicação entre veículos e infraestrutura, possibilitando a troca de informações em tempo real e o desenvolvimento de aplicações para melhorar a segurança e eficiência do transporte [Akabane et al. 2018b].

Um paradigma emergente que tem ganhado destaque é a computação em nuvem veicular (*Vehicular Cloud* - VC). Tal paradigma vem revolucionando por meio do fornecimento de serviços de rede ao incorporar as características das VANETs e da computação em nuvem [Sheikh et al. 2020, Wei et al. 2021]. No contexto de VCs, a alocação de tarefas tem sido amplamente explorada na literatura, visando otimizar a utilização dos recursos computacionais dos veículos e da infraestrutura de nuvem [Meneguetto et al. 2017, da Costa et al. 2020, Gong et al. 2023].

Alguns estudos sobre alocação de tarefas em VCs exploram o uso de unidades de infraestrutura viária (*Road Side Units* - RSUs) para centralizar e administrar os recursos das VCs. Isso visa otimizar o uso desses recursos combinados, de forma a atender o maior número possível de requisições no menor tempo possível [Meneguetto and Prado Marques 2022, da Costa et al. 2020, Meneguetto et al. 2017]. Além disso, sabe-se que, alocar e gerenciar recursos em uma VC, sem uma entidade centralizadora, é uma tarefa desafiadora. Dessa forma, outro conceito emergente é o da computação cooperativa, no qual os veículos compartilham recursos entre si para realizar uma determinada atividade, como o processamento de tarefas, sem depender de uma infraestrutura externa [Gong et al. 2023].

Vale destacar que os estudos da literatura concentram-se na melhoria da eficiência na utilização dos recursos, com o intuito de aumentar a taxa de alocação de tarefas em VCs com apoio de alguma infraestrutura. Além disso, tais estudos não contemplam a análise do número de tarefas concluídas após a alocação, nem a quantidade de tarefas que permaneceram inacabadas dentro de cada VC formada.

Com base nesse contexto, o objetivo deste trabalho é investigar a viabilidade e eficiência das VCs formadas exclusivamente por veículos de 1-salto de comunicação, sem a dependência de infraestrutura adicional, para o processamento de tarefas. Os resultados dos experimentos evidenciam que essas VCs formadas podem ser uma opção interessante para a realização de processamento de tarefas de maneira distribuída. Ademais, sua eficácia está diretamente ligada à estratégia empregada na escolha dos veículos para a alocação de tarefas.

O restante deste artigo é estruturado da seguinte forma: Na Seção 2 é descrita uma visão geral dos trabalhos existentes na literatura no contexto de formação de VCs e alocação de tarefas. Na Seção 3 é apresentada a solução proposta, enquanto na Seção 4 são apresentados os resultados e discussão. Por fim, na Seção 5 apresentam-se as considerações finais e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Hamed e Hasson propuseram uma nova abordagem em que utiliza-se as RSUs como líderes para a criação de VCs estáveis [Hamed and Hasson 2023]. As VCs são formadas com base na área de cobertura da RSU, em vista disso, os veículos que estiverem dentro da cobertura

de uma determinada RSU são considerados membros da VC (*Vehicular Cloud Member - VCM*). No entanto, os autores não consideram a sobreposição do raio de comunicação das RSU e nem a mobilidade dos veículos para determinar a qual VC eles devem se associar.

Da Costa *et al.* propuseram um mecanismo para formação de VCs denominado NEMESIS (mecaNismo basEado em previsão de Mobilidade para aprimorar a formação de nuvens veiculareS) [Costa et al. 2022]. O NEMESIS faz uso da infraestrutura de comunicação para realizar a predição da mobilidade dos veículos e assim eleger os mais estáveis na rede como líderes das VCs (*Vehicular Cloud Header - VCH*). Além disso, a formação da VC é realizada com base no raio de transmissão de Estações Base (*Base Stations - BS*) dispostas nas rodovias. Os autores também consideram a existência de um controlador que possui uma visão geral de todas as VCs e que consegue gerenciar os recursos disponíveis nelas.

Da Costa *et al.* propuseram um mecanismo para alocação de tarefas em VC chamado CRATOS (CombinatoRial optimization bAsed Task alloCation mechaniSm for VC). O CRATOS utiliza a teoria da Mochila para definir um conjunto ideal de tarefas para serem alocadas nas VCs disponíveis. Além disso, ele prioriza a alocação de tarefas em VCs que possuem o maior número de recursos disponíveis, a fim de maximizar o atendimento do maior número de tarefas no menor tempo possível. No entanto, o mecanismo proposto não otimiza o uso dos recursos disponíveis nas VCs.

Lieira *et al.* propuseram um mecanismo de otimização de tarefas em VC, baseado no algoritmo meta-heurístico *Gray Wolf Optimizer*, denominado TO-VEC [Lieira et al. 2021]. Este mecanismo tem por objetivo otimizar a utilização dos recursos disponíveis em uma VC, a fim de maximizar a alocação de tarefas. Para isso, o mecanismo defini dinamicamente qual a melhor VC para alocar uma determinada tarefa com base nos recursos necessários.

Com base nos trabalhos mencionados, é perceptível que os estudos existentes sobre alocação de tarefas em VC têm como foco primordial a maximização da alocação de tarefas para satisfazer o maior número possível de requisições, utilizando eficientemente os recursos disponíveis. Contudo, é importante ressaltar que há outras dimensões que ainda não foram abordadas por esses estudos e que é objeto de estudo desse trabalho. Destaca-se a investigação da viabilidade da adoção de VCs dinâmicas para o processamento de tarefas, visando compreender como a mobilidade dos veículos afeta a distribuição e execução das tarefas. Além disso, é essencial explorar a eficácia da conclusão do processamento de tarefas sob diferentes condições e estratégias de alocação, a fim de proporcionar uma visão abrangente sobre o desempenho e a utilidade prática das VCs em ambientes dinâmicos de rede.

3. Solução Proposta

Este trabalho tem como foco principal avaliar a eficácia das VCs compostas exclusivamente por veículos de 1-salto de comunicação na execução de tarefas, abordando tanto o sucesso quanto a incompletude das tarefas alocadas dentro das VCs. Para isso, essa seção foi dividida em subseções. A Subseção 3.1 descreve o que são VCs e como são formadas. Na Subseção 3.2 é descrito o conceito de redes egocêntricas e cálculo de CIE (Centralidade de Intermediação Egocêntrica). A problemática é descrita na Subseção 3.3. Enquanto, a Subseção 3.4 descreve a metodologia utilizada para o cálculo de CIE, a formação das VCs e a alocação das tarefas.

3.1. Nuvens Veiculares - VC

De acordo com [Mukhtaruzzaman and Atiquzzaman 2020], *Clustering* é um conceito importante e muito utilizado nas redes veiculares para a formação de VCs. Para a formação

de uma VC, diversos veículos juntam-se com base em características comuns para formar um grupo. Entre as estratégias propostas para a formação desses grupos, as baseadas em mobilidade são as mais comuns, por exemplos veículos deslocando na mesma direção e sentido. No entanto, alguns algoritmos de agrupamento em VANETs incorporam técnicas de aprendizado de máquina e lógica fuzzy para aumentar a estabilidade e eficiência dos grupos veiculares. Além disso, foram exploradas também estratégias de mobilidade de rede e baseadas em multi-saltos [Jabbar and Trabelsi 2022].

Uma VC pode ser formada com base nas seguintes métricas: (i) velocidade relativa média do veículo, (ii) aceleração, (iii) posição, (iv) direção, (v) densidade dos veículos, (vi) raio de transmissão, entre outras [Jabbar and Trabelsi 2022]. Essas métricas podem ser utilizadas de forma individual ou combinada para a formação da nuvem. Neste trabalho uma VC é formada com base no raio de transmissão. A Figura 1 ilustra um exemplo.

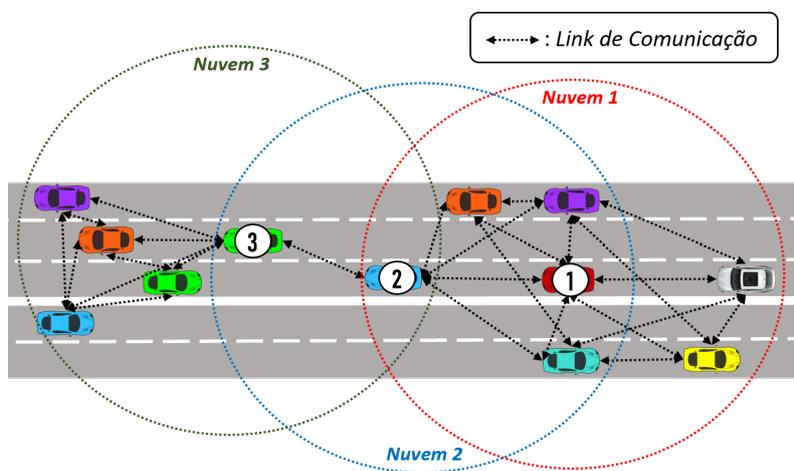


Figura 1. Exemplo de Nuvem Veicular.

Conforme os autores [Jabbar and Trabelsi 2022, Mukhtaruzzaman and Atiquzzaman 2020], independentemente da métrica utilizada, o líder desempenha um papel crucial na formação das VCs. Assim, os algoritmos de formação de VC têm um papel crucial na elaboração das VCs, além de identificar o veículo-líder mais adequado para o grupo com base em sua relevância, com o objetivo de otimizar a estabilidade da VC. Na Figura 1, os veículos identificados pelos rótulos 1, 2 e 3, respectivamente em vermelho, azul e verde, são designados como os líderes de cada VC.

3.2. Redes Egocêntricas

Antes de descrever a estratégia empregada na seleção do líder da VC, é essencial esclarecer o conceito de redes egocêntricas. As redes egocêntricas constituem uma sub-rede em que cada nó da rede se concentra em sua própria perspectiva e nos relacionamentos diretos com seus vizinhos imediatos, em vez de considerar a rede como um todo. Neste trabalho, uma rede egocêntrica é uma sub-rede local construída em torno de uma entidade específica, o nó “Ego”. As entidades nas quais o nó “Ego” estão conectados, direta ou indiretamente, são chamadas de “Alters”. A Figura 2 ilustra um exemplo de rede egocêntrica. Nela o nó “Ego” é representado por n (destacado na cor azul) e os nós de 1 a 6 (na cor verde) estão representando seus “Alters”.

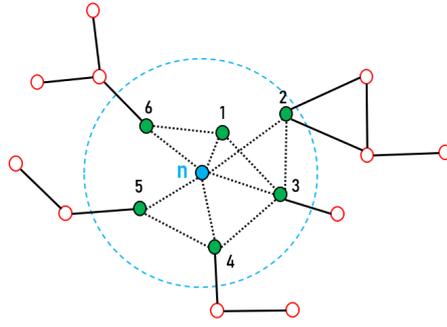


Figura 2. Exemplo de Rede Egocêntrica.

3.2.1. Centralidade de Intermediação Egocêntrica (CIE)

A CIE tem sido bastante explorada no contexto das VANETs [Mehdi et al. 2017, Akabane et al. 2018a, Akabane et al. 2020]. A vantagem da CIE reside no fato de que ela considera não apenas a importância dos nós em uma rede, mas também a sua capacidade de controlar o fluxo de informações entre outros nós. Isso é especialmente relevante em redes dinâmicas, como as VANETs, onde a comunicação eficiente entre os veículos é essencial [Akabane et al. 2018c]. Portanto, ao utilizar a CIE para selecionar líderes das VCs, é possível priorizar os nós que desempenham um papel significativo na facilitação da comunicação e coordenação dentro da rede, o que pode levar a uma melhor eficiência operacional e desempenho geral do sistema.

Antes de apresentar o cálculo de CIE, precisa-se definir formalmente uma rede egocêntrica. Neste estudo, adotaremos como definição de rede egocêntrica o conceito descrito pelos autores [Akabane et al. 2018a]: *Considere um grafo não direcionado $G = (V, E)$ no qual V corresponde um conjunto de vértices (v) ou nós, E corresponde um conjunto de arestas ou links (e , onde $e \in E \subseteq V \times V$ é identificado por um par de vértices). Já os vizinhos de um vértice v' é o conjunto de vértices $v' \in V$ atingíveis em r salto(s). Considere que N_n^r seja um conjunto de vértices atingíveis em r -salto a partir de ego (n), i.e., $N_n^r = \{v \in V \mid v' \neq n \wedge 1 \leq d(n, v') \leq r\}$, onde $d(n, v')$ denota 1-salto entre n e v' . Assim, 1ª-ordem do vértice n consiste de um grafo não direcionado $G = (V_n^1, E_n^1)$, onde o conjunto de vértices corresponde $V_n^1 = \{N_n^1 \cup n\}$ e o conjunto de arestas corresponde $E_n^1 = \{(i, j) \in E_n^1 \mid i, j \in V_n^1\}$.*

Com base nessa definição, podemos então representar uma rede egocêntrica utilizando uma matriz de adjacências simétrica ($A_{n,n}$), em que n representa o número de nós de 1-salto de comunicação. Cada elemento da matriz de adjacência $A_{i,j}$ será representado por 1 ou 0, no qual, 1 representa a existência de uma comunicação direta entre i e j , e 0 caso contrário.

De acordo com os autores [Everett and Borgatti 2005, Marsden 2002] o cálculo do valor de CIE pode ser realizado utilizando a expressão matemática $A^2[1 - A]_{i,j}$, no qual o 1 na expressão corresponde a uma matriz com todos os elementos iguais a 1, A representa a matriz de adjacência para um grafo G e $A^2_{i,j}$ contém o número de caminhos de comprimento 2 conectando i e j , quando $i \neq j$.

Por exemplo, seja B a matriz de adjacência simétrica do veículo 1, apresentado na Figura 3, precisamos considerar apenas as entradas zero acima da diagonal principal (entradas 1 não contribuem no cálculo de CIE), a fim de calcular o número de caminhos de comprimento 2 para essas entradas. Logo,

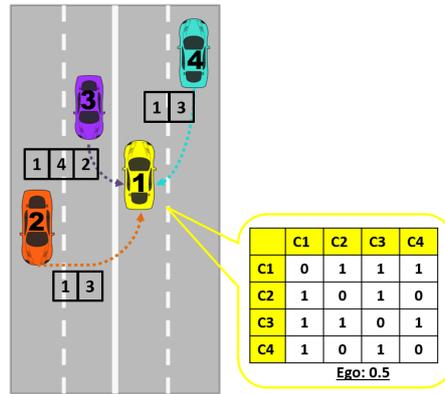


Figura 3. Exemplo ilustrativo do cálculo do valor ego para veículo 1.

$$A^2[1 - B]_{i,j} = \begin{bmatrix} * & * & * & * \\ * & * & * & 2 \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \end{bmatrix}$$

A pontuação de CIE do veículo 1 é simplesmente a soma dos recíprocos das entradas, ou seja, $\frac{1}{2} = 0,5$.

3.3. Definição do Problema

Após um processo de clusterização, baseado no conceito de Redes Egocêntricas (Subseção 3.2), houve a formação de VCs. Uma VC $v_j \in V = \{v_1, \dots, v_m\}$ é composta por veículos que podem compartilhar até 3 tipos de recursos computacionais: *i*) largura de banda, *ii*) processamento e/ou *iii*) armazenamento [Menegutte et al. 2019].

Considerando que os veículos em movimento têm a capacidade intrínseca de formar VCs dinâmicas, nos quais os recursos ociosos podem ser compartilhados entre os membros da nuvem para benefício mútuo, surge a necessidade premente de uma avaliação abrangente da viabilidade e eficiência dessas VCs no contexto das VANETs em relação ao processamento de tarefas. Tal avaliação é essencial para compreender o potencial das VCs em otimizar a utilização dos recursos disponíveis e melhorar a eficácia das operações em VANETs, contribuindo assim para uma maior eficiência e segurança no ambiente de transporte urbano.

3.4. Metodologia

Esta subseção apresenta a metodologia aplicada para avaliar a eficácia das VCs constituídas exclusivamente por veículos que se comunicam em um único salto na execução de tarefas, considerando tanto a conclusão bem-sucedida quanto a incompletude das tarefas alocadas dentro das VCs. Para uma melhor compreensão, esta seção foi organizada da seguinte maneira: Subsubseção 3.4.1 cálculo da centralidade de intermediação egocêntrica, Subsubseção 3.4.2 formação das VCs e Subsubseção 3.4.3 a alocação das tarefas.

3.4.1. Cálculo de Centralidade da Intermediação Egocêntrica (CIE) em VANETs

O Algoritmo 1 descreve a metodologia utilizada para o cálculo de CIE. Como entrada, o algoritmo recebe uma lista de todos os vizinhos que estão dentro do raio de comunicação -

a descoberta de vizinhança é feita utilizando os pacotes *beacon* trocados a cada 1s. Uma vez carregada a lista, o algoritmo itera sobre ela atualizando a matriz de adjacência - linhas 3 e 4. Após finalizar a atualização da matriz de adjacência, é realizado o cálculo do número de caminhos de tamanho 2 - linha 6. Em seguida, calcula-se a pontuação de CIE, linha 7. Como resultado o algoritmo gera a pontuação de CIE para o veículo com base em sua vizinhança atual. Esse processo é repetido apenas quando a topologia da rede ego é alterada.

Algoritmo 1: Cálculo Centralidade de Intermediação Egocêntrica (CIE)

Entrada: Lista de vizinhos (L) de cada veículo dentro do raio de comunicação
Resultado: Pontuação de CIE

```

1 início
2   L ← {l1, ..., ln}; // cada item da lista contém informações de um
   vizinho de 1-salto de comunicação
3   para li ∈ L faça
4     A = atualizaMatrixAdjacencia(li)
5   fim
6   W = A2[1 - A]; // Calcula o número de caminhos de comprimento
   2
7   CIE = calculaEgoBetweenness(W)
8 fim

```

Após a computação da CIE, os veículos vizinhos são capazes de identificar o veículo com a pontuação mais alta, uma vez que essa informação é disseminada na rede no momento em que o veículo transmite seu pacote de *beacon*. Além disso, o veículo também compartilha sua lista de vizinhos, permitindo que cada veículo tenha conhecimento dos outros veículos a uma distância superior a um salto de comunicação.

3.4.2. Formação de Nuvem Veicular (VC)

Uma vez calculada a pontuação de CIE, a formação de uma VC é bastante simples, como demonstra o Algoritmo 2, pois precisamos apenas verificar quem possui o maior valor de CIE entre os vizinhos de 1-salto, linhas de 3 a 8, e então o eleger como o líder da VC. Uma vez definido o líder da VC, os veículos a 1-salto dele serão definidos como membros. Em vista disso, precisamos apenas fornecer como entrada para o algoritmo a lista de vizinhos de 1-salto.

Algoritmo 2: Formação de Nuvem Veicular

Entrada: Lista de vizinhos (L) de 1-salto
Resultado: Nuvem Veicular (VC)

```

1 início
2   L ← {l1, ..., ln}; // cada item da lista contém informações de um
   vizinho de 1-salto de comunicação
3   para li ∈ L faça
4     se minhaPontuacaoCIE < pontuacaoCIE(li) então
5       | meuStatus = VCM;
6     senão
7       | meuStatus = VCH;
8     fim
9   fim
10 fim

```

3.4.3. Alocação de Tarefas

O Algoritmo 3 descreve a metodologia adotada para realizar a alocação de tarefas em uma VC. Como entrada, fornecemos uma lista de tarefas (T), a nuvem veicular (VC) e a estratégia de alocação (A). Foram definidos 2 (dois) tipos de estratégia de alocação, sendo: (i) menor distância dos membros para o líder; e (ii) aleatório. Se a estratégia utilizada for a menor distância, defini-se o A como *true*, para indicar que os membros da VC precisam ser ordenados (linhas 5 e 6), caso contrário, *false*. Uma vez definido o tipo de estratégia para alocação, itera-se a lista de tarefas na tentativa de vincular uma tarefa a um VCM (linhas de 8 a 10). Caso não hajam VCMs disponíveis para processar as tarefas, a tentativa de alocação é interrompida (linha 12).

Algoritmo 3: Alocação de Tarefas

Entrada: Conjunto de tarefas (T), nuvem veicular (VC) e estratégia de alocação (A).
Resultado: Lista R contendo as relações (t_i, v_i) .

```
1 início
2   T ← {1, ..., n}
3   VC ← {1, ..., m}
4   A ← {true ou false}; // menor distância ou aleatório
5   se A = true então
6     VC ← ordenaMenorDistancia(VC)
7   fim
8   enquanto T ≠ ∅ faça
9     se VC ≠ ∅ então
10      R ← (ti, vi); // Vincula a tarefa a um VCM
11    senão
12      break; // Não há VCM disponível para processar a tarefa
13    fim
14  fim
15 fim
```

4. Avaliação de Desempenho

Esta seção descreve o ambiente de simulação utilizado (Subseção 4.1), bem como os resultados obtidos (Subseção 4.2).

4.1. Ambiente de Simulação

Para a realização dos teste foi utilizado um segmento do trace de mobilidade da cidade de Erlangen - Alemanha, Figura 4. Os experimentos foram realizados utilizando o Simulador de Mobilidade Urbana - SUMO¹, na versão 0.32.0. O *framework* de código aberto Veins² na versão 5.2, para executar simulações de rede veicular, e o simulador de rede baseado em eventos, OMNet++³ na versão 6.0.1, pois permitem reproduzir as condições de rede com eficiência e são amplamente empregados na comunidade científica. A simulação foi executada durante 433 segundos e contou com até 500 veículos no cenário. O trajeto dos veículos foi realizado de modo aleatório, respeitando o sentido das vias. Além disso, eles possuíam um raio de comunicação de 150 metros.

Para avaliar a viabilidade e eficiência das VCs formadas quanto ao processamento de tarefas, realizou-se duas baterias de testes: *i*) alocando as tarefas aos membros aleatoriamente; e *ii*) alocando as tarefas aos membros que possuíam a menor distância em

¹<https://www.eclipse.org/sumo/>

²<https://veins.car2x.org/>

³<https://omnetpp.org/>

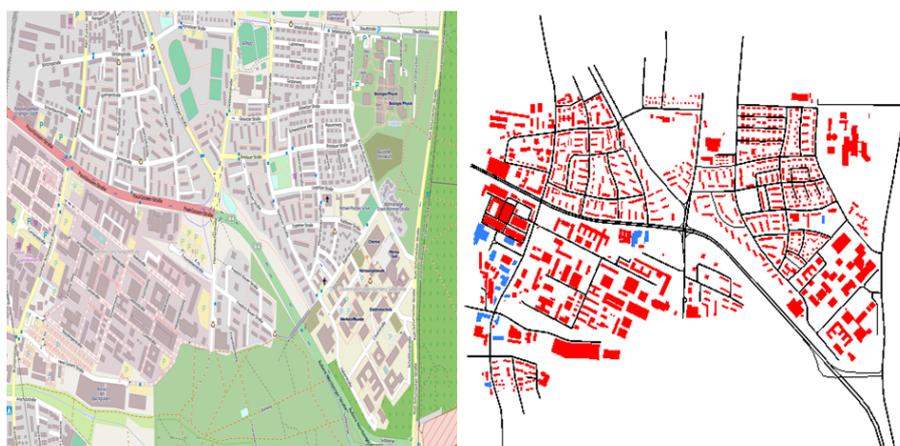


Figura 4. Segmento de mapa da cidade de Erlangen/Alemanha. A figura da esquerda foi importada do OSM e a da direita representa a topologia da estrada utilizada nas simulações.

relação ao líder. Cada conjunto de experimentos consistiu em oito séries, em que cada série compreendeu um conjunto de cinco tarefas com ID de 1 a 5, tempos de processamento variando entre 2s e 9s e sem restrições de recursos computacionais. As séries foram executadas nove vezes, com a quantidade de vizinhos alterada em cada execução, variando de 5 a 13 membros em cada VC.

4.2. Resultados dos Experimentos

As métricas utilizadas para avaliação foram: *i)* A quantidade de VCs que finalizaram e não finalizaram as tarefas alocadas; *ii)* A distribuição das VCs que não finalizaram as tarefas em relação ao total de tarefas não finalizadas, ou seja, quantas tarefas não foram finalizadas para a VC obter 100% de êxito. A tarefa é considerada como finalizada quando o processamento é finalizado e o VCM ainda é vizinho de 1-salto em relação ao VCH. Caso contrário, a tarefa é considerada como não finalizada.

A Figura 5 ilustra a relação entre o número de vizinhos por VC e o total VCs formadas nas simulações. Observa-se uma correlação direta entre a quantidade de VCs formadas e o número de membros, indicando que à medida que o número de participantes aumenta, há uma diminuição na quantidade de VCs formadas. Por outro lado, uma redução no número de participantes resulta em um aumento na quantidade de VCs, conforme previsto. Além disso, o total de veículos presente na simulação impacta diretamente na formação das VCs, pois a todo instante veículos iniciam ou finalizam seu trajeto, esses eventos podem causar estabilidade (variação de 9 para 10 vizinhos) ou oscilações (variação de 10 para 11 vizinhos) nos resultados.

A Figura 6 apresenta o comparativo individual, entre diferentes tempos de processamento e tamanhos de VCs, em relação às tarefas finalizadas. Com base na análise dos resultados é possível observar que, as VCs que receberam alocação de tarefas utilizando a menor distância em relação ao líder (linha azul), demonstram uma tendência a finalizar mais tarefas se comparado às VCs em que a alocação foi realizada de modo aleatório (linha laranja). Adicionalmente, foi observado que para os tempos de processamento usados nos experimentos não houve uma diferença significativa no número de VCs que finalizaram todas as tarefas. Também verificamos que à medida que o tamanho da VC aumenta ao longo do eixo x , há uma correlação positiva com o aumento do desempenho na conclusão de tarefas ao longo do eixo y . Isso sugere que, quanto maior o tamanho da VC, mais

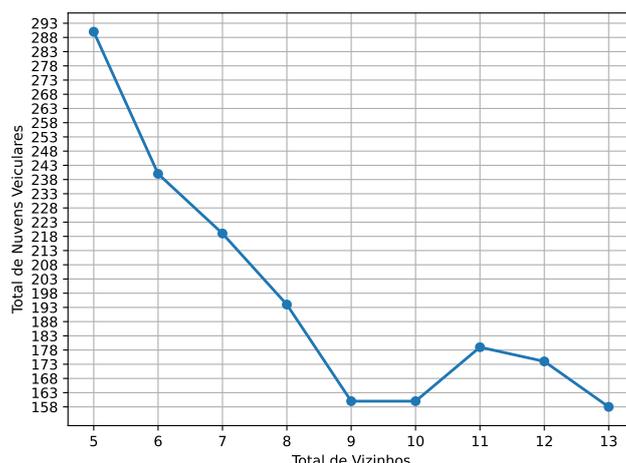


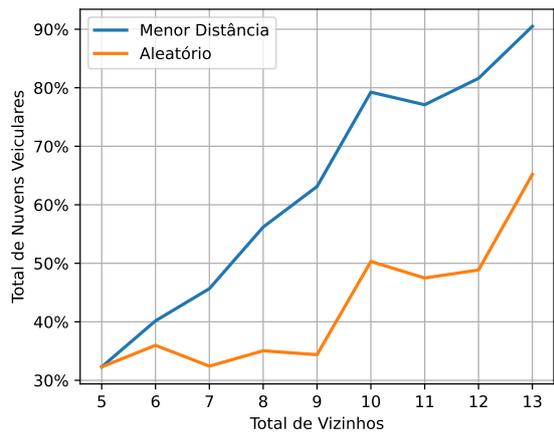
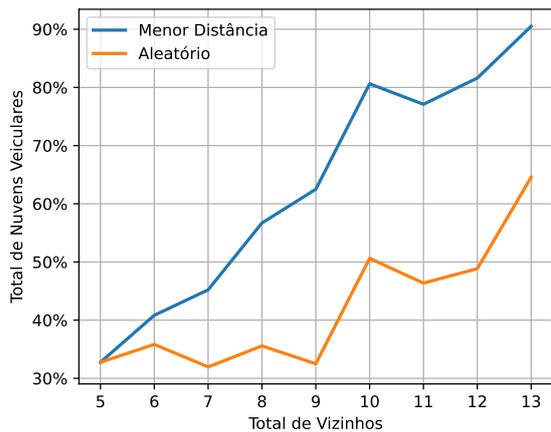
Figura 5. Número de VCs formadas em relação ao total de vizinhos.

estável será o núcleo, uma vez que, não ocorrerá a perda de comunicação frequente entre o VCH e os VCM. Conseqüentemente, este núcleo pode ser empregado para processar tarefas que exigem maior tempo de execução com maior eficiência, como ilustra a Figura 6(a) e Figura 6(d).

A Figura 7 apresenta o comparativo do total de VCs que não finalizaram o processamento de tarefas alocadas em relação ao número de vizinhos. Os resultados obtidos são reflexos da escolha da estratégia utilizada para realizar a locação de tarefas. Ao adotar uma estratégia de alocação, neste caso a menor distância em relação ao líder (linha azul), as taxas de tarefas não finalizadas sofreram redução significativas em relação às VCs em que a alocação foi realizada sem nem um tipo de controle (linha laranja).

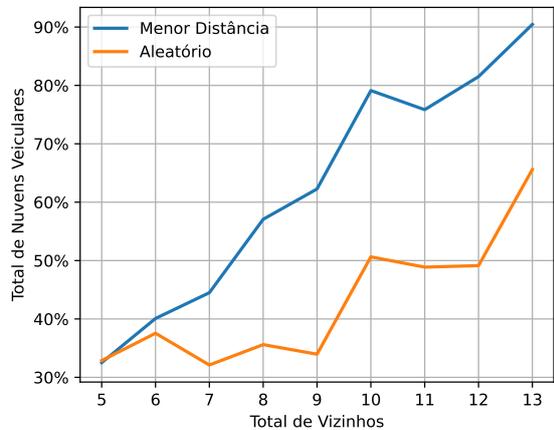
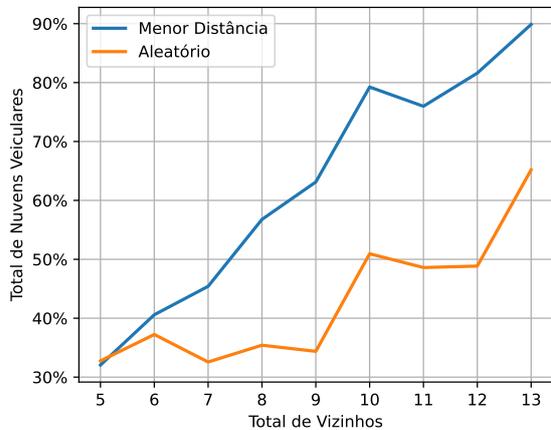
A Figura 8 apresenta o comparativo da distribuição das VCs, com diferente tempos de processamento e número de vizinhos, em relação às tarefas não finalizadas. Os resultados obtidos demonstram que dentre as VCs que não finalizaram todas as tarefas, não foi possível a finalização do processamento de 1 tarefa por cerca de 40% a 60% das VCs. As VCs que deixaram de finalizar 2 ou 3 tarefas foram de 10% a 30%. Além disso, de 10% a 20% das VCs deixaram de finalizar 4 tarefas, enquanto de 0% a 12% não finalizaram nem uma das tarefas alocadas. Diversos fatores impactam diretamente nesses resultados. Dentre eles, a alta dinamicidade das VANETs é a que possui maior influência. A alta mobilidade dos veículos faz com que a topologia da rede seja alterada constantemente, em vista disso, a perda de comunicação entre o VCH e os VCMs pode ocorrer frequentemente ou até mesmo pode ser interrompida permanentemente. Como estamos abordando VCs formadas a partir de veículos com comunicação de 1-salto, uma perda de comunicação entre VCH e VCM por mais de 2s (a troca de 2 pacotes *beacons*) é considerada como perda de comunicação permanentemente, em virtude disso, descarta-se a tarefa associada a ele.

A Figura 9 apresenta o comparativo da eficiência das VCs na finalização do processamento de tarefas com diferentes tempos de processamento e número de vizinhos. Os resultados demonstram que as VCs em que a alocação das tarefas foi realizada utilizando a menor distância em relação ao líder tendem a finalizar mais tarefas, mesmo que elas possuam tempos de processamento maiores, e seguem um comportamento de crescimento linear ao passo que o número de vizinhos aumentam, como apresenta a Figura 9(a). Por outro lado, este comportamento não foi observado nas VCs em que alocação das tarefas para processamento foram realizadas de forma aleatória. No entanto, observou-se que, ao alocar tarefas aleatoriamente em VCs que possuem pelo menos o dobro de vizinhos, em



(a) Tarefas finalizadas com tempo de processamento de 2s.

(b) Tarefas finalizadas com tempo de processamento de 4s.



(c) Tarefas finalizadas com tempo de processamento de 6s.

(d) Tarefas finalizadas com tempo de processamento de 8s.

Figura 6. Comparação entre total de VCs que finalizaram as tarefas alocadas utilizando a menor distância para o VCH e aleatoriamente.

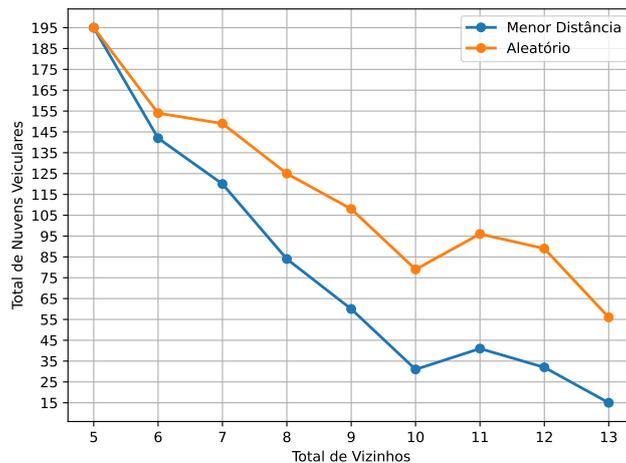
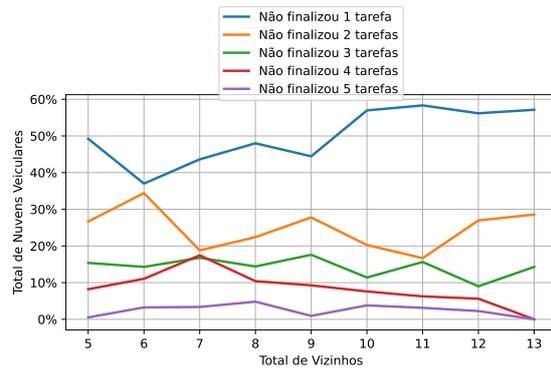
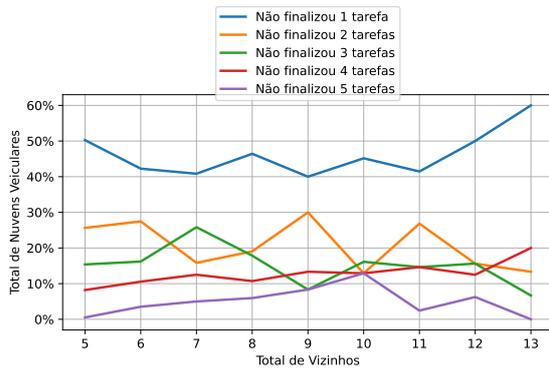
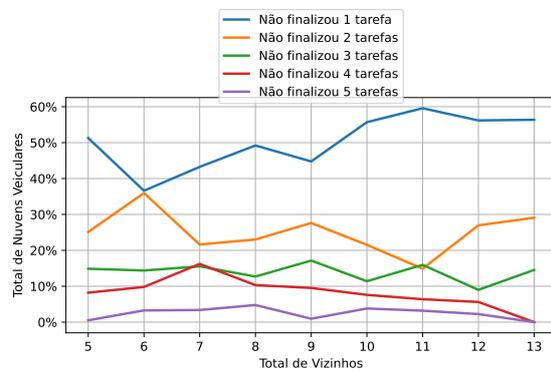
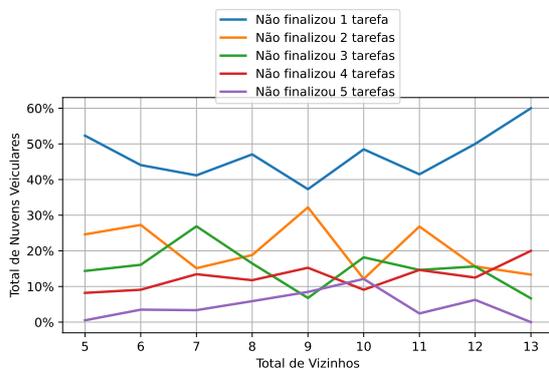


Figura 7. Comparativo do total de VCs que não finalizaram o processamento de tarefas.

relação ao total de tarefas que precisam ser processadas, houve um aumento na taxa de



(a) VCs que não finalizaram o processamento das tarefas com tempo de processamento de 2s, alocadas utilizando a menor distancia para o VCH. (b) VCs que não finalizaram o processamento das tarefas com tempo de processamento de 2s, alocadas aleatoriamente.



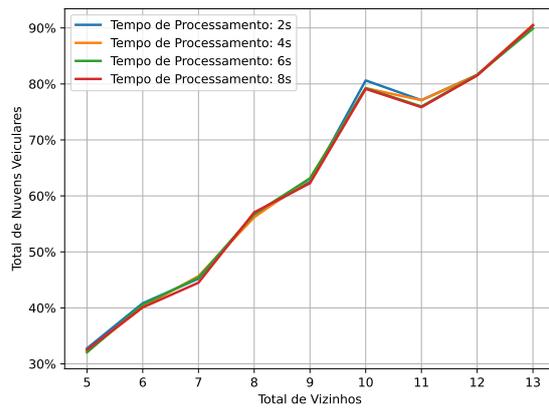
(c) VCs que não finalizaram o processamento das tarefas com tempo de processamento de 4s, alocadas utilizando a menor distancia para o VCH. (d) VCs que não finalizaram o processamento das tarefas com tempo de processamento de 4s, alocadas aleatoriamente.

Figura 8. Distribuição das VCs, com diferentes números de vizinhos, que não finalizaram o processamento das tarefas com diferentes tempo de processamento, alocadas utilizando a menor distância para o VCH e aleatoriamente.

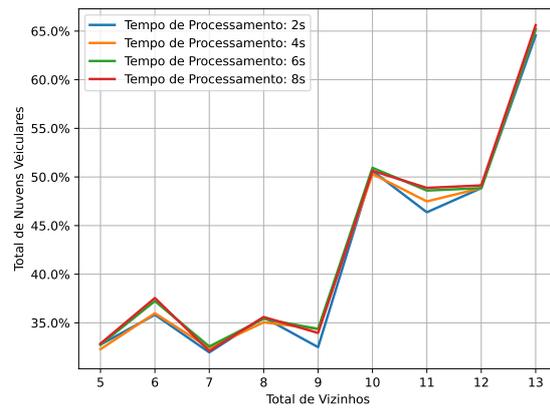
finalização das tarefas, como ilustra a Figura 9(b). Este comportamento esta diretamente relacionado a estabilidade da VC. Como descrito anteriormente, ao aumentar o tamanho da VC melhora-se a estabilidade do núcleo. Uma VC estável pode apresentar resultados satisfatórios no processamento de tarefas sem empregar uma estratégia de alocação. No entanto, ao utilizar uma estratégia que explore de modo mais eficiente a estabilidade da VC, cria-se um ambiente favorável à obtenção de taxas de finalização melhores.

5. Conclusão

Este estudo investigou a eficiência da utilização de VCs de 1-salto de comunicação no processamento de tarefas, empregando conceitos de redes egocêntricas e a métrica de Centralidade de Intermediação Egocêntrica para a seleção de líderes e membros das VCs, e demonstrou sua viabilidade. Experimentos realizados mostraram esta viabilidade para diferentes tempos de processamento. A alocação de tarefas foi realizada utilizando duas abordagens: (i) alocando tarefas aos membros das VCs mais próximos do líder e (ii) alocando tarefas de forma aleatória para os membros da nuvem. O resultados dessas estratégias de alocação de tarefas revelou que a abordagem de atribuir tarefas aos membros da nuvem mais próximos do líder resultou em taxas superiores de eficiência na conclusão das mesmas em comparação com a alocação aleatória de tarefas. Esses resultados fornecem *insights* valiosos para o desenvolvimento e implementação de estratégias eficazes



(a) Tarefas alocadas utilizando a menor distância dos VCM para o VCH.



(b) Tarefas alocadas aleatoriamente.

Figura 9. Comparativo da eficiência das VCs, com diferentes números de vizinhos, na finalização do processamento de tarefas com diferentes tempo de processamento, alocadas utilizando a menor distância para o VCH (Figura 9(a)) e aleatoriamente (Figura 9(b)).

de processamento de tarefas em ambientes de Redes Veiculares Ad-Hoc, destacando a importância da escolha cuidadosa das estratégias de alocação para otimizar o desempenho das VCs. Como trabalho futuro, pretendemos expandir a área de cobertura das nuvens para mais de 1-salto de comunicação e explorar outros mecanismos de alocação de tarefas. Vale destacar que a dificuldade no gerenciamento de VCs para além de 1-salto de comunicação reside principalmente na complexidade aumentada da comunicação e coordenação entre os veículos da nuvem. Isto é, à medida que a distância entre dos veículos aumenta, a latência da comunicação também aumenta, o que pode levar a atrasos e perdas de dados. Além disso, a mobilidade pode resultar em mudanças frequentes na topologia da rede, tornando desafiador manter atualizações precisas sobre a localização e o estado dos veículos.

Agradecimentos

Este trabalho faz parte do projeto INCT denominado Internet do Futuro para Cidades Inteligentes (CNPq 465446/2014-0, CAPES 88887.136422/2017-00 e FAPESP 2014/50937-1). Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 405498/2021-7) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- Akabane, A., Pazzi, R., Madeira, E., and Villas, L. (2018a). Sistema distribuído para gerenciamento de informação e distribuição de conhecimento em redes veiculares. In *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 740–753, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Akabane, A. T., Immich, R., Bittencourt, L. F., Madeira, E. R., and Villas, L. A. (2020). Towards a distributed and infrastructure-less vehicular traffic management system. *Computer Communications*, 151:306–319.
- Akabane, A. T., Immich, R., Madeira, E. R., and Villas, L. A. (2018b). imob: An intelligent urban mobility management system based on vehicular social networks. In *2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pages 1–8. IEEE.

- Akabane, A. T., Immich, R., Pazzi, R. W., Madeira, E. R., and Villas, L. A. (2018c). Distributed egocentric betweenness measure as a vehicle selection mechanism in vanets: A performance evaluation study. *Sensors*, 18(8):2731.
- Costa, J., Junior, W. L., Souza, A., Cerqueira, E., Rosário, D., and Villas, L. (2022). Nemesis: Mecanismo para formação de nuvens veiculares baseado em previsão de mobilidade. In *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 280–293, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- da Costa, J., Peixoto, M., Meneguette, R., Rosário, D., and Villas, L. (2020). Morfeu: Mecanismo baseado em otimização combinatória para alocação de tarefas em nuvens veiculares. In *Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 505–518, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Everett, M. and Borgatti, S. P. (2005). Ego network betweenness. *Social Networks*, 27(1):31–38.
- Gong, M., Yoo, Y., and Ahn, S. (2023). Vehicular cloud forming and task scheduling for energy-efficient cooperative computing. *IEEE Access*, 11:3858–3871.
- Hamed, N. A. and Hasson, S. T. (2023). A developed centralized stable clustering approach for vehicular networks. In *2023 IEEE 12th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, pages 867–872.
- Jabbar, M. K. and Trabelsi, H. (2022). A review on clustering in vanet: Algorithms, phases, and comparisons. In *2022 19th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, pages 444–451.
- Lieira, D. D., Quessada, M. S., da Costa, J. B. D., Cerqueira, E., Rosário, D., and Meneguette, R. I. (2021). Tovec: Task optimization mechanism for vehicular clouds using meta-heuristic technique. In *2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, pages 358–363.
- Marsden, P. V. (2002). Egocentric and sociocentric measures of network centrality. *Social Networks*, 24(4):407–422.
- Mehdi, M. M., Raza, I., and Hussain, S. A. (2017). A game theory based trust model for vehicular ad hoc networks (vanets). *Computer Networks*, 121:152–172.
- Meneguette, R. I., Boukerche, A., and Pimenta, A. H. M. (2019). Avarac: An availability-based resource allocation scheme for vehicular cloud. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10):3688–3699.
- Meneguette, R. I., Boukerche, A., Pimenta, A. H. M., and Meneguette, M. (2017). A resource allocation scheme based on semi-markov decision process for dynamic vehicular clouds. In *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6.
- Meneguette, R. I. and Prado Marques, H. A. (2022). A game theory-based vehicle cloud resource allocation mechanism. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação*, 20(2).
- Mukhtaruzzaman, M. and Atiquzzaman, M. (2020). Clustering in vehicular ad hoc network: Algorithms and challenges. *Computers & Electrical Engineering*, 88:106851.
- Sheikh, M. S., Liang, J., and Wang, W. (2020). Security and privacy in vehicular ad hoc network and vehicle cloud computing: a survey. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020:1–25.
- Wei, W., Yang, R., Gu, H., Zhao, W., Chen, C., and Wan, S. (2021). Multi-objective optimization for resource allocation in vehicular cloud computing networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(12):25536–25545.