

# Uma análise dos tempos limite para entrega de mensagens e para determinação de vizinhança em rede veiculares ad hoc

Cleber Brito Santos<sup>1</sup>, Aline Maria Santos Andrade<sup>1</sup>, Alirio Santos de Sá<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Sistemas Distribuídos (LaSiD),  
Instituto de Computação - Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Salvador – Bahia – Brasil

{cleber.brito , aline, aliriososa}@ufba.br

**Abstract.** *Communication between vehicles through ad hoc networks is a future trend that promotes safer traffic. In this approach, vehicles need to detect who their neighbors are in order to organize themselves into groups and act collaboratively, such as in the formation of platoons. However, vehicle mobility and communication channel failures can make it difficult to detect neighboring vehicles. With the aim of assisting VANET applications that manage multiple platoons, this study analyzes message delivery delays during the process of detecting the neighborhood of a network formed by platoons. These delays are treated as abstract time limits, called progress time bound. We present results from several experiments conducted to determine these progress time bounds and the influence that reliable and unreliable communication channels have on neighborhood detection.*

**Resumo.** *A comunicação entre veículos através de redes ad hoc é uma tendência futura que promove mais segurança no trânsito. Nesta abordagem os veículos precisam detectar quem são seus vizinhos para se organizarem em grupo e agirem de forma colaborativa, a exemplo da formação em pelotões. No entanto, a mobilidade dos veículos e as falhas no canal de comunicação podem dificultar a detecção da vizinhança dos veículos. Com o objetivo de auxiliar aplicações em VANET que gerenciam múltiplos pelotões, este trabalho analisa os atrasos nas entregas de mensagens durante o processo de detecção de vizinhança de uma rede formada por pelotões. Esses atrasos são tratados como limites abstratos de tempo, chamados de tempos limite de progresso. Apresentamos resultados de vários experimentos realizados para determinação desses tempos limite de progresso e a influência que o canal de comunicação confiável e não confiável exerce na detecção de vizinhança.*

## 1. Introdução

A questão de segurança no trânsito em grandes centros urbanos é um problema que motiva a pesquisa por tecnologias e soluções computacionais que minimizem os riscos decorrentes deste ambiente. Mais recentemente, a utilização de sensores e unidades de controle eletrônico têm tornado os veículos mais inteligentes e basicamente mais seguros para dirigir (DianGe et al. 2018). Como tendência para o futuro, considerando as inovações alcançadas no campo das tecnologias de rede e, particularmente, das comunicações móveis sem fio, tecnologias habilitadoras têm sido propostas a fim de

possibilitar a comunicação entre veículos (Ameen et al. 2020). Esse impacto modificará excepcionalmente como as pessoas dirigirão no futuro e como os sistemas de transporte serão utilizados.

As comunicações veiculares através de redes próprias não devem ser consideradas como meras transferências de dados básicos, uma vez que estas possibilitam novas oportunidades para melhorar a segurança no trânsito. As aplicações e vantagens potenciais das comunicações veiculares, especialmente aquelas capazes de aumentar a eficiência da direção e a segurança no trânsito, são diversas. Na verdade, o interesse por este assunto tem crescido bastante, recebendo uma notável atenção da comunidade científica durante os últimos anos (Lee e Atkison 2021, Ameen et al. 2020). Uma subcategoria dessas redes são as Redes Veiculares *Ad Hoc* (VANET, *Vehicular Ad hoc NETWORK*). Estas são compostas por um conjunto de dispositivos móveis (veículos), cada um atuando como um nó que se conecta automaticamente de forma arbitrária e opera sem uma administração de rede hierárquica estrita (Qureshi e Abdullah 2013).

Um problema que se configura na comunicação entre veículos é a detecção de vizinhança, ou seja, veículos precisam determinar quem são seus vizinhos para, por exemplo, se organizarem em grupo e agirem de uma forma colaborativa (Rajesh e Gnanasekar 2016). Uma organização bastante utilizada é a formação de veículos em pelotão. No pelotão é desejável que o maior número de veículos na vizinhança seja acomodado no mesmo grupo, a fim de possibilitar que veículos trafeguem em distâncias mais curtas, evitando colisões e variações bruscas de velocidade. Entretanto, se a quantidade de veículos aumenta demasiadamente, o controle das variações de velocidade destes pode se tornar ineficiente ou ineficaz (Amoozadeh et al. 2015, Peng et al. 2017), sendo necessário que o pelotão se subdivida em pelotões menores (sub-grupos). Do mesmo modo, pelotões devem ser unificados quando o número de veículos diminui consideravelmente.

Os desafios relacionados à detecção de vizinhança e comunicação entre pelotões não são triviais, devido a suposições de comunicação possíveis relacionados a detalhes de baixo nível, como por exemplo: se as transmissões simultâneas causam colisões; se colisões podem ser detectadas; se problemas relacionados à interferência na rede podem influenciar no processo de comunicação, entre outros. Neste trabalho determinamos tempos para as entregas de mensagens durante o processo de detecção de vizinhança com o objetivo de fornecer uma base para aplicações em VANET utilizarem no gerenciamento entre múltiplos pelotões. Abstraímos os detalhes de baixo nível e consideramos apenas os atrasos nas entregas de mensagens. Estes atrasos são tratados como limites abstratos de tempo, chamados de tempo limite de progresso (Cornejo, Viqar e Welch 2014).

Além da determinação dos tempos limite de progresso exploramos aspectos relacionados à detecção de vizinhança através de experimentos em que analisamos como esta detecção se comporta em canais confiáveis e não confiáveis, considerando cenários com probabilidade de perdas de mensagens e alta mobilidade dos veículos.

Para os experimentos, desenvolvemos um protocolo responsável pela detecção de veículos vizinhos, chamado PBCP (Protocolo Básico para Comunicação entre Pelotões), utilizado na comunicação entre pelotões de veículos. Optamos por desenvolver um protocolo que executasse operações básicas de envio e recebimento de mensagens, sem nos

preocuparmos com a implementação de soluções mais sofisticadas, para nos permitir focar no problema de análise de vizinhança.

Os experimentos são realizados através de três cenários, em que analisamos a comunicação entre líderes de pelotão em uma via. No primeiro cenário, variamos a quantidade de líderes para determinar os tempos limite de progresso. No segundo, variamos o período de envio de mensagens e o tamanho da mensagem para determinar os tempos limite de progresso. Observamos a influência que a variação nos tamanhos das mensagens, bem como o intervalo e a quantidade de nós/veículos em uma rede, podem causar no tempo limite de progresso e impactar no processo de detecção de vizinhança. No terceiro cenário, analisamos como a variação do tempo de espera para a detecção de vizinhança afeta a percepção em um canal de comunicação não confiável.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Seção 2 apresenta trabalhos relacionados, e é seguida pela definição de detecção de vizinhança em redes veiculares *ad hoc* na Seção 3. Os tempos limite para determinação de vizinhança entre veículos são analisados na Seção 4. A Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

A determinação de tempos limite de progresso em redes sem fio e que não possuem uma infraestrutura definida, tais como as redes veiculares *ad hoc*, são tratados em diferentes trabalhos na literatura. Alguns desses utilizam uma abstração da camada de acesso ao meio de comunicação para determinação desses limites (Ghaffari et al. 2014, Yu et al. 2021).

Em (Rajesh e Gnanasekar 2016), por exemplo, é apresentada uma solução de detecção de vizinhos para redes móveis em redes *ad hoc* que é implementada no topo de uma camada de acesso ao meio abstrata. A solução apresentada fornece tempos limite de progresso na entrega de mensagens, bem como no recebimento de confirmações. Contudo, não é considerada a possibilidade de nós pararem de transmitir ou receber mensagens em função, por exemplo, dos veículos ficarem fora do alcance uns dos outros e pararem de trocar mensagens entre si.

Mais recentemente, Yu et al. 2020 analisam o problema da comunicação em redes dinâmicas. O artigo discute alguns desafios relacionados a tais redes, que podem se manifestar de várias formas assim como nós que entram e saem da vizinhança e a mobilidade dos nós. O estudo considera que o canal de comunicação está sujeito à interferência durante o processo de comunicação em função das transmissões simultâneas geradas pelos nós. Ainda neste trabalho, aborda-se a influência que a dinamicidade exerce sobre os tempos limite de progresso durante o processo de eleição de líder. Em nosso estudo, também analisamos como a dinamicidade da rede afeta os tempos limite de progresso. Contudo, diferentemente do trabalho de Yu et al. 2020 que aplica sua análise na eleição de líder de grupo, nós avaliamos como esses limites afetam a capacidade dos líderes de pelotões em detectar sua vizinhança.

Em relação à camada de controle de acesso ao meio, muitos trabalhos abstraem os detalhes desta camada através da utilização de um simulador veicular padrão para se concentrar em problemas de mais alto nível (Ramanathan et al. 2018). Assim, a administração e ordenação no tráfego de mensagens, utilizadas para identificar se o canal está ocupado e para determinar o tempo de contenção associado, são realizadas por

simulador veicular. Simuladores veiculares como o VEINS obedecem aos padrões estabelecidos para a comunicação veicular (Haidari e Yetgin 2019). O nosso trabalho segue nesta linha.

Especialmente na comunicação entre grupos de veículos, como os pelotões, em que diferentes veículos seguem as orientações fornecidas por um líder, é necessário considerar a entrega de informações atualizadas e corretas sobre os vizinhos. No entanto, trabalhos como os de Ge, Xiao e Wu 2022, Jia et al. 2016, que abordam o desenvolvimento de estratégias para gerenciar as operações de unificação e subdivisão de pelotões, bem como a análise do espaçamento desejado entre os veículos que participam dos pelotões, não levam em conta esse problema crítico de comunicação. Isso pode comprometer a capacidade dos módulos de gerenciamento multipelotão, instalados em cada pelotão, de tomar decisões de forma descentralizada e confiável. Em nosso trabalho, por outro lado, desenvolvemos um mecanismo de detecção de vizinhança que permite ao líder de pelotão detectar outros vizinhos de pelotões com informações precisas e atualizadas. Isso é necessário porque as variações na mobilidade, os diferentes tempos limite de progresso e as alterações frequentes na conectividade podem levar a informações imprecisas sobre a visão de cada pelotão.

### 3. Detecção de vizinhança

Assumimos que um pelotão de veículos é formado por um líder e demais membros e que a detecção de vizinhança ocorre via troca de mensagens entre líderes de pelotões. Um pelotão  $A$ , vizinho de um pelotão  $B$ , é considerado detectado por  $B$  quando seus líderes entram em um acordo em relação às informações sobre as composições um do outro. As informações da composição de um pelotão formam o que chamamos de visão do líder deste pelotão. Uma visão é definida pela tupla  $visao = (lider, versao, membros)$ , em que  $lider$  é o identificador do líder,  $versao$  é um número inteiro que cresce monotonicamente toda vez que a visão é atualizada e  $membros$  indica a quantidade de veículos seguidores, incluindo o líder. A cada alteração da composição do pelotão, uma nova visão é instalada.

Dois diferentes tipos de vizinhanças são tratadas neste trabalho, a vizinhança estável e a instável. Uma vizinhança é considerada estável quando é possível identificar pares de líderes que possuem informações atualizadas um do outro. A vizinhança instável, no entanto, ocorre quando apenas um dos dois considera o outro como um vizinho detectado.

A detecção de vizinhança é feita através do protocolo básico para comunicação entre pelotões desenvolvido neste trabalho. Para tanto, periodicamente, o líder de cada pelotão compartilha a sua visão atual para os demais líderes em sua vizinhança – isto é, aqueles líderes com os quais pode se comunicar diretamente (em um único salto). Cada mensagem recebida por um líder é armazenada em um conjunto local de visões conhecidas, denominado *visoesConhecidas*. Nas trocas de mensagens entre líderes, cada um destes compartilha não apenas a sua visão atual, mas também o seu conjunto local de visões conhecidas e um carimbo de tempo informando quando a mensagem foi enviada. Desse modo representamos uma mensagem  $m$  por:  $m(idLider, visao, visoesConhecidas, carimboDeTempo)$ .

Na Figura 1 e na Figura 2, apresentamos um exemplo do processo de detecção de

vizinhança proposto neste trabalho com três grupos  $A$ ,  $B$  e  $C$ . Na representação, o tempo progride da esquerda para a direita e setas diagonais representam o envio de mensagens em difusão realizados pelos líderes de cada pelotão. A detecção de vizinhança ocorre dentro de um tempo limite de espera, conforme exemplificado nas figuras.

Durante o primeiro envio de mensagens (Figura 1), como nenhum líder possui qualquer informação sobre os demais da vizinhança, o conjunto de visões conhecidas está vazio. No segundo envio, ao encerrar o tempo limite de espera cada líder verifica se a sua visão está contida no conjunto de visões conhecidas dos líderes remetentes. Caso esteja, o pelotão ao qual o líder remetente pertence é considerado como um vizinho detectado pelo líder que recebeu a mensagem. No exemplo mostrado, todos os pelotões de veículos foram detectados como vizinhos.

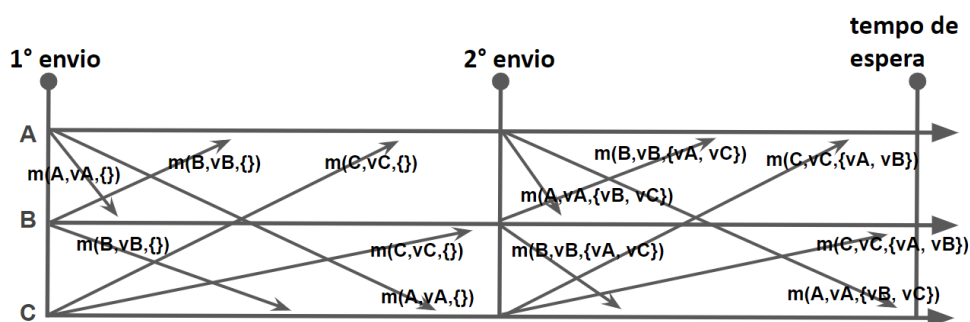


Figura 1. Detecção de vizinhança - Canal de comunicação sem perda de mensagens

A Figura 2 considera um cenário em que o canal de comunicação está sujeito a perda de mensagens. Após o terceiro envio algumas mensagens são perdidas, não alcançando todos os líderes de pelotão.

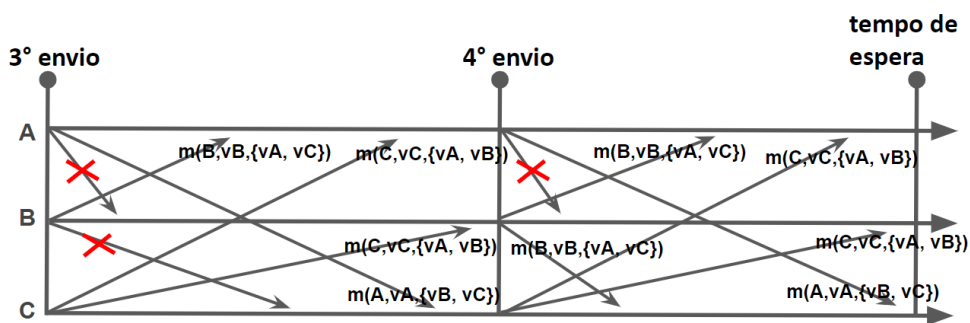


Figura 2. Detecção de vizinhança - Canal de comunicação com perda de mensagens

Assim, os líderes dos pelotões  $B$  e  $C$  não recebem as mensagens dos líderes  $A$  e  $B$ , respectivamente. Após o quarto envio, apenas o líder  $B$  não recebe mensagem do líder  $A$ . Ao final do tempo de espera, o líder  $C$  considera os grupos  $A$  e  $B$  como vizinhos detectados. Entre os líderes dos grupos  $A$  e  $B$ , apenas o líder  $A$  considera o grupo  $B$  como vizinho detectado. Como o conjunto de visões conhecidas nunca é apagado, sempre mantendo a última visão recebida de cada líder, mesmo que apenas uma única mensagem seja recebida, se esta contiver a visão do líder que recebeu a mensagem, o líder irá considerar o grupo ao qual o líder remetente faz parte como um vizinho detectado.

#### 4. Análise dos tempos limite para determinação de vizinhança entre pelotões de veículos

Os limites determinados neste trabalho estão relacionados ao tempo para que uma mensagem de um líder de pelotão seja recebida pelos demais líderes vizinhos. Além disso, queremos identificar a quantidade de pelotões vizinhos detectados em uma rede cujo o canal de comunicação pode ser confiável ou não – i.e., sujeito a perdas e atrasos de mensagens. Dado o comportamento imprevisível das redes veiculares *ad hoc*, em que é possível que mensagens trocadas entre veículos colidam indeterminadamente, impossibilitando que as mensagens sejam recebidas pelos destinatários, consideramos um comportamento probabilístico para as perdas de mensagens.

A determinação dos tempos limite de progresso é realizada através de simulação. Para simular a rede veicular, utilizamos o *framework* VEINS, *VEhIcular Network Simulation* (Sommer et al. 2019). O VEINS integra o SUMO (*Simulation of Urban MObility*) com o OMNET++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*) (Varga e Hornig 2010). SUMO é usado para simular a mobilidade dos veículos, enquanto que o OMNET++ é usado para simular a comunicação entre veículos.

Nas simulações, consideramos que os pelotões compartilham uma mesma rodovia e movimentam-se em uma mesma direção em diferentes velocidades, e que a comunicação entre líderes ocorre em um canal exclusivo, sem levar em conta a comunicação entre o líder de pelotão e os seus seguidores (Jia et al. 2016, Ren, Li e Yang 2009). Desta forma a competição pelo acesso ao meio por parte dos líderes não sofrerá nenhuma interferência dos demais veículos que compõem os pelotões.

Para determinar a quantidade de líderes nos experimentos e o período de entrega de mensagens, baseamo-nos nos trabalhos de Shakeel et al. 2015 e Amoozadeh et al. 2015. Esses estudos avaliam, respectivamente, a eficiência na entrega de mensagens periódicas em uma rede veicular *ad hoc* e a comunicação cooperativa entre pelotões de veículos. Shakeel et al. 2015 utiliza quatro veículos individuais para seus experimentos, sem variar a quantidade de veículos. No nosso trabalho, consideramos que a comunicação ocorre entre líderes de pelotões e variamos a quantidade de líderes de 2 a 30 para analisar como a variação influencia no tempo de entrega de mensagens aos destinatários. Para estabelecer a comunicação entre pelotões, o período de envio de mensagens periódicas é de 100 milissegundos, o mesmo utilizado por Amoozadeh et al. 2015.

Para as restrições dos tempos limite de progresso esperadas nos experimentos tomamos como base três aplicações para VANET que utilizam o método de envio periódico de mensagens. Os tempos limite de progresso mostrados na Tabela 1 são os valores típicos para estes tipos de aplicações (Nguyen et al. 2019). A primeira está relacionada à segurança (como alerta de ponto cego, detecção pré-colisão). Este tipo de aplicação requer mecanismos de transmissão confiáveis e rápidos e, portanto, cada veículo deve transmitir periodicamente suas informações como a posição, a velocidade e a aceleração. A segunda está relacionada aos serviços de gerenciamento de tráfego que consistem em gerenciamento de interseção, aviso de atraso, prevenção de congestionamentos rodoviários e controle de cruzamento adaptativo cooperativo. A terceira aplicação está relacionada aos serviços orientados ao usuário como anúncios e entretenimento para os usuários durante a viagem.

**Tabela 1. Requisitos de tempo relacionado ao envio de mensagem**

Aplicação	Atraso no envio de mensagem (ms)	Alcance da transmissão (m)
Aviso de colisão de cooperação	100	50 - 300
Gerenciamento de tráfego	1000 - 1500	300
Anúncio e entretenimento	500	0 - 90

Em relação às mensagens, a capacidade nominal de transmissão de  $6Mbps$  está de acordo com o padrão IEEE 802.11p (Almeida et al. 2018), que utilizamos neste trabalho. Dado o alto dinamismo da rede, consideramos cenários nos quais a taxa de perda de mensagens varia entre 10 e 90%. Para simplificação dos resultados as taxas com 0% e 100% não são mostradas. Sendo que 0% representa uma comunicação confiável, em que houve detecção de vizinhança de todos os líderes de pelotão vizinhos, e 100% indica que não houve detecção. O tempo de espera padrão é de 1000 milissegundos, o mesmo utilizado no trabalho de (Shakeel et al. 2015). Um tempo gerado aleatoriamente é adicionado ao tempo periódico de envio de mensagens para minimizar a probabilidade de dois ou mais líderes enviarem mensagens no mesmo instante de tempo. Cada experimento teve duração de 100 segundos, e os valores médios dos resultados foram representados com base na quantidade de mensagens enviadas ao longo desse período.

A configuração utilizada para construir o cenário de tráfego e o modelo de mobilidade no software SUMO considera que os veículos que compõem os pelotões trafegam em quatro faixas disponíveis, mantendo uma velocidade de 15m/s. Além disso, é estabelecido que a aceleração dos veículos durante o percurso é de  $2,6m/s^2$ , enquanto a desaceleração é de  $4,5m/s^2$ . Os pelotões trafegam em uma pista reta com quatro faixas, podendo utilizar qualquer uma delas.

As perdas de mensagens são simuladas no canal de comunicação. O critério para definir o sucesso (a perda de mensagens) e o fracasso (a entrega da mensagem ao destino) é definido a partir da distribuição de Bernoulli (Devore 2010). Nesta distribuição discreta de espaço amostral  $\{0, 1\}$ , a variável aleatória  $k$  tem valor 1 com a probabilidade de sucesso  $p$  e valor 0 com a probabilidade de falha  $q = 1 - p$  e a função de probabilidade  $f$  dessa distribuição é dada por:

$$f(k, p) = \begin{cases} p & \text{se } k = 1, \\ 1 - p & \text{se } k = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Nos experimentos realizados o valor de  $p$  varia entre 0.1 até 0.9.

#### **4.1. Experimentos utilizando o protocolo básico para comunicação entre pelotões**

Nesta seção analisamos algumas condições relacionadas à detecção de vizinhança através do PBCGP a partir de três cenários simulados com o *framework* VEINS. Consideramos em todos os cenários que os pelotões trafegam em uma mesma via e direção. Estes cenários consideram fatores que são determinantes para o estabelecimento de vizinhança entre pelotões.

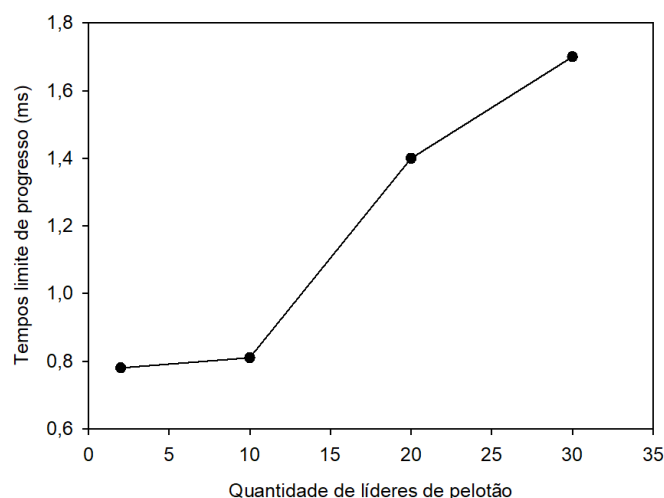
O cenário 1 tem como objetivo analisar como o tempo limite de progresso é afetado pela variação na quantidade de líderes de pelotão que trocam mensagens entre si. É considerado que o comprimento da mensagem de dados é de 512 bytes. Com isso, espera-se que os resultados obtidos permitam avaliar a capacidade de comunicação entre os líderes de pelotão em VANET com diferentes quantidades de pelotões. O cenário 2 analisa os tempos limite de progresso em função do período de envio de mensagens e do tamanho da mensagem trocadas através da comunicação entre líderes de pelotão. Os resultados poderão ser utilizados como referência para diferentes soluções aplicadas à comunicação entre veículos em uma rede *ad hoc*. No cenário 3 analisamos como a percepção da vizinhança, em um canal de comunicação não confiável, pode ser afetada pela variação do tempo de espera para a detecção de vizinhança. Esta informação é útil em situações em que o canal de comunicação está sujeito a altas taxas de perdas de mensagens, uma vez que é esperado que quando se aumenta o tempo limite de espera, a detecção de vizinhança se torne mais resistente a perdas de mensagens.

As restrições de tempo para cada cenário são mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2. Restrições de tempo relacionados à periodicidade no envio de mensagens e o tempo de espera .**

Cenário	Restrições de tempo (ms)	
	Período	Espera para detecção
1	100	1000 a 5000
2	10 a 500	1000
3	500	1000

**Cenário 1 - Determinação dos tempos limite de progresso em função da quantidade de líderes de pelotão em uma VANET.** Neste cenário analisamos como a quantidade de líderes de pelotão em uma VANET afeta o tempo limite de progresso na comunicação entre eles. Foram utilizados 2, 10, 20 e 30 líderes de pelotão, que trocam mensagens entre si com o objetivo de detectar sua vizinhança (Figura 3).



**Figura 3. Variação do tempo limite de progresso em relação à quantidade de líderes**

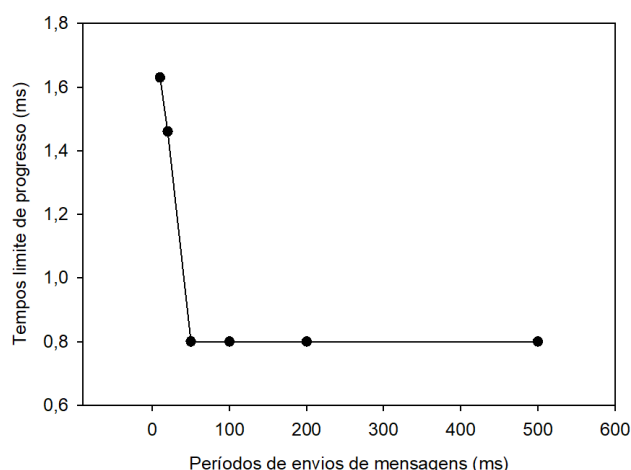


A frequência utilizada para troca de mensagens (período) é de 100 milissegundos. Os resultados são obtidos considerando que a rede é confiável, i. e., não perde mensagens.

Com base nos resultados obtidos com diferentes quantidades de líderes na via, trocando mensagens entre si observou-se que, à medida que o número de líderes de pelotão aumenta, o tempo limite de progresso também aumenta. No caso de uma rede com dois líderes, o tempo limite de progresso foi de apenas 0,78 milissegundos. No entanto, em redes com dez, vinte e trinta líderes, o tempo limite de progresso aumentou para 0,81, 1,40 e 1,70 milissegundos, respectivamente. Assim, na ausência de interferências que levem à perda de mensagens, os atrasos crescem com o número de pelotões, mas, ainda assim, se mantém dentro de limites que não comprometem a aplicação. Além disso, mesmo com o uso de uma abordagem simples de detecção de vizinhança os tempos crescem linearmente com o aumento do número de pelotões, mesmo quando 30 pelotões são considerados. Esse resultado é obtido por conta do uso de um canal de comunicação exclusivo entre líderes dos pelotões, evitando que as mensagens trocadas entre os veículos membros de cada pelotão interfira na comunicação entre os líderes.

**Cenário 2 - Determinação dos tempos limite de progresso em função do tamanho da mensagem e do período de envio.** Neste cenário, determinamos tempos limite de progresso para garantir que as mensagens enviadas entre os líderes de pelotão alcancem todos na vizinhança. Para isso, variamos o período e o tamanho das mensagens. Supomos que a rede é composta por 10 líderes de pelotão e que o canal de comunicação é confiável. Diferentemente do experimento realizado no cenário 1, em que consideramos um valor fixo do comprimento dos dados, consideramos que a mensagem pode conter outras informações. Portanto, variamos o tamanho das mensagens entre 1024 e 5012 bytes.

A Figura 4 mostra o primeiro resultado do experimento. Neste, variamos o período de envio de mensagem entre 10 e 500 milissegundos e fixamos o tamanho da mensagem em 512 bytes.

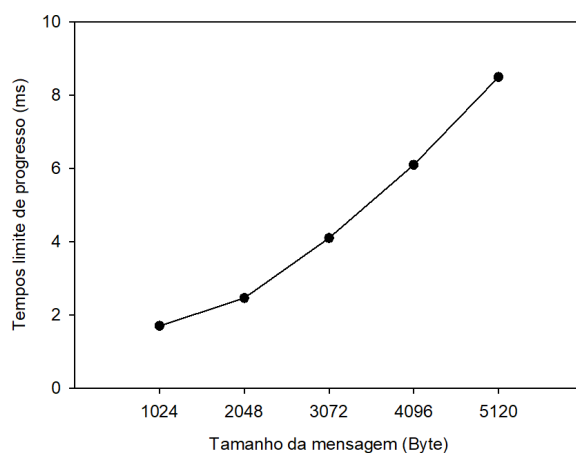


**Figura 4. Variação do tempo limite de progresso em relação ao período**

Para os períodos com intervalos mais curtos (10 e 20 milissegundos), que representam uma maior quantidade de mensagens enviadas, o tempo limite de progresso alcançou 1,63 e 1,46 milissegundos de atraso, respectivamente. Para períodos entre 50 e 500 milisse-

gundos, o tempo limite de progresso variou muito pouco. O efeito do aumento do número de mensagens enviadas pelos líderes é visível em termos do tempo limite de progresso. À medida que o período diminui maior é a quantidade de mensagens enviadas e maior é o tempo limite de progresso. Isso é causado pelo tempo de contenção do acesso ao canal. Conclui-se, portanto, que a frequência de envio de mensagens e o número de mensagens enviadas têm impacto direto no tempo limite de progresso, devendo ser considerados ao se planejar a disseminação de mensagens em uma rede veicular.

A Figura 5 apresenta o resultado do segundo experimento do cenário 2. Os valores das configurações com 9 líderes ou menos foram suprimidos para simplificar o gráfico, uma vez que apresentam resultados semelhantes à rede com 10 líderes. O objetivo é analisar como a variação do tamanho da mensagem afeta o tempo limite de progresso. O valor do período utilizado foi de 100 milissegundos.



**Figura 5. Variação do tempo limite de progresso em relação ao tamanho da mensagem.**

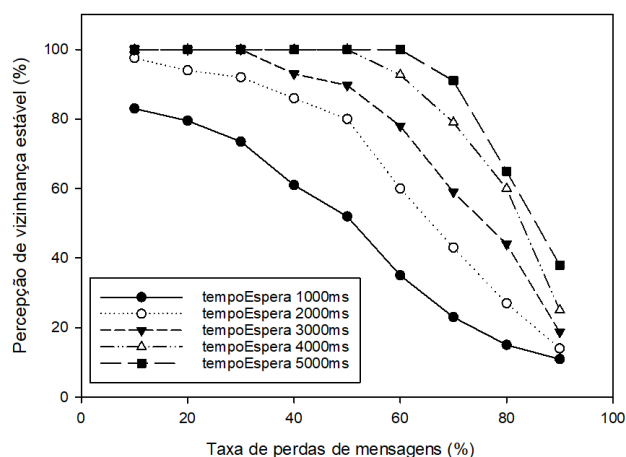
Observou-se que, a cada incremento no tamanho da mensagem em 1024 bytes, o tempo limite de progresso aumentou em um intervalo entre 1,7 e 8,5 milissegundos. A partir deste experimento, é possível chegar a duas conclusões importantes. Primeiramente, é importante ressaltar que o maior tempo limite de progresso alcançado foi de apenas cerca de 9 milissegundos, o que é muito menor do que o tempo máximo permitido para aplicações de aviso de colisão, que é de 100 milissegundos, conforme mostrado na Tabela 1. Esse fato é particularmente relevante, pois o aviso de colisão é uma aplicação muito sensível a atrasos de mensagens. Em segundo lugar, a partir da análise dos atrasos, é possível concluir que as mensagens de tamanho menor são mais adequadas para disseminações que requerem um tempo limite de progresso menor.

Os experimentos realizados no cenário 2 demonstraram que o tamanho da mensagem e o período exercem uma influência significativa no tempo limite de progresso. No cenário 1, em que o período foi de 100 milissegundos, mesmo com 30 líderes de pelotão trocando informações, o tempo limite de progresso não ultrapassou 1,70 milissegundos. No entanto, no cenário 2, em que a quantidade de veículos foi três vezes menor, à medida que reduzimos o valor do período ou aumentamos o tamanho das mensagens, observamos que o tempo limite de progresso mudou drasticamente. Foi alcançado um tempo limite de

progresso de 1,63 milissegundos, valor muito próximo do encontrado no cenário 1, em que utilizamos 30 veículos, para períodos no envio de mensagens de 10 milissegundos e 8,5 milissegundos para mensagens com tamanho de 5120 bytes.

**Cenário 3 - Determinando as vizinhanças detectadas em um canal de comunicação não confiável variando o tempo de espera com o período fixado.** Neste experimento identificamos como a variação do tempo de espera influencia na capacidade dos líderes detectarem sua vizinhança em uma canal sujeito a altas taxas de perdas de mensagens. Como desejamos que o canal de comunicação não sature em função da periodicidade no envio de mensagens fixamos o período em 500 milissegundos. Este foi o maior valor de período apresentado neste artigo. Para a definição da quantidade de líderes escolhemos 10. Decidimos por estes valores, pois, como mostrado no Cenário 2, para o período de 500 milissegundos nenhum tempo limite de progresso ultrapassou o tempo de espera para detecção de vizinhança em qualquer intervalo na quantidade de líderes testados.

Para tempos de espera de 1000 e 2000 milissegundos, em que são enviados 2 e 4 mensagens por cada líder respectivamente, a percepção de vizinhança estável apresenta um comportamento regular de queda à medida que a taxa de perdas de mensagens aumenta (Figura 6).

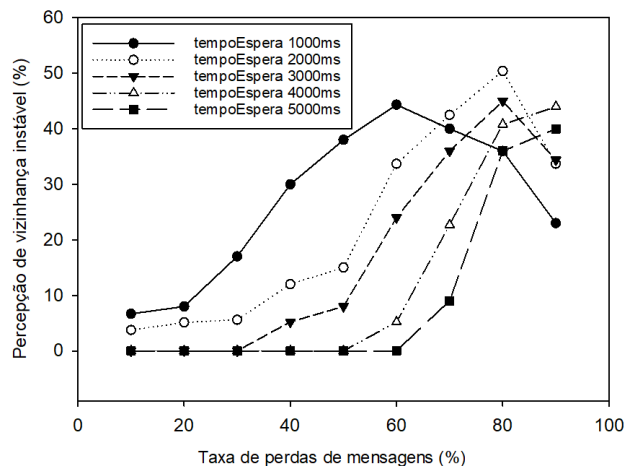


**Figura 6. Percepção de vizinhança estável em diferentes tempos de espera em um canal de comunicação não confiável.**

Nota-se, no entanto, que a resistência à perda de mensagens aumenta à medida que o tempo de espera cresce. Para o tempo de espera de 5000 milissegundos, por exemplo, em que são enviados 10 mensagens por cada líder, com até 60% de perdas de mensagens, é possível detectar 100% de vizinhança estável.

Com relação à percepção de vizinhança instável (ver Figura 7), foi observado que seu aumento está associado à variação na taxa de perda de mensagens no canal e no tempo de espera. Quando a taxa de perda de mensagens aumenta, há uma possibilidade maior de que apenas um líder tenha informações atualizadas do outro líder. Por exemplo, para um tempo de espera de 1000 milissegundos, a percepção de vizinhança instável aumenta até atingir cerca de 60% e, a partir desse ponto, começa a diminuir gradualmente. A percepção de vizinhança instável pode ser enganosa e não conter informações suficientes

para a tomada de decisões importantes, como a junção de dois pelotões. Isso porque é necessário que ambos possuam informações um do outro para que possa ocorrer a junção.



**Figura 7. Percepção de vizinhança instável em diferentes tempos de espera em um canal de comunicação não confiável.**

Para o tempo de espera de 1000 milissegundos, a percepção de vizinhança instável começa em 6, 67% e aumenta para 44, 33%, com taxas de perda de mensagens variando de 10% a 60%. Isso ocorre porque, com taxas de perda de mensagens acima de 70%, as chances de que pelo menos um líder detecte outro como vizinho diminuem devido à alta taxa de perda de mensagens. Outro ponto importante é que, ao compararmos os resultados dos experimentos no cenário 3 relacionados às percepções de vizinhança estáveis e instáveis (Figuras 6 e 7), notamos que, mesmo quando há apenas 10% de perda de mensagens no canal de comunicação, cerca de 12% das possíveis vizinhanças podem não ser detectadas.

Outra conclusão deste experimento é a influência que o tempo de espera impõe na capacidade dos líderes perceberem sua vizinhança. Até 60% de perdas de mensagens, o resultado para detecção de vizinhança instável é 0% para um tempo de espera de 5000 milissegundos. Isto se dá porque, na hipótese de dois líderes estarem trocando mensagens entre si e apenas uma única mensagem seja recebida por cada líder, se as mensagens contiverem as visões mais atuais dos líderes destinatários, ambos os líderes detectarão um ao outro, caracterizando uma vizinhança estável ao invés da detecção de vizinhança instável.

Podemos concluir que um tempo de espera adequado é fundamental para garantir a estabilidade da vizinhança dos líderes de pelotão em um canal sujeito a altas taxas de perda de mensagens. Com um tempo de espera de 5000 milissegundos, é possível evitar a detecção de vizinhança instável, mesmo em condições de perda de mensagens de até 60. Contudo, quanto maior for o tempo de espera maior será o tempo para que os líderes atualizem as informações dos seus vizinhos.

## 5. Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho poderão ser utilizados para apoiar o desenvolvimento de algoritmos de gerenciamento de múltiplos pelotões, utilizando como base os tempos

limite de progresso. Neste estudo, foram realizadas análises de tempos limite de progresso em redes *ad hoc* de pelotões, considerando a detecção de vizinhança estável e instável. Foram simulados dois cenários distintos para determinar os tempos limite de progresso com diferentes quantidades de líderes de pelotões e com diferentes períodos no envio de mensagens. Adicionalmente, foi simulado um terceiro cenário para determinar vizinhanças estáveis e instáveis através da utilização de canais de comunicação não confiáveis, sujeitos a perdas e atrasos de mensagens.

Como trabalho futuro, é interessante avaliar os tempos limite de progresso considerando o aumento do tamanho das mensagens para simular diferentes aplicações, como a troca de mensagens em ambientes de entretenimento, bem como avaliar o desempenho da comunicação entre veículos em ambientes sem distinção de canais entre líderes e membros comuns. Outros experimentos possíveis seriam avaliar os tempos limite de progresso levando em conta a segurança na comunicação, considerando seus custos adicionais. Essa avaliação pode envolver o estudo de técnicas de criptografia e autenticação para garantir a confidencialidade e integridade das mensagens trocadas entre os nós da rede.

## Referências

- Almeida et al. 2018 ALMEIDA, T. et al. Análise de desempenho do ieee 802.11 p: Simulações versus experimentos reais. In: SBC. *Anais Principais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. [S.l.], 2018.
- Ameen et al. 2020 AMEEN, H. A. et al. A review on vehicle to vehicle communication system applications. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, v. 18, n. 1, p. 188–198, 2020.
- Amoozadeh et al. 2015 AMOOZADEH, M. et al. Platoon management with cooperative adaptive cruise control enabled by vanet. *Vehicular communications*, Elsevier, v. 2, n. 2, p. 110–123, 2015.
- Cornejo, Viqar e Welch 2014 CORNEJO, A.; VIQAR, S.; WELCH, J. Reliable neighbor discovery for mobile ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, v. 12, p. 259–277, 2014. ISSN 1570-8705. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570870512001564>.
- Devore 2010 DEVORE, J. L. *Probabilidade e estatística para engenharia e ciências*. [S.l.]: Cengage Learning Edições Ltda., 2010.
- DianGe et al. 2018 DIANGE, Y. et al. Intelligent and connected vehicles: Current status and future perspectives. *Science China Technological Sciences*, Springer, v. 61, n. 10, p. 1446–1471, 2018.
- Ge, Xiao e Wu 2022 GE, X.; XIAO, S.; WU, Q. Scalable controller and topology co-design for automated vehicle platoons. In: IEEE. *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. [S.l.], 2022. p. 1479–1484.
- Ghaffari et al. 2014 GHAFFARI, M. et al. Multi-message broadcast with abstract mac layers and unreliable links. In: *Proceedings of the 2014 ACM symposium on Principles of distributed computing*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 56–65.

- Haidari e Yetgin 2019 Haidari, M. J.; Yetgin, Z. Veins based studies for vehicular ad hoc networks. In: *2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–7.
- Jia et al. 2016 Jia, D. et al. A survey on platoon-based vehicular cyber-physical systems. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 18, n. 1, p. 263–284, 2016.
- Lee e Atkison 2021 Lee, M.; Atkison, T. Vanet applications: Past, present, and future. *Vehicular Communications*, v. 28, p. 100310, 2021. ISSN 2214-2096. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214209620300814>.
- Nguyen et al. 2019 Nguyen, V. et al. Mac protocols with dynamic interval schemes for vanets. *Vehicular Communications*, Elsevier, v. 15, p. 40–62, 2019.
- Peng et al. 2017 Peng, H. et al. Performance analysis of IEEE 802.11p DCF for multiplooning communications with autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 66, n. 3, p. 2485–2498, 2017.
- Qureshi e Abdullah 2013 Qureshi, K.; Abdullah, H. Topology based routing protocols for vanet and their comparison with MANET. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, v. 58, n. 3, p. 707–715, 2013.
- Rajesh e Gnanasekar 2016 Rajesh, M.; Gnanasekar, J. M. Consistently neighbor detection for MANET. In: *2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–9.
- Ramanathan et al. 2018 Ramanathan, R. et al. An empirical study on MAC layer in IEEE 802.11 p/wave based vehicular ad hoc networks. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 143, p. 720–727, 2018.
- Ren, Li e Yang 2009 Ren, Z.; Li, W.; Yang, Q. Location verification for vanets routing. In: *2009 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 141–146.
- Shakeel et al. 2015 Shakeel, S. M. et al. Experimental evaluation of safety beacons dissemination in vanets. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 56, p. 618–623, 2015.
- Sommer et al. 2019 Sommer, C. et al. Veins: The open source vehicular network simulation framework. In: *Recent advances in network simulation*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 215–252.
- Varga e Hornig 2010 Varga, A.; Hornig, R. An overview of the OMNET++ simulation environment. In: *1st International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems*. [S.l.: s.n.], 2010.
- Yu et al. 2020 Yu, D. et al. Implementing the abstract MAC layer in dynamic networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, IEEE, v. 20, n. 5, p. 1832–1845, 2020.
- Yu et al. 2021 Yu, D. et al. An exact implementation of the abstract MAC layer via carrier sensing in dynamic networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, IEEE, v. 29, n. 3, p. 994–1007, 2021.