



O impacto na comunicação das redes veiculares em função de parâmetros escolhidos em ambiente de simulação realística

Tiago do Vale Saraiva

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Av. Pasteur, 458 - Urca - CEP 22.290-240 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
tiago.saraiva@uniriotec.br

Carlos A. V. Campos

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Av. Pasteur, 458 - Urca - CEP 22.290-240 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
beto@uniriotec.br

RESUMO

Sistemas Inteligentes de Transporte são um dos componentes para tornar as Cidades Inteligentes através dos quais tem se buscado melhorar os níveis de segurança, conforto e eficiência dos sistemas de transporte. As redes veiculares suportam a troca de mensagens, pelos veículos, das informações necessárias para o adequado funcionamento desses sistemas. Em razão da complexidade dessas redes de comunicação, uma técnica bastante utilizada para avaliar o seu desempenho é a simulação. Todavia, um problema da simulação envolve a escolha de parâmetros adequados para se alcançar resultados realísticos. Este trabalho trata do problema da simulação realística em redes veiculares, através da simulação de uma aplicação de disseminação de mensagens, onde são variados parâmetros tanto da simulação quanto da aplicação. A principal contribuição consiste na análise dos resultados obtidos em função dos parâmetros escolhidos e a constatação de que esses parâmetros devem ser adequadamente ajustados, para se obter resultados coerentes com a realidade.

PALAVRAS CHAVE. Simulação, Redes Veiculares, Cidades Inteligentes.

Tópicos (Simulação)

ABSTRACT

Intelligent Transportation Systems are one of the components to make Smart Cities through which they have sought to improve levels of safety, comfort and efficiency of transportation systems. Vehicular networks support the exchange of messages by vehicles with the information necessary for the proper functioning of these systems. Because of the complexity of these communication networks, a technique widely used to evaluate their performance is simulation. However, a simulation problem involves choosing appropriate parameters to achieve realistic results. This work deals with the problem of realistic simulation in vehicular networks, through the simulation of a message dissemination application, where various simulation and application parameters are varied. The main contribution consists in the analysis of the results obtained according to the chosen parameters and the finding that these parameters must be adjusted properly, to obtain results consistent with reality.

KEYWORDS. Simulation. Vehicular Networks. Smart Cities.

Paper topics (Simulation)



1. Introdução

Redes ad hoc são redes de comunicação onde os integrantes podem trocar informações entre si diretamente, independente de um elemento central responsável pelo encaminhamento das mensagens. As redes ad hoc veiculares (*Vehicular Ad Hoc Networks - VANETs*) são um caso especial das redes móveis ad hoc onde os veículos equipados com dispositivos sem fio podem criar redes de comunicação de dados enquanto se movimentam.

Um conceito intimamente ligado às cidades inteligentes é o da computação ubíqua ou pervasiva. Segundo [Vahdat-Nejad et al., 2016], trata-se de um cenário no qual os objetos do dia a dia têm habilidades de comunicação, armazenamento e processamento, fornecendo serviços para os usuários a qualquer momento e em qualquer lugar.

As VANETs podem ser utilizadas para impulsionar o uso dos Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transportation System - ITS*) [Saini et al., 2015] e prover infraestrutura de serviços de comunicação e automação para tornar as cidades inteligentes [Hagenauer et al., 2016]. Conforme [Cunha et al., 2016], avanços nas comunicações móveis e nos protocolos para VANETs irão possibilitar o surgimento de soluções arquiteturais para as redes veiculares, tanto em cenários de rodovias quanto em ambientes urbanos, de forma a suportar aplicações com diferentes requisitos. Isso permitirá o fornecimento de novos serviços de monitoramento de tráfego e segurança nas estradas e novas opções de conforto/entretenimento.

Para adoção adequada das VANETs, são necessários estudos dos diversos componentes dessas redes. Em razão da complexidade logística envolvida em experimentos reais com veículos, pesquisadores vêm recorrendo cada vez mais a estratégias de simulação.

O presente artigo tem por objetivo tratar o problema da representação realística, em ambiente simulado, das VANETs. Os simuladores utilizados têm papel fundamental, contudo, se os parâmetros aplicados não forem selecionados adequadamente, os resultados obtidos podem levar a conclusões em desacordo com a realidade ou até mesmo contraditórias. Dessa forma, a contribuição desse artigo consiste na análise dos resultados de simulações de uma aplicação de disseminação de mensagens executando nos veículos em uma VANET. São utilizados parâmetros de simulação realísticos e variados tanto os parâmetros da simulação quanto da aplicação e verificado o impacto nos resultados em função dessas alterações.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 apresentamos conceitos fundamentais de simulação e das VANETs. A Seção 3 descreve os trabalhos relacionados. Na Seção 4 constam os cenários avaliados, com os detalhes de implementação. Na Seção 5 estão os resultados obtidos nas simulações com a correspondente análise. Por fim, a conclusão e as possibilidades de trabalhos futuros finalizam o trabalho na Seção 6.

2. Fundamentação

A arquitetura de referência para VANETs é denominada WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environment*) e é definida pelos padrões IEEE 1609. O padrão IEEE 1609.4 prevê operações multicanal utilizando o padrão IEEE 802.11p na faixa de frequências de 5.9GHz, onde o espectro é dividido em 7 canais de 10MHz, sendo três de controle. Uma arquitetura de comunicação entre veículos para Europa é descrita na norma ETSI EN 302 665 [Sjoberg et al., 2017].

Dada a movimentação dos veículos, a topologia em uma rede VANET geralmente é bastante dinâmica, com desconexões frequentes e mobilidade limitada pelas vias de trânsito. A comunicação em uma VANET pode ser do tipo V2V (entre veículos), V2I (entre veículos e infraestrutura) ou Híbrida (combinação de V2V e V2I). Outras características gerais são a baixa largura de banda e a transmissão em curtas distâncias [Cunha et al., 2016].

Em cenários urbanos, a topologia de uma VANET pode ter centenas de veículos em uma região relativamente pequena. Neste caso, é necessário projetar protocolos para controle de acesso ao meio que trate especialmente de colisões, dada a alta probabilidade de ocorrência. Por outro lado, em cenários de vias expressas, a topologia é mais esparsa e a conectividade tem mais intermitência. Este segundo cenário sugere então a necessidade de protocolos tolerantes a desconexões.



Além disso, os veículos que viajam em ambos os cenários precisam adaptar seu comportamento às variações de densidade de rede para fornecer uma boa transferência de dados [Cunha et al., 2016].

Um dos grandes desafios para as pesquisas em VANETs é a complexidade logística para se alcançar resultados realísticos. Experimentos com veículos reais são caros e de difícil implementação. Alia-se a isso o fato de que não é fácil o acesso aos rádios de comunicação no padrão IEEE 802.11p. Em cenários tão complexos, uma solução muito utilizada é a simulação.

Em resumo, existem dois principais pontos a se considerar quando se opta pela estratégia de simulação em VANETs: o simulador de rede e o de mobilidade. Apesar das vantagens no uso dos simuladores, estes softwares precisam ser adequadamente ajustados, afim de que os cenários simulados sejam realísticos.

Existem diversas ferramentas que podem ser utilizadas para simular o comportamento de redes de comunicação. Todavia, a maioria dos simuladores existentes foram projetados para redes e tecnologias de comunicação sem fio tradicionais, não para VANETs. Os principais aspectos que precisam ser modelados e simulados são: Restrições de movimento (início e fim, topologias, faixas de trânsito, sinalização); Dinâmica do tráfego (densidade de veículos, direção, velocidade, mudança de faixa, pedestres, paradas); Cenários (acidentes, engarrafamento, violação de sinal, situações de emergência) e Canais de comunicação (força do canal, duração, nível de recepção, perda de pacotes, obstruções) [Saini et al., 2015].

Verifica-se que simuladores modernos de rede como NS-3 e OMNET++ estão sendo bastante utilizados em pesquisas com VANETs, visto que possibilitam o uso de traces reais de mobilidade, implementam o padrão IEEE 802.11p e imprimem realismo, inclusive nas características de propagação do sinal eletromagnético de comunicação por meio de modelos como *Two Ray Ground* e *Nakagami*. Outro simulador de rede muito utilizado é o NS-2, que tem uma longa trajetória no meio acadêmico. Todavia, comparado com o NS-2, o NS-3 modela a rede com maior precisão e tem mais funcionalidades, alcançando ainda melhores níveis de eficiência no uso de recursos computacionais [Ros et al., 2014].

Quanto a mobilidade, os traces disponíveis na literatura podem ser classificados em sintéticos ou reais [Celes et al., 2017]. Os traces sintéticos são construídos por ferramentas que consideram as características das cidades, como população, tipo de área (ex. residencial, industrial) entre outros aspectos. Alguns dos traces de mobilidade sintéticos mais conhecidos são de Colonia (Alemanha) e Zurich (Suíça). Devido a alta granularidade desses traces em termos de espaço e tempo, trazem grande realismo. No presente trabalho utilizamos o trace de Zurich.

Vale observar que traces sintéticos podem apresentar maior capacidade de representação do que traces reais (coletados de posições dos veículos, geralmente via GPS), visto que, a depender de como o trace real é gerado, podem ficar lacunas que levam a resultados equivocados [Celes et al., 2017].

Os modelos sintéticos podem ainda ser classificados em macroscópicos e microscópicos. Os primeiros tratam de modelar a densidade de tráfego, os fluxos e a distribuição inicial dos veículos. Já os microscópicos tratam da movimentação de cada veículo, sua localização, velocidade, aceleração e outros atributos do seu contexto, como as mudanças de faixa e os veículos ao redor, sendo esses os modelos mais realísticos [Ros et al., 2014].

Uma alternativa aos traces reais de mobilidade são os modelos probabilísticos. [Sanguesa et al., 2016] apresenta alguns modelos utilizados em VANETs, como o modelo *Random Waypoint - RWP*, muito utilizado no passado devido sua simplicidade, porém não é realístico (visto que os veículos não se movem aleatoriamente). Outros modelos probabilísticos são: *Constant Speed and Uniform Speed*, *Manhattan Model*, *Krauss Mobility Model* e *CA-Based Mobility Model*.

Até agora o foco prático em aplicações ITS foi no desenvolvimento de protocolos para apoiar a segurança do tráfego rodoviário, através da transmissão de mensagens com informações como velocidade, posição e direção dos veículos [Sjoberg et al., 2017]. O nome oficial do protocolo que envia estas mensagens de posição na Europa é CAM (*Cooperative Awareness Messages*), nos



Estados Unidos o equivalente são as mensagens básicas de segurança (*Basic Safety Messages - BSM*).

Existem ainda as mensagens DENM (*Decentralized Environmental Notification Messages*), que são mensagens desencadeadas por evento e que são transmitidas no caso de eventos específicos (ex. acidentes). Enquanto o evento for válido, as DENMs serão transmitidas ao lado das CAMs [Sjoberg et al., 2017].

[Sanguesa et al., 2016] classifica as aplicações de disseminação de mensagens BSM em “salto único” e “múltiplos saltos”, sendo que a diferença é que no segundo caso temos o encaminhamento das mensagens por nós intermediários. Implementações com “múltiplos saltos” são mais complexas, pois exigem um algoritmo de roteamento para as mensagens. Em contrapartida, a estratégia de “salto único” acaba sendo menos eficiente, em razão da menor amplitude de alcance.

Diferentes aplicações em VANETs têm variados requisitos, aplicações de encaminhamento de mensagens de colisão (*Forward Collision Warning System - FCWS*), por exemplo, necessitam de dispersão rápida de mensagens para veículos próximos, enquanto outras mensagens como de alertas de engarrafamento suportam maior latência [Carpenter, 2014].

3. Trabalhos relacionados

Existem diversos trabalhos acadêmicos tratando da questão de simulação em VANETs. Existem ainda surveys de aplicações publicados mais recentemente. Esses dois assuntos estão sendo amplamente discutidos na comunidade acadêmica, o que irá permitir em breve uma adoção generalizada de VANETs, inicialmente nos EUA, Europa e Japão, localidades onde já foram reservadas bandas do espectro eletromagnético. [Sjoberg et al., 2017] sugere que a adoção comercial na Europa pode se iniciar no ano de 2018.

[Stepanov e Rothermel, 2008] avalia via simulação no NS-2 o impacto de modelos de propagação realísticos em redes móveis Ad Hoc. [Yin et al., 2014] emprega métodos analíticos e faz uso do NS-2 para estudar os efeitos da operação multicanal em VANETs seguindo o padrão IEEE 1609.4.

[Bastani et al., 2016] avalia a performance de uma VANET utilizando um modelo de canal de transmissão baseado em medições empíricas, sendo utilizada simulação através do software OMNet++ com o tráfego gerado através do simulador de mobilidade SUMO. [Angeles et al., 2016] avaliou o impacto dos modelos de propagação de sinal eletromagnético em VANETs, considerando como métricas a Taxa de Entrega de Pacotes (*Packet Delivery Rate - PDR*) e o Delay Fim a Fim (*End-to-End Delay - E2ED*), utilizando também a combinação OMNet++ e SUMO.

Em [He et al., 2016] são utilizados dados reais da cidade de Shangai para avaliar a proposta de redução de atraso para disseminação de dados em VANETs. [Bonola et al., 2016] utilizou estratégia parecida, com a geração de traces reais, através da coleta de dados de mobilidade de 320 táxis durante um período de 6 meses na cidade de Roma, na Itália.

[Zarei e Rahmani, 2017] fez uma análise da mobilidade veicular em vias expressas com fluxo livre. Para tanto utilizou modelagem matemática e simulação através do software MATLAB. [Renda et al., 2016] demonstrou a importância da métrica do Tempo de Recepção entre Pacotes (*Packet Inter-Reception time - PIR*) em adição a PDR na avaliação de VANETs. Para tanto foram feitos experimentos reais com veículos equipados com rádios IEEE 802.11p gerando dados de localização via GPS em viagens pela Itália.

O presente trabalho se diferencia dos demais por abordar em conjunto dois aspectos fundamentais para adoção e estudo das VANETs: simulação e aplicações veiculares. Os trabalhos relacionados tratam desses assuntos de forma separada, sem avaliar os impactos nos resultados em função da variação na escolha dos parâmetros adotados na simulação. Neste estudo apresentamos ao leitor uma visão integrada do interrelacionamento entre os temas. Dessa forma, a principal contribuição desse artigo consiste nas análises dos resultados gerados em simulações realísticas, em função dos parâmetros modificados nas simulações de VANETs suportando uma aplicação de disseminação de mensagens.



4. Metodologia de avaliação

Nesta seção apresentaremos e descreveremos detalhadamente todos os componentes necessários para a realização da avaliação do impacto dos parâmetros de configuração da simulação na comunicação veicular de maneira realística, como: trace de mobilidade, modelos de propagação, aplicação de disseminação de mensagens de alerta e métricas de desempenho utilizadas.

O trace de mobilidade utilizado foi obtido através de um simulador de tráfego microscópico multi-agente, capaz de simular tráfego sobre regiões de mapas da Suíça com grande realismo e baseado em pessoas e seus movimentos em um período de 24 horas. Esse trace possui o tráfego de 99 veículos em um período de 300 segundos, em uma área aproximada de 4650m x 3000m e foi derivado do original que contém 260.000 veículos em uma área de 50 km x 260 km, apresentado em [Naumov et al., 2006]. O trace já foi gerado em um formato compatível para importação no ambiente de simulação do NS-3.

Na Figura 1 consta a localização e o mapa com as vias da região na Suíça de onde o trace de mobilidade foi extraído.

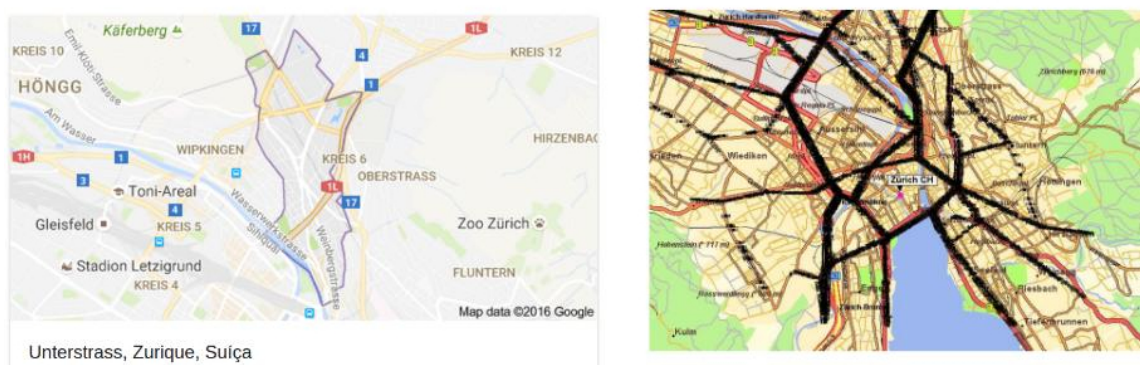


Figura 1: Região de onde o trace de mobilidade utilizado nesse trabalho, e apresentado em [Naumov et al., 2006], foi derivado

A VANET representada foi programada para que os veículos participassem de uma aplicação que envia mensagens BSM periodicamente em broadcast (para todos veículos em seu raio de alcance) via comunicação sem fio. Como já citado, essas mensagens em geral contém dados cinemáticos que podem suportar aplicações mais complexas, como por exemplo aquelas destinadas a detectar e evitar acidentes.

Para exemplificar, temos na Figura 2 uma representação onde constam veículos enviando mensagens BSM periódicas em broadcast. Com base nessas mensagens os veículos identificados como “Carro A” e “Carro D” poderiam evitar um acidente ao detectar que em razão de seus deslocamentos e velocidades podem entrar em colisão. A aplicação traz esse resultado em função dos dados coletados no próprio veículo e no contexto externo, através das mensagens BSM. Os equipamentos de rádio no padrão IEEE 802.11p, responsáveis por enviar e receber os sinais, ficam geralmente ligados a uma unidade de processamento interna ao veículo conhecida como OBU (*On Board Unit*).

Em uma aplicação BSM de detecção de acidentes/congestionamento, caso ocorresse uma colisão entre os carros no cruzamento apresentados na Figura 2, os veículos B e C poderiam reduzir suas velocidades automaticamente para evitar novos acidentes.

As simulações realizadas neste trabalho foram baseadas em [Carpenter et al., 2014], onde é apresentado um script para o simulador NS-3, que permite a avaliação de vários aspectos das VANETs em cenários realísticos. Promovemos alterações no script de forma a ajustá-lo ao escopo desse trabalho. Foi retirada a parte de roteamento e dos cálculos relacionados ao throughput da rede, além de reescritas algumas funções.

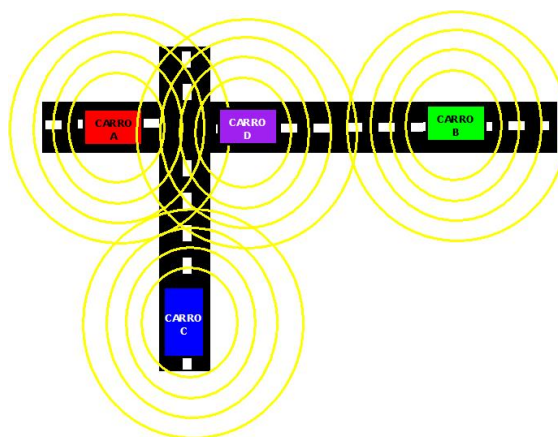


Figura 2: Cruzamento de vias urbanas em que pode-se fazer uso de uma VANET, com a troca de mensagens BSM, para evitar acidentes.

A métrica escolhida para verificar o comportamento da VANET nos cenários propostos foi a PDR, que é o percentual de mensagens entregues em relação ao que foi transmitido na rede.

Os parâmetros utilizados na simulação constam na Tabela 1. Esses parâmetros podem ser subdivididos em parâmetros da aplicação BSM e parâmetros da simulação. Mudanças em ambos irão gerar resultados diferentes nas métricas, todavia são independentes entre si. Os parâmetros de aplicação variados entre as simulações foram o Tamanho dos pacotes e o Intervalo de transmissão, enquanto o parâmetro de simulação variado foi o modelo de propagação do sinal de comunicação eletromagnético.

Tabela 1: Parâmetros utilizados nas simulações

Parâmetros	Valores
Distâncias avaliadas (PDRs)	50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 m
Quantidade veículos	99
Mobilidade	Trace realístico (Zurique/Suíça)
Modelos propagação	Two Ray Ground e Friis (+ Nakagami)
Frequência de comunicação	5.9GHz
Taxa de dados	6Mbps
Tamanho dos pacotes	100, 200 e 400 bytes
Intervalo de transmissão	100 ms, 1 e 10 s
Delay máximo de transmissão	10ms
Precisão GPS	40ns

Quanto aos modelos de propagação de sinal, em [Stepanov e Rothermel, 2008] é demonstrada a importância da adoção de modelagens que possam representar adequadamente os efeitos da propagação de ondas eletromagnéticas quando se está simulando redes móveis ad hoc.

No presente trabalho vamos avaliar o uso de dois modelos utilizados em comunicação outdoor, o Friis, conhecido como modelo de propagação no espaço livre e o modelo Two Ray Ground (TRG), o qual considera parte dos efeitos negativos da reflexão dos sinais eletromagnéticos.

Na Equação 1 temos o cálculo da potência recebida por um veículo, considerando o modelo Friis, onde P_r é o nível de potência que chega ao receptor (em Watts), P_t é o nível de potência transmitido e G_r e G_t são respectivamente os ganhos nas antenas de recepção e transmissão, enquanto λ é o comprimento de onda, L é a perda no sistema e d é a distância entre transmissor e receptor.



$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

Esse modelo considera apenas a distância entre origem e destino, a frequência (inversamente proporcional ao comprimento de onda) e os ganhos de transmissão e recepção.

Na Equação 2 consta a fórmula para o modelo TRG, o qual considera a altura das antenas entre transmissor e receptor, respectivamente h_t e h_r . Esse componente adicional da altura das antenas é necessário para o cálculo de parte dos efeitos negativos na potência do sinal em função da reflexão na terra.

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (2)$$

Na prática, o modelo TRG apresenta melhores resultados de predição para longas distâncias, sendo que o modelo Friis é mais indicado para curtas distâncias. Assim, recomenda-se usar como limiar um valor $dc = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda}$, onde os resultados são iguais. Com a operação dos veículos na frequência de 5,9 GHz e a altura de 1,5m das antenas, temos $dc \approx 556m$. Assim, até os 556m os efeitos percebidos são os mesmos, independente do modelo utilizado. Todavia, combinamos nesse trabalho o uso de cada modelo de propagação em conjunto com outro probabilístico (Nakagami), explicado a seguir, afim de imprimir ainda maior realismo.

Além desses modelos determinísticos, existem modelos probabilísticos que podem ser empregados na simulação e adicionam maior realismo e precisão, desde que sejam adequadamente ajustados, precedendo-se preferencialmente de medidas empíricas. Dentre os modelos probabilísticos podemos citar o *Log-Normal Shadowing* (LNS) e o *Nakagami* (NAK).

Os dois modelos determinísticos citados acima são utilizados separadamente nas simulações efetuadas, em combinação com o modelo Nakagami, de forma que se possa observar as diferenças de resultado em função da adoção de cada opção. Com o modelo Nakagami, imprimimos maior realismo nos dados obtidos, através dos efeitos de desvanecimento pelos múltiplos caminhos percorridos pelas ondas eletromagnéticas. Deixamos os parâmetros do modelo Nakagami default. Conforme citado em [Yin et al., 2014], o parâmetro de forma m do modelo Nakagami é aproximadamente 3 para valores onde a distância d entre transmissor e receptor é menor que 50 metros, 1,5 para distâncias entre 50 e 150 metros e 1 para distâncias maiores que 150 metros.

Neste trabalho, ranges PDR são valores que determinam uma distância para o cálculo do PDR (*Packet Delivery Rate*). Por exemplo, se o PDR em um determinado cenário foi de 0,8 (80%) para um range de 200m, isso significa que 80% das mensagens transmitidas pelos veículos foram recebidas em uma distância de até 200 metros dos transmissores.

Na Equação 3 é apresentada a fórmula da PDR, onde QP_r é a quantidade de pacotes recebidos em uma determinada área e QP_t é a quantidade de pacotes transmitidos.

$$PDR = \frac{QP_r}{QP_t} \quad (3)$$

Para a apresentação dos resultados na próxima seção, foram gerados gráficos com varias linhas de cores diferentes, sendo que cada uma refere-se a um valor de range de PDR, sendo o menor PDR 50m (verde escuro) e o maior 500m (dourado). Para esses gráficos, foi calculada a PDR acumulada a cada segundo de simulação. Conforme a Equação 4, a PDR em um momento t_1 qualquer durante o período da simulação será o somatório de todos os pacotes recebidos em determinada distância, divididos pela soma de todos os pacotes transmitidos.

$$PDR(t_1) = \frac{\sum_{t=0}^{t_1} QP_r}{\sum_{t=0}^{t_1} QP_t} \quad (4)$$



Consolidamos os dados de simulação para cada um dos 10 ranges de PDR em um gráfico de frequência relativa das PDRs com os valores de PDR acumulados a cada segundo (300 valores) com a configuração de cada cenário específico.

Para avaliarmos a aplicação de maneira realística foi variado o tamanho dos pacotes transmitidos pela aplicação BSM, visto que diferentes aplicações podem precisar de diferentes tamanhos de pacotes para transmitir as informações necessárias para seu funcionamento. Outro parâmetro intrínseco da aplicação que foi variado nas simulações foi o intervalo de transmissão entre os sucessivos pacotes gerados e enviados em broadcast pela aplicação BSM rodando em cada veículo.

5. Resultados obtidos

Os primeiros resultados apresentados dizem respeito ao tamanho dos pacotes de dados gerados pela aplicação BSM. Foram utilizados os valores de 100, 200 e 400 bytes com os modelos de propagação TRG e Friss e o intervalo de transmissão entre pacotes de 1s. Os resultados constam nas Figuras 3 e 4. Apesar de cada rodada de simulação ter 300s de duração, os gráficos da figura 3 vão somente até 150s, por considerarmos esse tempo mais adequado para mostrar os resultados obtidos para o tamanho de pacotes, visto que a partir desse momento não temos mudanças significativas nas PDRs.

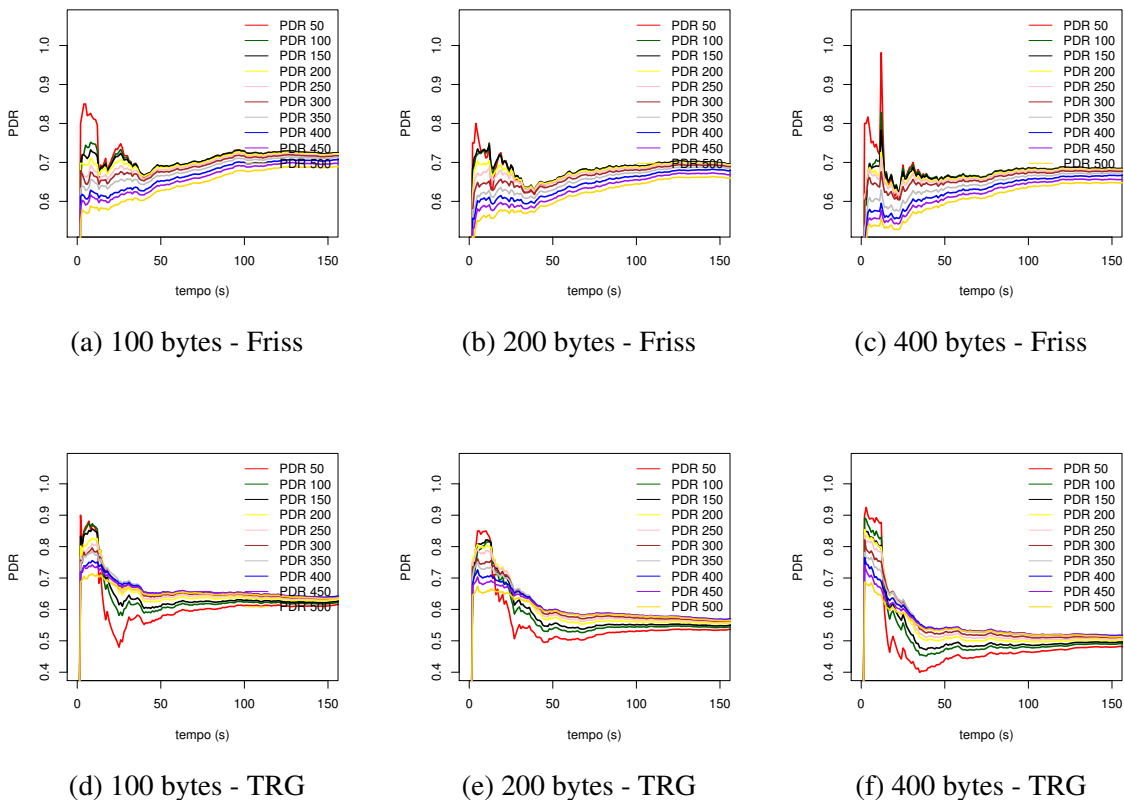


Figura 3: Resultados da PDR variando o tamanho dos pacotes entre para os modelos Friss e TRG

Podemos observar que para ambos os modelos de propagação, quanto maior o tamanho dos pacotes menores são os valores de PDR. Isso está coerente com a teoria, visto que pacotes maiores aumentam a probabilidade de colisões entre os sinais transmitidos pelos veículos e, conseqüentemente, resultam em menores PDRs. O efeito da queda da PDR em função do tamanho dos pacotes é bem mais evidente quando utilizado o modelo TRG.



Pela análise do gráfico da Figura 4, que apresenta as frequências relativas, é possível chegarmos as mesmas conclusões. Observa-se que os valores de PDR acumulados calculados para os tamanhos de pacotes entre 100 e 400 bytes estão em sua significativa maioria entre 60% e 80% de PDR para o modelo de propagação Friis e entre 40% e 70% de PDR para o modelo de propagação TRG. Esses resultados também estão coerentes com a teoria, visto que os menores valores para o modelo TRG devem-se ao fato de esse modelo considerar os efeitos negativos da reflexão dos sinais.

Assim, como exemplo de como poderíamos chegar a uma conclusão contraditória para esse tipo de cenário, temos que, considerando os demais parâmetros fixos, se for estabelecido que a PDR não pode ser inferior a 50% para o funcionamento adequado da aplicação transmitindo pacotes de 400 bytes, os resultados seriam positivos, considerando o modelo Friis, ou negativos, considerando o TRG.

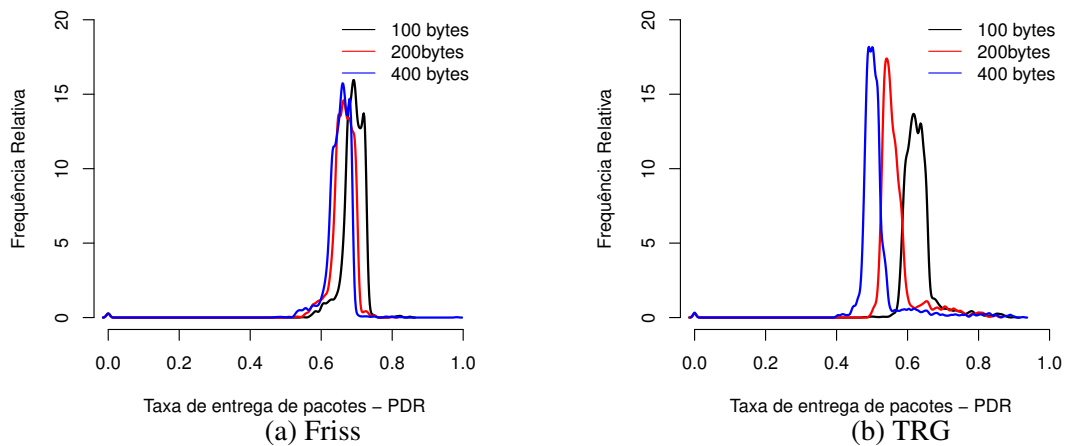


Figura 4: Frequências relativas em função do tamanho dos pacotes e dos modelos de propagação.

Quanto ao intervalo de transmissão entre os pacotes, foram utilizados os valores de 100ms, 1s e 10s e também os modelos de propagação TRG e Friis. Nesses casos consideramos o tamanho dos pacotes fixo em 200 bytes. Os resultados constam nas Figuras 5 e 6.

Nota-se que as alterações não causaram impacto significativo na PDR. O gráfico da Figura 6 com as frequências relativas reforça essa constatação. Menores valores para o intervalo de transmissão aumentam o tempo em que os veículos estão com seus rádios ocupando o espectro eletromagnético transmitindo mensagens e, conseqüentemente, ocorre o aumento na probabilidade de colisão, resultando em menores PDRs. Todavia, visto que a PDR acumulada é calculada a cada segundo, e a velocidade dos veículos é compatível com ambientes urbanos, modificações no intervalo de transmissão menores que 1s não causam mudança significativa.

Vale observar que $\forall t_1 = (t_0 + dt) \rightarrow PDR(t_1) \neq PDR(t_2)$ com $0 < t_2 < 300$ e $t_2 \neq t_1$, sendo t_0 o início da transmissão de mensagens BSM entre os veículos, t_1 um momento no futuro durante o período de simulação dt segundos depois, $PDR(t_1)$ a PDR no momento t_1 e t_2 um outro momento na simulação diferente de t_1 . Isso porque a probabilidade de colisão em qualquer momento da simulação tende a ser sempre diferente, visto que os veículos estão se movimentando. Por isso a leve diferença no formato dos gráficos.

Importante ressaltar que em razão dos componentes aleatórios inerentes a simulação, como delay para transmissão dos rádios ou ainda a precisão no sincronismo de cada transmissor, embora a simulação aconteça com os veículos transmitindo com a mesma frequência e todos



comecem virtualmente no mesmo momento, as transmissões não são exatamente simultâneas. Foi configurado um delay de transmissão máxima para os rádios de $10ms$ e a precisão do GPS de $40ns$. Esses são parâmetros importantes que devem ser levados em conta para a correta interpretação dos dados.

Podemos observar também pelo gráfico da Figura 6 que para um intervalo de transmissão de $10s$ existe uma probabilidade um pouco maior da PDR ser acima de 60% , em relação aos demais intervalos, para o modelo TRG, sendo que a maioria absoluta das PDRs está entre 50% e 60% . Já para o modelo Friis, os valores ficaram entre 60% e 70% .

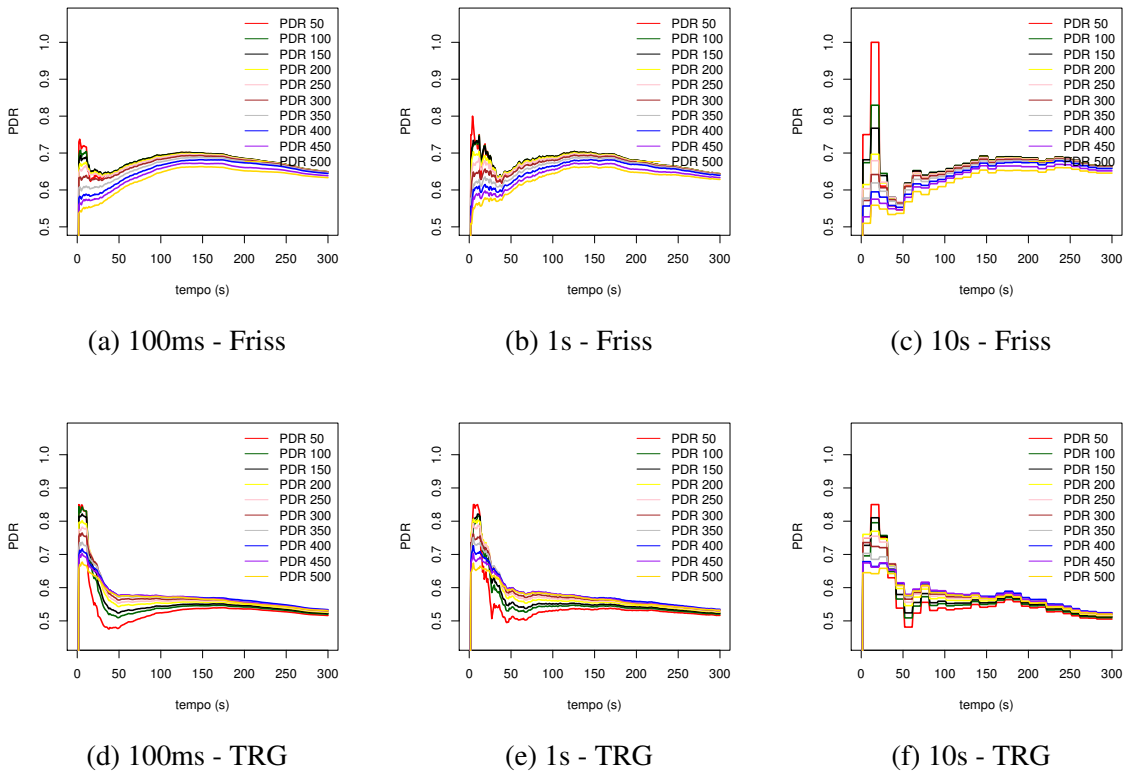


Figura 5: Resultado da PDR variando o intervalo de transmissão entre 100ms, 1 e 10s para os modelos Friis e TRG.

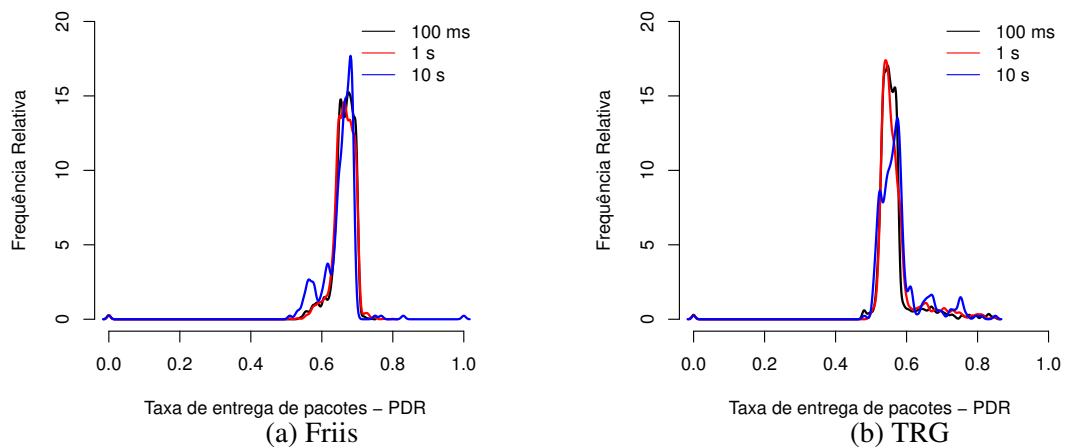


Figura 6: Frequências relativas em função da duração do intervalo de transmissão entre pacotes e dos modelos de propagação.



6. Conclusão e trabalhos futuros

Foi verificado neste trabalho o impacto nos resultados de simulação de VANETs, em cenários realísticos, obtidos em função dos parâmetros de simulação e aplicação definidos. Com isso, fica evidenciado que tais parâmetros devem ser adequadamente ajustados para que sejam obtidos resultados coerentes com a realidade.

Constatou-se que o modelo de propagação de sinal escolhido afeta a probabilidade de entrega de pacotes, enquanto o tamanho das mensagens enviadas pela aplicação influencia a PDR de forma inversamente proporcional. Esses resultados são intuitivos e estão coerentes com a teoria relacionada. Foi mencionado que apesar dos veículos iniciarem a transmissão de mensagens simultaneamente, as transmissões não ocorrem exatamente no mesmo momento para todos, em função dos componentes aleatórios da simulação (ex. sincronismo e delay). Em razão da velocidade dos veículos e da forma de cálculo da PDR acumulada (a cada segundo), mudanças de até um segundo no intervalo de transmissão entre as mensagens pouco influenciaram a métrica.

Assim, conclui-se que esse trabalho evidenciou, através dos resultados das simulações apresentadas, que parâmetros da simulação (ex. modelo de propagação) ou da aplicação (ex. intervalo entre transmissões ou tamanho dos pacotes de dados) podem alterar a métrica definida para análise de desempenho da rede de comunicação, ficando claro que, para obter resultados realísticos, os pesquisadores não podem ignorar parâmetros como esses ou ainda deixá-los em alguma configuração padrão, diferente do que irá ocorrer no mundo real.

Em todos os resultados obtidos, após os primeiros 50 segundos de simulação, os valores de PDR tendem a se aproximar/estabilizar. Uma modelagem analítica baseada nesses resultados pode ser objeto de pesquisas futuras, assim como a avaliação de aplicações BSM com múltiplos saltos, utilizando algoritmos de roteamento para VANETs e considerando métricas adicionais como latência, vazão e tempo de recepção entre pacotes (PIR).

Referências

- Angles, W., Borin, V. P., Munaretto, A., e Fonseca, M. (2016). The Impact of Propagation Models in the Performance of Ad Hoc Routing Protocols for Urban VANET. In *2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, p. 1–5.
- Bastani, S., Ozalla, D. T., e Karaca, M. (2016). On the performance of vehicular communications with a measurement-based radio propagation model. In *2016 IEEE 21st International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, p. 6–11.
- Bonola, M., Bracciale, L., Loreti, P., Amici, R., Rabuffi, A., e Bianchi, G. (2016). Opportunistic communication in smart city: Experimental insight with small-scale taxi fleets as data carriers. *Ad Hoc Networks*, 43:43–55.
- Carpenter, S. E. (2014). Obstacle Shadowing Influences in VANET Safety. In *2014 IEEE 22nd International Conference on Network Protocols*, p. 480–482.
- Carpenter, S. E., Sichitiu, M. L., e Starr, S. (2014). Evaluating VANET Performance Using ns-3. In *WNS3 Workshop on NS-3*, p. 3–4.
- Celes, C., Silva, F., Boukerche, A., Andrade, R., e Loureiro, A. (2017). Improving VANET Simulation with Calibrated Vehicular Mobility Traces. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 1233 (c):1–1.
- Cunha, F., Villas, L., Boukerche, A., Maia, G., Viana, A., Mini, R. A. F., e Loureiro, A. A. F. (2016). Data communication in VANETs: Protocols, applications and challenges. *Ad Hoc Networks*, 44: 90–103.



- Hagenauer, F., Sommer, C., Onishi, R., Wilhelm, M., Dressler, F., e Altintas, O. (2016). Interconnecting smart cities by vehicles: How feasible is it? In *2016 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, volume 2016-Septe, p. 788–793.
- He, J., Cai, L., Cheng, P., e Pan, J. (2016). Delay Minimization for Data Dissemination in Large-Scale VANETs with Buses and Taxis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 15(8):1939–1950.
- Naumov, V., Baumann, R., e Gross, T. (2006). An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. In *Proceedings of the seventh ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing - MobiHoc '06*, volume 6, p. 108.
- Renda, M. E., Resta, G., Santi, P., Martelli, F., e Franchini, A. (2016). IEEE 802.11p VANets: Experimental evaluation of packet inter-reception time. *Computer Communications*, 75:26–38.
- Ros, F. J., Martinez, J. A., e Ruiz, P. M. (2014). A survey on modeling and simulation of vehicular networks: Communications, mobility, and tools. *Computer Communications*, 43:1–15.
- Saini, M., Alelaiwi, A., e Saddik, A. E. (2015). How Close are We to Realizing a Pragmatic VANET Solution? A Meta-Survey. *ACM Computing Surveys*, 48(2):1–40.
- Sanguesa, J. A., Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F. J., Cano, J.-C., e Calafate, C. T. (2016). A Survey and Comparative Study of Broadcast Warning Message Dissemination Schemes for VANETs. *Mobile Information Systems*, 2016:1–18.
- Sjoberg, K., Andres, P., Buburuzan, T., e Brakemeier, A. (2017). Cooperative Intelligent Transport Systems in Europe: Current Deployment Status and Outlook. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 12(2):89–97.
- Stepanov, I. e Rothermel, K. (2008). On the impact of a more realistic physical layer on MANET simulations results. *Ad Hoc Networks*, 6(1):61–78.
- Vahdat-Nejad, H., Ramazani, A., Mohammadi, T., e Mansoor, W. (2016). A survey on context-aware vehicular network applications. *Vehicular Communications*, 3:43–57.
- Yin, X., Ma, X., Trivedi, K. S., e Vinel, A. (2014). Performance and Reliability Evaluation of BSM Broadcasting in DSRC with Multi-Channel Schemes. *IEEE Transactions on Computers*, 63(12): 3101–3113.
- Zarei, M. e Rahmani, A. M. (2017). Analysis of vehicular mobility in a dynamic free-flow highway. *Vehicular Communications*, 7:51–57.