

Boaz de Sousa Costa

**Avaliação sobre Protocolos de Encaminhamento
em Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e
Desconexões**

Picos - PI
Novembro de 2017

Boaz de Sousa Costa

Avaliação sobre Protocolos de Encaminhamento em Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões

Monografia submetida ao curso de Bacharelado em Sistemas de Informação como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientadora: Prof^a. Ma. Patricia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond.

Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Helvídio Nunes de Barros
Bacharelado em Sistemas de Informação

Picos - PI
Novembro de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca José Albano de Macêdo

C837a Costa, Boaz de Sousa.
Avaliação sobre protocolos de encaminhamento em redes
veiculares tolerantes a atrasos e desconexões / Boaz de Sousa
Costa.– 2017.
CD-ROM : il.; 4 ¾ pol. (44 f.)
Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Bacharelado em Sistemas
de Informação) – Universidade Federal do Piauí, Picos, 2018.
Orientador(A): Prof^ª. Ma. Patricia Medyna Lauritzen de Lucena
Drumond

1. Redes Veiculares. 2. Protocolos de Encaminhamento
3. Locais Remotos. I. Título.

CDD 004.62

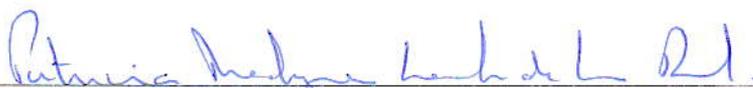
AVALIAÇÃO SOBRE PROTOCOLOS DE ENCAMINHAMENTO EM REDES
VEICULARES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES

BOAZ DE SOUSA COSTA

Monografia Aprovada como exigência parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Sistemas de Informação.

Data de Aprovação

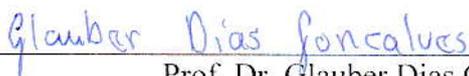
Picos – PI, 27 de novembro de 2017



Prof^ª. Ma. Patricia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond
Orientador



Prof. Esp. Fredison Muniz de Sousa
Membro



Prof. Dr. Glauber Dias Goncalves
Membro

Agradecimentos

A Deus seja a honra, a glória e o louvor para todo sempre, aquele que me criou, pelas suas infindas promessas em minha vida.

À minha amada família, um presente de Deus, por me incentivar e sempre me mostrar os verdadeiros valores humanos. Aos meus pais, Lindomar Elesbão Costa e Creuza Adelaide de Sousa Costa, as minhas irmãs, Ruth, Lindoelma e Noeme, aos meus sobrinhos, Sarah, Gunnar Vingren, Thalita, Samuel, Ester e Benny Vingren e aos meus cunhados, Ismael Silva, Ismael Dias e Jessé. Sem eles não conseguiria chegar até este momento, sou grato a Deus pelos seus valiosos ensinamentos e apoio incansável nesta jornada, os quais tornaram essa conquista inesquecível.

Ao meu querido Colégio São Lucas, o qual me possibilitou realizar diversas conquistas na minha vida acadêmica, ao Professor Rubens Leal, por me dar incentivo e me instigar a conquistar o meu melhor sempre.

À minha amada Universidade Federal do Piauí, por me proporcionar os três pilares necessários (Ensino, Pesquisa e Extensão) para o meu desenvolvimento profissional.

À minha orientadora Patricia Medyna, por ter aceito entrar nesse projeto, pelas suas contribuições preciosas e incentivo nesta pesquisa. Ao meu coorientador Pablo Vieira, pelos seus valiosos ensinamentos em pesquisa científica, por suas contribuições neste estudo.

À coordenadora Patrícia Vieira, por sempre buscar melhorias para o nosso curso, e por sua disponibilidade sempre que necessário, o que tornou essa conquista possível.

Aos meus amados professores de graduação, sem eles não teria um bom nível de conhecimento, sou grato por terem repassado seus conhecimentos, o que a partir disso, me tornará um bom profissional.

Aos meus colegas, que tornaram este momento mais prazeroso e divertido, por sempre me ajudarem e estarem ao meu lado em todos os momentos. Em especial, ao Rodrigo Carlos e Ivan Nascimento, que estiveram presente comigo nesse projeto.

À minha amiga, Laise Campos que desde o início esteve presente nesta jornada, dividimos alegrias e tristezas, mas, sempre com muita fé e perseverança.

Aos membros da banca examinadora, pelo tempo dispensado na leitura deste estudo. E a todos que fizeram parte dessa longa jornada.

*A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda
pensou sobre aquilo que todo mundo vê.*

Arthur Schopenhauer

Resumo

Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões (VDTNs) são usadas em ambientes nos quais as redes veiculares comuns são ineficientes, como locais remotos que não possuem conexão constante. Para que isso seja possível, protocolos de encaminhamento de dados específicos devem ser utilizados. Neste trabalho, são comparados alguns protocolos de encaminhamento (*Epidemic*, *First Contact*, *Maxprop* e *Spray and Wait*) em 32 cenários distintos simulados em 256 observações a fim de apontar o melhor protocolo nesse contexto. As métricas usadas para medir o desempenho dos diferentes protocolos foram: probabilidade de entrega dos pacotes, sobrecarga da rede e latência média. Sob análise desses critérios, o protocolo *Spray and Wait* obteve o melhor desempenho já que teve melhores resultados em duas das três métricas. O estudo também apontou a escolha do protocolo de encaminhamento como de maior impacto na probabilidade de entrega, sobrecarga da rede e no número de tempo de vida de pacote na latência média da rede, guiando engenheiros na montagem de VDTNs.

Palavras-chaves: Redes Veiculares. Protocolos de Encaminhamento. Desempenho.

Abstract

Vehicular Delay Tolerant Networks (VDTNs) are used in environments where usual vehicular networks are inefficient, such as remote places that do not have a stable connection. For this to be possible, specific routing protocols must be used. In this paper, we compared some routing protocols (Epidemic, First Contact, Maxprop and Spray and Wait) in 32 distinct simulated environments through 256 observations for indicating the best one in this context. The metrics used to measure the performance of these protocols were: delivery probability, network overhead and average latency. By analyzing these performance criteria, the Spray and Wait protocol had the best performance, once it had better results for two out of three metrics. This study also pointed that choosing the Spray and Wait protocol may have a greater influence on the delivery probability, the network overhead and the packet time to live, which can guide network engineers when building a VDTN.

Keywords: Vehicle Networks. Routing Protocols. Performance.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Estatísticas nacionais: mortos em acidentes de trânsito (SEGURAS, 2017)	14
Figura 2 – Arquiteturas de uma Rede Veicular.	18
Figura 3 – Rede Veicular Simulada na Cidade de Helsinque.	26
Figura 4 – Gráfico de Efeitos Principais para Probabilidade de Entrega.	29
Figura 5 – Gráfico de Efeitos Principais para Latência Média.	30
Figura 6 – Gráfico de Efeitos Principais para Sobrecarga da Rede.	31

Lista de tabelas

Tabela 1 – Relação entre os Trabalhos Científicos.	24
Tabela 2 – Fatores e Níveis do Experimento.	27
Tabela 3 – Pontuação por critério.	32
Tabela 4 – <i>Ranking</i> geral analisando cenários densos e esparsos.	32

Lista de abreviaturas e siglas

ITS	<i>Intelligent Transportation System</i>
VDTNs	<i>Vehicular Delay Tolerant Networks</i>
ONE	<i>Opportunistic Network Environment</i>
PE	Probabilidade de Entrega
SR	Sobrecarga de Rede
LM	Latência Média
DoE	<i>Design of Experiments</i>
TTL	<i>Time To Live</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
DTN	<i>Delay Tolerant Networking</i>
V2V	<i>Vehicle to Vehicle</i>
V2I	<i>Vehicle to Infrastructure</i>
V2R	<i>Vehicle to Road</i>
VANETs	<i>Vehicular ad hoc Networks</i>
ICMN	<i>Intermittently Connected Mobile Networks</i>
PRoPHET	<i>Routing Protocol in Delay Tolerant Network</i>
MEV	Mensagens Enviadas
MC	Mensagens Criadas
MRE	Mensagens Repetidas Entregues
MD	Mensagens Entregues ao Destino
TMC	Tempo Decorrido de Criação de Mensagens
NR	Número de Mensagens Recebidas

Lista de símbolos

Σ	Somatório de todos os termos
i	Termo que inicializa o somatório
n	Número de termos
$F(n)$	Função de n
$>$	Maior que
$-$	Subtração

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Contexto e Problema	15
1.2	Objetivos	15
1.3	Organização do Trabalho	16
2	Referencial Teórico	17
2.1	Redes Veiculares	17
2.2	Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões	18
2.3	Protocolos de Encaminhamento	19
2.4	Análise de Sensibilidade	21
2.4.1	DoE	21
3	Trabalhos Relacionados	22
3.1	Protocolos de Encaminhamento para Redes Veiculares com Ligações Intermitentes	22
3.2	<i>On the Performance of Delay-Tolerant Routing Protocols in Intermittently Connected Mobile Networks</i>	22
3.3	<i>Performance Comparison of Different Routing Protocols in Sparse and Dense VDTNs</i>	23
3.4	Impacto dos Modelos de Mobilidade no Desempenho de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões	23
3.5	Relação entre os Trabalhos Científicos	24
4	Avaliação de Desempenho dos Protocolos	26
4.1	Métodos	26
4.2	Avaliação de Desempenho	27
4.2.1	Métricas de Desempenho	28
5	Resultados e Discussões	29
5.1	DoE para Probabilidade de Entrega	29
5.2	DoE para Latência Média	30
5.3	DoE para Sobrecarga da Rede	30
5.4	<i>Ranking</i>	31
6	Considerações Finais	33
6.1	Trabalhos Futuros	33

7 Publicações	34
Referências	35
Apêndices	38
APÊNDICE A Apêndice	39

1 Introdução

Atualmente uma das principais causas de mortes tem sido o trânsito, segundo o Ministério da Saúde são 37.306 óbitos e 204.000 feridos hospitalizados em 2015 (SEGURAS, 2017). A Figura 1 mostra a evolução do número de óbitos registrados pelo Ministério da Saúde de 2004 a 2015, com uma diminuição de quinze por cento no último ano. Apesar dessa diminuição, ainda são números preocupantes.

De acordo com a OMS (Organização Mundial de Saúde) o Brasil é o quarto país com mais mortes na América, apresentando uma taxa de 23,4 de mortes no trânsito para cada 100 mil habitantes. A OMS também estima que o número de mortos nas estradas em todo o mundo pode chegar a 1 milhão por ano até 2030. De acordo com a organização, essa projeção mundial em vítimas fatais em acidentes automobilísticos tem um peso maior nos países de baixa e média renda, grupo no qual se encontra o Brasil (S.PAULO, 2017).



Figura 1: Estadísticas nacionais: mortos em acidentes de trânsito (SEGURAS, 2017)

Os veículos automotores vêm incorporando diferentes avanços tecnológicos que melhoram a experiência do condutor e dos passageiros. Essa evolução tecnológica consiste especificamente em sistemas de comunicação que possibilitem a interação entre diferentes veículos. O objetivo principal desses sistemas é possibilitar a comunicação de usuários móveis e oferecer as condições necessárias para que aplicações com diferentes requisitos sejam atendidas satisfatoriamente. Tais aplicações compõem um Sistema Inteligente de Transporte (*Intelligent Transportation System* - ITS) que opera em um ambiente formado por usuários no trânsito. Exemplos dessas aplicações incluem a monitoração cooperativa do tráfego, o auxílio a cruzamentos sem sinalização ou a prevenção de colisões. Além das aplicações específicas de trânsito, vislumbra-se o acesso à Internet em qualquer lugar e a qualquer instante (LI; WANG, 2007).

Os sistemas de comunicação entre veículos formam as chamadas redes veiculares. Essas redes são formadas entre veículos automotores ou entre os veículos e a infraestrutura fixa

localizada às margens de ruas ou de estradas. As redes veiculares se diferenciam de outras redes sem-fio principalmente pela natureza dos nós, que são compostos por automóveis, caminhões, ônibus etc., com interfaces de comunicação sem-fio, e por equipamentos fixos no entorno das vias. Os nós destas redes apresentam alta mobilidade e trajetórias que acompanham os limites das vias públicas de acesso (ALVES et al., 2009).

1.1 Contexto e Problema

O constante aumento dos congestionamentos e acidentes de trânsito nas cidades causam impactos negativos em diversas áreas, como na economia, no meio ambiente, na saúde, dentre outras. A implementação das redes veiculares tem auxiliado na redução de acidentes e outros percalços no trânsito, além de promover um controle de tráfego e aumento de segurança nas rodovias (NAZ et al., 2011).

Em algumas situações, existem veículos trafegando constantemente, e nem sempre é possível existir (ou estabelecer) conexões contínuas por um grande período de tempo. Nesse contexto, as Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões ou VDTNs (*Vehicle Delay Tolerant Network*) podem ser usadas para substituir redes em condições adversas (CÂMARA et al., 2011). Para funcionamento das VDTNs, são utilizados protocolos de encaminhamento específicos, os quais possuem grande influência sobre a eficiência de uma rede veicular.

Neste trabalho proposto os protocolos avaliados foram: *Epidemic*, *First Contact*, *Max-prop* e *Spray and Wait*. O estudo realizado foi formado avaliando a probabilidade de entrega, sobrecarga da rede e latência média. Os cenários de redes veiculares usados nos experimentos foram variados conforme a densidade da rede (número de *hosts*), tempo de vida de cada pacote e tempo de simulação. Complementando, esta pesquisa também aponta o impacto desses fatores na probabilidade de entrega, sobrecarga e latência a fim de guiar engenheiros na montagem e configuração de VDTNs.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo geral apresentar um estudo sobre a eficiência de protocolos de encaminhamento em redes VDTNs. As principais contribuições são:

- Avaliação de Desempenho de Protocolos em VDTNs;
- Mensuração de Impacto de Fatores sobre a Probabilidade de Entrega de VDTNs;
- Mensuração de Impacto de Fatores sobre a Latência Média de VDTNs;
- Mensuração de Impacto de Fatores sobre a Sobrecarga de Rede de VDTNs.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta o referencial teórico utilizado neste trabalho, a Seção 2.1 mostra os conceitos de redes veiculares, a Seção 2.2 apresenta conceitos de redes veiculares tolerantes a atrasos e desconexões, a Seção 2.3 trata dos protocolos de encaminhamento avaliados e a Seção 2.4 retrata conceitos de análise de sensibilidade.

O capítulo 3 trata dos trabalhos relacionados com esta pesquisa, as Seções 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 apresentam um breve resumo de cada trabalho relacionado, já a Seção 3.5 mostra uma relação entre os trabalhos científicos.

O capítulo 4 mostra como foi realizada a avaliação de desempenho, a Seção 4.1 apresenta os métodos utilizados na avaliação de desempenho, a Seção 4.2 apresenta as configurações dos cenários densos e esparsos, dos fatores e níveis do experimento, assim como as métricas de desempenho que foram necessárias para a avaliação de desempenho dos protocolos.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos, a Seção 5.1 apresenta os resultados para probabilidade de entrega, a Seção 5.2 apresenta os resultados para latência média, a Seção 5.3 apresenta os resultados para sobrecarga da rede e a Seção 5.4 apresenta o *ranking* desenvolvido a partir dos resultados da análise de sensibilidade de cada métrica.

No capítulo 6 são apresentadas as considerações finais do trabalho, a Seção 6.1 apresenta indicações de trabalhos futuros.

E o capítulo 7 mostra as publicações obtidas em eventos científicos.

2 Referencial Teórico

Este capítulo é voltado para discussão dos conceitos deste trabalho. É notável o desenvolvimento e a popularidade das redes de comunicação ao longo do tempo (CASTELLS, 2003). Nesse cenário surgem as redes móveis sem fio, um paradigma de comunicação com um custo baixo de instalação comparado as redes cabeadas. O baixo custo dessas redes móveis sem fio ocorre por seus equipamentos serem baratos, proporcionando uma economia financeira às pessoas (TANNENBAUM, 2003).

2.1 Redes Veiculares

Um tipo de redes móveis sem fio, as redes veiculares, têm como objetivo estabelecer conexão e comunicação entre veículos a fim de reduzir acidentes e aumentar a segurança em rodovias (SENART et al., 2009). O padrão IEEE 802.11, usado em redes sem fio, foi modificado e tornou-se o IEEE 802.11p para ser aplicado em redes veiculares. A mudança de padrão permitiu o suporte a velocidades altas de movimentação e maiores distâncias de comunicação (BASSO, 2013).

As redes veiculares tem sido o foco de muitas pesquisas científicas. Essas redes tem como nós os veículos e objetivam diminuir mazelas e imprevistos no trânsito no âmbito onde a conectividade têm interrupções e até mesmo desconexões constantes, além de tentar garantir melhores condições no trânsito brasileiro e mundial.

Essas redes possuem uma série de desafios para sua adoção em larga escala. Dentre os principais desafios estão particularidades como a alta mobilidade dos nós, o dinamismo dos cenários e a escalabilidade em termos do número de nós. A perda de conectividade durante a transmissão dos dados e o tempo reduzido em que dois nós permanecem em contato são outros desafios.

A arquitetura das redes veiculares define a maneira como os nós são organizados e se comunicam (SERRADO et al., 2014). Existem três arquiteturas principais de redes veiculares que são: a arquitetura V2V (abreviação do inglês *Vehicle to Vehicle*) ou modo *ad-Hoc* puro; a arquitetura V2I (abreviação do inglês *Vehicle to Infrastructure*) ou modo infraestrutura; e a arquitetura híbrida V2R (abreviação do inglês *Vehicle to Road*) (ALVES et al., 2008). Cada uma dessas arquiteturas possui suas peculiaridades de funcionamento e comunicação (MOUSTAFA; ZHANG, 2009).

Para evitar problemas de conectividade, a arquitetura infraestrutura emprega nós estáticos distribuídos ao longo das ruas e estradas. Esses nós estáticos funcionam como pontos de acesso de redes IEEE 802.11 também em modo infraestrutura. Eles centralizam todo o tráfego da rede, servindo como nós intermediários das comunicações. A vantagem

do modo infraestruturado é o aumento da conectividade e a possibilidade da comunicação com outras redes, como por exemplo, a Internet. A conectividade da rede, entretanto, só é garantida mediante um número grande de elementos fixos, o que pode elevar os custos da rede. A arquitetura híbrida é uma solução intermediária entre a *ad hoc* e a infraestruturada. Na arquitetura híbrida, uma infraestrutura mínima é utilizada para aumentar a conectividade da rede e prover serviços como os de interconexão. Entretanto, há também a possibilidade dos veículos se comunicarem por múltiplos saltos (SERRADO et al., 2014).

Na arquitetura *ad-hoc*, os veículos se comunicam entre si, sem qualquer suporte externo ou uma central (ZHAO; CAO, 2008). Na infraestruturada a comunicação ocorre de um veículo para um nó fixo na estrada. Já na arquitetura híbrida a comunicação ocorre de veículo para veículo (ou vice-versa) e de veículo para um nó fixo (ou vice-versa), isto é, a arquitetura híbrida une funções de comunicação das arquiteturas *ad-hoc* e infraestruturada (TANNENBAUM, 2003). A Figura 2 retrata um modelo de arquiteturas de uma rede veicular com as três arquiteturas coexistentes.

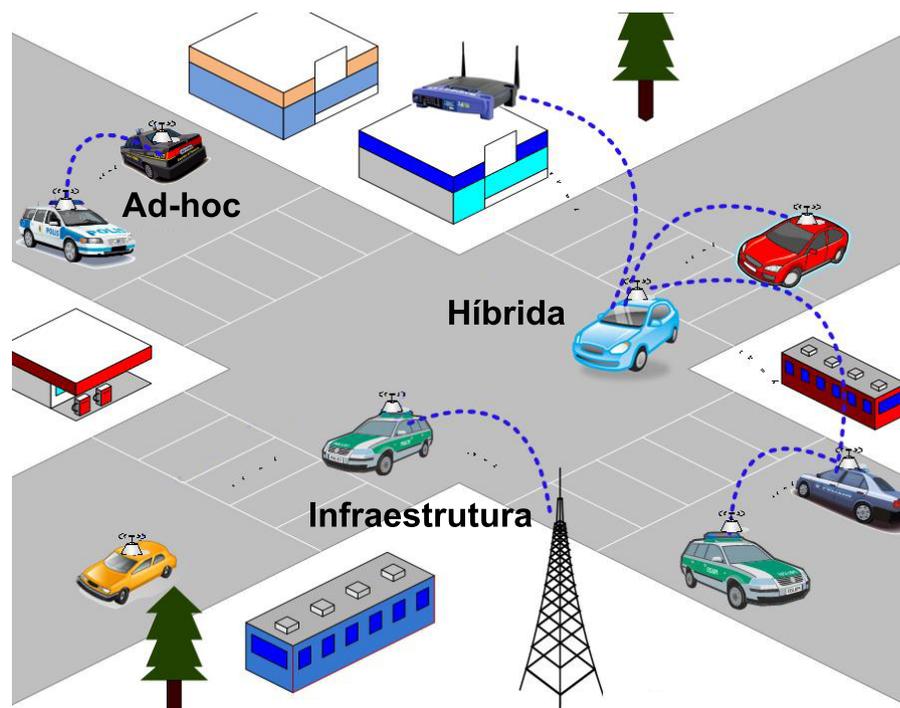


Figura 2: Arquiteturas de uma Rede Veicular.

2.2 Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões

As Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões (VDTNs) são muito semelhantes com as redes *ad hoc* (SARKAR; BASAVARAJU; PUTTAMADAPPA, 2007). Entretanto, existe a nítida diferença quando se leva em consideração a abordagem do problema de roteamento. Nas redes VDTNs é essencial que o percurso seja conhecido, para que os protocolos funcionem. Há situações em que é possível construir toda uma rota de

envio, porém existem inúmeras situações que isso não é alcançável. E ainda aquelas cujo caminhos previamente conhecidos se comprometem devido aos longos atrasos, como por exemplo nas redes interplanetárias (BURLEIGH et al., 2003), os quais chegam a ser da ordem de horas ou até dias.

As Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTNs Veiculares), substituem as redes com conectividade ponto a ponto que não conseguem garantir uma comunicação em condições adversas ou emergenciais em rodovias. Elas podem contribuir para superar os problemas, como perdas frequentes de conectividade e grandes latências em atraso, coexistindo positivamente com o problema. “As soluções de Redes Tolerantes a Atrasos oferecem a possibilidade de fornecer às populações em zonas remotas do planeta serviços de comunicações de baixo custo” (NUNES, 2013).

Segundo Nunes (2013), essas redes propõem suprir várias necessidades no âmbito de comunicações, locais onde a conectividade é intermitente ou esparsa, ligações com atrasos grandes ou variáveis, elevadas taxas de erro, grandes assimetrias na velocidade das ligações, inexistência de conectividade extremo a extremo. Uma DTN (*Delay Tolerant Networking*) tem como principal característica reagir às dificuldades no trânsito, como grandes congestionamentos, acidentes, e em consequência destas condições conseguem transmitir mensagens, fazendo com que os dados das aplicações cheguem aos seus destinos. Na arquitetura das DTNs, é adicionada uma camada orientada à mensagem, chamada *Bundle Layer*.

Para um melhor desempenho e melhor uso dessas redes utilizam-se os protocolos de roteamento os quais são responsáveis por estabelecer os caminhos utilizáveis para que dois veículos (entidades) se comuniquem. Existem duas abordagens principais dos protocolos de roteamento aplicados nas redes veiculares, chamadas também de VANETs (*Vehicular ad hoc Networks*), os protocolos de caminho único e os de múltiplos caminhos. As redes veiculares tolerantes à atrasos utilizam protocolos de encaminhamento tolerantes à atrasos, os quais são específicos para as mesmas.

2.3 Protocolos de Encaminhamento

Esta seção contém um breve resumo dos protocolos de encaminhamento utilizados neste trabalho. Considerando definições de Spaho *et al.* (2016), Nunes (2013) e Serrado *et al.* (2014), os protocolos são:

- Protocolo *Epidemic*: este protocolo funciona espalhando seu conteúdo para todos os nós ao redor. Dois nós trocam mensagens para decidir se a mensagem não está armazenada no outro. Após isso é feita uma verificação do espaço de armazenamento disponível no nó e, caso tenha espaço, é enviada a mensagem.

No protocolo Epidemic as mensagens são difundidas na rede de modo semelhante a doenças ou vírus. Um nó é infectado por uma mensagem quando ele gera ou recebe uma mensagem de outro nó, armazenando-a em um *buffer* local para que possa ser encaminhada adiante. Um nó é suscetível à infecção enquanto ainda não tiver recebido a mensagem. Um nó se torna infectado quando estabelece contato com um nó infectado e recebe mensagens deste. Por sua vez, um nó infectado é recuperado (curado da doença) uma vez que tenha entregado a mensagem ao nó de destino. Como resultado, ele também se torna imune à mesma infecção e não mais encaminhará aquela mensagem (SERRADO et al., 2014).

Quando muitas mensagens são replicadas, um dado nó pode não ter espaço de armazenamento suficiente. Quando isto ocorre frequentemente, a probabilidade de entrega das mensagens pode se tornar menor, e conseqüentemente aumentar o atraso de entrega da informação (SERRADO et al., 2014).

- Protocolo *First Contact*: neste protocolo, os nós enviam as mensagens para o primeiro nó que encontram, o que resulta em uma busca aleatória pelo destino.
- Protocolo de *Maxprop*: este prioriza o planejamento dos pacotes que serão transmitidos a outros nós e os pacotes que serão descartados.

O encaminhamento MaxProp envia a mensagem para todos os nós, mas assim que uma cópia é entregue ao destinatário, desencadeia um procedimento para a apagar em todos os outros nós. Uma característica interessante é o envio para outros nós numa ordem específica, tendo em conta o número de saltos entre nós e as probabilidades de entrega das mensagens baseadas em acontecimentos anteriores (NUNES, 2013).

- Protocolo *Spray and Wait*: este protocolo se baseia em disseminar a mensagem e aguardar algum resultado. Quando um nó retransmissor recebe uma cópia da mensagem, ele entra em fase de espera, na qual o retransmissor confirma determinada mensagem até que o seu destino seja encontrado.

Este protocolo se propõe a reduzir significativamente o *overhead* de transmissão dos esquemas baseados em *flooding* e apresenta *performance* melhor no que diz respeito ao atraso de entrega na maioria dos cenários além de não utilizar qualquer informação da rede (SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2005). Para isso, o protocolo dissemina um número de cópias pré-fixado da mesma mensagem para outros nós na rede e aguarda até que uma dessas cópias atinja o destino (SERRADO et al., 2014).

O *Spray and Wait* consiste de duas fases. Na primeira (fase *Spray*), para cada mensagem originada em um nó, L cópias são geradas e então espalhadas para outros nós para serem entregues ao nó destino. Um nó é considerado ativo quando possui

$n > 1$ cópias da mensagem em seu *buffer* e, portanto, ainda está na fase de *Spray*. Quando um nó ativo a encontra outro nó b , a entrega para b $F(n)$ cópias da mensagem e retém para si as outras $n - F(n)$ cópias. F é a função que define o processo de espalhamento. Quando as cópias são pulverizadas através dos nós de modo que um único nó mantém apenas uma única cópia da mensagem, o algoritmo entra em sua segunda fase, *Wait* (SERRADO et al., 2014).

2.4 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade objetiva identificar fatores nos quais a menor variação implica no maior impacto na saída (FRANK, 1978) (HAMBY, 1994). O principal objetivo da análise de sensibilidade é prever o efeito nas saídas (mensuradas) em relação às variações (parâmetros), contribuindo para encontrar dificuldades de desempenho ou de confiabilidade, guiando a um processo de otimização (BLAKE; REIBMAN; TRIVEDI, 1988).

Com isso, existem diversas maneiras de realizar análises de sensibilidade. Como Desenho Fatorial de Experimentos, Análise de Correlação e Análise de Regressão, são algumas técnicas bem conhecidas. O método mais simples varia repetidamente um parâmetro de cada vez, mantendo os demais constantes. Ao aplicar este método, um *ranking* de sensibilidade é obtido observando as mudanças na saída do modelo. Outro método importante para avaliar a importância de cada parâmetro é a análise de um projeto experimental fatorial (HAMBY, 1994).

2.4.1 DoE

As técnicas de *Design of Experiments* (DoE) podem ser usadas para simultaneamente determinar os efeitos individuais e interativos de muitos fatores que podem afetar as medidas de saída (BUKH, 1992). No DoE, cada parâmetro é chamado de fator e cada valor atribuído a cada fator é um nível.

O DoE abrange a escolha de um determinado número de níveis para cada fator e a execução do modelo para todas as combinações dos níveis. A análise pode ser proibitiva devido a uma grande quantidade de fatores ou níveis que, exigiria várias corridas modelo, o que implica um enorme tempo de computação para alguns casos (HAMBY, 1994). Um projeto fatorial fracionário pode ser escolhido para tais casos, ou o número de parâmetros pode primeiro reduzir a um valor aceitável, através do *ranking* obtido por análise de sensibilidade diferencial, por exemplo, e então a análise fatorial pode ser aplicada (MATOS et al., 2015).

3 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo são apresentados alguns trabalhos relacionados com redes veiculares tolerantes a atrasos e desconexões, e especificamente o que tange a avaliação de desempenho de diferentes protocolos de encaminhamento.

3.1 Protocolos de Encaminhamento para Redes Veiculares com Ligações Intermitentes

O trabalho de Soares *et al.* (2013) versa sobre as redes veiculares constituídas por automóveis ou meios de transporte equipados com dispositivos de comunicação sem fios, que comunicam diretamente entre si ou com equipamentos de infraestrutura localizados junto às estradas. O encaminhamento de dados é considerado um grande desafio tendo em conta as topologias de rede altamente dinâmicas, densidade variável, tempos de contato reduzidos, ligações intermitentes e frequentes partições. Este trabalho apresentou uma análise comparativa do desempenho de protocolos de encaminhamento baseados no paradigma de “armazenamento, transporte e envio de agregados” em redes veiculares com ligações intermitentes (do inglês, *vehicular delay tolerant network* – VDTNs). Os protocolos considerados foram o *First Contact*, *Direct Delivery*, *Epidemic*, *Spray and Wait*, *PRoPHET*, *GeoOpps* e *GeoSpray*. O estudo foi conduzido por simulação e analisou o comportamento destes protocolos com base nas métricas de desempenho: número de transmissões iniciadas, número de pacotes descartados, probabilidade de entrega, latência média, número médio de saltos e sobrecarga de recursos.

3.2 *On the Performance of Delay-Tolerant Routing Protocols in Intermittently Connected Mobile Networks*

Em seu trabalho Hossen e Rahim (2015) investigaram o desempenho dos protocolos de roteamento DTN, *Epidemic*, *PRoPHET* e *Spray and Wait (Binary Version)* em um cenário de Redes Móveis de Conexão Intermitente (ICMN - *Intermittently Connected Mobile Networks*). Os seus desempenhos foram analisados em termos de probabilidade de entrega, latência média, sobrecarga de rede e número de nós móveis. Além disso, foram analisados os impactos do tamanho de variação do *buffer* e *Time To Live (TTL)* e suas *performances* são investigadas. Para avaliar as métricas de desempenho, utilizaram o simulador ONE (*Opportunistic Network Environment*) utilizado como ferramenta de simulação. O resultado desse trabalho mostrou que, para o cenário ICMN, a melhor técnica de roteamento

DTN é o *Spray and Wait (Binary Version)*, enquanto o roteamento epidêmico exibe o pior desempenho em relação a todas as métricas.

3.3 Performance Comparison of Different Routing Protocols in Sparse and Dense VDTNs

Neste trabalho Spaho *et al.* (2016) avaliaram o desempenho de três protocolos de roteamento o *Epidemic*, *Spray and Wait* e o *Maxprop* em redes veiculares tolerantes a atrasos e desconexões (VDTNs). Estudaram o impacto dos veículos, densidade e TTL (*Time To Live*) no desempenho da rede. As simulações foram conduzidas com o simulador ONE (*Opportunistic Network Environment*). O desempenho foi analisado usando a probabilidade de entrega, sobrecarga da rede, latência média e o número médio de saltos. A simulação mostrou os resultados, como o aumento da densidade dos nós melhorando o desempenho da rede. No cenário de uma rede densa, o protocolo *Epidemic* e o *Maxprop* são melhores porque o número de contatos oportunistas entre os nós aumentam. Quanto ao desempenho do *Spray and Wait* não é bom, pois uma vez que utiliza no máximo dois saltos para entrega de pacotes. Por isso, em redes densas, um pacote pode ter um atraso significativo, porque esse pacote só será entregue quando um nó de origem tem contato oportunista com o destino. Os autores concluíram que o aumento de TTL vai de 30 para 120 minutos, não melhorando o desempenho da rota de protocolos em ambos os cenários.

3.4 Impacto dos Modelos de Mobilidade no Desempenho de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

Oliveira e Silva (2016) abordaram em seu trabalho alguns dos chamados modelos de mobilidade, isto é, formalizações utilizadas na tentativa de descrever o padrão de mobilidade de diversos tipos de nós presentes em uma DTN. Além disso, resultados de simulações de desempenho de uma DTN mostraram o impacto da integração de diferentes modelos de mobilidade e protocolos de roteamento. Os autores analisaram o desempenho dos protocolos de encaminhamento como, *First Contact*, *Direct Delivery*, *Spray and Wait*, *Epidemic* e *Maxprop*, os mesmos foram medidos por métricas como atraso médio, taxa de entrega e sobrecarga da rede. Concluíram que, uma vez que se propõe utilizar simulações para contribuir com a tecnologia de redes DTN, é necessário que os modelos de mobilidade empregados sejam plausíveis para revelar o real desempenho dos algoritmos de roteamento e, portanto, da rede.

3.5 Relação entre os Trabalhos Científicos

A Tabela 1 sintetiza as contribuições dos trabalhos relacionados com este trabalho. Os critérios de comparação são comentados. As referências são ordenadas por ano (de 2013 a 2016) e categorizadas por três critérios: Protocolos, DoE e Métricas (critérios de avaliação).

Autores	Protocolos	DoE	Métricas de Desempenho
(SOARES et al., 2013)	<i>First Contact, Direct Delivery, Epidemic, Spray and Wait, PProPHET, GeoOpps e GeoSpray</i>	Não	Número de Transmissões Iniciadas, Número de Pacotes Descartados, Probabilidade de Entrega, Latência Média, Número de Saltos e Sobrecarga dos Recursos
(HOSEN; RAHIM, 2015)	<i>Epidemic, PProPHET, Spray and Wait</i>	Não	Probabilidade de Entrega, Latência Média, Sobrecarga da Rede e Número de Nós Móveis
(SPAHO et al., 2016)	<i>Epidemic, Spray and Wait e Maxprop</i>	Não	Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede, Latência Média e Número Médio de Saltos
(OLIVEIRA; SILVA, 2016)	<i>First Contact, Direct Delivery, Spray and Wait, Epidemic e Maxprop</i>	Não	Atraso Médio, Taxa de Entrega e Sobrecarga da Rede
Trabalho Proposto	<i>Epidemic, First Contact, Maxprop e Spray and Wait</i>	Sim	Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede e Latência Média

Tabela 1: Relação entre os Trabalhos Científicos.

- Protocolos:** Soares *et al.* (2013) acompanharam e analisaram o desempenho dos protocolos: *First Contact, Direct Delivery, Epidemic, Spray and Wait, PProPHET, GeoOpps e GeoSpray*. Hossen e Rahim (2015) consideraram os protocolos: *Epidemic, PProPHET e Spray and Wait (Binary Version)* durante seu trabalho. Spaho et al. (2016) avaliaram os protocolos: *Epidemic, Spray and Wait e Maxprop*. os autores Oliveira e Silva (2016) qualificaram o desempenho dos protocolos: *First Contact, Direct Delivery, Spray and Wait, Epidemic e Maxprop*.
- Métricas de Desempenho:** Soares *et al.* (2013) investigaram o impacto da densidade da rede em relação a algumas métricas dos protocolos de VDTNs, como o número de transmissões iniciadas, o número de pacotes descartados, probabilidade

de entrega, latência, número de saltos e sobrecarga de recursos. Houssen e Rahim (2015) utilizam as métricas probabilidade de entrega, latência média, sobrecarga da rede e número de nós móveis para analisar o desempenho dos protocolos. Spaho *et al.* (2016) investigaram os impactos da densidade da rede e TTL de pacotes sobre as seguintes métricas: probabilidade de entrega, sobrecarga da rede, latência e número de saltos. Oliveira e Silva (2016) utilizaram três parâmetros para medir o desempenho de seus protocolos em estudo, sendo usados o atraso médio, a taxa de entrega e a sobrecarga de rede como critérios de estudo.

- **DoE:** o *Design of Experiments* é uma ferramenta otimizada para análise estatística que permite estudo de interação entre causa e efeito e reduz o erro experimental. Os trabalhos relacionados encontrados não fizeram uso desta abordagem e simplesmente fizeram comparações com fatores de forma individual e não agrupada.

O presente trabalho se diferencia dos demais por estabelecer a análise de sensibilidade a fim de identificar a influência de alguns fatores (e suas variações) na probabilidade de entrega, sobrecarga da rede e latência média. Com isso, pretende-se fornecer informações e técnicas estruturadas e comprovadas aos profissionais para montagem de VDTNs. As Métricas de Desempenho (probabilidade de entrega, sobrecarga da rede e latência média) que foram definidas e utilizadas neste trabalho foram aplicadas por Soares *et al.* (2013), Hossen e Rahim (2015) e Spaho *et al.* (2016). O restante dos trabalhos não satisfazem todas as métricas discutidas.

Os protocolos estudados foram: *Epidemic*, *First Contact*, *Maxprop* e *Spray and Wait* que são dedicados a VDTNs que são tratados no trabalho de Oliveira e Silva (2016). O restante dos artigos relacionados não trataram de todos esses protocolos. Os protocolos escolhidos para avaliação passaram por avaliações pela comunidade, com bons desempenhos em critérios. Entretanto, nenhum passou por investigação estatística DoE e *ranking* estruturado como nesta proposta (considerando os trabalhos relacionados encontrados).

4 Avaliação de Desempenho dos Protocolos

Este capítulo trata da avaliação sobre protocolos de encaminhamento em VDTNs. Primeiro são descritos os métodos utilizados para fazer a avaliação de desempenho. Em seguida são descritas as métricas de desempenho utilizadas para avaliar o desempenho dos protocolos e ainda a configuração de cenários densos e esparsos para que realmente a avaliação de desempenho fosse realizada. Finalmente são apresentados os fatores e níveis do experimento para análise de sensibilidade, e a partir dessa análise de sensibilidade encontrar os melhores desempenhos em probabilidade de entrega, sobrecarga de rede e latência média que serão expostos no capítulo 5.

4.1 Métodos

O simulador ONE¹ (*Opportunistic Network Environment*) foi usado para simular o tráfego de uma rede veicular na arquitetura *ad-hoc* na cidade Helsinque na Finlândia, como mostra a Figura 3. Por padrão, o simulador fornece um tempo de simulação de 12 horas, 40 *hosts* divididos em cinco grupos (três para veículos e dois para pedestres), TTL de 300 minutos, comunicação entre nós do tipo Wi-Fi, velocidade de transmissão de 2 MB por segundo e tamanho do *buffer* de 5 MB.

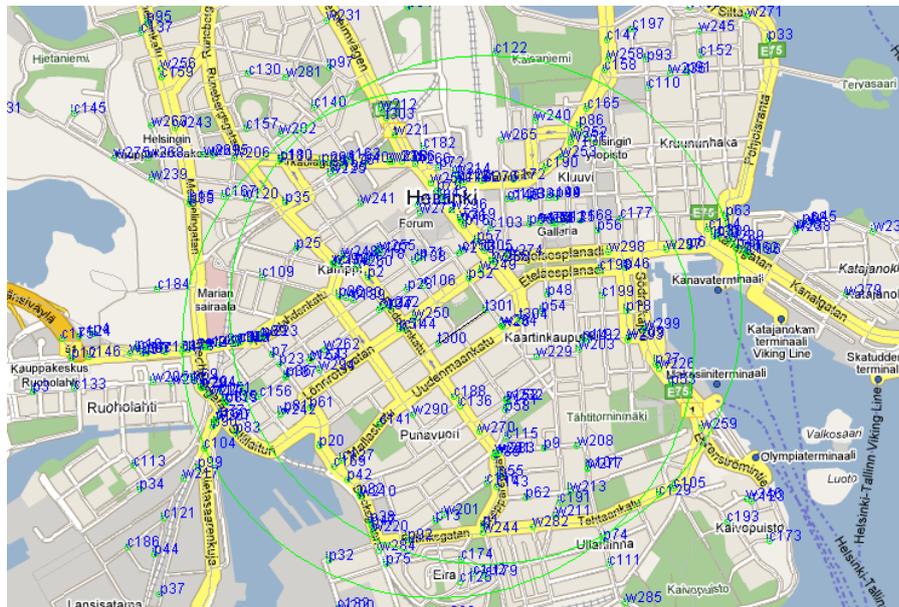


Figura 3: Rede Veicular Simulada na Cidade de Helsinque.

¹ <https://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>

4.2 Avaliação de Desempenho

Na avaliação de desempenho foram configurados dois cenários: o primeiro composto de uma rede esparsa (com 40 nós), com tempo de vida da transmissão (*Time To Live* - TTL) de 60 minutos e tempo de simulação de 4 horas; e o segundo cenário possuindo a rede com maior densidade (composta por 100 nós) e com valores para o TTL de 120 minutos e o tempo de simulação de 12 horas. A variação dos fatores foi elaborada para permitir a análise de desempenho para cada ajuste da rede, e assim, identificar a configuração com melhor desempenho. A Tabela 2 apresenta os fatores e níveis do experimento.

Tabela 2: Fatores e Níveis do Experimento.

Fatores	Níveis
Protocolo	Epidemic First Contact Maxprop Spray and Wait
TTL	60 min 120 min
Quantidade de Hosts	40 nós 100 nós
Tempo de Simulação	4 horas 12 horas

O número de combinações possíveis pode ser verificado usando o princípio fundamental da contagem da análise combinatória. O fator protocolo tem quatro níveis, o TTL dois níveis, o fator quantidade de *hosts* dois níveis, e o tempo de simulação possui dois, portanto, o número de possibilidades é $4 \times 2 \times 2 \times 2$, o que resulta em 32 combinações. Para cada combinação foram feitas 8 observações no simulador, o que resulta em 256 investigações distintas no experimento.

Os níveis de cada fator foram selecionados com base na necessidade de analisar o desempenho, em condições de menor densidade e maior densidade da rede. Os níveis para o fator protocolo, foram escolhidos porque era necessário quatro protocolos de encaminhamento específicos às VDTNs. Já nos níveis de TTL foram testados valores muito pequenos como 20 minutos e 30 minutos e outros valores, e valores muito grandes como 300 minutos, então, os valores 60 minutos e 120 minutos tiveram melhor adaptação respectivamente aos cenários esparsos e densos do que os valores testados anteriormente.

Os níveis para quantidade de *hosts* foram escolhidos porque o simulador ONE suporta no mínimo 40 *hosts* não aceitando uma quantidade menor, e o valor maior de *hosts* escolhido foi 100, porque foram avaliados alguns protocolos do grupo epidêmico e o valor 100 demoraria menos tempo para simular do que valores maiores. Quanto aos níveis do tempo de simulação foram escolhidos 4 horas e 12 horas, justamente porque o simulador

ONE reagiu bem a estes valores, depois de serem testados valores no intervalo de 1 hora a 15 horas.

4.2.1 Métricas de Desempenho

Esta subsecção contém um breve resumo das métricas estudadas e utilizadas neste trabalho, usadas também na maioria dos trabalhos relacionados a esta pesquisa. As métricas são:

- **Probabilidade de Entrega (PE):** razão do número de mensagens enviadas (MEV) pelo número de mensagens criadas (MC). A Equação 4.1 apresenta o cálculo matemático proposto para esta métrica.

$$PE = \frac{MEV}{MC} \quad (4.1)$$

- **Sobrecarga de Rede (SR):** diferença de mensagens repetidas entregues (MRE) pelo número de mensagens entregues ao destino (MD). A Equação 4.2 apresenta o cálculo matemático para a sobrecarga de rede.

$$SR = \frac{MRE - MD}{MD} \quad (4.2)$$

- **Latência Média (LM):** tempo decorrido desde a criação das mensagens (TMC) no nó de origem até sua entrega ao nó destino (TED). A Equação 4.3 apresenta o cálculo matemático discutido, onde (NR) é o número de mensagens recebidas.

$$LM = \sum_{i=1}^n \frac{TMC - TED}{NR} \quad (4.3)$$

Para cada uma dessas métricas foi feita uma análise de sensibilidade usando o método estatístico *Design of Experiments* (DoE). DoE é um estudo estatístico sobre o impacto de níveis de fatores (variáveis independentes ou parâmetros) sobre um resultado (variável dependente), orientado assim um processo de otimização (MINITAB, 2017a). Os resultados do experimento configurado são apresentados no capítulo 5 de Resultados.

5 Resultados e Discussões

Os experimentos DoE foram realizados a partir dos dados gerados pelas 256 observações feitas no simulador ONE. Os ensaios foram aleatorizados para aumento do rigor desta pesquisa. A organização dos fatores e níveis pode ser conferida na Seção 4.2. Para expressar a conclusão dos experimentos, utilizou-se o gráfico de efeitos principais. O gráfico apresenta o resumo do estudo que permitiu concluir os fatores e elementos que impactam em métricas como probabilidade de entrega, latência e sobrecarga da rede.

Os gráficos são usados para demonstrar, detalhadamente, como um ou mais fatores influenciam nos valores das métricas em estudo. Essa influência é percebida pelas inclinações entre as variáveis independentes estudadas que representam a ordem de esforço. Quanto mais inclinada for a linha, maior é o impacto sobre a variável dependente (MINITAB, 2017b). Com as conclusões tiradas desses gráficos foi possível construir um *ranking* mostrando a colocação de cada protocolo em relação à sua eficiência.

5.1 DoE para Probabilidade de Entrega

A Figura 4 apresenta um gráfico de efeitos principais para probabilidade de entrega, percebe-se que a maior inclinação é na escolha do protocolo em execução, em detalhe no *Maxprop*. A diferença de impacto na probabilidade de entrega é proveniente das diferentes técnicas utilizadas por cada protocolo na comunicação. Assim, a escolha do protocolo tem maior impacto na probabilidade de perda de tráfego em redes veiculares do que os outros fatores (TTL, Número de Hosts e Tempo). O protocolo *Maxprop* obteve melhor resultado já que prioriza o planejamento de envio de pacotes, e com isso, reduz o número e chance de perdas de pacotes durante encaminhamento.

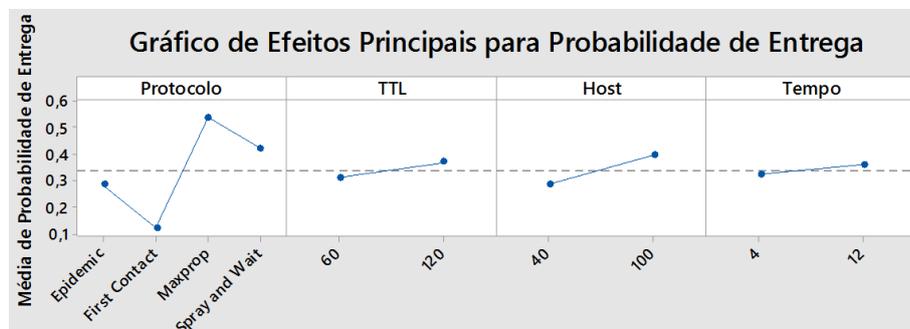


Figura 4: Gráfico de Efeitos Principais para Probabilidade de Entrega.

O protocolo *First Contact* tem menor impacto na probabilidade de entrega, tendo a mais baixa taxa de entrega de pacotes, com pior desempenho nessa métrica. O protocolo *Spray and Wait* teve a segunda melhor taxa de entrega de pacotes de acordo com o gráfico

de efeitos da Figura 4, e a terceira melhor taxa de entrega foi do protocolo *Epidemic*. Neste caso, para ganho de probabilidade de entrega seria melhor utilizar o protocolo *Maxprop*, pois, tem uma altíssima taxa de entrega de pacotes comparado aos protocolos avaliados.

5.2 DoE para Latência Média

O gráfico da Figura 5 indica que o fator TTL (Tempo de Vida de Pacote) possui maior esforço de inclinação, em detalhe no momento de alteração do nível 60 para 100. Com isso, observa-se que o TTL possui maior influência (dentre os fatores) na latência média. O nível 60 de TTL representa uma reduzida latência média percebida nas observações. Quanto menor TTL, menor o tempo que o nó (veículo ou pedestre) espera pelo pacote, e menor o tempo de latência na rede (são grandezas diretamente proporcionais), o que justifica a queda da latência média no decorrer da redução do nível de TTL.

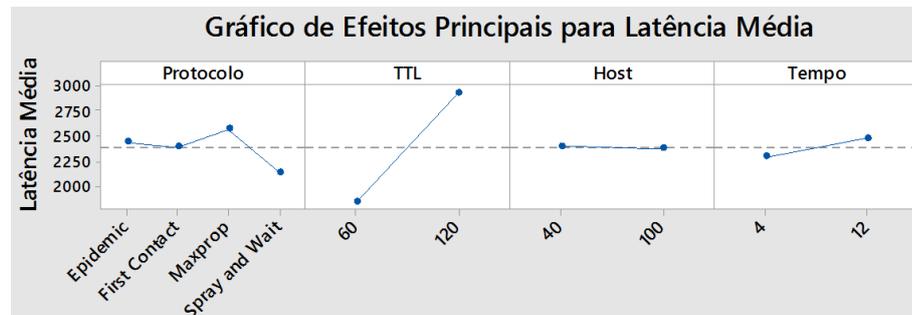


Figura 5: Gráfico de Efeitos Principais para Latência Média.

De acordo com o gráfico de efeitos da Figura 5, os piores desempenhos em latência média foram dos protocolos *Maxprop* e *Epidemic*, pois, possuem alta latência média. Os melhores desempenhos em latência média foram dos protocolos *Spray and Wait*, com a menor latência entre os protocolos comparados e *First Contact* com a segunda menor taxa de latência. Neste caso, em relação a latência seria melhor utilizar o protocolo *Spray and Wait*, pois possui baixíssima latência média comparado aos demais protocolos avaliados.

5.3 DoE para Sobrecarga da Rede

A ordem de esforço das inclinações (coloridas em azul) no gráfico da Figura 6 demonstra que o protocolo selecionado apresenta maior impacto sobre a variável dependente sobrecarga da rede motivada por diferentes características de funcionamento de cada protocolo, o que o torna com maior relevância durante escolha desse critério. O nível de protocolo que apresenta menor sobrecarga da rede é o *Spray and Wait*. Vale ressaltar que o número de *hosts* também exerce uma expressiva influência na sobrecarga, dado que o

acréscimo de nós numa rede tende a sobrecarregar os recursos e serviços, o que se percebe reduzido quando se tem 40 nós na rede (são grandezas diretamente proporcionais).

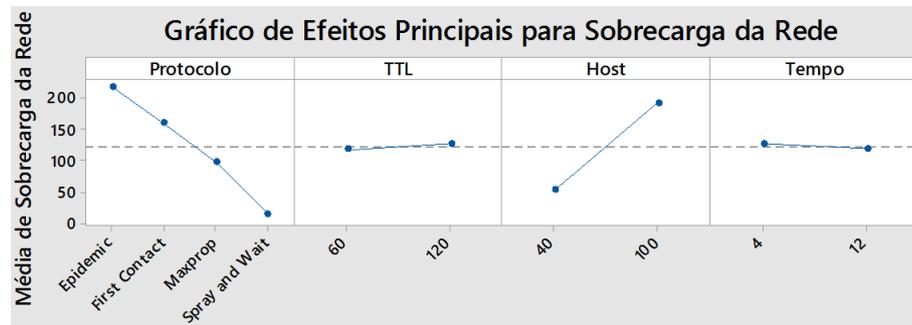


Figura 6: Gráfico de Efeitos Principais para Sobrecarga da Rede.

Segundo o gráfico de efeitos da Figura 6 os protocolos com piores desempenhos em sobrecarga de rede foram: *Epidemic*, *First Contact* e *Maxprop* com taxas de sobrecarga altas, o que pode influenciar no mau funcionamento da rede. Este problema de alta sobrecarga de rede, pode congestionar redes levando os pacotes a terem atrasos e muitas vezes perdas, neste caso, na sobrecarga de rede seria melhor utilizar o protocolo *Spray and Wait*, pois, sua taxa de sobrecarga de rede é baixíssima tendo uma diferença significativa entre todos os protocolos comparados.

5.4 Ranking

A presente seção é voltada para a apresentação de um *ranking* dos protocolos de encaminhamento estudados. O *ranking* é organizado com base nos resultados obtidos pelas análises de sensibilidade (das Seções 5.1, 5.2 e 5.3) e os desempenhos de cada protocolo. A Tabela 3 apresenta o esquema de pontuação do *ranking*.

Quando um protocolo recebe o primeiro lugar em um critério, por exemplo, ganha 5 pontos e caso receba último lugar, ele recebe 0,5 e assim acontece para segundo lugar e o terceiro lugar (com acréscimo de 2.5 e 1.0, respectivamente). Após a identificação da colocação a pontuação é somada, o que implicará no resultado final que está apresentado na Tabela 4. A estrutura de pontuação feita pode ser adequada para a montagem de uma VDTN específica. Entretanto, com os resultados deste artigo, um engenheiro pode com seus critérios elaborar os pesos para cada classificação, e assim, usar os resultados do artigo para encontrar o melhor protocolo para seu serviço.

Classificação	Pontos
1º	5,0
2º	2,5
3º	1,0
4º	0,5

Tabela 3: Pontuação por critério.

Posição	Protocolo	Probabilidade de Entrega	Sobrecarga de Rede	Latência Média	Pontuação
1º	<i>Spray And Wait</i>	0,6181	8,0011	1641,9172	10,0
2º	<i>Maxprop</i>	0,7734	40,9028	1900,1374	8,5
3º	<i>First Contact</i>	0,1643	61,1375	1469,9553	6,5
4º	<i>Epidemic</i>	0,3587	65,1828	1916,037	2,0

Tabela 4: *Ranking* geral analisando cenários densos e esparsos.

De acordo com a Tabela 4, em cenários densos e esparsos, os protocolos *Epidemic* e *First Contact* obtiveram os piores desempenhos, baixas probabilidades de entrega de pacotes e altas sobrecargas de rede. Quanto a latência média, o *First Contact* mostrou a menor taxa e o *Epidemic* obteve a maior latência média, classificando-se como o pior protocolo neste critério. Os melhores desempenhos foram obtidos pelos protocolos *Spray And Wait* e *Maxprop* com altas probabilidades de entrega de pacotes.

No critério probabilidade de entrega, o protocolo *Maxprop* conseguiu entregar 77,34% dos pacotes, tendo o melhor desempenho. Os protocolos *Spray And Wait* e *Maxprop* possuem menores impactos na sobrecarga da rede, e tempos de latência intermediários. Considerando a pontuação estabelecida na Tabela 3, o protocolo *Spray and Wait* tem melhor desempenho com suas pontuações.

6 Considerações Finais

O avanço das VDTNs é visto em diferentes áreas existentes (segurança, controle de tráfego, entretenimento, questões emergenciais), sua aplicação está cada vez maior, e devido ao uso de seus protocolos de comunicação específicos tem boa qualidade no roteamento. Na área de questões emergenciais do trânsito, por exemplo, melhores rotas são encontradas utilizando protocolos de encaminhamento específicos em VDTNs, para que as mensagens sejam entregues com melhor desempenho ao destinatário. Isso pode reduzir a quantidade de acidentes no trânsito, congestionamentos, deslizamentos entre outros problemas.

Este trabalho mostra uma avaliação de desempenho, utilizando os protocolos *Epidemic*, *First Contact*, *Maxprop* e *Spray and Wait*, avaliados pelas métricas de desempenho probabilidade de entrega, latência média e sobrecarga da rede. Ainda, foi realizada a mensuração de impacto de fatores para cada uma dessas métricas na análise de sensibilidade, comparando os experimentos realizados para cada métrica a fim de encontrar o melhor protocolo.

Conforme os resultados obtidos com os experimentos, foi comprovado que o protocolo *Spray and Wait* obteve melhor desempenho por apresentar menor latência e sobrecarga da rede, e uma intermediária probabilidade de entrega quando comparado aos outros protocolos. O estudo também apontou que engenheiros de VDTNs devem considerar, principalmente, o protocolo escolhido no ganho de probabilidade de entrega e sobrecarga da rede, e número de TTL na latência média de VDTNs.

6.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, almeja-se o desenvolvimento de uma aplicação *Android* veicular tolerante a atrasos e desconexões usando o protocolo *Spray and Wait* para obtenção de melhor desempenho. Além disso, pretende-se integrar outros protocolos como *Direct Delivery* e *PRoPHET* nas próximas avaliações, passando assim, da avaliação de protocolos em ambiente simulado para um ambiente real.

O protocolo *Direct Delivery* é simplista, no qual o nó que origina a mensagem transporta-a até se encontrar com o seu destino, entregando-lhe diretamente a mensagem, já no encaminhamento *PRoPHET* o nó inicial transmite a mensagem para um nó vizinho quando ele estima que esse vizinho tenha maior probabilidade de entregar a mensagem, baseando-se as estimativas em encontros anteriores entre nós (NUNES, 2013). Por esses motivos os protocolos *Direct Delivery* e *PRoPHET* serão avaliados em ambiente real futuramente.

7 Publicações

COSTA, B. et al. Avaliação sobre protocolos de encaminhamento em redes veiculares tolerantes a atrasos e desconexões. In: *ENUCOMP 2017 (Anais Eletrônicos)*. [s.n.], 2017. Disponível em <http://www.enucomp.com.br/2017/enucomp_anaisX_2017.pdf>.

Referências

- ALVES, R. d. S. et al. Uma análise experimental da capacidade de redes ad hoc veiculares. *SBrTSimpósio Brasileiro de Telecomunicações*, p. 8, 2008. Citado na página 17.
- ALVES, R. d. S. et al. Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, 2009. Citado na página 15.
- BASSO, D. O. IEEE 802.11p: análise de desempenho de redes sem fio veiculares. 2013. Citado na página 17.
- BLAKE, J. T.; REIBMAN, A. L.; TRIVEDI, K. S. Sensitivity analysis of reliability and performability measures for multiprocessor systems. In: ACM. *ACM SIGMETRICS performance evaluation review*. [S.l.], 1988. v. 16, n. 1, p. 177–186. Citado na página 21.
- BUKH, P. N. D. *The art of computer systems performance analysis, techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling*. [S.l.]: JSTOR, 1992. Citado na página 21.
- BURLEIGH, S. et al. Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 41, n. 6, p. 128–136, 2003. Citado na página 19.
- CÂMARA, D. et al. Vehicular delay tolerant networks. *Handbook of research on mobility and computing: evolving technologies and ubiquitous impacts*, IGI Global, p. 356–367, 2011. Citado na página 15.
- CASTELLS, M. *A Galáxia Internet: reflexões sobre a Internet, negócios e a sociedade*. [S.l.]: Zahar, 2003. Citado na página 17.
- FRANK, P. M. *Introduction to system sensitivity theory*. [S.l.]: Academic press New York, 1978. Citado na página 21.
- HAMBY, D. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental monitoring and assessment*, Springer, v. 32, n. 2, p. 135–154, 1994. Citado na página 21.
- HOSSEN, M. S.; RAHIM, M. S. On the performance of delay-tolerant routing protocols in intermittently connected mobile networks. *Rajshahi University Journal of Science and Engineering*, v. 43, p. 29–38, 2015. Citado na página 24.
- LI, F.; WANG, Y. Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. *IEEE Vehicular technology magazine*, IEEE, v. 2, n. 2, 2007. Citado na página 14.
- MATOS, R. et al. Sensitivity analysis of a hierarchical model of mobile cloud computing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Elsevier, v. 50, p. 151–164, 2015. Citado na página 21.

- MINITAB. Designing an experiment. Disponível em: support.minitab.com/en-us/minitab/17/getting-started/designing-an-experiment. Acesso em: 14/06/2017. In: . [s.n.], 2017. Disponível em: [<http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/getting-started/designing-an-experiment/>](http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/getting-started/designing-an-experiment/). Acesso em: 14.05.2017. Citado na página 28.
- MINITAB. O que é um gráfico de efeitos principais? Disponível em: support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-a-main-effects-plot/. Acesso em: 17/06/2017. In: . [s.n.], 2017. Disponível em: [<support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-a-main-effects-plot/>](http://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-a-main-effects-plot/). Acesso em: 14.06.2017. Citado na página 29.
- MOUSTAFA, H.; ZHANG, Y. *Vehicular networks: techniques, standards, and applications*. [S.l.]: Auerbach publications, 2009. Citado na página 17.
- NAZ, F. et al. A study on the challenges and importance of vehicular network in the context of bangladesh. In: IEEE. *Research and Development (SCOReD), 2011 IEEE Student Conference on*. [S.l.], 2011. p. 265–270. Citado na página 15.
- NUNES, J. *Aplicações para Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior Técnico, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 33.
- OLIVEIRA, M.; SILVA, É. R. Impacto dos modelos de mobilidade no desempenho de redes tolerantes a atrasos e desconexões. In: CEEL. *Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica*. [S.l.], 2016. Citado na página 24.
- SARKAR, S. K.; BASAVARAJU, T.; PUTTAMADAPPA, C. *Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications*. [S.l.]: CRC Press, 2007. Citado na página 18.
- SEGURAS, P. V. Por vias seguras. In: . [s.n.], 2017. Disponível em: http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais>. Acesso em: 18.10.2017. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 14.
- SENART, A. et al. *Vehicular networks and applications*. [S.l.]: Springer, 2009. 369–382 p. Citado na página 17.
- SERRADO, R. P. et al. Proposta de roteamento para redes veiculares tolerantes a atrasos. 2014. Citado 4 vezes nas páginas 17, 18, 20 e 21.
- SOARES, V. N. et al. Protocolos de encaminhamento para redes veiculares com ligações intermitentes. In: *CRC 2012: 12ª Conferência sobre Redes de Computadores*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 77–84. Citado na página 24.
- SPAHO, E. et al. Performance comparison of different routing protocols in sparse and dense vdtms. In: IEEE. *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2016 IEEE 30th International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 698–703. Citado na página 24.
- S.PAULO, F. de. Brasil é o quarto país com mais mortes no trânsito na América, diz oms. In: . [s.n.], 2017. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/05/1772858-brasil-e-o-quarto-pais-com-mais-mortes-no-transito-na-america-diz-oms.shtml>>. Acesso em: 18.10.2017. Citado na página 14.

SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In: ACM. *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*. [S.l.], 2005. p. 252–259. Citado na página 20.

TANNENBAUM, A. Redes de computadoras. *Ed. Pearson Education Andrew Tannenbaum Redes de computadores, Ed. Pearson Education*, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

ZHAO, J.; CAO, G. Vadd: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. *IEEE transactions on vehicular technology*, IEEE, v. 57, n. 3, p. 1910–1922, 2008. Citado na página 18.

Apêndices

APÊNDICE A – Apêndice

Foram 32 testes gerados pelo simulador ONE para cada uma das configurações estabelecidas para cada métrica, foram levados em questão tanto cenários densos quanto esparsos, para melhor entendimento os parênteses abaixo estão descritos da seguinte forma: **Protocolo teste x (TTL/Número de Hosts/Tempo de Simulação)**. Cada um dos quatro protocolos tiveram 8 combinações diferentes, gerando assim 8X4 relatórios. Serão expostos alguns dos relatórios:

Epidemic teste 1 (60/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000

created: 489

started: 17327

relayed: 8399

aborted: 8924

dropped: 8253

removed: 0

delivered: 126

delivery_prob: 0.2577

response_prob: 0.0000

overhead_ratio: 65.6587

latency_avg: 2080.3087

latency_med: 2123.8000

hopcount_avg: 3.3016

hopcount_med: 3

buffertime_avg: 910.7570

buffertime_med: 706.1000

rtt_avg: NaN

rtt_med: NaN

Epidemic teste 2(120/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000

created: 489

started: 18195

relayed: 9187

aborted: 9004

dropped: 8807

removed: 0
delivered: 117
delivery_prob: 0.2393
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 77.5214
latency_avg: 2734.4641
latency_med: 2570.2000
hopcount_avg: 3.7521
hopcount_med: 3
buffertime_avg: 1155.9475
buffertime_med: 845.9000
rtt_avg: NaN
rtt_med: NaN

First Contact teste 1(60/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000
created: 489
started: 9300
relayed: 3664
aborted: 5632
dropped: 334
removed: 3664
delivered: 40
delivery_prob: 0.0818
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 90.6000
latency_avg: 1539.8825
latency_med: 1421.6000
hopcount_avg: 4.3500

hopcount_med: 5
buffertime_avg: 350.5380
buffertime_med: 204.0000
rtt_avg: NaN
rtt_med: NaN

First Contact teste 2(120/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000
created: 489
started: 11125
relayed: 4594
aborted: 6527
dropped: 233
removed: 4594
delivered: 66
delivery_prob: 0.1350
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 68.6061
latency_avg: 2949.0818
latency_med: 3199.6000
hopcount_avg: 7.7121
hopcount_med: 6
buffertime_avg: 422.0486
buffertime_med: 241.7000
rtt_avg: NaN
rtt_med: NaN

Maxprop teste 1(60/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000
created: 489
started: 17605
relayed: 8432
aborted: 9169
dropped: 6657
removed: 1564
delivered: 171
delivery_prob: 0.3497
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 48.3099
latency_avg: 2046.1743
latency_med: 2104.5000
hopcount_avg: 2.2807
hopcount_med: 2
buffertime_avg: 785.4951
buffertime_med: 352.0000
rtt_avg: NaN
rtt_med: NaN

Maxprop teste 2(120/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000
created: 489
started: 18350
relayed: 9051
aborted: 9294
dropped: 6832
removed: 1854
delivered: 216

delivery_prob: 0.4417
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 40.9028
latency_avg: 3184.4935
latency_med: 3126.0000
hopcount_avg: 2.0324
hopcount_med: 2
buffertime_avg: 813.0057
buffertime_med: 22.5000
rtt_avg: NaN
rtt_med: NaN

Spray And Wait teste 1(60/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000
created: 489
started: 6445
relayed: 2358
aborted: 4086
dropped: 2196
removed: 0
delivered: 145
delivery_prob: 0.2965
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 15.2621
latency_avg: 1641.9172
latency_med: 1613.4000
hopcount_avg: 2.3655
hopcount_med: 2
buffertime_avg: 2510.4749

buffertime_med: 2679.5000

rtt_avg: NaN

rtt_med: NaN

Spray And Wait teste 2(120/40/4)

Message stats for scenario default_scenario

sim_time: 14400.0000

created: 489

started: 6611

relayed: 2412

aborted: 4198

dropped: 2025

removed: 0

delivered: 175

delivery_prob: 0.3579

response_prob: 0.0000

overhead_ratio: 12.7829

latency_avg: 2196.3057

latency_med: 1926.9000

hopcount_avg: 2.4000

hopcount_med: 2

buffertime_avg: 3418.1587

buffertime_med: 3168.1000

rtt_avg: NaN

rtt_med: NaN



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
“JOSÉ ALBANO DE MACEDO”**

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
() Dissertação
 Monografia
() Artigo

Eu, Boaz de Sousa Costa,
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de
02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar,
gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação
Avaliação sobre Protocolos de Encaminhamento em Redes
Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões
de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título
de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 02 de Fevereiro de 2018.

Boaz de Sousa Costa
Assinatura