

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

Boaz Costa ¹, Rodrigo Leal ², Ivan Nascimento Filho ³, Patricia Drumond ⁴, Pablo Vieira ⁵.

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 artigo, são comparados os protocolos de encaminhamento: Epidemic, First Contact, Maxprop e Spray and Wait a fim de apontar o melhor protocolo. 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-chave: 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 don't have a stable connection. For this to be possible, specific routing protocols must be used. In this paper, there are compared some routing protocols 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 over 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.

¹Universidade Federal do Piauí, Picos - PI, E-mail: boazcosta@gmail.com

²Universidade Federal do Piauí, Picos - PI, E-mail: rodrigo19962010@live.com

³Universidade Federal do Piauí, Picos - PI, E-mail: ivanfilho21@gmail.com

⁴Universidade Federal do Piauí, Picos - PI, E-mail: patymedy@hotmail.com

⁵Universidade Federal do Piauí, Picos - PI, E-mail: pablolukan@hotmail.com

1 Introdução

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 (*Vehicular 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 (ZENG et al., 2013).

Baseado neste contexto, o presente artigo realiza 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.

Os protocolos avaliados foram: *Epidemic*, *First Contact*, *Maxprop* 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 (descritos no período anterior) na Probabilidade de Entrega, Sobrecarga e Latência a fim de guiar engenheiros na montagem e configuração de VDTNs.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o referencial teórico utilizado neste trabalho; a seção 3 refere-se ao experimento de simulação utilizado como base para avaliar o desempenho de cada protocolo; a seção 4 apresenta os resultados obtidos; a seção 5 trata dos trabalhos relacionados com esta pesquisa e a seção 6 trata da conclusão e de trabalhos futuros.

Este estudo é uma versão estendida de um artigo publicado no Encontro Unificado de Computação do Piauí - (ENUCOMP 2017) (COSTA et al., 2017). As extensões em relação ao trabalho original incluem maior detalhamento no referencial teórico, tais extensões são apresentadas na Subseção 2.1, Subseção 2.2, Subseção 2.3, Subseção 2.4 e nos resultados foi adicionada uma nova Subseção 4.5.

2 Referencial Teórico

Esta seção é voltada 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 infraestruturado; 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).

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 1 retrata um modelo de arquiteturas de uma rede veicular com as três arquiteturas coexistentes.

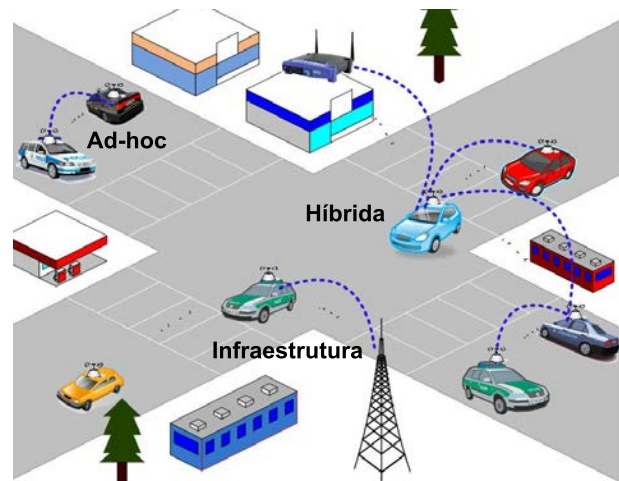


Figura 1: Arquiteturas de uma Rede Veicular (MAHESWARI; KUMAR,).

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 podem 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 consequentemente 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).

2.3.1 Escolha dos Protocolos

Como se trata de uma análise de encaminhamento tolerante a atraso e de protocolos de encaminhamento, foi utilizado o simulador ONE (*Opportunistic Network Environment*), nesse simulador todos os protocolos avaliados neste artigo são suportados. Os protocolos foram escolhidos de acordo com seus grupos, foi necessário escolher protocolos de grupos distintos para que fosse possível medir o desempenho

destes protocolos, os quais possuem formas diferentes de encaminhamento de pacotes de dados. Neste artigo foram avaliados protocolos de dois grupos de encaminhamento, como o grupo epidêmico em que se encontra os protocolos *Epidemic*, *First Contact* e *Spray and Wait* e o grupo probabilístico composto pelo protocolo Maxprop.

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 ní-

veis 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 Experimentos

O simulador ONE⁶ foi usado para simular o tráfego de uma Rede Veicular na arquitetura *Ad-hoc* na cidade Helsinque na Finlândia. 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. A velocidade dos nós vai de 10 até 50 km/h. O padrão de comunicação utilizado no simulador pelos nós é a interface Bluetooth.

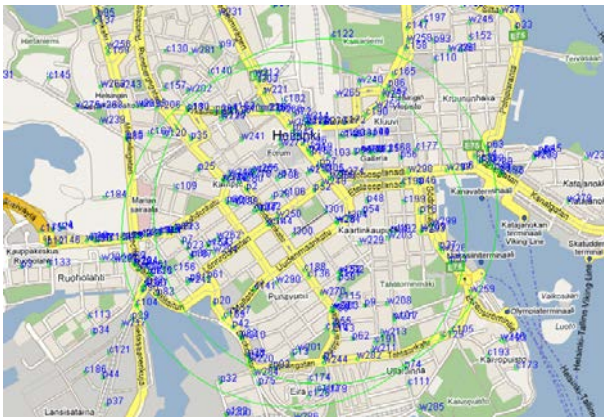


Figura 2: Rede Veicular Simulada na Cidade de Helsinque.

Foram configurados dois cenários: o primeiro composto de uma rede esparsa (com 40 nós), com Tempo de Vida da Transmissão (Time To Live - TTL) e Tempo de Simulação menores; e o segundo cenário possuindo a rede com maior densidade (composta por 100 nós) e com valores maiores para o TTL e o Tempo

de Simulação. 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. Cada rótulo em azul na Figura 2 representa um nó ou veículo que faz parte do fluxo do trânsito simulado em uma rede veicular.

Os fatores utilizados foram: Protocolo, TTL, Quantidade de Hosts e Tempo de Simulação, os níveis utilizados para Protocolo foram: Epidemic, First Contact, Maxprop e Spray and Wait, com níveis de TTL 60 e 120, Quantidade de Hosts com níveis 40 e 100 e Tempo de Simulação com níveis 4 horas e 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. As métricas estudadas e monitoradas durante cada observação foram:

- **Probabilidade de Entrega (PE):** razão do número de mensagens enviadas (*MEV*) pelo número de mensagens criadas (*MC*). A Equação 1 apresenta o cálculo matemático proposto para esta métrica.

$$PE = \frac{MEV}{MC} \quad (1)$$

- **Sobrecarga de Rede (SR):** diferença de mensagens repetidas entregues (*MRE*) pelo número de mensagens entregues ao destino (*D*). A Equação 2 apresenta o cálculo matemático para a Sobrecarga de Rede.

$$SR = \frac{MRE - D}{D} \quad (2)$$

⁶<https://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>

- **Latência Média (LM):** tempo decorrido desde a criação das mensagens (*TMC*) no nó de origem até sua entrega ao nó destino (*TED*). A Equação 3 apresenta o cálculo matemático discutido, onde (*NR*) é o número de mensagens recebidas.

$$LM = \sum_{i=1}^n \frac{TMC - TED}{NR} \quad (3)$$

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 na Seção 4.

4 Resultados

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 3. Para expressar a conclusão dos experimentos, utilizou-se o gráfico de Efeitos Principais que pode ser visualizado nas Figuras 3, 4 e 5 das subseções seguintes. 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 (coloridas em azul nos gráficos das Figuras 3, 4 e 5) 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. A Seção 4.4 apresenta o *ranking* de protocolos de encaminhamento estudados.

4.1 DoE para Probabilidade de Entrega

Percebe-se pelo gráfico da Figura 3 que a maior inclinação é na escolha do Protocolo em execução, em detalhe no *Maxprop*. Pode-se observar uma diferença expressiva durante alternância de protocolos principalmente entre *First Contact* e *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 3: Gráfico de Efeitos Principais para Probabilidade de Entrega.

4.2 DoE para Latência Média

O gráfico da Figura 4 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 variável Latência Média. O nível 60 de TTL representa uma reduzida Latência Média percebida nas observações. Quanto menor o 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. O protocolo também exerce uma influência sobre esta variável, com destaque para o protocolo *Spray and Wait* que apresentou configuração com menor Latência Média.



Figura 4: Gráfico de Efeitos Principais para Latência Média.

4.3 DoE para Sobrecarga da Rede

A ordem de esforço das inclinações (coloridas em azul) no gráfico da Figura 5 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).

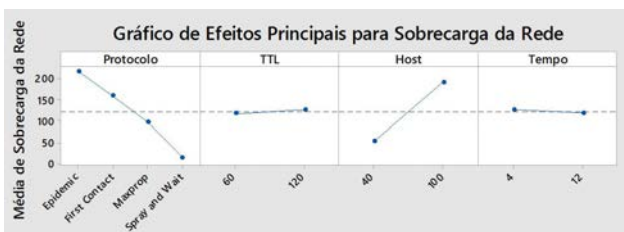


Figura 5: Gráfico de Efeitos Principais para Sobrecarga da Rede.

4.4 Ranking

A presente subseção 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 (da Seção 4.1, 4.2 e 4.3) e os desempenhos de cada protocolo. A seguir será apresentado o esquema de pontuação do *ranking* na Tabela 1.

Por exemplo, quando um protocolo recebe o primeiro lugar em um critério, 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 2. 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 1: Pontuação por critério.

N	Protocolo	PE	SR	LM	Pontos
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 2: *Ranking* geral analisando cenários densos e esparsos.

De acordo com a Tabela 2, 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 1, o protocolo *Spray and Wait* tem melhor desempenho com suas pontuações.

4.5 Exemplificando Rankings

O *ranking* poderá ser desenvolvido de acordo com o critério que cada engenheiro de VDTN escolher, por exemplo o engenheiro deseja um protocolo que possua uma probabilidade de entrega alta, utilizando os resultados obtidos neste artigo e de acordo com o *ranking* geral da Tabela 2, a Tabela 3 apresenta um *ranking* específico analisando somente a probabilidade de entrega.

N	Protocolo	PE	Pontos
1º	<i>Maxprop</i>	0,7734	5,0
2º	<i>Spray And Wait</i>	0,6181	2,5
3º	<i>Epidemic</i>	0,3587	1,0
4º	<i>First Contact</i>	0,1643	0,5

Tabela 3: *Ranking* específico analisando a probabilidade de entrega em cenários densos e esparsos.

A Tabela 4 apresenta um *ranking* específico para um engenheiro de VDTN que deseja escolher o melhor protocolo de acordo com a sobrecarga da rede, ou seja, é almejado o protocolo que obtenha menor sobrecarga da rede.

N	Protocolo	SR	Pontos
1º	<i>Spray And Wait</i>	8,0011	5,0
2º	<i>Maxprop</i>	40,9028	2,5
3º	<i>First Contact</i>	61,1375	1,0
4º	<i>Epidemic</i>	65,1828	0,5

Tabela 4: *Ranking* específico analisando a sobrecarga da rede em cenários densos e esparsos.

A Tabela 5 apresenta um *ranking* específico para a latência média, um engenheiro de VDTN, por exemplo, deseja saber qual a rede com a menor latência média, ou seja, qual a melhor latência média dentre as avaliadas em cada protocolo.

N	Protocolo	LM	Pontos
1º	<i>First Contact</i>	1469,9553	5,0
2º	<i>Spray And Wait</i>	1641,9172	2,5
3º	<i>Maxprop</i>	1900,1374	1,0
4º	<i>Epidemic</i>	1916,037	0,5

Tabela 5: *Ranking* específico analisando a latência média em cenários densos e esparsos.

5 Trabalhos Relacionados

Os critérios de comparação são comentados. A seguir a Tabela 6 sintetiza as contribuições do trabalhos relacionados com este artigo. As referências são ordenadas por ano e categorizadas por três critérios: Protocolos, DoE e Métricas (critérios de avaliação).

- **Protocolos:** Soares et al. (2013) acompanharam e analisaram o desempenho dos protocolos: *First Contact*, *Direct Delivery*, *Epidemic*, *Spray and Wait*, *PROPHET*, *GeOpps* e *GeoSpray*. Hossen e Rahim (2015) consideraram os protocolos: *Epidemic*, *PROPHET* 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 seis métricas de protocolos de VDTNs. Já Houssen e Rahim (2015) utilizaram quatro métricas. Spaho *et al.* (2016) investigaram os impactos da densidade da rede e TTL de pacotes sobre quatro métricas. Oliveira e Silva (2016) utilizaram três parâmetros para medir o desempenho de seus protocolos em 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.

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

Tabela 6: Relação entre os Trabalhos Científicos.

O presente artigo se diferencia por buscar 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), Hossein e Rahim (2015) e Spaho et al. (2016). O restante dos trabalhos não satisfazem todas as métricas discutidas.

Os protocolos aqui estudados também foram tratados no trabalho de Oliveira e Silva (2016). Os outros artigos relacionados não trataram de todos esses protocolos. Os protocolos escolhidos para avaliação passaram por avaliações científicas, com bons desempenhos em critérios, porém, nenhum passou por investigação DoE e *ranking* estruturado como nesta proposta (considerando os trabalhos relacionados descritos).

6 Conclusão e Trabalhos Futuros

O protocolo *Spray and Wait* obteve melhor desempenho por apresentar menor Latência e Sobrecarga da Rede, e uma intermediária Probabilidade de Entrega. 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. Futuramente, planeja-se uma aplicação veicular tolerante a atraso e desconexões usando o protocolo *Spray and Wait* para obter melhor desempenho. Além disso, pretende-se integrar outros protocolos como *Direct Delivery* e PROPHET nas próximas avaliações, e passar o estudo de um cenário simulado para um ambiente real.

Agradecimentos

A Deus seja a honra, glória e louvor para sempre, agradeço também aos co-autores.

Referências

- ALVES, R. d. S. et al. Uma análise experimental da capacidade de redes ad hoc veiculares. *SBrTSimpósio Brasileiro de Telecomunicações*, p. 8, 2008.
- BASSO, D. O. Ieee 802.11 p: análise de desempenho de redes sem fio veiculares. 2013.
- BLAKE, J. T.; REIBMAN, A. L.; TRIVEDI, K. S. Sensitivity analysis of reliability and performance measures for multiprocessor systems. In: ACM. *ACM SIGMETRICS performance evaluation review*. [S.l.], 1988. v. 16, n. 1, p. 177–186.
- BUKH, P. N. D. *The art of computer systems performance analysis, techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling*. [S.l.]: JSTOR, 1992.
- BURLEIGH, S. et al. Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 41, n. 6, p. 128–136, 2003.
- 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.
- CASTELLS, M. A *Galáxia Internet: reflexões sobre a Internet, negócios e a sociedade*. [S.l.]: Zahar, 2003.
- 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>.
- FRANK, P. M. *Introduction to system sensitivity theory*. [S.l.]: Academic press New York, 1978. v. 1.
- 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.

- 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.
- MAHESWARI, R.; KUMAR, T. K. Efficient way of emergency message dissemination and reliable broadcast in vehicular ad-hoc network.
- 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.
- 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/>. Acesso em: 14.05.2017.
- 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/. Acesso em: 14.06.2017.
- MOUSTAFA, H.; ZHANG, Y. *Vehicular networks: techniques, standards, and applications*. [S.l.]: Auerbach publications, 2009.
- 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.
- NUNES, J. *Aplicações para Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior Técnico, 2013.
- 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.
- SARKAR, S. K.; BASAVARAJU, T.; PUTTAMADAPPA, C. *Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications*. [S.l.]: CRC Press, 2007.
- SENART, A. et al. *Vehicular networks and applications*. [S.l.]: Springer, 2009. 369–382 p.
- SERRADO, R. P. et al. Proposta de roteamento para redes veiculares tolerantes a atrasos. 2014.
- 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.
- SPAHO, E. et al. Performance comparison of different routing protocols in sparse and dense vdnets. In: IEEE. *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2016 IEEE 30th International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 698–703.
- 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.
- TANNENBAUM, A. *Redes de computadores*. Ed. Pearson Education Andrew Tannenbaum *Redes de computadores*, Ed. Pearson Education, 2003.
- ZENG, Y. et al. Directional routing and scheduling for green vehicular delay tolerant networks. *Wireless networks*, Springer, v. 19, n. 2, p. 161–173, 2013.
- 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.