

# Lógica Fuzzy para Melhorar o Desempenho do Protocolo AODV em Redes Ad Hoc Veiculares

Antonio Sérgio de Sousa Vieira  
Laboratório de Redes de Computadores (LARCES)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)  
Fortaleza, Ceará  
Email: sergiosvieira@larces.uece.br

Joaquim Celestino Júnior  
Laboratório de Redes de Computadores (LARCES)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)  
Fortaleza, Ceará  
Email: celestino@larces.uece.br

**Resumo**—Com a popularização da comunicação sem-fio, novas tecnologias estão sendo empregadas em diversas áreas. Uma delas é a rede veicular. Através destas redes, diversas aplicações estão sendo propostas, tanto para melhoria do fluxo de tráfego nas cidades quanto para segurança dos passageiros. Porém, para que tais aplicações possam funcionar adequadamente é necessário o desenvolvimento de protocolos específicos para redes veiculares, por conta de suas características únicas. Este trabalho vai de encontro a esta necessidade. Aqui, apresenta-se uma abordagem fuzzy para ajustar o intervalo de envio de mensagens no protocolo AODV, já consagrado em MANET, de forma que ele adequa-se melhor a um cenário VANET.

## I. INTRODUÇÃO

As Redes Ad Hoc Veiculares (*Veicular Ad hoc NETWORKS*) [1] são um novo sistema de comunicação móvel que vêm atraindo bastante atenção tanto da indústria automobilística quanto da academia. Embora seja um assunto relativamente novo, diversos trabalhos a seu respeito já foram publicados, principalmente aqueles relacionados a aplicações de segurança [2], entretenimento [3] e assistência ao motorista [4].

As aplicações VANETs interferem diretamente no dia-a-dia das pessoas. Elas podem, por exemplo, ajudar a encontrar vagas em estacionamentos [5], reportar acidentes [6] ou possibilitar jogos entre ocupantes de veículos diferentes [7].

Para que tais aplicações funcionem satisfatoriamente, a rede veicular deve provêr protocolos adaptáveis à diferentes ambientes e contextos. Um nó da rede veicular deve estar ciente das características do ambiente no qual se encontra para não influenciar negativamente no desempenho dos protocolos VANETs, principalmente no caso dos protocolos de roteamento.

Apesar de uma rede VANET ser parecida a uma MANET (*Mobile Ad hoc NETWORK*), algumas de suas características impossibilitam a utilização de protocolos de roteamento MANET, uma vez que o desempenho de tais protocolos foram notadamente baixos [8].

O intuito deste trabalho é adaptar o protocolo AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*) [9] considerando alguns conceitos observados em [10] para o desenvolvimento de um protocolo de roteamento VANET. Desta forma, pretende-se identificar, através de simulações, como uma destas características influencia no desempenho do protocolo de roteamento AODV em um cenário veicular.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II são apresentados os trabalhos relacionados, na Seção III apresenta-se os conceitos iniciais necessários para entender a proposta, já na Seção IV é apresentada a proposta para melhorar o desempenho do protocolo AODV, na Seção V apresenta-se como os experimentos foram realizados e que resultados foram obtidos, na Seção VI expõe-se as conclusões e trabalhos futuros e por último, na Seção VII, os agradecimentos.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Para propor uma melhoria no protocolo AODV, levou-se em conta as ideias contidas nos trabalhos [11] e [10].

Em [11] é realizado um estudo para identificar como a mobilidade influencia no desempenho de protocolos de roteamento reativos MANETs, principalmente o DSR (*Distance Sourcing Routing*) e o AODV.

De forma geral, os autores de [11] realizaram simulações para identificar como o tempo de duração de uma rota é influenciado pelo modelo de mobilidade, velocidade relativa, número de saltos e alcance de transmissão. Através de experimentos, identificou-se que em baixas velocidades, a distribuição de probabilidade é multi-modal, influenciando diretamente no padrão de comunicação.

Outra observação importante é que se a velocidade de um nó for maior que 10 m/s e a quantidade de saltos em um caminho maior que dois, então sua duração média pode ser aproximada por uma distribuição exponencial. Portanto, como é de se esperar, mostra-se que é mais provável existirem rotas com baixo tempo de duração em um cenário com nós com velocidade superior a 10 m/s, o que é bem comum em uma rede veicular.

Além do exposto anteriormente, os autores afirmam que existe uma relação entre o tempo de duração médio de uma rota e o desempenho do protocolo em função da vazão e da sobrecarga de roteamento. Quanto maior o tempo de duração de uma rota, maior a vazão e menor a sobrecarga de roteamento. Também é observado que a duração média de um caminho é diretamente proporcional ao alcance de transmissão do dispositivo e inversamente proporcional ao número de saltos e a velocidade média dos nós.

Em [10], os autores apontam um conjunto de características comuns em grande parte dos protocolos de roteamento de-

envolvidos para VANETs. São identificados os problemas de cada protocolo analisado e os autores sugerem algumas medidas para contorná-los. Por exemplo, em um protocolo de roteamento geográfico, como o GSR (*Global State Routing*), o problema está na suposição em que uma mensagem pode ser entregue com sucesso quando a distância entre dois nós for menor que o alcance de transmissão. Porém, sabe-se que em um ambiente real, quanto maior a distância entre os nós envolvidos na comunicação, menor será a probabilidade da mensagem ser recebida com sucesso. Por último, os autores apontam que características um protocolo de roteamento VANET deve possuir.

### III. CONCEITOS INICIAIS

#### A. *Vehicular Ad Hoc Networks*

Redes ad hoc veiculares (VANETs) são uma subclasse de rede ad hoc móvel que surgiram graças ao avanço na tecnologia de transmissão de redes sem fio. A necessidade de aumentar a segurança e eficiência do tráfego por meio de comunicação entre veículos é um dos principais fatores que motivaram seu desenvolvimento.

Uma VANET é formada espontaneamente entre veículos equipados com dispositivos de interface sem fio (*On Board Unit*) que podem ou não estar em movimento, tais dispositivos podem empregar sistemas de comunicação de curto e médio alcance.

Numa rede veicular também podem existir equipamentos instalados ao lado da estrada (*Road Side Unit*) que podem ser responsáveis por fornecer acesso à Internet além de possibilitar comunicação entre veículos fora do alcance de transmissão.

Na formação e utilização de uma rede veicular, a comunicação pode ser realizada entre veículos (*Vehicle to Vehicle*) (Figura 1), entre veículos e RSUs (*Vehicle to Infrastructure*) (Figura 2) ou utilizando os dois métodos (Figura 3).

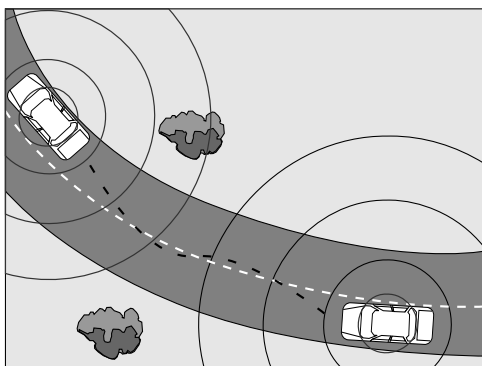


Figura 1. Comunicação veículo-veículo

Na comunicação exclusiva entre veículos (V2V), cada OBU funciona em modo ad hoc, podendo assim, encaminhar mensagens através de múltiplos saltos. Neste tipo de configuração, uma vantagem clara é não ser necessária uma infraestrutura para seu funcionamento, contudo, a conectividade da rede depende fortemente da densidade de veículos na estrada. Uma vez que os OBUs se tornem comuns nos veículos, o problema

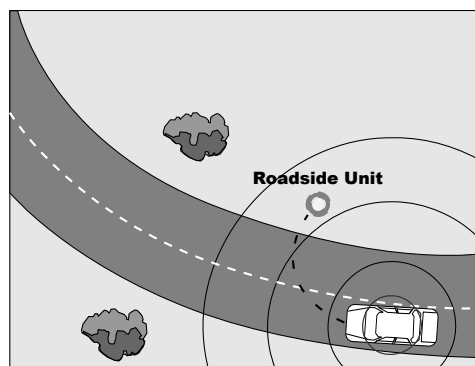


Figura 2. Comunicação veículo-infraestrutura

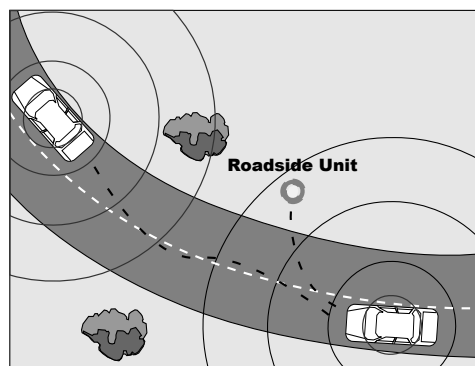


Figura 3. Comunicação veículo-veículo e veículo-infraestrutura (híbrida)

de baixa conectividade será amenizado, mas, no início da implantação desta tecnologia, certamente a rede deve sofrer bastante com o problema de baixa conectividade [12].

Já no modo infraestruturado (V2I), a conectividade da rede veicular aumenta em função da quantidade de RSUs instalados, porém, o custo de implantação cresce substancialmente, o que pode inviabilizar sua adesão.

Uma das vantagens em utilizar RSUs é a possibilidade de comunicação entre veículos distantes. Uma vez que RSUs diferentes estiverem conectados por fios ou outros *links* de comunicação fixa (Internet), esta ligação pode servir para comunicação entre veículos que estejam fora de seus alcances de transmissão sem-fio (Figura 4).

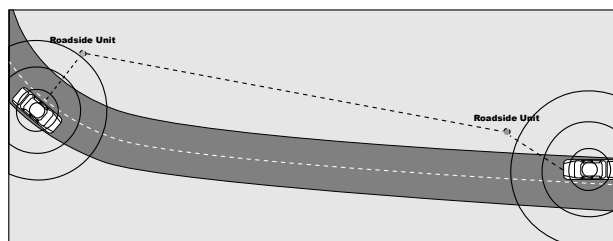


Figura 4. Comunicação entre veículos distantes através de RSUs interligadas

Apesar de semelhante a uma MANET, a rede ad hoc veicular possui características singulares. Por conta destas características, protocolos desenvolvidos para MANET não

são adequados as VANETs [8].

Uma VANET possui topologia de rede altamente variável, isto ocorre por conta da alta velocidade dos veículos, seu padrão de mobilidade e regras de trânsito (semáforos, sinalizações etc). Por conta disto, uma rota de dados quando estabelecida pode ser “quebrada” facilmente, fazendo com que seja baixa a taxa de entrega de pacotes. Além disso, um nó pode em certos momentos estar cercado por muitos vizinhos fazendo com que a disputa de acesso ao meio de transmissão seja acirrada e em outros momentos um nó pode ficar com poucos vizinhos ou mesmo nenhum vizinho para encaminhar os dados.

Diferente de uma MANET, numa rede VANET, a mobilidade do nó é até certo ponto previsível. Quando os veículos trocam informações de posicionamento e velocidade, pode-se inferir o posicionamento futuro de um nó utilizando cinemática [13]. Além disso, baseando-se na direção e sentido do nó, um protocolo de roteamento pode escolher para qual nó encaminhar um pacote, já que é mais vantajoso encaminhar o dado para um veículo que se mova em direção ao nó destino.

### B. Ad Hoc On-demand Distance Vector

O AODV é um protocolo de roteamento que foi concebido para o uso em redes ad hoc com dezenas ou mesmo milhares de nós móveis. Seu principal objetivo é se adaptar de forma rápida e dinâmica às variações da rede. Nesta direção, seu processo de descoberta de rotas tenta evitar o desperdício de banda ao mesmo tempo em que diminui o uso de memória e processamento.

O mecanismo de descoberta de rotas do AODV atua sob demanda, portanto, não é preciso que um nó conheça uma rota até outro nó a todo instante, e sim, somente quando necessário. Quando um nó não possui uma rota válida para um nó destino, o protocolo AODV realiza o procedimento de descoberta de rota para que seja possível haver comunicação entre eles.

O processo de descoberta de rotas se inicia quando o nó fonte envia para seus vizinhos uma mensagem *route request* (RREQ) e cada vizinho encaminha esta mensagem para seus vizinhos e assim sucessivamente. Este procedimento se encerra quando a mensagem alcançar um nó que possua uma rota para o nó destino ou quando a mensagem alcançar o próprio nó destino. Além disso, o protocolo utiliza uma numeração em sequência nos pacotes (*destination sequence number*) para garantir que todas as rotas estejam livres de *loops* e também garantir que as informações estejam atualizadas.

Na Figura 5, o nó 1 realiza o processo de descoberta de rota para o nó 3. Como dito anteriormente, inicialmente ele envia mensagens RREQ para seus vizinhos e seus vizinhos as encaminham, uma vez que o nó 3 é encontrado esta fase no processo de descoberta de rota é encerrada.

Durante esta fase, quando um nó intermediário recebe uma RREQ, ele insere uma entrada referente ao nó que lhe encaminhou a mensagem na tabela de roteamento. Isto é necessário para que seja estabelecido um caminho reverso de resposta.

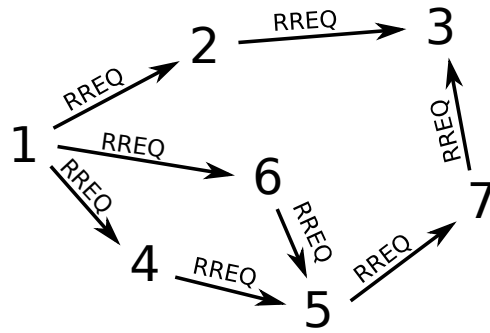


Figura 5. Requisição de rota no AODV, o nó 1 deseja enviar uma mensagem ao nó 3

A segunda fase do processo de descoberto de rota ocorre quando uma mensagem RREQ alcança seu destino, ou algum nó intermediário que possua uma rota recente para o destino. Quando uma das duas situações ocorre, o nó envia uma mensagem de resposta (RREP) via *unicast* através do caminho reverso configurado na primeira fase.

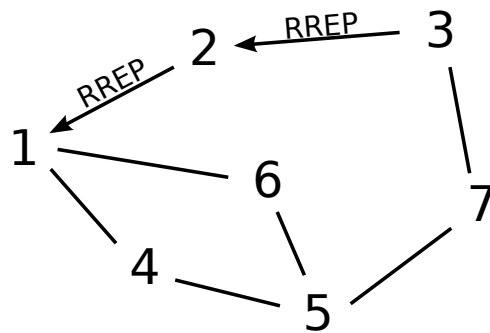


Figura 6. Resposta de requisição de rota no AODV, o nó 3 envia uma mensagem RREP ao nó 1 através do caminho reverso

Por se tratar de uma rede com nós móveis, o protocolo tenta garantir que as rotas criadas sejam sempre válidas. Uma rota válida é denominada rota ativa e somente por elas são enviados pacotes. Para isto, o AODV realiza um processo conhecido por manutenção de rotas. Este processo é disparado quando um nó detecta a queda de um enlace. Este “aviso” de queda é então propagado para os outros nós pertencentes ao caminho e assim seja disparado um novo processo de descoberta de rota.

O protocolo AODV reconhece a queda de um enlace através de um mecanismo de detecção de vizinhança. Este mecanismo funciona enviando periodicamente mensagens de broadcast (mensagens HELLO) que servem para confirmar a conectividade entre vizinhos. Quando um vizinho não recebe uma mensagem durante um certo período de tempo então é reconhecida a queda de um enlace.

O AODV tem por política fazer com que os nós intermediários de um caminho introduzam dinamicamente entradas nas tabelas de roteamento para cada destino. Porém, seus pacotes não precisam possuir todo o caminho do nó fonte até o nó destino, o que diminui a sobrecarga da rede.

#### IV. PROPOSTA FUZZY PARA MELHORAR O AODV

A proposta de melhoramento do protocolo veio da observação do comportamento do mecanismo de detecção de vizinhança do AODV que periodicamente envia mensagens HELLO para detectar uma queda de enlace.

Em um cenário denso (muitos nós), por exemplo, muitas mensagens de controle são enviadas e isto faz com que o acesso ao meio de transmissão seja bastante disputado. Uma vez que isto ocorre, a probabilidade de haver colisão no envio de pacotes aumenta bastante e isto pode fazer com que a taxa de entrega de pacotes diminua.

Como o protocolo AODV precisa verificar a existência dos nós vizinhos para que possa se adaptar as modificações da topologia, a grande quantidade de mensagens de controle enviadas em um cenário denso pode contribuir para a degradação do desempenho da rede.

Tendo isto em mente e considerando que a probabilidade de uma rota “quebrar” aumenta a medida que a quantidade de saltos aumenta [11], o melhoramento consiste em adaptar o intervalo de envio de mensagens HELLO em função da quantidade de saltos da maior rota contida na tabela de rotas do nó. Uma vez que a maior rota possui maior chance de ser “quebrada”, o intervalo de envio deve ser definido em função dela, pois é menor a probabilidade de desconexão em rotas com poucos saltos.

Isto quer dizer que, quanto maior o número de saltos em uma rota, maior é a necessidade de verificar alguma queda de enlace, e assim, menor deve ser o intervalo entre envios de mensagens HELLO. Quanto menor o número de saltos menor será esta necessidade, portanto, maior deve ser o intervalo de envio.

Para associar o número de saltos ao intervalo de envio de mensagens utilizou-se lógica fuzzy [14]. A cada nova entrada na tabela rotas verifica-se qual caminho possui maior número de saltos e assim infere-se qual será o intervalo entre envio de mensagens.

Foram criados dois conjuntos fuzzy, o primeiro relacionado a quantidade de nós (pouca, média e alta) (Figura 7) e o segundo ao intervalo de envio de mensagens (baixo, médio e alto) (Figura 8).

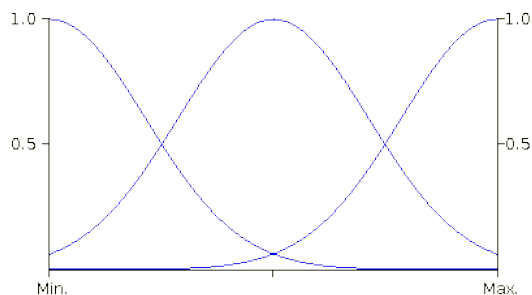


Figura 7. Conjunto fuzzy para o número de saltos

Para cada conjunto, os maiores valores de pertinência dos subconjuntos são apresentados nas Tabelas I e II. Observando

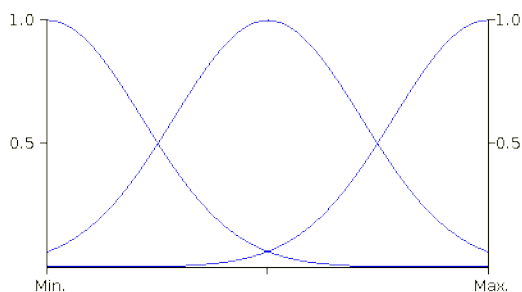


Figura 8. Conjunto fuzzy para o intervalo entre envio de mensagens HELLO

a Tabela I, por exemplo, quando a quantidade de saltos de uma rota for igual a 17, o grau de pertinência do subconjunto Pouca será 100%.

Tabela I  
VALORES DE PERTINÊNCIA MÁXIMA DOS SUBCONJUNTOS FUZZY RELACIONADOS AO NÚMERO DE SALTOS

Subconjunto	Valor para Pertinência Máxima
Pouca	2
Média	17
Alta	32

Tabela II  
VALORES DE PERTINÊNCIA MÁXIMA DOS SUBCONJUNTOS FUZZY RELACIONADOS AO INTERVALO ENTRE ENVIOS DE MENSAGENS

Subconjunto	Valor para Pertinência Máxima
Pouco	0,75
Médio	1,87
Alto	3,00

Além disso, as seguintes regras foram definidas: (1) se a quantidade de saltos for pouca, então o intervalo de envio será alto, (2) se a quantidade de saltos for média, então o intervalo de envio será médio e (3) se a quantidade de saltos for alta, então o intervalo de envio será baixo (Tabela III).

Tabela III  
REGRAS FUZZY RELACIONANDO QUANTIDADE DE SALTOS AO INTERVALO ENTRE ENVIO DE MENSAGENS

Quantidade de Saltos	Intervalo Entre Envio de Mensagens
Pouca	Alto
Média	Médio
Alta	Baixo

#### V. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

##### A. Simulação

Os experimentos foram realizados utilizando o simulador *Network Simulator* versão 2.34 [15]. Para isto, foi incluído ao protocolo AODV a abordagem fuzzy para adaptar o intervalo de envio de mensagens em função da quantidade de nós do maior caminho da tabelas de rotas.

A mobilidade dos veículos foi gerada utilizando a ferramenta [16] e comparou-se o AODV modificado (AODVF) com a versão original do AODV.

Os parâmetros de simulação são exibidos na Tabela IV.

Tabela IV  
PARÂMETROS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO

Parâmetro	Configuração
Área de Simulação	1.000m x 1.000m
Alcance de Transmissão	250m
Modelo de Propagação	Two Ray Ground
Modelo de Mobilidade	Manhattan
Aplicação	CBR (Constant Bit Rate)
Transporte	UDP
Tamanho do Pacote de Dados	512 bytes
Tempo de Simulação	100 segundos
Quantidade de veículos	16, 36, 64 e 100
Protocolos de Roteamento	AODV e AODVF
Quantidade de simulações por cenário	30
Intervalo de Confiança	95%

### B. Cenário de Testes

O cenário de testes consiste em uma área urbana medindo 1.000m x 1.000m. Em cada via os nós podem se movimentar em faixas contrárias. O cenário é composto por três faixas horizontais que cruzam três faixas verticais (Figura 9).

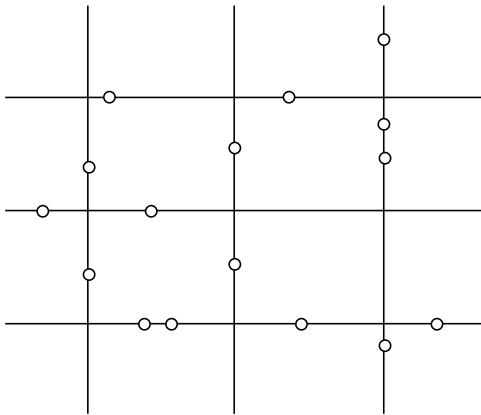


Figura 9. Cenário de Testes

### C. Tráfego de Dados

A política de envio de mensagens foi gerada utilizando a ferramenta *setdest* do *Network Simulator*. Através dela, foram definidos os instantes aleatórios nos quais as mensagens são enviadas entre os nós da rede durante os 100 segundos de simulação. O tráfego utilizado era UDP e CBR (Constant Bit Rate).

### D. Métricas Avaliadas

Neste trabalho foram consideradas duas métricas para avaliar o desempenho do AODVF no cenário proposto: (1) sobrecarga de roteamento e (2) taxa de entrega de pacotes.

A sobrecarga de roteamento é definida como a razão entre a quantidade de bytes de controle pela a quantidade de bytes de dados. Entende-se como mensagem de controle toda aquela mensagem que tem como finalidade descobrir, atualizar e manter a tabela de rotas. Esta métrica serve para mostrar o quanto é necessário de controle para fazer com que as mensagens de dados sejam entregues.

A taxa de entrega de pacotes é calculada como sendo a razão entre a quantidade de pacotes recebidos com sucesso pela quantidade de pacotes enviados. Esta métrica nos dá uma visão da eficiência do protocolo de roteamento no que diz respeito a entrega de pacotes.

### E. Resultados

A Figura 10 mostra que o protocolo AODVF possui uma sobrecarga de roteamento menor que o AODV original. Como esperado, isto ocorre pois o protocolo AODVF adapta o intervalo entre envios de mensagens a medida que novas rotas vão sendo adicionadas na tabela de rotas. Como algumas rotas possuem poucos nós, o intervalo entre envio de HELLOs será maior, fazendo com que a quantidade total de mensagens enviadas durante a simulação seja menor. Além disso, pode-se verificar que a medida que a quantidade de nós aumenta a diferença entre as duas sobrecargas também aumenta.

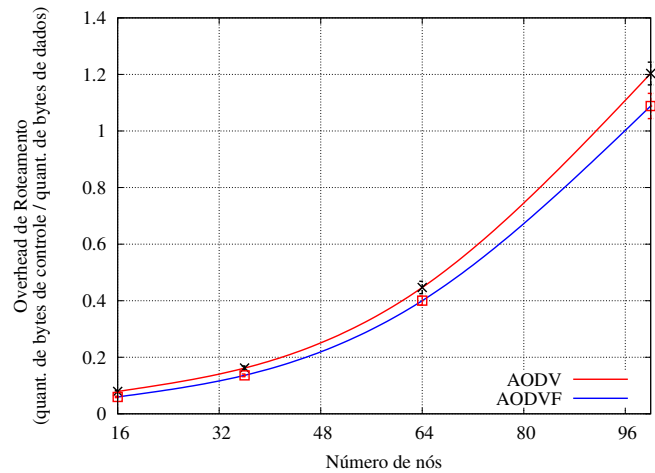


Figura 10. Sobrecarga de roteamento dos protocolos AODV e AODVF

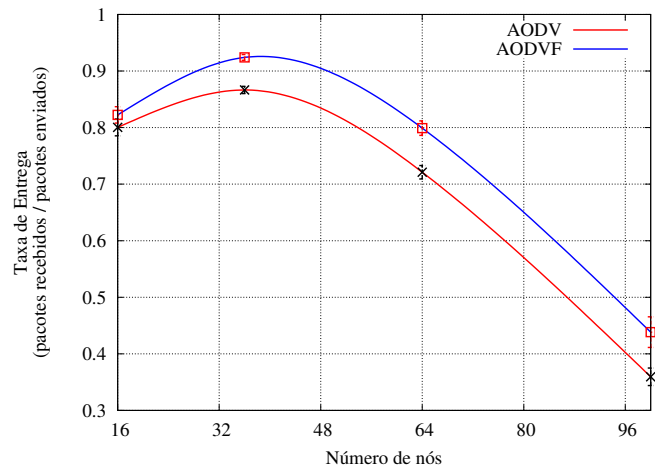


Figura 11. Taxa de entrega de pacotes dos protocolos AODV e AODVF

Já na Figura 11, apesar de menos sobrecarga de roteamento no protocolo AODVF, verifica-se que a taxa de entrega de pa-

cotes dele foi maior nos diferentes experimentos. A explicação para isto é que uma vez que se diminui o envio de dados de controle aumenta-se a oportunidade de envio de dados e diminui-se a probabilidade de ocorrer colisão no envio de pacotes, fazendo com que a taxa de entrega de pacotes seja maior.

## VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Através dos experimentos foi possível comprovar que os conceitos exibidos em [11] e [10] são bastante relevantes para o projeto de desenvolvimento de protocolos de roteamento. Utilizando uma modificação relativamente simples foi possível melhorar o desempenho do protocolo AODV em um cenário VANET. Isto comprova mais uma vez a necessidade de desenvolver protocolos específicos às redes veiculares.

Futuramente pretende-se adicionar outras ideias contidas em [10] para tentar melhorar mais ainda o desempenho do AODV neste tipo de cenário. Uma delas é o desenvolvimento de um protocolo DTN (*Delay/Disruption-Tolerant Networks*) [17] para o *Network Simulator* com o intuito de aumentar ainda mais a taxa de entrega de pacotes.

## VII. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio à Pesquisa) entidade que me concedeu incentivo financeiro para que possa contribuir com a importante tarefa de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. Morris, J. Jannotti, F. Kaashoek, J. Li, and D. Decouto, "CarNet: A scalable ad hoc wireless network system," in *Proceedings of the 9th workshop on ACM SIGOPS European workshop: beyond the PC: new challenges for the operating system*. ACM, 2000, p. 65.
- [2] S. Cai and T. Center, "Ad hoc peer-to-peer network architecture for vehicle safety communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 4, pp. 100–107, 2005.
- [3] H. Yoon, J. Kim, F. Tan, and R. Hsieh, "On-demand video streaming in mobile opportunistic networks," in *Proceedings of the 2008 Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*. IEEE Computer Society, 2008, pp. 80–89.
- [4] L. Wischoff, A. Ebner, H. Rohling, M. Lott, and R. Halfmann, "SOTIS—a self-organizing traffic information system," in *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual*, vol. 4, 2003.
- [5] M. Caliskan, D. Graupner, and M. Mauve, "Decentralized discovery of free parking places," in *Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*. ACM, 2006, p. 39.
- [6] S. Rahman and U. Hengartner, "Secure crash reporting in vehicular ad hoc networks," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Security and Privacy in Communication Networks (SecureComm2007)*. Citeseer.
- [7] O. Tonguz and M. Boban, "Multiplayer games over VANET: a new application," *Ad Hoc Networks*, 2010.
- [8] R. Santos, A. Edwards, R. Edwards, and N. Seed, "Performance evaluation of routing protocols in vehicular ad-hoc networks," *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 1, no. 1, pp. 80–91, 2005.
- [9] C. Perkins and E. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA'99. Second IEEE Workshop on*. IEEE, 2002, pp. 90–100.
- [10] V. Cabrera, F. Ros, and P. Ruiz, "Simulation-based study of common issues in vanet routing protocols," in *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*. IEEE, 2009, pp. 1–5.
- [11] N. Sadagopan, F. Bai, B. Krishnamachari, and A. Helmy, "PATHS: analysis of PATH duration statistics and their impact on reactive MANET routing protocols," in *Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*. ACM, 2003, pp. 245–256.
- [12] H. Hartenstein, K. Laberteaux, and E. Corporation, *VANET Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*. Wiley Online Library, 2010.
- [13] J. Härrä, "Modeling and predicting mobility in wireless ad hoc networks," Ph.D. dissertation, l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 2007.
- [14] G. Klir and B. Yuan, *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 1995.
- [15] S. McCanne, S. Floyd, and K. Fall, "ns2 (network simulator 2)," *last accessed: January*, vol. 2.34, 2011.
- [16] F. Bai, N. Sadagopan, and A. Helmy, "User manual for important mobility tool generators in NS-2 simulator," *University of Southern California*, 2004.
- [17] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged internets," in *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. ACM, 2003, pp. 27–34.