

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES**

THIAGO ALEXANDRE HEREK

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO DOS PROTOCOLOS DE
ROTEAMENTO EM REDES MÓVEIS AD HOC**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2011**

THIAGO ALEXANDRE HEREK

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO DOS PROTOCOLOS DE
ROTEAMENTO EM REDES MÓVEIS AD HOC**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Teleinformática e Redes de Computadores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Armando Rech Filho

CURITIBA
2011

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES

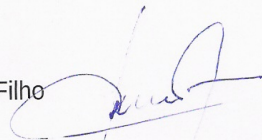
THIAGO ALEXANDRE HEREK

ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO DOS PROTOCOLOS DE
ROTEAMENTO EM REDES MÓVEIS AD HOC

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Teleinformática e Redes de Computadores, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela banca formada pelos seguintes professores: *NOTA: 10,0 (DEZ INTEIROS)*

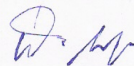
Orientador:

Prof. Dr. Armando Rech Filho



Coordenador:

Prof. Dr. Walter Godoy Júnior



CURITIBA, 05 de Janeiro de 2012

RESUMO

HEREK, Thiago Alexandre. **Análise comparativa de desempenho dos protocolos de roteamento em redes móveis ad hoc**. 2011. 30 páginas. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

Mobile Ad hoc Network's (MANET's) ou redes móveis *ad hoc*, têm sido cada vez mais pesquisadas, possuem características únicas e são aplicáveis em diversos ambientes. Este trabalho apresenta o funcionamento das redes MANET's, descreve os protocolos de roteamento AODV, DSR e DSDV e oferece uma análise comparativa desses protocolos, em um ambiente de rede móvel *ad hoc*. As simulações foram realizadas em diferentes níveis de mobilidade o que auxilia a compreender e analisar o impacto da mobilidade sobre as métricas analisadas, por meio de simulações extensas que fornecem uma maior quantidade de dados e que possibilitam gerar informações mais confiáveis.

Palavras-chave: Redes móveis ad hoc, protocolos de roteamento ad hoc, MANET's, AODV, DSR, DSDV.

ABSTRACT

HEREK, Thiago Alexandre. **Comparative analysis of performance of the routing protocols in mobile ad hoc networks**. 2011. 30 páginas. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

Mobile Ad hoc Network's (MANET's) or mobile ad hoc networks have been increasingly studied, have unique characteristics and are applicable in various environments. This paper presents the operation of networks MANET's, describes the routing protocols AODV, DSR and DSDV and offers a comparative analysis of these protocols in an environment of mobile ad hoc network. The simulations carried out at different levels of mobility which helps to understand and analyze the impact of mobility on the metrics analyzed through extensive simulations that provide a greater amount of data and generate information to enable more reliable.

Keywords: mobile ad hoc networks, ad hoc routing protocols, MANET's, AODV, DSR, DSDV.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: TAXA DE ENTREGA DOS PACOTES.....	30
GRÁFICO 2: TAXA DE ENTREGA DE PACOTES, COM TEMPO DE PAUSA.....	31
GRÁFICO 3: DESCARTES POR INDISPONIBILIDADE DO PRÓXIMO SALTO.....	31
GRÁFICO 4: DESCARTES POR LIMITAÇÃO DA FILA NA INTERFACE.....	32
GRÁFICO 5: MÉDIA DE ATRASO NA ENTREGA DOS PACOTES.....	33
GRÁFICO 6: SOBRECARGA DE ROTEAMENTO.....	34

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: AMBIENTE DE SIMULAÇÃO.....	27
FIGURA 2: AMPLIAÇÃO - COMUNICAÇÃO ENTRE NÓS.....	27

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: RESUMO DA CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO.....	26
QUADRO 2: MÉDIA DOS PACOTES ENVIADOS E RECEBIDOS.....	29

LISTA DE SIGLAS

ABR	Associativity-Based Routing
ADV	Adaptive Distance Vector Routing
AODV	Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing
CBR	Constant Bit Rate
CBRP	Cluster Based Routing Protocol
CEDAR	Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing
CGSR	Clusterhead Gateway Switch Routing
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DDR	Distributed Dynamic Routing Algorithm
DREAM	Distance Routing Effect Algorithm for Mobility
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector Routing
DSR	Dynamic Source Routing
FORP	Flow Oriented Routing Protocol
FSLs	Fuzzy Sighted Link State Algorithms
FSR	Fisheye State Routing
GEDIR	Geographic Distance Routing
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GSR	Global State Routing
HSR	Hierarchical State Routing
IFQ	Interface Queue Priority
LANMAR	Landmark Routing Protocol
LAR	Location Aided Routing
LMR	Lightweight Mobile Routing
MANET	Mobile Ad Hoc Network
NPDU	Network Protocol Data Unit
OLSR	Optimized Link State Routing
PRNET	Packet Radio Network
RERR	Route Error
RFC	Request for Comments
RREP	Route Reply
RREQ	Route Requests
SSR	Signal Stability Routing

STAR	Source Tree Adaptive Routing
TBRPF	Topology Broadcast Based on Reverse Path Forwarding
TORA	Temporally Ordered Routing Algorithm
TTL	Time to Live
WAR	Witness Aided Routing
WRP	Wireless Routing Protocol
ZRP	Zone Routing Protocol

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REDES MÓVEIS AD HOC – MANET'S.....	12
3 CLASSIFICAÇÃO DOS PROTOCOLOS PARA REDES MANET'S.....	15
3.1 MANUTENÇÃO DA TABELA DE ROTEAMENTO.....	15
3.1.1 Protocolos Reativos.....	15
3.1.2 Protocolos Pró-ativos.....	16
3.1.3 Protocolos Híbridos.....	17
3.2 ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE ROTAS.....	18
3.3 USO DE MENSAGENS BROADCAST.....	18
4 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO MANET'S.....	20
4.1 AD HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR ROUTING – AODV.....	20
4.2 DESTINATION SEQUENCED DISTANCE VECTOR ROUTING - DSDV.....	22
4.3 DYNAMIC SOURCE ROUTING – DSR.....	24
5 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO.....	26
6 ANÁLISE COMPARATIVA.....	29
7 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Mobile Ad hoc Network's (MANET's) ou redes móveis *ad hoc*, são redes altamente dinâmicas onde os nós se comunicam entre si, por meio de ondas de rádio, sem a necessidade de uma infra-estrutura pré-existente (TUTEJA; GUJRAL; THALIA, 2010) (LANG, 2003). A capacidade de criar uma rede rapidamente e a possibilidade de se comunicar com outro dispositivo mesmo que fora do seu raio de alcance é uma de suas melhores vantagens, para isso cada nó deve ser capaz de fazer o papel de um roteador cooperando entre si e repassando as informações do nó de origem até o nó destino, seguindo as regras de um protocolo de roteamento. Uma rede sem infraestrutura é mantida e gerenciada através desses protocolos de roteamento, onde cada um deles possui seu algoritmo próprio, assim como suas métricas para determinar o melhor caminho a ser seguido pelo pacote (TUTEJA; GUJRAL; THALIA, 2010). A popularização dos dispositivos de redes sem fio e a diversidade de emprego das MANET's as tornaram alvo de recentes estudos e pesquisas. Neste âmbito existem diversos estudos para aplicação nos mais variados ambientes como uso veicular, *Veicular Ad hoc Network's* (VANET's), redes de sensores entre outros, em conjunto com propostas de melhorias nos protocolos já existentes ou mesmo novos protocolos de roteamento.

O objetivo geral deste trabalho é comparar o desempenho dos protocolos de roteamento Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV), Dynamic Source Routing (DSR) e Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) em um ambiente de rede móvel *ad hoc*.

Como objetivo específico, este trabalho busca:

- descrever o funcionamento das redes MANET's;
- compreender e classificar seus protocolos de roteamento;
- identificar e expor as características que influenciam no desempenho de cada protocolo comparado.

Cada protocolo de roteamento possui suas características e forma de operação que refletem de forma negativa ou positiva no roteamento dos pacotes de rede, e conseqüentemente no desempenho da rede. Adicionando essas características com um ambiente de rede dinâmico como as redes MANET's, onde os nós estão em movimentação, as tabelas de roteamento em constante mudança, e muitas vezes, utilizando-se de dispositivos com recursos limitados, exigem que os protocolos sejam capazes de identificar rapidamente as mudanças de topologia e efetuar o roteamento dos pacotes da forma mais eficiente possível, evitando utilizar desnecessariamente os recursos da rede (BANNACK, 2008).

Conhecer o desempenho desses protocolos e compreender as melhores técnicas para roteamento em ambientes móveis é muito importante para quem procura desenvolver pesquisas nesta área, uma vez que as redes MANET's funcionam totalmente baseadas nesses protocolos.

Os estudos neste deste tipo de rede são relativamente recentes. Apesar de ter início em meados de 1970, as redes *ad hoc* ganharam maior visibilidade após os anos 90 com o aparecimento e posterior popularização de dispositivos móveis com capacidade de comunicação por rádio frequência (RAMANATHAN; REDI, 2002).

Este estudo é um trabalho de pesquisa exploratória, onde a fase inicial do trabalho será fundamentada na pesquisa bibliográfica para a busca de um embasamento teórico sobre o tema proposto, que se constituem em fontes secundárias.

A partir da compreensão do funcionamento dos protocolos de roteamento desenvolve-se o estudo de caso para análise de desempenho por meio de simulação usando o NS2.35, um software simulador voltado para pesquisas em redes que fornece um apoio substancial para a simulação de protocolos de rede com fio e sem fio (MCCANNE; FLOYD, 2011).

No capítulo 2 são apresentadas as redes MANET's, sua história, evolução, dificuldades e a importância dos protocolos de roteamento. O capítulo 3 trata das classificações dos protocolos por suas características. No capítulo 4 têm-se uma apresentação dos protocolos de roteamento comparados neste trabalho. O capítulo 5 apresenta as características do ambiente de simulação. No capítulo 6 têm-se a análise comparativa entre protocolos AODV, DSR e DSDV.

2 REDES MÓVEIS AD HOC – MANET'S

As pesquisas em sistemas de rede sem fio para a comunicação de computadores datam de 1973, quando a Agência de Projetos e Pesquisas Avançadas em Defesa, sigla em inglês (DARPA), iniciou uma pesquisa sobre a viabilidade da utilização de redes via rádio para fornecer comunicações confiáveis entre computadores (JUBIN; TORNOW, 1987). O projeto *Packet Radio Network* (PRNET) foi motivado pela necessidade de fornecer acesso a rede para *hosts* em um ambiente móvel. Posteriormente com o avanço tecnológico, as redes sem fio se tornaram cada vez mais comuns, principalmente nas últimas décadas com a popularização dos dispositivos móveis.

As redes sem fio podem ser inicialmente classificadas em dois tipos, a primeira com infraestrutura, em que a rede depende de *gateways* fixos onde os dispositivos móveis se conectam, tipicamente encontrada em escritórios e residências (ISMAIL, D.; JAAFAR, 2007).

O segundo tipo de rede sem fio é a rede sem infraestrutura, conhecida como rede *ad hoc*, onde não existem roteadores fixos. As redes móveis *ad hoc* (MANET's), são redes sem infraestrutura onde os nós possuem a capacidade de se movimentarem, e se conectarem uns aos outros.

As redes móveis *ad hoc* são adequadas em casos onde não há infraestrutura disponível e/ou confiável, ou até mesmo tempo para montá-la. Os exemplos de utilização são na área militar em campos de batalha, uso como rede de sensores e/ou exploração em ambientes inóspitos como exploração espacial, entre outros.

Originalmente as redes MANET's possuem alguns problemas. A própria facilidade da mobilidade e a inexistência de uma infraestrutura, trazem algumas dificuldades para a operação dessas redes.

A escalabilidade pode ser considerada um dos maiores problemas das redes

MANET's. A sobrecarga de roteamento está intimamente relacionada com a quantidade de nós e as frequentes mudanças de topologia (RAMANATHAN; REDI, 2002). Quanto maior a quantidade de nós na rede mais frequentes são as mudanças nas tabelas de roteamento e conseqüentemente maior a necessidade do protocolo enviar mensagens para a construção e atualização dessas tabelas. Uma maior quantidade de nós também aumenta a concorrência pelo uso do meio de transmissão, esses fatores geram grandes dificuldades de escalabilidade nas redes móveis *ad hoc*.

Segurança é outro fator crítico, um nó atacante pode se infiltrar na rede e não encaminhar os pacotes a ele enviado, ou encaminhar apenas alguns deles, dificultando a detecção por eventuais mecanismos de proteção, causando indisponibilidade ou perda da qualidade da rede.

Os dispositivos móveis normalmente possuem recursos limitados, como fonte de energia, memória e poder de processamento. A eficiência do uso de energia e outros recursos também são preocupações na utilização dessas redes.

Todos esses desafios são objetos de pesquisa atualmente, principalmente hoje onde a utilização das redes móveis *ad hoc* está se tornando mais abrangente.

Diferentemente de uma rede cabeada ou uma rede sem fio local com infraestrutura, as redes MANET's precisam de um protocolo de roteamento, pois os únicos dispositivos da rede são os próprios nós que fazem o papel de roteadores, o que torna possível um nó se comunicar com outro, mesmo que este não esteja no seu raio de alcance. O protocolo de roteamento deve, sempre que possível, economizar os recursos dos dispositivos e rede de modo que realize seu papel enviando o mínimo de mensagens. A importância de um protocolo de roteamento nestes tipos de rede é facilmente percebido, uma vez que é necessário para que os nós se comuniquem, assim qualquer problema na operação do protocolo, o desempenho da rede pode degradar muito e até mesmo tornar a rede

inoperante.

Existem muitos protocolos de roteamento para rede MANET's, cada protocolo possui seu próprio algoritmo que determina a sua técnica de seleção de rota, manutenção da tabela de roteamento e modo de operação, sendo normalmente classificados por essas características. No próximo capítulo são apresentadas as formas de classificação dos protocolos de roteamento para redes MANET's.

3 CLASSIFICAÇÃO DOS PROTOCOLOS PARA REDES MANET'S

A própria diversidade dos protocolos gera uma grande quantidade de características próprias. Assim a classificação dos protocolos de roteamento nem sempre é uma tarefa simples. Lang (2003, p. 6-15) procurou descrever todas as formas de classificação possíveis, entretanto nem sempre um protocolo se encaixa em uma classificação. Neste trabalho são apresentadas as formas de classificação que se aplicam aos protocolos testados: *Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing (AODV)*, *Dynamic Source Routing (DSR)*, *Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV)*.

3.1 MANUTENÇÃO DA TABELA DE ROTEAMENTO

A topologia das redes MANET's são alteradas o tempo todo. Esta característica torna as tabelas de roteamento desatualizadas, e assim é fundamental identificar as mudanças e atualizar as tabelas de roteamento constantemente. Basicamente existem três formas de manutenção: protocolos reativos, proativos e híbridos. Nas seções a seguir são detalhadas as características de cada modelo de funcionamento.

3.1.1 Protocolos Reativos

Protocolos reativos, também chamados de protocolos sob demanda, não se preocupam em manter as informações de roteamento atualizadas o tempo todo. Efetuam a descoberta e atualização da rota apenas sob demanda. Quando o nó na rede precisa enviar uma informação para outro e não possui as informações de roteamento necessárias, este normalmente envia uma solicitação de rota para todos os nós da rede, assim os nós

que possuem a rota respondem ao nó de origem, que por fim acaba por escolher a melhor rota entre as que recebeu, utilizando seu algoritmo de seleção de rotas (LANG, 2003).

O nó de origem normalmente precisa encontrar apenas o próximo salto, entretanto o processo de descoberta leva a um atraso inicial, e os protocolos sob demanda devem ser tolerantes a esse atraso. Um mecanismo utilizado para amenizar este atraso é a realização do *cache* das rotas estabelecidas, mas mesmo essas rotas possuem um prazo para expirar, pois num ambiente móvel as rotas ficarão inválidas depois de um tempo.

A vantagem dos protocolos reativos está no fato de que eles não precisam enviar muitas mensagens pela rede para manter as rotas atualizadas, devido ao fato de trabalharem sob demanda, com isso economizam os recursos do canal, da rede e recursos dos dispositivos, que não necessitam ficar enviando essas mensagens de controle de roteamento pela rede. Este problema se torna mais visível quando a rede contém grande número de nós (LANG, 2003).

Entre os protocolos de roteamento para redes *ad hoc*, alguns exemplos que utilizam o mecanismo de manutenção de rotas sob demanda são: ABR, CEDAR, DREAM1, DSR, FORP, GEDIR, LAR, SSR, WAR e os protocolos testados neste trabalho que são AODV e DSR.

3.1.2 Protocolos Pró-ativos

Protocolos pró-ativos trabalham para manter as informações de roteamento atualizadas o tempo todo. Basicamente os protocolos que utilizam esta estratégia são divididos em duas classes: protocolos orientados a eventos e protocolos de atualizações regulares.

Protocolos orientados a eventos enviam os pacotes de atualização de roteamento

apenas quando a topologia da rede é alterada. A topologia de uma rede sem fio é alterada quando um novo nó aparece no raio de alcance ou o nó se move para fora do raio de alcance, e quando isso ocorre, o protocolo orientado a eventos envia a informação de alteração de acordo com sua estratégia de roteamento (LANG, 2003).

Ao contrário dos protocolos orientados a eventos, os protocolos de atualizações regulares enviam as informações de topologia em intervalos regulares, independente dos eventos ocorridos na rede.

A grande vantagem dos protocolos pró-ativos reside no fato de que as rotas podem ser usadas imediatamente, conseqüentemente não há atraso inicial para o envio da informação pela rede (LANG, 2003).

Entre os protocolos de roteamento para redes *ad hoc*, alguns exemplos que utilizam o mecanismo de manutenção de rotas sob demanda, orientada a eventos são: CBRP, CGSR, GSR, LMR, TORA, WRP e o terceiro protocolo testado neste trabalho, o DSDV. Entre os protocolos que utilizam atualizações regulares estão: DDR, FSLS, FSR, GPSR, LANMAR, OLSR, STAR e TBRPF.

3.1.3 Protocolos Híbridos

Existem protocolos que utilizam ambas estratégias, reativa e proativa, na manutenção das rotas. Esses protocolos são classificados como protocolos híbridos (LANG, 2003). A característica proativa ou reativa é utilizada de diferentes maneiras por cada protocolo híbrido.

Entre os protocolos que utilizam essa estratégia estão: ADV, Terminode Routing e ZRP (LANG, 2003).

Além da manutenção das rotas, outro aspecto importante nos protocolos de

roteamento é a estratégia de seleção de rota. No próximo capítulo são apresentadas as estratégias utilizadas pelos protocolos de roteamento para MANET's.

3.2 ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE ROTAS

Em uma rede móvel é comum o nó que procura enviar uma informação receber mais de uma rota possível para sua operação, neste caso ele precisa de um algoritmo que o auxilie a selecionar a melhor rota.

Lang (2003, p. 15) resumiu as características de cada estratégia:

- *Signal Strength* – Os pacotes são roteados utilizando o sinal de melhor intensidade. Utilizado principalmente pelos protocolos ABR e SSR.
- *Link Stability* – O roteamento é realizado através das conexões mais estáveis em um determinado tempo. É usada pelos protocolos DST e FORP.
- *Directional Routing* – Os pacotes são roteados em direção do destino, esta estratégia é utilizada principalmente nos protocolos DREAM, GEDIR, GPSR, LAR, Terminode.
- *Link Reversal Rounting* – Utilizada pelos protocolos LMR e TORA é baseada em fluxos em um gráfico.
- *Distance Vector* – O método mais comum, utiliza a contagem de saltos. Utilizado por ADV, WRP, ZRP e pelos protocolos confrontados no trabalho AODV, DSDV e DSR.
- *Shortest Path/Link State* – Seleciona o menor caminho de acordo com algumas métricas. É usado por muitos protocolos como: CEDAR, DDR, FSR, GSR,HSR, LANMAR, OLSR, STAR, TBRPF.

3.3 USO DE MENSAGENS BROADCAST

O uso de mensagens *broadcast* em uma rede sem fio *ad hoc* pode ser aplicada de

três formas: *broadcast* completo, *broadcast* local e *broadcast* limitado.

No *broadcast* completo as mensagens são destinadas para todos os nós da rede e passam por nós intermediários até atingir os nós mais distantes. Por outro lado, no *broadcast* local, as mensagens são destinadas apenas ao nó no raio de alcance da fonte, e não são retransmitidos aos outros nós fora do alcance da fonte. Os casos em que as mensagens *broadcast* possuem uma contagem máxima de saltos, e é limitada conforme a configuração do protocolo são classificadas como *broadcast* limitado (LANG, 2003).

Nenhum protocolo usa apenas o *broadcast* completo, entretanto muitos podem utilizar esta estratégia em algum momento, entre eles são: ABR, ADV, CEDAR, DSR, FORP, WAR e os protocolos comparados neste trabalho AODV e DSDV.

Os protocolos que usam o *broadcast* limitado são: FSLs, FSR, HSR, Lanmar, LAR, Terminode LMR, SSR, ZRP e o protocolos testado neste trabalho AODV.

O *broadcast* local é usado pelos protocolos DDR, GSR, GPSR, OLSR, STAR, TBRPF, TORA, WRP e o protocolo testado neste trabalho DSR.

No próximo capítulo são apresentados em detalhes os protocolos de roteamento utilizados nas comparações deste trabalho.

4 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO MANET'S

Existem muitos protocolos de roteamento para redes MANET's, cada um deles com seu algoritmo próprio para desempenhar as suas funções, descobrir e manter a sua tabela de roteamento.

Os protocolos AODV, DSDV e DSR foram escolhidos para análise por serem frequentemente utilizados em pesquisas (QASIM; SAID; AGHVAMI, 2008), (TUTEJA; GUJRAL; THALIA, 2010), (ISMAIL; JAAFAR, 2007).

Basicamente quando um nó de origem precisa enviar um pacote ao nó de destino, este primeiro antes de tudo precisa de uma rota e caso não seja previamente conhecida, será necessário descobri-la. Os protocolos efetuam uma inundação na rede com requisições de rota, chamadas de *Route Requests* (RREQ). O nó destino ou nós intermediários, caso existam, responderão com *Route Reply* (RREP) e enquanto esta operação não tem sucesso, o nó de origem repete a requisição por um determinado número de vezes. Assim que uma rota é conhecida e utilizada, qualquer dos nós participantes quando percebem uma falha no link enviam um *Route Error* (RERR), e então os nós descartam essa rota como rota válida (BERNARDO; OTTO, 2003).

Nas seções a seguir são descritos os protocolos AODV, DSDV e DSR que são comparados no ambiente simulado.

4.1 AD HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR ROUTING – AODV

O protocolo *Ad hoc On-demand Distance Vector* (AODV) é um protocolo reativo

derivado do protocolo DSDV. Descrito na RFC 3561 é um protocolo frequentemente discutido em pesquisas e muitas vezes comparado com outros protocolos (LANG, 2003), (BERNARDO; OTTO, 2003), (TUTEJA; GUJRAL; THALIA, 2010).

Quando um nó deseja se comunicar e uma rota não é conhecida, o nó de origem envia para toda rede as solicitações de rota RREQ, iniciando o processo de descoberta. Para se evitar um grande impacto na rede, os RREQ iniciais são enviados com um valor de *Time to Live* (TTL) pequeno; se nenhuma rota é encontrada, um novo RREQ é enviado com um TTL maior, então cada nó que retransmite o pedido acrescenta seu endereço em uma lista no pacote. Uma rota é encontrada quando o RREQ atinge o nó de destino, ou quando atinge um nó intermediário que possui uma rota atualizada. Assim, utilizando a rota inversa, uma resposta RREP é enviada para o nó de origem e cada nó intermediário pode fazer o *cache* da nova rota conhecida, armazenando apenas o próximo salto da rota e finalizando o processo de descoberta do protocolo (PERKINS; BELDING-ROYER; DAS, 2003), (LANG, 2003).

De acordo com a RFC 3561, o protocolo AODV utiliza os seguintes campos para uma entrada na tabela de roteamento:

- Endereço IP de destino;
- Número de sequência do destino;
- Estado de validade do número sequencial do destino;
- Outros estados e controle de roteamento (válido, inválido, reparável);
- Número de saltos para alcançar o destino;
- Próximo salto;
- Lista de precursores;
- Tempo de vida.

No processo de manutenção, a rota é atualizada quando o número de sequência da

mensagem de atualização é maior do que a existente na tabela, assim atualizações inconsistentes, com rotas mais antigas, não são permitidas (PERKINS; BELDING-ROYER; DAS, 2003), (LANG, 2003). O nó também ignora múltiplas mensagens RREQ com números de sequência iguais, impedindo *loops* na rede (DEVASHISH et al., 2007).

O estado dos links das rotas ativas são monitoradas enviando-se periodicamente uma mensagem de checagem aos endereços que constam no campo “próximo salto” da rota ativa. Quando uma quebra de link é encontrada, uma mensagem RERR é usada para notificar outros nós sobre a quebra do link, essa mensagem é enviada utilizando uma lista de precursores. A lista de precursores é composta dos endereços IP dos nós vizinhos que o utilizam como próximo salto para atingir um destino, e é gerada a partir do processamento das mensagens RREP (PERKINS; BELDING-ROYER; DAS, 2003), (LANG, 2003).

Cada entrada na tabela de roteamento recebe um tempo de vida, e este tempo é atualizado a cada vez que a rota é utilizada. O campo tempo de vida na tabela de roteamento tem dupla função: para as rotas ativas significa o tempo de expiração e para as rotas inválidas o tempo de eliminação (PERKINS, BELDING-ROYER; DAS, 2003).

4.2 DESTINATION SEQUENCED DISTANCE VECTOR ROUTING - DSDV

O protocolo *Destination Sequenced Distance Vector* (DSDV) é um protocolo pró-ativo, que atualiza as informações de roteamento regularmente.

DSDV é o resultado de uma das primeiras tentativas de adaptação de um mecanismo de roteamento para a aplicação em redes móveis *ad hoc*. Originalmente o protocolo DSDV foi baseado no algoritmo *distance vector* de Bellman Ford (LANG, 2003), (ISMAIL; JAAFAR, 2007).

A principal melhoria aplicada ao algoritmo inicial é a capacidade de evitar-se *loops*

na rede. Cada nó na rede mantém uma tabela de roteamento com todos os destinos possíveis, o número de saltos até o destino e um número sequencial atribuído pelo nó destino. Este número sequencial é utilizado para distinguir novas rotas de rotas antigas, e também evitam *loops* na rede. Em uma atualização, a rota com o número sequencial mais recente será utilizada, enquanto a mais antiga é descartada. Quando uma rota com o mesmo número sequencial é recebida, a rota com o menor número de saltos será a rota preferencial, enquanto a outra rota é eliminada ou armazenada como não preferencial (ISMAIL, D.; JAAFAR, 2007).

Em resumo as entradas da tabela de roteamento do protocolo DSDV possuem os seguintes campos:

- O endereço IP do destino;
- O endereço IP do próximo salto;
- O número de saltos até o destino;
- O número sequencial das informações recebidas sobre o destino.

A estratégia de manutenção de rotas pró-ativa, faz a tabela de roteamento do protocolo DSDV ser atualizada constantemente. Para se evitar um grande tráfego de rede, que essas atualizações podem gerar, são aplicadas dois tipos de atualizações: completa e incremental. Na atualização completa, também chamada de *full dump*, todas as informações de roteamento disponíveis são transmitidas, e podem exigir o envio de múltiplos *network protocol data units* (NPDUs). Quando existem poucas mudanças de topologia, as atualizações completas são menos frequentes. Por outro lado, as atualizações incrementais utilizam necessariamente, por determinação do projeto do protocolo, apenas uma NPDU. As atualizações incrementais são utilizadas para trafegar as mudanças ocorridas depois da última transmissão completa e ajudam a diminuir o tráfego gerado (ISMAIL; JAAFAR, 2007), (PERKINS; BHAGWAT, 1996).

4.3 DYNAMIC SOURCE ROUTING – DSR

O protocolo *Dynamic Source Routing* (DSR) é um protocolo reativo com roteamento na origem. Definido na RFC 4728 como um protocolo simples, eficiente e especialmente projetado para redes sem fio *ad hoc* com no máximo 200 nós, e altas taxas de mobilidade. Foi descrito pela primeira vez em 1996 (JOHNSON; MALTZ, 1996), (JOHNSON; MALTZ; HU, 2007).

Roteamento na origem ou *source-routing* significa que o encaminhamento da mensagem depende da fonte, que normalmente coloca todas as informações de roteamento no cabeçalho do pacote, e assim a fonte ao transmitir um pacote, já o envia com o seu caminho completo até a chegada ao destino (LANG, 2003).

O protocolo DSR possui duas fases: descoberta e manutenção da rota. Quando um nó tem um pacote a ser transmitido, primeiramente é verificado no *cache* se existe uma entrada com a tabela de roteamento para o destino. O nós armazenam as rotas em *cache* através das requisições, ou resposta de rotas que passam por eles, ou por escuta no modo promíscuo. No caso de não existir uma rota, ou existir uma expirada, inicia-se o processo de descoberta (ISMAIL; JAAFAR, 2007), (JOHNSON; MALTZ; HU, 2007).

O processo de descoberta consiste em uma transmissão *broadcast* local de RREQ. Esta solicitação de rota contém o endereço do destino, o endereço do nó fonte e um número de identificação único. Cada nó intermediário que retransmite o RREQ, insere sua identificação de modo a identificar por quais nós o RREQ passou. A resposta da solicitação pode ser enviada quando a requisição atinge o nó destino, ou quando atinge um nó intermediário que possui em seu *cache* uma entrada, não expirada, da rota solicitada (ISMAIL; JAAFAR, 2007), (JOHNSON; MALTZ; HU, 2007), (BERNARDO; OTTO, 2003).

Cada nó é responsável em monitorar o estado do *link* do nó utilizado como próximo salto, constantes nas entradas de rotas ativas em sua tabela de roteamento. Caso um *link*

quebrado é detectado, uma mensagem RERR é transmitida pela rota inversa para a correção da rota (BERNARDO; OTTO, 2003).

Durante uma retransmissão, um nó intermediário ao detectar uma falha no *link* do próximo salto, poderá substituir a rota original por outra rota existente em *cache*, desde que tenha o mesmo destino. Entretanto uma contagem da quantidade de substituições de rota é mantida e limitada para evitar que o pacote tenha sua rota trocada indefinidamente (BERNARDO; OTTO, 2003).

No capítulo 5, são descritas a configuração do ambiente de simulação e as métricas de comparação e no capítulo 6 têm-se as simulações com os protocolos AODV, DSR e DSDV.

5 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

O ambiente de simulação usa 50 nós com padrão de tráfego *Constant Bit Rate* (CBR), utilizando 15 pares de nós aleatórios para comunicação num ambiente randomicamente distribuído em uma área de 1000m² e modelo de movimentação *random waypoint* (NAVIDI; CAMP, 2004). Cada nó tem um alcance de sinal num raio de 250m e movimentação em velocidades entre 1 e 20m/s, sem pausa, com 35 cenários de simulações diferentes que conferem 95% de confiança. O tempo de simulações para cada cenário é de 600s (ALVES JUNIOR; NASCIMENTO; ALBINI, 2011).

As velocidade máximas foram estabelecidas em 1, 4, 8, 12, 16 e 20m/s. Para cada velocidade de movimentação foram criados 35 cenários de mobilidade diferentes, assim para cada protocolo foram realizadas 210 simulações.

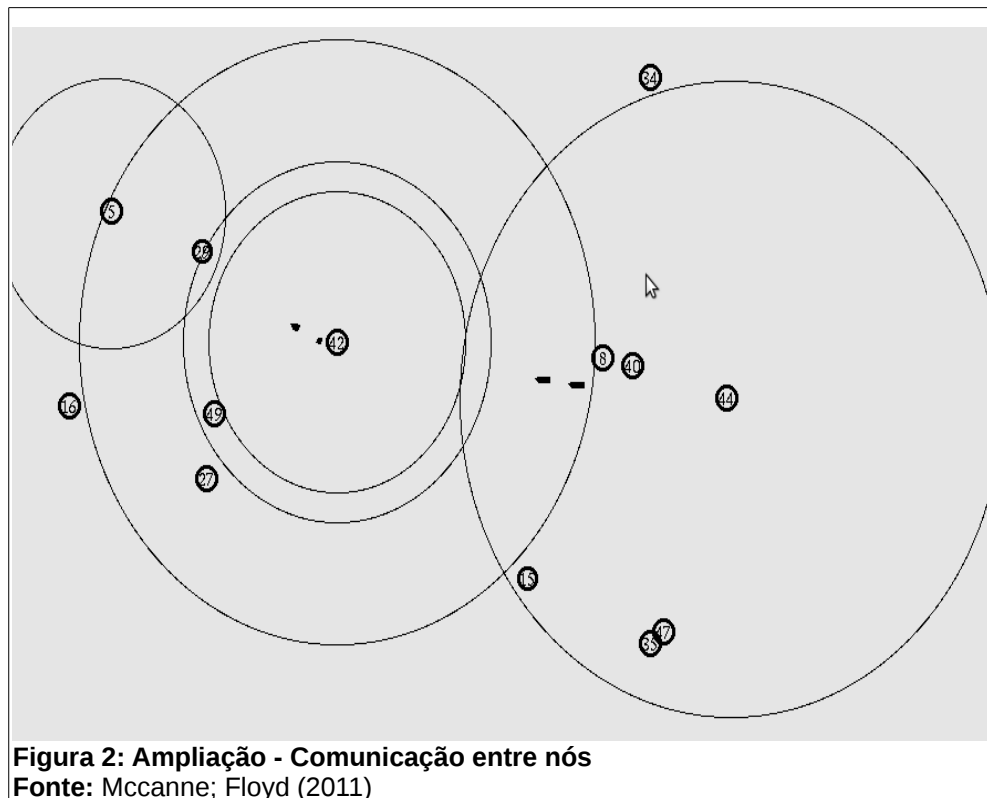
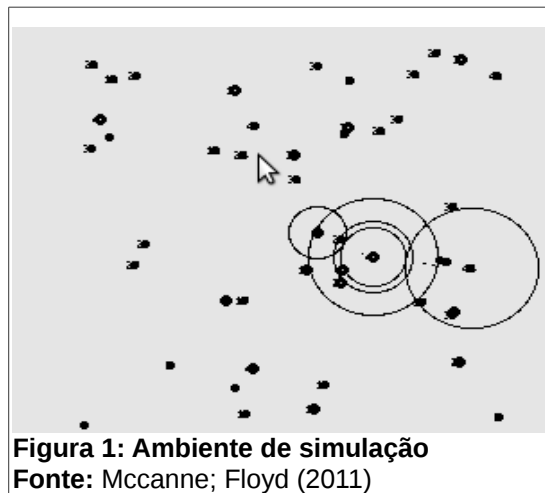
O quadro 1 abaixo resume os parâmetros de configuração da simulação.

Parâmetros	Valores
Simulador	NS 2.35
Área de simulação	1000m X 1000m
Alcance do sinal	250m
Tráfego	CBR
Tamanho do pacote de dados	512 bytes
Intervalo de envio dos dados	0.25s
Número de nós	50
Velocidade de movimentação	1 ~ 20m/s
Fonte de tráfego	15 nós
Modelo de movimentação	<i>Random Waypoint</i>
Tempo de pausa	0s
Modelo de propagação	Two Ray Ground
MAC layer	802.11
Largura de banda	2 Mbps

Quadro 1 - Resumo da configuração do Ambiente de Simulação.

Fonte: Adaptado de Alves Junior; Nascimento; Albini (2011).

As figuras 1 e 2 auxiliam a compreender a dinâmica do ambiente de simulação. A figura 1 representa o ambiente de simulação, com os 50 nós dispostos de forma aleatória, em um ambiente de 1000x1000, enquanto a ilustração 2 apresenta a ampliação da comunicação entre os nós.



Para a análise de performance as métricas utilizadas são:

1. Taxa de entrega de pacotes: consiste na proporção dos pacotes de dados recebidos em relação à quantidade de pacotes de dados enviados.
2. Média de atraso na entrega dos pacotes: é o atraso da transmissão dos dados até o destino, onde são incluídos o tempo da descoberta da rota, tempo de espera na fila, tempo de propagação e atrasos referentes ao uso do meio de transmissão.
3. Sobrecarga de roteamento: representa a razão entre a quantidade de pacotes de controle de roteamento transmitidos e a quantidade de pacotes de dados recebidos durante a simulação.

Com este modelo de simulação, é possível comparar o impacto da velocidade de movimentação dos nós, sobre as métricas de performance analisadas. No capítulo 6 é apresentada a análise comparativa dos resultados obtidos na simulação.

6 ANÁLISE COMPARATIVA

O quadro 2 a seguir, apresenta os resultados da média dos pacotes enviados e recebidos durante as simulações, e são importantes como parâmetro de análise para os alguns dos gráficos deste capítulo.

Velocidade Máxima	Protocolos	Pacotes Enviados	Pacotes Recebidos
1	DSR	32324	31861
	DSDV	32497	29782
	AODV	32384	31627
4	DSR	32218	31948
	DSDV	32546	27629
	AODV	32241	31499
8	DSR	32357	31754
	DSDV	32400	26089
	AODV	32059	31141
12	DSR	32276	31433
	DSDV	32297	24753
	AODV	32228	30995
16	DSR	32559	30959
	DSDV	31788	23865
	AODV	32643	31503
20	DSR	32009	30448
	DSDV	32554	23898
	AODV	31955	30680

Quadro 2 – Média dos pacotes enviados e recebidos

O gráfico 1 a seguir, demonstra a taxa de entrega de pacotes, com os protocolos DSR, DSDV e AODV. O eixo X é a velocidade de movimentação máxima dos nós no ambiente, e as variações ocorrem com 1, 4, 8, 12, 16 e 20 m/s que serão as mesmas em todos os gráficos deste capítulo. Para este gráfico o eixo Y é a média da taxa de entrega dos pacotes.

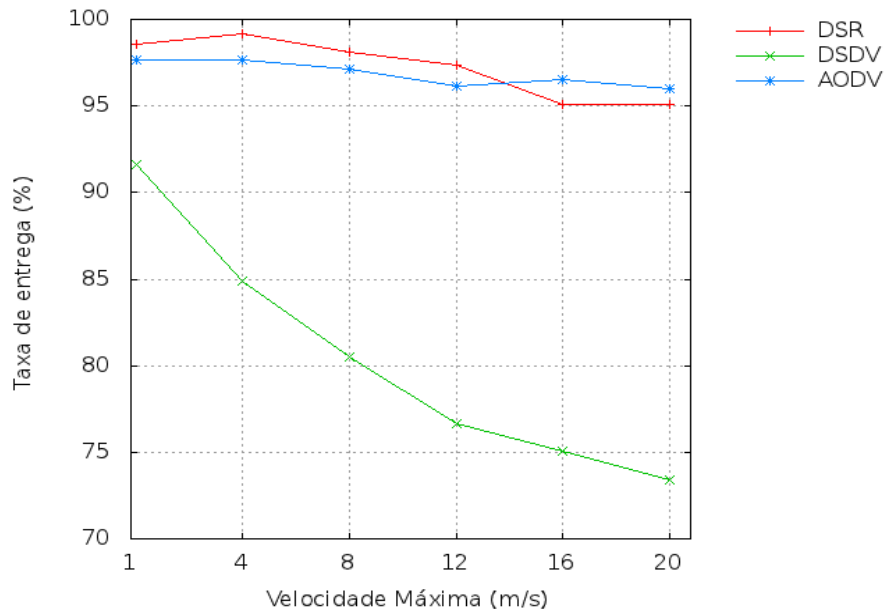


Gráfico 1: Taxa de entrega dos pacotes

Inicialmente é possível observar o fraco desempenho do protocolo DSDV frente aos outros protocolos comparados. Para todos os protocolos, à medida que a mobilidade dos nós aumenta, a taxa de entrega dos pacotes é reduzida, entretanto no protocolo DSDV este fator teve um maior impacto sobre seu desempenho para a métrica.

O resultado foi semelhante ao trabalho do Boukhalkhal et al (2007), mostrado no gráfico 2 a seguir, onde a comparação da taxa de entrega dos protocolos AODV, DSDV e CBRP, no qual o parâmetro de mobilidade utilizado para análise foi o tempo de pausa dos nós. Assim, quanto maior o tempo de pausa, menor a mobilidade da rede. O resultado no gráfico mostra que o protocolo DSDV também não foi capaz de manter uma melhor taxa de entrega em ambientes com alta mobilidade.

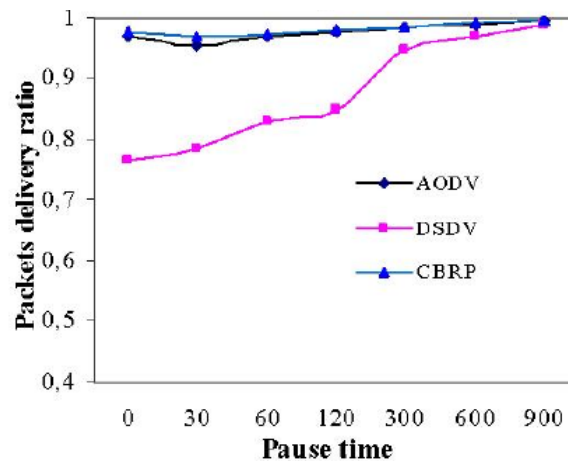


Gráfico 2: Taxa de entrega de pacotes, com tempo de pausa.

Fonte: Boukhalkhal et al. (2007)

O descarte de pacote pode ser causado por vários motivos. As principais causas de descarte nas simulações foram: indisponibilidade do *link* com o próximo salto e o limite da fila na interface de rede.

No gráfico 3, é exibida a média dos descartes de pacotes por problemas no link com o próximo salto.

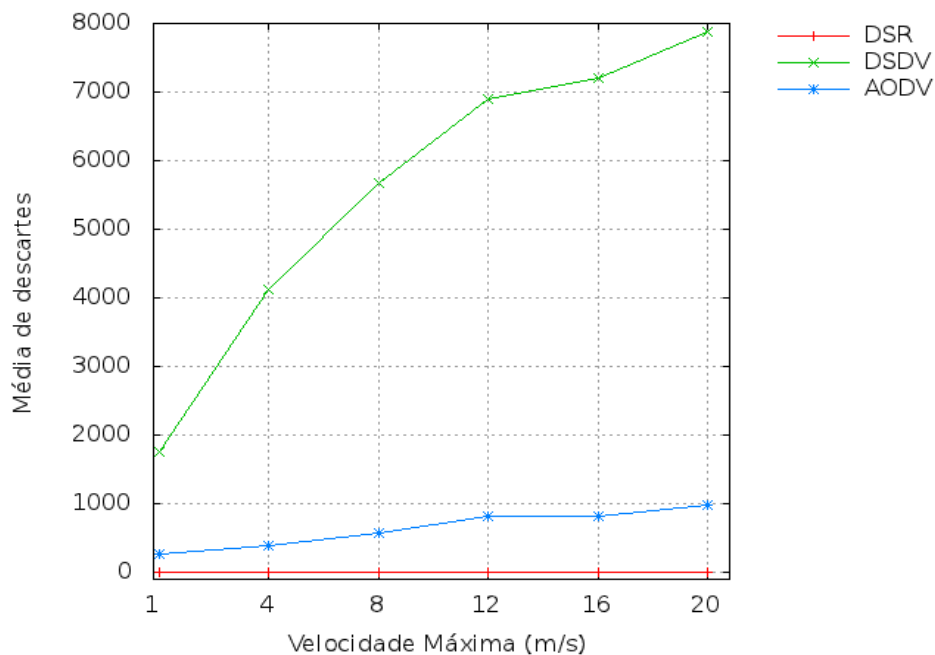


Gráfico 3: Descartes por indisponibilidade do próximo salto

O protocolo DSDV teve muitos pacotes descartados por esse motivo, mesmo em velocidades baixas, demonstrando que o seu mecanismo de manutenção de rotas não é muito apropriado para redes móveis. O protocolo AODV teve um desempenho melhor, chegando a descartar até 1000 pacotes, em um total de 31955 enviados. Por outro lado o protocolo DSR não teve pacotes descartados. Isso se deve ao seu projeto e em parte do seu mecanismo que permite, quando necessário, um nó intermediário alterar o próximo salto, originalmente enviada pelo nó fonte, por uma outra rota existente em seu *cache* que tenha o mesmo destino.

No gráfico 4 abaixo, é exibida a média de descartes por limite da fila na interface de rede.

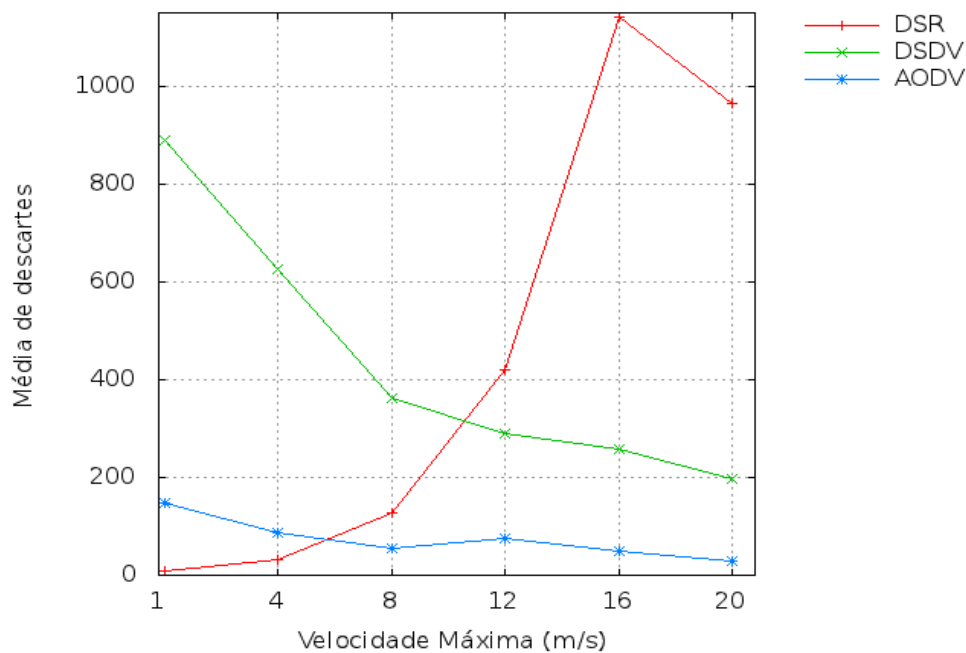


Gráfico 4: Descartes por limitação da fila na interface

Interface Queue Priority (IFQ) mantém os pacotes que serão transmitidos para a camada física. O limite para a IFQ é a quantidade de pacotes que podem ser enfileirados antes de serem entregues à camada física. Nas simulações o valor para a fila foi

estabelecido em 50 pacotes. Um valor maior, afetaria positivamente valores de descartes por este motivo. A soma dos descartes de pacotes do gráfico 3 e 4, praticamente é o resultado que expressa a taxa de entregas no gráfico 1.

No gráfico 5 abaixo, é apresentada a média do tempo de atraso para os pacotes de dados transmitidos com sucesso, segundo indicador da avaliação.

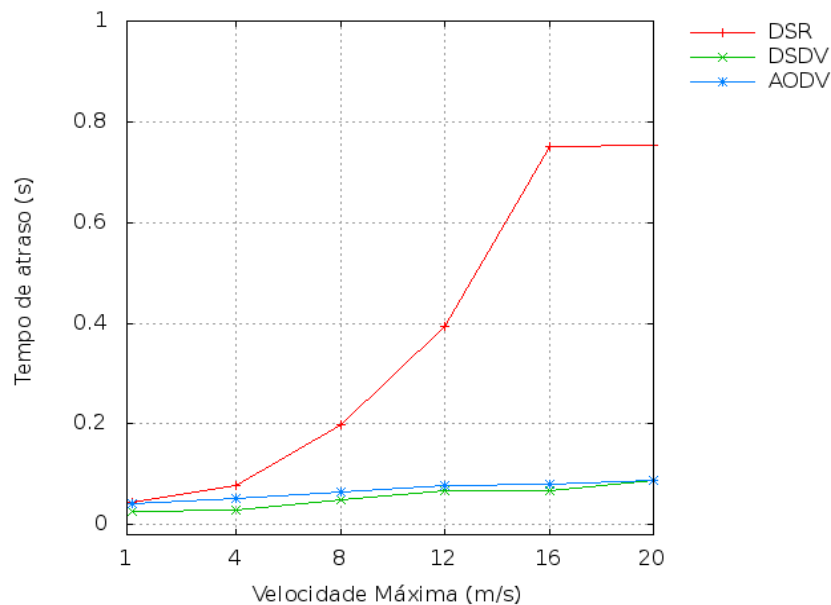


Gráfico 5: Média de atraso na entrega dos pacotes

O protocolo DSR teve o seu desempenho para o tempo de entrega dos pacotes mais afetado do que os protocolos DSDV e AODV. O fato do protocolo DSDV ser um protocolo pró-ativo, o faz estar sempre com uma rota atualizada para o envio do pacote, sem precisar iniciar o processo de descoberta. Já os protocolos AODV e DSR são protocolos reativos, porém o protocolo AODV se mostrou mais eficiente no processo de descoberta.

Para se manter uma tabela de roteamento sempre atualizada, independente da estratégia, reativa ou pró-ativa, é necessário enviar pacotes de controle de roteamento. No gráfico 6, é demonstrada a sobrecarga de roteamento dos protocolos, que representa a

razão da quantidade de pacotes de controle de roteamento transmitidos e a quantidade de pacotes de dados recebidos durante a simulação.

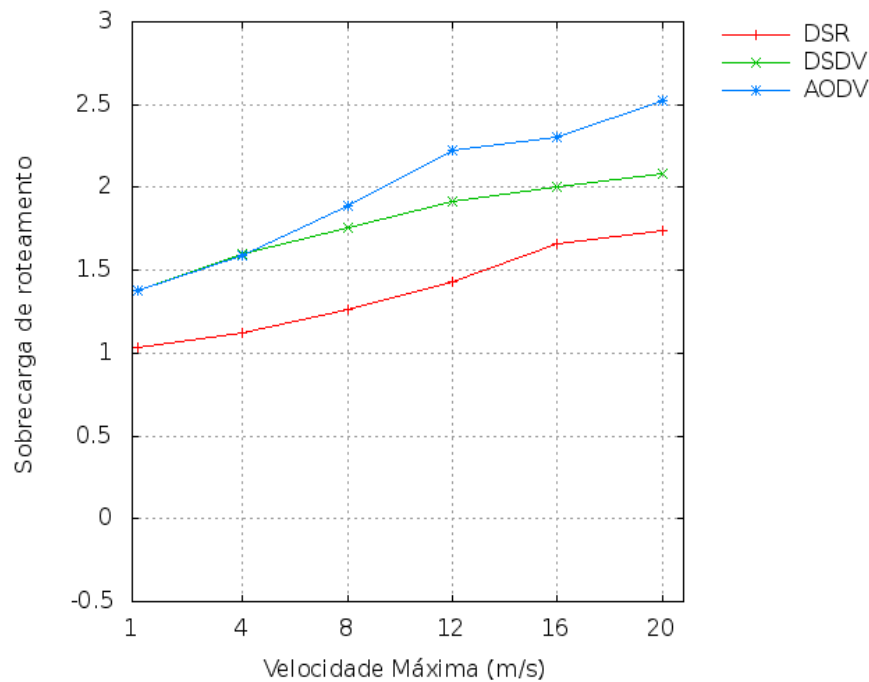


Gráfico 6: Sobrecarga de roteamento

No gráfico 6 acima, é possível observar que de acordo com o aumento da mobilidade da rede, os protocolos inevitavelmente necessitam enviar uma quantidade maior de pacotes de controle para realizar a manutenção e descoberta de novas rotas. Os protocolos DSDV e AODV, que obtiveram um menor tempo de atraso na entrega dos pacotes — ver gráfico 5 — certamente devem parte deste desempenho, à sobrecarga de roteamento imposta na simulação. O protocolo DSR, utilizou uma quantidade menor de pacotes de controle, também pelo fato de utilizar-se de escuta no modo promíscuo, que permite capturar novas rotas a partir da comunicação dos nós vizinhos e pela habilidade de armazenar as rotas em *cache* através das requisições, ou resposta de rotas que passam pelos nós.

7 CONCLUSÃO

Em todas as métricas comparadas, a alta mobilidade na rede, inevitavelmente causou um impacto negativo. A necessidade de manter as tabelas de roteamento atualizadas, geram um maior uso das mensagens de controle dos protocolos, independente da estratégia de manutenção. Assim é gerada a sobrecarga de roteamento, que em casos extremos, pode ocupar exageradamente o meio de transmissão de uma rede.

Algumas técnicas como o uso de *cache*, e o aprendizado das rotas aproveitando as mensagens de retransmissão ou a escuta no modo promíscuo auxiliam a reduzir o uso de mensagens de controle dos protocolos.

De uma forma geral os protocolos DSR e AODV obtiveram os melhores resultados. O protocolo DSR apresentou o maior atraso para o envio de pacotes, enquanto o protocolo AODV fez o uso de mais mensagens de controle de roteamento. Por outro lado, o protocolo DSDV demonstrou um resultado razoável para a sobrecarga de roteamento, enquanto a média de atraso na entrega dos pacotes, não pode ser considerada e analisada de forma positiva, já que o protocolo obteve uma boa média nesta métrica, mas também um descarte de mais de 25% dos pacotes em altas mobilidades.

Este trabalho auxilia a compreender e analisar o impacto da mobilidade sobre as métricas analisadas, por meio de simulações extensas que fornecem uma maior quantidade de dados e que possibilitam gerar informações mais confiáveis.

Para trabalhos futuros, é possível analisar outras métricas neste ambiente de simulação como exemplo, *throughput* e uso de energia dos nós, ou mesmo adicionar outros testes de avaliação, variando a densidade da rede.

Mantendo a configuração das simulações, também é possível testar outros protocolos e compará-los com os resultados deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES JUNIOR, J.; NASCIMENTO, L. F. L.; ALBINI, L. C. P. Using the redundant residue number system to increase routing dependability on mobile ad hoc networks. **Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology**, Janeiro de 2011.

BANNACK, A. **Aplicando gestão de energia ao protocolo de roteamento para redes Ad Hoc Móveis VRP**, 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BERNARDO, A., M.; OTTO, C., M., B. Uma Análise de Protocolos de Roteamento Sob Demanda de Redes Ad Hoc. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES. 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

BOUKHALKHAL, A. et al, Simulation of Mobile Ad hoc Routing Strategies. In 4th International Conference Innovations in Information Technology. 2007, Dubai. **Anais...** Dubai: IEEE, 2007

DEVASHISH, R. et al, A Comparative Study of AODV and OLSR on the ORBIT Testbed. In: MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2007, U.S.A, Orlando. **Anais...** Orlando: IEEE, 2007.

ISMAIL, D.; JAAFAR, M. Mobile ad hoc network overview, In Asia-Pacific Conference Applied Electromagnetics, 2007, Malaka, Malasia. **Proceedings...** Malaka: IEEE, 2007.

JOHNSON, D.; MALTZ, D.; HU, Y. **RFC 4728 - The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4**. IETF, 2007. Disponível em: www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt. Acessado em novembro de 2011.

JOHNSON, D.; MALTZ, D. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks. **Mobile Computing**, p. 153-181, Kluwer Academic Publishers, 1996.

JUBIN, J.; TORNOW, J. The DARPA Packet Radio Network Protocols. **Proceedings of the IEEE**, pg 21-32, 1987.

LANG, D. **A comprehensive overview about selected ad hoc networking routing protocols** Technische, Universität München, Department of Computer Science, Março 2003. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/>. Acessado em Agosto de 2011.

MCCANNE, S.; FLOYD, S. ns Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em Agosto de 2011.

NAVIDI, W.; CAMP, T.; , Stationary distributions for the random waypoint mobility model, *Mobile Computing, IEEE Transactions on* , vol.3, no.1, pg. 99- 108, 2004.

PERKINS, C.; BELDING-ROYER, M., E.; DAS, M., S. **RFC 3561 - Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing**. IETF, 2003. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc3561>. Acessado em novembro de 2011.

PERKINS, C.; BHAGWAT, P. Routing over a Multihop Wireless Network of Mobile Computers. **Mobile Computing**, 1996. Disponível em: <http://www.awprofessional.com/content/images/0201309769/samplechapter/perk03.pdf>. Acessado em Novembro de 2011.

QASIM, N.; SAID, F.; AGHVAMI, H. Mobile Ad Hoc Networks Simulations Using Routing Protocols for Performance Comparisons, In World Congress on Engineering 2008, London, UK. **Proceedings...** London: WCE, 2008.

RAMANATHAN, R.; REDDI, J. A. Brief OvervieOf Ad Hoc NerWorks: Challenges and Directions. **IEEE Communications Magazine**, Maio de 2002.

TUTEJA, A.; GUJRAL, R.; THALIA S. Comparative Performance Analysis of DSDV, AODV and DSR Routing Protocols in MANET Using NS2. In IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTER ENGINEERING, 2010. **Anais...** Bangalore: IEEE, 2010.