Uma Análise de Protocolos de Roteamento Sob Demanda de Redes *Ad Hoc*

Bernardo A. M. Villela e Otto Carlos M. B. Duarte

***Resumo*— Em redes ad hoc, o desenvolvimento de protocolos dinâmicos de roteamento é complexo e desafiador. Este artigo analisa dois dos mais populares protocolos de roteamento sob demanda para redes ad hoc: o DSR (Dynamic Source Routing) e o AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing). Um modelo de simulação detalhado é usado para verificar as características de ambos os protocolos para diferentes padrões de mobilidade e de carga. É analisado em que cenários cada um dos protocolos apresenta melhor desempenho. Para isto, são usadas métricas, tais como a vazão, a sobrecarga de roteamento normalizada e o atraso fim a fim.**

***Palavras-Chave*— Roteamento, redes móveis ad hoc, simulação.**

***Abstract*— In ad hoc networks, the design of dynamic routing protocols is a complex and challenging issue. This paper analyzes two of the most popular on-demand protocols for ad hoc networks: DSR (Dynamic Source Routing) and AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing). A detailed simulation model is used for verifying the characteristics of both protocols with varying load and mobility. It is analyzed in which scenarios each one of the protocols shows a better performance. To achieve this goal it is used metrics such as the throughput, normalized routing overhead and average end-to-end delay.**

***Keywords*— Routing, ad hoc mobile networks, simulation.**

I. INTRODUÇÃO

Um dos problemas mais desafiadores de redes *ad hoc* trata-se de como rotear os pacotes. A complexidade do roteamento aumenta em uma rede *ad hoc* pois todo nó deve agir como um roteador em potencial e a topologia pode mudar dinâmica e constantemente. Além disso, há de se considerar problemas de interferência entre nós vizinhos, uso de banda passante, energia da bateria, etc. Os algoritmos tradicionais, voltados para redes fixas, se mostram ineficientes para resolver estes problemas. Por isso novos algoritmos, específicos para redes *ad hoc*, foram propostos. Os protocolos de descoberta de rotas sob demanda têm se mostrado os mais eficientes para redes *ad hoc* devido a limitações de banda e de energia das redes móveis, apesar de conferirem um acréscimo de latência pois o procedimento de descoberta de uma rota (que não seja previamente conhecida) é efetuado apenas depois do momento em que esta se faz necessária.

Johnson *et al.* [1] analisaram os protocolos DSR [2] (*Dynamic Source Routing*), AODV [3] [4] (*Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing*), DSDV [5] (*Destination-Sequenced Distance Vector*) e TORA [6] (*Temporally Ordered Routing Algorithm*), segundo a taxa de entrega, número absoluto de pacotes de roteamento e a distribuição do comprimento dos caminhos para comparar com o caminho ótimo. Este trabalho verificou que os protocolos DSR e AODV apresentavam um desempenho consideravelmente melhor que os outros. Além disso, o DSDV, que é um protocolo pró-ativo, se mostrou o menos eficiente quando se aumenta a mobilidade. No trabalho [7], foi feita uma comparação dos protocolos DSR e AODV, obtendo-se resultados referentes à taxa de entrega, sobrecarga de roteamento normalizada e média do atraso fim a fim.

Este artigo dá seqüência aos artigos anteriormente citados e analisa detalhadamente os protocolos DSR e AODV. O modelo de mobilidade *random waypoint* é alterado para restringir mais a velocidade, de forma a se obter maior controle do que realmente está ocorrendo na rede para possibilitar uma melhor análise. Desta forma, pôde ser simulado um padrão de mobilidade mais acentuado, no qual os nós se movimentam sem cessar, e o parâmetro variado é a velocidade. Nos artigos citados, o parâmetro variado nos gráficos era o tempo de pausa que, apesar de importante, confere uma mobilidade reduzida. Através da variação destes dois parâmetros, pôde-se obter uma melhor noção das conseqüências da variação da mobilidade em geral. Por fim, ao contrário dos artigos anteriores, onde as simulações foram para o padrão IEEE 802.11 com banda de 2 Mbps, este artigo utiliza uma rede com banda de 11 Mbps. Deve ser ressaltado que a capacidade da rede não aumenta proporcionalmente já que os quadros de controle continuam a trafegar a 1 Mbps para manter a compatibilidade entre os padrões. Assim, é importante avaliar a vazão obtida pelos protocolos de roteamento em modelos de mobilidade, taxa de transmissão e cenários diferentes.

Na seção 2, explicam-se as principais características dos protocolos DSR e AODV. Na seção 3 apresenta-se o modelo de simulação usado. Ainda nesta seção, os protocolos são analisados segundo as métricas mencionadas. Por fim, na Seção 4 é feita a conclusão do trabalho, acompanhada de sugestões de trabalhos futuros.

II. PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO ANALISADOS

Nesta seção são descritos os dois protocolos analisados neste trabalho: o DSR e o AODV. Ambos possuem dois mecanismos básicos: a descoberta de rota e a manutenção de rota. Quando um nó fonte deseja enviar pacotes a um nó destino, antes de mais nada, uma rota, caso não seja previamente conhecida, precisa ser descoberta. Para isto, ambos os protocolos procedem a uma inundação da rede com requisições de rota (*Route Requests* - RREQs). O nó destino

Bernardo A. M. Villela e Otto Carlos M. B. Duarte, Grupo de Teleinformática e Automação, COPPE/EE – Programa de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, E-mails: bernardo@gta.ufrj.br, otto@gta.ufrj.br. Este trabalho foi realizado com recursos da FUJB, CNPq, CAPES, COFECUB e FAPERJ.

(ou nós intermediários que saibam como alcançar o destino) responde com um *Route Reply* (RREP). Caso esta inundação seja mal sucedida, a fonte repete o procedimento até um número máximo de vezes. E, depois, enquanto se usa uma dada rota para o envio de pacotes se verifica se esta rota permanece válida, caso contrário se envia um *Route Error* (RERR) até a fonte para avisá-la sobre a queda de um enlace.

A. Dynamic Source Routing - *DSR*

O DSR [2] usa o roteamento por fonte, isto é, a fonte aprende e coloca, em cada pacote que envia, o caminho completo e ordenado que o pacote deve percorrer até se chegar ao destino. Assim, não há necessidade de informações atualizadas de roteamento nos nós intermediários através dos quais o pacote passa em seu caminho até o destino e também evitam-se *loops*, de maneira trivial.

Além disso, o DSR usa um *cache* de rotas, que armazena rotas anteriormente aprendidas seja pelo processo de descoberta de rotas anteriores ou seja por escuta em modo promíscuo. Este *cache* é continuamente atualizado e se uma entrada não é usada durante um certo tempo, ela é apagada. Em modo promíscuo, pode-se aprender rotas potencialmente úteis, sem aumentar a sobrecarga de roteamento.

Quando um nó fonte precisa enviar pacotes a um nó destino para o qual não conhece uma rota, faz-se necessária a descoberta de rota. Para isto, inunda-se a rede com RREQs. Cada nó que propaga RREQs insere o seu próprio identificador no RREQ de forma a registrar o caminho pelo qual a requisição passou. Um nó destino, ou um nó intermediário que receba uma nova requisição de rota para a qual ele saiba uma resposta, deve responder com um RREP.

Se um determinado nó percebe a queda de um enlace em uso, um RERR é enviado para a fonte pelo caminho reverso, como parte do procedimento de manutenção de rota. No DSR permite-se que um nó guarde para um mesmo destino várias possíveis rotas aprendidas por qualquer método de aprendizado. Desta forma, nesta situação pode-se evitar uma nova inundação na rede caso a fonte possua um caminho alternativo em seu *cache*. Caso contrário, novo procedimento de descoberta de rota é efetuado.

B. Ad hoc On-demand Distance Vector Routing - *AODV*

Ao contrário do DSR, o AODV [4] não usa o roteamento por fonte, o que obriga todos os nós intermediários a estabelecerem dinamicamente entradas em tabelas de roteamento locais para cada destino ativo. Cada nó sabe qual é o próximo nó para chegar ao destino e a distância em número de saltos. Além disso, permite-se apenas uma entrada na tabela de roteamento para cada destino, referente ao menor caminho conhecido.

No AODV, cada nó mantém um número de seqüência monotonicamente crescente que é usado para se evitar *loops* e como forma de se verificar se uma informação de rota é recente ou não. Quando ocorre a queda de um enlace, as rotas que o utilizam são invalidadas através de operações que envolvem o número de seqüência e a métrica da rota.

Quando um nó deseja se comunicar com outro para o qual não conhece caminho em sua tabela de roteamento, o nó fonte inunda a rede com RREQs contendo o seu número de seqüência e o último número de seqüência conhecido do destino. Durante o processo de inundação, vão se guardando caminhos reversos de todos nós alcançáveis pela requisição até a fonte, de forma que se o destino for alcançável, a rede saberá como fazer retornar a resposta até a fonte. Quando o nó destino, ou possivelmente um nó intermediário com uma entrada em sua tabela para o destino recente o suficiente, recebe uma nova requisição de rota, este nó responde para a fonte através do caminho reverso. Cada nó por onde passa este RREP guarda em sua tabela uma entrada para o destino, permitindo-se a comunicação.

A manutenção de rota é implementada de forma a que, caso se perceba a queda de um enlace, esta informação seja disseminada a todos os nós que sabidamente usem este enlace em alguma rota ativa. Define-se rota ativa como uma entrada "recente o suficiente" na tabela de roteamento com uma métrica finita. A manutenção de rota pode ser implementada através da troca de mensagens periódicas de *hello* entre vizinhos, atestando a conectividade ou, de forma alternativa, dependendo do protocolo de acesso ao meio, pode-se fazer uso de um *feedback* da camada de enlace de forma a se consumir menos banda e energia.

III. SIMULAÇÕES

Para se fazer as simulações necessárias para o teste, análise e comparação dos protocolos de roteamento, foi usado o *Network Simulator* (NS) [8], que é capaz de executar simulações, retratando o que ocorre nas camadas de uma rede.

A. Modelo de Simulação

A análise dos protocolos depende da boa escolha dos parâmetros que influenciam diretamente o padrão de mobilidade e tráfego das redes. Para a área de simulação, usou-se um campo retangular de 1200m x 500m. Tendo-se usado um raio de alcance de cada nó móvel de 250m, esta área já determina o diâmetro máximo do grafo representativo da topologia da rede. Este parâmetro é importante pois a complexidade em número de passos para se descobrir uma rota tanto no DSR quanto no AODV é O(d), sendo d o diâmetro da rede. Além disso, deu-se preferência a uma área retangular em vez de quadrada para se obter, para uma mesma área, caminhos maiores em média. Para o número de nós, escolheu-se 60, o que confere uma boa densidade à rede. A densidade é outra informação relevante, uma vez que em uma rede *ad hoc* para que todos os nós sejam alcançáveis, a densidade não pode ser muito pequena. Porém a densidade não pode ser excessivamente elevada também, pois o meio é compartilhado e isto acarretaria congestionamento, caso muitos nós desejassem enviar pacotes.

Para se testar a reação aos diferentes dinamismos de mudança de topologia, foram testados dois possíveis padrões de mobilidade, ambos usando a versão modificada do modelo de *random waypoint*. Este modelo se caracteriza por uma certa velocidade e tempo de pausa. Assim, no começo se escolhe para cada nó um ponto de início aleatoriamente dentro da área de simulação. Cada nó, primeiramente permanece aí parado por um período dado pelo tempo de pausa. Terminado este período, ele escolhe uma nova posição aleatoriamente e se dirige até lá com uma velocidade distribuída uniformemente entre 0 e uma velocidade máxima. Chegando lá, o nó volta a ficar parado por um período de pausa, repetindo o processo até o fim da simulação. Já na versão modificada do *random waypoint*, restringe-se mais a velocidade dos nós que encontra-se distribuída uniformemente entre 90% e 110% de uma velocidade especificada. No primeiro padrão de mobilidade, a velocidade foi fixada em 20 m/s, que representa um carro se movendo, e variou-se o tempo de pausa, que assumiu os valores 0, 50, 100, 200 e 400 segundos. Um tempo de pausa de 0s refere-se a um padrão de mobilidade constante, enquanto o tempo de pausa de 400s representa uma rede com nós que ficam estáticos durante toda a simulação, uma vez que 400s foi também o tempo total de simulação. E no segundo padrão de mobilidade, os nós se movem sem cessar durante a simulação com velocidades de 1, 5, 10 e 20m/s. Para efeito de comparação, considera-se também o caso em que os nós têm velocidade nula, isto é, permanecem parados durante toda a simulação.

Como especificação do tráfego na rede, preferiu-se usar um tráfego a taxa constante (CBR), em vez de usar TCP, já que o mecanismo de controle de congestionamento do TCP prejudicaria a avaliação dos protocolos em igualdade de condições. Para se avaliar diferentes cargas na rede, foram usados 5 ou 10 pares fonte-destino com tráfego CBR com taxa de 16 pacotes de 512 *bytes* por segundo (64 kbps).

B. *Análise dos Protocolos*

Como métrica para analisar o desempenho dos protocolos de roteamento DSR e AODV, escolheu-se utilizar:

- taxa de entrega de pacotes: razão entre o número de pacotes enviados pela aplicação na fonte e o número de pacotes recebidos pela aplicação no destino;
- sobrecarga de roteamento normalizada no número de pacotes: razão entre a quantidade de pacotes de roteamento transmitidos (conta-se em cada enlace no qual se envia) e a quantidade de pacotes de dados recebidos;
- atraso médio fim a fim dos pacotes de dados: inclui todos os atrasos possíveis para um pacote, tais como tempo de espera na fila, tempo para descoberta de rota, tempo de propagação e de transferência e atrasos referentes ao acesso ao meio.

A taxa de entrega é uma medida essencial para a aplicação e permite avaliar o funcionamento correto e completo do protocolo. A sobrecarga de roteamento é importante pois determina a escalabilidade do protocolo. Em uma rede com baixa banda, o tráfego referente ao roteamento deve ser o menor possível quando comparado com o tráfego de dados provenientes da aplicação. Além disso, para se enviar pacotes de roteamento, gasta-se energia dos nós, que é outro recurso escasso em redes sem fio. Por fim, o atraso médio fim a fim é outra medida pertinente, assumindo caráter fundamental para aplicações interativas. O congestionamento na rede ou tempo de convergência longo para descoberta de rotas ou ainda o uso de rotas mais longas que o necessário podem ser causas relevantes de atraso.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para as métricas citadas. As barras de erro referem-se a um grau de confiabilidade de 90%.

1) Taxa de Entrega de Pacotes: Nas Figuras 1 e 2 são apresentados gráficos para a taxa de entrega de pacotes para 5 e 10 pares fonte-destino, respectivamente, variando-se o tempo de pausa. E nas Figuras 3 e 4 mostra-se a taxa de entrega de pacotes para 5 e 10 pares fonte-destino, respectivamente, com a velocidade variando.

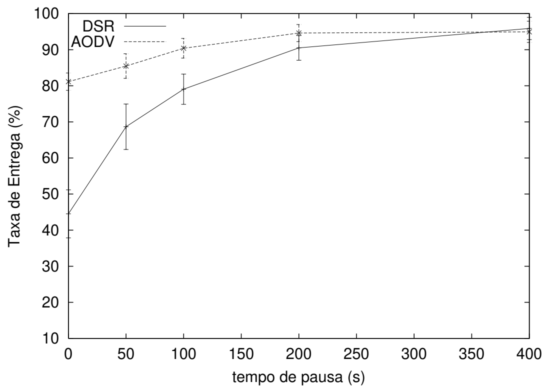

Fig. 1. Taxa de entrega: cenário com 5 pares fonte-destino e nós com velocidade de 20 m/s.

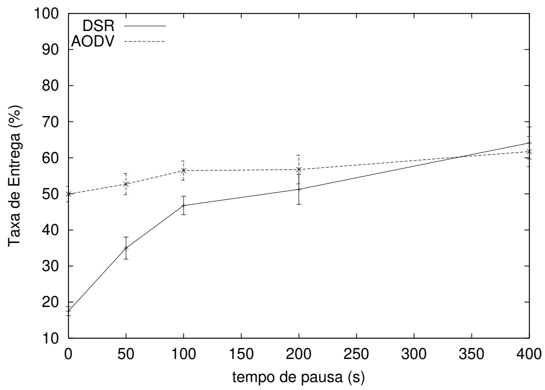

Fig. 2. Taxa de entrega: cenário com 10 pares fonte-destino e nós com velocidade de 20 m/s.

Constata-se para ambos os protocolos uma sensível diferença de desempenho para diferentes cargas na rede. Para 10 pares fonte-destino, a taxa de entrega cai consideravelmente em relação a 5 pares fonte-destino. Diante do padrão de tráfego, do tamanho da rede e da banda passante disponível, isto já era esperado, pois analisando a capacidade da rede, percebe-se que nesta condição se está forçando a rede, logo é normal ocorrer congestionamento e descarte de pacotes.

Para o tempo de pausa variando nas Figuras 1 e 2, percebe-se que a taxa de entrega aumenta com o aumento do tempo de pausa. E, nas Figuras 3 e 4 verifica-se que a taxa de entrega diminui com o aumento da velocidade. Isto é esperado pois para menor mobilidade (isto é, tempo de pausa maior ou velocidade menor), há tempo para que rotas se estabilizem e possam ser usadas. Já com maior mobilidade, as rotas precisam

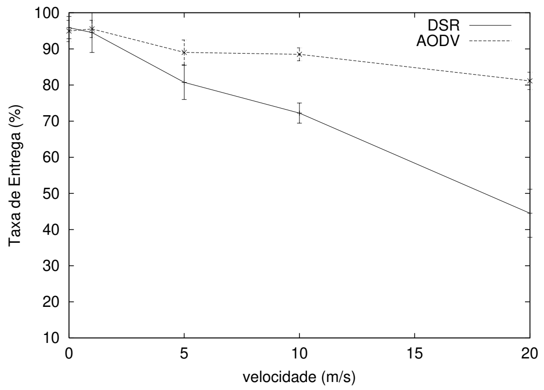

Fig. 3. Taxa de entrega: cenário com 5 pares fonte-destino e nós se movendo sem pausa.

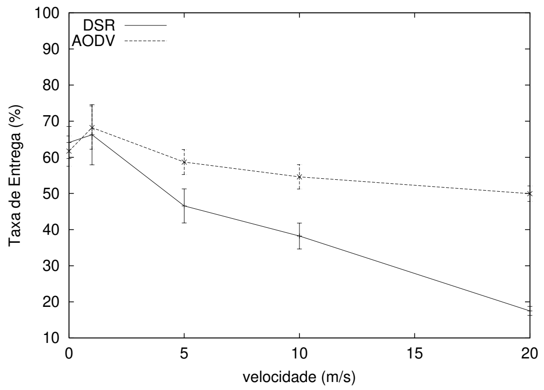

Fig. 4. Taxa de entrega: cenário com 10 pares fonte-destino e nós se movendo sem pausa.

ser alteradas com mais freqüência, dificultando o trabalho dos protocolos de roteamento. Em particular, quedas de enlace ocorrem com mais freqüência e conseqüentemente perdas de pacotes também.

Percebe-se nos gráficos que o AODV reage melhor à alta mobilidade e, à medida que a mobilidade diminui o desempenho de ambos se aproxima. Ora, o DSR se baseia em roteamento por fonte e pode possuir em seu *cache* múltiplas rotas para um destino. Já o AODV se baseia em tabelas de roteamento distribuídas e possui no máximo uma rota para cada destino em cada nó. Assim, quanto maior for a mobilidade, mais rápido as rotas alternativas presentes no *cache* vão se desatualizar, resultando mais freqüentemente em perda de tempo e de pacotes usar uma rota do *cache*. Desta forma, diante de uma queda de enlace torna-se mais eficaz descobrir uma nova rota como faz o AODV do que utilizar uma do *cache*. Mas para baixa mobilidade, as rotas ficam mais estáveis e o uso de *cache* e a escuta em modo promíscuo se mostram uma opção interessante, de forma que o desempenho do DSR consegue se aproximar do AODV. Por último, com relação à variação da mobilidade, pode-se acrescentar que o AODV mostrou uma degradação da taxa de entrega de pacotes mais suave que o DSR cuja taxa de entrega para cenários de alta mobilidade foi muito baixa.

2) Sobrecarga de Roteamento Normalizada: Nas Figuras 5 e 6 são apresentados gráficos para a sobrecarga de roteamento normalizada no número de pacotes para 5 e 10 pares fonte-destino, respectivamente, com o tempo de pausa variando. Em seguida, nas Figuras 7 e 8 tem-se a mesma métrica para 5 e 10 pares fonte-destino, respectivamente, com a velocidade variando.

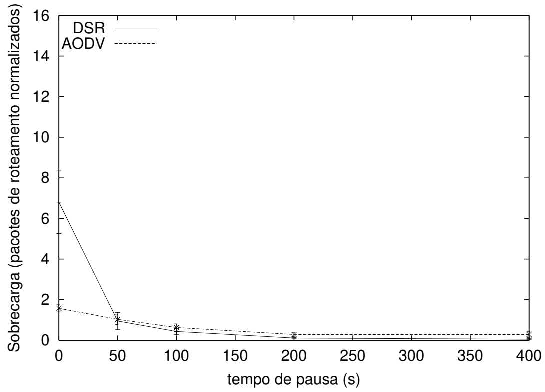

Fig. 5. Sobrecarga de roteamento (normalizada no número de pacotes): cenário com 5 pares fonte-destino e nós com velocidade de 20 m/s.

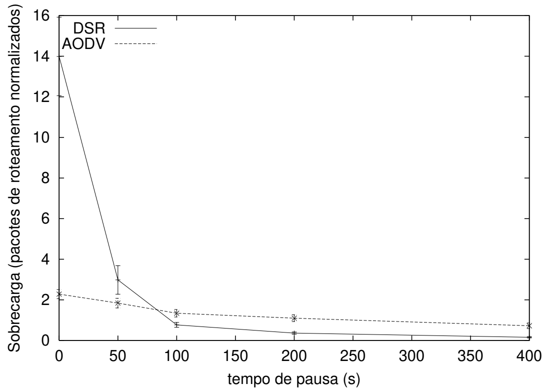

Fig. 6. Sobrecarga de roteamento (normalizada no número de pacotes): cenário com 10 pares fonte-destino e nós com velocidade de 20 m/s.

Primeiramente, para a sobrecarga de roteamento em número de pacotes percebe-se que ambos os protocolos trocam mais pacotes de roteamento para um maior número de pares fonte-destino. Isto é uma conseqüência direta do roteamento sob demanda. Outro efeito esperado é que o número de pacotes de roteamento para ambos os protocolos aumenta com o aumento da mobilidade, isto é, menores tempos de pausa nas Figuras 5 e 6 e maiores velocidades nas Figuras 7 e 8. Quanto maior a mobilidade, mais freqüentemente rotas se alterarão e haverá quedas de enlaces, logo com mais freqüência se dará o procedimento de descoberta de rotas e de manutenção de rotas.

Além disso, percebe-se que o DSR gera menor número de pacotes de roteamento que o AODV para baixa e média mobilidade. Isto é conseqüência direta do uso intensivo e efetivo para estes padrões de mobilidade de *cache* com múltiplas rotas possíveis e escuta em modo promíscuo por

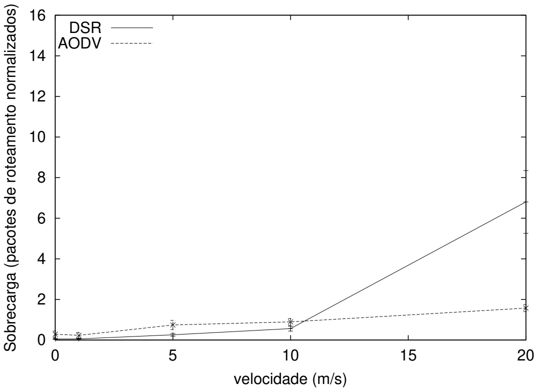

Fig. 7. Sobrecarga de roteamento (normalizada no número de pacotes): cenário com 5 pares fonte-destino e nós se movendo sem pausa.

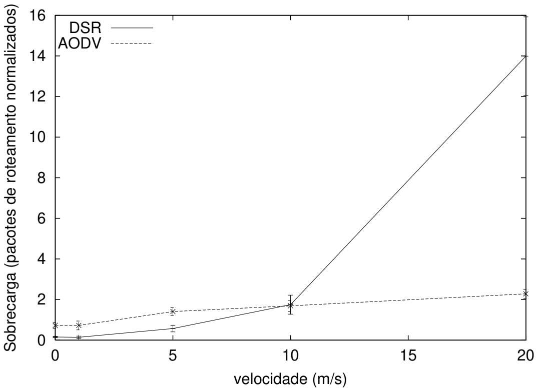

Fig. 8. Sobrecarga de roteamento (normalizada no número de pacotes): cenário com 10 pares fonte-destino e nós se movendo sem pausa.

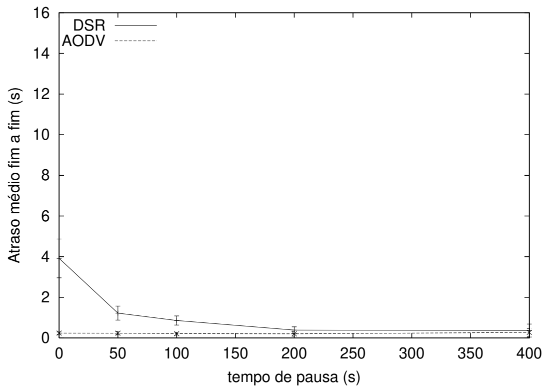

Fig. 9. Atraso médio fim a fim: cenário com 5 pares fonte-destino e nós com velocidade de 20 m/s.

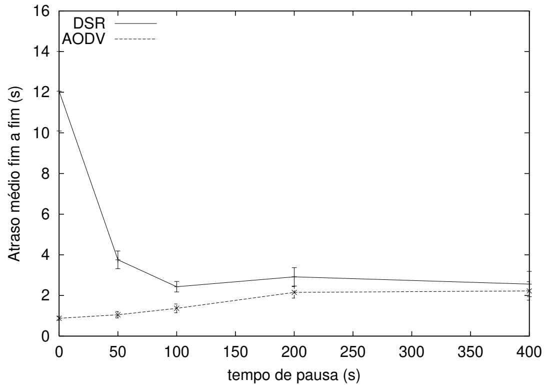

Fig. 10. Atraso médio fim a fim: cenário com 10 pares fonte-destino e nós com velocidade de 20 m/s.

parte do DSR, enquanto que no AODV se mantém em cada nó para cada destino no máximo uma entrada na tabela de roteamento. Assim, a queda de um enlace no AODV implica nova inundação da rede para se descobrir uma rota, isto é, O(N) mensagens, onde N é o número de nós na rede. Já o DSR, diante do evento de queda de enlace, pode evitar uma inundação de RREQs, desde que possua uma outra rota em seu *cache*. Já para grande mobilidade, percebe-se que o uso de *cache* e roteamento por fonte possui eficiência baixa, de forma que neste caso o DSR passa a enviar mais pacotes de roteamento, já que a topologia se altera com uma freqüência tão grande que as rotas do *cache* se desatualizam rapidamente, tornando-se muitas vezes uma má opção. Dessa forma, faz-se necessário proceder a uma nova inundação.

3) Atraso médio fim a fim dos pacotes de dados: Nas Figuras 9 e 10 são apresentados gráficos para o atraso médio para 5 e 10 pares fonte-destino, respectivamente, com o tempo de pausa variando. Em seguida, nas Figuras 11 e 12 são mostrados os gráficos para o atraso médio para 5 e 10 pares fonte-destino, respectivamente, com a velocidade variando.

Primeiramente, pode-se notar que para um maior número de fontes, obtém-se maior atraso. Isto era esperado, pois o aumento da carga faz aumentar o congestionamento, o tempo de espera em filas e pelo acesso ao meio. O DSR para alta mobilidade apresenta um desempenho ruim pois ocorrem muitas quedas de enlaces e o uso de rotas do *cache* não é eficaz. Na sobrecarga de roteamento, percebe-se que ele envia muitos pacotes congestionando ainda mais a rede. Além disso, este grande número de pacotes se deve a um grande número de requisições de rota. Assim a latência para descoberta de rota é alta para o DSR, justificando o valor alto de atraso médio. Já o AODV consegue um desempenho melhor, acompanhando mais eficientemente o dinamismo da rede e sobrecarregando-a menos. Desta forma, consegue um menor valor de atraso médio. Quando a mobilidade diminui, as rotas ficam mais estáveis e os protocolos apresentam valores de atraso mais próximos. Pode-se ainda dizer que o AODV se mostrou mais estável para os diferentes padrões de mobilidade, enquanto o DSR variou bastante.

IV. CONCLUSÕES

Para se avaliar as características e o desempenho dos protocolos DSR e AODV, foram feitas simulações no simulador de redes NS para diferentes cargas e padrões de mobilidade. Foi usada uma versão modificada do modelo de *random waypoint* em que se obtém maior controle da velocidade. Desta forma, pôde-se obter gráficos não só para a variação do tempo de pausa, mas também para diferentes velocidades, podendo-se compreender melhor o impacto da variação do padrão de mobilidade. Além disso, este trabalho contribui com a

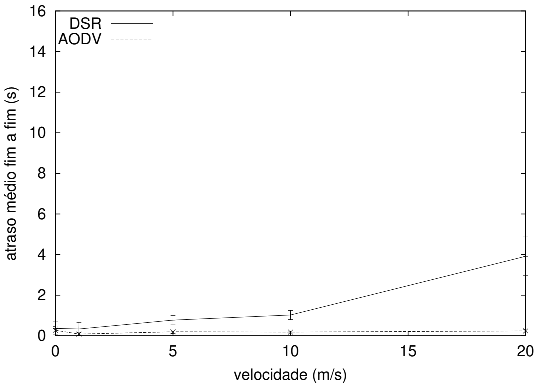

Fig. 11. Atraso médio fim a fim: cenário com 5 pares fonte-destino e nós se movendo sem pausa.

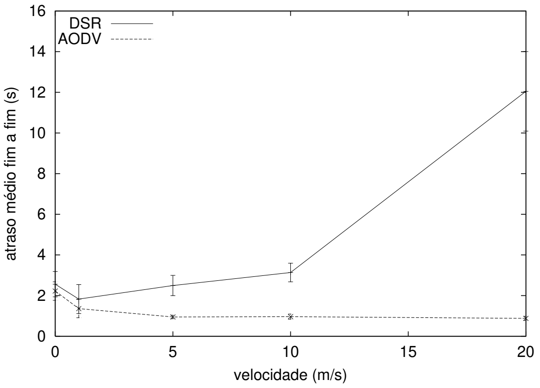

Fig. 12. Atraso médio fim a fim: cenário com 10 pares fonte-destino e nós se movendo sem pausa.

avaliação do desempenho destes protocolos sobre uma rede *ad hoc* de dispositivos IEEE 802.11 com banda de 11 Mbps. Uma análise dos protocolos foi feita segundo a taxa de entrega, a sobrecarga de roteamento normalizada e o atraso médio fim a fim.

Para alta mobilidade, o DSR apresentou um fraco desempenho, enquanto que o AODV se mostrou superior tanto na taxa de entrega quanto no atraso médio. Diminuindo-se a mobilidade, o desempenho do DSR melhora e se aproxima do AODV.

Com uma grande carga de tráfego na rede, ambos os protocolos tiveram seu desempenho prejudicado, entregando menos pacotes. Além disso, passam a sofrer maiores atrasos em decorrência do congestionamento e da maior disputa de acesso ao meio e, como conseqüência direta do roteamento sob demanda, enviam mais pacotes de roteamento. Já com baixa carga e baixa mobilidade ambos os protocolos conseguem uma taxa de entrega muito boa de cerca de 95% para nós com velocidade menor que 1m/s.

De um modo geral, o AODV se mostrou mais estável com relação à variação da mobilidade, apresentando-se como melhor opção em cenários de grande mobilidade. Para velocidades menores que 1m/s (aproximadamente uma pessoa andando) ou tempos de pausa maiores que 200s, isto é, para cenários de menor mobilidade, o DSR pode ser interessante também. Neste caso, ele consegue desempenho comparável ao do AODV em termos da taxa de entrega, porém com menos sobrecarga na rede.

Como trabalhos futuros, pode-se seguir na linha de simulação, fazendo variar outros parâmetros tais como a densidade de nós ou o tamanho dos pacotes. De forma alternativa, pode-se simular cenários específicos, além de se inserir no modelo obstáculos.

REFERÊNCIAS

[1] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. C. Hu. e J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols", *In Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, outubro 1998.

[2] D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. C. Hu. e J. G. Jetcheva, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks", *Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-06.txt*, fevereiro 2002.

[3] C. E. Perkins e E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing", *MILCOM'97 panel on Ad Hoc Networks*, nov 1997.

[4] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer e S. R. Das, "Ad hoc on-demand distance vector routing", *Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-10.txt*, junho 2002.

[5] C. Perkins e P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers", in *ACM SIGCOMM'94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications*, pp. 234–244, 1994.

[6] V. D. Park e M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks", in *INFOCOM (3)*, pp. 1405–1413, 1997.

[7] S. R. Das, C. E. Perkins e E. M. Royer, "Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks", *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp. 3–12, março 2000.

[8] K. Fall e K. Varadhan, *The ns Manual*. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, abril 2002. Available at http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html.