

Análise de Protocolos de Roteamento Baseada no Modelo de Bateria de Rakhmatov-Vrudhula

José Athayde Torres Costa Neto e Marco Aurélio Spohn

Resumo—Simuladores de redes frequentemente adotam um modelo de bateria linear, que produz resultados incorretos, por não levar em consideração o efeito de relaxação da bateria. Esse trabalho visa reavaliar os representativos protocolos de roteamento AODV, DSR e OLSR contemplando o modelo realístico de bateria de Rakhmatov-Vrudhula, permitindo assim, compreender detalhes mais precisos desses protocolos. Os resultados mostram que nas simulações baseadas no modelo realista, além dos dispositivos da rede sobreviverem por mais tempo em todos os protocolos, a entrega de pacotes é superior em comparação ao modelo linear.

Palavras-Chave—Redes ad hoc móveis, protocolo de roteamento, modelos de bateria.

Abstract—Network simulators usually adopt a linear battery model, which produces incorrect results, because it does not take into account the battery capacity recovery effect. This work aims to re-evaluate the representative unicast routing protocols AODV, DSR and OLSR based on the more realistic Rakhmatov-Vrudhula battery model; thus, providing us a better insight into these protocols performance. The results show that the protocols' lifetime and packet delivery rate increase significantly when simulations are based on the realistic battery model.

Keywords—Mobile ad hoc networks, routing protocols, battery model.

I. INTRODUÇÃO

As Redes *ad hoc* móveis ou MANETs são compostas por dispositivos móveis sem fio que operam sem a presença de qualquer controle centralizado ou infraestrutura fixa definida. A utilização dessas redes vêm crescendo, principalmente pela simplicidade de implementação, baixo custo, e por permitir a comunicação em ambientes de difícil acesso [1]. Para a transmissão de pacotes o protocolo de roteamento deve permitir a descoberta de caminhos *multihop* de um nó para qualquer outro nó da rede. Porém, a presença de mobilidade em uma rede *ad hoc* implica que conexões sejam estabelecidas e desfeitas de forma não determinística, resultando em mudança dinâmica da topologia. Por isso, a bateria dos dispositivos móveis é um recurso que precisa ser considerado, pois seu consumo influencia diretamente no tempo de vida da rede. Assim, a falha de um dispositivo que seja peça chave de uma rede, poderá comprometer todo o funcionamento desta e interromper o transporte de informações.

A maioria dos protocolos de roteamento de redes *ad hoc* móveis propostos até o momento foi avaliada utilizando algum

tipo de simulador de redes. No entanto, estes podem produzir resultados incorretos, caso os modelos de simulação envolvidos não forem suficientemente acurados [2]. Esse problema ocorre com o modelo convencional de descarga de bateria (i.e., modelo linear), utilizado como padrão em grande parte desses simuladores de rede. Nesse caso, a bateria é tratada como um recipiente de corrente, em que a energia é consumida de forma linear, e não são considerados efeitos reais existentes em uma bateria. Portanto, o uso desse modelo pode ocasionar interpretações equivocadas na avaliação dos protocolos, especialmente aqueles que levam em conta o tempo de vida da rede.

Em virtude dos possíveis problemas, este trabalho visa reavaliar o desempenho de três dos mais representativos protocolos de roteamento *unicast* de redes *ad hoc* móveis - *Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing* (AODV) [3], *Dynamic Source Routing* (DSR) [4] e *Optimized Link State Routing Protocol* (OLSR) [5] - utilizando-se um modelo realístico de bateria. Utilizou-se o modelo não-linear de Rakhmatov-Vrudhula [6], o qual captura os efeitos de taxa de capacidade e relaxação (i.e., recuperação da capacidade) da bateria. As simulações foram realizadas por meio do simulador de redes NS-2 [7], ferramenta consolidada pela comunidade científica. A partir dessa avaliação, será possível compreender detalhes até então não observados de cada um dos protocolos, devido ao uso do modelo linear de bateria na maioria dos simuladores de rede, além de uma melhor representação dos resultados.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A literatura apresenta uma variedade de trabalhos [8][9] relacionados à avaliação de protocolos de roteamento de redes móveis *ad hoc*, contudo, poucos destacam o modelo de bateria utilizado nas simulações e o consumo de energia dos nós. Rakhmatov e Vrudhula [6] apresentam um modelo de bateria analítico, que captura os efeitos de taxa de capacidade e de relaxação, presentes em diferentes tipos de baterias (e.g., alcalinas, íons de lítio). Estes efeitos consideram que quanto maior a corrente de descarga, menor a capacidade disponível na bateria; e que esta pode recuperar sua capacidade quando estiver ociosa e a corrente submetida for reduzida significativamente. A recuperação possibilita o aumento da vida útil da bateria e, conseqüentemente, o tempo de vida da rede. Outros trabalhos[10][11] também apresentam modelos de bateria realísticos, projetados para redes *ad hoc* e de sensores, mas o modelo de Rakhmatov-Vrudhula foi o escolhido na realização deste trabalho por ser o mais comentado e aceito pela comunidade.

O NS-2 [7], um dos principais simuladores de redes utilizados na avaliação de protocolos, apresenta modelos de consumo de energia imprecisos, pois não consideram todos os estados do rádio, os diferentes níveis de energia que eles consomem, e os efeitos não lineares da bateria. Os exemplos de simuladores de rede que empregam o modelo linear são GloMoSim e Qualnet. Handy e Timmermann [12] apresentam um algoritmo para integração do modelo de Rakhmatov-Vrudhula em ambientes de simulação para redes sem fio, como o NS-2, que realiza uma estimativa, de forma interativa, do tempo de vida de dispositivos, levando em conta os efeitos não lineares da bateria. Este algoritmo foi utilizado por Sausen [13] em experimentos com redes de sensores e baterias alcalinas. Para a realização dos experimentos deste trabalho, utilizou-se o mesmo algoritmo de Handy e Timmermann, mas adaptado para baterias de íons de lítio, sendo estas as mais utilizadas em dispositivos móveis em geral (e.g., notebooks, celulares, tablets, etc).

Simulações envolvendo redes *ad hoc* naturalmente apresentam um grande custo de recursos computacionais, pois geralmente estão envolvidos diversos dispositivos movimentando-se e enviando pacotes a todo instante. Por outro lado, quando essas simulações envolvem modelos de bateria mais realísticos, como o de Rakhmatov-Vrudhula, esse custo computacional aumenta consideravelmente. Por isso, muitos trabalhos desconsideram a utilização de modelos realistas na avaliação de protocolos.

III. PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

Em geral, os protocolos de roteamento *unicast* são classificados como proativos e reativos [14]. O roteamento proativo caracteriza-se por realizar continuamente a determinação de rotas, independente da necessidade da rota e do tráfego existente na rede. Utilizam-se tabelas de roteamento para armazenar e manter as rotas atualizadas. O roteamento reativo, por sua vez atua sob demanda, criando e mantendo rotas somente quando requisitados por um determinado nó.

A. Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing

O *Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing* [3] (AODV) é um protocolo de roteamento reativo que utiliza, para cada nó, uma tabela de roteamento tradicional, em que há apenas uma entrada para cada destino, referente ao menor caminho. A descoberta de rotas é realizada por meio do envio de mensagens *Route Request* (RREQ) para encontrar o destino e mensagens *Route Reply* (RREP) para atualização da tabela de roteamento. Com isso, cada nó sabe qual é o próximo salto para se chegar ao destino e a distância total em número de saltos [14].

Uma vantagem do AODV é que ele dispõe de um sub-protocolo de manutenção das rotas, que verifica através de mensagens *HELLO* se as rotas contidas na tabela estão válidas. Caso seja identificado uma queda de enlace, um pacote sinalizador de erro *Route Error* (RERR) é enviado para que as rotas inválidas sejam removidas. Uma desvantagem é que o envio de mensagens *HELLO* aumenta consideravelmente a carga na rede.

B. Dynamic Source Routing

O *Dynamic Source Routing* [4] (DSR) é um protocolo de roteamento sob demanda do tipo *source routing*, ou seja, o nó fonte conhece toda a sequência de nós em que o pacote passará até chegar ao destino. Cada nó armazena todas as rotas que necessita em uma *cache*, e sempre que descobre novas rotas, a *cache* é atualizada. Para a descoberta de rotas, o DSR envia um pacote RREQ, via *broadcast*. Caso algum vizinho possua a rota para o destino, esse envia para a origem um pacote RREP, contendo a lista da sequência de todos os nós até o destino. Em caso de quebra de enlace, um pacote *unicast* RERR é enviado ao nó fonte para que sejam removidas as rotas inválidas [14].

Uma vantagem do DSR é que este consegue operar em modo promíscuo, que permite aos nós observarem os pacotes que estão trafegando pela rede e acumular os caminhos que estão contidos neles sem que estejam, necessariamente, participando do processo de descoberta. Uma desvantagem do protocolo é a ausência de mecanismos para que rotas antigas sejam descartadas. Diferenças entre eles fazem com que o DSR seja melhor em cenários com baixa mobilidade e número de nós, enquanto o AODV apresenta o melhor desempenho em cenários com maior mobilidade e número de nós.

C. Optimized Link State Routing Protocol

O *Optimized Link State Routing Protocol* [5] (OLSR) é um protocolo proativo. Trata-se de uma otimização dos protocolos de estado de enlace (*link-state*) puros, adotando-se um mecanismo de redução de transmissões redundantes em operações que requerem o *broadcasting* de mensagens de controle. Nesse mecanismo são escolhidos nós *Multipoint Relays* (MPR) que serão os responsáveis por retransmitir as mensagens de controle aos vizinhos. Assim, quando uma informação precisa ser atualizada na rede, os pacotes enviados por um determinado nó chegarão a toda rede, mas somente os nós MPR poderão retransmitir essa informação adiante, fazendo com que cada nó receba-a apenas uma vez, e evitando o *overhead* de informações. Esse mecanismo não é viável em redes com muitos nós porque se torna mais custoso difundir informação sobre a topologia da rede à medida que se aumenta o número de nós, principalmente em cenários de grande mobilidade. Basicamente, no OLSR são trocados dois tipos de mensagens de controle (*HELLO* e *Topology Information* (TC)), a fim de obterem informações para posterior computação da tabela de roteamento.

IV. CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas utilizando-se o simulador de redes *Network Simulator 2* (NS-2) na versão 2.34 e os protocolos AODV, DSR e OLSR (disponível em [15]) instalados e definidos de acordo com a norma. Além do modelo linear já existente no NS-2, foi adicionado à instalação do simulador, o modelo de bateria de Rakhmatov-Vrudhula. Para isso, utilizou-se a implementação do algoritmo de Handy e Timmermann obtida através do trabalho de Sausen [13], porém adaptada para baterias de íons de lítio.

O modelo de transmissão utilizado nas simulações foi baseado nas características da interface de rede *Wireless WaveLan*

da *Lucent*TM, operando no padrão 802.11 a uma frequência de 2,4 GHz, taxa nominal de transmissão de 11 Mbps, alcance de rádio de 250 metros e antenas omnidirecionais. O modelo de propagação de ondas de rádio, baseou-se no *TwoRayGround*, em que a potência do sinal diminui com o quadrado da distância percorrida. Ambos, interface de rede e modelo de propagação, citados acima, já vêm configurados como padrão no NS-2.

O consumo de energia dos dispositivos varia conforme o estado em que estes se encontram, transmitindo (TX), recebendo (RX) ou ocioso (IDLE). Utilizou-se os valores de corrente de descarga e potência da Tabela I [16], para configurar o consumo de energia dos dispositivos da rede, utilizando-se uma voltagem de 4,74 V. Parte dessa energia é consumida pelo rádio da antena, configurado com a potência de 281,8 mW para proporcionar o alcance ideal de 250 metros.

TABELA I

CONSUMO DE ENERGIA DA INTERFACE *Wireless WaveLan* DA *Lucent*TM.

Estado	Corrente	Potência
IDLE	156 mA	0,740 W
RX	190 mA	0,900 W
TX	284 mA	1,350 W

Os cenários foram criados baseados no modelo de mobilidade *Random Waypoint*, com 50 nós distribuídos aleatoriamente em uma área de 1500 x 300 metros, movimentando-se com velocidade variando no intervalo $[0, 20] \frac{m}{s}$. Com 300 segundos de simulação e tempo de pausa de 0 segundos, os cenários foram montados variando o número de nós fontes em 5, 10, 15 e 20. Foram gerados tráfegos do tipo *Constant Bit Rate* (CBR), configurado para pacotes com tamanho de 512 bytes, a uma taxa de envio de 4 pacotes por segundo. A fim de alcançar resultados estatisticamente mais coerentes, determinou-se uma amostra de 10 execuções de experimentos para cada cenário, para um nível de confiança de 95% e variando-se a semente de aleatoriedade, o que garantiu diferentes cenários.

As métricas consumo médio de energia, tempo de vida da rede e taxa de entrega de pacotes foram utilizadas para avaliar o desempenho dos protocolos em ambientes com recursos limitados de bateria. Capacidade inicial da bateria: 40 Joules. Trata-se de um valor relativamente baixo para uma bateria. No entanto, foi utilizado com a finalidade de forçar o gasto total da energia dos dispositivos e, conseqüentemente, o desligamento dos mesmos, o que permite verificar o tempo de vida da rede.

O consumo de energia foi definido como a média da energia gasta por todos os nós juntos, ou seja, o consumo médio de energia da rede, e não de um nó específico. Em relação ao tempo de vida da rede, considera-se como o tempo em que o primeiro nó da rede fica inoperante por esgotamento da bateria. Isso com base nas definições apresentadas por Dietrich e Dressler [17]. Mesmo depois que o primeiro nó da rede fica inoperante, a simulação continua sendo executada, e esta só encerra quando o tempo de simulação se esgota.

V. RESULTADOS

A Tabela II apresenta os resultados relativos ao consumo médio de energia dos nós, para os modelos linear e de Rakhmatov-Vrudhula, variando-se o número de nós fontes em 5, 10, 15 e 20, em um cenário com tempo de pausa igual a 0 segundos; isto é, os dispositivos movimentando-se a todo instante. A tabela mostra também a porcentagem do ganho obtido comparando-se os dois modelos de bateria.

TABELA II

CONSUMO DE ENERGIA, VARIANDO-SE O NÚMERO DE NÓS FONTES

AODV			
Fontes	Linear (J)	R-V (J)	Ganho (%)
5	39,934 ± 0,004	27,951 ± 0,057	30,00
10	39,995 ± 0,000	35,116 ± 0,068	12,20
15	39,997 ± 0,000	35,836 ± 0,079	10,40
20	39,992 ± 0,001	38,359 ± 0,044	4,08
DSR			
Fontes	Linear (J)	R-V (J)	Ganho (%)
5	39,959 ± 0,002	29,193 ± 0,056	26,94
10	39,998 ± 0,000	38,079 ± 0,033	4,80
15	39,999 ± 0,000	38,319 ± 0,037	4,20
20	39,991 ± 0,001	39,240 ± 0,012	1,88
OLSR			
Fontes	Linear (J)	R-V (J)	Ganho (%)
5	40,000 ± 0,000	40,000 ± 0,000	0,00
10	40,000 ± 0,000	40,000 ± 0,000	0,00
15	40,000 ± 0,000	40,000 ± 0,000	0,00
20	40,000 ± 0,000	40,000 ± 0,000	0,00

Para os protocolos AODV e DSR, o consumo de energia dos dispositivos cresceu com o aumento do número de fontes de dados na rede. No entanto, o AODV apresentou menor consumo que o DSR, tanto para o modelo linear quanto para o modelo de Rakhmatov-Vrudhula. Apenas no cenário com 20 fontes, a diferença entre os dois protocolos não foi significativa.

O protocolo OLSR manteve o mesmo desempenho nestes resultados; ou seja, gasto total da bateria (40 Joules) de todos os nós da rede, na totalidade dos experimentos realizados. As informações mais precisas sobre o consumo de energia dos dispositivos não foram suficiente para que alterasse o desempenho do OLSR, quando comparados os dois modelos de bateria e, portanto, não obteve nenhum ganho. Esse comportamento do OLSR já era esperado e justifica-se por sua característica proativa, pois tende a enviar mais pacotes de controle para a manutenção de rotas, aumentando o consumo de energia dos dispositivos.

A Figura 1 ilustra a porcentagem da energia consumida de acordo com o estado de operação dos dispositivos: transmitindo (TX), recebendo (RX) e ocioso (*Idle*). Nestes gráficos, considerou-se um cenário básico com 20 fontes de tráfego e tempo de pausa de 0 segundos (i.e., mobilidade máxima). No modelo linear, nos três protocolos a maior parte da energia (i.e., valor superior a 90%) é consumida quando os nós estão ociosos, pois estes ficam a maior parte do tempo sob escuta dos pacotes que passam pela rede.

No modelo não linear, o consumo de energia é maior quando os dispositivos se apresentam nos estados RX e ocioso, nos diferentes protocolos. Observou-se também um aumento do consumo de energia nos estados TX e RX, comparado-se

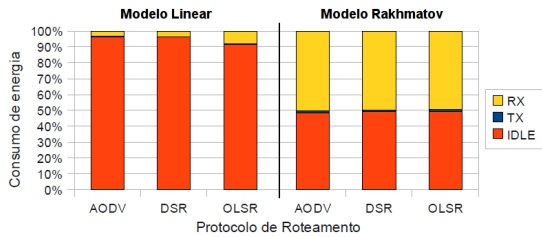


Fig. 1. Porcentagem de consumo de energia, segundo o estado de operação (TX, RX e Idle)

com o modelo linear. Isso justifica-se pela recuperação da capacidade da bateria dos dispositivos quando ficam em estado ocioso, o que resulta em mais capacidade de bateria para o funcionamento destes, e assim, poderem entrar mais vezes nos estados de transmissão e recebimento de dados.

A Figura 2 mostra a porcentagem da energia consumida em função do tipo de pacote: dados (CBR), MAC e roteamento; para 20 fontes e pausa 0. A energia gasta com o tráfego de pacotes de dados afeta significativamente o consumo total, ultrapassando os 70% para os dois modelos de bateria, mas com uma porcentagem menor de consumo para o modelo de Rakhmatov-Vrudhula. O protocolo OLSR apresentou maiores porcentagens de consumo de energia para os pacotes de roteamento em relação aos protocolos reativos, devido à sua característica proativa, que aumenta o tráfego de pacotes de controle na rede. O OLSR também apresentou maiores porcentagens de consumo de energia para os pacotes CBR, mas isso não indica, necessariamente, maior quantidade de envios.

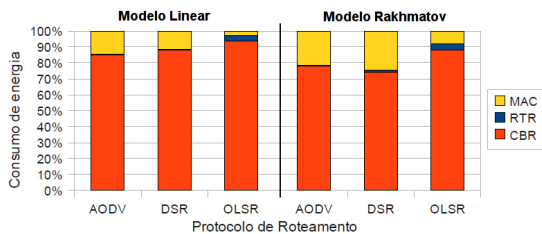


Fig. 2. Porcentagem de consumo de energia, segundo o tipo de pacote (CBR, MAC e Roteamento)

As Figuras 3 e 4 mostra o tempo de vida da rede para os modelos de bateria linear e não linear, em função da carga aplicada na rede. Nesses gráficos, o tempo de vida representa o momento em que o primeiro nó da rede esgota sua bateria. Vale ressaltar uma diferença considerável desta métrica entre os dois modelos de bateria. Enquanto que no modelo linear o primeiro nó da rede morre entre 44,2 e 44,4 segundos, no modelo realista, o primeiro nó morre entre 274 e 281 segundos dentro dos 300 segundos de simulação.

A diferença entre os modelos de bateria representa um ganho expressivo, para o modelo de Rakhmatov-Vrudhula, de aproximadamente 630% no tempo de vida da rede quando o primeiro nó morre, que é explicado pelo efeito de relaxação. Este efeito faz com que a bateria dos dispositivos recupere sua capacidade, demorando mais tempo para a energia ser

consumida. Os dispositivos tem a possibilidade de realizar mais ações na rede, como transmitir, rotear e receber pacotes, porque sobrevivem por mais tempo durante a simulação.

A partir de uma análise detalhada dos *traces* gerados nos experimentos, constatou-se que os primeiros dispositivos a morrerem, em geral, estão diretamente ligados ao tráfego da rede, participando como fonte ou destino de pacotes de dados. Assim, estes dispositivos entram com mais frequência no estado TX ou RX, que consomem mais energia e, conseqüentemente, esgotam sua bateria antecipadamente.

Para o modelo linear, os três protocolos obtiveram desempenhos semelhantes quanto ao tempo de vida da rede, mas com uma pequena vantagem para o AODV. Para o modelo realista, a intensificação do tráfego na rede determinou uma diminuição do tempo de vida dos dispositivos, já que o consumo de energia cresce com a elevação de carga na rede.

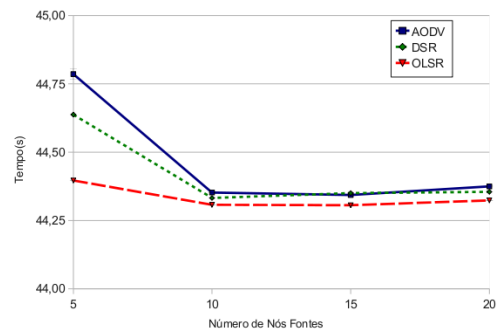


Fig. 3. Tempo de vida da rede, variando-se o número de nós fontes, para o modelo Linear

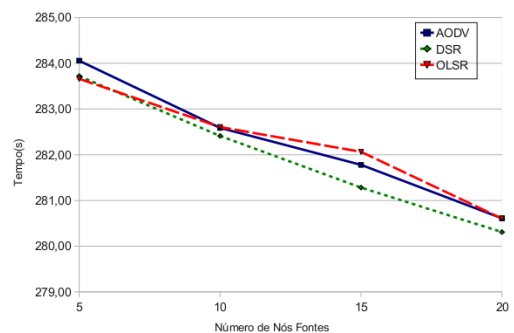


Fig. 4. Tempo de vida da rede, variando-se o número de nós fontes, para o modelo Rakhmatov-Vrudhula

As Figuras 5 e 6 mostram os resultados referentes à fração de entrega de pacotes (i.e., razão da taxa de pacotes recebidos pelos pacotes enviados) para os 300 segundos de simulação, variando-se a quantidade de nós fontes, para os dois modelos de bateria.

As taxas para os protocolos AODV e DSR mantiveram-se altas, superior a 90%, mas apenas no cenário com 5 fontes o AODV obteve uma entrega menor. Constatou-se novamente um desempenho inferior do OLSR em comparação com os protocolos reativos, isso devido ao alto nível de mobilidade (i.e., tempo de pausa 0 segundos) utilizado neste experimento.

Também percebe-se um comportamento instável do OLSR com o aumento do tráfego na rede, ora aumentando, ora diminuindo a taxa de entrega.

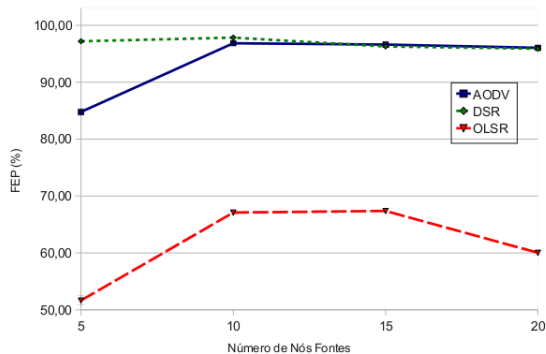


Fig. 5. Fração de entrega de pacotes, variando-se o número de nós fontes, para o modelo Linear

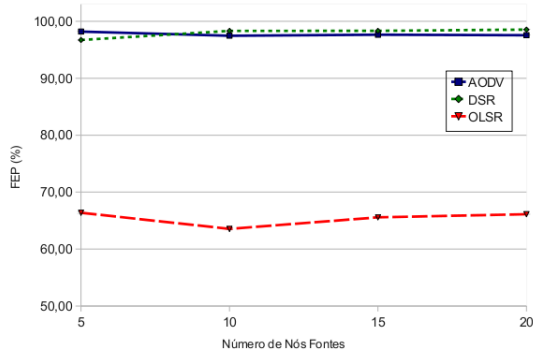


Fig. 6. Fração de entrega de pacotes, variando-se o número de nós fontes, para o modelo Rakhmatov-Vrudhula

As altas taxas de entregas não significam desempenhos satisfatórios, pois como representam frações (i.e., pacotes enviados dividido por pacotes recebidos), o envio de pacotes pode ter sido pequeno. Em termos gerais, o OLSR foi o mais prejudicado, em relação a taxa de entrega de pacotes, devido a inacessibilidade dos dispositivos interferindo no envio de pacotes na rede. O DSR apresentou as maiores taxa de entrega de pacotes, mesmo considerando-se uma diferença não significativa em relação ao AODV em alguns cenários.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma análise mais acurada dos protocolos de roteamento OLSR, AODV e DSR em relação ao consumo de energia, tempo de vida da rede e fração de entrega de pacotes. Esta análise, diferencia-se de outras, pois baseia-se em um modelo de bateria mais realístico (i.e., modelo de Rakhmatov-Vrudhula), que considera o efeito de relaxação, permitindo representar a recuperação da capacidade da bateria dos dispositivos da rede.

A comparação entre os modelos convencional e realista resultou em diferenças significativas. O consumo de energia no modelo realista foi bem inferior comparado ao modelo

linear, implicando em maior tempo de utilização da rede e entrega de pacotes. O OLSR obteve o pior rendimento nos dois modelos de bateria, o que já era esperado, pois este se adapta melhor em ambientes com pouca mobilidade. Também, por ser proativo, a tendência do OLSR é produzir maior quantidade de pacotes de controle e, por isso, há um consumo maior de energia em função dessa carga. Isso provocou uma morte mais rápida dos dispositivos e sua inacessibilidade na entrega de pacotes de dados. Em geral, o AODV e DSR obtiveram rendimentos próximos e melhores, comparado ao OLSR, pois se comportam melhor a ambientes com maior mobilidade. Entretanto, em cenários com menor número de nós fontes, o AODV apresentou uma pequena vantagem sobre o DSR.

Trabalhos futuros consistem em uma análise contemplando um número maior de protocolos de roteamento e modelos de mobilidade mais realísticos.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Sarkar, T. Basavaraju, and C. Puttamadappa, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Principles, Protocols and Applications*, 1st ed., Auerbach, Ed. Auerbach, October 2007.
- [2] C. B. Margi and K. Obraczka, "Instrumenting network simulators for evaluating energy consumption in power-aware ad-hoc network protocols," in *MASCOTS '04: Proceedings of the The IEEE Computer Society's 12th Annual International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunications Systems*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004, pp. 337–346.
- [3] C. Perkins and E. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *In Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1997, pp. 90–100.
- [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and Y. C. Hu, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (dsr)," Published Online, IETF MANET Working Group, Tech. Rep., February 2007.
- [5] P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum, and L. Viennot, "Optimized link state routing protocol for ad hoc networks," in *Multi Topic Conference, 2001. IEEE INMIC 2001. Technology for the 21st Century. Proceedings. IEEE International*, 2001, pp. 62–68.
- [6] D. N. Rakhmatov and S. B. K. Vrudhula, "An analytical high-level battery model for use in energy management of portable electronic systems," in *ICCAD '01: Proceedings of the 2001 IEEE/ACM international conference on Computer-aided design*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2001, pp. 488–493.
- [7] ISI/USC. (2003) The network simulator (ns-2). [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [8] C. E. Perkins, E. M. Royer, S. R. Das, and M. K. Marina, "Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks," *Personal Communications, IEEE*, vol. 8, no. 1, pp. 16–28, August 2002.
- [9] A. Boukerche, "Performance evaluation of routing protocols for ad hoc wireless networks," *Mob. Netw. Appl.*, vol. 9, no. 4, pp. 333–342, 2004.
- [10] A. Bisello, A. Giovanardi, and G. Mazzini, "Realistic energy evaluation in ad hoc networks," in *VTC Fall. IEEE*, 2007, pp. 31–35.
- [11] S. Kellner, M. Pink, D. Meier, and E.-O. Blass, "Towards a Realistic Energy Model for Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of IEEE Fifth Annual Conference on Wireless On demand Network Systems and Services*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, Jan. 2008, pp. 97–100, ISBN 9781424419586.
- [12] M. Handy and D. Timmermann, "Simulation of mobile wireless networks with accurate modeling of non-linear battery effects," *Int'l. Conf. Appl. Simulation Model.*, pp. 532–537, 2003.
- [13] P. S. Sausen, "Gerenciamento integrado de energia e controle de topologia em redes de sensores sem fio," Ph.D. dissertation, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Julho 2008.
- [14] E. M. Royer and C.-K. Toh, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks," *Personal Communications, IEEE*, vol. 6, no. 2, pp. 46–55, August 2002.
- [15] F. J. Ros, *UM-OLSR software*, 2004, <http://masimum.inf.um.es>.
- [16] L. M. Feeney and M. Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment," pp. 1548–1557.
- [17] I. Dietrich and F. Dressler, "On the lifetime of wireless sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 5, no. 1, Feb. 2009.