

Análise de extensões do OLSR eficientes em energia e proposta de otimização energética do OLSR-ETX*

Diogo L. P. Machado¹, Ricardo Carrano¹, Debora C. Muchaluat Saade²

¹Departamento de Engenharia de Telecomunicações - Universidade Federal Fluminense (UFF) - Niterói, RJ - Brasil

²Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF) - Niterói, RJ - Brasil

{diogo, carrano, debora}@midia.com.uff.br

Abstract. *Energy efficiency is a key issue for ad-hoc networks and several proposals have been explored in order to maximize the network lifetime. This work analyzes the most relevant modifications proposed in the literature for OLSR in order to make it energy efficient and compares their results in terms of throughput, network lifetime and energy level of the nodes. Additionally, this paper proposes an extension to OLSR-ETX, named "ETX-EMPR", which provides a longer network lifetime.*

Resumo. *A eficiência em energia é um ponto chave para as redes ad-hoc e diversas propostas têm sido exploradas visando à maximização do tempo de vida da rede. Este trabalho analisa algumas das principais modificações propostas na literatura ao protocolo OLSR de forma a torná-lo energeticamente eficiente e compara seus resultados em termos de vazão, tempo de vida da rede e nível de energia dos nós. Adicionalmente, o artigo propõe uma extensão ao OLSR-ETX, chamada "ETX-EMPR", a qual proporciona um prolongamento do tempo de vida da rede.*

1. Introdução

Nos últimos anos, devido à proliferação dos dispositivos sem fio, o uso de redes móveis está crescendo muito rapidamente. Cumpre salientar o grande número de estudos relacionados às redes *mesh* [Passos et al., 2006]. Redes *mesh* (WMN- *Wireless Mesh Networks* ou redes em malha) são construídas através de nós fixos e móveis interconectados por enlaces sem fio, formando uma rede *ad-hoc* de múltiplos saltos. Redes *ad-hoc* são conhecidas pela ausência de infraestrutura e pela possibilidade de movimentação dos nós. Dentre os tipos de redes *ad-hoc*, destacam-se as redes móveis (MANET – *Mobile ad-hoc Networks*) e as redes de sensores sem fio (WSN - *Wireless Sensor Networks*).

Redes *ad-hoc* possibilitam que os nós se comuniquem uns com os outros sem uma entidade controladora central. Tipicamente, os nós de uma rede *ad-hoc* são energizados por bateria, logo a utilização eficiente da energia é um fator crítico. Quando determinado nó exaure sua bateria, a rede pode ser particionada e a comunicação fim a fim comprometida. Desta forma, estratégias energeticamente eficientes são demandadas de forma a aumentar o tempo de vida da rede.

* Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPQ, pela FAPERJ e pelo INCT-MACC.

O desempenho de uma rede *ad-hoc* depende fortemente do processo de roteamento. Condições de propagação adversas, limitações de banda e alterações de topologia levaram ao desenvolvimento de diversos protocolos para as redes *ad-hoc*. Protocolos de roteamento para redes *ad-hoc* podem ser classificados em três categorias: proativo, reativo e híbrido. Os protocolos proativos, como OLSR [Clausen e Jacquet, 2003] e DSDV [Perkins e Bhagwat, 1994] trocam informações da rede periodicamente a fim de se manter rotas para todos os nós da rede. Os protocolos reativos (*on demand*), a exemplo do AODV [Perkins e Royer, 2003] e DSR [Johnson e Maltz, 2007], estabelecem o caminho para o destino somente quando requisitados. O modelo híbrido é uma combinação das abordagens anteriores e utilizado por exemplo pelo TORA [Park e Corson, 2001] e ZRP [Haas et al., 2002]. O OLSR é um protocolo com excelente desempenho em redes *ad-hoc* e bastante difundido na literatura. Todos os trabalhos e resultados apresentados neste artigo são baseados no protocolo OLSR.

Este trabalho analisa algumas das principais modificações propostas na literatura ao protocolo OLSR de forma a torná-lo energeticamente eficiente e compara seus resultados em termos de vazão, tempo de vida da rede e nível de energia dos nós. Adicionalmente, o artigo propõe uma extensão ao OLSR-ETX [OLSR-ETX, 2013], chamada “*ETX-EMPR*”, a qual proporciona um prolongamento do tempo de vida da rede.

Este artigo é estruturado da seguinte forma. A Seção 2 descreve o protocolo OLSR. A Seção 3 aborda alguns trabalhos relacionados que são referência na área. A Seção 4 estabelece um comparativo entre as principais propostas de alteração do OLSR para torná-lo eficiente em energia. A Seção 5 descreve a proposta deste artigo, o “*ETX-EMPR*”, que visa otimizar energeticamente o protocolo OLSR-ETX. Finalmente, a Seção 6 conclui o artigo e apresenta oportunidades para trabalhos futuros.

2. Protocolo OLSR

O OLSR (*Optimized Link State Routing*) [RFC 3626] é um protocolo de estado de enlace e, portanto, mantém rotas para todos os elementos da rede constantemente. O protocolo é uma otimização do mecanismo de estado de enlace clássico, utilizando o conceito de nós MPR – *Multi Point Relays*. A ideia dos MPRs é reduzir a quantidade de tráfego de controle na rede. No protocolo estado de enlace tradicional, todos os nós da rede encaminham mensagens de controle com informações topológicas. No OLSR, somente os nós MPR encaminham este tipo de mensagem. Assim, ao invés de anunciar todos os enlaces da rede, o nó anuncia somente o conjunto de enlaces que interligam vizinhos escolhidos como MPR.

O OLSR consiste em duas funcionalidades principais:

- Descoberta de vizinhos: cada nó descobre seus vizinhos a um e dois saltos de distância através da troca periódica de mensagens *Hello*;
- Disseminação da topologia: cada nó mantém informação topológica da rede obtida das mensagens TC (*Traffic Control*) enviadas pelos nós MPR.

As Subseções 2.1 e 2.2 detalham as mensagens *Hello* e TC.

2.1. Mensagem *Hello*

As mensagens *Hello* são periodicamente transmitidas por cada nó aos seus vizinhos, mas não são encaminhadas posteriormente. A mensagem enviada contém informação sobre os vizinhos do nó e sobre o *status* de cada enlace para estes vizinhos. Os enlaces podem ser classificados como "simétrico", "assimétrico" ou "MPR". Um enlace tido como simétrico indica que a conexão entre os nós é bidirecional. Enlaces assimétricos são assim caracterizados quando determinado nó pode escutar mensagens *Hello* de seu vizinho, mas não tem a confirmação de que este pode receber suas mensagens. O enlace classificado como MPR indica que o nó vizinho é escolhido como MPR e que, adicionalmente, é simétrico.

A mensagem *Hello* é utilizada por cada nó, independentemente, para selecionar seu conjunto de nós MPR dentre seus vizinhos a um salto de distância.

2.2. Mensagem TC (*Traffic Control*)

A mensagem TC é gerada periodicamente por cada nó para difundir sua informação topológica. Somente os nós MPR de um dado nó encaminham estas informações na rede. Os nós MPRs permitem uma melhor escalabilidade na distribuição das informações dos estados dos enlaces. Uma mensagem TC é enviada por determinado nó da rede para declarar seu "*MPR Selector Set*", o conjunto de nós vizinhos que o escolheram como MPR. Esta informação difundida na rede pelas mensagens TC é fundamental para que cada nó calcule sua tabela de roteamento. Um nó que tem o conjunto "*MPR Selector Set*" vazio, ie, ninguém o escolheu como MPR, não gera mensagens TC.

2.3. Seleção dos nós MPR

Como dito anteriormente, no protocolo OLSR, a ideia chave é a utilização dos nós MPR visando à redução do *overhead* relativo à troca de mensagens de controle. Cada nó deve ter informações sobre os nós a um e dois saltos de distância para calcular seu "*MPR Set*" – conjunto de nós selecionados como MPR. Basicamente, há duas regras básicas para escolha dos nós MPR:

- 1) Qualquer nó a dois saltos de distância deve estar coberto por, pelo menos, um nó MPR;
- 2) O conjunto de nós MPR (conjunto "*MPR Set*") deve ser o menor possível.

A mensagem *Hello* possui um campo chamado "*willingness*" que traduz a tendência ou disposição do nó em se tornar MPR. Esta variável pode assumir valores inteiros de 0 (zero) a 7 (sete) e quanto maior este valor, maior é a probabilidade do nó ser escolhido como um "*Multi Point Relay*".

Considerando-se N como o conjunto de nós vizinhos do nó de origem A e N_2 como o conjunto dos nós a dois saltos de A , a heurística para escolha dos nós *Multi Point Relays* ("*MPR Set*" de A) é a seguinte:

- 1) Selecione como MPR todos os nós em N com *willingness* igual a 7 (sete);
- 2) Para cada nó y em N , calcule o Grau de y ($G(y)$), tal que $G(y)$ corresponde à quantidade de vizinhos de y , excluindo-se os outros nós de N e o próprio nó A ;

- 3) Adicione ao “*MPR Set*” de A todos os nós em N que são a única opção para se alcançar determinado nó em N2. Remova de N2 os nós já cobertos por um nó integrante do “*MPR Set*” de A;
- 4) Enquanto houver nós em N2 não alcançáveis por um nó MPR de A:
 - 4.1) Para cada nó y do conjunto N, calcule seu alcance (“*Reachability*” – $R(y)$), ie, a quantidade de nós em N2 que ainda não são cobertos por um nó MPR de A e que podem ser alcançados por y;
 - 4.2) Selecione como MPR, o nó de N com maior *willingness* e com alcance ($R(y)$) diferente de zero. Caso os nós possuam o mesmo valor para o *willingness*, adicione ao “*MPR Set*” o nó com maior alcance. Caso ainda assim exista uma situação de empate, escolha como MPR o nó em N com maior grau, ($G(y)$).

Quanto menor o conjunto de MPRs de A, menor o *overhead* na rede devido às mensagens de controle TC.

A informação topológica difundida pelos nós MPR é utilizada para a construção da tabela topológica e, posteriormente, para o cálculo de rotas.

2.4. Cálculo de rotas

Cada nó mantém uma tabela de rotas com as informações de “nó de destino”, “próximo salto”, “quantidade de saltos” e “endereço da interface local”. Estas informações são adquiridas das mensagens *Hello* e TC e permitem a transmissão para qualquer destino da rede. A tabela de roteamento é atualizada sempre que uma alteração é identificada no conjunto de vizinhos a um e dois saltos de distância ou na tabela topológica.

A construção da tabela é realizada pelo algoritmo de *Dijkstra* e tem como métrica a quantidade de saltos.

Existem diversas proposições de métricas eficientes em energia (PAM – *Power Aware Metrics*) para o protocolo OLSR, as quais visam a um maior tempo de vida da rede e ao aumento da quantidade de dados transmitidos. Considerando-se este último objetivo, devemos citar a extensão do OLSR, OLSR-ETX [OLSR-ETX, 2013], a qual é reconhecidamente eficiente na maximização do volume de informações transmitidas. A subseção seguinte resume o protocolo OLSR-ETX.

2.5. OLSR-ETX

O OLSR-ETX (“Expected Transmission Count”) [OLSR-ETX, 2013] é uma variação do protocolo OLSR, a qual considera uma nova métrica de roteamento que é função da qualidade dos enlaces que integram o caminho entre origem e destino. Como já visto nesta seção, o protocolo OLSR padrão tem como métrica de roteamento, a quantidade de saltos. A seleção do caminho com base neste critério pode incorrer em rotas com enlaces que possuem alta taxa de perda (baixa qualidade). A métrica utilizada no OLSR-ETX é $1/(p_d \times p_i)$, onde p_d é a probabilidade de um pacote ser recebido com sucesso pelo nó receptor e p_i é a probabilidade do nó transmissor receber corretamente um pacote deste receptor. O parâmetro ETX de um enlace é o número previsto de transmissões necessárias para se enviar um pacote nesse enlace, incluindo as retransmissões. O ETX de uma rota é a soma do parâmetro ETX para cada enlace do percurso. Por exemplo, o

ETX de uma rota de três saltos com enlaces ótimos é 3 (três), o ETX de uma rota com um salto e probabilidade de entrega de 50% é de 2 (dois). Desta maneira, o protocolo OLSR-ETX garante a seleção de caminhos com enlaces melhores e, portanto, uma maior quantidade de dados transmitidos ao compararmos com o OLSR padrão.

3. Métricas eficientes em energia

Existem muitas propostas de alteração do protocolo OLSR com foco na otimização energética. [Kunz, 2005] mostra que protocolos de estado de enlace com métrica baseada em quantidade de saltos tendem a escolher caminhos no “centro” da rede, resultando nos seguintes problemas:

- ✓ Aumento do número de colisões, retransmissões e perdas de pacote;
- ✓ Nós na zona central da rede encaminham mais pacotes e, por isso, exaurem suas baterias mais rapidamente, podendo acarretar a partição da rede.

Estas duas características levaram pesquisadores a propor novas métricas de roteamento que buscam aumentar a eficiência energética em redes *ad-hoc*.

A Subseção 3.1 descreve alguns mecanismos chave para a otimização energética em protocolos para redes *ad-hoc*. A Subseção 3.2 apresenta as principais implementações encontradas na literatura realizadas no protocolo OLSR, com o objetivo de maximizar o tempo de vida da rede.

3.1. Principais mecanismos para a eficiência em energia

O mecanismo MTPR (“*Minimum Total Transmission Power*”) [Singh e Raghavendra, 1998] usa uma simples métrica de roteamento, representada pela energia total necessária à transmissão da informação ao longo da rota. Deste modo, o MTPR reduz a potência consumida por pacote, mas não leva em conta o nível de energia dos nós da rede. Portanto, para redes com potências de transmissão fixas, a métrica proposta pelo MTPR resume-se a menor quantidade de saltos.

O MBCR (“*Minimum Battery Cost Routing*”) [Singh e Raghavendra, 1998] propõe uma métrica que é função do nível da bateria do nó. Considerando-se que $c_i(t)$ é a capacidade da bateria do nó i no instante t , MBCR define $f_i(t) = 1/c_i(t)$ como a função “custo da bateria” do nó i . Assim, quanto menor o nível da bateria de i , menor sua capacidade e mais relutante este nó é ao encaminhamento de pacotes. Notemos que se somente a soma do nível das baterias dos nós for considerada, ainda pode-se escolher caminhos que contenham nós com níveis de energia muito baixos, o que pode acelerar a partição da rota.

O mecanismo MMBCR (“*Min-Max Battery Cost Routing*”) [C-K Toh et al., 2010], a fim de se evitar nós com níveis de energia muito baixos, propõe um novo modelo de seleção de rotas. Este escolhe, dentre os possíveis caminhos entre origem e destino, o percurso cujo nível de energia do nó mais fraco (menor nível de bateria) seja máximo.

A proposta CMMBCR (“*Conditional MMBCR*”) [C-K Toh et al., 2010] é uma implementação híbrida do MTPR e MMBCR. A métrica proposta pelo MTPR é considerada até que todos os nós do caminho possuam nível de bateria acima de determinado limiar, abaixo do qual, o MMBCR é adotado como critério de seleção de rotas.

A proposta MDR (“*Minimum Drain Rate*”) [Kim et al., 2002] surgiu do fato de que os mecanismos que consideram somente a energia restante dos nós não asseguram, necessariamente, o melhor caminho entre origem e destino. Se determinado nó aceita todas as transmissões somente porque possui capacidade energética, muita carga de tráfego pode ser direcionada a este nó. Assim, o consumo de energia tende a ser alto neste elemento, resultando numa razão de redução de bateria muito mais agressiva para os nós que aceitam novas sessões puramente em função do nível de suas baterias. O MDR combina dois parâmetros: DR (“*Drain Rate*”) – taxa de redução da energia e RBP (“*Residual Battery Power*”) – bateria residual, para medir a razão de dissipação de energia num dado nó. A razão RBP_i/DR_i indica quando a energia restante do nó i será exaurida, mostrando por quanto tempo i pode se manter ativo sob as condições de tráfego da rede. No MDR, o custo C_i é dado por RBP_i/DR_i de forma que o máximo tempo de vida de um caminho R_i corresponde ao valor mínimo de C_i neste caminho.

3.2. Propostas de otimização energética do OLSR

A proposta EE-OLSR [De Rango et al., 2008] prevê um novo método de seleção dos nós MPR, no qual o parâmetro *willingness* é alterado em função do nível de energia do nó e de seu tempo de vida (conceito preconizado pelo MDR). Os resultados são fruto de simulações e mostram um maior tempo de vida da rede para o OLSR alterado. Contudo, o trabalho não apresenta ganhos relevantes ao analisarmos a quantidade de dados transmitidos.

Algumas propostas, como [Mahfoudh e Minet, 2008] e [Benslimane et al., 2006] alteram o critério de escolha dos MPR, como também a métrica de roteamento. Em [Mahfoudh e Minet, 2008] (EMPR) é proposta uma nova heurística de seleção dos MPR em função do nível de energia dos nós e da potência necessária à transmissão para os vizinhos a um e dois saltos. [Mahfoudh e Minet, 2008] também modificam a métrica de roteamento, a qual deixa de ser em função da quantidade de saltos para levar em conta as energias de transmissão e recepção consumidas para se transmitir um pacote fim a fim. Os resultados apresentados em [Mahfoudh e Minet, 2008] mostram um incremento no tempo de vida da rede e no volume de dados transmitidos.

O EOLSR [Benslimane et al., 2006] também altera os critérios de seleção dos nós MPR e de seleção de rotas. A particularidade da proposta é o uso do conceito *Min-Max*, introduzido pelo algoritmo MMBCR [Toh et al., 2010], apresentado no início desta seção. No EOLSR, para cada par de enlaces entre determinado nó N e seus vizinhos a dois saltos, é identificado o máximo consumo de energia para cada possível caminho. Dentre estes valores, é escolhido o menor consumo e o enlace associado define o nó MPR de N . [Benslimane et al., 2006] chamam esta implementação de MMEC (“*Minimum-maximum energy conservation*”). O algoritmo de *Dijkstra* também é modificado e assume como métrica a potência de transmissão entre dois nós.

Em [Adoni e Joshi, 2012] (OLSRM) é implementado o roteamento com base na origem e o caminho completo fim a fim é inserido na mensagem TC. Os campos “*reserved*” das mensagens *Hello* e TC são utilizados para incluir a informação do nível de energia do nó. OLSRM também utiliza a abordagem *Max-Min*. Para cada caminho possível entre origem e destino, são selecionados os menores níveis de energia residual. Dentre estes, escolhe-se o caminho que contenha o máximo valor. Ao

analisarmos os resultados das simulações, notamos que o OLSRM aumenta o tempo de sobrevivência médio dos nós.

A proposta de [Kunz, 2008] é analisar as variações do OLSR existentes na literatura relacionadas à eficiência energética do protocolo. Os trabalhos de [Ghanem et al., 2005], [Guo e Malakooti, 2007] e [Benslimane, 2006] são estudados e têm seus resultados comparados. [Ghanem et al., 2005] exploram somente a modificação do processo de seleção dos MPRs, que passa a ser realizado com base no nível de energia dos nós. Em [Guo e Malakooti, 2007] a métrica de roteamento é alterada, escolhendo-se caminhos em função da energia residual dos nós. A proposta de [Benslimane, 2006], como visto anteriormente, combina os mecanismos de [Ghanem et al., 2005] e [Guo e Malakooti, 2007], alterando o método de seleção dos *Multi Point Relays* e a métrica de roteamento de forma a escolher caminhos energeticamente melhores. Em [Kunz, 2008] são implementadas as alterações no protocolo OLSR, analisados os prós e contras de cada modelo, avaliado o impacto destas modificações no desempenho da rede e a real eficácia das propostas. [Kunz, 2008] afirma que não se pode verificar melhor desempenho nas propostas estudadas para cenários estáticos e que os ganhos potenciais somente podem ser observados em cenários dinâmicos. Como veremos na seção seguinte, alterações no OLSR em cenários estáticos podem trazer ganhos no tempo de vida da rede e na quantidade de informações transmitida.

Vale ressaltar que dentre os trabalhos estudados, não encontramos proposta associada à alteração do protocolo OLSR-ETX ou a qualquer outra extensão do OLSR que leve em consideração a qualidade dos enlaces.

4. Análise das propostas eficientes em energia baseadas no OLSR

Implementamos algumas das proposições existentes na literatura e comparamos os resultados encontrados, analisando diversos parâmetros da rede, como comentado a seguir.

A simples consideração do nível de energia como critério de escolha do MPR incorre num grande aumento da quantidade de nós MPR e, conseqüentemente, num maior *overhead* na rede, como mostrado por [Kunz, 2008]. Deste modo, a modificação que realizamos no método de seleção dos nós MPR assume que o valor do parâmetro *willingness* é função da reserva de bateria dos nós. Cada valor utilizado para o *willingness* (adotamos os valores 1, 3, 5, 6 e 7) compreende uma faixa de valores de níveis de energia dos nós. Cada valor assumido pelo *willingness* representa os seguintes níveis de energia residual: 1 – muito baixo, 3 – baixo, 5 – médio, 6 – alto e 7 – muito alto. Caso dois nós tenham o mesmo valor do *willingness*, o critério decisório passa a ser os parâmetros “*Reachability*” e “*Degree*”. Esta alteração é aqui denominada de “*OLSR-EMPR*”.

Modificamos também a métrica de roteamento do OLSR de forma que o custo de determinado caminho seja a soma dos inversos dos níveis de energia dos nós que compreendem o mesmo. Sendo $l_i(t)$ o nível da bateria do nó i no instante t , o custo do enlace divulgado por i será $C_i(t) = 1/l_i(t)$. Chamamos este modelo de “*OLSR-ERT*”.

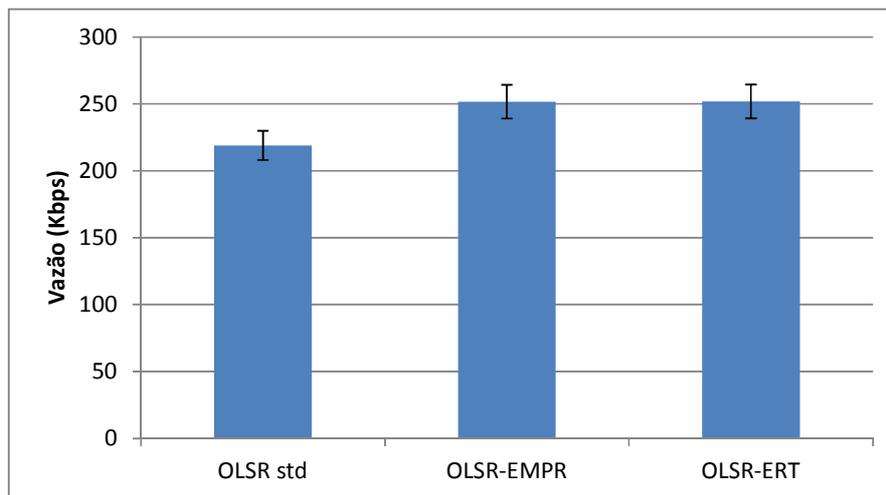
Os resultados apresentados são provenientes de simulações realizadas no NS-2 [NS2, 2011] e a Tabela 1 resume os parâmetros utilizados.

Tabela 1. Parâmetros de simulação

Parâmetros da simulação	
Modelo de propagação	<i>TwoRayGround</i>
Tipo de rede	IEEE 802.11
Alcance de transmissão	242m
Modelo de mobilidade	Rede estática
Tamanho da fila	50
Política de descarte	<i>Drop Tail/Queue Tail</i>
Cenário	
Topologia	700 x 700m
Número de nós	40
Tempo de simulação	600s
Especificações do "Energy Model"	
Energia inicial	30-140J
Pot transmissão (Watt)	1,8
Pot recepção (Watt)	0,8
Pot "Idle" (Watt)	0

Simulamos sete cenários diferentes, com cinco nós transmissores e cinco receptores fixados nas extremidades da topologia, com dez fluxos CBR de 80Kbps e pacotes de 512 bytes.

A Figura 1 mostra a vazão acumulada para cada tipo de extensão do OLSR simulada. Salientamos que os gráficos consideram um intervalo de confiança de 95% e a média dos valores encontrados para os diferentes cenários simulados.

**Figura 1. Vazão acumulada**

Nota-se que as versões do OLSR modificado (“*OLSR-EMPR*” e “*OLSR-ERT*”) levam a resultados parecidos e melhores do que o encontrado para o OLSR tradicional (“*OLSR std*”), o que pode ser também visto em [Wardi et al., 2011] e [De Rango et al.,

2008]. A maior vazão obtida para as extensões do OLSR é devida ao maior tempo de vida da rede verificado nestas implementações. A utilização do nível de energia dos nós como critério de seleção dos nós *Relays* e de rotas preserva os elementos com menores energias residuais, retardando a exaustão das baterias dos nós.

A Figura 2 apresenta a quantidade de nós ativos durante o período da simulação para as três versões do OLSR comparadas.

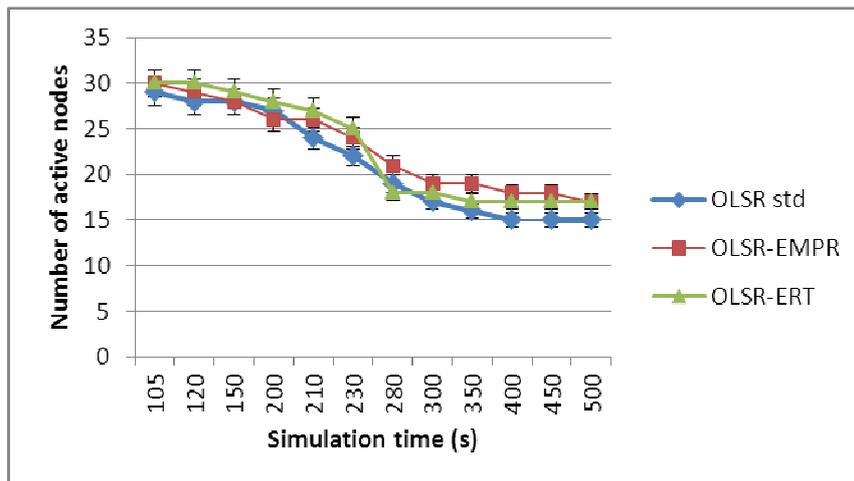


Figura 2. Número de nós ativos

Nota-se que no OLSR padrão, os elementos “morrem” mais cedo do que nas versões do OLSR otimizadas energeticamente, como mostram também [De Rango et al., 2008], [Adoni e Joshi, 2012], [Mahfoudh e Minet, 2008] e [Ghanem et al., 2005]

Outro ponto analisado é o nível de energia dos nós sobreviventes ao final da simulação. A Figura 3 compara esta informação entre o OLSR tradicional e suas versões eficientes em energia.

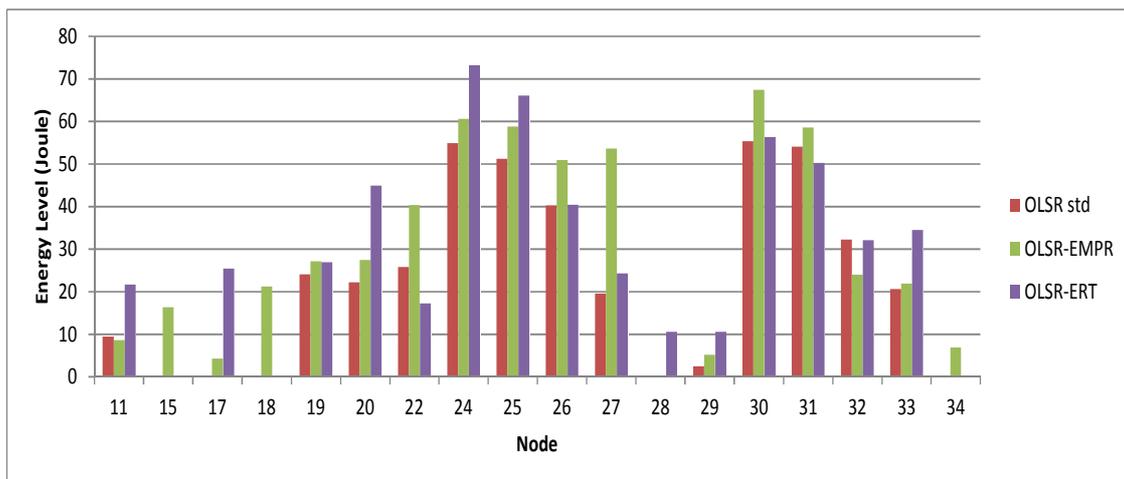


Figura 3. Energia residual dos nós sobreviventes

Verifica-se que, a exemplo de [De Rango et al., 2008], os níveis residuais de energia dos nós sobreviventes são consideravelmente maiores para as versões do OLSR otimizadas em energia. A energia final média para o OLSR padrão é de 29,48J. Para as

versões “*EMPR*” e “*ERT*”, os níveis médios residuais das baterias são de 32,54J e de 35,68J, respectivamente.

5. Proposta “*ETX-EMPR*”

Sabendo-se do bom comportamento do OLSR-ETX no que tange à vazão de dados, este trabalho propõe duas extensões a este protocolo de forma a otimizá-lo energeticamente, com o intuito de prolongar o tempo de vida da rede. A primeira extensão, a exemplo do realizado no OLSR tradicional, propõe uma mudança no critério de escolha dos MPRs, considerando o nível de energia dos nós, alteração denominada “*ETX-EMPR*”.

A segunda extensão propõe uma nova métrica de roteamento, considerando a informação do nível de energia dos nós em seu cálculo. Como mostrado na Seção 2, a métrica ETX é dada por $1/(p_d \times p_i)$. Em nossa proposta, a nova métrica considera as probabilidades de sucesso na transmissão nos dois sentidos do enlace juntamente ao nível de energia do nó vizinho. Assim, o custo C de determinado enlace passa a ser definido como:

$C = 1/(p_d \times p_i) * 1/(nb_energy)$, tal que *nb_energy* corresponde ao nível de energia do nó vizinho. Denominamos esta proposta de “*ETX-hyb*”.

Foram simulados os mesmos cenários com os mesmos parâmetros descritos na seção anterior para avaliar o desempenho das duas propostas apresentadas.

A exemplo da Figura 1, a Figura 4 apresenta a vazão de dados para as propostas de alteração do OLSR-ETX, comparando-as com o ETX padrão (“*ETX std*”) e às versões do OLSR modificadas descritas na última seção.

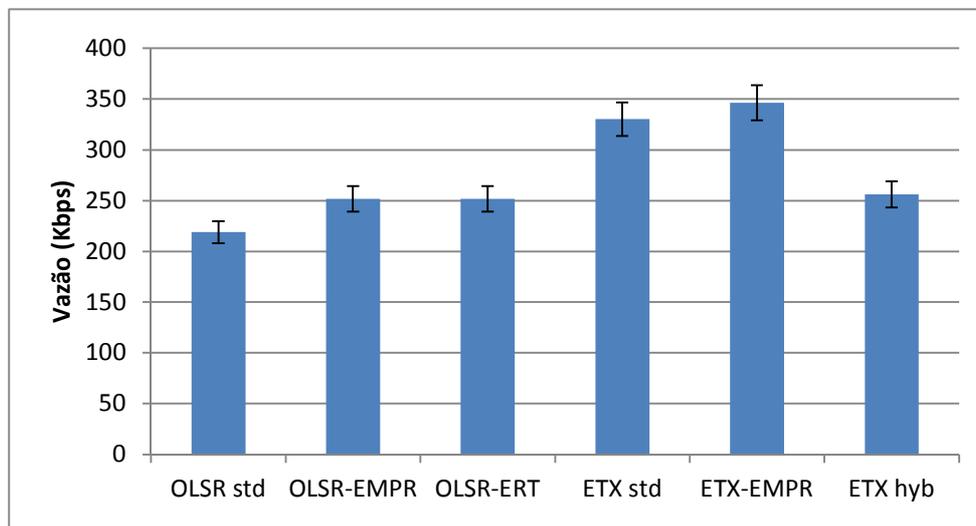


Figura 4. Vazão acumulada

Como esperado, o OLSR-ETX tradicional possui ótimo desempenho, bem superior ao do OLSR padrão. Verifica-se também um excelente resultado para o “*ETX-EMPR*”, com a vazão de dados equivalente ao OLSR-ETX e, eventualmente, superior. O “*ETX-hyb*” possui desempenho bem inferior ao ETX tradicional e à primeira proposta, “*ETX-EMPR*”.

A Figura 5 mostra o tempo de vida médio dos nós para as versões do ETX. Podemos verificar que o modelo híbrido, “*ETX-hyb*”, não traz ganhos se comparado ao ETX padrão e que o modelo “*ETX-EMPR*” estende o tempo de vida dos nós.

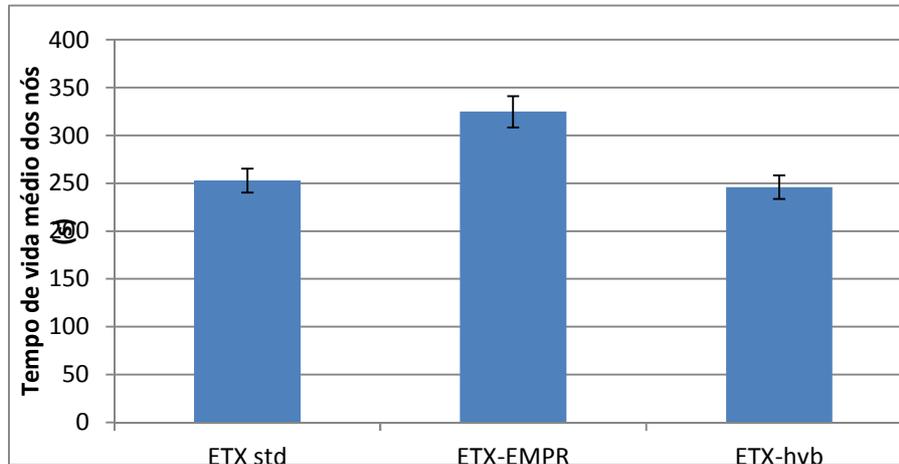


Figura 5. Tempo de vida médio

O tempo de vida da rede é identificado em [Kunz, 2008] pelo instante em que o primeiro nó “morre” ou pelo tempo até que determinada aplicação esteja indisponível. A Figura 6 mostra os instantes em que o último pacote de dados é recebido para as diversas variações do OLSR. Notamos que as duas extensões do OLSR apresentadas na Seção 4 incorrem num maior tempo de vida e que a proposta “*ETX-EMPR*” prolonga o tempo de transmissão dos dados, se comparado com o OLSR-ETX tradicional. Vale ressaltar que o tempo de vida observado para o “*ETX-EMPR*” é similar ao verificado para o “*OLSR-EMPR*”. O modelo híbrido, “*ETX-hyb*”, possui o pior desempenho e concluímos que a implementação da métrica combinada (“*Energy-Aware*”+“*Quality-Aware*”) não garante um maior tempo de vida da rede.

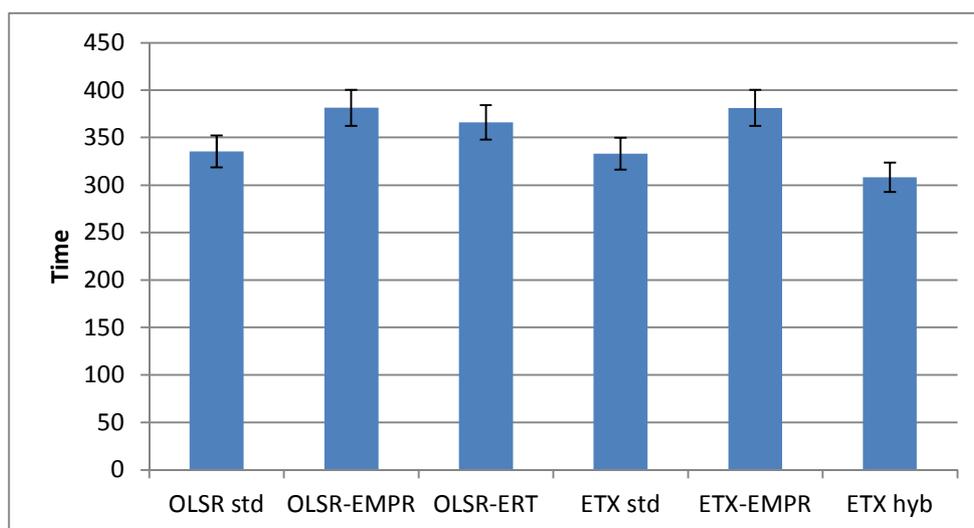


Figura 6. Instante de recebimento do último pacote de dados

Para trazer ganhos efetivos, a extensão do tempo de vida da rede, objetivo comum das propostas de métricas eficientes em energia, deve resultar em uma maior

quantidade de dados transmitidos fim-a-fim. A Figura 7 apresenta o volume de dados em MBytes transmitido durante o período da simulação para as distintas alterações do OLSR. O volume absoluto de dados reflete a vazão apresentada na Figura 1.

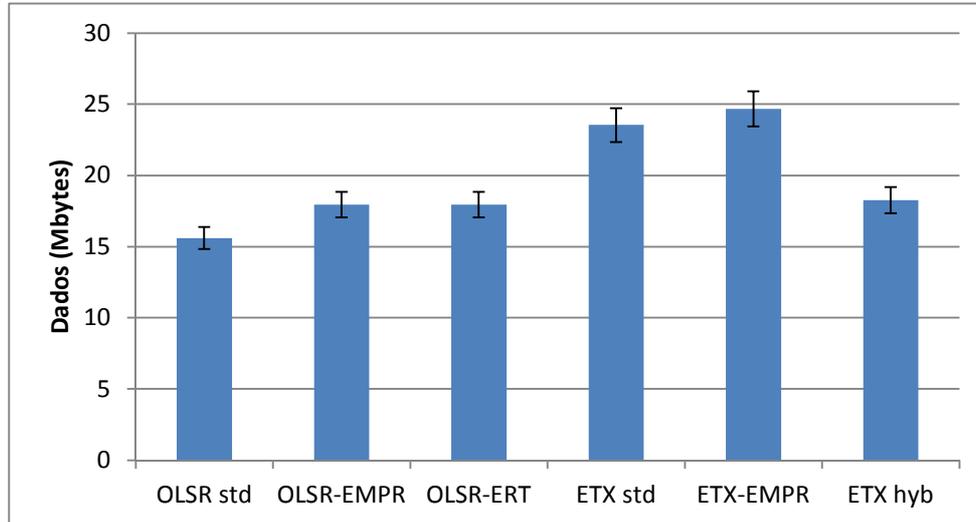


Figura 7. Volume de dados transmitidos

Notamos que o OLSR padrão possui o pior desempenho dentre as variações estudadas. Os modelos “*OLSR-EMPR*” e “*OLSR-ERT*” têm desempenhos equivalentes, podendo-se concluir pela eficácia da consideração da energia como critério de roteamento ou de escolha dos MPR, como mostrado em [Mahfoudh e Minet, 2008]. O ETX com processo de seleção dos MPRs modificado tem resultado similar ao ETX padrão, podendo, em alguns cenários, superá-lo. No início da simulação, o ETX tradicional deve superar sua variação “*ETX-EMPR*”. No entanto, com a exaustão das baterias dos nós, o “*ETX-EMPR*” possibilita um maior tempo de vida dos nós e, conseqüentemente, o prolongamento das transmissões. Concluimos então que a proposta deste trabalho, “*ETX-EMPR*”, oferece bom desempenho do OLSR-ETX em relação ao volume de dados transmitidos e ainda aumenta o tempo de vida da rede.

6. Conclusão e trabalhos futuros

Este artigo apresentou uma análise de diversas propostas existentes de alteração do protocolo OLSR com vistas ao prolongamento do tempo de vida da rede. Verificamos que as alterações do OLSR padrão, “*OLSR-EMPR*” e “*OLSR-ERT*”, a exemplo de outros trabalhos estudados, prolongam o tempo de vida da rede e viabilizam uma maior quantidade de dados transmitidos. Além da análise do desempenho de propostas já existentes na literatura, o artigo propôs duas extensões ao protocolo OLSR-ETX, chamadas de “*ETX-hyb*” e “*ETX-EMPR*”.

O desempenho da proposta “*ETX-hyb*” depende dos pesos dados às partes da métrica conjunta que considera o nível da energia e a qualidade dos enlaces. As simulações realizadas mostraram que a versão híbrida do ETX possui desempenho similar às propostas “*OLSR-EMPR*” e “*OLSR-ERT*”, tendo, porém, resultados piores se comparado ao ETX padrão e “*ETX-EMPR*”. Com relação ao “*ETX-hyb*”, planejamos para trabalhos futuros, variar os pesos dados às duas partes da métrica em busca de resultados melhores. Outra oportunidade a ser estudada é a definição de um limiar do

nível da bateria, acima do qual utilizar-se-ia a métrica padrão do ETX e abaixo do qual, levar-se-ia em conta a energia dos nós.

Por outro lado, podemos concluir que a extensão do protocolo OLSR-ETX proposta neste artigo, “*ETX-EMPR*”, além de escolher caminhos com enlaces com baixa probabilidade de perda, garante um maior tempo de vida da rede ao escolher nós MPR em função da reserva de energia dos nós da rede. “*ETX-EMPR*” oferece desempenho superior às propostas puramente relacionadas ao OLSR padrão, comumente presentes na literatura. Planejam-se como trabalho futuro, além de simular cenários móveis com redes mais densas, implementar a extensão “*ETX-EMPR*” em um cenário real de redes *ad-hoc* e testá-la na prática.

Referências

- Adoni, Kirti Aniruddha; Joshi, Radhika. (2012) “Optimization of Energy Consumption for OLSR Routing Protocol in MANET”. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*; Feb2012, Vol. 4 Issue 1, p251.
- Benslimane, A.; El Khoury, R.; El Azouzi, R.; Pierre, S. (2006) Univ. of Avignon, Avignon, "Energy Power-Aware Routing in OLSR Protocol", *Mobile Computing and Wireless Communication International Conference, MCWC 2006*.
- C. E. Perkins and P. Bhagwat. (1994) "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for mobile computers," *ACM SIGSOMM Computer Communication*, vol. 24. no. 4, pp. 234-244.
- C. E. Perkins and E. B. Royer. (2003) "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC 3561, Internet Engineering Task Force.
- C-K. Toh, Hiroshi Cobb, and David A. Scott. (2010) "Performance Evaluation of Battery-life-Aware Routing Schemes for Wireless Ad Hoc Networks", *Mobile Multimedia & High Speed Networking Laboratory, Georgia Institute of Technology*.
- Clausen, T. e P. Jacquet. (2003) *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*. RFC Experimental 3626, Internet Engineering Task Force.
- D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz. (2007) "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad hoc Networks for IPv4," RFC 4728, Internet Engineering Task Force.
- D. Kim, J.J. Garcia-Luna-Aceves, K. Obraczka, J. Cano, and P. Manzoni. (2002) “Power-Aware Routing Based on The Energy Drain Rate for Mobile AdHoc Networks”. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication and Networks*.
- Floriano De Rango, Marco Fotino, Salvatore Marano. (2008) "EE-OLSR: Eenergy Efficient OLSR routing protocol for mobile ad-hoc networks", D.E.I.S. Department, University of Calabria, Via P.Bucci, Rende, Italy.
- Kunz, Thomas H. (2008) “Energy-Efficient variations of OLSR”. *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. IWCMC '08*.

- Kunz, Thomas H. (2005) "On the inadequacy of MANET routing to efficiently use the wireless capacity", Proc. IEEE Int. Conf. on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, pp. 109-116.
- N. Ghanem et al. (2005) "New energy saving mechanisms for mobile ad-hoc networks using OLSR". Proc. 2nd ACM Int. Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks, Oct. 2005, pp. 273-274.
- NS2 – <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, acessado em Dezembro de 2011.
- "OLSR-ETX," OLSR, [Online]. Available: <http://www.olsr.org/docs/README-Link-Quality.html>, acessado em Janeiro/2013.
- Passos, D., Teixeira, D. V., Saade, D. C. M, Magalhães, L. C. S, Albuquerque, C. V. N. (2006) "Mesh Network Performance Measurements". International Information and Telecommunications Technologies Symposium.
- Saoucene Mahfoudh, Pascale Minet. (2008) "An Energy Efficient Routing Based on OLSR in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks", AINAW '08 Proceedings of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications - Workshops.
- S. Singh, and C.S Raghavendra. (1998) "PAMAS-Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad hoc Networks", ACM Comm. Review.
- S. Singh, and C.S Raghavendra. (1998) "Power-Aware Routing in Mobile Ad hoc networks", Proceedings of MobiCom'98, Dallas, Texas, Oct. 1998.
- V. Park and S. Corson. (2001) "Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)," tora-spec-04, Internet Engineering Task Force.
- Wardi, Hirata, K.; Higami, Y.; Kobayashi, S.-Y. (2011) "Residual energy-based OLSR in mobile ad-hoc networks", International Conference on Multimedia Technology (ICMT).
- Z. Guo and B. Malakooti. (2007) "Energy Aware Proactive MANET Routing with Prediction on Energy Consumption", Proc. 2007 Int. Conf. on Wireless Algorithms, Systems and Applications, August 2007, pp. 287-293.