

Integrando Redes *Overlay* e Redes de Sensores Sem fio

Daniel F. Macedo, Leonardo B. Oliveira, Antonio A.F. Loureiro
{damacedo, leob, loureiro}@dcc.ufmg.br

Laboratório de Redes e Sistemas Distribuídos
Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Presidente Carlos Luz,1275 - Belo Horizonte, MG

Resumo - Redes *Overlay* (RO) são redes construídas sobre redes físicas, com o intuito de migrar parte da complexidade de roteamento para a camada de aplicação. Já Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são redes com sérias restrições computacionais e de energia, altamente susceptíveis a falhas. Identificamos que a partir de um pequeno número de nós mais poderosos, que instanciam nós de uma rede *overlay* e que efetuam monitoração da rede subjacente, podem ser descobertas rotas alternativas que atendem melhor as necessidades das aplicações, em detrimento das rotas padrão. Os resultados demonstram que a estratégia é capaz de melhorar a confiabilidade, mantendo ou mesmo melhorando demais métricas como *jitter* e latência, em um cenário com falhas.

Abstract - *Overlay Networks* are networks established over the underlying network, in order to migrate part of the routing complexity to the application layer. At the same time, *Wireless Sensor Networks* are emergent networks where nodes have severe hardware constraints and are also susceptible to failure. Our approach takes advantage of cluster-heads to instantiate an *overlay network* that monitors the underlying network, discovering alternative routes which meet application demands better than the default routes. Our conclusion is that the scheme not only improves reliability, but also other network metrics such as *jitter* and delay.

Palavras-Chave: roteamento, *overlay*, Redes de Sensores Sem Fio, sensores, confiabilidade, falhas.

I INTRODUÇÃO

Redes *Overlay* (RO) são redes lógicas construídas acima da rede física. Atualmente, ROs são utilizadas para viabilizar aplicações e serviços na Internet. Aplicações destas redes podem ser encontradas em redes *Peer-to-Peer* (P2P) [7, 6], serviços *multicast* [16], Redes de Distribuição de Conteúdo (CDNs) [14] e *Resilient Overlay Networks* (RONs) [2]. Nas ROs, são estabelecidos enlaces lógicos entre nós que pertencem à rede. Estes enlaces podem ou não ser enlaces fim-a-fim na rede física (como mostra a Figura 1).

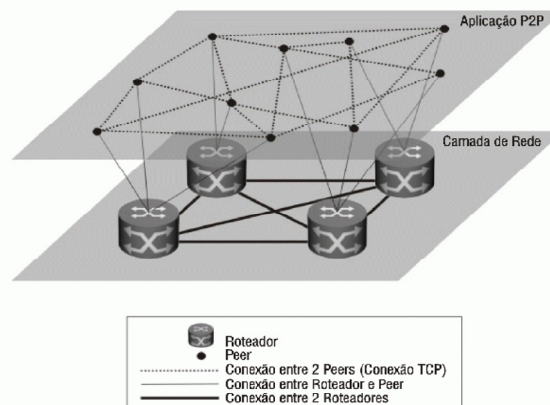


Figura 1: Exemplo de uma rede *overlay*.

As redes infra-estruturadas (como a Internet e as demais redes *IP*), por serem otimizadas para escalabilidade e relativa simplicidade, não são capazes de prover qualidade de serviço com os parâmetros de rede adequados (*jitter*, latência, taxa de entrega, perda, vazão, etc.) para cada aplicação. Uma *Resilient Overlay Network* (RON) é uma rede *overlay* que tem como objetivo prover à aplicação a confiabilidade que falta às redes *IP* atuais [2]. Através da monitoração da rede, as RONs podem identificar, dentre os vários caminhos monitorados para um dado destinatário, qual é o melhor caminho para se enviar dados de uma aplicação específica. Os caminhos monitorados são compostos pelo caminho fornecido pelo algoritmo de roteamento da Internet, bem como outros caminhos, onde um nó da rede *overlay* atua como intermediário no envio de dados.

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são redes *ad hoc* que possuem, além das características tradicionais deste tipo de rede (auto-organização, inexistência de infraestrutura prévia e pequeno poder computacional), outras peculiaridades [13, 15, 1, 3]. Elas são compostas por um grande número de dispositivos de sensoriamento – isto é, sensores – que são lançados sobre uma região de interesse a fim de colher dados do ambiente e enviá-los para a Estação Base (EB). Os sensores são capazes de exercer o sensoriamento de diferentes características do meio (temperatura, mobilidade, pluviometria e outros), e possuem grandes res-

trições com relação ao custo de fabricação e ao gasto de energia.

Nestas redes, existe um alto grau de falhas, que podem ser causadas por danificação física, término do estoque e energético do sensor, ou mesmo interferência do ambiente. A rede deve se reorganizar a cada falha, para que continue a exercer a sua função, economizando o máximo possível de energia. Devido a estas características, os protocolos de roteamento usuais para redes *ad hoc* são incapazes de atender às necessidades das RSSF [4]. Um sistema de roteamento na camada de aplicação, que é executado somente em nós mais poderosos, permite encontrar rotas não oferecidas pelo protocolo de roteamento. As rotas encontradas levam em consideração a confiabilidade dos enlaces e níveis de energia dos nós que a compõem. O uso destas rotas pode não somente elevar a tolerância a falhas (capacidade de uma rede de sensores de manter suas funcionalidades mesmo quando ocorrem falhas nos nós), como também prolongar a vida útil de toda a rede.

As RSSF podem ser classificadas quanto à composição do roteamento. RSSF planas são redes onde todos os nós podem rotear dados para outros nós da rede. Em redes hierárquicas, os nós sensores são divididos em grupos, onde um dos nós do grupo, chamado de nó *cluster-head*, é responsável por rotear todos os dados produzidos pelos sensores do seu grupo.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma RSSF hierárquica que utiliza uma RO para ampliar sua capacidade de tolerância a falhas e aumentar a taxa de entrega da rede.

Os resultados obtidos mostram que a partir desta abordagem é possível não somente melhorar a taxa de entrega de mensagens, bem como também outras métricas de rede, como atraso e *jitter*, mesmo na ocorrência de falhas de nós.

II TRABALHOS RELACIONADOS

Este trabalho foi motivado por diversos projetos de pesquisa, sejam na área de redes *overlay*, sejam na área de confiabilidade em RSSF – entenda-se confiabilidade, aqui, como o grau de confiança de que um pacote enviado alcançará seu destino. Como será visto a seguir, apesar de poucos, já existem trabalhos que utilizam redes *overlay* em ambientes sem fio. Todavia, não se tem conhecimento de algum trabalho que utilizou ROs sobre uma RSSF como um novo modelo de roteamento, seja para fins de melhoria de métricas de rede ou incremento de sua robustez.

II.1 REDES *Overlay*

Redes *overlay* não são uma idéia nova. A Internet iniciou sua vida como uma rede de dados sobreposta ao sistema de telefonia, e mesmo hoje um grande número de conexões da Internet continua sendo efetuada via linhas de telefone. Com o advento da rede mundial, aplicações comerciais [14], de entretenimento [10] e de pesquisa [2] foram desenvolvidas seguindo o modelo de redes *overlay*. Redes *overlay* também estão sendo utilizadas para possibilitar o uso de protocolos não suportados pelos roteadores da Internet atual, como a criação de redes IPv6 sobre rotas que suportam somente o IP versão 4. D. Andersen et al. utilizaram redes *overlay* sobre a Internet para identi-

ficar rotas alternativas, que usualmente não são utilizadas pelo protocolo de roteamento [2]. Estas rotas alternativas foram utilizadas para aumentar a taxa de entrega da rede e diminuir o tempo de recuperação de falhas. Tal abordagem foi utilizada como referência para este trabalho.

II.2 CONFIABILIDADE EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Assim como as redes *overlay*, avanços em áreas da Gerência de Falhas, tais como tolerância a falhas e garantia de entrega de pacotes, têm sido feitos em RSSF. N. D. Georganas et al. utilizam um nó pivô para, a partir de informação prévia de roteamento existente em sua vizinhança, livrar-se de rotas quebradas [4]. Já Garurav Gupta et al. adotam um esquema de realocação de nós em novos *clusters* que, devido à falha de seus *cluster-heads* originais, tornaram-se inacessíveis [9]. Finalmente, Stefan Dulman et al., a fim de garantir que dados colhidos alcançarão seu destino, utilizam uma abordagem de escolha de caminhos baseada no histórico de falhas dos nós da rede [18].

II.3 REDES *Overlay* SOBRE REDES SEM FIO

Redes *overlay* e sem fio também já foram integradas. Chao Gui et al. utilizaram *Multicast* através de ROs em Redes Móveis para atingir robustez a baixo custo adicional [8]. Randy H. et al. e Marco Z. et al. defendem a idéia de que redes *overlay* são as soluções para integrar diferentes tecnologias sem fio de forma transparente e integrar redes baseadas em IP com RSSF [11, 21]. Além disso, Mark Stemm e Randy H. Katz lidaram com *handoffs* verticais em redes *overlay* sem fio [19]. Finalmente, L. B. Oliveira et al. avaliaram a utilização de redes *Peer-to-Peer* para compartilhamento de arquivos em MANETs [12].

III DESENHO E FUNCIONAMENTO

III.1 REDE *Overlay*

A rede *overlay* forma uma rede lógica sobre a rede física. Na rede lógica, nós exercem enlaces lógicos com os demais através de conexões virtuais. Estes, do ponto de vista da rede física subjacente, são caminhos *multi-hop* pelos quais o tráfego é roteado de forma transparente para a aplicação.

Neste trabalho a RO é constituída apenas pelos nós *cluster-head*, deixando aos sensores de menor poder energético e computacional o encargo de sensoriar a rede. Tal estratégia permite implementar a rede *overlay* a um baixo custo, uma vez que apenas um percentual baixo dos sensores possui *hardware* mais caro, que possui uma quantidade maior de energia armazenada na sua bateria.

Cada nó da rede *overlay* possui um grupo de vizinhos, que podem ser utilizados como intermediários em rotas alternativas à rota padrão – aquela determinada pelo protocolo de roteamento. O funcionamento de um nó da rede *overlay* pode ser visto na Figura 2.

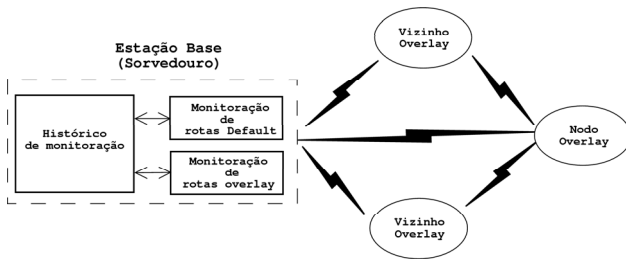


Figura 2: Diagrama da troca de mensagens na rede *overlay* simulada. As ligações entre nós mostram as rotas monitoradas pelo nó *overlay*.

III.2 MONITORAÇÃO DE ROTAS *Overlay*

Para que seja escolhida a melhor rota dentre as várias possíveis, é aferida a qualidade das mesmas através de monitoração. Podem ser obtidos dados como latência, *jitter*, número de *hops* e confiabilidade de cada rota. A partir destes, podemos determinar qual rota é a ideal para cada aplicação.

O monitoramento é feito através do envio periódico de pacotes dos nós *overlay* até a EB, através da rota padrão e de seus vizinhos *overlay*. A Estação Base fica então responsável por receber os dados de monitoração e os analisar, gerando estatísticas sobre as métricas de rede para cada rota monitorada. Feito isso, este dissemina as informações para os demais nós *overlay*, para que os mesmos as utilizem na escolha da melhor rota para a aplicação corrente.

III.3 AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE ROTA

A fim de avaliar qual das rotas é a mais adequada para a aplicação corrente, a Estação Base mantém um registro dos últimos n pacotes de monitoração enviados pelas rotas monitoradas. Como a granularidade do intervalo de monitoração é conhecida, a Estação Base pode inferir sobre a confiabilidade dos canais com base na taxa de chegada de pacotes de monitoração. A taxa de chegada de pacotes e o número de pacotes considerados na avaliação das métricas da rede influenciam na precisão dos resultados obtidos. Ao receber um pacote de monitoração, a EB determina outras métricas de rede, como *jitter* e latência.

Uma vez que a avaliação de rotas é realizada e seus resultados são disseminados pela EB, os nós *overlay* podem então optar entre as rotas *overlay* e as rotas padrão, verificando qual caminho atende melhor às necessidades da aplicação.

IV SIMULAÇÃO

Como não dispomos de um ambiente de Redes de Sensores Sem Fio real, fez-se necessário o uso de um simulador para a avaliação do esquema proposto. O simulador escolhido para tal foi o *Network Simulator (ns-2)* [17], versão 2.1b8a, amplamente utilizado pela comunidade de pesquisa em redes de computadores. Para realizar as simulações, desenvolvemos extensões para o simulador que modelam o funcionamento de uma rede *overlay*. Para avaliar o uso de uma rede *overlay*, simulamos uma rede

que utiliza a aplicação *overlay*, e outra que não utiliza a aplicação. Os cenários simulados serão detalhados a seguir.

IV.1 AMBIENTE SIMULADO

Para que avaliássemos os benefícios e os encargos que uma rede *overlay* proporciona, simulamos os seguintes cenários:

- Cenário 1: RSSF efetuando apenas a atividade de sensoriamento em uma topologia onde não há falha de nós.
- Cenário 2: RSSF efetuando apenas a atividade de sensoriamento em uma topologia onde 20% dos nós irão falhar durante a simulação.
- Cenário 3: RSSF efetuando apenas a atividade de sensoriamento em uma topologia onde 40% dos nós irão falhar durante a simulação.
- Cenário 4: RSSF utilizando uma RO, na qual além do sensoriamento eram realizadas monitoração, avaliação e escolha de rotas mais adequadas, em uma topologia onde não há falha de nós.
- Cenário 5: RSSF utilizando uma RO, na qual além do sensoriamento eram realizadas monitoração, avaliação e escolha de rotas mais adequadas, em uma topologia onde 20% dos nós irão falhar durante a simulação.
- Cenário 6: RSSF utilizando uma RO, na qual além do sensoriamento eram realizadas monitoração, avaliação e escolha de rotas mais adequadas, em uma topologia onde 40% dos nós irão falhar durante a simulação.

Para as situações acima, o ambiente simulado apresenta uma topologia hierárquica na qual sensores coletam dados periodicamente e os enviam para os nós *cluster-head*, que então encaminham os dados para a EB. A rede é heterogênea somente em relação a processamento e armazenamento de energia. Em outras palavras, os nós *cluster-head* possuíam um maior poder computacional e enérgico, mas uma vez que o alcance de transmissão era o mesmo dos nós comuns, seu envio de dados para a Estação Base era feito via caminhos *multi-hop*.

A partir do Cenário 4, além de exercer o sensoriamento do ambiente, os nós *cluster-head* participam de uma rede *overlay*, como descrita na Seção III.

Os nós *cluster-head* executavam a aplicação *overlay*, monitorando a rede à procura de rotas alternativas para transmissão. A Estação Base processava informações de monitoração e as repassava para o restante da rede *overlay* em um único *hop*. De posse das estatísticas de rotas, os nós *cluster-head* podiam, então, escolher os enlaces mais confiáveis para encaminhar os pacotes de dados.

Para que a monitoração fosse efetuada com o menor dispêndio de recursos, além de deixar a carga da EB todo o processamento, geração e disseminação de estatísticas,

assumimos que os nós *overlay* possuíam um segundo rádio, utilizado para receber as estatísticas de rotas – tal premissa é razoável, pois consideramos que os nós *cluster-head* possuem *hardware* mais poderoso. Desta forma, somente os nós *cluster-head* escutariam as informações de monitoração, poupando assim os demais nós do gasto de energia com o recebimento destas mensagens. Esta estratégia também possibilita o envio de informações de rotas para os nós *overlay* com maior frequência, diminuindo o tempo de resposta da rede em situações de falhas de nós.

IV.2 CONFIGURAÇÃO

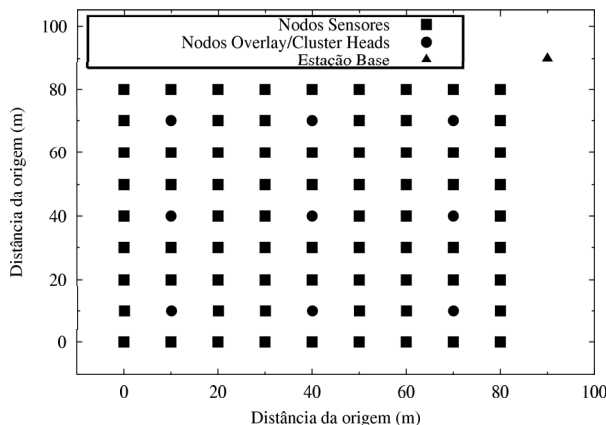


Figura 3: Topologia da rede simulada. Para a topologia mostrada, foram formados 9 grupos de nós.

Os experimentos simulados foram feitos em uma rede composta de 9 nós *cluster-head* e 72 nós sensores comuns. Os nós estavam dispostos em um *grid* 90×90 metros, no qual o *cluster-head* desempenha o papel de nó *overlay*. Os grupos possuíam 8 nós sensores, que se localizavam em volta do *cluster-head*. A distância entre os nós *overlay* era de 30 metros, enquanto a distância entre os nós sensores era de 10 metros. A Estação Base estava localizada a 10 metros acima e à direita do nó mais acima e à direita da rede. A disposição dos nós pode ser visualizada na Figura 3. Foi utilizado como protocolo de camada MAC o IEEE 802.11b e para roteamento o protocolo DSR [20].

Para que os nós ainda possuísem energia ao final da simulação, atribuímos aos mesmos uma alta energia inicial, para que as falhas ocorressem somente devido ao nosso modelo de falhas.

Definimos a energia usada para transmissão igual a 0.3 *Watts*, enquanto a energia gasta na recepção era de 0.2 *Watts*. Estes dados foram calibrados levando em consideração rádios existentes para RSSF [5]. As simulações feitas registraram o tráfego da rede durante um período de 100 segundos.

Um percentual fixo de nós, escolhidos aleatoriamente, irá falhar de acordo com uma distribuição uniforme no tempo. No modelo de falhas utilizado, o nó não irá enviar ou receber dados até o fim da simulação, após ocorrida uma falha. Todos os nós, excetuando-se a EB, podem falhar.

Assim como feito por D. Andersen em [2], optamos por ter dois vizinhos para cada nó *overlay*. Estes vizinhos são

escolhidos ao início da simulação de forma aleatória entre os nós *overlay*, e são mantidos fixos até o final da mesma. Estipulamos que a Estação Base envia dados de atualização de melhores rotas para os nós *overlay* a cada 1.5 segundos.

Os parâmetros de simulação se encontram sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de Simulação.

Parâmetro	Valor
Dimensão do <i>Grid</i>	90 x 90m
Número de sensores comuns	72
Número de <i>cluster-heads</i>	9
Distância entre nós	10m
Alcance do rádio	15m
Número de vizinhos <i>overlay</i>	2
Intervalo de sensoriamento	1.5s
Intervalo de monitoração	1.5s
Intervalo de disseminação de rotas	1.5s
Energia inicial	100J
Algoritmo de roteamento	DSR
Camada MAC	IEEE 802.11b
Tempo de simulação	100s

IV.3 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

Com o intuito de avaliar o comportamento de uma RO sobre RSSF, foram levados em conta parâmetros de rede comumente utilizados, porém ressaltando aqueles cujos valores são mais importantes em ambientes com escassez de recursos computacionais – tal como acontece em RSSF. São eles:

- Taxa de entrega média.
- Energia média gasta por *cluster-head*.
- Energia média gasta por nó comum.
- Energia média gasta por nós em geral.
- *Jitter* médio.
- Latência média.
- *Hops* médios.

O comportamento de cada uma dessas métricas foi avaliado para os 8 cenários. Os resultados são apresentados na próxima Seção.

V RESULTADOS

A partir do comportamento das redes de sensores de todos os cenários listados em IV.2, e levando em consideração as métricas descritas em IV.3, foram obtidos os gráficos apresentados nesta seção.

O gráfico na Figura 4 apresenta a taxa de entrega para os cenários simulados. As duas curvas dos gráficos correspondem aos cenários que instanciam ou não instanciam a rede *overlay*. No eixo *X* está representado o percentual de nós que falharam durante a simulação, e no eixo *Y* é

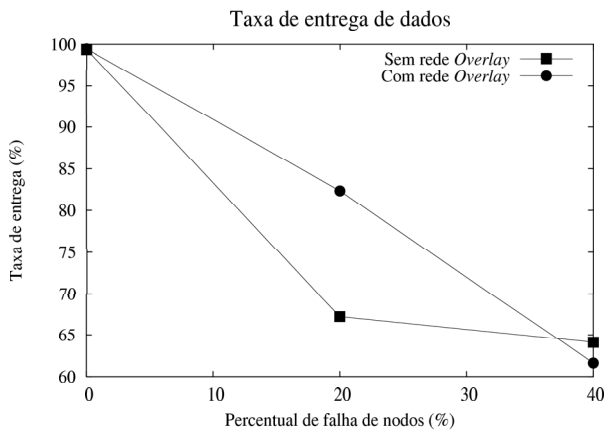


Figura 4: Taxa de entrega média.

mostrada a taxa de entrega da aplicação de sensoriamento *Sensor Comum* ⇒ *Estação Rádio Base* para os cenários simulados.

Pode ser observado que quando não há falha de nós a rota padrão é capaz de entregar dados para a EB de maneira satisfatória. Com isso, a monitoração da rede à procura de rotas alternativas mais confiáveis é desnecessária. Por outro lado, na situação em que 20% dos nós da rede falham, o esquema provido pela RO é mais eficiente que o protocolo de roteamento, pois os protocolos de roteamento arquitetados para este tipo de rede, por serem projetados para escalabilidade e economia de recursos, restringem as possibilidades de rotas. Finalmente, quando é introduzida uma alta taxa de falhas, a taxa de entrega volta a se igualar à de um cenário não monitorado. Isto porque, diante de um alto índice de falhas mesmo rotas alternativas são quebradas.

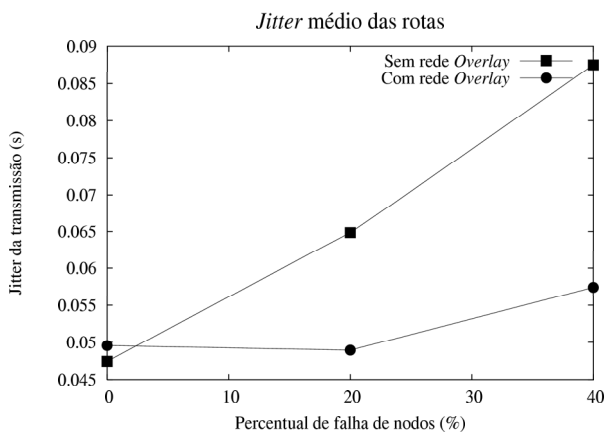


Figura 5: Jitter médio da rede.

Assim como a taxa de entrega, *jitter* e latência médios foram melhorados com a introdução da rede *overlay* em um cenário com falhas. Pela Figura 5, observa-se que em um cenário em que não ocorrem falhas a rede sem a aplicação *overlay* apresenta resultado próximo ao do obtido por uma rede com *overlay* – cerca de 0.02s mais baixo. Contudo, com a introdução de 20% e 40% de falhas na rede, o es-

quema, além de tornar o comportamento da curva mais homogêneo, resulta respectivamente em melhoras de aproximadamente 15 e 34 milissegundos. Neste caso a melhora perdura mesmo quando o percentual de falhas é incrementado, porque estas métricas são computadas somente a partir dos pacotes que conseguem alcançar a EB. Em outras palavras, o aumento das falhas acarreta em uma diminuição de rotas para a Estação Base, que por sua vez resulta em uma menor taxa de entrega para a rede com e sem o recurso *overlay*. Todavia, no cenário de 40% de falhas, apesar da RO não conseguir manter um alto índice de entrega, os pacotes que são entregues possuem menor *jitter* médio.

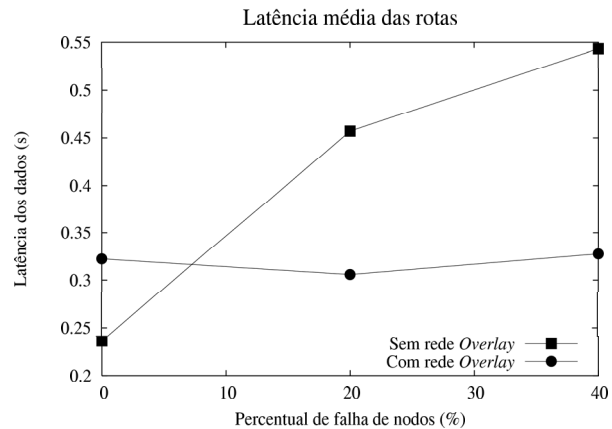


Figura 6: Latência média da rede.

A estratégia *overlay* obteve bons resultados em relação ao atraso médio de pacotes pelas mesmas razões identificadas para o *jitter* médio. Como pode ser observado no gráfico da Figura 6, os percentuais de melhora para 20% e 40% de falhas quando se compara a RSSF com e sem RO são de aproximadamente 33% e 40%, respectivamente. Note, porém, que ao considerarmos o ambiente sem falhas (percentual de falhas igual a zero), a latência média do cenário sem *overlay* é cerca de 28% menor. Este resultado, que era esperado, é devido ao maior caminho que o pacote de dados percorre em direção à EB quando a rede *overlay* é instanciada – neste cenário, o pacote é encaminhado para um nó *overlay* intermediário, para então seguir para a Estação Base.

Visto os benefícios atingidos com a escolha de melhores rotas, apresentaremos a seguir gráficos de pacotes enviados e energia média consumida. O objetivo é avaliar a viabilidade do esquema em função de seus custos e das demandas de possíveis aplicações.

A Figura 7 apresenta a quantidade de pacotes enviados, respectivamente, em uma rede *overlay* e em uma rede sem *overlay*, ambas sem falhas. A rede *overlay* enviou 39% mais pacotes que a mesma sem a aplicação rodando. Esta diferença é devida à monitoração da rede. Os nós *overlay* devem monitorar rotas que podem ter uma confiabilidade muito baixa, e assim possuem grande taxa de perda.

Os gráficos das Figuras 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, o consumo de energia dos nós *cluster-head*, dos nós comuns e a média dos mesmos para o ambiente ideal. Como esperado, o maior gasto de energia ficou concen-

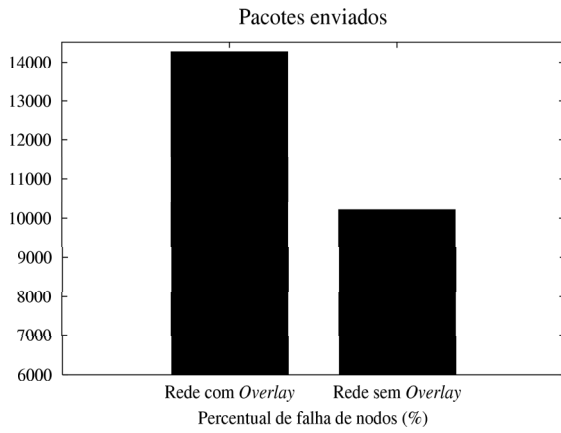


Figura 7: Pacotes enviados, para uma rede sem falhas.

trado nos nós *cluster-head* – 21.8 e 17.6J para os cenários de falhas, com e sem o esquema *overlay*, respectivamente. Além disso, a introdução da rede *overlay* resultou em um gasto médio de energia 26% maior. Tal aumento ocorre devido ao envio dos pacotes de monitoração da rede, e ao maior tamanho das rotas utilizadas para transmissão de dados (o número de *hops* médios das rotas passou de 8.5 para 10 com a introdução da aplicação *overlay*). Por isso, os nós da rede gastam mais energia roteando pacotes. Pode-se constatar pelos gráficos que quanto maior o percentual de falha de nós na rede, menor é o gasto de energia dos mesmos, pois os nós que desempenham o papel de roteadores devem rotear uma menor quantidade de dados.

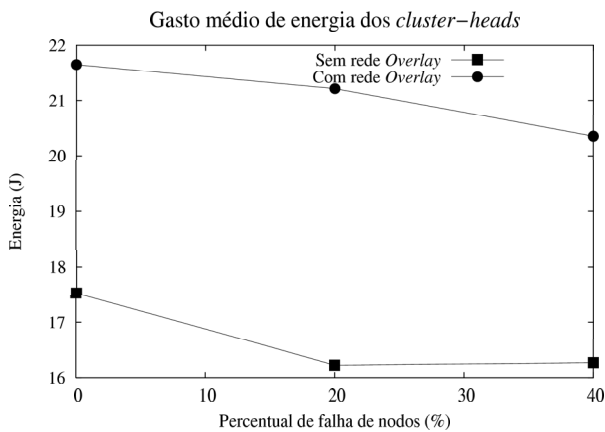


Figura 8: Gasto médio de energia dos nós *cluster-heads*.

VI CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou, através de simulações, uma avaliação de uma Rede de Sensores Sem Fio que utiliza uma rede *overlay* no intuito de aumentar a confiabilidade da transmissão de dados.

Pelo fato de protocolos de roteamento para redes *ad hoc* em geral terem sido projetados para serem escaláveis e consumirem poucos recursos, sejam computacionais ou energéticos, caminhos alternativos são desconsiderados. A estratégia proposta neste trabalho possibilitou incrementar a

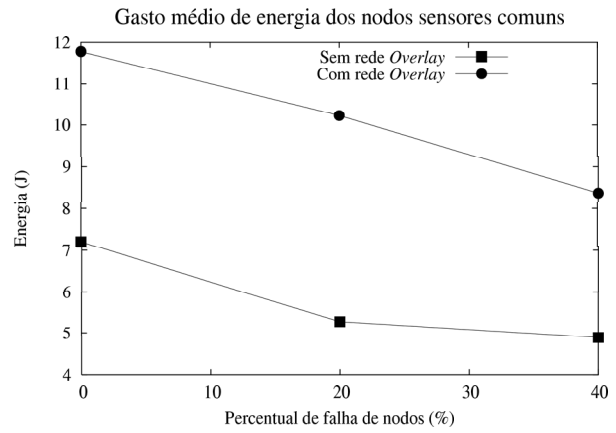


Figura 9: Gasto médio de energia dos nós sensores comuns.

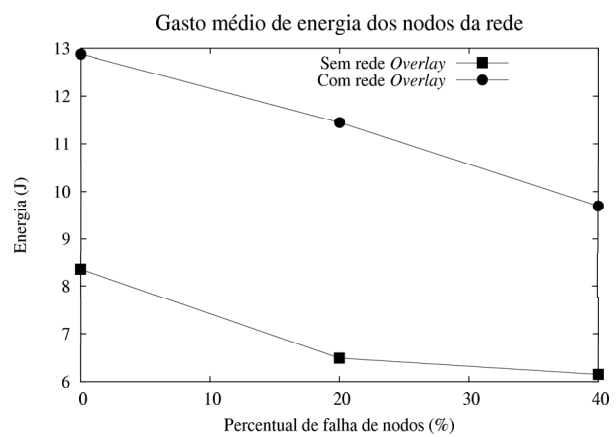


Figura 10: Gasto médio de energia dos nós.

qualidade de métricas de rede como confiabilidade, latência e *jitter* médios, ao considerar estes caminhos alternativos. Foi verificado que o consumo de energia devido à utilização de redes *overlay*, apesar de alto, pode ser justificado caso a rede necessite de altas taxas de entrega.

Como trabalhos futuros, pretende-se explorar ainda mais as possibilidades que uma rede *overlay* ocasiona. Para tal, um estudo de como escolher vizinhos para os nós *overlay*, levando em consideração suas posições no *grid*, bem como o número ideal de vizinhos, pode aprimorar os resultados obtidos. Além disso, existe a possibilidade de aumentar o número de *hops overlay* que um pacote de dados percorre em direção à Estação Base. Finalmente, pode-se efetuar a escolha de rotas baseadas em métricas específicas de RSSF, como por exemplo, rotas de menor consumo computacional ou energético.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), uma entidade do governo brasileiro voltada ao desenvolvimento científico e tecnológico, processo número 55.2111/2002-3, projeto SensorNet.

Referências

- [1] I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, pages 393–422, December 2002.
- [2] David Andersen, Hari Balakrishnan, Frans Kaashoek, and Robert Morris. Resilient overlay networks. In *Proceedings of the eighteenth ACM symposium on Operating systems principles*, pages 131–145. ACM Press, 2001.
- [3] C. M. Cordeiro and D. P. Agrawal. Minicurso: Redes móveis ad hoc. In *20º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, Maio 2002.
- [4] Nicolas D. Georganas Di Tia. Energy efficient routing with guaranteed delivery in wireless sensor networks. In *Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC)*, New Orleans, USA, March 2003. IEEE.
- [5] Linnyer B. Ruiz Fabrício A. Silva, Thais R. de Moura Braga. Tecnologia de nodos de sensores sem fio, 2002.
- [6] Freenet. <http://www.freenet.com>.
- [7] Gnutella. <http://www.gnutella.com>.
- [8] Chao Gui and Prasant Mohapatra. Efficient overlay multicast for mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC)*, New Orleans, USA, March 2003. IEEE.
- [9] Gaurav Gupta and Mohamed Younis. Fault-tolerant clustering of wireless sensor networks. In *Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC)*, New Orleans, USA, March 2003. IEEE.
- [10] Icq. <http://web.icq.com>.
- [11] Randy H. Katz and Eric A. Brewer. The case for wireless overlay networks. In Tomasz Imielinski and Henry F. Korth, editors, *Mobile Computing*, pages 621–650. Kluwer Academic Publishers, Computer Science Division, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, 1996.
- [12] Leonardo B. Oliveira, Isabela Siqueira, Antonio A. Loureiro. Evaluation of ad hoc routing protocols under a peer-to-peer application. In *IEEE Wireless Communications and Network Conference*, New Orleans, USA, march 2003. IEEE.
- [13] A. A. Loureiro, Linnyer B. Ruiz, Raquel A. Mini, and José Marcos S. Nogueira. Rede de sensores sem fio. *Simpósio Brasileiro de Computação - Jornada de Atualização de Informática*. Florianópolis, SC, Brasil, 2002.
- [14] Gang Peng. CDN: Content distribution network. Technical Report TR-125, Experimental Computer Systems Lab, 2003.
- [15] Praveen Ravi Udit Shashi. Survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(8):102–114, 2002.
- [16] S. Shi and J. Turner. Routing in overlay multicast networks. In *IEEE Infocom 2002*, New York, USA, June 2002. IEEE.
- [17] NS 2 Simulator. Disponível via <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em 10 de abril de 2002.
- [18] Jian Wu Paul Havinga Stefan Dulman, Tim Nieberg. Trade-off between traffic overhead and reliability in multipath routing for wireless sensor networks. In *Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC)*, New Orleans, USA, March 2003. IEEE.
- [19] Mark Stemm and Randy H. Katz. Vertical handoffs in wireless overlay networks. *Mobile Networks and Applications*, 3(4):335–350, 1998.
- [20] V. D. Park and M. S. Corson. A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks. In *INFOCOM (3)*, pages 1405–1413, 1997.
- [21] Marco Z. and Bhaskar Krishnamachari. Integrating future large-scale wireless sensor networks with the internet. Technical Report CS 03-792, Department of Electrical Engineering, University of Southern California, 2003.