

# Integrando Redes *Overlay* em Redes de Sensores Sem fio

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

Universidade Federal de Minas Gerais  
Departamento de Ciência da Computação

## 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 nodos mais poderosos, que instanciam nodos de uma rede *overlay* e que efetuam monitoração da rede subjacente, podem ser descobertas e usadas 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 (WSNs) are emergent technologies that have severe hardware constraints and are also susceptible to failure. Our approach is to take 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*, RSSF, sensores, confiabilidade, falhas.

## 1 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 nodos que pertencem à rede. Estes enlaces podem ou não ser traduzidos como enlaces fim-a-fim na rede física (como mostra a Figura 1).

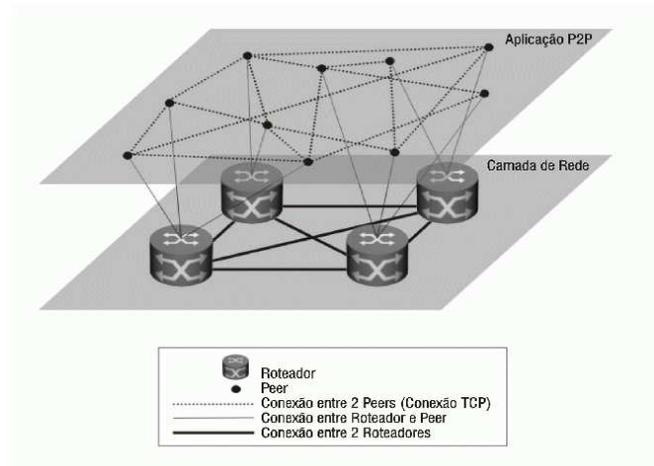


Figura 1: Exemplo de uma rede *overlay*.

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) [2] é uma rede *overlay* cujo

objetivo é prover à aplicação a confiabilidade que falta às redes *IP* atuais. 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 nodo da rede *overlay* atua como intermediário no envio dos 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 infra-estrutura 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 Rádio Base (ERB). Os sensores são capazes de exercer o sensoriamento de diferentes características do meio (temperatura, mobilidade, pluviometria e outros), e possuem grandes restrições com relação ao custo de fabricação e ao gasto de energia.

Nestas redes, existe um alto grau de falhas, visto que podem existir falhas causadas por danificação física, término do estoque 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. Estas características fazem com que abordagens de roteamento usuais para redes *ad hoc* sejam incapazes de atender às necessidades das RSSF [4]. Um sistema de roteamento a nível de aplicação, que é executado somente em nodos mais poderosos, permite encontrar rotas não oferecidas pelo protocolo de roteamento. Estas levam em consideração a confiabilidade de rotas e níveis de energia dos nodos que compõem a rede. O uso destas rotas pode não somente elevar a tolerância a falhas (capacidade de uma rede de sensores de manter sua funcionalidades mesmo quando ocorrem falhas nos nodos), como também prolongar a vida útil de toda a rede.

O objetivo deste trabalho é apresentar um ambiente de RSSF que utiliza ROs para ampliar sua capacidade de tolerância a falhas e garantir entrega de mensagens a seus respectivos destinatários.

Os resultados demonstram que a partir desta abordagem é possível melhorar a taxa de entrega de mensagens, bem como outras métricas de rede, como atraso e *jitter*, mesmo na ocorrência de falhas de nodos.

## 2 Trabalhos Relacionados

Este trabalho foi motivado por diversos projetos de pesquisa, seja na área de redes *overlay*, seja 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* para executarem tarefas específicas 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.

### 2.1 Redes Overlay

Redes *overlay* não são uma idéia nova. A Internet iniciou sua vida como uma rede de dados sobreposta ao sistema de telefonia público, 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*. D. Andersen et al. [2] apresentaram uma estratégia, via rede *overlay*, de descoberta, monitoração e avaliação de rotas que permanecem independentes do protocolo de roteamento, e aumentam a confiabilidade da rede. Tal abordagem serviu-nos de referência para levarmos a frente este trabalho.

### 2.2 Confiabilidade em Redes de Sensores Sem Fio

Assim como as redes *overlays*, 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. [4] utilizam um nodo pivô para, a partir de informação prévia de roteamento existente em sua vizinhança, livrar-se de rotas quebradas. Já Garurav Gupta et al. [9] adotam um esquema de realocação de nodos em novos *clusters* que, devido à falha de seus *cluster-heads* originais, tornaram-se inacessíveis. Finalmente, Stefan Dulman et al. [18], a fim de garantir que dados colhidos alcançarão seu destino, utilizam uma abordagem de escolha de caminhos baseada no histórico de falhas dos nodos que compõem a rede.

### 2.3 Redes Overlay sobre Redes Sem Fio

Redes *overlay* e sem fio também já foram integradas. *Multicast* através de ROs são utilizadas em Redes Móveis *Ad hoc* (MANETs) para atingir robustez a baixo custo adicional, juntamente com eficiência por Chao Gui et al. [8]. Randy H.

et al. e [11] Marco Z. et al. [21], respectivamente, 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. Além disso, Mark Stemm e Randy H. Katz lidaram com *handoffs* verticais em redes *overlay* sem fio [19]. Finalmente, Leonardo Barbosa e Isabela Siqueira [12] propõem a utilização de redes *Peer-to-Peer* para compartilhamento de arquivos em MANETs.

### 3 Desenho e Funcionamento

#### 3.1 Rede Overlay

A rede *overlay* forma uma rede lógica sobre a rede física. Na rede lógica, nodos 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.

No trabalho a RO é constituída apenas pelos *cluster-heads*, 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 além disso possui uma quantidade maior de energia armazenada na sua bateria.

No entanto, apesar de todos os *cluster-heads* fazerem parte da rede *overlay*, cada um possui um relação mais estreita apenas com determinados nodos. Isto é, cada nodo 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, como mostrado na Figura 2.

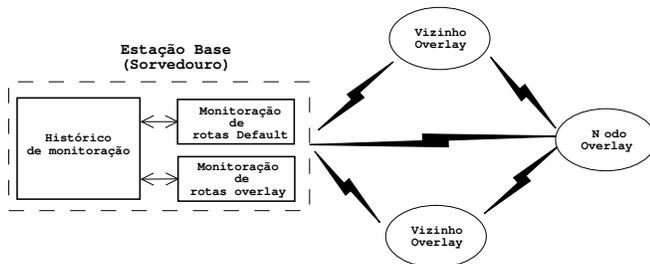


Figura 2: Arquitetura da rede *overlay* simulada. As ligações entre nodos mostram as rotas monitoradas pelo nodo *overlay*.

#### 3.2 Monitoração de Rotas Overlay

Para que seja escolhida a melhor rota dentre as várias possíveis, é necessário aferir 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 ideal para cada aplicação.

O monitoramento é feito através do envio periódico de pacotes dos nodos *overlay* até a ERB, através da rota padrão e de seus vizinhos *overlay*. O nodo sorvedouro 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 nodos *overlay*, para que os mesmos as utilizem na escolha da melhor rota para a aplicação corrente.

#### 3.3 Avaliação e Seleção de Rota

A fim de avaliar qual das rotas é a mais adequada para a aplicação corrente, o nodo sorvedouro mantém um registro dos últimos *n* pacotes de monitoração enviados pelas rotas monitoradas – rotas padrão e *overlay*. Como a granularidade do intervalo de monitoração é conhecida, a Estação Rádio 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 ERB determina seu *jitter* e latência.

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

### 4 Simulação

Uma vez que não dispomos de um ambiente de redes de sensores sem fio real, fez-se necessário o uso de um simulador para a realização do trabalho. O simulador escolhido para tal foi o *Network Simulator (ns-2)* [17], amplamente utilizado pela comunidade de pesquisa em redes de computadores. O trabalho foi implementado usando a linguagem C++, padrão do simulador. Os experimentos foram executados na versão 2.1b8a do mesmo.

Além disso, para que fosse possível avaliar não apenas as vantagens que uma RO provê à rede, mas também seu custo, foram feitas medidas de uma mesma rede com e sem o dispositivo RO.

## 4.1 Ambiente Simulado

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

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

Para as situações citadas acima, o ambiente simulado apresenta uma topologia hierárquica na qual sensores coletam dados periodicamente e os enviam para os *cluster-heads*. Estes então encaminham os dados para a ERB. A rede é heterogênea somente em relação a processamento e armazenamento de energia. Em outras palavras, os *cluster-heads* tinham um maior poder computacional e energético, mas uma vez que o alcance de transmissão era o mesmo dos nodos comuns, seu envio de dados para o nodo sorvedouro era via caminhos *multi-hop*.

A partir do Cenário 4, além de exercer sensoriamento do ambiente, os nodos *cluster-head* participam de uma rede *overlay*, como descrita na Seção 3.

Os *cluster-heads* executavam a aplicação *overlay*, monitorando a rede à procura de rotas alternativas para transmissão. A Estação Rádio Base processava a informação de monitoração e as repassava para o restante da rede *overlay* via um único *hop*. De posse das estatísticas de rotas, os *cluster-heads* 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 cargo da ERB todo o processamento, geração e disseminação de estatísticas, assumimos que os nodos *overlay* possuíam um segundo rádio, utilizado para receber as estatísticas de rotas – tal premissa é razoável, pois consideramos que os *cluster-heads* possuem *hardware* mais poderoso. Desta forma, somente os *cluster-heads* escutariam as informações de monitoração, poupando assim os demais nodos do gasto de energia com o recebimento destas mensagens. Esta estratégia também possibilita o envio de informações de rotas para os nodos *overlay* com maior frequência, diminuindo o tempo de resposta da rede em situações de falhas de nodos.

## 4.2 Configuração

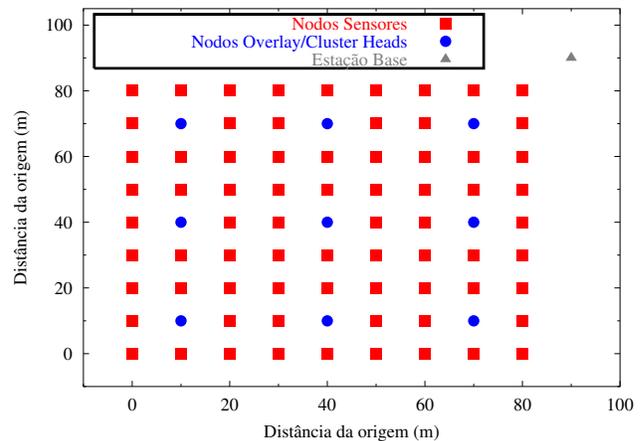


Figura 3: Topologia da rede simulada – 9 clusters.

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

Para que os nodos ainda possuísem energia ao final da simulação, atribuímos aos mesmos uma alta energia inicial. Desta

Parâmetro	Valor
Dimensão do <i>Grid</i>	90 x 90m
Número de sensores comuns	72
Número de <i>cluster-heads</i>	9
Distância entre nodos	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 802.11
Tempo de simulação	100s

Tabela 1: Parâmetros de Simulação.

forma, ocorreriam falhas 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. Verificamos a influência da monitoração da rede através de diversas métricas: (*hops*, pacotes, consumo de energia, confiabilidade, latência e *jitter*).

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

Assim como feito por D. Andersen em [2], optamos por ter dois vizinhos para cada nodo *overlay*. Estes vizinhos são escolhidos ao início da simulação de forma aleatória entre os nodos *overlay*, e são mantidos fixos até o final da mesma. Estipulamos que a Estação Rádio Base envia dados de atualização de melhores rotas para os nodos *overlay* a cada 1.5 segundos.

O sumário dos parâmetros da simulação pode ser visualizado pela Tabela 1.

### 4.3 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.
- Energia média gasta por *cluster-head*.
- Energia média gasta por nodo comum.
- Energia média gasta por nodos em geral.
- *Jitter* médio.
- Latência média.

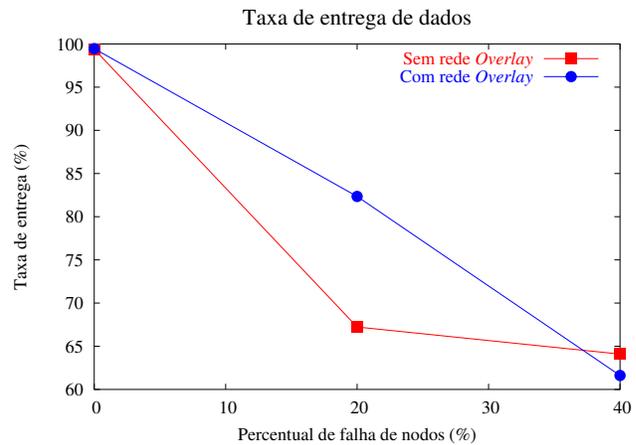


Figura 4: Taxa de entrega.

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

## 5 Resultados

A partir do comportamento das redes de sensores de todos os cenários listados em 4.2, e levando em consideração as métricas descritas em 4.3, foram obtidos os gráficos apresentados nesta seção.

O gráfico na Figura 4 apresenta a taxa de entrega para todos os cenários. As duas curvas dos gráficos correspondem aos cenários que instanciam ou não instanciam a rede *overlay*. No eixo *X* está representado o percentual de nodos que falharam durante a simulação. Já no eixo *Y* são descritas as taxas de entrega da aplicação de sensoriamento *Sensor Common* ⇒ *Estação Rádio Base* para os diversos cenários.

Pode ser observado que no cenário ideal, no qual nodos não falham, a rota padrão é capaz de entregar dados para a ERB

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 nodos da rede falham, o esquema provido pela RO é mais eficiente que o protocolo de roteamento – isto porque 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 razão de entrega volta a se igualar a de um cenário não monitorado. Isto porque uma vez que o esquema possibilita encontrar rotas alternativas, e não criá-las, diante de um alto índice de falhas mesmo rotas alternativas são quebradas.

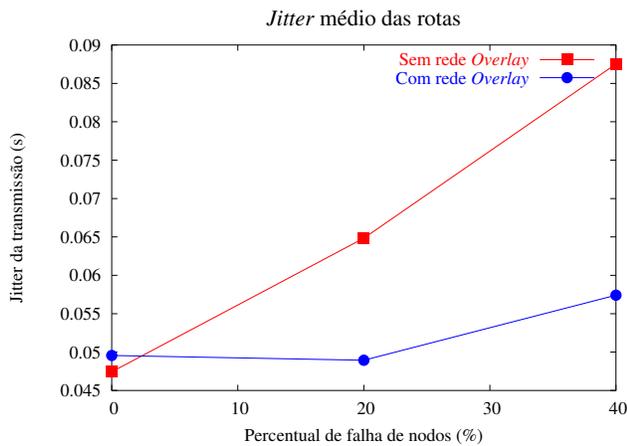


Figura 5: *Jitter* médio da rede.

Assim como a taxa de entrega, *jitter* e latência 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 com uma rede com *overlay* – cerca de 0.02s mais baixo. Contudo, com a introdução de 20% e 40% de falhas na rede, o esquema, 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 ERB. Em outras palavras, o aumento das falhas acarreta em uma diminuição de rotas para a Estação Rádio 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*.

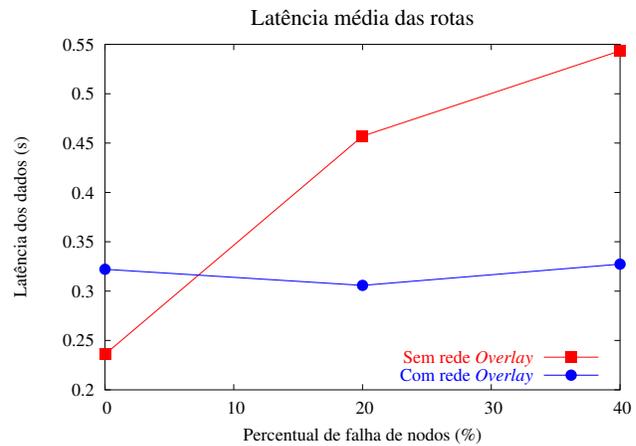


Figura 6: Latência média da rede.

Similarmente ao *jitter*, e devido às mesmas razões, a estratégia *overlay* obteve bons resultados em relação ao atraso de pacotes. Só que agora, 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), o atraso do cenário sem *overlay* é cerca de 28% menor. Este resultado, que era esperado, é em função do maior caminho que o pacote de dados percorre em direção à ERB quando a rede *overlay* é instanciada – neste cenário, o pacote é encaminhado para um nodo *overlay* intermediário, para então seguir para a Estação Rádio Base.

Visto os benefícios atingidos com a escolha de melhores rotas, apresentaremos a seguir gráficos de pacotes enviados e energia. 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 nodos *overlay* devem monitorar rotas que podem ter uma confiabilidade muito baixa, e assim possuem grande taxa de perda e retransmissão.

Os gráficos das Figuras 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, o consumo de energia dos *cluster-heads*, dos nodos comuns e a média dos mesmos para o ambiente ideal. Como esperado, o maior gasto de energia ficou concentrado nos *cluster-heads* – 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 26% maior de energia. Tal aumento ocorre devido ao envio dos

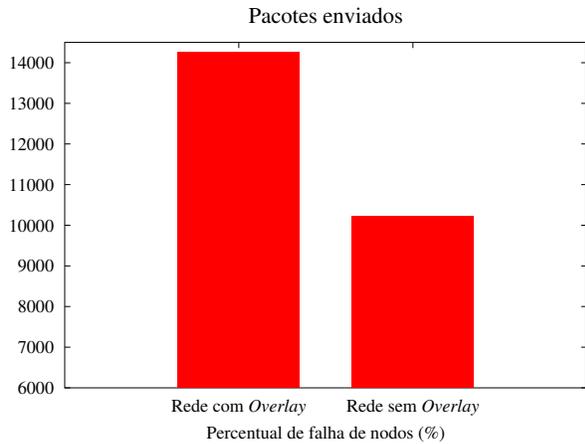


Figura 7: Pacotes enviados, para uma rede sem falhas.

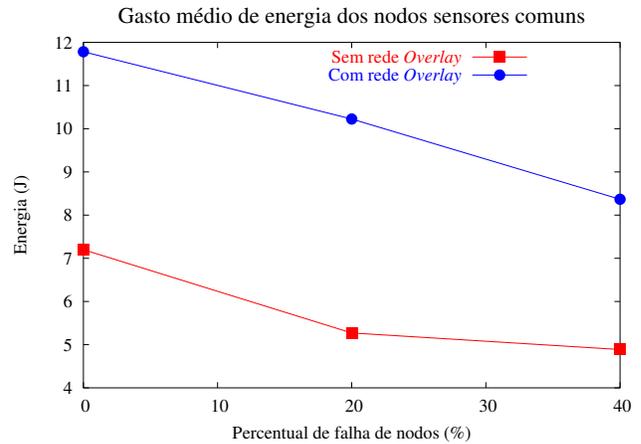


Figura 9: Gasto médio de energia dos nodos sensores comuns.

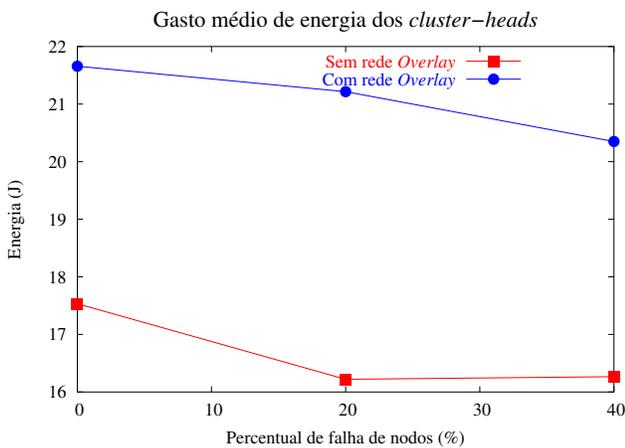


Figura 8: Gasto médio de energia dos nodos *cluster-heads*.

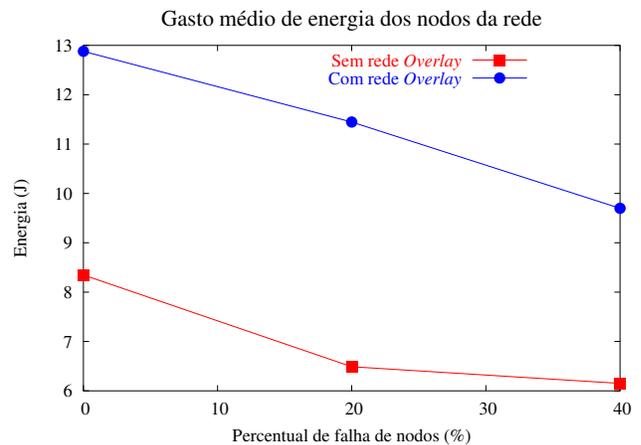


Figura 10: Gasto médio de energia dos nodos.

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 nodos da rede gastam mais energia roteando pacotes. Pode-se constatar pelos gráficos, também, que quanto maior o percentual de falha de nodos na rede, menor é o gasto de energia dos mesmos, pois os nodos que desempenham o papel de roteadores devem rotear uma menor quantidade de dados.

## 6 Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou, através de simulação, 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 projetos para serem escaláveis e consumirem poucos recursos, sejam computacionais ou energéticos, caminhos alternativos são desconsiderados. A estratégia proposta neste trabalho possibilitou incrementar a qualidade de métricas de rede como confiabilidade, latência e *jitter*, ao considerar estes caminhos alternativos. Além disso, o custo de energia e o número adicional de pacotes enviados demonstra sua viabilidade para aplicações com o foco em melhores métricas de rede. Em outras palavras, o maior custo de energia decorrente do uso de rede *overlay* pode ser considerado baixo e aceitável diante dos ganhos obtidos.

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 nodos *overlay*, levando em consideração suas posições no *grid*, bem como determinar o número de vizinhos ideal, pode aprimorar os resultados. Além disso, existe a possibilidade de aumentar o número de *hops overlay* que um pacote de dados percorre em direção à Estação Rádio 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.

## 7 Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 55.2111/2002-3.

## 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, 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. Avaliação de protocolos de roteamento de redes móveis ad hoc sob uma aplicação peer-to-peer. In *IV Workshop de Comunicação sem Fio e Computação Móvel*, pages 197–206, 2002.
- [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.
- [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.