

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REDES AD-HOC EM UM CENÁRIO TÍPICO DA REGIÃO AMAZÔNICA

M. Margalho, C. R. L. Francês, J. C. W. A. Costa
margalho@unama.br, rfrances@ufpa.br, jweyl@ufpa.br

Universidade Federal do Pará - Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica
Rua Augusto Corrêa, nº 1, Guamá, CP 8619, CEP 66075-900

RESUMO

A crescente demanda por dispositivos portáteis traz perspectivas de investimentos, cada vez maiores, na tecnologia *wireless*. Este artigo avalia o desempenho de uma rede *ad-hoc*, com base na tecnologia atual, diante de quatro protocolos de roteamento (DSR, TORA, AODV e DSDV), dois modelos de propagação de rádio (dois raios e sombreado) e dois protocolos de transporte (TCP - Transmission Control Protocol e UDP - User Datagram Protocol). A análise é feita através de simulação utilizando-se o *Network Simulator* e utiliza comparativos baseados em vazão, atraso, probabilidade de bloqueio, número de conexões estabelecidas e escalabilidade. O Cenário utilizado retrata uma região tropical característica da Amazônia brasileira.

Palavras-Chave: redes sem fio, *ad-hoc*, simulação, NS.

ABSTRACT

This article analyzes the viability of the application of a *ad-hoc* network for the medical services rendered in a typical scenery of the Amazonian area. There was evaluated the performance of a net *ad-hoc* with base in the current technology. Four routing protocols (DSR, LOG, AODV and DSDV) were used and two radio propagation models (Two-ray Ground and Shadowing) were tested. Furthermore, two transport protocols (TCP - Transmission Control Protocol and UDP - User Datagram Protocol) were involved in the process. The analysis is made through simulation using *Network Simulator* and it uses the performance measures based in throughput, delay, blockade probability, number of established connections and scalability.

Index Terms: wireless network, *ad-hoc*, simulation, NS.

1. INTRODUÇÃO

A investigação de soluções tecnológicas alternativas em regiões onde a infra-estrutura de comunicação é precária foi fator determinante na realização desta pesquisa. Diante de um cenário típico da região amazônica, a ilha do Marajó, avaliou-se o desempenho, através de simulação, de uma rede de computadores sem fio *ad-hoc*, comparando-se quatro protocolos de roteamento multiponto (DSR - *Dynamic Source Routing*, TORA -

Temporally-Ordered Routing Algorithm, AODV - *Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing* e DSDV - *Destination-Sequenced Distance-Vector*) diante de dois modelos de propagação de rádio (*Two Ray Ground* e *Shadowing*) [1]-[4]. O objetivo foi testar o comportamento da rede face uma gama de aplicações que poderiam variar desde a simples utilização no censo até um amplo programa de atendimento médico envolvendo um banco de dados distribuído e, eventualmente, suporte a conferências em situações mais específicas, como por exemplo, diante da necessidade de se compor uma junta médica em caráter emergencial.

2. REDES AD-HOC

As redes sem fio podem ser classificadas, quanto à sua infra-estrutura, como sendo independentes ou *ad-hoc* e infra-estruturadas [5]. Em redes infra-estruturadas, a área de cobertura é dividida em regiões menores que possuem pontos de acesso. Nesse caso, mesmo dois nós estando localizados a uma distância mínima um do outro, a transmissão entre ambos sempre se dará através do ponto de acesso. Geralmente os pontos de acesso são conectados por um *backbone* de alta velocidade, o que dá ao usuário uma garantia relativa de qualidade nos serviços. Já em redes *ad-hoc*, também referenciadas pelo IEEE como MANET (*Mobile Ad-hoc NETWORK*), nenhuma infra-estrutura é requerida [6]. Uma vez que todos os nós movem-se livremente, existe a necessidade de um trabalho colaborativo para que as transmissões cheguem além dos limites impostos pelos dispositivos de *hardware* e modelos de propagação. Nesse caso, ora um nó pode atuar como sendo um transmissor, ora como um receptor, ora como um roteador.

O fator mobilidade acaba por gerar um problema em redes *ad-hoc*: a sobrecarga de sinalização. Isso ocorre em função das mudanças dinâmicas e freqüentes na topologia da rede, podendo, inclusive, degradar o desempenho do sistema como um todo caso não haja um planejamento adequado.

2.1 Suporte à transmissão em redes *Ad-Hoc*

Um grande variedade de soluções envolvendo desde protocolos de roteamento e acesso ao meio, até modelos de propagação de rádio foi proposta para dar suporte a transmissões em redes *ad-hoc*. Entretanto, abordar-se-á, sucintamente, apenas aquelas utilizadas nos experimentos adiante relatados.

2.1.1 Padrão IEEE 802.11

Em função de suas limitações, as redes sem fio só podem, atualmente, ser associadas a redes do tipo LAN (Local Area Network).

Uma vez que o padrão que impera em redes locais cabeadas é o da família IEEE 802, a extensão desse modelo a redes sem fio foi uma tendência natural e consolidou-se em 1999 com o surgimento do padrão conhecido como IEEE 802.11 [7]. Foram especificadas as camadas *Wireless LAN Medium Access Control* (MAC), que padronizou o acesso ao meio através do protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), e *Physical Layer* (PHY), que proveu suporte aos modelos FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e infravermelho. [8]

A tabela 1 mostra as duas vertentes do padrão 802.11, a 802.11a e 802.11b que estenderam a velocidade inicialmente limitada em 5Mbps para 54Mbps [7].

Tabela 1. Padrões da Família IEEE 802.11

Padrão	Frequência	Velocidade
802.11	914 MHz	5 Mbps
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps

2.1.2 Protocolos de roteamento

Basicamente os protocolos de roteamento *ad-hoc* atuam de duas formas. Na primeira delas, também conhecida como pro-ativa ou *table-driven*, uma série de tabelas são mantidas, em cada um dos nós, contendo as diversas rotas disponíveis. Como vantagem, pode-se citar o rápido descobrimento das rotas. Em contra partida, há uma sobrecarga na rede causada pela atualização periódica dessas tabelas. Dentre os protocolos avaliados, o DSDV se enquadra nessa categoria. Na Segunda forma, também conhecida como reativa ou *on-demand*, as rotas são descobertas sob demanda o que minimiza a sobrecarga na rede. Todavia o tempo para descobrimento de rotas é maior. Dentre os protocolos avaliados, o DSR, o TORA e o AODV se enquadram nessa categoria [5].

Considerou-se que os nós móveis são dispositivos portáteis como *notebooks* e, portanto, funcionam a partir de uma bateria. Assim, economia de energia deve ser ponderada como sendo um fator de alta relevância e, nesse quesito, os protocolos reativos são mais eficientes por só enviarem dados de controle quando realmente se fizer necessário.

2.1.3 Modelos de propagação de rádio

Considerando-se o aspecto mobilidade, diferentes situações podem ocorrer em uma rede *ad-hoc*. Em certos momentos os nós podem estar transmitindo sem nenhum obstáculo

entre eles, o que é uma situação ideal. Em outros, porém, diversos obstáculos podem tornar a transmissão mais difícil requerendo modelos de propagação de rádio mais específicos.

Para tornar as avaliações mais consistentes, dois modelos de propagação foram investigados: o modelo de dois raios ou *two-ray ground* e o modelo de sombreamento ou *shadowing*. O modelo *two-ray ground*, representado na Eq. 1, considera que as antenas, transmissora e receptora, estejam localizadas sobre uma superfície plana, sem que haja obstáculos entre elas [9].

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (1)$$

Já o modelo *shadowing*, representado na Eq. 2, considera a existência de várias obstruções no percurso do sinal.

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

Onde P_t e P_r são as potências, G_t e G_r os ganhos, h_t e h_r as alturas das antenas e d é a distância entre transmissor e receptor respectivamente. β é chamado de *path loss exponent* e utiliza por convenção as seguintes medidas: 2 dB para espaço livre e de 2.7 a 5 dB para ambientes *outdoor* com obstrução. L é o fator de perda (adotou-se $L=1$) conforme sugerido em [10].

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A opção pelo uso de simulação no processo de avaliação de desempenho deu-se principalmente em função de dois aspectos: o alto custo envolvendo a aquisição de equipamentos para um conjunto de aferições *in loco* e a disponibilidade de um simulador bastante conceituado no meio acadêmico, com suporte a redes móveis, o Network Simulator (NS).

3.1 O simulador NS

Desenvolvido a partir do projeto VINT (Virtual InterNetwork Testbed), o NS é um simulador discreto, orientado a eventos [10], com suporte a uma ampla variedade de pesquisas que abrangem, dentre outros, a pilha de protocolos TCP-IP, redes locais, redes de grande abrangência (WANs) e redes baseadas em satélite. O fato de todo o código fonte ser aberto e gratuito, tem atraído diversos pesquisadores que, com suas contribuições, têm tornado o simulador mais robusto e confiável. Uma dessas contribuições, feita pelo grupo Monarch da universidade de Carnegie Mellon [11], foi responsável pela incorporação do módulo de redes móveis ao NS. Uma ferramenta de apoio denominada NAM (*Network Animator*) permite o

acompanhamento da simulação através de uma interface gráfica. A avaliação dos resultados ocorre a partir de uma análise em um arquivo de *trace* gerado no decorrer do processo.

A versão utilizada para a obtenção dos resultados deste trabalho foi a 2.1b9a, disponibilizada em agosto de 2002 [10]. O sistema operacional utilizado foi o conectiva linux versão 8.0 instalado com kernel versão 2.4.

3.2 Cenário

O cenário proposto retrata uma área típica da região amazônica caracterizada por uma série de canais estreitos com solo de argila, sujeito a constante alagamento, o que dificulta a instalação de uma infra-estrutura fixa. Nesse contexto, onde se pode encontrar tanto áreas descampadas quanto vegetação de floresta, avaliou-se a rede considerando os dois modelos de propagação de rádio descritos na seção 2.1.3.

3.3 Simulação

Para efeito de simulação considerou-se uma situação fictícia de atendimento médico envolvendo 30 (trinta) nós, representando os agentes de saúde, movimentando-se a uma velocidade média de 20 km/h. O deslocamento ocorre em pequenos barcos, dispersos, aleatoriamente, em uma área de um quilômetro quadrado. A comunicação entre os nós se dá com base no padrão IEEE 802.11b e envolve uma situação de transferência de arquivos, representada por fluxos FTP (File Transfer Protocol), para caracterizar um serviço confiável, orientado à conexão, que reflita a situação descrita. Para avaliar a escalabilidade da rede, o experimento foi reproduzido com 50 (cinquenta) nós. Uma vez avaliados os resultados, o protocolo de melhor desempenho foi reproduzido utilizando-se fluxos CBR (Constant Bit Rate) por caracterizarem melhor o tráfego multimídia, que daria suporte à realização das conferências.

O processo de avaliação ocorre em um período de 400 unidades de simulação, onde uma unidade de simulação é considerada como sendo um segundo. Nenhum fluxo de dados foi transmitido no período de *warm-up* para que a atualização inicial das tabelas de roteamento não compromettesse os resultados [12].

3.4 Geração de tráfego e mobilidade dos nós

Tanto a geração de fluxos de tráfego, quanto a mobilidade dos nós, basearam-se em uma distribuição estatística do tipo *Random Waypoint Mobility* proposta para modelos de redes sem fio ad-hoc por [13]. Ambas foram criadas a partir de *scripts* obtidos na distribuição do NS referenciada como *all-in-one* [10]. Em cada simulação, tenta-se estabelecer quinze conexões aleatórias entre os diversos nós.

Para certificar maior consistência aos resultados, o experimento foi repetido por 5 vezes, com variação da semente utilizada na geração do arquivo de tráfego. As médias das medidas de desempenho utilizadas, com seus respectivos intervalos de confiança, apresentam-se discriminados nas tabela 2 e 3.

Tabela 2 – Vazão Média em Mbps

Vazão	Protocolo	Vazão Média
<i>Two-Ray</i> (FTP) para 30 nós	DSR	0,0438 ± 0,0279
	TORA	0,0350 ± 0,0276
	AODV	0,0246 ± 0,0192
	DSDV	0,1118 ± 0,0889
<i>Two-Ray</i> (FTP) para 50 nós	DSR	0,0224 ± 0,0193
	TORA	0,0487 ± 0,0311
	AODV	0,0303 ± 0,0158
	DSDV	0,0542 ± 0,0313
<i>Shadowing</i> (FTP) Para 30 nós	DSR	0,0077 ± 0,0688
	TORA	0,0028 ± 0,2811
	AODV	0,0749 ± 0,0476
	DSDV	0,1156 ± 0,0525
<i>Shadowing</i> (FTP) Para 50 nós	DSR	0,0049 ± 0,0996
	TORA	0,0442 ± 0,0224
	AODV	0,0313 ± 0,0266
	DSDV	0,0828 ± 0,0528
<i>Two-Ray</i> (CBR) Para 50 nós	DSDV	0,0012 ± 0,0001
<i>Shadowing</i> (CBR) Para 50 nós	DSDV	0,0007 ± 0,0001

Tabela 3 - Atraso médio dos fluxos em segundos

Atraso	protocolo	Atraso Médio
<i>Two-Ray</i> (FTP) para 30 nós	DSR	2,6065 ± 1,9446
	TORA	2,1414 ± 3,3799
	AODV	0,6915 ± 1,0370
	DSDV	0,2796 ± 37,9255
<i>Two-Ray</i> (FTP) para 50 nós	DSR	1,2348 ± 2,4017
	TORA	1,3202 ± 7,4593
	AODV	0,5215 ± 0,1211
	DSDV	0,5171 ± 0,2314
<i>Shadowing</i> (FTP) para 30 nós	DSR	4,0573 ± 9,2826
	TORA	7,0280 ± 92,3513
	AODV	0,1772 ± 0,0859
	DSDV	0,2584 ± 0,0464
<i>Shadowing</i> (FTP) Para 50 nós	DSR	7,3388 ± 14,0554
	TORA	3,7042 ± 32,9762
	AODV	0,2964 ± 1,5283
	DSDV	0,6564 ± 13,2304
<i>Two-Ray</i> (CBR) para 50 nós	DSDV	0,0510 ± 0,2959
<i>Shadowing</i> (CBR) para 50 nós	DSDV	0,0294 ± 0,2849

Deve-se ressaltar que, no caso de fluxos CBR, que caracterizam melhor as aplicações multimídia, o experimento foi reproduzido somente para o protocolo DSDV com 50 nós, justamente por ter obtido nas simulações o melhor desempenho em transmissões que

requerem maior confiabilidade para dados, ou seja, as baseadas no protocolo de transporte TCP.

3.5 Parâmetros utilizados

Considerou-se que cada agente de saúde portava um notebook equipado com um adaptador Lucent WaveLan (Orinoco) [14]. Os parâmetros utilizados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros utilizados na simulação

Parâmetro	Valor	Unidade
Limiar de Captura	10.0	db
Limiar de Carrie Sense	1.559×10^{-11}	W
Limiar de Potência de Recepção	3.653×10^{-10}	W
Largura de Banda	2×10^6	bps
Potência de Transmissão	0.2818	W
Frequência	2.4×10^9	Hz
Antena Omni direcional	1.5 (altura)	M
Para Sombreamento (Shadowing)		
Desvio Shadowing (σ)	10	dB
PathlossExp (β)	5	-

4. RESULTADOS OBTIDOS

Foram avaliadas as médias dos parâmetros vazão, atraso, probabilidade de bloqueio (representada pela razão entre o número de pacotes descartados e o número de pacotes enviados) e descarte, além da escalabilidade e do número de conexões efetivamente estabelecidas. Também se estabeleceu um comparativo entre as aplicações FTP e CBR para o protocolo de melhor desempenho. [15]

A fig. 1 mostra o gráfico da vazão média fim a fim dos quatro protocolos analisados diante dos modelos de propagação de radio *two ray ground* e *shadowing*. Pôde-se observar que o melhor desempenho ocorreu no protocolo pro-ativo DSDV. Neste caso, a atualização periódica das tabelas de rotas contribuiu significativamente para um melhor desempenho. Isso se deve principalmente à mudança constante na topologia da rede em função do caráter mobilidade, o que altera com bastante frequência as rotas entre transmissores e receptores.

Vazão Média de Fluxos TCP

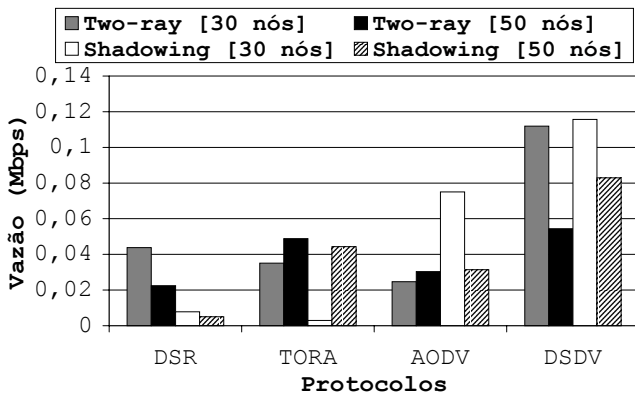


Figura 1. Vazão Média de Fluxos FTP

O gráfico mostrado na fig. 2 apresenta o comparativo de vazão média entre os fluxos FTP e CBR para o protocolo DSDV. O gráfico mostra que diante da necessidade de uma conferência, o resultado não seria satisfatório uma vez que os níveis de vazão observados estão muito aquém das taxas utilizadas nas transmissões desses fluxos que foram na ordem de 0,384 Mbps. Isso acontece porque a probabilidade de bloqueio no sistema é muito alta, como é mostrado no gráfico da fig. 6.

Vazão Média (FTP x CBR)

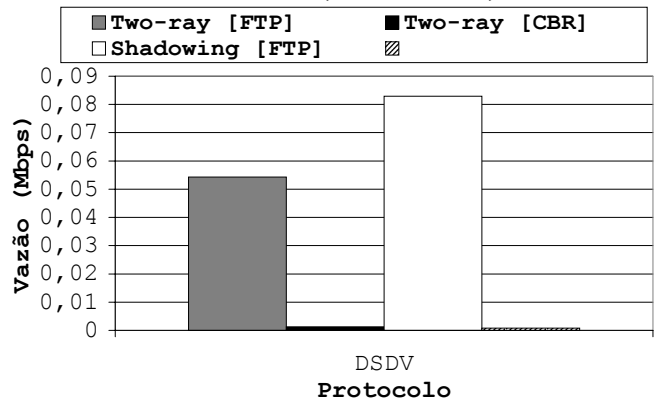


Figura 2. Vazão Média com 50 nós

Outra medida avaliada, o atraso médio fim a fim, pode ser observada no gráfico da fig. 3. Novamente o melhor desempenho obtido está associado ao protocolo DSDV, o qual possui o menor atraso.

Atraso Médio fim a fim (TCP)

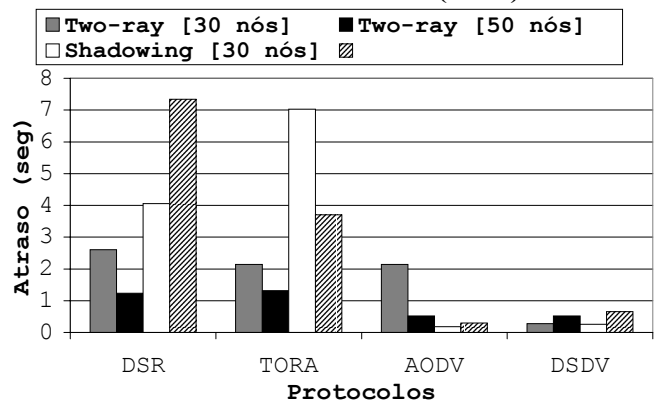


Figura 3. Atraso Médio

Como o atraso é um fator de relevância para este experimento, ele implica diretamente na viabilidade das operações de conferência que, eventualmente, poderiam ser requeridas, não tivesse a vazão desses fluxos sido tão comprometida pelas altas taxas de descarte. O gráfico da fig. 4, mostra um comparativo entre os atrasos de fluxos FTP e CBR avaliados no protocolo DSDV. Pode-se verificar que no caso de fluxos CBR, o atraso médio se mantém abaixo do limite tolerável por aplicações multimídia, ou seja, trezentos milissegundos [16].

Atraso Médio (FTP x CBR)

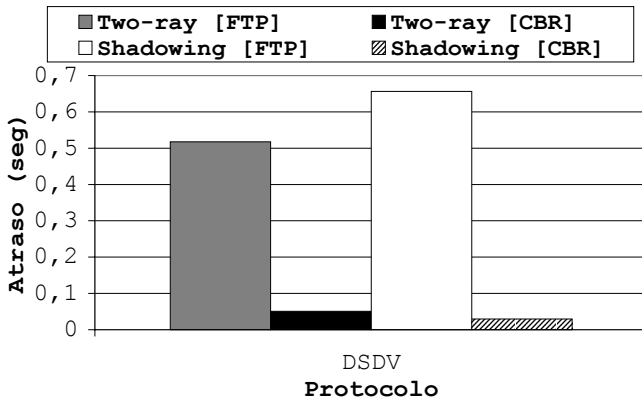


Figura 4. Atraso Médio com 50 nós

O gráfico da fig. 5 mostra a probabilidade de bloqueio. Observa-se nessa figura que o pior desempenho na entrega de pacotes ocorre nos protocolos DSR e TORA, justamente nas transmissões que se baseiam no modelo *shadowind*. O percentual de pacotes não entregues chega próximo aos 90% no modelo shadowing com 30 nós.

Probabilidade de Bloqueio

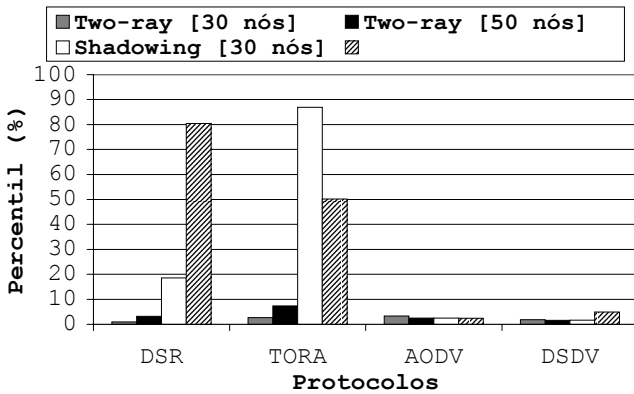


Figura 5. Probabilidade de Bloqueio (FTP)

O gráfico da fig. 6 apresenta o comparativo entre fluxos FTP e CBR para a probabilidade de bloqueio. Podem-se observar as altíssimas taxas nos fluxos CBR.

Probabilidade de Bloqueio (FTP x CBR)

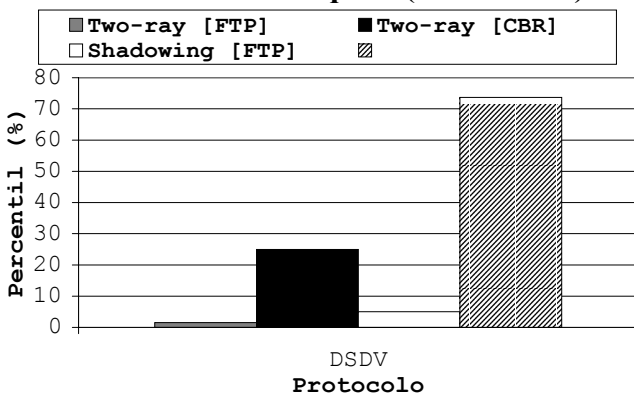


Figura 6. Probabilidade de Bloqueio (FTPxCBR)

Analisando o descarte de pacotes, através do gráfico da fig. 7, pode-se observar que o protocolo com as mais elevadas taxas é o AODV.

Pacotes Descartados

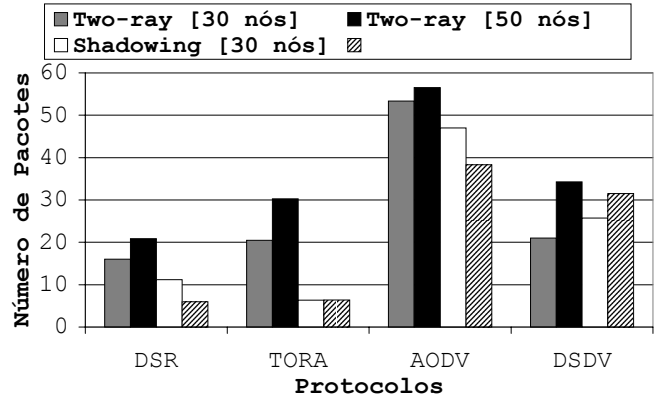


Figura 7. Descartes em fluxos FTP

O número de conexões efetivamente estabelecidas, em um universo de quinze, estão apresentadas na fig. 8.

Pode-se observar que nenhum dos quatro protocolos avaliados neste trabalho obteve êxito pleno no estabelecimento das conexões. Neste item, o protocolo AODV obteve os melhores resultados.

Conexões Estabelecidas

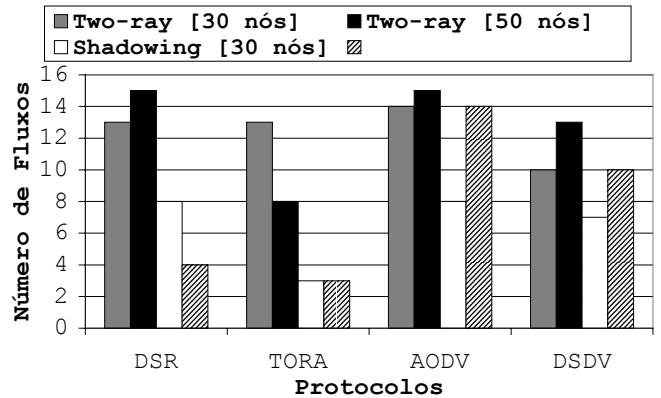


Figura 8. Conexões FTP

Os códigos de todos os experimentos realizados neste trabalho estarão a disposição dos interessados em analisá-los. Para obtê-los basta enviar um email para o autor.

5. CONCLUSÃO

Apesar da constatação de uma evolução significativa, a tecnologia de redes *wireless* ainda carece de soluções que viabilizem aplicações importantes, como as de multimídia, para poder se consolidar definitivamente no mercado. Os resultados dos diversos experimentos realizados, apontam para a viabilidade técnica dessa solução na transmissão de dados convencionais. Todavia, a utilização de áudio e vídeo nesse segmento de rede requer mecanismos específicos, como os de QoS (*Quality of Service*) por exemplo, assim como protocolos mais eficientes de roteamento. No cenário investigado, a susceptibilidade da mídia de transmissão a constantes interferências, aliada à movimentação dos nós, inviabiliza a realização de conferências. Todavia o serviço de dados mostra-se aceitável. Esse serviço poderia vir a consolidar projetos sociais que permitiriam à população ribeirinha da Amazônia, por exemplo, o agendamento, em suas próprias casas, de possíveis cirurgias ou exames específicos a partir das visitas periódicas dos agentes de saúde, bastando para tanto uma rede wireless interligada ao Sistema Único de Saúde (SUS).

Aumentar a quantidade de nós poderia viabilizar mais opções de roteamento, o que minimizaria o problema do estabelecimento de conexões. Em contra partida isso poderia gerar mais atraso em uma rede onde esse fator já é crítico. Aliado a esse problema, causa preocupação a excessiva carga de sinalização dos protocolos. Tudo isso converge para a necessidade premente de se desenvolver um projeto bem consistente.

A evolução do padrão 802.11 e a perspectiva de incorporar suporte de QoS a esse padrão, indicam uma clara tendência à superação dessas dificuldades. A investigação de novas propostas, tanto de hardware, quanto de software, deverá definir, nos próximos anos, os rumos que poderão caracterizar uma verdadeira revolução no processo de comunicação atual, principalmente em cenários atípicos como é o caso da floresta Amazônica.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Johnson, D.; Maltz, D., "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [2] Perkins, C.; Royer, E., "Ad-hoc On Demand Distance Vector Routing," Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, New Orleans, LA, 1999.
- [3] V. Park and S. Corson, Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 Functional Specification, corson-draft-ietf-manet.tora-spec-00.txt, IETF, Internet draft, 1997.
- [4] C.E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", Computer Communications Review, 1994.
- [5] Lough, Daniel; Blankenship, Keith; Krizman, Kevin; "A Short Tutorial on Wireless LANs and IEEE 802.11". The Bradley Department of Electrical and Computer Engineering & Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.
- [6] MANET Group, "Mobile Ad Hoc Networks (MANET)", <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [7] IEEE Standard 802.11a; "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) Specifications; 1999
<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [8] Tanenbaum, A. S.; "Computer Networks", Prentice Hall PTR, 3rd edition. ISBN: 0-13-349945-6.
- [9] Faruque, Saleh; "Cellular Mobile System Engineering" Artech House, Inc., Norwood, 1996.
- [10] Fall, K.; Varadhan, K.; "The NS Manual"; Network Simulator 2.1b9a, VINT Project; 2002
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [11] Monarch Project, Mobile Networking Architectures, <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>
- [12] MacDougall, M. H.; "Simulating Computer System Techniques and Tools", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1987.
- [13] Bettstetter, Christian; Resta, Giovanni; Paolo, Santi; "The Node Distribution of the Random Waypoint Mobility Model for Wireless Ad Hoc Networks", Mobicom, 1998.
- [14] WaveLAN, ORiNOCO Products, <http://www.wavelan.com>
- [15] Corson, S.; Macker, J.; "Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations"; RFC 2501, 1999.
- [16] Tobagi, F.; "Issues Underlying Supporting Multimedia Applications in IEEE 802.11"; 1995.