

Marcos Flávio de Oliveira

**Um Estudo Sobre o Consumo de Energia na Comunicação de
Dados em Redes Móveis Ad-hoc**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Belo Horizonte

30 de Junho de 2003

Trabalho, Trabalho, Trabalho...

Não duvidemos disso.

Em todas as situações e em todas as condições o trabalho é a nossa frente.

O caminho é trabalho.

A condução é trabalho.

O companheiro é trabalho.

A palavra é trabalho.

O roteiro é trabalho.

O sinal é trabalho.

O alimento é trabalho.

A esperança é trabalho.

O auxílio é trabalho.

A mensagem é trabalho.

A meta é trabalho.

Se as dificuldades aumentam – mais trabalho. Se a calúnia aparece – trabalho maior.

Se o desencanto chega – busquemos trabalho. Se o desalento ameaça – recorramos ao trabalho.

No repouso preciso guardemos a prece por trabalho e a meditação por trabalho, no refazimento do corpo mentalizemos trabalho, e na solução de todos os problemas tomemos o trabalho por solução.

Trabalho no bem puro e simples, trabalho de paciência, trabalho de humildade, trabalho de luz.

Tudo trabalha...

Estrelas, mundos, seres e coisas trabalham e trabalham. Console-nos o trabalho, meu irmão!

Disse Jesus: - “Meu Pai trabalha até hoje e eu trabalho também”.

Guardemos, pois, fé e alegria, paz e bom ânimo e trabalhemos sempre.

Francisco Cândido Xavier - Batuíra

Resumo

Esta dissertação situa-se no contexto das Redes Móveis Ad-hoc ou MANET's (*Mobile Ad-hoc Network*). Este tipo de rede é formado por unidades móveis que podem movimentar arbitrariamente e comunicar entre si independentemente de qualquer infra-estrutura física de comunicação ou administração centralizada.

O objetivo é avaliar o consumo de energia na comunicação de dados em MANET's, tratando cenários gerais, nos quais seria possível a utilização desse tipo de rede. Com isso são abrangidos três pontos críticos de uma MANET, que são o consumo de energia, o roteamento e a transmissão de dados.

A avaliação é feita em relação à camada de rede, às camadas inferiores e à interação entre elas. São utilizados o padrão IEEE 802.11, o esquema de controle de energia GAF e os protocolos de roteamento AODV, DSR, TORA, DSDV e HGPS. É realizada uma análise qualitativa e quantitativa. Para tal são utilizadas simulações.

Abstract

This dissertation deals with MANET's (*Mobile Ad-hoc Network*). This kind of network is composed of mobile units with no movement restriction, communicate among themselves independent of a fixed infrastructure and do not rely on a centralized entity.

The goal of this work is to evaluate the energy consumption of data communication in MANET's, considering possible scenarios where this network could be employed. We study three important aspects of a MANET: energy consumption, routing, and data transmission.

The evaluation is performed considering the network layer and its lower layers, and the interaction between them. Are used the standard IEEE 802.11, the energy consumption schema GAF and the routing protocols AODV, DSR, TORA, DSDV and HGPS. We conduct both qualitative and quantitative analyzes through simulations.

Agradecimentos

Muitos colaboraram para a realização desse estudo. Agradeço principalmente a Deus pela oportunidade de trabalho e desenvolvimento intelectual. A Jesus Cristo pelo seu exemplo de humildade, persistência e paz ante as situações de dificuldade tão grandes pelas quais passou. A espiritualidade amiga e companheira incansável pelo auxílio indispensável em todos os campos da minha vida. A minha mãe Maria de Lourdes, cujo amor, carinho, apoio moral e guloseimas foram importantíssimos, e minha noiva Ana Cristina pelo companheirismo e amor que fizeram essa etapa tão boa e engrandecedora.

Agradeço especialmente também ao meu orientador, Antonio Alfredo Loureiro, que com sua simplicidade e receptividade, dedicou do seu tempo e enorme conhecimento para que o trabalho pudesse ser feito. Ele foi indispensável para a realização do mesmo.

Ao Departamento de Ciência da Computação da UFMG pelo profissionalismo reto e pelo auxílio flexível nas questões extraordinárias. Em especial ao professor Virgílio A. F. Almeida, meu orientador inicial, e as secretárias Renata e Emília, pela atenção a tantas solicitações.

A todo o pessoal do Grupo de Estudos de Redes Móveis Ad-hoc (GEDOC) pelas oportunidades de discussão e pelas muitas dúvidas esclarecidas.

Aos colegas da UFMG Emanuel Romano, João Sarubbi, Vinícius, Wagner Freitas pelo especial auxílio e companheirismo em todo o mestrado. Também à Isabela, Leonardo Barbosa, Rainer, Rabelo e Renan, pelas valiosas dicas e paciência com minhas inúmeras dúvidas.

À Marília e Dênio do CDTN/CNEN pelo apoio.

A CAPES e CNPq pela bolsa que recebi em praticamente todo o trabalho.

A meu pai Manoel, minha avó Maria Joana, toda minha família, meus amigos de Pará de Minas, Ouro Preto e Belo Horizonte por suas contribuições pessoais.

Sumário

RESUMO	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMENTOS	5
SUMÁRIO	6
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	11
1.1 REDES MÓVEIS AD-HOC	11
1.2 MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS	13
1.3 TRABALHOS RELACIONADOS	14
1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	16
CAPÍTULO 2 - CAMADAS INFERIORES	17
2.1 CAMADA FÍSICA	17
2.2 CAMADA DE ENLACE.....	17
2.3 IEEE 802.11	18
2.3.1 <i>Arquitetura</i>	20
2.3.2 <i>Serviços</i>	22
2.3.3 <i>Camada Física</i>	23
2.3.4 <i>Subcamada MAC</i>	23
Distributed Coordination Function (DCF).....	24
Virtual Carrier Sense	24
2.3.5 <i>Gerenciamento das Camadas</i>	25
Gerenciamento de Energia.....	25
CAPÍTULO 3 - CAMADA DE REDE.....	28
3.1 INTRODUÇÃO.....	28
3.2 DESTINATION-SEQUENCED DISTANCE-VECTOR (DSDV).....	29
3.2.1 <i>Propriedades</i>	30
3.3 AD-HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR (AODV).....	30
3.3.1 <i>Propriedades</i>	32
3.4 DYNAMIC SOURCE ROUTING (DSR).....	32
3.4.1 <i>Protocolo de Descobrimto de Rotas</i>	33
3.4.2 <i>Manutenção de Rotas</i>	34
3.4.3 <i>Propriedades</i>	34
3.5 TEMPORALLY-ORDERED ROUTING ALGORITHM (TORA).....	34
3.5.1 <i>Propriedades</i>	36
3.6 HIERARCHICAL GPS-BASED ALGORITHM (HGPS).....	37
3.6.1 <i>Propriedades</i>	39
3.7 ROTEAMENTO BASEADO NO CONSUMO DE ENERGIA.....	40
3.7.1 <i>Geographical Adaptive Fidelity (GAF)</i>	40
3.7.2 <i>Outros Esquemas</i>	41
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA	43
4.1 O SIMULADOR	43
4.2 AMBIENTE COMPUTACIONAL UTILIZADO.....	43
4.3 MÉTRICAS	44
4.4 CENÁRIOS.....	44
4.4.1 <i>Cenário Padrão</i>	45
Canal de Comunicação	45

Modelo de Propagação de Rádio	45
Interface de Rede	46
Antena.....	46
Subcamada MAC.....	46
Subcamada de Controle Lógico do Enlace	46
Modelo de Consumo de Energia.....	47
Topologia e Mobilidade.....	48
Tráfego.....	48
Protocolo de Roteamento.....	49
4.4.2 <i>Variação do Número de Nós</i>	49
4.4.3 <i>Variação da Mobilidade</i>	49
4.4.4 <i>Variação do Tráfego</i>	50
4.4.5 <i>Variação do Alcance</i>	50
4.5 PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO.....	50
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	51
5.1 SIMULAÇÕES DO CENÁRIO PADRÃO	51
5.1.1 <i>Análise do Consumo de Energia</i>	51
5.1.2 <i>Análise do Tráfego</i>	54
5.1.3 <i>Comentários</i>	57
5.2 VARIAÇÃO DO NÚMERO DE NÓS.....	58
5.2.1 <i>Análise do Consumo de Energia</i>	58
5.2.2 <i>Análise do Tráfego</i>	62
5.2.3 <i>Comentários</i>	66
5.3 VARIAÇÃO DA MOBILIDADE.....	67
5.3.1 <i>Análise do Consumo de Energia</i>	67
5.3.2 <i>Análise do Tráfego</i>	71
5.3.3 <i>Comentários</i>	75
5.4 VARIAÇÃO DO TRÁFEGO	76
5.4.1 <i>Análise do Consumo de Energia</i>	76
5.4.2 <i>Análise do Tráfego</i>	80
5.4.3 <i>Comentários</i>	83
5.5 VARIAÇÃO DO ALCANCE.....	84
5.5.1 <i>Análise do Consumo de Energia</i>	84
5.5.2 <i>Análise do Tráfego</i>	87
5.5.3 <i>Comentários</i>	91
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....	93
6.1 <i>Comparação com os Resultados de Outros Trabalhos</i>	94
6.2 <i>Trabalhos Futuros</i>	95
GLOSSÁRIO.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

Lista de Tabelas

Tabela 5.1: Energia total consumida no cenário padrão.....	53
Tabela 5.2: Tráfego de mensagens no cenário padrão.....	55
Tabela 5.3: Tráfego de bytes no cenário padrão.....	55
Tabela 5.4: Sobrecarga de mensagens de roteamento no cenário padrão.....	56
Tabela 5.5: Sobrecarga de bytes de roteamento no cenário padrão.....	56
Tabela 5.6: Energia total consumida com a variação do número de nodos.....	61
Tabela 5.7: Tráfego de mensagens com a variação do número de nodos.....	63
Tabela 5.8: Tráfego de bytes com a variação do número de nodos.....	63
Tabela 5.9: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do número de nodos.....	64
Tabela 5.10: Tráfego de bytes normalizado com a variação do número de nodos.....	64
Tabela 5.11: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do número de nodos.....	65
Tabela 5.12: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do número de nodos.....	66
Tabela 5.14: Tráfego de mensagens com a variação da mobilidade.....	72
Tabela 5.15: Tráfego de bytes com a variação da mobilidade.....	72
Tabela 5.16: Tráfego de mensagens normalizado com a variação da mobilidade.....	73
Tabela 5.17: Tráfego de bytes normalizado com a variação da mobilidade.....	73
Tabela 5.18: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação da mobilidade.....	74
Tabela 5.19: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação da mobilidade.....	75
Tabela 5.21: Tráfego de mensagens com a variação do tráfego.....	80
Tabela 5.22: Tráfego de bytes com a variação do tráfego.....	81
Tabela 5.23: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do tráfego.....	82
Tabela 5.24: Tráfego de bytes normalizado com a variação do tráfego.....	82
Tabela 5.25: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do tráfego.....	83
Tabela 5.26: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do tráfego.....	83
Tabela 5.28: Tráfego de mensagens com a variação do alcance.....	88
Tabela 5.29: Tráfego de bytes com a variação do alcance.....	88
Tabela 5.30: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do alcance.....	89
Tabela 5.31 Tráfego de bytes normalizado com a variação do alcance.....	89
Tabela 5.32: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do alcance.....	90
Tabela 5.33: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do alcance.....	91

Lista de Figuras

Figura 1.1: MANET.	12
Figura 2.1: Família de padrões IEEE 802.	19
Figura 2.2: Camadas do padrão IEEE 802.11.	19
Figura 2.3: Quadro MAC.	20
Figura 2.4: Componentes da arquitetura IEEE 802.11.	21
Figura 2.5: Arquitetura lógica de uma IBSS.	23
Figura 2.6: Gerenciamento de energia em um conjunto independente.	26
Figura 3.1: Requisição de rota no AODV.	32
Figura 3.2: Resposta de rota no AODV.	32
Figura 3.3: Requisição de rota no DSR.	33
Figura 3.4: Resposta de rota no DSR.	34
Figura 3.5: Criação de rota no TORA.	36
Figura 3.6: Manutenção de rota no TORA.	36
Figura 3.7: Recrutamento de servidores de localização para o nodo B.	39
Figura 3.8: Duas possíveis consultas de A para B.	39
Figura 3.9: Exemplo de rede com grades virtuais do GAF.	40
Figura 3.10: Estados do nodo em relação ao GAF.	41
Figura 5.1: Consumo de energia em função do tempo do cenário padrão.	52
Figura 5.2: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos do cenário padrão.	52
Figura 5.3: Energia total consumida no cenário padrão.	53
Figura 5.4: Tráfego de mensagens no cenário padrão.	55
Figura 5.5: Tráfego de bytes no cenário padrão.	55
Figura 5.6: Sobrecarga de mensagens de roteamento no cenário padrão.	55
Figura 5.7: Sobrecarga de bytes de roteamento no cenário padrão.	55
Figura 5.8: Consumo de energia em função do tempo para PAD1.	59
Figura 5.9: Consumo de energia em função do tempo para PAD2.	59
Figura 5.10: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAD1.	60
Figura 5.11: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAD2.	60
Figura 5.12: Energia total consumida com a variação do número de nodos.	61
Figura 5.13: Tráfego de mensagens com a variação do número de nodos.	62
Figura 5.14: Tráfego de bytes com a variação do número de nodos.	62
Figura 5.15: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do número de nodos.	63
Figura 5.16: Tráfego de bytes normalizado com a variação do número de nodos.	63
Figura 5.17: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do número de nodos.	65
Figura 5.18: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do número de nodos.	65
Figura 5.19: Consumo de energia em função do tempo para PAM1.	68
Figura 5.20: Consumo de energia em função do tempo para PAM2.	68
Figura 5.21: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAM1.	69
Figura 5.22: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAM2.	69
Figura 5.23: Energia total consumida com a variação da mobilidade.	70
Tabela 5.13: Energia total consumida com a variação da mobilidade.	70
Figura 5.24: Tráfego de mensagens com a variação da mobilidade.	71
Figura 5.25: Tráfego de bytes com a variação da mobilidade.	71
Figura 5.26: Tráfego de mensagens normalizado com a variação da mobilidade.	72
Figura 5.27: Tráfego de bytes normalizado com a variação da mobilidade.	72
Figura 5.28: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação da mobilidade.	74
Figura 5.29: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação da mobilidade.	74
Figura 5.30: Consumo de energia em função do tempo para PAT1.	77
Figura 5.31: Consumo de energia em função do tempo para PAT2.	77
Figura 5.32: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAT1.	78
Figura 5.33: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAT2.	78
Figura 5.34: Energia total consumida com a variação do tráfego.	79
Tabela 5.20: Energia total consumida com a variação do tráfego.	79
Figura 5.35: Tráfego de mensagens com a variação do tráfego.	80
Figura 5.36: Tráfego de bytes com a variação do tráfego.	80
Figura 5.37: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do tráfego.	81
Figura 5.38: Tráfego de bytes normalizado com a variação do tráfego.	81

Figura 5.39: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do tráfego.	82
Figura 5.40: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do tráfego.	82
Figura 5.41: Consumo de energia em função do tempo para PAV1.	85
Figura 5.42: Consumo de energia em função do tempo para PAV2.	85
Figura 5.43: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAV1.	86
Figura 5.44: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAV2.	86
Figura 5.45: Energia total consumida com a variação do alcance.	87
Tabela 5.27: Energia total consumida com a variação do alcance.	87
Figura 5.46: Tráfego de mensagens com a variação do alcance.	88
Figura 5.47: Tráfego de bytes com a variação do alcance.	88
Figura 5.48: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do alcance.	89
Figura 5.49: Tráfego de bytes normalizado com a variação do alcance.	89
Figura 5.39: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do alcance.	90
Figura 5.40: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do alcance.	90

Capítulo 1

Introdução

Segundo TANEMBAUM [1] o segmento de mercado que mais cresce na informática é o dos computadores móveis, como os *notebooks* e os PDA's (*Personal Digital Assistants*). Simultaneamente, a comunicação sem fio vem se tornando cada vez mais comum e acessível nos últimos anos.

As redes sem fio (*wireless*) são uma alternativa às redes tradicionais, baseadas em cabos (por exemplo, cabo de par trançado, cabo coaxial e fibra ótica). As redes sem fio possuem o mesmo propósito de uma rede cabeada: disponibilizar informações a todos os dispositivos ligados à rede. Contudo, sem o cabeamento físico que determina a localização de um nó¹, a rede torna-se mais flexível devido à mobilidade.

As redes sem fio se potencializam com o uso de computadores portáteis. Uma conexão sem fio permite que os computadores continuem sendo portáteis sem sacrificar as vantagens de estarem conectados a uma rede. Virtualmente, tais máquinas podem ser usadas em qualquer lugar dentro da área de abrangência da rede.

Segundo o grupo de estudo 802.11 do IEEE (*Institute of Electrical and Eletronics Engineers*) [2], as redes sem fio podem ser classificadas como estruturadas ou independentes (ad-hoc).

Nas redes estruturadas os dispositivos móveis dependem de uma infra-estrutura fixa de suporte à mobilidade e comunicação. Como exemplo, têm-se as redes de telefonia celular e suas estações rádio-base. Já nas redes independentes ou ad-hoc não existe a necessidade dessa infra-estrutura, pois os nodos comunicam-se diretamente uns com os outros.

1.1 Redes Móveis Ad-hoc

O termo “ad-hoc” é geralmente entendido como algo que é criado ou usado para um problema específico ou imediato. Do Latin, “ad-hoc”, significa “para isto” ou “apenas para este propósito”. Contudo, “ad-hoc” em termos de redes móveis sem fio significa mais que isso.

¹ Também chamado de nodo, unidade móvel, estação, máquina, ponto, dispositivo móvel ou simplesmente dispositivo de rede.

Uma Rede Móvel Ad-hoc ou MANET (*Mobile Ad hoc Network*) é um tipo de rede formada por unidades móveis constituídas logicamente de um roteador e dispositivos de comunicação sem fio. Os nodos podem se mover arbitrariamente e possuem a capacidade de comunicar entre si independentemente de qualquer infra-estrutura física de comunicação ou administração centralizada.

Uma MANET pode ser definida também como um sistema autônomo de nodos móveis, que podem consistir, em separado, de dispositivos de rede, ou podem estar integrados em, por exemplo, telefones celulares e PDA's. Os nodos podem estar localizados em aviões, navios, caminhões, carros e inclusive conectados a uma pessoa. Cada nodo é equipado com transceptores (transmissores e receptores) de comunicação sem fio usando antenas.

Em um dado momento, dependendo da posição dos nodos, dos padrões de cobertura de seus transmissores e receptores, do nível da potência de transmissão e da interferência entre eles, existe uma determinada topologia. Isso contrasta com a Internet, onde os roteadores são essencialmente estáticos. Em uma MANET, os roteadores são móveis e a conectividade entre eles pode mudar freqüentemente durante o funcionamento normal da rede. Além disso, uma MANET pode operar isoladamente ou pode estar conectada a outras redes via *gateways*¹. A figura 1.1 apresenta o exemplo de uma MANET.

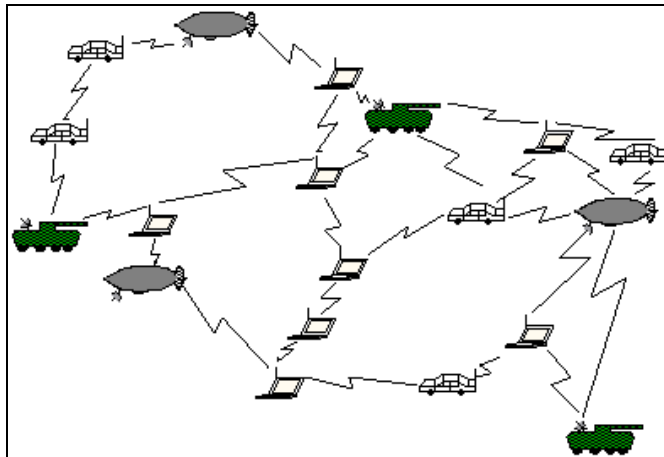


Figura 1.1: MANET.

As principais características de uma MANET são:

- **Topologia dinâmica:** Os nodos são livres para se mover arbitrariamente fazendo com que a topologia da rede possa mudar de forma aleatória e rápida.

¹ Computadores dedicados utilizados para interligar duas ou mais redes possivelmente diferentes.

- **Tolerância à falhas:** Devido à sua dinamicidade as MANET's normalmente são tolerantes a falhas. O mau funcionamento ou o desligamento de um nodo pode ser facilmente sanado com a reconfiguração dinâmica da rede.
- **Rápida instalação:** Redes ad-hoc podem ser instaladas rapidamente em locais sem infra-estrutura prévia.
- **Energia escassa:** A maioria dos nodos de uma MANET usa baterias como suprimento de energia. Para estes nodos o critério de projeto, mais importante, deve ser a conservação de energia. À medida que os nodos esgotam a capacidade de suas baterias eles deixam de colaborar no roteamento podendo inclusive ocasionar o particionamento da rede.
- **Roteamento com múltiplos saltos (*multi-hop*):** Uma rota entre dois nodos pode ser formada por vários saltos (*hops*) através de um ou mais nodos intermediários da rede. Segundo CÂMARA [3], um dos problemas fundamentais de uma MANET é determinar e manter as rotas, já que a mobilidade causa freqüentes mudanças na topologia.

Em adição, algumas redes como, por exemplo, militares, podem ser relativamente grandes (dezenas, centenas ou milhares de nodos). E nesses casos é imprescindível uma boa escalabilidade do protocolo de roteamento. Isto somado à mobilidade das MANET's cria um novo conjunto de desafios para o projeto de protocolos.

As MANET's são principalmente indicadas para situações onde não se pode, ou não faz sentido a instalação de uma rede fixa como, por exemplo, numa situação de desastre, como furacão, terremoto ou inundação, onde equipes de resgate precisam se coordenar e não se tem uma rede fixa disponível. Outros exemplos de aplicação das MANET's são: soldados num campo de batalha trocando informações táticas, empresários compartilhando informações numa reunião ou estudantes usando *laptops* para participar de uma aula interativa.

1.2 Motivações e Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar o consumo de energia na comunicação de dados das MANET's, tratando cenários gerais onde poderiam ser utilizados este tipo de rede. Com isso são abrangidos três pontos críticos de uma MANET, que são o consumo de energia, o roteamento e a transmissão de dados.

A avaliação é feita, principalmente, em relação à camada de rede, às camadas inferiores e à interação entre elas. São utilizados o padrão IEEE 802.11 [2, 21], o esquema de controle de energia GAF (*Geographical Adaptive Fidelity*) [22] e os protocolos de roteamento AODV (*Ad-hoc On-Demand Distance Vector*) [5], DSR (*Dynamic Source Routing*) [6], TORA (*Temporally-Ordered Routing Algorithm*) [7], DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*) [8] e HGPS (*Hierarchical GPS-based Algorithm*) [32]. É realizada uma análise qualitativa e quantitativa. Para tal são utilizadas simulações.

Uma das maiores limitações na utilização de MANET's é a quantidade reduzida de energia disponível nas baterias dos dispositivos. Isto torna o problema do consumo de energia um grande desafio.

Estudos como, por exemplo, JONES [13], mostram que a quantidade de energia consumida pela interface sem fio e pelo processamento dos protocolos é bastante considerável. Conseqüentemente, a análise e projeto dos protocolos envolvidos na comunicação de dados com vistas na redução do consumo de energia é um campo promissor.

As fontes de consumo de energia, relacionadas às operações de rede, podem ser ligadas à comunicação ou à computação.

A comunicação envolve o uso de transceptores em todos os nodos. Entender as características de potência dos dispositivos de transmissão é importante para o projeto eficiente de protocolos de comunicação. O objetivo é otimizar o uso dos transceptores nas tarefas de comunicação.

A computação considerada aqui diz respeito ao processamento dos protocolos de comunicação. Isto envolve principalmente o uso de CPU e memória. O uso de compressão de dados e a diminuição do tamanho dos pacotes são exemplos de ações que podem ser tomadas para reduzir o consumo de energia no processamento.

A relação entre a comunicação e a computação pode levar a um compromisso. Técnicas que obtenham baixos custos de comunicação podem resultar em alto custo computacional e vice-versa.

Seguindo o modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection*) desenvolvido pela ISO (*International Organization for Standardization*) [4] a comunicação de dados envolve protocolos das camadas de rede e inferiores (enlace e física). Estas camadas são, portanto, focalizadas no trabalho.

1.3 Trabalhos Relacionados

Em JONES [13] é apresentado um apanhado geral de trabalhos relativos ao projeto dos protocolos para redes sem fio considerando o uso eficiente de energia. São descritas técnicas relacionadas às camadas Física, Enlace (Subcamada de Acesso ao Meio e Subcamada de Controle Lógico do Enlace), Rede, Transporte e Aplicação.

A avaliação e o projeto de protocolos com enfoque em energia requerem o conhecimento do comportamento de consumo de energia das interfaces existentes de rede sem fio. Mas, pouca informação prática é disponível sobre esses equipamentos e as especificações dos mesmos não provêm dados suficientes para auxiliar os desenvolvedores de protocolos. FEENEY [14] descreve uma série de experimentos que descrevem medidas do consumo de energia de uma interface de rede sem fio IEEE 802.11 operando num ambiente ad-hoc. Os dados são apresentados como uma série de equações lineares para o cálculo da energia consumida no envio, recepção e descarte de pacotes de difusão e ponto-a-ponto de vários tamanhos. Nessas equações existe um componente fixo relativo à sobrecarga do protocolo e um componente incremental relacionado aos dados.

Embora o consumo de energia seja reconhecido como um fator importante no projeto de protocolos para redes móveis ad-hoc ele não tem sido utilizado efetivamente na sua avaliação. FEENEY [15] desenvolve a hipótese que a utilização de recursos nos protocolos de roteamento das MANET's não é completamente abrangida por avaliações que considerem somente a largura de banda. São examinados, através de técnicas e métricas bem definidas, dois protocolos de roteamento bem conhecidos, que são o DSR e o AODV. A análise de desempenho baseada na energia provê uma avaliação em relação ao custo dos protocolos e oferece oportunidades de aperfeiçoamento desses protocolos e também de outros nas camadas inferiores.

Com BROCH [17] é feita uma comparação quantitativa, através de simulações, de quatro protocolos de roteamento: DSDV, TORA, DSR, AODV. São utilizadas métricas baseadas em pacotes e número de saltos.

JOHANSSON [18] apresenta uma comparação de desempenho dos protocolos de roteamento DSR e AODV para o uso em nodos com interfaces Bluetooth. Um dispositivo equipado com interface Bluetooth normalmente faz uso de bateria, tornando o consumo de energia uma questão primária. Portanto os dois protocolos estudados são examinados nos seus modos mais eficientes em relação à energia.

O uso eficiente de energia na Subcamada de Controle de Acesso ao Meio é estudado em CHEN [23]. É avaliado o desempenho de um conjunto de protocolos MAC sob a perspectiva dos transmissores e receptores utilizados nos dispositivos móveis. As métricas consideradas são os tempos de uso de transmissores e receptores para a transmissão de

pacotes. Esses tempos são combinados com taxas de consumo de uma interface de rádio para obter o consumo estimado de energia pelas atividades da subcamada MAC.

A tecnologia Bluetooth é revista em MATTISON [16], focalizando parâmetros do sistema tais como modos de operação, salto de frequência e resistência à interferência em relação ao uso eficiente de energia. Como o Bluetooth visa prover uma interface universal para equipamentos portáteis que utilizam baterias, os dispositivos de transmissão devem consumir o mínimo de energia possível. Em geral, o consumo de energia é reduzido minimizando a atividade da interface. Na especificação da interface Bluetooth existem medidas tomadas nesse intuito que são revistas e estendidas nesse trabalho.

1.4 Organização do Documento

O restante desta dissertação está organizado conforme descrito a seguir.

No capítulo 2 é apresentado um estudo da camada física e da camada de enlace das MANET's.

O capítulo 3 consta do estudo da camada de rede das MANET's descrevendo os algoritmos de roteamento avaliados neste trabalho e seus aspectos relacionados ao consumo de energia e às camadas inferiores.

O capítulo 4 descreve o projeto das simulações. É apresentado o simulador utilizado, os parâmetros de simulação, as métricas e demais questões de projeto.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos com os experimentos realizados.

O capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas no trabalho, suas implicações e perspectivas de outros trabalhos.

Capítulo 2

Camadas Inferiores

As camadas inferiores à camada de rede, no Modelo OSI, são a Camada Física e a Camada de Enlace.

2.1 Camada Física

A camada física trata da transmissão de bits através de um canal de comunicação. O protocolo da camada física especifica as características mecânicas, elétricas, funcionais e procedimentais para ativar, manter e desativar conexões físicas para a transmissão de bits entre entidades-pares. A unidade de dados do nível físico é o bit. A função desta camada é permitir a transmissão de bits pela rede sem se preocupar com o processo físico de transmissão. Nas redes sem fio a transmissão pode se realizar através de ondas de rádio, microondas, infravermelho e laser. Nas MANET's destaca-se o uso de transmissão via rádio através das técnicas FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) e DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) descritas em LAN [24].

Em relação à camada física, um nodo móvel típico pode assumir três modos de operação: transmissão, recepção e *standby*. O modo de transmissão é o maior consumidor de energia e o modo *standby* o menor.

As pesquisas relacionadas ao consumo de energia em dispositivos móveis começaram pela camada física. O problema da energia limitada é visto por duas perspectivas: (i) aumentar a capacidade da bateria, mantendo o tamanho reduzido e (ii) diminuir o consumo de energia do dispositivo móvel. Em relação à capacidade das baterias não foram observados grandes avanços nos últimos 30 anos. Com isso o foco tem sido na redução da energia consumida pelo terminal sem fio.

O projeto do hardware voltado para o uso eficiente de energia usa diferentes técnicas incluindo a velocidade variável do relógio das CPU's, memória *flash*, “adormecimento” do disco rígido e baixa tensão de operação.

2.2 Camada de Enlace

Na Camada de Enlace o objetivo é detectar e opcionalmente corrigir erros que porventura ocorram no nível físico. O objetivo desta camada é oferecer um canal de comunicação confiável para os protocolos da camada de rede. Outra função do protocolo do nível de enlace é evitar que o transmissor envie ao receptor mais dados que ele possa receber. Esse mecanismo é denominado controle de fluxo. Esta camada é subdividida em duas subcamadas: Subcamada de Acesso ao Meio e Subcamada de Controle Lógico do Enlace.

A Subcamada de Acesso ao Meio é normalmente referenciada como Camada MAC (*Media Access Control*). Em redes de difusão, as colisões devem ser evitadas sempre que possível, pois resultam em retransmissões que levam a um consumo desnecessário de energia. Num ambiente de difusão, o receptor permanece ativo todo o tempo, o que implica em consumo de energia. O estado do canal deve ser monitorado constantemente pelos dispositivos móveis. Em JONES [13] são descritas formas de evitar a verificação contínua do canal.

Muito tempo e energia são gastos na alternância entre os modos de recepção e transmissão. Se possível, devem ser alocadas fatias contínuas para transmissão ou recepção para reduzir o número de transições e, conseqüentemente, o consumo de energia.

Na camada de enlace as transmissões devem ser evitadas quando as condições do canal não estiverem adequadas. Isto ocorre, por exemplo, em locais com alta interferência. As técnicas de correção de erro devem considerar e balancear a vazão, integridade, segurança e consumo de energia. Por exemplo, um esquema de codificação melhora a qualidade do canal, mas tende a reduzir a vazão pela redundância adicionada à informação transmitida. Em JONES [13] são descritas técnicas de controle de erro adaptativo e controle dinâmico de potência que visam adequar o tratamento de erros de acordo com as condições do canal.

2.3 IEEE 802.11

O padrão ANSI/IEEE 802.11 é parte da família de padrões para redes locais e metropolitanas IEEE 802. A relação entre o padrão e outros membros da família é mostrada na figura 2.1.

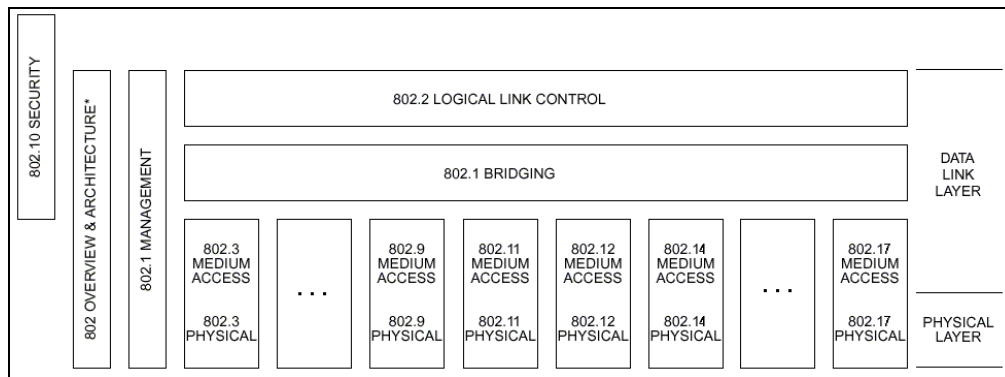


Figura 2.1: Família de padrões IEEE 802.

Criado em 1990, o padrão IEEE 802.11 objetiva prover conectividade sem fio para estações que podem ser, inclusive, portáteis, dispositivos de mão ou que necessitem ser montadas em veículos móveis dentro de uma área local.

O padrão não especifica tecnologias ou implementações, mas as especificações da camada física e da subcamada MAC. A figura 2.2 mostra a arquitetura do 802.11 e sua relação com o padrão OSI/ISO.

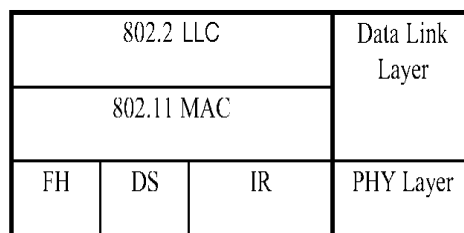


Figura 2.2: Camadas do padrão IEEE 802.11.

As mensagens manipuladas pela subcamada MAC são chamadas de quadros MSDU (MAC *Service Data Unit*). Elas podem ser divididas em unidades menores, para a transmissão, chamadas MPDU's (MAC *Protocol Data Unit*). Existem três tipos de quadros:

- **Quadros de Dados:** Usados para a transmissão de dados.
- **Quadros de Controle:** Utilizados para controlar o acesso ao meio (por exemplo, RTS, CTS e ACK).
- **Quadros de Gerenciamento:** Necessários para transmitir informações de gerência. Estes quadros são transmitidos da mesma forma que quadros de dados, mas não são repassados para as camadas superiores.

Cada um desses tipos é dividido em subtipos de acordo com sua função específica. Os quadros consistem dos seguintes componentes básicos, mostrados na figura 2.3:

- **Cabeçalho MAC (*MAC Header*):** Compreende informações de controle, duração de transmissão do quadro e endereçamento.
- **Corpo do quadro (*frame body*):** Contém informação específica do quadro.
- **Seqüência de Checagem do Quadro ou FCS (*Frame Check Sequence*):** Contém o Código de Redundância Cíclica ou CRC (*Cyclic Redundancy Code*), de 32 bits, utilizado para verificação de erros.

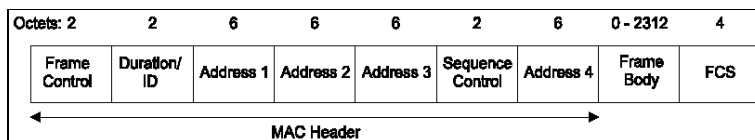


Figura 2.3: Quadro MAC.

O padrão define o protocolo e a interconexão de equipamentos de comunicação de dados compatível, através de ondas de rádio ou infravermelho. O ambiente é uma rede local ou LAN (*Local Area Network*) num meio sem fio compartilhado. Ele suporta a operação utilizando pontos de acesso e também entre estações independentes. O protocolo inclui serviços de autenticação, associação e re-associação, procedimentos de codificação/decodificação e gerência de energia para reduzir o consumo em estações móveis.

A implementação da camada física usando infravermelho suporta a taxa de transmissão de dados de 1 Mbps com uma extensão opcional de 2 Mbps. Utilizando ondas de rádio suporta taxas de 1, 2 e 11 Mbps.

2.3.1 Arquitetura

A arquitetura IEEE 802.11 consiste de componentes que interagem para prover uma rede local sem fio que suporte a mobilidade das estações de forma transparente para as camadas superiores.

O Conjunto de Serviço Básico ou BSS (*Basic Service Set*) é a unidade básica de uma rede local IEEE 802.11. A figura 2.4 mostra os conjuntos BSS1 e BSS2, cada qual com dois nodos membros, além dos demais componentes da arquitetura. A associação é dinâmica entre a estação ou STA (*station*) e um conjunto básico. Para tornar-se membro de uma infraestrutura de conjunto básico, a estação deve se tornar “associada”.

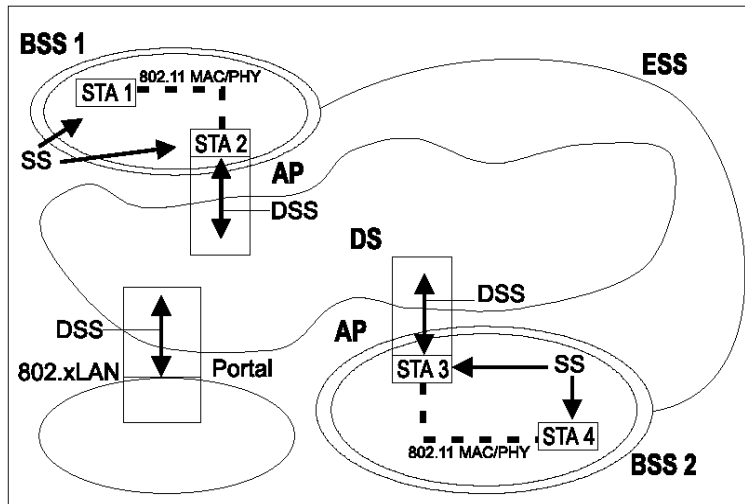


Figura 2.4: Componentes da arquitetura IEEE 802.11.

O Conjunto de Serviço Básico Independente ou IBSS (*Independent Basic Service Set*) é o tipo mais simples de rede local IEEE 802.11 na qual é necessário o mínimo de duas estações. Este modo de operação é possível quando as estações são capazes de comunicar diretamente entre si. Por essa rede ser formada sem planejamento, somente por um período de tempo, ela é uma rede ad-hoc.

Ao contrário de existir independentemente, um conjunto básico pode também fazer parte de uma rede estendida composta de múltiplos conjuntos. O componente da arquitetura utilizado para interconectar conjuntos básicos é o Sistema de Distribuição ou DS (*Distribution System*). O sistema de distribuição habilita o suporte a dispositivos móveis através da integração de múltiplos conjuntos básicos.

O padrão IEEE 802.11 separa logicamente o Meio Sem Fio ou WM (*Wireless Medium*) do Meio do Sistema de Distribuição ou DSM (*Distribution System Medium*). Cada meio lógico é usado para diferentes propósitos. Eles podem ser de tipos iguais ou diferentes. Com isso existe a possibilidade de que cada um desses componentes opere com espaços de endereços diferentes. O padrão somente especifica o uso do espaço de endereços do meio sem fio. O padrão opta pela utilização do espaço de endereços de 48 bits do IEEE 802. Então os endereços IEEE 802.11 são compatíveis com o espaço de endereços da família IEEE 802.

Um Ponto de Acesso ou AP (*Access Point*) é uma estação que provê acesso ao sistema de distribuição. Por o ponto de acesso ser uma estação ele é uma entidade endereçável. Os endereços usados por um ponto de acesso para comunicar no meio sem fio e no meio do

sistema de distribuição não são necessariamente os mesmos. Os dados movem entre um conjunto básico e um sistema de distribuição através de pontos de acesso.

O sistema de distribuição e os conjuntos básicos permitem criar uma rede sem fio de tamanho e complexidade arbitrários. Este tipo de rede é denominado Conjunto de Serviço Estendido ou ESS (*Extended Service Set*). Estações dentro de um conjunto estendido podem comunicar entre si e estações móveis podem mover de um conjunto básico para outro (dentro do mesmo ESS) de forma transparente.

Para integrar a arquitetura IEEE 802.11 com uma rede local cabeada tradicional, o componente final da arquitetura lógica é introduzido – o Portal. Os dados de redes não IEEE 802.11 trafegam pela arquitetura através de portais. A figura 2.4 mostra a interconexão de redes através de um portal.

2.3.2 Serviços

O padrão IEEE 802.11 não especifica os detalhes de implementação do sistema de distribuição, mas sim seus serviços. Os serviços são associados com diferentes componentes da arquitetura. Existem duas categorias de serviços: o Serviço de Estação ou SS (*Station Service*) e o Serviço do Sistema de Distribuição ou DSS (*Distribution System Service*). As duas categorias são usadas pela subcamada MAC.

Os serviços de estação estão presentes em cada nodo. São eles:

- **Autenticação:** É usado para que uma estação se identifique para outra antes que elas possam se comunicar.
- **Fim da autenticação:** É utilizado quando uma autenticação deve ser finalizada.
- **Privacidade:** Necessário para prover privacidade das informações através de criptografia.
- **Entrega de MSDU's:** Encarregado da distribuição de quadros entre as estações.

Os serviços do sistema de distribuição são acessados via pontos de acesso. São eles:

- **Associação:** Estabelece um relacionamento entre uma estação e um ponto de acesso. O serviço de distribuição necessita saber qual ponto de acesso acessar para um dado nodo.
- **Fim da associação:** É invocado quando uma associação existente necessita ser terminada.

- **Distribuição:** É o serviço primário usado pelas estações. Ele é conceitualmente invocado por cada mensagem de dados que necessita ser transmitida por uma estação.
- **Integração:** Necessário quando o serviço de distribuição determina que o destinatário de uma mensagem é membro de uma rede integrada, então o ponto de saída do sistema de distribuição será um portal e não um ponto de acesso.
- **Re-associação:** Permite a mobilidade da estação de um conjunto básico para outro. O serviço é invocado para mover a associação corrente de um ponto de acesso para outro.

A figura 2.4 mostra os serviços de estação e do sistema de distribuição.

Um conjunto independente (IBSS) é sempre utilizado para suportar uma rede ad-hoc. Em um conjunto independente, a estação comunica diretamente com outros nodos. Então existe, por definição, somente um conjunto básico (BSS). Não existe sistema de distribuição (nem seus serviços), portais e redes cabeadas integradas. A figura 2.5 ilustra como a arquitetura fica reduzida. Um conjunto independente pode possuir um número arbitrário de membros. Os serviços que são aplicados a um conjunto independente são os serviços de estação.

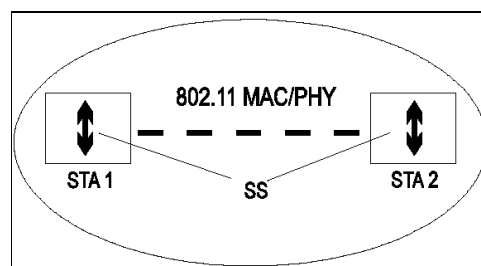


Figura 2.5: Arquitetura lógica de uma IBSS.

2.3.3 Camada Física

O padrão IEEE 802.11 provê duas variações da camada física, que são rádio frequência e infravermelho. Ele inclui duas tecnologias de rádio frequência que são DSSS e FHSS.

2.3.4 Subcamada MAC

A subcamada MAC do protocolo IEEE 802.11 define dois métodos de acesso, o DCF (*Distributed Coordination Function*) e o PCF (*Point Coordination Function*). O método de acesso PCF é opcional e pode ser usado somente em configurações infra-estruturadas. Ele utiliza um ponto coordenador que opera como ponto de acesso do conjunto básico, determinando qual estação possui direitos de transmissão num dado momento. Como o trabalho é voltado para redes ad-hoc e não infra-estruturadas, o método PCF não será detalhado.

Distributed Coordination Function (DCF)

O DCF é o método básico de acesso. Ele consiste basicamente no protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). O DCF deve ser implementado em todas as estações, para uso em conjuntos básicos ou independentes.

Uma estação, ao desejar transmitir, verifica o meio. Se o meio estiver ocupado então a estação aguarda por um período de tempo aleatório. Se o meio estiver livre por um tempo específico DIFS (*Distributed Inter Frame Space*) então a estação transmite. O nodo receptor verifica a integridade da mensagem e envia um quadro de reconhecimento ou ACK (*acknowledgment*). A recepção do ACK indica que a transmissão ocorreu sem problemas. Se o transmissor não recebe o reconhecimento então ele retransmite a informação até que o ACK seja recebido ou que um dado número de retransmissões seja excedido.

Podem ocorrer colisões na transmissão de dados quando duas ou mais estações iniciam o envio da informação ao mesmo momento. Isto acontece quando as estações verificam simultaneamente que o meio está livre e transmitem, ou porque uma estação não percebeu a outra ao ouvir o canal.

Virtual Carrier Sense

Para reduzir a probabilidade de colisões o padrão define um mecanismo chamado *Virtual Carrier Sense*. Pelo mecanismo, uma estação, para transmitir dados, envia primeiro um pequeno quadro de controle chamado RTS (*Request To Send*). O RTS inclui a origem, o destino e a duração da transmissão que será feita. A estação receptora responde com um quadro de controle chamado CTS (*Clear To Send*) que inclui também a origem, o destino e a mesma informação de duração.

As estações que receberem o RTS ou o CTS, que contém a duração da transmissão, agora podem determinar por quanto tempo o meio está ocupado e, portanto, a probabilidade de colisão diminui.

2.3.5 Gerenciamento das Camadas

A camada física e a subcamada MAC incluem, conceitualmente, entidades de gerenciamento. Elas são chamadas, respectivamente, MLME (*MAC Layer Management Entity*) e PLME (*Physical Layer Management Entity*). Estas entidades provêm serviços de gerenciamento das camadas.

Para prover a correta operação da subcamada MAC, uma entidade de gerenciamento da estação ou SME (*Station Management Entity*) deve estar presente em cada estação. As exatas funções da SME não são especificadas no padrão. Em geral a SME pode ser vista como sendo responsável por funções como: obter o estado da camada e atribuir o valor de parâmetros específicos. O gerenciamento de energia é tratado em mais detalhes por estar relacionado ao contexto do trabalho.

Gerenciamento de Energia

Uma estação pode estar em dois estados de atividade:

- **Acordado (*Awake*):** A estação está em pleno funcionamento.
- **Adormecido (*Doze*):** A estação não pode transmitir ou receber e consome pouca energia.

A forma como uma estação faz a transição entre os estados Acordado e Adormecido é determinada pelos modos de gerenciamento de energia, que são:

- **Modo Ativo ou AM (*Active Mode*):** Uma estação pode receber quadros a qualquer momento. Ela deve estar no estado Acordado.
- **Modo de Economia de Energia ou PS (*Power Save*):** A estação escuta os sinalizadores, em intervalos de tempos determinados. No modo PS a estação deve estar no estado Adormecido e mudar para o estado Acordado para receber sinalizadores, para transmitir e para receber MSDU's guardadas para ela.

A idéia básica do gerenciamento de energia num conjunto independente é similar ao que ocorre na rede infra-estruturada. MSDU's que devem ser transmitidas para uma estação no modo de economia de energia são primeiramente anunciadas durante o período de tempo em que todas as estações estão acordadas. O anúncio é feito via uma mensagem de indicação de tráfego ad-hoc ou ATIM (*Ad-hoc Traffic Indication Message*). Uma estação no modo PS deve ouvir esses anúncios para determinar se é necessário alternar para o estado Acordado.

Quando um quadro MSDU deve ser transmitido para uma estação que está no modo PS a estação transmissora deve, primeiro, enviar um quadro ATIM durante a janela ATIM (*ATIM Window*) na qual todas as estações estão ativas. A janela ATIM é um período de tempo determinado, no qual somente quadros ATIM ou sinalizadores podem ser transmitidos. Se uma estação recebe um quadro ATIM destinado para ela então a estação deve permanecer acordada para receber os quadros anunciados. Caso contrário a estação pode voltar ao estado Adormecido após a janela ATIM. Os quadros ATIM devem ser confirmados pela estação destino através de ACK's.

A figura 2.6 mostra o funcionamento do processo descrito através de um exemplo utilizando três estações A, B e C. Na figura pode ser observado que as estações estão acordadas na primeira janela ATIM e depois voltam ao estado Adormecido. Na segunda janela um quadro ATIM é enviado de A para B. Então a estação B envia o ACK. Após receber o ACK a estação A inicia a transmissão de outro quadro. Enquanto isso a estação C está adormecida.

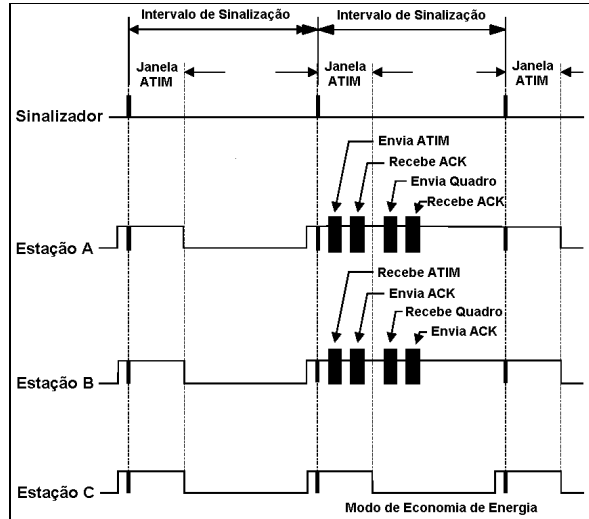


Figura 2.6: Gerenciamento de energia em um conjunto independente.

Se o gerenciamento de energia é utilizado dentro de um conjunto independente, as estações devem armazenar MSDU's para estações que estão no modo de economia de energia. O algoritmo para estimar o estado de estações não está no escopo do padrão. MSDU's podem ser transmitidas, a qualquer momento, para estações no modo Ativo.

Capítulo 3

Camada de Rede

É apresentado aqui o estudo da camada de rede das MANET's descrevendo alguns algoritmos de roteamento, salientando seus aspectos relacionados ao consumo de energia e às camadas inferiores.

3.1 Introdução

A principal função da camada de rede é rotear pacotes da máquina de origem para a máquina de destino. Na maioria dos casos serão necessários vários passos intermediários para que um pacote, partindo de uma origem atinja um destino.

O algoritmo ou protocolo de roteamento é a parte do *software* da camada de rede responsável pela decisão de qual caminho um pacote deve percorrer.

O roteamento em redes móveis ad-hoc possui características particulares que são:

- **Inexistência de uma entidade central**, com a capacidade de coordenar a rede, exigindo a adoção de algoritmos de roteamento que trabalhem de forma distribuída.
- **Alterações na topologia**, requerendo que o algoritmo trate de rotas alternativas e evite que as informações de roteamento tornem-se obsoletas.
- **Suprimento escasso de energia dos nodos**, implicando a necessidade de reduzir a quantidade de mensagens de roteamento e evitar comunicações inúteis no intuito de utilizar a energia do nodo de forma eficiente.

Em uma MANET a questão do roteamento é sempre um desafio devido à mobilidade e às características limitantes dos nodos. Uma rota considerada ótima num dado instante pode não funcionar poucos momentos depois. Além disso, as propriedades estocásticas dos canais sem fio adicionam incerteza à qualidade do caminho. O ambiente de operação também pode causar problemas. Por exemplo, em cenários cobertos, o fechamento de uma porta pode causar a interrupção de uma comunicação.

Uma das possíveis classificações dos algoritmos de roteamento para MANET's os divide em pró-ativos e reativos.

Os algoritmos de roteamento tradicionais são pró-ativos, isto é, tentam obter as informações de roteamento antes que estas sejam necessárias. Assim as rotas são avaliadas continuamente requerendo o envio periódico de mensagens de controle para a atualização das mesmas. A taxa com que essas mensagens de controle são enviadas deve refletir a dinamicidade da rede para que as rotas permaneçam válidas. Então, quanto maior a mobilidade, maior o consumo de energia e largura de banda ocasionado pelo envio de mensagens de roteamento. Os algoritmos pró-ativos normalmente reagem a qualquer mudança na topologia mesmo que esta não afete nenhum tráfego.

Os algoritmos de roteamento reativos estabelecem rotas sob demanda, ou seja, as rotas são obtidas somente quando necessárias. Isto previne os nodos de atualizar cada possível rota da rede e direciona o trabalho para as rotas que estão sendo usadas no momento. Um problema que pode ser ocasionado é o aumento do tempo necessário para obter uma rota.

As métricas tradicionais utilizadas para avaliar, de forma quantitativa, um protocolo de roteamento são, por exemplo, vazão, atraso fim-a-fim dos pacotes de dados, tempo para aquisição de uma rota e quantidade de pacotes de controle necessários para que o protocolo funcione corretamente. Contudo, essas métricas não levam em consideração o uso eficiente de energia dos nodos. Por isso podem ocorrer situações onde um grupo de nodos torna-se sobrecarregado em relação ao roteamento. E conseqüentemente, tem sua capacidade de energia esgotada diminuindo assim a mobilidade e o tempo de vida da rede. Torna-se então importante considerar os algoritmos de roteamento sob a perspectiva do uso eficiente de energia.

No trabalho são analisados alguns dos protocolos de roteamento mais conhecidos, a saber: AODV, DSDV, DSR e TORA. Além destes, é estudado o protocolo hierárquico-geográfico HGPS e o protocolo GAF, baseado no consumo de energia. A escolha desses protocolos se deve às diferentes abordagens adotadas, como explicado a seguir.

3.2 Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)

O *Destination-Sequenced Distance-Vector* [3, 8] é um algoritmo *table-driven*, ou seja, cada nodo mantém uma tabela de roteamento com informações sobre todos os outros nodos da rede. Além disso, ele funciona de forma pró-ativa.

Os princípios de operação do DSDV são:

- Os pacotes são transmitidos entre nodos da rede usando tabelas de roteamento que são armazenadas em cada nodo. Cada tabela lista todos os possíveis destinos. Além disso,

para cada destino consta o número de saltos até ele (ou outra métrica) e o próximo nodo para atingi-lo. Cada entrada na tabela de roteamento é marcada com um número de seqüência determinado pelo nodo destino. Este número permite a distinção entre rotas novas e antigas.

- Cada nodo transmite as informações de sua própria tabela de dois modos: o primeiro, conhecido como *full dump*, contém toda a tabela de roteamento e é utilizado periodicamente. O segundo consta apenas de alterações na tabela de roteamento desde o último *full dump*.
- Novas rotas enviadas por qualquer nodo da rede contêm seu novo número de seqüência, o endereço do nodo destino, o número de saltos para atingi-lo e o número de seqüência original do nodo destino.
- Quando um nodo recebe uma nova rota, esta é comparada com a informação disponível. Se o número de seqüência for mais antigo ela é descartada. Caso seja mais recente a rota é utilizada. No caso de rotas com o mesmo número, a rota com a menor métrica é escolhida. Ao repassar novas rotas o nodo incrementa a métrica.

3.2.1 Propriedades

Por ser um algoritmo pró-ativo o DSDV precisa atualizar continuamente as informações sobre outros nodos da rede. Isso reflete em gasto de banda e energia. O problema é agravado pelo uso de *broadcast* para disseminar as informações. Isto, além de ser proibitivo pelo alto consumo de recursos, implica negativamente na escalabilidade do algoritmo.

Um ponto positivo do DSDV é que as rotas estão disponíveis no momento em que são necessárias tornando o processo de roteamento mais rápido.

3.3 Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV)

O algoritmo *Ad Hoc On-Demand Distance Vector* [3, 5, 29] é baseado no DSDV. De forma geral, o AODV tenta eliminar a necessidade de um *broadcast* global das informações de roteamento, o que ocorre no DSDV. Outro ponto importante do AODV é tentar minimizar a latência quando novas rotas são requisitadas. Assim o AODV procura uma solução intermediária entre o roteamento reativo e o pró-ativo.

Os princípios de operação do AODV são:

- O nodo origem, antes de requisitar uma rota para um destino, consulta sua própria tabela de rotas. Caso não encontre nenhuma informação de rota para o destino, é feita uma requisição de rotas aos nodos vizinhos. Quando as requisições de rotas são propagadas pela rede, todos os nodos atualizam suas tabelas com relação ao nodo origem. Se em um determinado momento o nodo origem não receber uma resposta, ele pode fazer uma nova requisição ou assumir que o destino está indisponível.
- A tabela de rotas do AODV contém apenas informações sobre a vizinhança do nodo. Cada entrada da tabela contém: endereço do nodo destino, endereço do próximo salto e número de saltos até o destino (ou outra métrica). Ao receber uma requisição de rotas o nodo verifica se o pedido é para ele ou se ele conhece uma rota para o destino. Em ambos os casos, o nodo envia uma resposta à requisição de rotas por *unicast* pelo caminho reverso e com o mesmo número de seqüência da requisição. Caso ele não seja o nodo destino ou não possua a informação em sua tabela, o nodo repassa o pedido aos seus vizinhos.
- Cada nodo ao repassar a mensagem aos vizinhos cria uma rota reversa para que a resposta de rota possa voltar até o nodo origem. Quando a requisição de rota chega no destino, este sabe exatamente quantos nodos existem no caminho. O destino gera uma resposta com a seqüência da requisição. Cada nodo que participou do caminho da requisição repassa a resposta para o nodo anterior até que chegue à origem, quando a rota completa é criada. Cada nodo conhece apenas as informações referentes ao seu nodo e não a rota completa, como no DSR. Na figura 3.1 é mostrado um exemplo de requisição de rotas no algoritmo AODV e na figura 3.2 a resposta a este pedido.
- Para manter as rotas funcionando de forma correta, o AODV exige que cada nodo envie uma mensagem de *Hello* periodicamente aos seus vizinhos. Esta mensagem significa que o nodo continua presente e que as rotas dependentes dele continuam válidas. Se algum nodo parar de enviar mensagens de *Hello*, o vizinho assume que o nodo se moveu e assinala o enlace com o nodo como perdido. Nesse caso o nodo avisa a todos os nodos que dependiam desse enlace, através de uma requisição não solicitada de rota, que o mesmo não está mais disponível. Este aviso é propagado pela rede até a origem, que escolhe se requisita novamente uma rota ou simplesmente interrompe a transmissão para o destino.

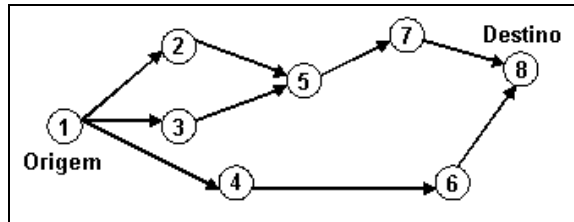


Figura 3.1: Requisição de rota no AODV.

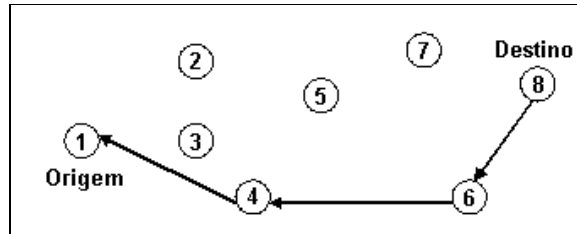


Figura 3.2: Resposta de rota no AODV.

3.3.1 Propriedades

O AODV procura um compromisso entre a redução do tráfego de mensagens de roteamento e a latência para se obter uma rota. Sendo assim o consumo de energia também fica determinado por esse compromisso, sendo beneficiado devido à característica reativa do algoritmo e à manutenção de informações sobre a vizinhança, mas prejudicado pelo uso de mensagens de *Hello*.

3.4 Dynamic Source Routing (DSR)

O *Dynamic Source Routing* [3, 6, 29] é um algoritmo *source routing*, ou seja, o nó origem determina toda a seqüência dos nós por onde passará o pacote. Sendo assim ele pode também ser classificado como reativo, pois a rota é determinada sob demanda.

Os princípios de operação do DSR são:

- Para enviar um pacote o nó origem constrói a rota no cabeçalho do pacote. A rota contém o endereço de cada nó por onde o pacote deverá passar para atingir o destino, formando uma lista de nós. Então o pacote é enviado para o primeiro nó indicado na lista.

- Quando um nodo recebe um pacote, se ele não for o destino da comunicação, o nodo simplesmente o repassa para o próximo nodo indicado no cabeçalho da mensagem. Caso ele seja o destino o pacote é então processado.
- Cada nodo mantém uma memória cache com as rotas que aprende. Quando um nodo deseja enviar um pacote ele verifica se possui uma rota para o destino nessa memória. Se a rota existir ela é então utilizada. Caso contrário o nodo usa o protocolo de descobrimento de rotas para encontrar uma rota para o destino.
- Enquanto o nodo está utilizando uma rota ele a monitora. Essa monitoração é chamada de manutenção de rota.

3.4.1 Protocolo de Descobrimto de Rotas

Este protocolo permite que qualquer nodo da rede encontre dinamicamente uma rota para qualquer outro nodo. O nodo requisita a rota, enviando por *broadcast* uma mensagem de requisição de rotas, conforme mostrado na figura 3.3. Cada nodo ao receber essa mensagem, verifica se ele é o destino ou se possui em sua memória cache uma rota para o destino requisitado. Em ambos os casos ele envia para a origem uma mensagem de resposta de rota, que contém uma lista com a seqüência de todos os nodos até o destino. Caso contrário, o nodo insere seu endereço no registro de rotas da mensagem e a repassa para seus vizinhos. Este procedimento se repete até que a requisição chegue ao destino, ou até que algum nodo tenha uma rota para ele. A figura 3.4 mostra a resposta do nodo destino.

Quando um nodo recebe uma requisição de rota ele verifica se ele já está presente no registro de rotas. Se estiver ele ignora a mensagem e não a repassa.

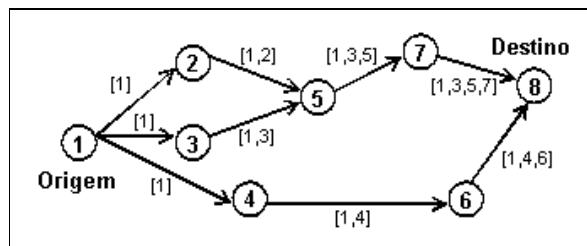


Figura 3.3: Requisição de rota no DSR.

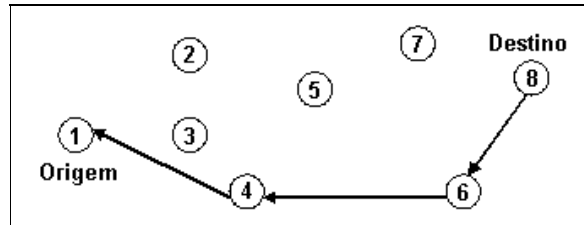


Figura 3.4: Resposta de rota no DSR.

3.4.2 Manutenção de Rotas

A manutenção de rotas é o mecanismo através do qual o nodo origem detecta se ocorreram alterações na topologia da rede que poderão comprometer o uso das rotas. Em JOHNSON [6] são descritas algumas técnicas para prover essa monitoração. Por exemplo, através de mensagens de erro passadas à camada de rede pela camada de enlace. Desta forma, quando um nodo percebe algum problema na comunicação com seu vizinho ele envia um pacote de erro de rota para o nodo origem. Este ao receber o pacote de erro, utiliza-se de qualquer outra rota que tenha na memória cache, ou mesmo pode iniciar outra requisição de rotas para encontrar novas rotas.

3.4.3 Propriedades

Por ser um algoritmo reativo o DSR não precisa atualizar continuamente as informações sobre outros nodos da rede. Isto reflete em economia de banda e energia. Por outro lado, como as rotas são obtidas sob demanda tem-se um aumento na latência das requisições. E como as rotas são obtidas através de *broadcast* o consumo de energia global da rede aumenta, pois mais nodos participam das transmissões.

3.5 Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA)

O *Temporally-Ordered Routing Algorithm* [3, 7, 29] foi projetado para diminuir as reações do protocolo às mudanças topológicas. O objetivo é minimizar o impacto da mobilidade nas atualizações das tabelas de rotas. Isto é feito restringindo as mensagens relacionadas com o roteamento a um pequeno conjunto de nodos que estejam perto de onde houve a mudança. Ele é baseado no algoritmo *Link Reversal*, descrito em GAFNI [34], que encontra e mantém rotas através da mudança local da direção do enlace.

Para o TORA o roteamento de forma ótima não é o mais importante. A consideração feita é que manter o caminho ótimo nas tabelas de roteamento não é vantajoso em função da quantidade de mensagens necessárias.

O TORA utiliza o protocolo IMEP (*Internet MANET Encapsulation Protocol*) [63], que é requerido para prover confiabilidade e entrega ordenada das mensagens de controle de um nodo para cada um dos seus vizinhos. Além disso, provê também um mecanismo de notificação para o protocolo de roteamento quando enlaces são criados ou falham.

Os princípios de operação do TORA são:

- A rede é modelada como um grafo dirigido $G = (N, L)$ onde N é um conjunto finito de nodos e L um conjunto de enlaces inicialmente não dirigidos. Cada enlace (i, j) pode assumir um de três estados: não dirigido, dirigido do nodo i para o nodo j ou dirigido do nodo j para o nodo i . Se um enlace (i, j) é dirigido de i para j então ele é dito ser *upstream* do nodo j enquanto o nodo j é dito ser *downstream* do nodo i .
- Uma versão lógica do protocolo é executada para cada destino cuja rota é solicitada. Sendo assim, um nodo que requisitou rotas para dois destinos terá duas instâncias do protocolo ativas nele. O restante da descrição será focalizado numa única versão sendo executada para um dado destino.
- Considerando uma única versão lógica do protocolo executada para uma determinada rota solicitada, cada nodo possui uma altura em relação ao destino que inicialmente é nula. Ele também possui um vetor de estado dos enlaces dos quais faz parte. Cada entrada do vetor é assinalada como *downstream* se o vizinho possui uma altura menor em relação ao destino, *upstream* se altura do vizinho é maior ou não dirigido se a altura é nula.
- O TORA pode ser separado em três funções básicas: criação de rotas, manutenção de rotas e remoção de rotas. Para realizar essas funções são utilizados, respectivamente, três pacotes distintos: *Query* (QRY), *Update* (UPD) e *Clear* (CLR).
- Criar uma rota de um nodo origem até um destino requer o estabelecimento de uma seqüência de enlaces dirigidos iniciando na origem e indo até o destino. Assim é construído um grafo acíclico dirigido até o destino. Quando um nodo necessita de uma rota para um destino particular, transmite um pacote QRY, que contém o endereço do destino. Esse pacote é propagado pela rede até que alcance o nodo desejado, ou um nodo intermediário que conheça uma rota para destino. O nodo então envia uma resposta UPD que indica a sua altura com relação ao destino. À medida que este

pacote vai sendo propagado pela rede, cada nodo que o recebe ajusta a sua altura a um valor maior que o do vizinho de onde a mensagem foi recebida. Isto é feito para se criar uma série de ligações dirigidas a partir da origem da requisição até o nodo que a respondeu. A figura 3.5 mostra um exemplo do processo de criação de rota.

- A manutenção de rotas é utilizada quando um nodo descobre que uma rota até um destino já não é válida. Quando isto ocorre o nodo ajusta sua altura em relação ao destino. Se o nó não tiver nenhum vizinho que possua altura finita com relação a este destino, então ele mesmo tenta descobrir uma nova rota. Caso contrário ele determina sua própria altura baseado no vizinho. A figura 3.6 mostra um exemplo de manutenção de rota.
- A remoção de rotas é usada quando um nodo detecta uma divisão na rede. Ao perceber isso o nodo gera um pacote CLR que restaura o estado das rotas e remove as rotas inválidas da rede.

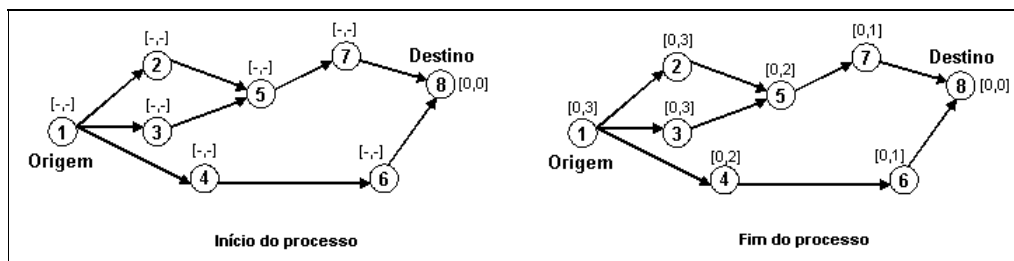


Figura 3.5: Criação de rota no TORA.

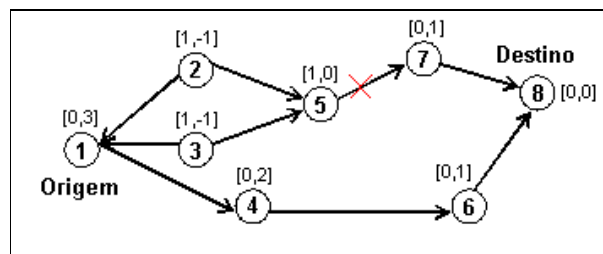


Figura 3.6: Manutenção de rota no TORA.

3.5.1 Propriedades

O TORA é um algoritmo com boa escalabilidade por manter as operações de roteamento somente onde são necessárias. Mas, quando a taxa de mudanças topológicas

aumenta a sobrecarga causada pelas mensagens de roteamento pode acarretar atraso na entrega dos pacotes. Esses aspectos impactam diretamente o consumo de energia.

3.6 Hierarchical GPS-based Algorithm (HGPS)

Existem algoritmos que utilizam a informação geográfica do nodo como parâmetro para escolher as rotas. Estas informações podem ser conseguidas através de mecanismos como o GPS (*Global Positioning System*) [28]. O HGPS [32] e outros algoritmos desta classe são chamados de algoritmos de roteamento geográfico.

O HGPS, também conhecido como *Grid*, utiliza o conhecimento da localização geográfica, obtido pelo GPS, para definir uma hierarquia geográfica e estável. A utilização de uma hierarquia faz com que o tráfego de roteamento seja controlado. Manter uma hierarquia estável num ambiente em constante mobilidade é uma tarefa difícil. O HGPS é baseado no serviço de localização GLS (*Grid Location Service*) [10].

Os princípios de operação do HGPS são:

- Um nodo determina sua própria posição através de GPS. Essa posição consiste de latitude e longitude. O nodo então anuncia sua presença, posição e velocidade aos seus vizinhos via *broadcast* periódico de mensagens de *Hello*. Cada nodo mantém uma tabela com seus vizinhos conhecidos e suas posições.
- No roteamento geográfico uma mensagem enviada para um certo destino contém sua identidade e posição geográfica. Quando um nodo necessita repassar uma mensagem ele verifica em sua tabela de vizinhos e determina qual deles está mais próximo do destino. O processo é repetido até que a mensagem atinja o destino ou encontre um nodo que não conheça outros nodos próximos ao destino. Essa situação indica a existência de um “buraco” na distribuição geográfica dos nodos na rede. Nesses casos uma mensagem é enviada para a origem que pode tentar encontrar alternativas em sua tabela de vizinhos.
- O HGPS utiliza o serviço de localização GLS. Esse serviço visa garantir a escalabilidade do roteamento geográfico provendo um mecanismo para que os nodos aprendam as posições dos destinos. Para isso um nodo deve manter sua posição corrente em servidores de localização distribuídos pela rede. Cada nodo atua como servidor de localização de um certo número de outros nodos. Os servidores de localização de um nodo diminuem em número à medida que a distância do mesmo

aumenta. Isto limita o número de servidores de um nodo e não penaliza requisições para destinos distantes.

- Toda a área da rede é particionada numa hierarquia de grades quadradas de tamanho crescente, como mostrado na figura 3.7. A menor é referenciada como grade de ordem 1. Quatro grades de ordem 1 formam uma grade de ordem 2 e assim por diante até uma ordem N . Isso acarreta que um nodo se encontra em uma grade de cada ordem.
- Para um nodo, individualizado por uma identificação ID, disseminar a sua localização ele deve recrutar servidores de localização. Esses servidores são escolhidos como sendo nodos que possuam o menor ID maior que o do nodo em questão. O espaço de ID's é circular, então 17 é mais próximo de 2 que de 7. Dessa forma são escolhidos três servidores nas grades de ordem 1, três nas de ordem 2 e assim por diante, como mostra a figura 3.7 para o nodo B que recrutou os servidores 2, 23, 63, 43, 31, 26, 20, 19 e 37, vistos em negrito.
- Um nodo origem que deseja enviar uma mensagem para um determinado destino, a direciona (usando roteamento geográfico) para um vizinho conhecido que possua o menor ID maior que o do destino. O processo segue da mesma forma até que um servidor do nodo destino seja atingido. Então o servidor repassa a mensagem para o destino que retorna sua localização para a origem (cuja localização se encontra na mensagem). A figura 3.8 mostra duas possíveis consultas do nodo A para o nodo B.
- Para que um nodo atualize sua posição junto aos seus servidores de localização ele envia mensagens de atualização sem saber quem são eles. O nodo inicia o processo enviando uma mensagem de atualização para cada grade onde ele deve possuir servidores. A mensagem segue então por roteamento geográfico. Em uma determinada grade, o primeiro nodo a receber a mensagem se encarrega de encaminhá-la para o servidor adequado. Os servidores são atualizados com menor frequência a medida que a ordem da grade aumenta. A taxa de atualização também leva em consideração a velocidade de movimentação do nodo.

	90	38					
70			(37)			39	
91	62	5			50	45	
	1					51	11
						35	(19)
(26)		41	(23)	(63)		41	72
87	44	14	7	(2)	B: 17		
						28	10
	98					83	(20)
32		55	61		6	21	
81	(31)	(43)	12			76	84

Figura 3.7: Recrutamento de servidores de localização para o nodo B.

	(70) 72,76,81 82,84,87	1,5,6,10,12 14,17,62,70 90,91				19,35,37,45 50,51,82	
1,5,14,17,62 63,90,91		A: 90	38	(19) 19,21 23,26,28,31 52,53	19,35,39,45 51,82		39,41,43
70				(37)	50		45
1,62,70,90	1,5,16,37,39 41,43,45,50 51,55,61,91	1,2,16,37,62 70,90,91	5			35,39,45,50	19,35,39,45 50,51,55,61 62,63,70,72 76,81
91	62					51	11
	62,91,98					19,20,21,23 26,28,31,32 51,82	1,2,5,6,10,12 14,16,17,82 84,87,90,91
	1					35	98 19
14,17,19,20 21,23,26,87		2,17,23,63		2,17,28,26 31,32,43,55 61,62	28,31,32,35 37,89		10,20,21,28 41,43,45,50 51,55,61,62 63,70
26		23		63	41		72
14,23,31,32 43,55,61,63 81,82,84	2,12,26,87 98	1,17,23,63,8 87,98		2,12,14,16 23,63		6,10,20,21 23,26,41,72 76,84	6,72,76,84
87	14		2	B: 17		28	10
31,81,98	31,32,81,87 90,91	12,43,45,50 51,61	12,43,55		1,2,5,21,76 84,87,90,91 98	6,10,23,76	6,10,12,14 19,17,19,84
32	98	55	61		6	21	20
31,32,43,55 61,63,70,72 76,98	2,12,14,17 23,26,28,32 81,98	12,14,17,23 26,31,32,35 37,39,41,55 87,98	2,5,6,10,43 55,61,63,81		(20) 20,41 72	20,21,28,41 72,76,81,82	
81	31	43	12		A: 76		84

Figura 3.8: Duas possíveis consultas de A para B.

3.6.1 Propriedades

O HGPS possui boa escalabilidade visto que os nodos só necessitam de informações locais e que o trabalho como servidor de localização é distribuído de forma balanceada entre

os nodos da rede. O tráfego de mensagens de roteamento mostra eficiência por ser maior somente localmente. Isto beneficia o consumo de energia das baterias.

Um problema de escalabilidade pode ocorrer quando os nodos não estiverem distribuídos uniformemente pela rede. Isto pode acarretar sobrecarga de alguns nodos que serão servidores de um número elevado de outros.

3.7 Roteamento Baseado no Consumo de Energia

Atualmente, a questão do consumo de energia no roteamento de MANET's vem crescendo em importância. Isto pode ser observado pela quantidade de trabalhos com esse enfoque realizados recentemente. Dentre esses trabalhos encontram-se esquemas para a diminuição no consumo de energia implementados sobre a camada de rede e também algoritmos de roteamento cujas métricas utilizam a energia dos nodos.

3.7.1 Geographical Adaptive Fidelity (GAF)

Em XU [22] é descrito o algoritmo GAF que reduz o consumo de energia nas MANET's. O GAF conserva energia identificando nodos que são equivalentes em relação ao roteamento e então os torna desligados, mantendo constante o nível de fidelidade do roteamento. Para isso a área total da rede é dividida em grades virtuais e cada nodo utiliza sua posição geográfica para associar-se a uma grade particular, dentro da qual todos os nodos são considerados equivalentes em relação ao roteamento. A posição geográfica dos nodos é obtida através de algum sistema de localização como o GPS.

A figura 3.9 mostra, como exemplo, uma rede de 5 nodos dividida em três grades. Nela o nodo da grade A podem comunicar com todos os nodos da grade B. E por sua vez os nodos da grade B podem comunicar com o nodo 5 da grade C.

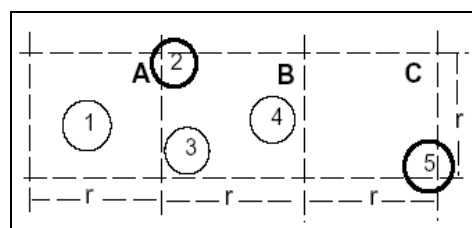


Figura 3.9: Exemplo de rede com grades virtuais do GAF.

Os nodos de uma mesma grade se coordenam para determinar quem será desligado e quem permanece ativo. Isto é feito transitando o nodo em três estados: Adormecido, Busca e Ativo. A figura 3.10 mostra o diagrama de estados de um nodo em relação ao GAF.

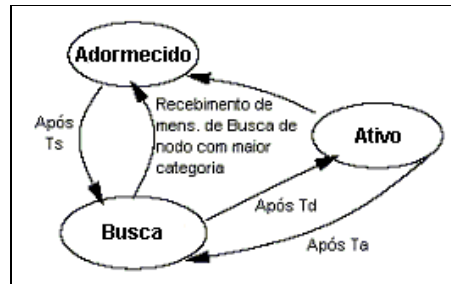


Figura 3.10: Estados do nodo em relação ao GAF.

O nodo inicia o funcionamento no estado Busca no qual sua interface permanece ligada. Ele troca com os nodos vizinhos mensagens de busca a fim de descobrir os nodos que estão na mesma grade. Ele permanece nesse estado por T_d segundos. Caso, neste período, o nodo receba uma mensagem de Busca de outro nodo de maior categoria ele se torna Adormecido, desligando sua interface e economizando energia. Caso o tempo de espera se esgote, o nodo torna-se Ativo. A categoria dos nodos pode ser definida no nível de aplicação ou, de forma simplificada, pelo identificador dos mesmos. Caso a categoria não seja especificada o maior identificador corresponde à maior categoria.

O nodo no estado Ativo pode se tornar em Busca após T_a segundos ou Adormecido caso recebe uma mensagem de Busca de um nodo de maior categoria.

Um nodo permanece no estado Adormecido por T_s segundos, sendo então tornado em Busca.

O GAF é implementado sobre a camada de rede, usando informações do nível de aplicação e de sistema. O algoritmo é independente do protocolo de roteamento.

No trabalho foi utilizado o protocolo AODV em simulações. Os resultados mostram que o GAF possui performance similar ao AODV em relação à perda de pacotes e latência na obtenção de rotas. Além disso, o GAF consome de 40 a 60% menos energia e permite um aumento considerável no tempo de vida da rede, proporcional à densidade de nodos.

3.7.2 Outros Esquemas

Em XU [31] são apresentados dois algoritmos implementados sobre a camada de rede cujas métricas são baseadas no consumo de energia. São eles: BECA (*Basic Energy-*

Conserving Algorithm) e AFECA (*Adaptive Fidelity Energy-Conserving Algorithm*). Eles funcionam através de algoritmos de roteamento reativos como, por exemplo, o AODV e o DSR, sem modificá-los.

No algoritmo BECA a idéia é evitar que nodos não envolvidos em transmissões evitem consumir energia ouvindo o meio. Para isso são utilizadas informações das camadas superiores para que os nodos transitem entre três estados com consumo de energia distintos: adormecido (menor consumo), ouvindo (consumo intermediário) e ativo (maior consumo). Essas informações são parâmetros relativos às aplicações que podem ser ajustados de acordo com a necessidade.

O algoritmo AFECA usa observações sobre a densidade dos nodos para aumentar o tempo em que os transmissores permanecem desligados. Neste sentido, o AFECA adapta o número de nodos participantes no roteamento para manter um nível constante de fidelidade e consumir menos energia. No AFECA, cada nodo ajusta seu tempo de adormecimento proporcionalmente ao número de nodos vizinhos.

Comparados em relação ao protocolo AODV o consumo de energia dos algoritmos é entre 35% a 45% menor. Além disso, o tempo de vida da rede é 20% maior no BECA e 55% no AFECA. Quanto ao número de pacotes perdidos e à latência na obtenção de rotas os dois algoritmos se mostraram similares ao AODV.

Em RYU [59] é apresentado um algoritmo de roteamento baseado no consumo de energia. Nele é feita uma distinção entre nodos que estão ligados a fontes externas de energia e outros que utilizam baterias. Assim os primeiros são responsáveis pelo roteamento. O esquema também a diferencia o alcance menor para os nodos com baterias e maior para os outros. Os resultados obtidos através de simulações mostram que na média o consumo de energia é 30% menor nos nodos que usam baterias em relação ao esquema convencional.

Capítulo 4

Metodologia

Este capítulo descreve a metodologia usada no desenvolvimento deste trabalho.

4.1 O Simulador

Este trabalho utiliza simulações. O principal motivo desta escolha é a indisponibilidade de MANET's para testes reais, devido à tecnologia não estar difundida. Além disto, com simulações é possível avaliar de forma aprofundada o comportamento dos protocolos e das aplicações em estudo. Outro fator importante é que os simuladores disponíveis já contam com um bom grau de realismo, tornando os resultados obtidos válidos e aplicáveis num ambiente real.

A escolha do simulador recaiu sobre o NS-2 (*Network Simulator*) [36] pelos seguintes motivos:

- Satisfazer os requisitos indispensáveis determinados para o trabalho.
- Ser amplamente utilizado pela comunidade acadêmica em estudos do gênero.
- Estar disponível gratuitamente e para várias plataformas de *hardware* e sistema operacional.
- Possuir código aberto, que proporciona flexibilidade para realizar adequações.

O NS-2 é um simulador de eventos discretos, orientado a objetos, desenvolvido por pesquisadores da *University of California em Berkeley*, do *Lawrence Berkeley National Laboratory* e da *University of Southern California*, com o intuito inicial de simular aspectos gerais de LAN's e WAN, embora hoje ele possua suporte a redes sem fio e redes de satélites.

Utiliza-se a versão 2.1b8a que contém originalmente todos os protocolos necessários, exceto o módulo referente ao protocolo de roteamento HGPS, implementado para a mesma versão em LI [32].

4.2 Ambiente Computacional Utilizado

Foram utilizadas 4 máquinas no decorrer do trabalho, nas quais diferentes experimentos eram distribuídos. A configuração das máquinas é a seguinte:

- Pentium IV 1,5 Ghz, 1 Gbyte de memória RAM, 25 Gbytes de disco rígido disponíveis, sistema operacional Red Hat Linux 7.1.
- Pentium IV 1,7 Ghz, 1 Gbyte de memória RAM, 80 Gbytes de disco rígido disponíveis, sistema operacional Debian GNU/Linux 2.2.
- Pentium II 400 Mhz, 1 Gbyte de memória RAM, 20 Gbytes de disco rígido disponíveis, sistema operacional Suse Linux 7.1.
- Pentium II 400 Mhz, 1 Gbyte de memória RAM, 40 Gbytes de disco rígido disponíveis, sistema operacional Suse Linux 7.1.

4.3 Métricas

As métricas selecionadas para o trabalho são o consumo de energia e o tráfego.

O consumo de energia é a métrica fundamental dado o estudo em questão. Objetiva-se com ela determinar como o gasto de energia é afetado nos cenários escolhidos e pelos protocolos envolvidos. A análise é feita em relação à média de energia consumida

O tráfego é importante por influenciar diretamente a largura de banda e o consumo de energia, que são recursos escassos nas redes sem fio. É considerada a quantidade de mensagens e de bytes que trafegam na rede. É dada atenção especial à sobrecarga de roteamento¹ para avaliar a contribuição dos protocolos de roteamento no tráfego da rede e no consumo de energia. A análise é feita em relação aos quadros enviados e recebidos na subcamada MAC. São considerados o número de mensagens e sua respectiva quantidade de bytes.

Vale ressaltar que uma mensagem é contabilizada uma vez ao ser enviada e quantas vezes ela for recebida. E conseqüentemente é consumida energia na transmissão e nas recepções.

4.4 Cenários

Outro ponto importante no trabalho é a determinação das simulações que precisam ser realizadas. Baseando-se nos trabalhos relacionados e estudados previamente, é utilizado um

¹ A sobrecarga de roteamento é a parte do tráfego total relativa às mensagens de roteamento.

cenário padrão a partir do qual são feitas variações em parâmetros específicos cuja influência deseja-se verificar. Os parâmetros escolhidos são:

- **Número de nodos:** Os cenários constam do cenário padrão com um número de nodos maior. São simuladas redes com 100 e 150 nodos.
- **Mobilidade:** Os cenários constam do cenário padrão com uma velocidade maior dos nodos e um tempo de parada menor.
- **Tráfego:** Os cenários constam do cenário padrão com um tráfego de dados gerado maior.

Em todos os cenários foram simulados os protocolos de roteamento AODV, DSDV, DSR, HGPS e TORA, além do esquema de controle de energia GAF.

4.4.1 Cenário Padrão

Os parâmetros escolhidos, para o cenário padrão possuem valores que representam um cenário geral no qual seria comum e possível a utilização de uma MANET. Portanto são parâmetros medianos e em alguns casos tomados como o padrão do simulador. Segue uma descrição dos parâmetros utilizados no cenário padrão.

Canal de Comunicação

É utilizado o modelo de canal de comunicação sem fio do NS-2 [36]. Neste modelo os canais são meios que levam mensagens entre os nodos móveis. Quando um nodo móvel transmite uma mensagem, o canal distribui uma cópia da mensagem para cada interface de rede conectada ao canal. Essas interfaces utilizam um modelo de propagação de rádio para determinar se o nodo está pronto a receber a mensagem. Tipicamente, todas as interfaces de rede são do mesmo tipo e estão conectadas ao mesmo canal. Assim também o é no estudo em questão. Conceitualmente, um canal representa uma particular frequência de rádio, com um esquema de modulação e codificação. Os canais são tratados ortogonalmente, ou seja, uma mensagem enviada num canal não interfere na transmissão de mensagens em outro canal.

Modelo de Propagação de Rádio

O modelo de propagação é utilizado para prever a potência do sinal recebido de cada mensagem. Na camada física de cada nó, existe um limite de potência de recebimento, que determina se o nó receberá ou não uma mensagem.

É utilizado o modelo *Two Ray Ground* [36]. A escolha é devida ao grau de realismo deste modelo, considerado suficiente para o estudo. São modelados, por exemplo, a potência do sinal transmitido, as características das antenas, a distância entre os nós e o fator de perda do sistema.

Interface de Rede

A interface modelada no NS-2 é a Lucent Wavelan DSSS, frequência de 2,4 Ghz, largura de banda de 2 Mbps, fator de perda de 5% e alcance de 400 metros, de acordo com a especificação do fabricante LUCENT TECHNOLOGIES [38].

A interface está sujeita a colisões e ao modelo de propagação de rádio utilizado. Ela estampa meta-dados em cada mensagem transmitida como, por exemplo, a potência de transmissão. Estes meta-dados são utilizados pelo modelo de propagação para determinar o recebimento ou não da mensagem pelos outros nós.

É considerada na interface uma fila de prioridades, de no máximo 50 mensagens. Ela dá maior peso aos pacotes de roteamento, inserindo estes na cabeça da fila.

Antena

É usada uma antena omni-direcional com as características padrões do NS-2 que são: ganho unitário, altura de 1,5 m e posicionamento no centro do nó.

Subcamada MAC

O padrão IEEE 802.11 em seu modo *Distributed Coordination Function* (DCF) é escolhido por sua maior utilização no mercado atual. Faz-se uso do padrão RTS/CTS/Dado/ACK para as mensagens ponto-a-ponto e o simples envio de dados para as mensagens de difusão.

Subcamada de Controle Lógico do Enlace

Trata de funções como, por exemplo, a definição do endereço MAC do destino, que é inserido no cabeçalho de um quadro MAC. Isto envolve duas questões: encontrar o nodo do próximo salto (para o roteamento) e traduzir o endereço IP no endereço MAC (protocolo ARP – *Address Resolution Protocol* – presente no NS-2). O mapeamento é de um endereço IP para um endereço MAC. Caso o protocolo possua o endereço MAC do destino solicitado, ele é gravado no cabeçalho do quadro. Caso contrário, uma mensagem de consulta ARP é propagada por difusão, e o quadro armazenado temporariamente. A mensagem de consulta é propagada até atingir o nodo desejado, o qual envia uma resposta ARP ao solicitante. Então o quadro é inserido na fila da interface para ser enviado. O endereço obtido é armazenado para futuras utilizações.

Não é considerada a fragmentação e remontagem de mensagens, por não serem consideradas indispensáveis para o trabalho.

Modelo de Consumo de Energia

O modelo utilizado é o presente no NS-2, que calcula o consumo baseando-se no tempo gasto para transmitir ou receber uma mensagem. Considera-se também o tempo ocioso do nodo e seu possível desligamento.

O modelo não abrange todas as características do consumo de energia. Não inclui, por exemplo, o gasto para perceber que o nodo não é o destino de uma mensagem e então descartá-la; o gasto de energia no processamento do nodo e na transição dos modos de operação (transmissão, recepção, ocioso, etc).

Em relação ao padrão IEEE 802.11, o NS-2 não modela o modo denominado *Power Save*, no qual a interface de rede pode se encontrar no estado Adormecido, de baixo consumo de energia.

É considerado nas simulações o consumo da interface nos modos transmissão, recepção e desligado. Os seguintes valores relacionados ao consumo de energia foram obtidos em FEENEY [14], onde foi realizada uma medição real da interface de rede utilizada no trabalho:

- Energia inicial do nodo: 200 Joules ¹

¹ O valor foi determinado através da simulação do cenário padrão. Nele, em aproximadamente 70% do tempo decorrido, inicia o esgotamento da energia dos nodos. E a rede tende a manter sua energia global acima de zero até o fim do experimento.

- Potência dissipada na transmissão: 1,327 Watts
- Potência dissipada na recepção: 0,967 Watts
- Potência dissipada no estado desligado: 0 Watts
- Tensão da fonte de energia do nodo: 4,74 Volts.

Topologia e Mobilidade

A topologia e o modelo de mobilidade do cenário padrão procuram seguir um ambiente geral de funcionamento de uma rede móvel ad-hoc.

A área da simulação é de 1000 x 1000 metros e pode representar, por exemplo, um campus universitário, centro comercial, área de desastre, campo de batalha ou shopping. Não são consideradas barreiras ou características de ambientes cobertos, para não tornar específico o cenário. Nessa área são dispostos 50 nodos homogeneamente.

É utilizado o padrão de movimento *Random Way-Point* o qual é analisado e considerado adequado para simulação de MANET's em CAMP [39]. Neste padrão o nodo escolhe um destino aleatoriamente e segue até ele numa velocidade fixa, escolhida randomicamente entre zero e um valor máximo pré-definido. Chegando lá o nodo permanece parado por um tempo também pré-determinado. Após esse tempo o nodo escolhe outro destino e assim sucessivamente. A velocidade máxima utilizada foi de 1,4 m/s, que equivale a 5 km/h, procurando representar a velocidade de um ser humano caminhando. O tempo de parada é de 120 segundos.

O tempo das simulações é de 500 segundos (8,33 minutos) considerado suficiente para se obter uma visão representativa do funcionamento da rede. Nos trabalhos relacionados estudados são utilizados valores entre 300 e 900 segundos.

Os valores da velocidade máxima do nodo, do tempo de parada e do tempo de simulação foram escolhidos por poderem representar cenários gerais e por estarem de acordo com a avaliação feita em CAMP [39].

Tráfego

As aplicações simuladas aqui geram um tráfego com uma taxa constante de bits, conhecida como CBR ou *Constant Bit Rate*. Neste tipo de tráfego os pacotes de dados, com tamanho pré-determinado, são enviados numa taxa definida de pacotes por segundo. No tráfego CBR a quantidade de bits enviada deve permanecer constante. Isto é adequado para

transmissões de vídeo e áudio. O tráfego CBR vem sendo amplamente utilizado em estudos de redes móveis ad-hoc.

Como protocolo de transporte é utilizado o UDP (*User Data Protocol*) que não é orientado a conexão e não tem tratamento de erros. Por isto é um protocolo leve e conseqüentemente uma alternativa promissora para as redes móveis ad-hoc com restrições de energia e largura de banda.

O tráfego do cenário consta de 20 fontes de pacotes CBR enviando dados para 20 destinos. Ambos os nodos origem e destino são escolhidos aleatoriamente. O tamanho do pacote é de 1000 bytes. A taxa de envio é de 4 pacotes por segundo para cada fonte de tráfego. Os valores escolhidos condizem com os trabalhos clássicos e atuais realizados em MANET's.

Protocolo de Roteamento

Os protocolos de roteamento, exceto o GAF, são utilizados com seus valores padrões presentes no NS-2. O protocolo GAF é configurado para uma melhor adequação ao ambiente simulado, baseando-se em XU [22]. É escolhido o modo de funcionamento padrão do GAF (sem adaptação de mobilidade) com uma grade de 179 m, cujo tamanho é calculado com base no alcance de 400 m dos nodos, como sugerido em XU [22]. Além disso, o GAF funciona utilizando o AODV internamente.

4.4.2 Variação do Número de Nodos

Os parâmetros escolhidos para esses cenários possuem os mesmos valores do cenário padrão, exceto pelo número de nodos que é aumentado para 100 e 150. Objetiva-se aqui observar como o número de nodos afeta a rede e conseqüentemente o consumo de energia.

4.4.3 Variação da Mobilidade

Os parâmetros escolhidos para esses cenários possuem os mesmos valores do cenário padrão, exceto pelo modelo de mobilidade utilizado. A velocidade máxima utilizada subiu de 1.4 m/s para 8,33 m/s que equivale a 30 km/h, que pode representar o movimento de veículos. O tempo de parada passa de 120 para 60 e 30 segundos.

Objetiva-se aqui observar como a mobilidade afeta a rede e conseqüentemente o consumo de energia.

4.4.4 Variação do Tráfego

Os parâmetros escolhidos para esses cenários possuem os mesmos valores do cenário padrão, exceto pelo tráfego de dados gerado. A alteração diz respeito à taxa de envio de pacotes que passa de 4 por segundo para 8 e 12. Objetiva-se observar como o tráfego afeta a rede e conseqüentemente o consumo de energia.

4.4.5 Variação do Alcance

Os parâmetros escolhidos para esses cenários possuem os mesmos valores do cenário padrão, exceto pelo alcance dos nodos. São utilizados alcances de 100 e 250 metros. Objetiva-se observar como o alcance afeta a rede e conseqüentemente o consumo de energia.

4.5 Procedimentos de Avaliação

Para obter uma avaliação de resultados que independa de uma topologia e padrão de mobilidade específicos, cada simulação é executada 35 vezes variando-se a disposição e a movimentação dos nodos, respeitando-se os valores da velocidade máxima e do tempo de parada do cenário. Vale salientar que o modelo de tráfego, incluindo as fontes e destinos, continua o mesmo em todas as execuções. O número de 35 execuções é escolhido baseado em estudos empíricos descritos em DOWNIE [40] e que condiz com trabalhos clássicos e atuais em MANET's.

Toda a análise é realizada com base nos arquivos gerados pelo simulador nos quais são registradas as informações das simulações. Estes arquivos são chamados *traces*. As informações podem ser selecionadas de acordo com as necessidades específicas de cada experimento. Os arquivos gerados contêm informações sobre as mensagens enviadas e recebidas na subcamada MAC e a energia presente em cada nodo a cada 10 segundos.

Os *traces* são analisados através de programas feitos em linguagem C padrão que lêem os dados, processam as informações e geram resultados que são gravados em arquivos de saída. Com base nos arquivos de resultados podem ser gerados gráficos que facilitam a avaliação.

Como descrito em JAIN [41], em todos os conjuntos de 35 execuções, os resultados são analisados usando critérios de variância dos valores obtidos, com confiabilidade de 95% para o intervalo de confiança. Os resultados possuem uma variação de no máximo 10% para o consumo de energia e para o tráfego.

Capítulo 5

Resultados das Simulações

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com os experimentos realizados.

5.1 Simulações do Cenário Padrão

São apresentados aqui os resultados das simulações do cenário padrão.

5.1.1 Análise do Consumo de Energia

A avaliação aqui é focalizada no consumo de energia. Alguns aspectos são melhores detalhados na avaliação do tráfego feita posteriormente.

A figura 5.1 mostra o consumo de energia em função do tempo para cada protocolo de roteamento. É exibida, a cada ponto, a média de energia restante nos nodos, como uma porcentagem da energia inicial.

Na figura 5.2 é apresentada, a cada ponto, a média de energia consumida pelos nodos, como uma porcentagem da energia inicial, por intervalo de 10 segundos, também para cada protocolo de roteamento.

A figura 5.3 consta de uma comparação do consumo de energia total, por protocolo de roteamento. Os valores são mostrados como uma porcentagem da energia inicial. A tabela 5.1 mostra os dados da comparação, incluindo os valores normalizados pelo protocolo GAF que apresentou o menor consumo total.

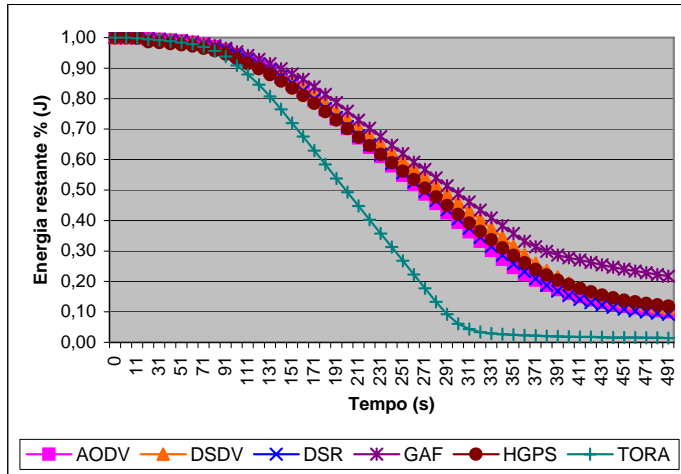


Figura 5.1: Consumo de energia em função do tempo do cenário padrão.

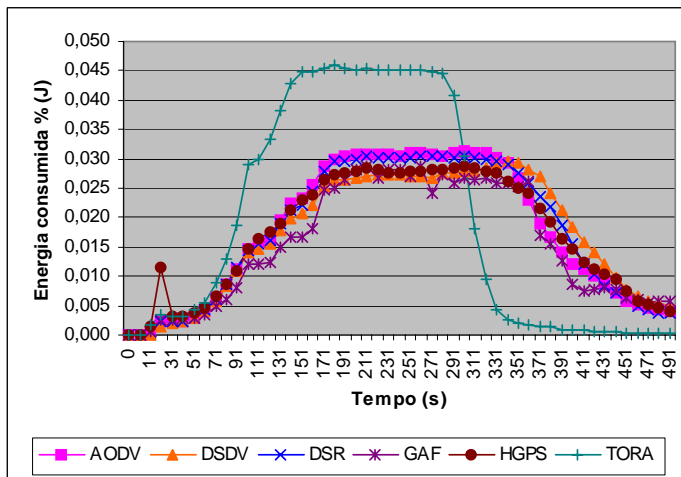


Figura 5.2: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos do cenário padrão.

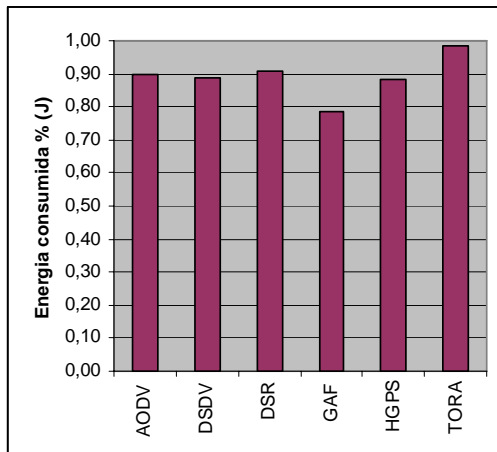


Figura 5.3: Energia total consumida no cenário padrão.

Protocolo	Consumo (%)	Consumo Norm.
AODV	0,90	1,12
DSDV	0,89	1,10
DSR	0,91	1,12
GAF	0,78	1,00
HGPS	0,88	1,10
TORA	0,99	1,20

Tabela 5.1: Energia total consumida no cenário padrão.

Observa-se um consumo próximo, com uma variação de no máximo 3%, com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS. Já com os protocolos GAF e TORA tem-se o menor (78%) e o maior (99%) consumo respectivamente, como pode ser observado na tabela 5.1. Com GAF é consumido 10% menos que com o HGPS e com o DSDV, o 2º e 3º menores consumos respectivamente. Já com o TORA é consumido 8% mais que com o DSR, o 2º maior consumo.

O menor consumo com o GAF é devido ao desligamento das interfaces de rede dos nodos que são equivalentes em relação ao roteamento. Assim menos nodos participam das transmissões. E conseqüentemente o gasto de energia diminui. Com isso foi possível manter 22% da energia total dos nodos.

O maior consumo com o TORA é devido ao alto tráfego de roteamento comparado aos outros protocolos. O consumo chega a atingir 99% da energia total.

Por se tratar de uma rede de pequena dimensão e poucos nodos o HGPS apresenta resultados parecidos com os protocolos DSDV, DSR e AODV. Sua característica hierárquico-geográfica é melhor aproveitada em redes maiores e com número elevado de nodos, segundo LI [32]. Observa-se na figura 5.2, a existência de um pico de consumo no início da simulação com o HGPS. Isto é devido ao tráfego de mensagens para a determinação de nodos servidores de localização. O protocolo propicia um menor consumo à medida que menos mensagens de roteamento são necessárias, já que os servidores de localização vão sendo gradativamente determinados e mantidos. Isso culmina num gasto total menor entre 1 e 3% que com os protocolos DSDV, DSR e AODV, sendo possivelmente interessante o uso dos servidores de localização.

Com o protocolo DSDV, apesar do uso de mensagens periódicas de atualização de rotas, o consumo é 1 e 2% menor que com os protocolos reativos AODV e DSR, respectivamente. Por ser uma rede pequena e com baixa mobilidade o número de atualizações necessárias torna-se reduzido, gerando uma sobrecarga de roteamento menor que os protocolos reativos. Isso implica em menor gasto de energia.

Com os protocolos AODV e DSR o gasto é próximo, 1% maior com o DSR. O resultado é condizente, dadas as semelhanças de funcionamento dos mesmos. Com o AODV o consumo é maior que com o DSR até aproximadamente 350 segundos. A partir daí começa o esgotamento da energia dos nodos. Com isto o número de vizinhos atingidos pelas mensagens de *Hello* do AODV diminui e conseqüentemente o gasto de energia também. Enquanto isto, com o DSR, devido ao *source-routing*, os nodos restantes são sobrecarregados, distanciando o consumo em relação à rede com o AODV, como pode ser visto na figura 5.2.

Em relação ao consumo por faixa de tempo, mostrado na figura 5.2, observa-se um aumento do gasto à medida que as fontes de tráfego são iniciadas. Uma estabilização é observada quando em aproximadamente aos 170 segundos não mais fontes têm de começar o envio. Além disto percebe-se a diminuição do gasto após 330 segundos devido ao esgotamento de energia dos nodos e conseqüente diminuição do tráfego na rede.

Com o GAF são percebidos picos de consumo, chegando até mesmo a gastar mais energia que com alguns dos outros protocolos. Isto pode ser explicado pela necessidade periódica de avaliar o posicionamento dos nodos, através de mensagens GAF, gerando assim mais tráfego.

Com o DSDV ocorre um aumento no consumo quando em aproximadamente 350 segundos o número de nodos começa a diminuir devido ao esgotamento de energia. Isto porque mais mensagens de atualização de rotas são necessárias para refletir as mudanças na topologia.

Com o AODV e DSR o consumo é mantido relativamente estável, podendo representar uma boa escalabilidade dos protocolos.

5.1.2 Análise do Tráfego

As figuras 5.4 e 5.5 mostram, respectivamente, o número de mensagens e bytes trafegados na rede, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.2 e 5.3 mostram os respectivos dados.

As figuras 5.6 e 5.7 mostram, respectivamente, a sobrecarga de roteamento em mensagens e bytes, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.4 e 5.5 mostram os respectivos

dados, incluindo os valores normalizados pelo protocolo DSR que apresentou a menor sobrecarga. Os valores são apresentados como uma porcentagem do tráfego total.

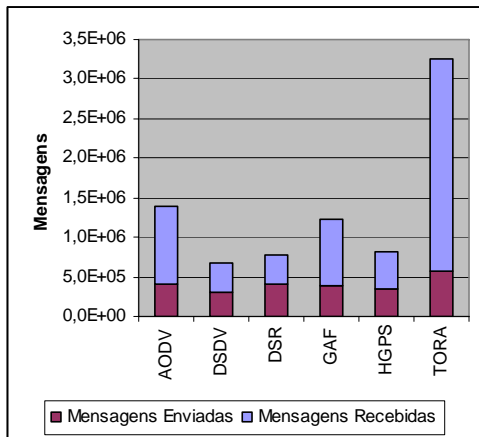


Figura 5.4: Tráfego de mensagens no cenário padrão.

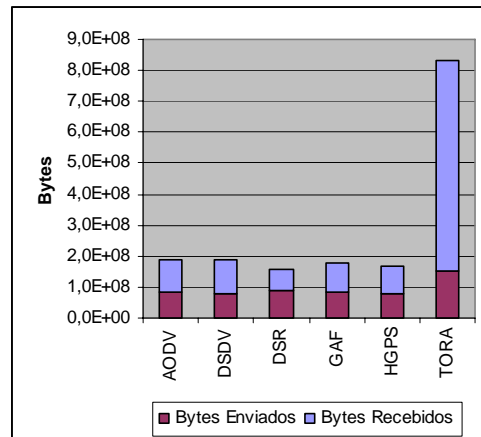


Figura 5.5: Tráfego de bytes no cenário padrão.

Protocolo	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas
AODV	405.298	986.577
DSDV	310.382	364.817
DSR	404.720	369.621
GAF	396.572	834.930
HGPS	354.148	456.501
TORA	577.009	2.670.529

Tabela 5.2: Tráfego de mensagens no cenário padrão.

Protocolo	Bytes Enviados	Bytes Recebidos
AODV	86.097.914	101.225.442
DSDV	79.518.852	111.370.795
DSR	87.657.442	71.667.322
GAF	85.116.604	93.012.072
HGPS	78.118.991	87.614.357
TORA	149.935.621	682.764.150

Tabela 5.3: Tráfego de bytes no cenário padrão.

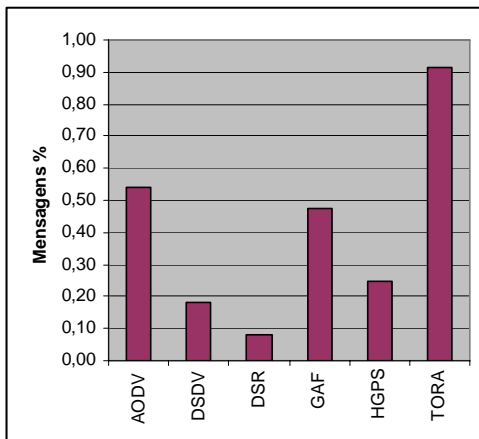


Figura 5.6: Sobrecarga de mensagens de roteamento

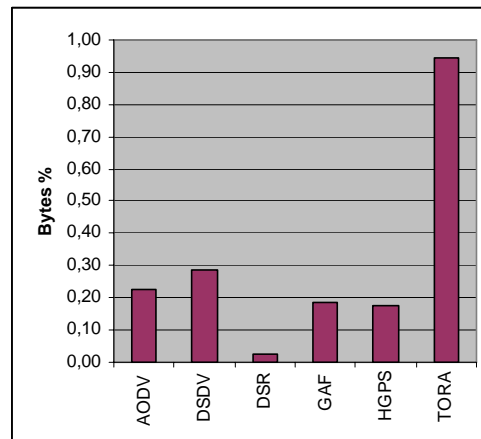


Figura 5.7: Sobrecarga de bytes de roteamento no cenário padrão.

no cenário padrão.

cenário padrão.

Protocolo	Sobrecarga (%)
AODV	0,54
DSDV	0,18
DSR	0,08
GAF	0,48
HGPS	0,25
TORA	0,91

Tabela 5.4: Sobrecarga de mensagens de roteamento no cenário padrão.

Protocolo	Sobrecarga (%)
AODV	0,23
DSDV	0,29
DSR	0,03
GAF	0,19
HGPS	0,18
TORA	0,95

Tabela 5.5: Sobrecarga de bytes de roteamento no cenário padrão.

Observa-se com o TORA um grande tráfego de roteamento, comparado aos outros protocolos, e que corresponde a uma sobrecarga de 91%. O alto tráfego é gerado pelas mensagens *Update*, *Query* e *Clear* que percorrem toda a rede. Além disto, o uso do protocolo IMEP ocasiona mensagens periódicas de *Hello*, devido ao seu mecanismo de descobrimento de vizinhos. Retransmissões e pacotes de reconhecimento fazem parte do funcionamento do IMEP e também contribuem para o aumento do consumo de energia. Outro motivo é o problema chamado *short-lived routing loops*, descrito em MALTZ [33]. Para exemplificar o problema, suponha um nodo A roteando pacotes para D, via B e depois C. Se o enlace de C para D falha, C irá reverter seu enlace para B, transmitir uma mensagem *Update* para notificar seus vizinhos e começar a rotear pacotes para D via B. Até B receber o *Update*, pacotes de dados irão circular entre B e C.

Com os protocolos DSDV, DSR e HGPS é exibido um tráfego próximo, apesar dos princípios de funcionamento serem baseados em idéias diferentes. Quanto ao DSDV, o uso de mensagens periódicas de atualização de rotas não causou grande sobrecarga de roteamento por ser uma rede pequena e com baixa mobilidade. Ele gera uma sobrecarga 10% maior que o DSR e 7% menor que o HGPS. Já com o HGPS o tráfego gerado pelas mensagens utilizadas para a determinação de servidores de localização não foi problema pela baixa mobilidade da rede. Também porque à medida que os servidores são determinados menos mensagens vão sendo necessárias tanto para gerenciar o roteamento quanto para enviar dados. O serviço de localização do HGPS permite que uma mensagem seja entregue com menos saltos, e conseqüentemente, menor consumo de energia. Mesmo assim o HGPS apresentou tráfego de roteamento 17% maior que o DSR, com a menor sobrecarga.

Como era de se esperar, com os protocolos AODV e GAF o tráfego foi semelhante. Isto é devido ao GAF utilizar internamente o AODV. Apesar disso com o GAF o tráfego total e a sobrecarga de roteamento foram 12 e 6% menores, respectivamente. Isto é devido ao

desligamento das interfaces, que faz com que menos mensagens sejam recebidas, principalmente de roteamento.

Em relação aos protocolos DSDV, DSR e HGPS os protocolos GAF e AODV propiciam um tráfego total e sobrecarga consideravelmente maior. Isto acontece devido ao uso de mensagens periódicas de *Hello* em ambos os protocolos e às mensagens de controle do GAF. Apesar disso com o AODV menos energia é consumida que com o DSR. O número maior de mensagens do AODV, em relação ao DSR, é devido ao recebimento. Mas o tráfego de envio é idêntico. Além disto, o DSR ocasionou um tráfego de bytes 2% maior que o AODV. Lembrando que o consumo na transmissão é 37% maior que no recebimento, explica-se o consumo ligeiramente maior com o DSR.

Em relação ao tráfego em bytes os resultados seguem o mesmo padrão do tráfego de mensagens, exceto para o DSDV, que devido ao tamanho maior das mensagens, gerou um tráfego de bytes maior que os protocolos AODV, DSR, GAF e HGPS. É interessante notar que, apesar disto, com o DSDV o consumo de energia é menor que com o AODV e DSR. Percebe-se então que com a largura de banda de 2 Mbits/s, mensagens grandes ou pequenas são enviadas em tempos semelhantes. E como o consumo da interface de rede é determinado em função do tempo de envio ou recebimento e não do tamanho da mensagem, tem-se a explicação do fato.

Os protocolos AODV e GAF apresentam uma redução na sobrecarga de roteamento em bytes em relação a mensagens, de 31 e 29%, respectivamente. Isto mostra que apesar deles gerarem muitas mensagens elas são de tamanho reduzido, o que pode balancear o consumo.

5.1.3 Comentários

Os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS apresentam um consumo próximo apesar do funcionamento diferente, que vai desde o protocolo puramente reativo DSR, passando pelo protocolo AODV que apresenta características reativas e pró-ativas, pelo DSDV que é pró-ativo até o HGPS com suas características hierárquico-geográficas. Apesar dos protocolos serem baseados em idéias distintas, eles possuem semelhanças. Além disso, as características medianas do cenário fazem com que as particularidades de cada protocolo tornem-se menos influenciadas, tornando os resultados próximos.

Os protocolos GAF e TORA destacam-se por propiciar uma maior distância do consumo de energia em relação aos outros protocolos. O pior resultado obtido com o TORA explica porque ele não foi prosseguido. Já o bom resultado do GAF sugere que para conseguir economia de energia talvez sejam necessárias outras medidas além da otimização do

protocolo de roteamento. No caso particular do GAF o desligamento das interfaces dos nodos intermediários foi o fator principal para o menor consumo na rede.

Outra consideração importante diz respeito à ligação entre o consumo de energia e o tráfego de mensagens e bytes. Fica claro que não existe uma relação formal entre os dois fatores. Por exemplo, com o protocolo AODV há um tráfego de mensagens e bytes consideravelmente maior que com o DSR. Mas com o AODV o consumo de energia é menor. Isto sugere que o projeto de protocolos de roteamento não deve levar em consideração somente questões voltadas ao tráfego. A diminuição do consumo de energia exige um tratamento que envolve outros fatores como, por exemplo, a utilização da largura de banda e o balanceamento de trabalho entre os nodos da rede.

Percebe-se também que a sobrecarga de roteamento influenciou muito o tráfego total. Em praticamente todos os casos, os maiores tráfegos dizem respeito aos protocolos com maior sobrecarga de roteamento.

5.2 Variação do Número de Nodos

São apresentados aqui os resultados das simulações do cenário padrão com um aumento do número de nodos de 50 para 100 e 150. Os cenários são denominados PAD1 (cenário padrão com alta densidade 1) com 100 nodos e PAD2 (cenário padrão com alta densidade 2) com 150 nodos.

5.2.1 Análise do Consumo de Energia

Esta avaliação é focalizada no consumo de energia. Alguns aspectos são melhores detalhados na avaliação do tráfego feita posteriormente.

As figuras 5.8 e 5.9 mostram o consumo de energia em função do tempo para cada protocolo de roteamento, respectivamente, para os cenários PAD1 e PAD2. É exibida, a cada ponto, a média de energia restante nos nodos, como uma porcentagem da energia inicial.

Nas figuras 5.10 e 5.11 são apresentadas, a cada ponto, a média de energia consumida pelos nodos, como uma porcentagem da energia inicial, por intervalo de 10 segundos, também para cada protocolo de roteamento.

A figura 5.12 consta de uma comparação do consumo de energia total, por protocolo de roteamento. Os valores são mostrados como uma porcentagem da energia inicial. A tabela 5.6 mostra os dados da comparação, incluindo os valores normalizados pelo protocolo GAF que apresentou o menor consumo total.

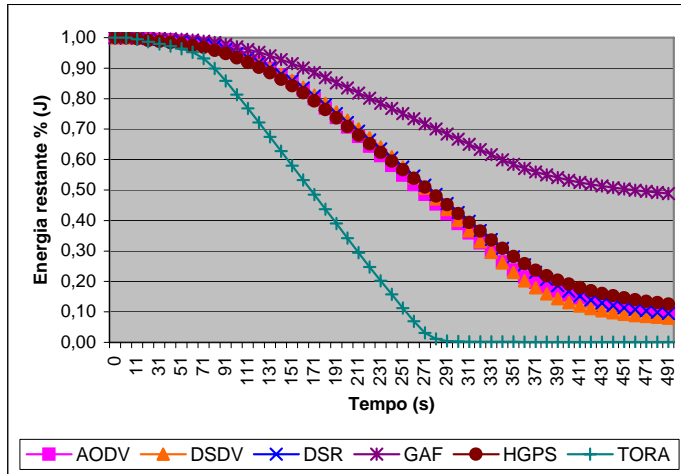


Figura 5.8: Consumo de energia em função do tempo para PAD1.

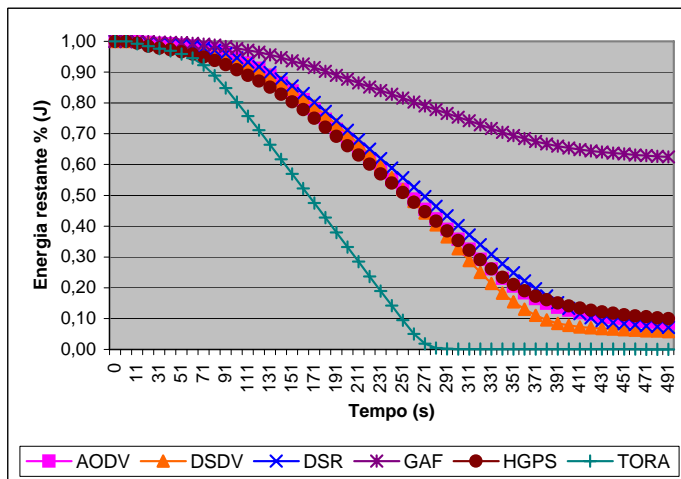


Figura 5.9: Consumo de energia em função do tempo para PAD2.

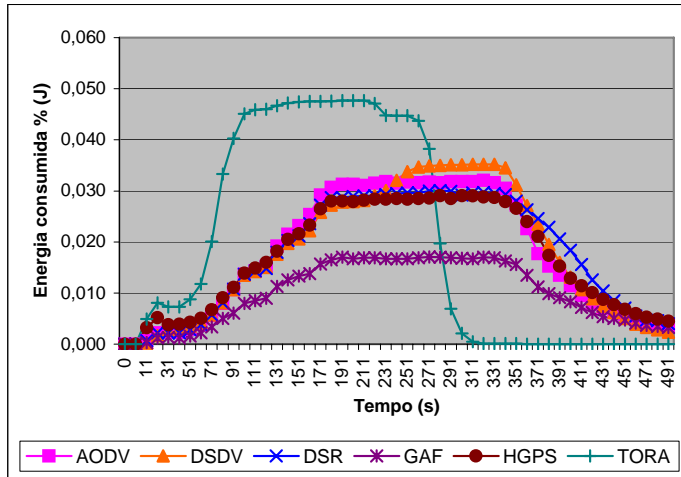


Figura 5.10: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAD1.

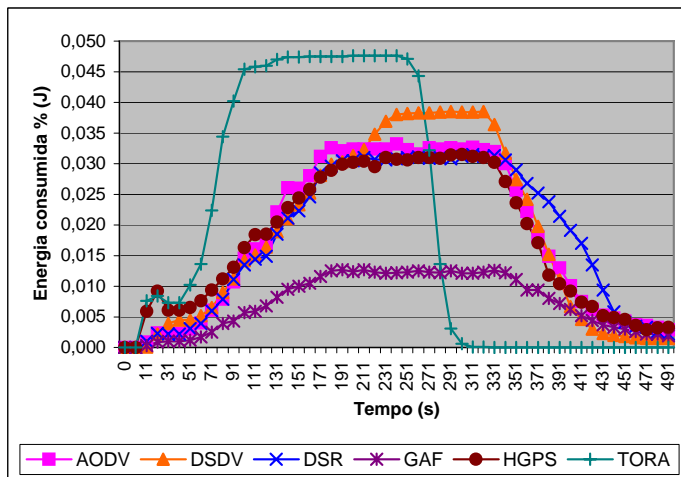


Figura 5.11: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAD2.

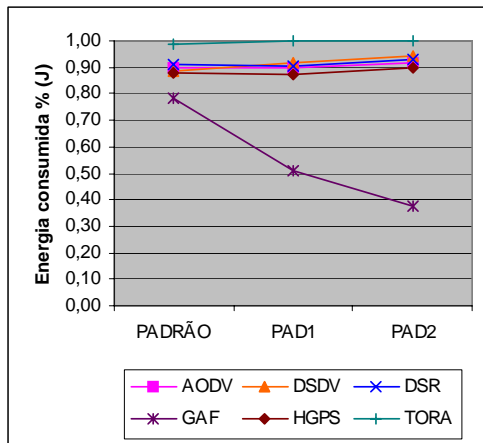


Figura 5.12: Energia total consumida com a variação do número de nodos.

Protocolo	PADRÃO		PAD1		PAD2	
	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.
AODV	0,90	1,12	0,90	1,39	0,91	1,54
DSDV	0,89	1,10	0,92	1,41	0,94	1,57
DSR	0,91	1,12	0,91	1,39	0,93	1,55
GAF	0,78	1,00	0,51	1,00	0,37	1,00
HGPS	0,88	1,10	0,87	1,36	0,90	1,53
TORA	0,99	1,20	1,00	1,49	1,00	1,62

Tabela 5.6: Energia total consumida com a variação do número de nodos.

É possível observar que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo, como apresentado no cenário padrão. Aqui a variação é de no máximo 5% em PAD1 e 4% em PAD2. No cenário padrão a variação ficou em até 3%. Percebe-se então que apesar do aumento de 100% e 200% do número de nodos a diferença de funcionamento desses protocolos não impactou de forma considerável o consumo de energia. Isto também é verificado no aumento de consumo por protocolo, que foi de no máximo 5%, considerando os dois cenários.

Já com os protocolos GAF e TORA o consumo continua sendo o menor e o maior, respectivamente. Com o protocolo GAF é exibido um consumo 36 e 53% menores que o 2º melhor (HGPS), em PAD1 e PAD2, respectivamente. Como a quantidade de fontes e destinos de tráfego foi mantida, mais nodos intermediários puderam ter suas interfaces desligadas e assim o gasto de energia diminuiu consideravelmente. Com isto foi possível manter 49 e 63% da energia total dos nodos, respectivamente em PAD1 e PAD2. Com o TORA foi obtido o pior resultado, consumindo mais energia em menos tempo à medida que o número de nodos aumenta. O consumo é predominado pela sobrecarga de roteamento.

De acordo com a tabela 5.6, com o HGPS é apresentado, em PAD1, um consumo 1% menor que no cenário padrão. Já em PAD2 o gasto é 2% maior que no cenário padrão e 3% mais que em PAD1. Em PAD1, menos mensagens e bytes foram enviados na rede, apesar de mais mensagens terem sido recebidas. Já em PAD2 o tráfego tanto de envio quanto de recebimento é maior que no cenário padrão e em PAD1. Como o consumo na transmissão é maior que na recepção tem-se do consumo ter diminuído e depois aumentado. Com o protocolo foi possível um consumo menor que com o DSDV, DSR, AODV e TORA. Isto

mostra que sua característica hierárquico-geográfica é melhor aproveitada em redes com um número maior de nodos.

Com os protocolos AODV e DSR o gasto continua próximo, sendo entre 1 e 2% maiores com o DSR, em PAD1 e PAD2 respectivamente. O resultado é condizente com o cenário padrão e os motivos são os mesmos já citados.

Com o protocolo DSDV é exibido um consumo até 3% maior que com os protocolos DSR e AODV. Isto é devido ao aumento do número e tamanho das mensagens de atualização de rotas decorrente do aumento do número de nodos.

Em relação ao consumo por faixa de tempo a única observação nova em relação ao cenário padrão é o gasto claramente menor com o GAF durante todo o tempo de simulação. Observa-se no cenário padrão que em alguns pontos o consumo com o GAF supera o gasto com os outros protocolos.

Com o DSDV é exibido inicialmente um consumo próximo com os protocolos AODV, DSR e HGPS. Mas à medida que o número de mensagens de atualização aumenta, o consumo torna-se consideravelmente maior.

5.2.2 Análise do Tráfego

As figuras 5.13 e 5.14 mostram, respectivamente, o número de mensagens e bytes trafegados na rede, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.7 e 5.8 mostram os respectivos dados.

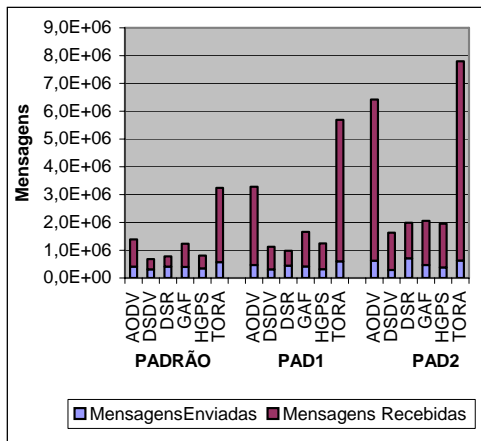


Figura 5.13: Tráfego de mensagens com a variação do número de nodos.

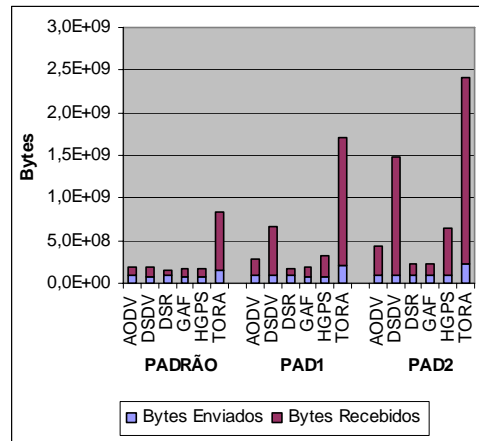


Figura 5.14: Tráfego de bytes com a variação do número de nodos.

Protocolo	PADRÃO			PAD1			PAD2		
	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens
AODV	405.298	986.577	1.391.875	470.274	2.809.412	3.279.686	622.485	5.793.687	6.416.172
DSDV	310.382	364.817	675.199	308.903	820.248	1.129.151	288.613	1.345.940	1.634.553
DSR	404.720	369.621	774.341	449.402	534.460	983.862	709.341	1.276.354	1.985.695
GAF	396.572	834.930	1.231.502	416.194	1.243.765	1.659.959	468.290	1.591.225	2.059.515
HGPS	354.148	456.501	810.649	325.242	919.051	1.244.293	376.146	1.577.030	1.953.176
TORA	577.009	2.670.529	3.247.538	600.454	5.087.114	5.687.568	635.806	7.162.753	7.798.559

Tabela 5.7: Tráfego de mensagens com a variação do número de nodos.

Protocolo	PADRÃO			PAD1			PAD2		
	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes
AODV	86.097.914	101.225.442	187.323.356	89.782.103	192.567.053	282.349.156	99.500.404	343.181.856	442.682.260
DSDV	79.518.852	111.370.795	190.889.647	90.063.315	565.768.785	655.832.100	101.500.523	1.385.866.213	1.487.366.736
DSR	87.657.442	71.667.322	159.324.764	88.959.404	79.612.826	168.572.230	99.462.707	120.181.735	219.644.442
GAF	85.116.604	93.012.072	178.128.676	85.213.397	111.641.950	196.855.347	90.305.526	128.711.514	219.017.040
HGPS	78.118.991	87.614.357	165.733.348	77.600.115	245.017.496	322.617.611	87.128.894	550.744.824	637.873.718
TORA	149.935.621	682.764.150	832.699.771	211.270.104	1.495.559.527	1.706.829.631	232.897.856	2.170.373.248	2.403.271.104

Tabela 5.8: Tráfego de bytes com a variação do número de nodos.

Percebe-se um aumento geral no número de mensagens e bytes. Além disso, diferenças significativas são notadas dos cenários PAD1 e PAD2 para o cenário padrão. O cenário padrão sofre grande influência com o aumento do número de nodos.

As figuras 5.15 e 5.16 mostram o progresso dos protocolos em relação ao tráfego total de mensagens e bytes respectivamente. Os dados são mostrados nas tabelas 5.9 e 5.10, nas quais os cenários PAD1 e PAD2 são comparados com o cenário padrão. Os valores são mostrados em termos percentuais.

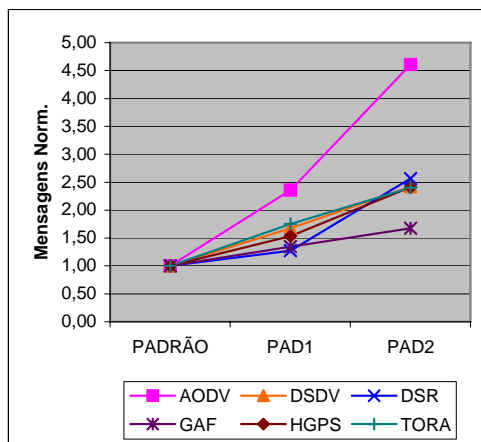


Figura 5.15: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do número de nodos.

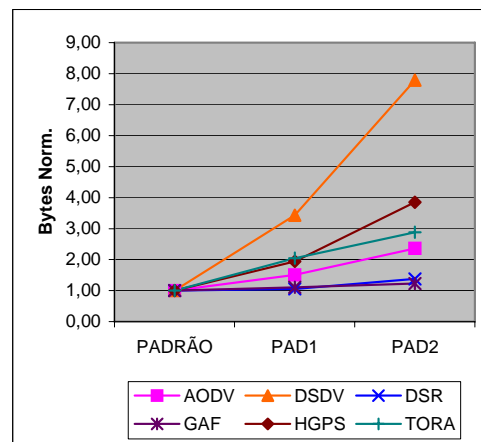


Figura 5.16: Tráfego de bytes normalizado com a variação do número de nodos.

Protocolo	PADRÃO	PAD1	PAD2
AODV	1,00	2,36	4,61
DSDV	1,00	1,67	2,42
DSR	1,00	1,27	2,56
GAF	1,00	1,35	1,67
HGPS	1,00	1,53	2,41
TORA	1,00	1,75	2,40

Tabela 5.9: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do número de nodos.

Protocolo	PADRÃO	PAD1	PAD2
AODV	1,00	1,51	2,36
DSDV	1,00	3,44	7,79
DSR	1,00	1,06	1,38
GAF	1,00	1,11	1,23
HGPS	1,00	1,95	3,85
TORA	1,00	2,05	2,89

Tabela 5.10: Tráfego de bytes normalizado com a variação do número de nodos.

Com o aumento de 100% do número de nodos (de 50 para 100 nodos) o tráfego de mensagens cresceu em média 1,66 vezes. Destacam-se o protocolo AODV cuja rede obteve o maior crescimento (2,36 vezes) e o DSR, com o menor aumento, de 1,27 vezes. Com 200% de aumento no número de nodos (de 50 para 150 nodos) é apresentado um crescimento médio de 2,68 vezes. Também se destacando o AODV como maior crescimento (4,61 vezes) e o GAF como o menor (1,67 vezes).

Para o tráfego de bytes o aumento médio foi maior. De 1,85 vezes, em PAD1, a 3,25 vezes, em PAD2. Destacam-se aqui, em PAD1, o DSR com o menor crescimento (1,06 vezes) e o DSDV com o maior (3,44 vezes). Já em PAD2, tem-se o GAF com o menor aumento (1,23 vezes) e o DSDV com o maior (7,79 vezes).

Os melhores resultados com o GAF são devidos ao fato da quantidade de fontes e destinos de tráfego ter sido mantida, enquanto mais interfaces de nodos intermediários puderam ser desligadas. E, conseqüentemente, menos tráfego é gerado.

Com os protocolos AODV e GAF ocorre um tráfego diferente do mostrado no cenário padrão. O aumento das mensagens de *Hello* no AODV em contraposição com o maior número de interfaces desligadas no GAF faz com que o tráfego com o AODV seja 51 e 32% maiores que com o GAF em PAD1 e PAD2, respectivamente. Com o GAF o tráfego permanece mais próximo com os protocolos DSR, DSDV e HGPS, em comparação com o AODV.

Em PAD1, com o DSDV é verificado um tráfego maior que com o DSR, o contrário do observado no cenário padrão. Também em PAD1 e PAD2 observa-se um crescimento de bytes com o DSDV em relação ao cenário padrão. Isto é devido à maior quantidade de mensagens de atualização de rotas e também dos seus tamanhos, pois mais nodos são referenciados numa atualização. Com este grande aumento do tráfego de bytes o DSDV não se apresenta escalável quanto ao número de nodos.

Com os protocolos DSDV, DSR e HGPS é exibido novamente um tráfego de mensagens próximo. Com o DSR verifica-se um número elevado de mensagens em PAD2

Excluído: c

(2,56 vezes o número do cenário padrão). Isto é devido ao maior número de nodos envolvidos com o *source-routing*. Apesar disto, é o protocolo com a menor sobrecarga de roteamento tanto em número de bytes quanto em número de mensagens.

Com os protocolos AODV, DSDV e HGPS o tráfego de bytes é consideravelmente maior que com o DSR e GAF. No AODV tem-se o uso de mensagens periódicas de *Hello*. O DSDV apresenta mensagens maiores pelas informações de atualização de rotas de todos os nodos. Já no HGPS o tamanho maior das mensagens é devido à manutenção dos servidores de localização.

As figuras 5.17 e 5.18 mostram, respectivamente, a sobrecarga de roteamento em mensagens e bytes, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.11 e 5.12 mostram os respectivos dados, incluindo os valores normalizados pelo protocolo DSR que apresentou a menor sobrecarga. Os valores são apresentados como uma porcentagem do tráfego total.

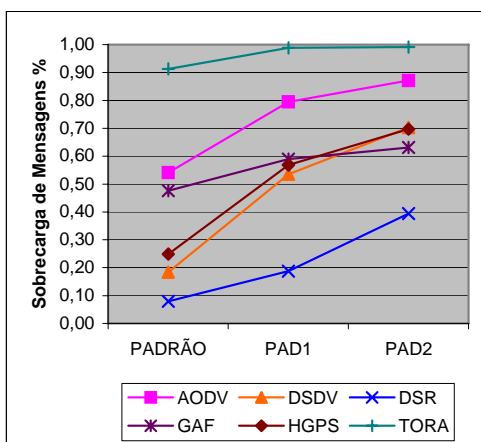


Figura 5.17: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do número de nodos.

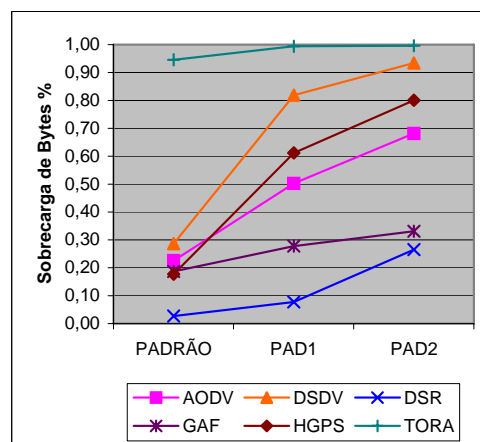


Figura 5.18: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do número de nodos.

Protocolo	PADRÃO		PAD1		PAD2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,54	1,46	0,79	1,61	0,87	1,48
DSDV	0,18	1,10	0,54	1,35	0,70	1,31
DSR	0,08	1,00	0,19	1,00	0,39	1,00
GAF	0,48	1,40	0,59	1,40	0,63	1,24
HGPS	0,25	1,17	0,57	1,38	0,70	1,30
TORA	0,91	1,83	0,99	1,80	0,99	1,60

Tabela 5.11: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do número de nodos.

Protocolo	PADRÃO		PAD1		PAD2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,23	1,20	0,50	1,43	0,68	1,42
DSDV	0,29	1,26	0,82	1,74	0,93	1,67
DSR	0,03	1,00	0,08	1,00	0,27	1,00
GAF	0,19	1,16	0,28	1,20	0,33	1,07
HGPS	0,18	1,15	0,61	1,53	0,80	1,54
TORA	0,95	1,92	0,99	1,92	1,00	1,73

Tabela 5.12: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do número de nodos.

Em relação à sobrecarga de mensagens de roteamento, tem-se o melhor resultado com o DSR. Já com os piores resultados estão o TORA (1º) e o AODV (2º).

Em relação à sobrecarga de bytes de roteamento, tem-se o melhor resultado com o DSR (1º) e depois o GAF (2º). Já com os piores resultados estão o TORA (1º) e depois o DSDV (2º).

O DSR mostra os benefícios do *source-routing* fazendo com que ele seja escalável em relação ao número de nodos da rede.

No HGPS houve um aumento da sobrecarga de roteamento de 25 para 57%, em PAD1, e 70% em PAD2. Paralelamente observa-se um consumo de energia menor que o padrão em PAD1 e maior em PAD2. Percebe-se, então, que em PAD1 o funcionamento dos servidores de localização é melhor aproveitado. Já em PAD2 a grande quantidade de nodos numa mesma grade ocasiona tráfego excessivo de roteamento. Em áreas maiores o protocolo tende a apresentar mais benefícios.

Pela tabela 5.11, observa-se no TORA um considerável aumento no tráfego de roteamento de 91%, no cenário padrão, para 99% em PAD1 e PAD2. Os problemas citados na análise do cenário padrão são negativamente influenciados pelo aumento do número de nodos.

5.2.3 Comentários

O aumento do número de nodos gerou um tráfego consideravelmente maior que o do cenário padrão. Em termos percentuais o crescimento do tráfego foi bem superior ao crescimento do número de nodos. Já o consumo de energia não obteve grande crescimento. Isto mostra que, exceto o DSDV, os protocolos escalam bem com a maior quantidade de nodos. O DSDV obteve resultados piores em relação ao cenário padrão, mostrando-se pouco escalável quanto ao número de nodos.

É possível observar que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo, como apresentado no cenário padrão.

Os protocolos GAF e TORA destacam-se novamente como o menor e o maior consumo respectivamente. O GAF mostrou-se bastante escalável quanto ao número de nodos apresentado um gasto de energia bem menor que o cenário padrão.

Os bons resultados do HGPS mostram que sua característica hierárquico-geográfica é melhor aproveitada em redes com um número maior de nodos.

A sobrecarga de roteamento aumentou consideravelmente seu domínio sobre o tráfego total.

5.3 Variação da Mobilidade

São apresentados aqui os resultados das simulações do cenário padrão com um aumento da mobilidade dos nodos. Os cenários são denominados PAM1 (cenário padrão com alta mobilidade 1), com uma velocidade máxima de 30 km/h e tempo de parada de 60 segundos, e PAM2 (cenário padrão com alta mobilidade 2), com uma velocidade máxima de 30 km/h e tempo de parada de 30 segundos.

5.3.1 Análise do Consumo de Energia

A avaliação aqui é focalizada no consumo de energia. Alguns aspectos são melhores detalhados na avaliação do tráfego feita posteriormente.

As figuras 5.19 e 5.20 mostram o consumo de energia em função do tempo para cada protocolo de roteamento, respectivamente, para os cenários PAM1 e PAM2. É exibida, a cada ponto, a média de energia restante nos nodos, como uma porcentagem da energia inicial.

Nas figuras 5.21 e 5.22 é apresentada, a cada ponto, a média de energia consumida pelos nodos, como uma porcentagem da energia inicial, por intervalo de 10 segundos, também para cada protocolo de roteamento.

A figura 5.23 consta de uma comparação do consumo de energia total, por protocolo de roteamento. Os valores são mostrados como uma porcentagem da energia inicial. A tabela 5.13 mostra os dados da comparação, incluindo os valores normalizados pelo protocolo GAF que apresentou o menor consumo total.

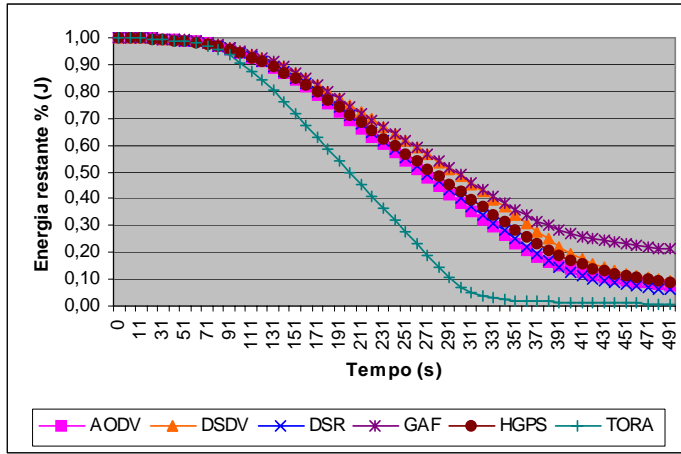


Figura 5.19: Consumo de energia em função do tempo para PAM1.

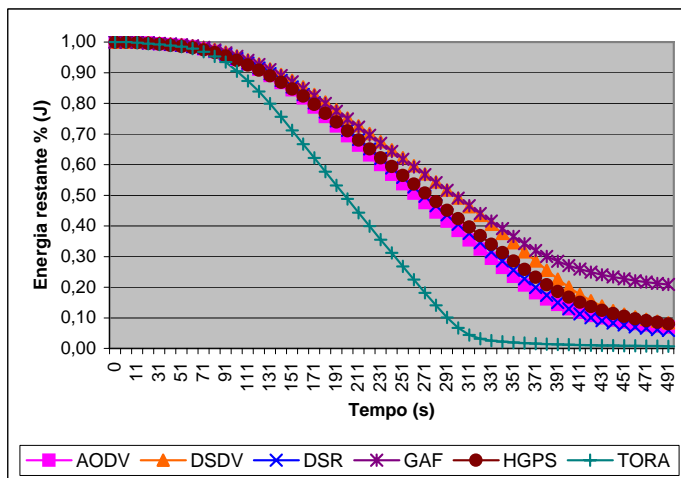


Figura 5.20: Consumo de energia em função do tempo para PAM2.

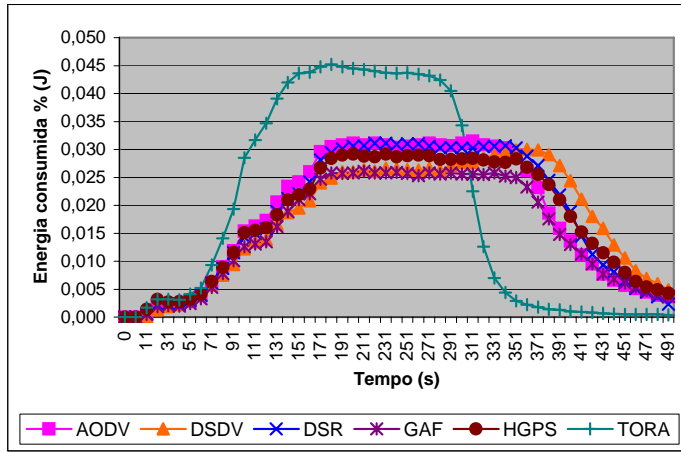


Figura 5.21: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAM1.

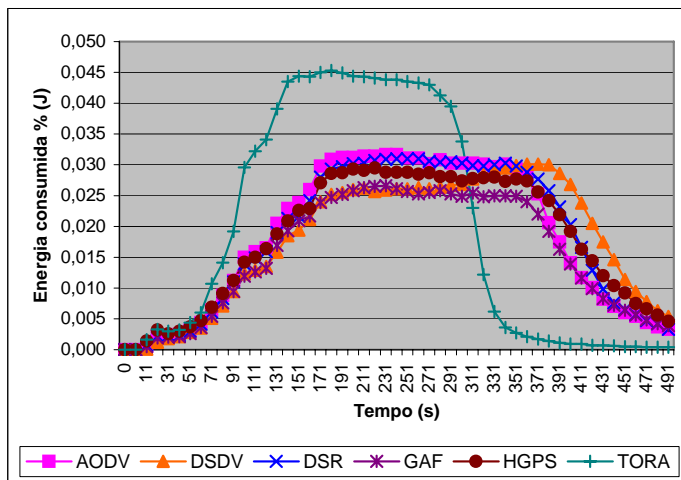


Figura 5.22: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAM2.

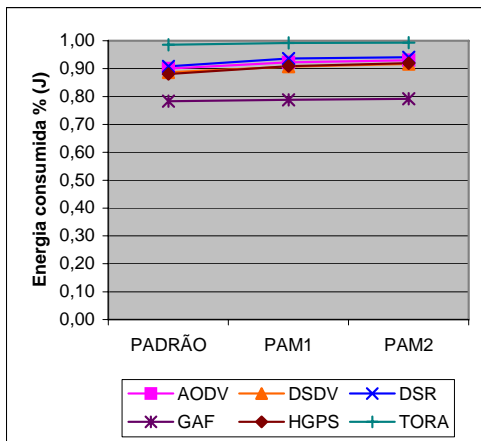


Figura 5.23: Energia total consumida com a variação da mobilidade.

Protocolo	PADRÃO		PAM1		PAM2	
	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.
AODV	0,90	1,12	0,92	1,13	0,93	1,14
DSDV	0,89	1,10	0,91	1,12	0,92	1,13
DSR	0,91	1,12	0,94	1,15	0,94	1,15
GAF	0,78	1,00	0,79	1,00	0,79	1,00
HGPS	0,88	1,10	0,91	1,12	0,92	1,13
TORA	0,99	1,20	0,99	1,20	0,99	1,20

Tabela 5.13: Energia total consumida com a variação da mobilidade.

É possível observar que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo, como apresentado no cenário padrão. Aqui a variação é de no máximo 4% em PAM1 e 3% em PAM2. No cenário padrão a variação ficou em até 3%. Percebe-se também que a maior mobilidade não impactou muito no consumo de energia. Isto se torna mais evidente analisando o consumo por protocolo que apresenta uma variação de no máximo 4%, considerando PAM1 e PAM2.

Com os protocolos GAF e TORA continuam sendo exibidos o menor e o maior consumo respectivamente. Em relação ao cenário padrão, com o GAF tem-se um aumento de consumo de 1% em PAM1 e PAM2. Já com o TORA manteve o mesmo consumo.

Com o protocolo GAF tem-se um consumo 12 e 13% menores que com o 2º melhor (HGPS), em PAM1 e PAM2, respectivamente. Percebe-se um aumento de 2 e 3% na distância entre o consumo com o GAF e com o 2º melhor, comparando-se com o cenário padrão. Isto porque menos tráfego foi realizado, como mostra a análise de tráfego, posteriormente. Conseqüentemente o consumo diminuiu.

O consumo com o TORA continua dominado pela sobrecarga de roteamento e não apresenta variação considerável.

De acordo com a tabela 5.13, o HGPS, em PAM1, propicia um consumo 3% maior que no cenário padrão. Em PAM2 o aumento foi de 4%. Estes significantes aumentos são devidos ao maior tráfego de roteamento necessário para gerenciar a maior mobilidade dos nodos, principalmente a redefinição de servidores de localização, necessária quando os nodos movimentam-se entre grades.

Com os protocolos AODV e DSR observa-se um gasto próximo, sendo entre 2 e 1% maiores para com o DSR, em PAM1 e PAM2, respectivamente. Os motivos são citados na análise do cenário padrão.

Com o protocolo DSDV é exibido agora um consumo menor que os protocolos DSR e AODV, com uma diferença de no máximo 4%. O consumo menor também é observado no cenário padrão. O protocolo DSDV não foi muito afetado por não se tratar de uma rede com elevado número de nodos e grande área, apesar de ter sido necessário mais atualizações de rotas devido ao aumento da mobilidade,

Em relação ao consumo por faixa de tempo observa-se com o GAF uma maior estabilidade de consumo. Isto é uma consequência da diminuição de tráfego relativo a dados úteis. Já com os protocolos AODV e DSR há maior alternância em relação ao consumo por intervalo de tempo devido à instabilidade causada pela maior mobilidade dos nodos. Percebe-se com o DSDV, a partir de 330 segundos, um pico de consumo. Isto é causado pelo início do esgotamento de energia dos nodos, exigindo mais tráfego de roteamento para atualizar a topologia. O pico é agravado em PAM1 e PAM2 pela maior mobilidade que por si mesma já exige uma quantidade maior de atualizações de rotas.

5.3.2 Análise do Tráfego

As figuras 5.24 e 5.25 mostram, respectivamente, o número de mensagens e bytes trafegados na rede, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.14 e 5.15 mostram os respectivos dados.

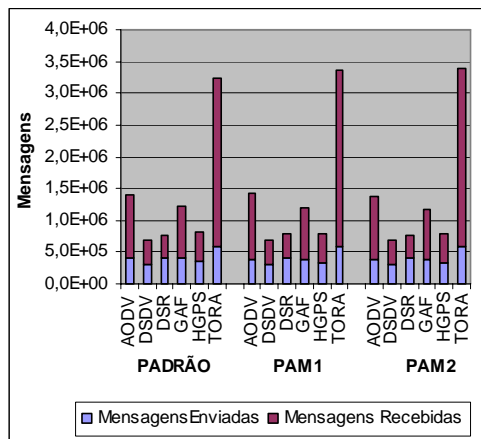


Figura 5.24: Tráfego de mensagens com a variação da

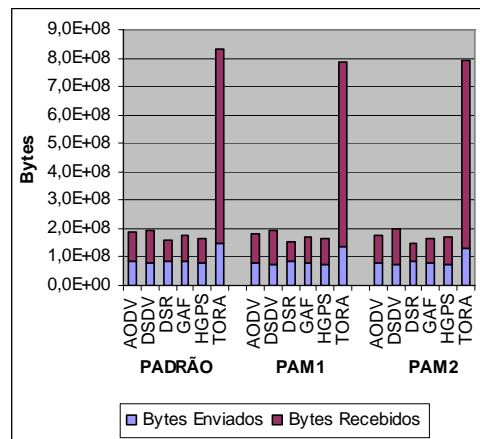


Figura 5.25: Tráfego de bytes com a variação da

mobilidade.

mobilidade.

Protocolo	PADRÃO			PAM1			PAM2		
	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens
AODV	405.298	986.577	1.391.875	388.186	1.029.257	1.417.443	379.177	996.828	1.376.005
DSDV	310.382	364.817	675.199	304.308	378.067	682.375	299.564	388.439	688.003
DSR	404.720	369.621	774.341	417.178	380.220	797.398	400.162	367.178	767.340
GAF	396.572	834.930	1.231.502	377.621	828.753	1.206.374	370.716	811.047	1.181.763
HGPS	354.148	456.501	810.649	329.585	450.138	779.723	327.597	461.427	789.024
TORA	577.009	2.670.529	3.247.538	593.602	2.776.168	3.369.770	580.134	2.807.501	3.387.635

Tabela 5.14: Tráfego de mensagens com a variação da mobilidade.

Protocolo	PADRÃO			PAM1			PAM2		
	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes
AODV	86.097.914	101.225.442	187.323.356	81.191.521	100.409.847	181.601.368	79.977.527	98.484.369	178.461.896
DSDV	79.518.852	111.370.795	190.889.647	75.355.617	119.600.087	194.955.704	74.518.201	126.044.322	200.562.523
DSR	87.657.442	71.667.322	159.324.764	85.367.928	69.017.484	154.385.412	82.890.179	67.488.739	150.378.918
GAF	85.116.604	93.012.072	178.128.676	80.162.764	89.939.458	170.102.222	79.235.082	88.749.328	167.984.410
HGPS	78.118.991	87.614.357	165.733.348	74.662.727	92.630.903	167.293.630	73.904.120	96.416.572	170.320.692
TORA	149.935.621	682.764.150	832.699.771	135.330.827	652.227.252	787.558.079	132.302.197	660.211.703	792.513.900

Tabela 5.15: Tráfego de bytes com a variação da mobilidade.

Percebem-se poucas diferenças de tráfego dos cenários PAM1 e PAM2 para o cenário padrão. Na maioria dos casos observa-se uma ligeira diminuição de tráfego. Os protocolos sofrem pouca influência com o aumento da mobilidade.

As figuras 5.26 e 5.27 mostram o progresso dos protocolos em relação ao tráfego total de mensagens e bytes respectivamente. Os dados são mostrados nas tabelas 5.16 e 5.17, nas quais os cenários PAM1 e PAM2 são comparados com o cenário padrão. Os valores são mostrados em termos percentuais.

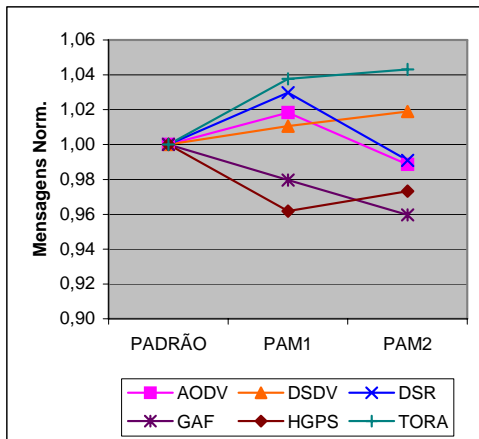


Figura 5.26: Tráfego de mensagens normalizado com

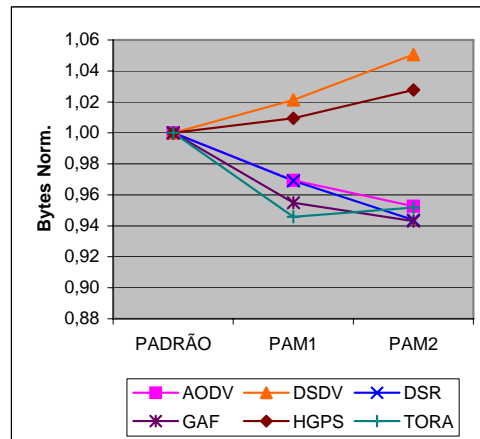


Figura 5.27: Tráfego de bytes normalizado com a

a variação da mobilidade.

Protocolo	PADRÃO	PAM1	PAM2
AODV	1,00	1,02	0,99
DSDV	1,00	1,01	1,02
DSR	1,00	1,03	0,99
GAF	1,00	0,98	0,96
HGPS	1,00	0,96	0,97
TORA	1,00	1,04	1,04

Tabela 5.16: Tráfego de mensagens normalizado com a variação da mobilidade.

variação da mobilidade.

Protocolo	PADRÃO	PAM1	PAM2
AODV	1,00	0,97	0,95
DSDV	1,00	1,02	1,05
DSR	1,00	0,97	0,94
GAF	1,00	0,95	0,94
HGPS	1,00	1,01	1,03
TORA	1,00	0,95	0,95

Tabela 5.17: Tráfego de bytes normalizado com a variação da mobilidade.

Com o aumento da mobilidade o tráfego de mensagens apresenta um crescimento geral de 1%, sendo que com alguns protocolos é exibida uma diminuição do tráfego. Destacam-se os protocolos GAF e AODV por propiciarem as diminuições de tráfego mais significativas. Isto aliado ao fato da sobrecarga de roteamento destes protocolos ter aumentado, sugere que o tráfego de dados úteis foi prejudicado. Portanto são afetados, de forma negativa e considerável, pela mobilidade.

O tráfego de bytes apresenta uma diminuição geral de 2%, sendo que com alguns protocolos são gerados mais bytes que no cenário padrão. Destacam-se aqui, os protocolos DSDV e HGPS, com os quais é verificado um aumento do tráfego de bytes. Isto é explicado pelo tamanho maior das mensagens de roteamento aliado ao aumento da sobrecarga. Com os outros protocolos percebem-se reduções no tráfego de bytes devido ao menor tamanho de suas mensagens de roteamento.

Apesar do aumento da sobrecarga de roteamento dos protocolos são exibidas diminuições de tráfego. Isto faz sentido porque menos tráfego de dados úteis pode ser trafegado devido à maior mobilidade.

Com os protocolos AODV e DSR tem-se um aumento de tráfego em PAM1 e diminuição em PAM2. Em PAM1 o aumento da velocidade faz com que os protocolos utilizem mais mensagens de roteamento. Já em PAM2 a mobilidade torna-se ainda maior pelo tempo de parada reduzido (30 segundos). Assim o tráfego de dados úteis torna-se prejudicado diminuindo o tráfego total.

Com os protocolos GAF e HGPS houve a maior diminuição do tráfego de dados úteis. O funcionamento dos protocolos mostrou-se pouco adaptável à mobilidade. O GAF necessita gerenciar o desligamento dos nodos para que a eficiência das rotas seja mantida. Com a maior mobilidade seu trabalho fica mais difícil e demorado, e conseqüentemente menos dados úteis

são trafegados. No HGPS o problema são as atualizações dos servidores de localização, que com a mobilidade maior tornam-se mais frequentes. E isto impacta diretamente a entrega de dados úteis.

Com o TORA é claramente observado o aumento do número de mensagens e a diminuição dos bytes. A sobrecarga de roteamento aumenta pela mobilidade maior e o tráfego de dados úteis (mensagens de maior tamanho) diminui.

Com o DSDV tem-se aumento tanto no número de mensagens quanto no número de bytes. Isto é devido a maior quantidade de atualizações de rotas, necessária pelo aumento da mobilidade. E como as mensagens de roteamento do DSDV são grandes o tráfego de bytes também aumenta.

As figuras 5.28 e 5.29 mostram, respectivamente, a sobrecarga de roteamento em mensagens e bytes, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.18 e 5.19 mostram os respectivos dados, incluindo os valores normalizados pelo protocolo DSR que apresentou a menor sobrecarga. Os valores são apresentados como uma porcentagem do tráfego total.

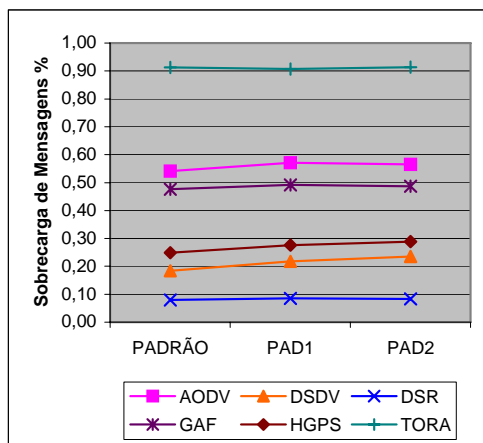


Figura 5.28: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação da mobilidade.

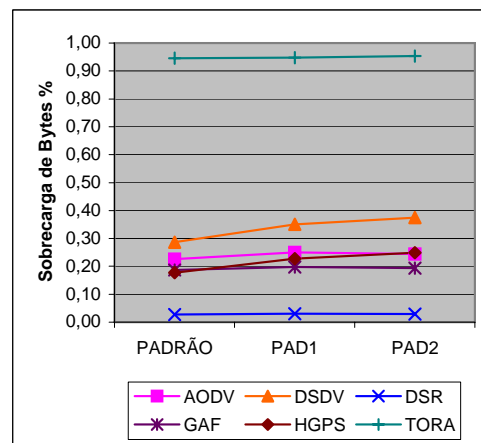


Figura 5.29: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação da mobilidade.

Protocolo	PADRÃO		PAM1		PAM2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,54	1,46	0,57	1,49	0,57	1,48
DSDV	0,18	1,10	0,22	1,13	0,23	1,15
DSR	0,08	1,00	0,09	1,00	0,08	1,00
GAF	0,48	1,40	0,49	1,41	0,49	1,40
HGPS	0,25	1,17	0,28	1,19	0,29	1,21
TORA	0,91	1,83	0,91	1,82	0,91	1,83

Tabela 5.18: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação da mobilidade.

Protocolo	PADRÃO		PAM1		PAM2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,23	1,20	0,25	1,22	0,24	1,22
DSDV	0,29	1,26	0,35	1,32	0,37	1,35
DSR	0,03	1,00	0,03	1,00	0,03	1,00
GAF	0,19	1,16	0,20	1,17	0,19	1,17
HGPS	0,18	1,15	0,23	1,20	0,25	1,22
TORA	0,95	1,92	0,95	1,92	0,95	1,92

Tabela 5.19: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação da mobilidade.

Observa-se um aumento pequeno da sobrecarga com todos os protocolos. Apesar de mais mensagens de roteamento serem necessárias para manter a topologia da rede com maior mobilidade, menos dados úteis trafegam. Dai tem-se a pequena variação.

Em relação à sobrecarga de mensagens de roteamento, tem-se com os melhores resultados o DSR (1º) e o DSDV (2º). Já com os piores resultados estão o TORA (1º) e o AODV (2º).

Em relação à sobrecarga de bytes de roteamento, tem-se com os melhores resultados o DSR (1º) e o GAF (2º). Já com os piores resultados estão o TORA (1º) e o DSDV (2º).

O DSR mostra os benefícios do *source-routing* também em relação à mobilidade. O mesmo acontece com o DSDV que foi pouco afetado pela mobilidade mostrando resultados semelhantes ao cenário padrão.

O TORA e o AODV mantêm sua sobrecarga alta devido aos motivos já relatados na análise do cenário padrão.

O GAF exibe baixa sobrecarga de bytes dado o tamanho reduzido de suas mensagens. Já com o DSDV o fato é contrário por suas mensagens de roteamento maiores.

5.3.3 Comentários

Não são observadas grandes alterações no consumo de energia em relação ao cenário padrão. As características medianas do cenário fazem com que as particularidades de cada protocolo tornem-se menos influenciadas, tornando os resultados próximos. Apesar do aumento da mobilidade ser elevado, a área relativamente pequena não propicia mudanças drásticas na topologia.

É possível observar que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo, como apresentado no cenário padrão.

Os protocolos GAF e TORA destacam-se novamente como o menor e o maior consumo respectivamente.

Apesar do aumento da sobrecarga de roteamento dos protocolos são exibidas diminuições de tráfego. Isto faz sentido porque menos tráfego de dados úteis pode ser transmitido, devido à maior mobilidade.

Com os protocolos GAF e HGPS houve a maior diminuição do tráfego de dados úteis. O funcionamento dos protocolos mostrou-se pouco adaptável à mobilidade.

5.4 Variação do Tráfego

São apresentados aqui os resultados das simulações do cenário padrão com um aumento do tráfego de dados. Os cenários são denominados PAT1 (cenário padrão com alto tráfego 1), com uma taxa de envio de dados de 8 pacotes por segundo, e PAT2 (cenário padrão com alto tráfego 2), com uma taxa de envio de dados de 12 pacotes por segundo.

5.4.1 Análise do Consumo de Energia

A avaliação aqui é focalizada no consumo de energia. Alguns aspectos são melhores detalhados na avaliação do tráfego feita posteriormente.

As figuras 5.30 e 5.31 mostram o consumo de energia em função do tempo para cada protocolo de roteamento, respectivamente, para os cenários PAT1 e PAT2. É exibida, a cada ponto, a média de energia restante nos nodos, como uma porcentagem da energia inicial.

Nas figuras 5.32 e 5.33 é apresentada, a cada ponto, a média de energia consumida pelos nodos, como uma porcentagem da energia inicial, por intervalo de 10 segundos, também para cada protocolo de roteamento.

A figura 5.34 consta de uma comparação do consumo de energia total, por protocolo de roteamento. Os valores são mostrados como uma porcentagem da energia inicial. A tabela 5.20 mostra os dados da comparação, incluindo os valores normalizados pelo protocolo GAF que apresentou o menor consumo total.

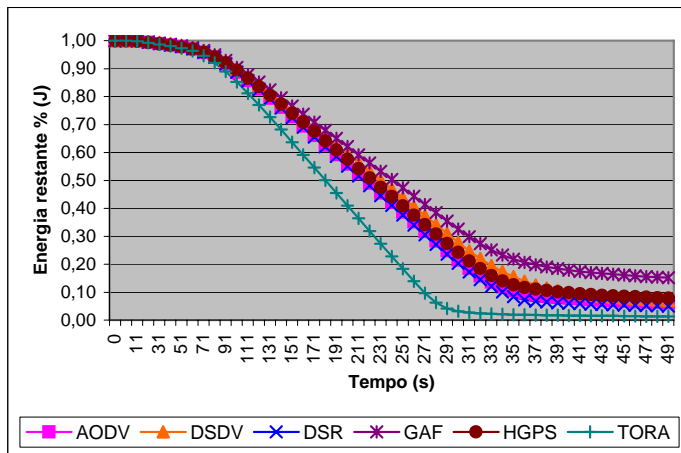


Figura 5.30: Consumo de energia em função do tempo para PAT1.

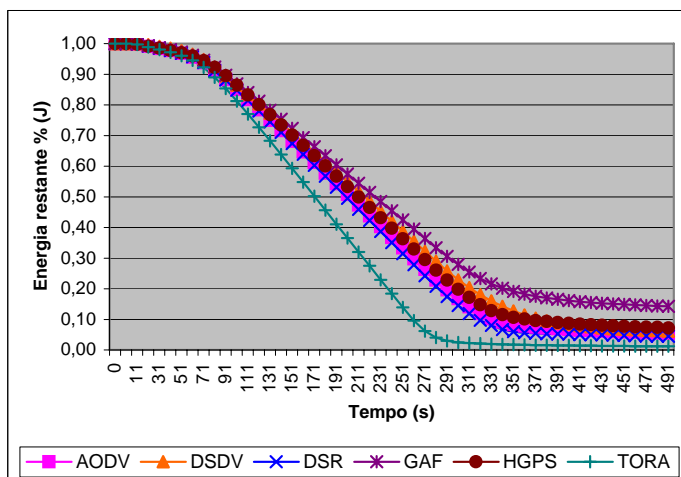


Figura 5.31: Consumo de energia em função do tempo para PAT2.

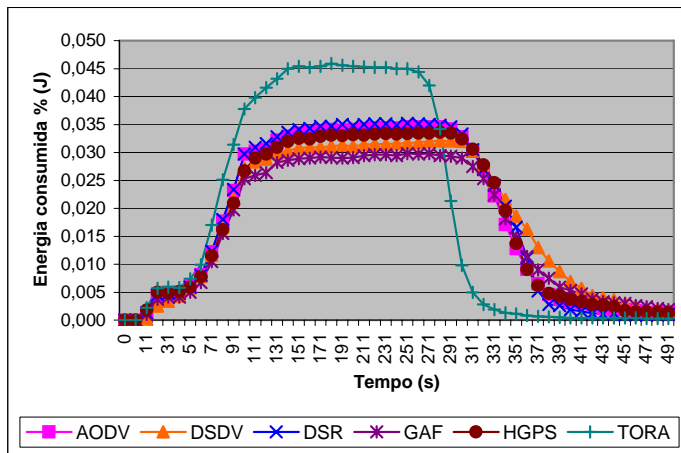


Figura 5.32: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAT1.

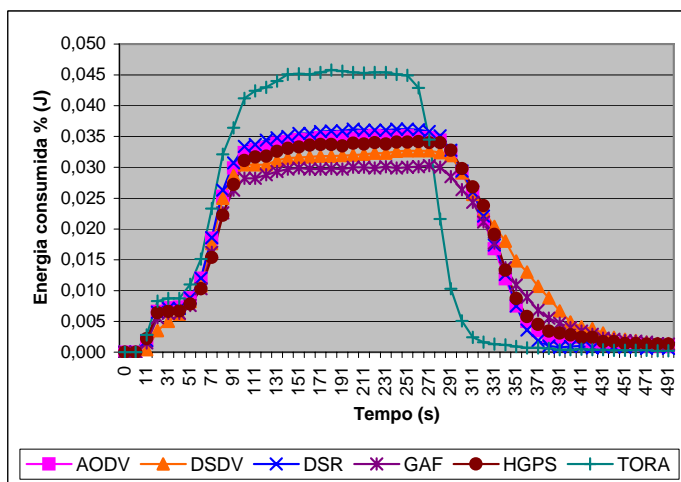


Figura 5.33: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAT2.

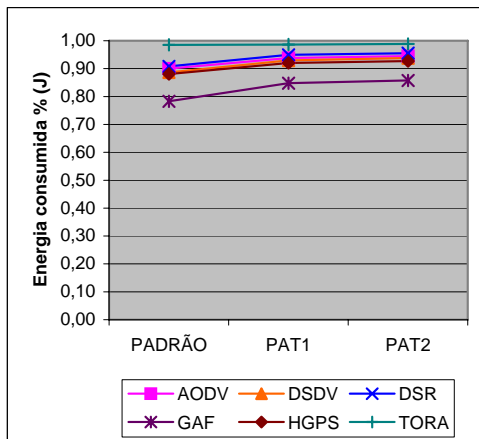


Figura 5.34: Energia total consumida com a variação do tráfego.

Protocolo	PADRÃO		PAT1		PAT2	
	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.
AODV	0,90	1,12	0,94	1,09	0,95	1,09
DSDV	0,89	1,10	0,93	1,08	0,94	1,08
DSR	0,91	1,12	0,95	1,10	0,96	1,10
GAF	0,78	1,00	0,85	1,00	0,86	1,00
HGPS	0,88	1,10	0,92	1,07	0,93	1,07
TORA	0,99	1,20	0,99	1,14	0,99	1,13

Tabela 5.20: Energia total consumida com a variação do tráfego.

Com o aumento de tráfego o consumo de energia torna-se mais claro e as diferenças entre os protocolos mais perceptíveis. Isto porque os protocolos de roteamento são mais exigidos devido ao maior número de mensagens de dados a serem entregues. Outra observação geral é que os nodos consomem energia mais rapidamente, à medida que o tráfego aumenta, como pode ser percebido nas figuras 5.30 e 5.31.

É possível observar que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo, com uma variação de no máximo 4%, em PAT1 e PAT2. Percebe-se também que o maior tráfego impactou consideravelmente o consumo de energia. Pela tabela 5.20 é possível notar que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS houve um aumento de 4% do cenário padrão para PAT1. Isto mostra o impacto do tráfego, que foi duplicado de um cenário para o outro. Já em PAT2 o aumento foi de 1%.

Os protocolos GAF e TORA continuam propiciando o menor e o maior consumo, respectivamente. Com o GAF houve o maior crescimento de consumo, aumentando de 78 para 85% em PAT1 e para 86% em PAT2. Isto porque com o maior tráfego o desligamento das interfaces dos nodos torna-se menos freqüente. Apesar disto, com o protocolo obtém-se um consumo 7% menor que com o 2º melhor (HGPS), em PAT1 e PAT2. Já com o TORA manteve-se o mesmo consumo, ainda dominado pela sobrecarga de roteamento.

Com os protocolos AODV e DSR o gasto é próximo, sendo 1% maior com o DSR, em PAT1 e PAT2. Com o AODV consome-se menos que com o DSR até aproximadamente 370 segundos, em PAT1, e 370 segundos, em PAT2. A partir daí, começa o esgotamento da energia dos nodos. Com isto, o tráfego de roteamento gerado pelo AODV torna-se maior que o gerado pelo DSR, fazendo com que o AODV consuma mais.

Com o protocolo DSDV observa-se um consumo menor que com os protocolos DSR e AODV, com uma diferença de no máximo 2%. O resultado condiz com o cenário padrão. A partir de aproximadamente 310 segundos, o protocolo passa a consumir mais que os outros dois citados, como pode ser visto nas figuras 5.32 e 5.33. Isto é devido ao aumento de atualizações de rotas para manter a topologia com o esgotamento de energia dos nodos.

Em relação ao consumo por faixa de tempo observa-se nos protocolos uma estabilidade de consumo entre aproximadamente 100 e 300 segundos. Isto porque o tráfego torna-se contínuo devido a maior quantidade de dados.

5.4.2 Análise do Tráfego

As figuras 5.35 e 5.36 mostram, respectivamente, o número de mensagens e bytes trafegados na rede, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.21 e 5.22 mostram os respectivos dados.

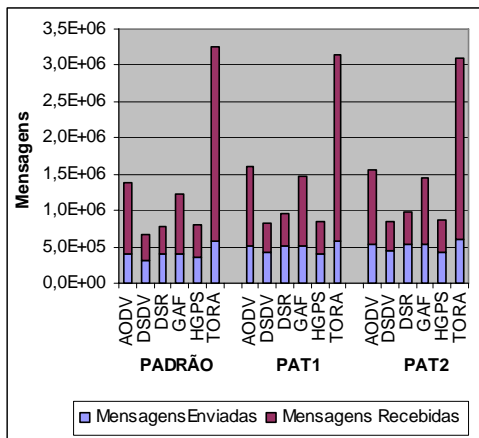


Figura 5.35: Tráfego de mensagens com a variação do tráfego.

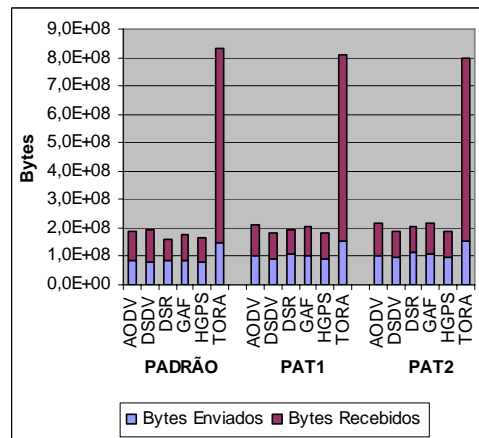


Figura 5.36: Tráfego de bytes com a variação do tráfego.

Protocolo	PADRÃO			PAT1			PAT2		
	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens
AODV	405.298	986.577	1.391.875	504.809	1.095.749	1.600.558	524.497	1.039.997	1.564.494
DSDV	310.382	364.817	675.199	429.860	389.611	819.471	456.823	400.915	857.738
DSR	404.720	369.621	774.341	510.253	449.327	959.580	525.945	464.526	990.471
GAF	396.572	834.930	1.231.502	505.580	958.929	1.464.509	528.448	925.005	1.453.453
HGPS	354.148	456.501	810.649	409.151	447.576	856.727	424.489	454.203	878.692
TORA	577.009	2.670.529	3.247.538	585.234	2.567.128	3.152.362	594.140	2.507.157	3.101.297

Tabela 5.21: Tráfego de mensagens com a variação do tráfego.

Protocolo	PADRÃO			PAT1			PAT2		
	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes
AODV	86.097.914	101.225.442	187.323.356	100.244.025	112.772.656	213.016.681	104.340.364	113.419.949	217.760.313
DSDV	79.518.852	111.370.795	190.889.647	93.396.366	91.702.209	185.098.575	97.810.227	88.370.212	186.180.439
DSR	87.657.442	71.667.322	159.324.764	107.097.490	87.473.147	194.570.637	112.534.302	93.636.050	206.170.352
GAF	85.116.604	93.012.072	178.128.676	101.119.242	106.628.773	207.748.015	105.621.077	108.481.236	214.102.313
HGPS	78.118.991	87.614.357	165.733.348	91.787.090	88.507.607	180.294.697	95.549.438	91.075.374	186.624.812
TORA	149.935.621	682.764.150	832.699.771	151.927.930	659.562.645	811.490.575	152.717.313	644.357.312	797.074.625

Tabela 5.22: Tráfego de bytes com a variação do tráfego.

A uma primeira vista observa-se o aumento do número de mensagens nos cenários PAT1 e PAT2 em relação ao cenário padrão. A proporção entre os protocolos manteve-se, exceto com o protocolo HGPS que em PAT1 e PAT2 obteve um tráfego maior que com o DSR, o que não aconteceu no cenário padrão.

Em relação ao tráfego de bytes observa-se em PAT1 e PAT2 a mesma proporção entre os protocolos apresentada no cenário padrão, exceto pelo DSDV para o qual a rede apresentou um tráfego menor que com o AODV e DSR, diferenciando do cenário padrão.

As figuras 5.37 e 5.38 mostram o progresso dos protocolos em relação ao tráfego total de mensagens e bytes respectivamente. Os dados são mostrados nas tabelas 5.23 e 5.24, nas quais os cenários PAT1 e PAT2 são comparados com o cenário padrão. Os valores são mostrados em termos percentuais.

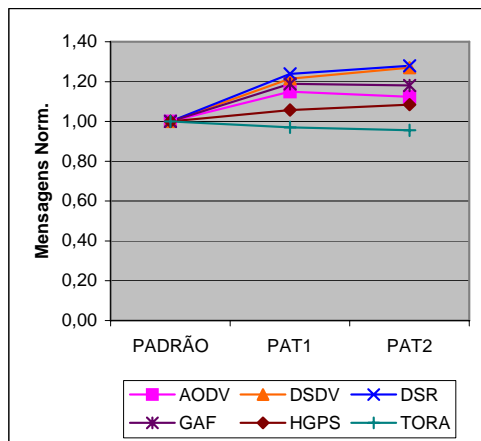


Figura 5.37: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do tráfego.

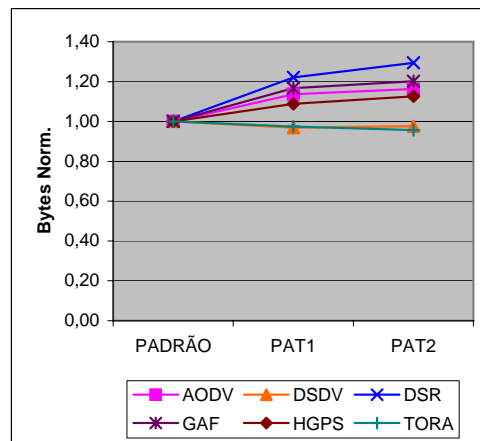


Figura 5.38: Tráfego de bytes normalizado com a variação do tráfego.

Protocolo	PADRÃO	PAT1	PAT2
AODV	1,00	1,15	1,12
DSDV	1,00	1,21	1,27
DSR	1,00	1,24	1,28
GAF	1,00	1,19	1,18
HGPS	1,00	1,06	1,08
TORA	1,00	0,97	0,95

Tabela 5.23: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do tráfego.

Protocolo	PADRÃO	PAT1	PAT2
AODV	1,00	1,14	1,16
DSDV	1,00	0,97	0,98
DSR	1,00	1,22	1,29
GAF	1,00	1,17	1,20
HGPS	1,00	1,09	1,13
TORA	1,00	0,97	0,96

Tabela 5.24: Tráfego de bytes normalizado com a variação do tráfego.

Com o aumento da carga de dados gerados o tráfego de mensagens apresenta um crescimento geral de 14 e 15%, respectivamente, para PAT1 e PAT2. O tráfego de bytes apresenta um aumento de 9 e 12% para PAT1 e PAT2, respectivamente.

Com os protocolos AODV, GAF e TORA é apresentado em PAT2 uma diminuição do número de mensagens, em relação à PAT1. Estes protocolos possuem uma alta sobrecarga de roteamento e com o aumento da carga útil, o roteamento torna-se menos dominante e, portanto, propicia a diminuição do tráfego total. Ocorre com o DSDV e TORA uma diminuição do tráfego de bytes em relação ao cenário padrão. O motivo também é a diminuição da sobrecarga de roteamento.

As figuras 5.39 e 5.40 mostram a sobrecarga de mensagens e bytes de roteamento, respectivamente. Os dados são mostrados nas tabelas 5.25 e 5.26, nas quais os valores são apresentados em termos percentuais relativos ao tráfego total e também normalizados pelo protocolo DSR que apresentou a menor sobrecarga.

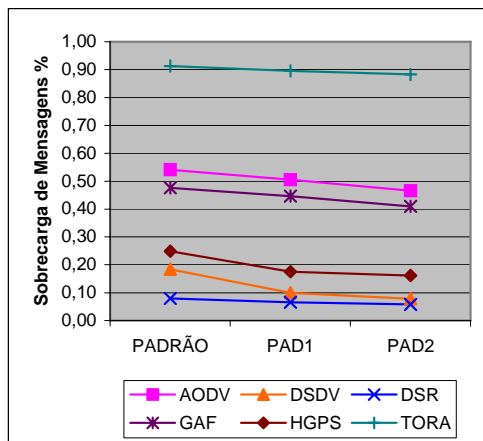


Figura 5.39: Sobrecarga de mensagens de roteamento

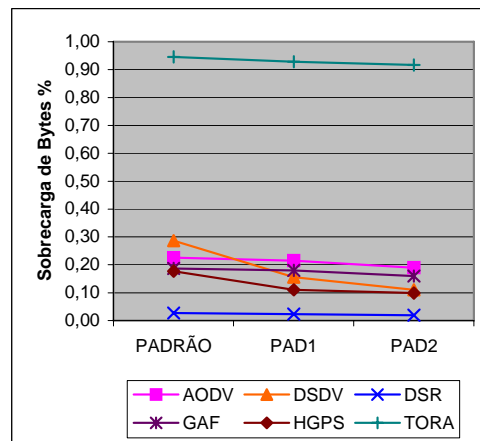


Figura 5.40: Sobrecarga de bytes de roteamento com a

com a variação do tráfego.

variação do tráfego.

Protocolo	PADRÃO		PAT1		PAT2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,54	1,46	0,51	1,44	0,47	1,41
DSDV	0,18	1,10	0,10	1,03	0,08	1,02
DSR	0,08	1,00	0,07	1,00	0,06	1,00
GAF	0,48	1,40	0,45	1,38	0,41	1,35
HGPS	0,25	1,17	0,17	1,11	0,16	1,10
TORA	0,91	1,83	0,90	1,83	0,88	1,82

Tabela 5.25: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do tráfego.

Protocolo	PADRÃO		PAT1		PAT2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,23	1,20	0,21	1,19	0,19	1,17
DSDV	0,29	1,26	0,16	1,13	0,11	1,09
DSR	0,03	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00
GAF	0,19	1,16	0,18	1,16	0,16	1,14
HGPS	0,18	1,15	0,11	1,09	0,10	1,08
TORA	0,95	1,92	0,93	1,91	0,92	1,90

Tabela 5.26: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do tráfego.

Observa-se a diminuição da sobrecarga de roteamento em todos os protocolos. Isto já foi explicado pelo aumento do tráfego de dados úteis.

Em relação à sobrecarga de mensagens roteamento, tem-se com os melhores resultados o DSR (1º) e o DSDV (2º). Já com os piores resultados estão o TORA (1º) e o AODV (2º).

Em relação à sobrecarga de bytes roteamento, tem-se com os melhores resultados o DSR (1º) e o HGPS (2º). Já com os piores resultados estão o TORA (1º) e o AODV (2º).

O DSR mostra os benefícios do *source-routing* também em relação ao tráfego. O mesmo acontece com o DSDV mostrando resultados semelhantes ao cenário padrão.

O TORA e o AODV mantêm sua sobrecarga alta devido aos motivos já relatados na análise do cenário padrão.

O HGPS exhibe baixa sobrecarga de bytes dada a redução proporcional das mensagens de roteamento.

5.4.3 Comentários

Com o aumento de tráfego o consumo de energia torna-se mais claro e as diferenças entre os protocolos mais perceptíveis. Isto porque os protocolos de roteamento são mais exigidos devido ao maior número de mensagens de dados a serem entregues.

É possível observar que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo, como apresentado no cenário padrão.

Com os protocolos AODV e DSR o gasto continuou próximo como exibido nos cenários anteriores, mostrando que suas semelhanças de funcionamento prevalecem sobre o aumento dos nodos, da mobilidade e do tráfego.

Os protocolos GAF e TORA destacam-se novamente como o menor e o maior consumo respectivamente.

5.5 Variação do Alcance

São apresentados aqui os resultados das simulações do cenário padrão com a diminuição do alcance dos nodos. Os cenários são denominados PAV1 (cenário padrão com alcance variado 1), com um alcance de 100m, e PAV2 (cenário padrão com alcance variado 2), com alcance de 250m.

O tamanho da grade de atuação do protocolo GAF foi inicialmente definido como sugerido em XU [22]. Assim os valores foram 45m para PAV1 e 112m para PAV2. Mas, os resultados prévios obtidos mostraram que os referidos tamanhos de grade são pequenos para uma área de 1000 x 1000 metros. Sendo assim o desligamento dos nodos fica prejudicado, pois poucos nodos se encontram nas mesmas grades. Optou-se então por utilizar o mesmo tamanho de grade do cenário padrão, que é de 179m, possibilitando que mais nodos sejam desligados.

5.5.1 Análise do Consumo de Energia

A avaliação aqui é focalizada no consumo de energia. Alguns aspectos são melhores detalhados na avaliação do tráfego feita posteriormente.

As figuras 5.41 e 5.42 mostram o consumo de energia em função do tempo para cada protocolo de roteamento, respectivamente, para os cenários PAV1 e PAV2. É exibida, a cada ponto, a média de energia restante nos nodos, como uma porcentagem da energia inicial.

Nas figuras 5.43 e 5.44 é apresentada, a cada ponto, a média de energia consumida pelos nodos, como uma porcentagem da energia inicial, por intervalo de 10 segundos, também para cada protocolo de roteamento.

A figura 5.45 consta de uma comparação do consumo de energia total, por protocolo de roteamento. Os valores são mostrados como uma porcentagem da energia inicial. A tabela 5.27 mostra os dados da comparação, incluindo os valores normalizados pelos protocolos que

apresentaram o menor consumo, que são o GAF, HGPS e GAF, respectivamente, nos cenários padrão, PAV1 e PAV2.

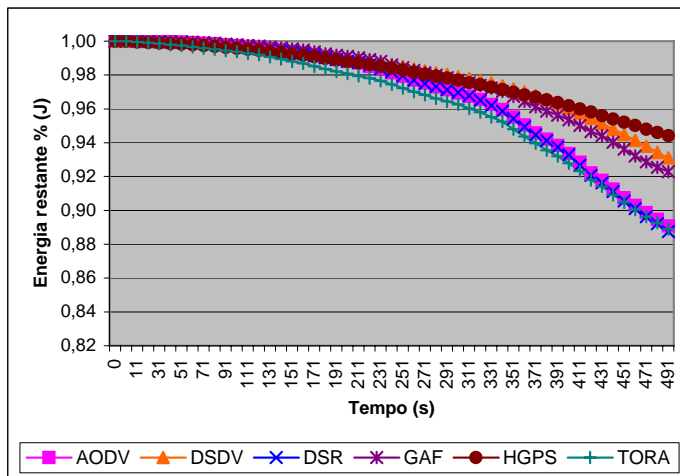


Figura 5.41: Consumo de energia em função do tempo para PAV1.

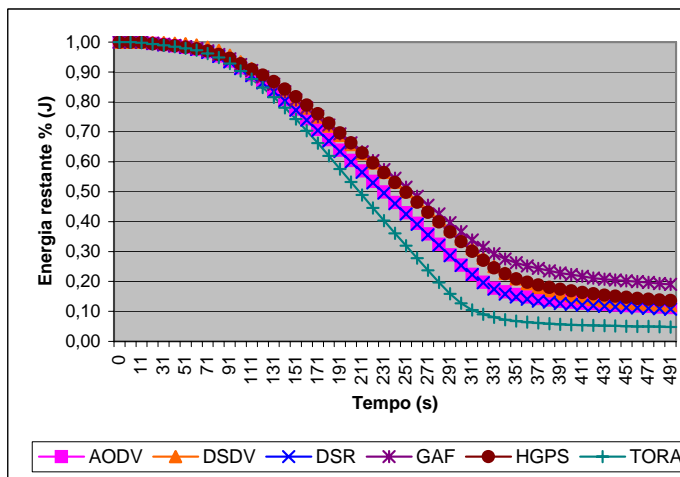


Figura 5.42: Consumo de energia em função do tempo para PAV2.

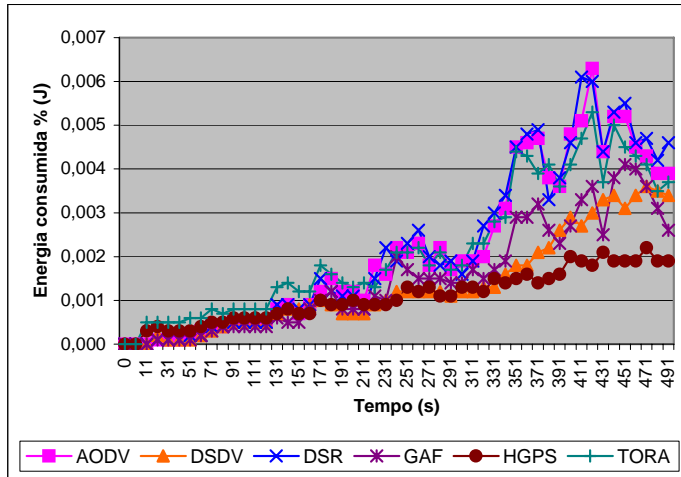


Figura 5.43: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAV1.

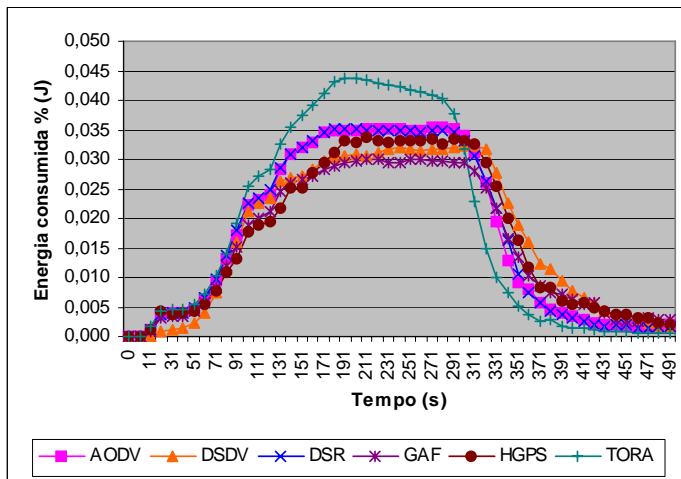


Figura 5.44: Consumo de energia por intervalo de 10 segundos para PAV2.

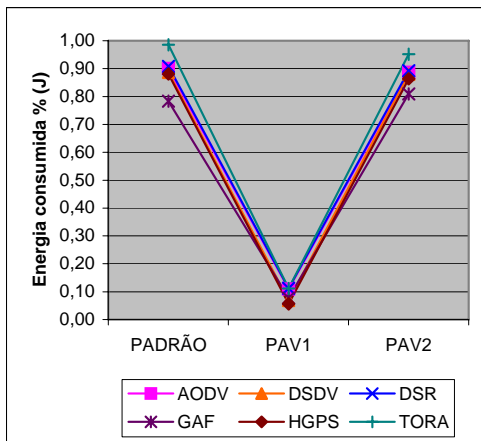


Figura 5.45: Energia total consumida com a variação do alcance.

Protocolo	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.	Consumo (%)	Consumo Norm.
AODV	0,90	1,12	0,11	1,05	0,89	1,08
DSDV	0,89	1,10	0,07	1,01	0,88	1,07
DSR	0,91	1,12	0,11	1,06	0,89	1,08
GAF	0,78	1,00	0,08	1,02	0,81	1,00
HGPS	0,88	1,10	0,06	1,00	0,86	1,05
TORA	0,99	1,20	0,11	1,06	0,95	1,14

Tabela 5.27: Energia total consumida com a variação do alcance.

Com o alcance de 100m em PAV1, percebe-se uma diminuição significativa no consumo de energia total para todos os protocolos. Os maiores consumos ficam abaixo de 2%. Isto é conseqüência da redução de tráfego, visto que, a maioria dos nodos torna-se praticamente isolada, pelo pequeno alcance. Então se torna difícil avaliar a eficiência dos protocolos porque existe pouco tráfego útil.

Com o alcance de 250m em PAV2 a situação do tráfego normaliza-se permitindo uma avaliação melhor dos protocolos. É possível observar, que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo, com uma variação de no máximo 3%. Os protocolos GAF e TORA continuam propiciando o menor (81%) e o maior consumo (95%), respectivamente. Com os protocolos AODV e DSR o gasto é idêntico, consumindo ambos 89% da energia, e apresentado durante todo o tempo um consumo muito próximo, como mostra a figura 5.44. Com o protocolo DSDV observa-se um consumo 1% menor que com os protocolos DSR e AODV. O resultado condiz com o cenário padrão. A partir de aproximadamente 310 segundos, o protocolo DSDV passa a consumir mais que o DSR e o AODV, como pode ser visto na figura 5.44. Isto é devido ao aumento de atualizações de rotas para manter a topologia com o esgotamento de energia dos nodos.

5.5.2 Análise do Tráfego

As figuras 5.46 e 5.47 mostram, respectivamente, o número de mensagens e bytes trafegados na rede, por protocolo de roteamento. As tabelas 5.28 e 5.29 mostram os respectivos dados.

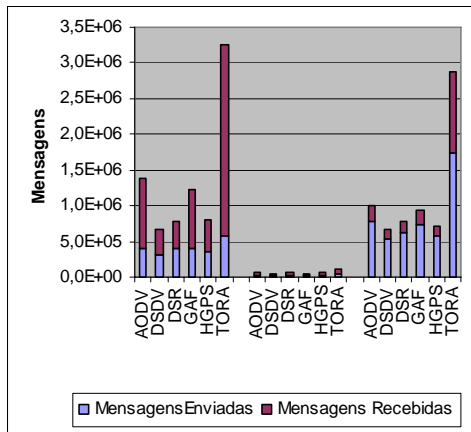


Figura 5.46: Tráfego de mensagens com a variação do alcance.

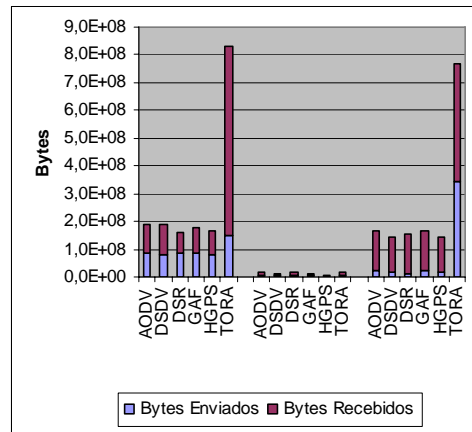


Figura 5.47: Tráfego de bytes com a variação do alcance.

Protocolo	PADRÃO			PAV1			PAV2		
	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens	Mensagens Enviadas	Mensagens Recebidas	Total de Mensagens
AODV	405.298	986.577	1.391.875	30.413	36.737	67.150	781.174	219.295	1.000.469
DSDV	310.382	364.817	675.199	22.896	19.310	42.206	542.042	127.065	669.107
DSR	404.720	369.621	774.341	30.481	34.817	65.298	630.347	145.301	775.648
GAF	396.572	834.930	1.231.502	24.746	29.030	53.776	735.426	204.943	940.369
HGPS	354.148	456.501	810.649	28.936	35.224	64.160	570.332	145.281	715.613
TORA	577.009	2.670.529	3.247.538	46.277	60.439	106.716	1.727.723	1.146.838	2.874.561

Tabela 5.28: Tráfego de mensagens com a variação do alcance.

Protocolo	PADRÃO			PAV1			PAV2		
	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes	Bytes Enviados	Bytes Recebidos	Total de Bytes
AODV	86.097.914	101.225.442	187.323.356	7.821.487	7.563.672	15.385.159	23.777.487	140.675.528	164.453.015
DSDV	79.518.852	111.370.795	190.889.647	5.031.468	4.735.473	9.766.941	16.956.816	127.748.576	144.705.392
DSR	87.657.442	71.667.322	159.324.764	7.979.341	7.629.144	15.608.485	13.627.339	138.458.875	152.086.214
GAF	85.116.604	93.012.072	178.128.676	6.154.632	5.855.305	12.009.937	20.732.635	147.088.776	167.821.411
HGPS	78.118.991	87.614.357	165.733.348	4.329.379	3.825.516	8.154.895	16.418.261	127.150.182	143.568.443
TORA	149.935.621	682.764.150	832.699.771	8.295.996	7.526.262	15.822.258	344.932.256	423.512.950	768.445.206

Tabela 5.29: Tráfego de bytes com a variação do alcance.

Inicialmente, observa-se uma grande diminuição do número de mensagens no cenário PAV1 em relação ao cenário padrão. Em PAV2 o tráfego foi semelhante ao cenário padrão.

Em PAV1, a significativa diminuição de tráfego acontece porque a maioria dos nodos torna-se praticamente isolada, devido ao alcance de 100m. Comparando-se com o cenário padrão, em PAV2 a proporção entre os protocolos manteve-se, exceto com o protocolo DSDV que em PAV2 obteve um tráfego de bytes menor que os protocolos AODV e DSR, o que não acontece no cenário padrão.

Em PAV2 observa-se, pela figura 5.46, o aumento do número de mensagens enviadas em relação ao cenário padrão. Isto decorre do alcance menor que torna necessário mais saltos e conseqüentemente mais mensagens de roteamento para que as comunicações fim-a-fim aconteçam. O aumento de saltos implica também na maior quantidade de bytes recebidos do cenário PAV2 em comparação ao cenário padrão, como pode ser visto na figura 5.47. Isto porque mais informações são armazenadas nas mensagens de roteamento.

As figuras 5.48 e 5.49 mostram o progresso dos protocolos em relação ao tráfego total de mensagens e bytes respectivamente. Os dados são mostrados nas tabelas 5.30 e 5.31, nas quais os cenários PAV1 e PAV2 são comparados com o cenário padrão. Os valores são mostrados em termos percentuais.

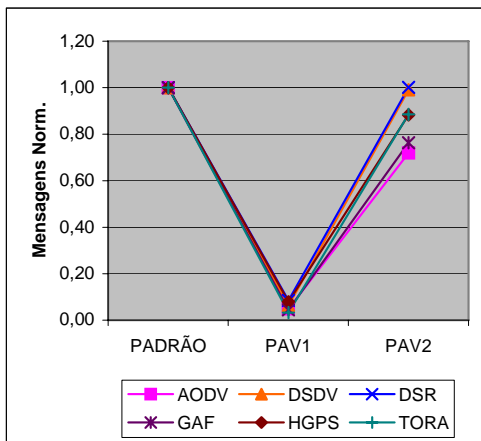


Figura 5.48: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do alcance.

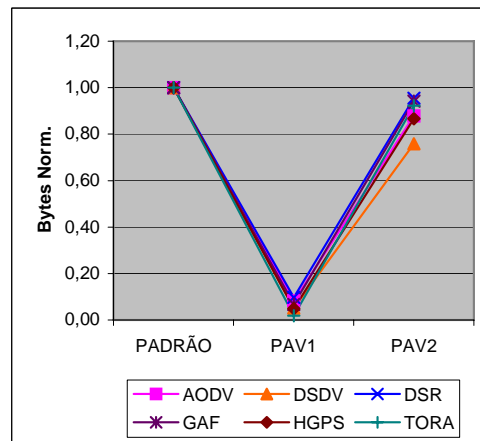


Figura 5.49: Tráfego de bytes normalizado com a variação do alcance.

Protocolo	PADRÃO	PAV1	PAV2
AODV	1,00	0,05	0,72
DSDV	1,00	0,06	0,99
DSR	1,00	0,08	1,00
GAF	1,00	0,04	0,76
HGPS	1,00	0,08	0,88
TORA	1,00	0,03	0,89

Tabela 5.30: Tráfego de mensagens normalizado com a variação do alcance.

Protocolo	PADRÃO	PAV1	PAV2
AODV	1,00	0,08	0,88
DSDV	1,00	0,05	0,76
DSR	1,00	0,10	0,95
GAF	1,00	0,07	0,94
HGPS	1,00	0,05	0,87
TORA	1,00	0,02	0,92

Tabela 5.31 Tráfego de bytes normalizado com a variação do alcance.

Com a diminuição do alcance o tráfego de mensagens apresenta um decréscimo médio de 95 e 21%, respectivamente, para PAV1 e PAV2. O tráfego de bytes apresenta uma diminuição de 94 e 14% para PAV1 e PAV2, respectivamente.

A diminuição de tráfego é devida ao menor alcance, fazendo que menos comunicações sejam possíveis. Com um alcance de 100m, em PAV1, a diminuição expressiva mostra que para este alcance, em uma rede de 1000 x 1000 metros, poucos nodos podem ser alcançados.

As figuras 5.50 e 5.51 mostram a sobrecarga de mensagens e bytes de roteamento, respectivamente. Os dados são mostrados nas tabelas 5.32 e 5.33, nas quais os valores são apresentados em termos percentuais relativos ao tráfego total e também normalizados pelos protocolos que apresentaram a menor sobrecarga. O DSDV e o AODV apresentaram a menor sobrecarga de mensagens em PAV1 e PAV2, respectivamente. O DSR apresentou a menor sobrecarga de bytes em PAV1 e PAV2.

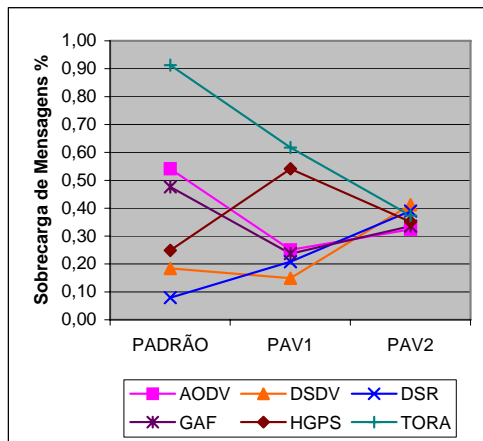


Figura 5.39: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do alcance.

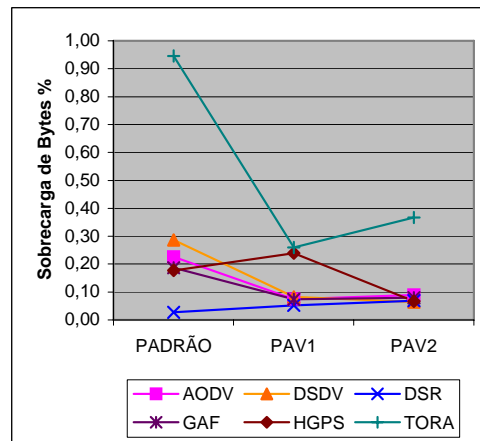


Figura 5.40: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do alcance.

Protocolo	PADRÃO		PAV1		PAV2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,54	1,46	0,25	1,10	0,32	1,00
DSDV	0,18	1,10	0,15	1,00	0,41	1,09
DSR	0,08	1,00	0,21	1,06	0,39	1,07
GAF	0,48	1,40	0,24	1,09	0,34	1,01
HGPS	0,25	1,17	0,54	1,39	0,35	1,03
TORA	0,91	1,83	0,62	1,47	0,37	1,05

Tabela 5.32: Sobrecarga de mensagens de roteamento com a variação do alcance.

Protocolo	PADRÃO		PAV1		PAV2	
	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.	Sobrecarga (%)	Sobrecarga Norm.
AODV	0,23	1,20	0,07	1,02	0,09	1,03
DSDV	0,29	1,26	0,08	1,03	0,06	1,00
DSR	0,03	1,00	0,05	1,00	0,07	1,00
GAF	0,19	1,16	0,07	1,02	0,08	1,02
HGPS	0,18	1,15	0,24	1,19	0,07	1,00
TORA	0,95	1,92	0,26	1,21	0,37	1,30

Tabela 5.33: Sobrecarga de bytes de roteamento com a variação do alcance.

A sobrecarga de roteamento apresenta um comportamento diversificado, principalmente em PAV1. Os protocolos TORA, AODV e GAF, apresentam sobrecargas altas no cenário padrão. Em PAV1 eles reduzem consideravelmente suas sobrecargas. Estes protocolos são muito influenciados pelo número de vizinhos e portanto com a menor vizinhança, ocasionada pela redução do alcance, a sobrecarga diminui. Já os protocolos HGPS e DSR apresentam um aumento da sobrecarga em PAV1, ocasionado pela necessidade de mensagens de roteamento para que as comunicações fim-a-fim aconteçam.

Em PAV2 os protocolos AODV, TORA e GAF continuam se beneficiando do menor número de vizinhos ocasionado pela redução do alcance de 400m para 250m. Isso propicia ao AODV a menor sobrecarga de mensagens em PAV2.

O protocolo HGPS mostra, em comparação à PAV1, uma menor sobrecarga em PAV2 mostrando-se adaptável ao alcance. Já com o DSR é exibido um aumento de sobrecarga em PAV2 comparando-se a PAV1. Neste caso o *source-routing* ocasiona um número maior de mensagens de roteamento pela necessidade de mais saltos.

Com o DSDV é exibida uma diminuição em PAV1 dado o isolamento dos nodos . Já em PAV2 a sobrecarga aumenta pois com a variação do alcance de 100m para 250m mais nodos são atingidos pelas atualizações.

5.5.3 Comentários

Com o alcance de 100m em PAV1, percebe-se uma diminuição significativa no consumo de energia global para todos os protocolos. O motivo já citado é o isolamento dos nodos. Então, torna-se difícil avaliar a eficiência dos protocolos porque praticamente não há tráfego útil. Com o alcance de 250m em PAV2 a situação do tráfego normaliza-se permitindo a avaliação dos protocolos.

É possível observar, que com os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS o consumo continua próximo. Os protocolos GAF e TORA continuam propiciando o menor e o maior consumo, respectivamente. Com os protocolos AODV e DSR o gasto é idêntico

Em PAV2 observa-se o aumento do número de mensagens enviadas em relação ao cenário padrão. Isto decorre do alcance menor que torna necessário mais saltos e conseqüentemente mais mensagens de roteamento para que as comunicações fim-a-fim aconteçam. O aumento de saltos implica também na maior quantidade de bytes recebidos do cenário PAV2 em comparação ao cenário padrão.

Capítulo 6

Conclusões

Os protocolos AODV, DSDV, DSR e HGPS apresentam um consumo próximo apesar do funcionamento diferente, que vai desde o protocolo puramente reativo DSR, passando pelo protocolo AODV que apresenta características reativas e pró-ativas, pelo DSDV que é pró-ativo até o HGPS com suas habilidades hierárquico-geográficas. Apesar da variação do número de nodos, da mobilidade, do tráfego e do alcance os protocolos apresentam um consumo sempre inferior a 5%. Os protocolos que apresentaram resultados mais similares foram o AODV e DSR, justificado por seu modo de funcionamento parecido.

Os protocolos GAF e TORA destacam-se por propiciar uma maior distância do consumo de energia em relação aos outros protocolos. O pior resultado obtido com o TORA explica porque seu projeto foi descontinuado. Já o bom resultado do GAF sugere que para conseguir economia de energia o desligamento dos novos é uma alternativa interessante. Além disso, o GAF mostrou-se bastante escalável quanto ao número de nodos apresentado um gasto bem menor que o cenário padrão.

Exceto o DSDV e o TORA, os protocolos escalam bem com a maior quantidade de nodos. O DSDV obteve resultados piores em relação ao cenário padrão, mostrando-se pouco escalável quanto ao número de nodos.

Outra consideração importante diz respeito à ligação entre o consumo de energia e o tráfego de mensagens e bytes. A relação entre os dois fatores apresenta sutilezas. O exemplo mais claro é em relação ao AODV e ao DSR. Em vários casos com o AODV apresenta-se um tráfego de mensagens e bytes superior ao exibido com o DSR. Mas com o AODV o consumo de energia é menor. Isto sugere que o projeto de protocolos de roteamento não deve levar em consideração somente questões voltadas ao tráfego. A diminuição do consumo de energia exige um tratamento que envolve outros fatores como, por exemplo, a utilização da banda passante e o balanceamento de trabalho entre os nodos da rede.

A sobrecarga de roteamento influenciou muito o tráfego total. Em praticamente todos os casos, os maiores tráfegos dizem respeito aos protocolos com maior sobrecarga de roteamento. Isto mostra que existe ainda trabalho a ser feito em relação ao projeto de protocolos de roteamento.

Os bons resultados do HGPS mostram que sua característica hierárquico-geográfica é interessante mesmo em redes pequenas e com poucos nodos. Mas é melhor aproveitada em redes maiores e com um número maior de nodos.

Não são observadas grandes alterações no consumo de energia com o aumento da mobilidade. As características medianas do cenário fazem com que as particularidades de cada protocolo tornem-se menos influenciadas, tornando os resultados próximos. Apesar do aumento da mobilidade ser elevado, a área relativamente pequena não propicia mudanças drásticas na topologia. Com os protocolos GAF e HGPS houve a maior diminuição do tráfego de dados úteis, com o aumento da mobilidade. O funcionamento dos protocolos mostrou-se pouco adaptável à mobilidade.

Com o aumento de tráfego o consumo de energia torna-se mais claro e as diferenças entre os protocolos mais perceptíveis. Isto porque os protocolos de roteamento são mais exercitados devido ao maior número de mensagens de dados a serem entregues. Apesar disso não são observadas grandes variações no consumo de energia.

Com o alcance de 100m, percebe-se uma diminuição significativa no consumo de energia global para todos os protocolos. Já com o alcance de 250m a situação do tráfego torna-se mais próxima do cenário padrão.

6.1 Comparação com os Resultados de Outros Trabalhos

Em BROCH [17] é descrito um estudo comparativo de performance dos protocolos de roteamento AODV, DSDV, DSR e TORA, através do simulador NS-2. Os seguintes parâmetros são utilizados: 50 nodos; área de 1500 x 300; tempo de simulação de 900 segundos; 210 cenários variando o padrão de movimento e de tráfego; padrão de movimento *Random Waypoint* com velocidade máxima de 20 m/s e tempos de parada variando de 0 a 900 segundos; 10, 20 e 30 fontes de tráfego CBR; taxas de tráfego de 1, 4 e 8 pacotes/s com tamanho do pacote variando de 64 a 1024 bytes; alcance dos nodos de 250 metros. Dentre as métricas utilizadas destaca-se, por ser analisada também nesta dissertação, a sobrecarga de roteamento de mensagens e bytes. Os protocolos com maior sobrecarga de roteamento de mensagens são respectivamente o TORA, AODV, DSDV e o DSR. Os protocolos com maior sobrecarga de roteamento de bytes são respectivamente o TORA, DSDV, AODV e o DSR. Os resultados obtidos condizem com os apresentados no cenário padrão e nos cenários com variação de mobilidade, tráfego e alcance.

No estudo de consumo de energia dos protocolos de roteamento AODV e DSR de FEENEY [15] são exibidos resultados semelhantes para o tráfego, sobrecarga de roteamento e

consumo de energia. Também é utilizado o simulador NS-2. Os parâmetros das simulações são: 50 nodos; area de 2400 x 480; tempo de simulação de 900 segundos; cenários variando o padrão de movimento e de tráfego; padrão de movimento *Random Waypoint* com velocidade máxima de 32 m/s e tempos de parada variando de 0 a 900 segundos; 20 fontes de tráfego CBR; taxa de tráfego de 4 pacotes/s com tamanho do pacote de 64 bytes; alcance dos nodos de 400 metros; modelo de consumo de energia idêntico ao desta dissertação. O DSR apresenta mais eficiência que o AODV em relação ao tráfego e à sobrecarga de roteamento. Em relação ao consumo de energia os dois protocolos mostram resultados próximos, com um maior gasto do DSR.

Em XU [22] é apresentada uma comparação do protocolo GAF com o AODV. São simuladas, com o NS-2, redes utilizando somente o AODV e redes com o GAF e AODV internamente. Os parâmetros das simulações são: redes com 50, 100 e 200 nodos com o GAF além de 10 nodos fontes de tráfego CBR sem o GAF; area de 1500 x 300; tempo de simulação de 900 segundos; cenários variando o padrão de movimento e de tráfego; padrão de movimento *Random Waypoint* com velocidade máxima de 20 m/s e tempos de parada variando de 0 a 900 segundos; taxas de tráfego de 1, 10 e 20 pacotes/s com tamanho do pacote de 512 bytes; alcance dos nodos de 250 metros; modelo de consumo de energia com uma proporção entre os valores de transmissão e recepção semelhante à desta dissertação. O GAF apresenta um consumo de energia de 40 a 70% menor que o AODV. Na dissertação o consumo do GAF em relação ao AODV é aproximadamente 10% menor no cenário padrão e nos cenários com variação de mobilidade, tráfego e alcance, chegando a ser 50% menor nos cenários com variação do número de nodos.

Nos trabalhos que envolvem o HGPS (por exemplo, em LI [10, 32]) não são apresentadas comparações do HGPS com outros protocolos de roteamento de forma que seja possível avaliar as semelhanças de resultados com esta dissertação.

6.2 Trabalhos Futuros

O trabalho desta dissertação sugere outros estudos a fim de ampliar o entendimento do consumo de energia na comunicação de dados em redes móveis ad-hoc. Seguem alguns trabalhos futuros identificados.

O desenvolvimento de protocolos de roteamento com a métrica principal baseada no consumo de energia seria interessante. Assim tornar-se-ia possível uma comparação com os protocolos já propostos com métricas baseadas em pacotes.

Na maioria dos estudos atuais é utilizado o UDP como protocolo de transporte e o CBR como tráfego de dados. Alternativas importantes a serem verificadas seriam o protocolo de transporte TCP, bastante difundido, e aplicações muito utilizadas na Internet como, por exemplo, HTTP, FTP e SMTP.

Outros modos de consumo de energia poderiam ser avaliados como o modo Ocioso e o modo Adormecido. Assim o modelo de consumo de energia tornar-se-ia mais realista.

A aplicação dos protocolos de roteamento em redes Bluetooth, com vista na análise do consumo de energia seria também um interessante estudo. Este tipo de rede começa a ser aplicada e sua interação com redes 802.11 pode tornar-se uma necessidade.

Parâmetros como, por exemplo, o alcance dos nodos, modelos de mobilidade em grupo e comunicação uni-direcional podem ser analisados ampliando assim as possibilidades de estudo.

O estudo e simulação de cenários que combinem, por exemplo, alta mobilidade, tráfego elevado e muitos nodos, é algo interessante para avaliar o comportamento do consumo de energia das MANET's em condições extremas.

Glossário

ACK	<i>Acknowledgment</i>
AFECA	<i>Adaptive Fidelity Energy-Conserving Algorithm</i>
AODV	<i>Ad-hoc On-Demand Distance Vector</i>
AP	<i>Access Point</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
ATIM	<i>Ad-hoc Traffic Indication Message</i>
BECA	<i>Basic Energy-Conserving Algorithm</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CC	<i>Control Channel</i>
CDMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Code</i>
CTS	<i>Clear To Send</i>
DCF	<i>Distributed Coordination Function</i>
DIFS	<i>Distributed Inter Frame Space</i>
DS	<i>Distribution System</i>
DSDV	<i>Destination-Sequenced Distance-Vector</i>
DSM	<i>Distribution System Medium</i>
DSR	<i>Dynamic Source Routing</i>
DSS	<i>Distribution System Service</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
ESS	<i>Extended Service Set</i>
FCS	<i>Frame Check Sequence</i>
FH	<i>Frequency Hopping</i>
FHS	<i>Frequency Hopping Synchronization</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
GAF	<i>Geographical Adaptive Fidelity</i>
GLS	<i>Grid Location Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HGPS	<i>Hierarchical GPS-based Algorithm</i>
IBSS	<i>Independent Basic Service Set</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>

IMEP	<i>Internet MANET Encapsulation Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MANET	<i>Mobile Ad-hoc Network</i>
MLME	<i>MAC Layer Management Entity</i>
MPDU	<i>MAC Protocol Data Unit</i>
MSDU	<i>MAC Service Data Unit</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PCF	<i>Point Coordination Function</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PLME	<i>Physical Layer Management Entity</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RTS	<i>Request To Send</i>
SIG	<i>Bluetooth Special Interest Group</i>
SME	<i>Station Management Entity</i>
SS	<i>Station Service</i>
TCP-IP	<i>Transport Control Protocol - Internet Protocol</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TORA	<i>Temporally-Ordered Routing Algorithm</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WM	<i>Wireless Medium</i>

Referências Bibliográficas

- [1] TANEMBAUM, Andrew S. *Redes de Computadores*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- [2] *INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE)*. Disponível: <<http://www.ieee.org/>>.
- [3] CÂMARA, Daniel. *Estudo de Algoritmos de Roteamento para Redes Móveis Ad-hoc*. Belo Horizonte, MG: Departamento de Ciência da Computação da UFMG, 2000. (Dissertação, Mestrado em Ciência da Computação).
- [4] *INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO)*. Disponível: <<http://www.iso.org/>>.
- [5] PERKINS, Charles E, ROYER, E M. *Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing*. In: Proceedings of 2nd IEEE WORKSHOP ON MOBILE COMPUTING SYSTEMS AND APPLICATIONS, 1999, Orleans, USA.
- [6] JOHNSON, David B, MALTZ, David A. Dynamic Source Routing in Ad-hoc Wireless Networks. *Mobile Computing*, 1996.
- [7] PARK, Vincent D, CORSON, Scott M. Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA). *IETF Draft*, 1997.
- [8] PERKINS, Charles E, BHAGWAT, Pravin. *Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers*. In Proceedings of SIGCOMM '94 CONFERENCE ON COMMUNICATIONS ARCHITECTURES, PROTOCOLS AND APPLICATIONS, 1994.
- [9] HAAS, Zygmunt J, PEARLMAN, Marc R. *A New Routing Protocol for the Reconfigurable Wireless Networks*. In Proceedings of the 6th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNIVERSAL PERSONAL COMMUNICATIONS, 1997.
- [10] LI, Jinyang, JANNOTTI, John, MORRIS, Robert et al. *A Scalable Location Service for Geographic Ad-hoc Routing*. In Proceedings of ACM MOBICOM, 2000.
- [11] *BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP (SIG)*. Disponível: <<http://www.bluetooth.org/>>.
- [12] *OFFICIAL BLUETOOTH WIRELESS INFO SITE*. Disponível: <<http://www.bluetooth.com/>>.
- [13] JONES, Christine, SIVALINGAM, Krishna M, AGRAWAL, Prathima et al. A Survey of Energy Efficient Network Protocols for Wireless Networks. *Wireless Networks Journal*, v. 7, 2001.
- [14] FEENEY, Laura, NILSSON, Martin. *Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment*. In Proceedings of 20th IEEE INFOCOM, Anchorage, USA, 2001.

- [15] FEENEY, Laura. *An Energy-consumption Model for Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks*. In Proceedings of 45th IETF MEETING, Manet Working Group, 1999.
- [16] MATTISON, Sven. *Low-Power Considerations in the Design of Bluetooth*. In Proceedings of ISLPED'00, Rapallo, Itália, 2000.
- [17] BROCH, Josh, MALTZ, David A, JOHNSON, David B. et al. *A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad-hoc Network Routing Protocols*. Dallas, USA, 1998: In Proceedings of 4th ANNUAL ACM/IEEE, INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING (MobiCom' 98).
- [18] JOHANSSON, Per, LARSSON, Tony, HEDMAN, Nicklas et al. *Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks*. In Proceedings of Mobicom'99, Seattle, USA, 1999.
- [19] HAARTSEN, Jaap C, MATTISSON, Sven. *Bluetooth: a new low-power radio interface providing short-range connectivity*. In IEEE Proceedings, v. 88, n. 10, 2000.
- [20] HAARTSEN, Jaap C, NAGHSHINEH, Mahmoud, INOUYE, Jon et al. *Bluetooth: vision, goals, and architecture*. In Mobile Computing and Communications Review, v. 1, n. 2, 1998.
- [21] BRENNER, Pablo. A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol. *Breezecom Wireless Communications*, 1997.
- [22] XU, Ya, HEIDEMANN, John, ESTRIN, Deborah. *Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing*. In Proceedings of the 7th ANNUAL ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING (ACM MOBICOM), Rome, Italy, 2001.
- [23] CHEN, Jyh-Cheng, SIVALINGAM, Krishna M, AGRAWAL, Prathima. Performance Comparison of Battery Power Consumption in Wireless Multiple Access Protocols. In *Wireless Networks* 5, 1999.
- [24] LAN, WI. *Inc. Spread Spectrum Wireless Technology*. White papper, 2000. Disponível: <http://www.wi-lan.com/library/whitepaper_mcdsss.pdf>.
- [25] LAHIRI, Kanishka, RAGHUNATHAN, Anand, DEY, Sujit et al. *Battery-Driven System Design: a new frontier in low power design*. In Proceedings of the ASP-DAC/VLSI DESIGN 2002, Bangalore, India, 2002.
- [26] CORSON, S, MACKER, J. Mobile Ad-hoc Networking (MANET): routing protocol performance issues and evaluation considerations. *IETF RFC 2501*, 1999.
- [27] *INTERNET RFC/STD/FYI/BCP ARCHIVES*, RFC792. Disponível: <<http://www.faqs.org/rfcs/>>.
- [28] DOMMETY, G, JAIN, R. Potential networking applications of global positioning systems GPS. *Technical Report TR-24*, Department of Computer Science, Ohio State University, 1996.
- [29] ROYER, Elizabeth, TOH, Chai-Keong. A Review of Current Routing Protocols for Ad-hoc Mobile Wireless Networks. *IEEE Personal Communications*, 1999.

- [30] HAAS, Zygmunt J, PEARLMAN, Marc R. The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks. *IETF Internet Draft*, 1999
- [31] XU, Ya, HEIDEMANN, John, ESTRIN, Deborah. Adaptive Energy-Conserving Routing for Multihop Ad-hoc Networks. *USC/ISI Research Report 527*, 2000.
- [32] LI, Jinyang, ZHANG, Yan. *GPS-based Hierarchical Routing for M6bile Ad Hoc Networks*. 1999.
- [33] MALTZ, David A. *On-Demand Routing in Multi-hop Wireless Mobile Ad Hoc Networks*. Pittsburgh, USA: 2001. (Thesis, School of Computer Science, Carnegie Mellon University).
- [34] GAFNI, E M, BERTSEKAS, D P. Distributed algorithms for generating loop-free routes in networks with frequently changing topology. *IEEE Transactions on Communications*, January, 1981.
- [35] BUZAM CENTERS. Dispon6vel: <<http://www.mind-map.com/>>.
- [36] THE NETWORK SIMULATOR NS-2 WEB SITE. Dispon6vel: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>>.
- [37] GloMoSim WEB SITE. Dispon6vel: <<http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>>.
- [38] LUCENT TECHNOLOGIES. *IEEE 802.11 PC Card WaveLAN Wireless Network Interface Cards Specification*. Dispon6vel: <<http://www.lucent.com/>>.
- [39] CAMP, Tracy, BOLENG, Jeff, DAVIES, Vanessa. A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research. In *Journal Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC)*, 2002.
- [40] DOWNIE, N M, HESTH, R W. *Basic Statistical Methods*. Third Edition, Harper & Row.
- [41] JAIN, Raj. *The Art of Computer Systems Performance Analysis*. Wiley, 1991, 4th printing.
- [42] TSENG, Yu-Chee, HSU, Chih-Shun, HSIEH, Ten-Yueng. *Power-Saving Protocols for IEEE 802.11-Based Multi-Hop Ad Hoc Networks*. In *Proceedings of IEEE INFOCOM 2002*.
- [43] DOWNIE, N M, HEATH, R W. *Basic Statistical Methods*. Third Edition, Harper & Row.
- [44] LAW, Averill M., KELTON, W. David. *Simulation Modeling & Analysis*, 2 ed. McGraw-Hill, 1991.
- [45] INTERNET ENGINEERING TASK FORCE (IETF) WEB SITE. Dispon6vel: <<http://www.ietf.org/>>.
- [46] INTERNATIONAL ENGINEERING CONSORTIUM (IEC). Dispon6vel: <<http://www.iec.org/>>.
- [47] S6NCHEZ, Miguel, MANZONI, Pietro, HAAS, Zygmunt J. *Determination Of Critical Transmission Range In Ad-hoc Networks*. It6lia, 1999: In *Proceedings of*

MULTIACCESS MOBILITY AND TELETRAFFIC FOR WIRELESS COMMUNICATIONS 1999 WORKSHOP (MMT'99).

- [48] CARLOS, Juan, MANZONI, Pietro. *Evaluating the Energy-Consumption Reduction in a MANET by Dynamically Switching-off Network Interfaces*. Tunisia, 2001: In Proceedings of the 6th IEEE SYMPOSIUM ON COMPUTERS AND COMMUNICATIONS.
- [49] KLEINROCK, Leonard. *Beyond the Netherworld of Cyberspace*. MobiHOC' 2000, USA, 2000.
- [50] FEENEY, Laura M. *An Energy-consumption Model for Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks*. Noruega, 1999: In Proceedings of 45th IETF MEETING, MANET WORKING GROUP.
- [51] TAKAI, Mineo, MARTIN, Jay , BAGRODIA, Rajive. *Effects of Wireless Physical Layer Modeling in Mobile Ad-hoc Networks*. USA, 2001: MobiHOC' 2001.
- [52] *THE CMU MONARCH PROJECT WEB SITE*. Disponível: <<http://www.monarch.cs.cmu.edu/>>.
- [53] *GloMoSim*. Disponível: <<http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>>.
- [54] XU, Ya, HEIDEMANN, John, ESTRIN, Deborah. *Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing*. Itália, 2001: In Proceedings of MOBICOM' 2001.
- [55] VAIDYA, Nitin H. *Mobile Ad-hoc Networks: Routing, MAC and Transport Issues*. Disponível: <http://www.cs.tamu.edu/faculty/vaidya/>.
- [56] LI, Qun, ASLAM, Javed, RUS, Daniela. *Online Power-aware Routing in Wireless Ad-hoc Networks*. Itália, 2001: In Proceedings of the SEVENTH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING.
- [57] VAIDYA, Nitin H. *Open Problems in Mobile Ad-hoc Networking*. Disponível: <<http://www.crhc.uiuc.edu/~nhv/>>.
- [58] CHEN, Benjie, JAMIESON, Kyle, BALAKRISHNAN, Hari, MORRIS, Robert. Espanha, 2001: *An Energy-efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad-hoc Wireless Networks*. In Proceedings of the 6th ACM MOBICOM.
- [59] RYU, Jung-Hee, CHO, Dong-Ho. A New Routing Scheme Concerning Energy Conservation in Wireless Home Ad-hoc Networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 47, n. 1, february 2001.
- [60] SHAH, Rahul C, RABAEY, Jan M. *Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks*. In Proceedings of IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKS CONFERENCE 2002.
- [61] DAS, Santanu, PERKINS, Charles, ROYER, Elizabeth. *Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing. Internet Draft*. Disponível: <<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-13.txt>>.

- [62] JOHNSON, Dave. *The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)*. *Internet Draft*. Disponível: <<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-08.txt>>.
- [63] CORSON, S, PAPADEMETRIOU, S, PAPADOPOULOS, P et al. *An Internet MANET Encapsulation Protocol (IMEP) Specification*. IETF, August 1999.