

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA  
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

**Um Estudo das Ferramentas que tentam alcançar um QoS  
Desejável no Roteamento de Pacotes em Redes Móveis  
*Ad-hoc.***

Autores

**Guilherme da Luz Vieira  
e  
Marcelo Stecca Rennó**

**Florianópolis Dezembro de 2006**

**Guilherme da Luz Vieira  
e  
Marcelo Stecca Rennó**

**Um Estudo das Ferramentas que tentam alcançar um QoS Desejável no Roteamento de Pacotes em Redes Móveis *Ad-hoc*.**

Projeto de pesquisa do trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências da Computação.

Orientador: Prof. Mário Antônio Ribeiro Dantas  
Co-Orientador (a): Underléa Cabreira Corrêa

**Florianópolis  
Dezembro de 2006**

**Guilherme da Luz Vieira  
e  
Marcelo Stecca Rennó**

**Um Estudo das Ferramentas que tentam alcançar um QoS  
Desejável no Roteamento de Pacotes em Redes Móveis  
*Ad-hoc.***

**Banca Examinadora**

---

Professor Mário Antônio Ribeiro Dantas  
Orientador

Membros:  
Carlos Becker Westphall  
Underléa Cabreira Corrêa  
Vitório Bruno Mazzola

## **Agradecimentos**

Guilherme,

Ao professor Mário Dantas e a doutoranda Underléia pela orientação e por terem sido muito compreensíveis.

Aos meus pais, Adalton e Edith, e meu irmão, Gustavo, que sempre me deram todo o apoio necessário durante todos os semestres em que estive cursando a faculdade.

A todos os amigos que fiz durante todo o decorrer da faculdade, que de forma direta ou indireta me ajudaram a superar mais esta etapa da vida. Entre eles, gostaria de citar especialmente Thomaz, Crema, Leonardo. E um agradecimento também ao Marcelo, o qual foi meu parceiro nesta jornada final.

Marcelo,

Primeiramente, quero agradecer a Deus por tudo, e a minha família, que me deu tudo e mais um pouco, pois é a melhor família do mundo. A você Mãezinha Cristina, por ter sido o meu alicerce, a minha bússola, a pessoa que sempre esteve comigo em todos os momentos, e mais uma vez muito Obrigado por ter me ajudado em tudo, Te Amo Demais. A você Pai Marcos, por ter sido sempre o meu grande exemplo de homem, de pai, de amigo, por ter estado sempre junto comigo nos momentos em que mais precisei, Te Amo Demais.

Aos meus irmãos, Marquinhos, Eduarda e Antônio, por terem me dado todo o apoio do mundo, amo vocês.

Aos meus amigos que fiz na faculdade, todos em geral da minha turma 012, em especial ao Fabrício (Sisso), Felipe, Leonardo, Guilherme (Guiven), Fernando, Thiago (Baiano), Thomaz, Fabrício (Belém), Rafael Muller, Emanuel. E um agradecimento especial também ao Guilherme Vieira, que foi meu parceiro de TCC nessa reta final da faculdade. Valeu galera!

Ao meu melhor amigo, irmão, parceiro Alex, que me ajudou sempre em tudo que precisei, ou seja, o meu Muito Obrigado (sem palavras).

Aos meus amigos que moram comigo, Eber (inseto graveto), Thiaguinho (gnomo) e Carlos (carlota).

As minhas melhores amigas, Daniela (Dani), Tatiana (Tathy), Fabiana (Faby), Amanda (Minduka), Janaína (Juju), Priscila (Pri) que me apoiaram, me ajudaram, nos momentos mais críticos sempre com muito carinho e atenção.

Ao professor Mário Dantas e a doutoranda Underléia pela orientação e por terem sido muito compreensíveis e atenciosos.

E por último, gostaria de agradecer a duas pessoas muito especiais, que apareceram na minha vida, como se fossem dois anjinhos e que me mostraram o quão bela e maravilhosa é a vida e me ajudaram e muito neste ano de 2006. Josi e Letícia o meu muito Obrigado!!!!

Valeu UFSC....

*"A mente que se abre a uma nova idéia jamais volta ao seu tamanho original." (Albert Einstein)*

*"A imaginação é muito mais importante que o conhecimento" (Albert Einstein)*

*"Um raciocínio lógico leva você de A a B. A imaginação leva você a qualquer lugar que você quiser" (Albert Einstein)*

# Sumário

AGRADECIMENTOS.....	4
SUMÁRIO .....	6
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ACRÔNIMOS .....	12
1 INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVOS GERAIS .....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
2 REDES MÓVEIS <i>AD-HOC</i> .....	16
2.1 PROBLEMAS E DESAFIOS .....	19
2.2 VANTAGENS.....	20
2.3 DESVANTAGENS.....	21
2.4 CLASSIFICAÇÃO .....	22
2.5 APLICAÇÃO.....	24
3 ROTEAMENTO EM REDES MÓVEIS <i>AD-HOC</i> .....	26
3.1 ABORDAGEM DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO.....	26
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO .....	28
3.3 CARACTERÍSTICAS DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DE REDES MÓVEIS <i>AD HOC</i> .....	29
3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DE REDES MÓVEIS <i>AD HOC</i> .....	31
3.4.1 <i>Protocolos Pró-Ativo</i> .....	31
3.4.2 <i>Protocolos Reativos</i> .....	31
3.4.3 <i>Protocolos Híbridos</i> .....	32
3.5 QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS – <i>QUALITY OF SERVICE</i> ) .....	34
3.6 QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS) EM REDES MÓVEIS <i>AD HOC</i> .....	37
4 FERRAMENTAS PARA OBTER UM QOS DESEJÁVEL.....	39
4.1 SISTEMA MULTI-AGENTE.....	39
4.2 LOCALIZAÇÃO PROBABILISTA E BALANCEAMENTO DE CARGA .....	41
4.3 PREDIÇÃO DE MOBILIDADE .....	51

<b>4.4 OLSR .....</b>	<b>55</b>
<b>4.4.1 Integrando OLSR no Roteamento.....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.2 Mudando o Critério de Seleção de MPR .....</b>	<b>57</b>
4.4.2.1 OLSR_R1.....	58
4.4.2.2 OLSR_R2.....	58
4.4.2.3 OLSR_R3.....	59
<b>5 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS FERRAMENTAS.....</b>	<b>60</b>
<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## Resumo

Com o aumento do uso de redes móveis *Ad hoc*, devido ao surgimento das novas tecnologias, com maiores taxas de transmissão, maior durabilidade das baterias de equipamentos e maior flexibilidade dos computadores portáteis; é natural que seja crescente o desejo de utilizar aplicações que requeiram confiabilidade da conexão, da transmissão de pacotes e grande largura de banda neste ambiente. Para satisfazer tais desejos, devem-se garantir graus de qualidade de serviço (*Quality of Service – QoS*) às aplicações.

Devido à natureza dinâmica dos enlaces de uma rede móvel *Ad-hoc*, qualidade de serviço se torna mais importante no roteamento de pacotes, e é com isso que os vários protocolos de roteamento de redes móveis *Ad hoc* se preocupam. Tais protocolos devem lidar com limitações típicas a estes tipos de rede como consumo de energia dos nós móveis, banda passante limitada, e altas taxas de erro.

O motivo desse trabalho é apresentar o estudo de ferramentas que auxiliam estes protocolos de roteamento a garantir uma qualidade de serviço necessária. Para tal, serão apresentada as ferramentas, suas características, suas funcionalidades e métricas de QoS que estas prometem cumprir.

Palavras Chaves: Redes *Ad hoc*, Protocolos, Roteamento, QoS.



## **Abstract**

With the increase of the use of mobile *Ad hoc* network, due to the development of the new technologies, with bigger rates of transmission, greater durability of the equipment batteries and greater flexibility of the portable computers; it is natural that it is increasing the desire to use applications that require trustworthiness of the connection, the transmission of packages and great bandwidth in this environment. To satisfy such desires, quality of service (Quality of Service - QoS) must be assured to the applications.

Due to the dynamic nature of the enlace of the mobile *Ad hoc* networks, the quality of service becomes more important on package routing, and that is the worry of some routing protocols of mobile *Ad hoc* network. Such protocols must deal with typical limitations of these type of network, like consumption of energy of mobile nodes, limited broadband, and high error rates.

The reason of this work is to present tools that assist these protocols to guarantee a necessary quality of service. For such, it was presented the tool, its characteristics, its functioning and the metric of QoS that this promises to fulfill.

**Key Words:** *Ad hoc* networks, Protocols, Routing, QoS.

## Lista de Figuras

Figura 2.1 .....	16
Figura 2.2 .....	17
Figura 2.3 .....	23
Figura 3.6 .....	38
Figura 4.1 .....	41
Figura 4.2.1 .....	43
Figura 4.2.2 .....	44
Figura 4.2.3 .....	44
Figura 4.3.1 .....	52
Figura 4.3.2 .....	54
Figura 4.4.1 .....	56
Figura 4.4.2 .....	57
Figura 5.1 .....	61
Figura 5.2 .....	62
Figura 5.3 .....	63

## Lista de Tabelas

Tabela 4.4.1 .....	56
Tabela 4.4.2 .....	58
Tabela 4.4.3 .....	58
Tabela 4.4.4 .....	59
Tabela 5.1 .....	61
Tabela 5.2 .....	64
Tabela 5.3 .....	65
Tabela 5.4 .....	66

## **Lista de Acrônimos**

- (RSVP) *Resource Reservation Protocol*
- (InterServ) *Integrated Service*
- (DSCP) *Differentiated Services Code Point*
- (FQMM) *Flexible QoS Model for MANETS*
- (SLA) *Service Level Agreement*
- (SLM) *Service Level Management*
- (DiffServ) *Service Diference*
- (RFC) *Request for Comments*
- (IETF) *The Internet Engineering Task Force*
- (PA) *Ponto de acesso*
- (ERB) *Estação Rádio Base*
- (PDA) *Personal Digital Assisten*
- (MANETs) *Mobile Ad hoc Network*
- (AODV) *Ad hoc On-Demand Distance Vector*
- (WRP) *Wireless Routing Protocol*
- (GSR) *Global State Routing*
- (DSDV) *Destination-sequenced Distance Vector*
- (DSR) *Dynamic Source Routing*
- (ROAM) *Routing On-Demand Acyclic Mult-path*
- (TORA) *Temporally Ordered Routing Algorithm*
- (ZRP) *Zone Routing Protocol*
- (ZHLS) *Zone-based Hierachical Link State*
- (DST) *Distributed Spanning Trees*
- (DDR) *Distributed Dynamic Routing*
- (HARP) *Hybrid Ad hoc Routing Protocol*
- (AMt-AODV) *Ant – Ad hoc On-Demand Vector*

# 1 Introdução

Hoje em dia, no setor da informática, a área de redes locais sem-fio vem crescendo e ganhando um grande espaço no mercado, graças a constante evolução de sua tecnologia, tais como o aumento das capacidades de processamento e armazenamento, dispositivos cada vez menores e portáteis. Ainda podemos ressaltar que esse sucesso também decorre devido a grande mobilidade, flexibilidade e facilidade de instalação de tais redes.

De acordo com o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) estas redes foram classificadas em: Redes Móveis Infra-estruturada e Redes Móveis *Ad hoc*. As Redes Móveis Infra-estruturadas fazem uso de um ponto de acesso (PA), também chamado de Estação Rádio Base (ERB), para proverem a comunicação entre dois nós. Já as Redes Móveis *Ad hoc*, também chamadas de independentes, não necessitam de qualquer infra-estrutura pré-existente para prover comunicação entre os nós.

A sua mobilidade e flexibilidade, fatores determinantes são ainda mais claros na topologia redes móveis *Ad hoc*, já que os nodos são independentes e podem se comunicar entre si de forma direta. Esta vantagem se dá pelos atuais protocolos de comunicação desenvolvidos, os quais exigem da camada de rede algoritmos que sejam cientes de seus enlaces para assim fazer o roteamento dos dados, num ambiente onde não há a necessidade de estações de suporte a mobilidade.

Ao mesmo tempo em que estas características deixam as redes móveis *Ad hoc* atrativas, existem dificuldades que devem ser resolvidas. Uma delas é garantir a qualidade de serviço “o QoS” (*Quality of Service*) que este tipo de rede necessita, já que fatores como: largura de banda, erros no enlace físico, localização e roteamento são as grandes desvantagens neste tipo de rede.

A qualidade de serviço (QoS) é mais importante em redes sem fio que em redes cabeadas, por isso várias ferramentas são desenvolvidas para ajudar os

protocolos existentes a garantir um QoS desejável no roteamento de dados em redes móveis *Ad hoc*. Entre estas ferramentas estão o Sistema de Multi-Agentes, a Predição de Mobilidade, o Balanceamento de Carga e o OLSR, os quais estão mais bem detalhados no capítulo 5.

## 1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo de caso que aborda os problemas relacionados à provisão de qualidade de serviços em redes móveis Ad-hoc, a fim de verificar como o problema de garantir qualidade de serviço vem sendo tratada pela comunidade científica.

## 1.2 Objetivos Específicos

### Os objetivos específicos deste projeto incluem:

- Realizar um estudo detalhado sobre as redes móveis *Ad hoc*, ressaltando as suas vantagens e desvantagens, em relação à outros tipos de redes (infra-estruturadas, cabeadas);
- Compreender, teoricamente, os protocolos de roteamento das redes móveis *Ad hoc*, relatando as suas principais características, nas quais são importantíssimas no funcionamento das MANETs (*Mobile Ad hoc Network*);
- Fazer um estudo sobre a qualidade de serviço, a sua importância, e explicar o seu papel na melhoria da funcionalidade das redes Móveis *Ad hoc*;
- Explicar, de maneira geral, algumas ferramentas que visam uma melhora significativa de qualidade de serviço no roteamento de redes móveis *Ad hoc*, apresentando seu funcionamento assim como alguns resultados de simulações.

### 1.3 Justificativa

Com o aumento do uso de redes móveis *Ad-hoc*, devido a novas tecnologias, maiores taxas de transmissão, maior durabilidade das baterias de equipamentos e maior flexibilidade dos computadores portáteis; é natural que seja crescente o desejo de utilizar aplicações que requeiram confiabilidade da conexão, da transmissão de pacotes e grande largura de banda neste ambiente. Para satisfazer tal desejo deve-se garantir graus de QoS à aplicações.

O segredo para tal melhora da qualidade de serviço está no roteamento dos pacotes na rede. A melhora de QoS no roteamento de redes móveis *Ad hoc* é fundamental, por isso, existem ferramentas que tratam este aspecto, mas muitas delas ainda são desconhecidas, assim como seu funcionamento e sua eventual aplicação.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira:

**Capítulo 2** – trata dos conceitos sobre redes móveis *Ad hoc*.

**Capítulo 3** – traz uma abordagem dos protocolos de roteamento das redes móveis *Ad hoc*.

**Capítulo 4** – traz um estudo detalhado sobre as ferramentas usadas para obter um QoS desejável.

## 2 Redes Móveis Ad-hoc

Este capítulo tem por objetivo descrever as principais características, vantagens e desafios apresentados em redes móveis *Ad-hoc*.

Redes Móveis *Ad hoc* (referidas pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) como MANET – *Mobile Ad hoc NETwork*) se referem a redes de computadores que não requerem uma infra-estrutura tal como o *backbone* ou pontos de acesso configurados antecipadamente. Neste tipo de rede não existe nenhum tipo de topologia pré-determinada e nem controle centralizado nas quais são conectadas aos seus ambientes de trabalho via enlaces sem fio, como por exemplo, rádio frequência (RF) e raios infravermelhos (IR).

Estas redes (MANETs) surgiram com a finalidade de superar as limitações de mobilidade e dificuldades de instalação das redes tradicionais. Assim, as redes móveis *Ad hoc* possibilitam instalações mais rápidas, de baixo custo e variedades de aplicações. Elas também, garantem a mobilidade não suportada pelas redes cabeadas [AMORIM 02].

As MANETs (*Mobile Ad hoc NETwork*) são plataformas móveis distribuídas e complexas, que incluem nodos<sup>1</sup> móveis sem fio que podem se organizar livremente e dinamicamente de forma arbitrária. Caracterizam-se por um sistema autônomo de nodos móveis independentes, que podem operar de modo isolado como mostrado na (Figura 2.1) ou por intermédio de um *gateway* de interface com a rede fixa descrito pela (Figura 2.2) [CORREA 05].

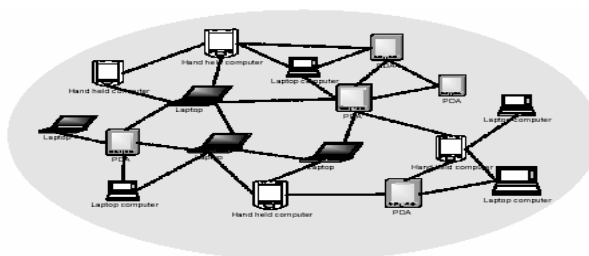


Figura 2.1 Topologia de uma Rede Móvel *Ad hoc*  
Fonte [CORREA 05]

<sup>1</sup> O termo nodos móveis ou nós serão adotados para referenciar, de forma genérica um dispositivo móvel, tais como: um computador portátil (*notebook*), PDA (*Personal Digital Assisten*)



Nas MANETs, os nodos podem estar situados em aviões, barcos, caminhões, carros talvez mesmo nas pessoas ou em dispositivos muito pequenos. Estes nodos são equipados com transmissores e receptores sem fio usando antenas que podem ser omnidirecionais, que captam sinais de todas as direções (*broadcast*), altamente direcional (*point to point*), ou uma combinação desses [CORSON 99].

Por possuírem uma tecnologia de comunicação sem fio, os dispositivos computacionais móveis são capazes de trocar informações diretamente entre si ou através de *multi-hop* (múltiplos saltos), sem a necessidade de infra-estrutura fixa de comunicação, já que os nodos estabelecem rotas dinâmicas entre eles para formarem a própria rede. Devem estar fisicamente habilitados na mesma área de transmissão, por este fato, um pacote que deseja alcançar um nodo de destino que não esteja na cobertura da área de transmissão do nodo de origem, deve passar por nodos intermediários, nas quais servirão como roteadores, até chegar ao seu destino [AMORIM 02].

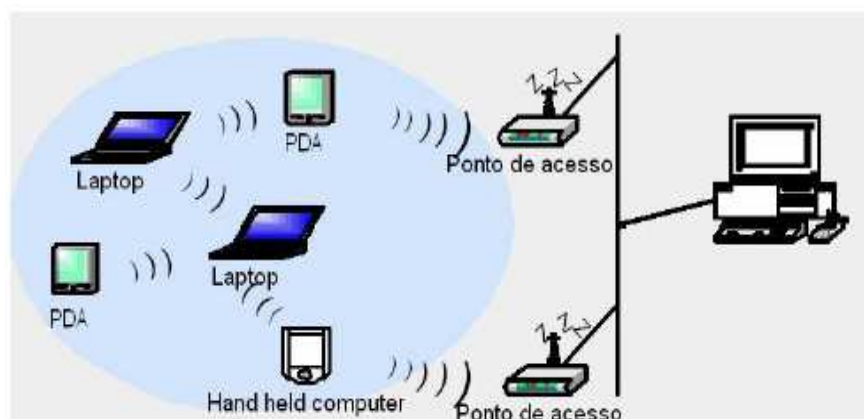


Figura 2.2 - Topologia de rede móvel *Ad hoc* se comunicando com uma rede fixa  
Fonte [CORREA 05]

As MANETs empregam a estrutura tradicional TCP/IP para fornecer uma comunicação fim-a-fim entre os nodos [PERKINS 01]. Contudo, devido a sua mobilidade e aos recursos limitados em redes sem fio, cada camada do modelo TCP/IP requer definição e modificações para funcionar eficientemente.

O uso de redes sem fio é altamente recomendado, segundo [PERKINS 01], na necessidade de sobrevivência dos militares em campos de batalha, sendo

que em regiões como desertos e florestas virgens não há infra-estrutura de comunicação territorial, bem como em situações que permitam a existência de uma guerra ou de um desastre, corre o risco de destruição da comunicação local. A arquitetura de redes móveis *Ad hoc* também é muito usada em determinadas instalações prediais tais como: hospitais, fábricas e prédios tombados pelo patrimônio histórico, onde muitas vezes não é possível o uso de redes convencionais devido aos problemas causados pelo cabeamento na instalação.

Conforme tratado em [CORSON 99] temos definido como características mais salientes:

**Topologia dinâmica:** os nodos são livres para moverem-se arbitrariamente, fazendo com que a topologia da rede mude randomicamente e rapidamente em momentos não esperados de modo imprevisível, e pode consistir de ligações bidirecionais e unidirecionais;

**Segurança física limitada:** essas redes são geralmente mais propensas ao aumento das possibilidades de escuta e invasões;

**Rápidas instalações:** são instaladas rapidamente sem a necessidade de infra-estrutura fixa;

**Conectividade:** se dá através de um canal de comunicação entre dois ou mais *hosts*, dentro de uma mesma área geográfica (área de transmissão) de alcance de ondas de rádio;

**Mobilidade:** os dispositivos móveis podem mover-se durante todo seu período de conexão;

**Largura de banda limitada:** os enlaces sem fio continuam tendo capacidade significativamente mais baixa do que as redes fixas;

**Energia limitada:** os nodos contam com baterias para funcionar; portanto, um dos critérios a ser levado em consideração no projeto desses sistemas é o consumo de energia;

**Localização dos hosts:** nas redes móveis *Ad hoc* encontramos a dificuldade de localização dos *hosts* móveis para estabelecimento de comunicação, visto que essas redes não utilizam endereço IP;

**Roteamento:** a possibilidade dos nodos móveis se deslocarem de uma região para outra modificando constantemente sua topologia, traz a dificuldade do estabelecimento e determinação de uma rota válida.

Essas características criam um conjunto básico fundamental de hipóteses e interesses de desempenho para projetos de protocolos nos quais diferem daquela direção do projeto de roteamento e outros protocolos de controle da rede dentro de alta velocidade e topologia estática da Internet fixa.

## 2.1 Problemas e Desafios

As redes móveis *Ad hoc* possuem um vasto número de problemas e desafios técnicos significantes para a comunidade de pesquisa, pois quando comparadas com o atual momento da Internet, percebemos que essas redes contam ainda com características, que de certo modo, prejudicam sua utilização. Entre elas, podemos citar: maior retardo, interferência com outros dispositivos móveis, energia e largura de banda limitada, pois tratamos com dispositivos que contam com a utilização de baterias para desempenhar entre outras, as funções de transmissão, recepção, armazenamento e processamento de informações [MICHAIL 03].

Outro aspecto a ser considerado é a necessidade de mecanismos de segurança eficientes, uma vez que a natureza operacional destas redes as torna, naturalmente, mais propensas à escuta, invasão e ataques. Ainda, existe a questão da interoperabilidade devido à falta de padronização dos produtos que dificultam a implementação e configuração de uma rede móvel *Ad hoc* forçando a utilização de dispositivos de um único fabricante. Além disso, essas redes necessitam ser projetadas para operar em um ambiente largamente variado entre as redes militares com centenas de nodos, a redes com milhares de sensores de alta capacidade.

Entre os diversos problemas que podemos citar nas MANETs temos também o problema da localização dos *hosts* causado pelo fator da mobilidade, diversos trabalhos de pesquisa como ([MARWAHA 02 A e B], [ONISHI 01], [JOA-NG 99], [NIKAEIN 01], [NIKAEIN 00], [ROY 00], [MIGAS 03]) têm sido desenvolvidos com o intuito de oferecer, entre outros, um algoritmo de roteamento que definam a topologia da rede e estejam constantemente informando o estado e a localização de cada *host*. Alcançar a eficácia de um protocolo de roteamento para uma rede móvel *Ad hoc* é uma tarefa instigante, já que esse deve executar sobre uma larga escala de contextos de rede [Corrêa 05].

## 2.2 Vantagens

Podemos citar algumas vantagens, ao comparar as redes móveis *Ad hoc* com uma rede infra-estruturada e com as redes fixa [CAMARA E LOUREIRO 99]:

**Flexibilidade e rápida instalação**, as redes móveis *Ad hoc* podem ser estabelecidas dinamicamente em locais onde não haja previamente uma infra-estrutura de rede instalada;

**Tolerância à faltas**: a permanente adaptação e reconfiguração das rotas em redes móveis *Ad hoc* permitem que perdas de conectividade entre os nós possam ser facilmente resolvidas desde que uma nova rota possa ser estabelecida;

**Conectividade**: dois nós móveis podem se comunicar diretamente desde que cada nó esteja dentro da área de alcance (área de transmissão) do outro. Em redes infra-estruturadas ou em redes fixas, mesmo que dois nós estejam próximos, é necessário que a comunicação passe pela estação de suporte à mobilidade (no caso de redes infra-estruturadas) ou, no caso de redes fixas, haver uma ligação por meio de cabo entre os dois nós;

**Mobilidade:** esta é uma vantagem primordial com relação às redes fixas, pois podem se localizar em lugares aonde não é possível a instalação de uma estrutura fixa.

## 2.3 Desvantagens

Podemos citar algumas desvantagens, ao comparar as redes móveis *Ad hoc* com uma infra-estruturada e com as redes fixas [CAMARA e LOUREIRO 99]:

**Roteamento:** a mobilidade dos nós e uma topologia de rede dinâmica contribuem diretamente para tornar a construção de algoritmos de roteamento um dos principais desafios em redes móveis *Ad hoc*;

**Alcance limitado dos diversos nós da rede:** isso torna necessário o roteamento das mensagens através de vários *hops*, o que é relativamente complicado, uma vez que os nós se movem dinamicamente pela rede;

**Os meios sem fio nos quais essas redes operam:** apresenta uma série de complicações, tais como *fading* e *multipath*;

**Perdas de pacotes:** não são causadas apenas por erros de transmissão, como também podem ser causadas pela mobilidade dos terminais;

**Energia:** O tempo de vida das baterias dos dispositivos portáteis: é um problema de grande importância.

**Segurança:** uma vez que as redes são distribuídas, torna-se relativamente fácil para os usuários da rede ter acesso a informações alheias [JUNIOR 01];

**Largura de banda:** a banda passante de uma rede estruturada convencional pode chegar a 1 Gbps, enquanto nos enlaces via redes sem fio temos taxas de até 2 Mbps tipicamente;

## 2.4 Classificação

As redes móveis *Ad hoc* podem ser classificadas com relação a alguns aspectos importantes. Uma maneira é classificá-las como redes simétricas ou assimétricas. Redes simétricas são aquelas as quais todos os nós na rede têm iguais capacidades e dividem responsabilidades similares, ao passo que nas redes assimétricas, as capacidades são diferentes, tais como raio de transmissão, capacidade de processamento, velocidade de movimento etc., e suas responsabilidades como a habilidade para efetuar roteamento etc., variam de nó para nó.

As redes móveis *Ad hoc* também podem ser classificadas ao considerar o tipo de tráfego que se espera que os nós transmitam. O tráfego pode ser para aplicações de um *download* de dados, ou para uma aplicação que utiliza os dados em tempo real tais como multimídia, como som e vídeo. Os esquemas e protocolos usados nas diferentes camadas nos nós são tipicamente modelados para adaptar-se ao tráfego que está sendo transmitido.

Nas MANETs os métodos de endereçamento podem variar. Eles podem ser baseados no *host*, baseados no conteúdo ou até mesmo baseados na capacidade.

As redes móveis *Ad hoc* podem ser classificadas de acordo com o tipo de comunicação da rede. Ela pode ser uma rede de comunicação direta (*single-hop* – único salto), ou uma rede de múltiplos saltos (*multi-hop*). Nas redes de comunicação direta, cada dispositivo é capaz de comunicar-se somente com dispositivos que estejam ao seu alcance (área de transmissão). Já nas redes móveis *Ad hoc* de

múltiplos saltos, dois dispositivos que são mutuamente inalcançáveis podem se comunicar se houver pelo menos uma cadeia de dispositivos que seja alcançável por ambos.

Podemos lembrar que, nas redes sem fio infra-estruturadas a questão do alcance se resume no dispositivo estar posicionado dentro de uma célula da rede ou dentro do raio de atuação do ponto de acesso (PA). Entretanto, nas redes móveis *Ad hoc* os dispositivos podem se comunicar diretamente desde que haja uma cadeia de comunicação que permita o encaminhamento da informação do nó de origem até o nó de destino (neste caso, tais equipamentos da cadeia atuam como roteadores). Assim, o alcance não fica limitado ao raio de ação de cada dispositivo individualmente, mas à soma dos raios de ação de todos os dispositivos. Por esse motivo, a localização momentânea de um dispositivo com relação aos demais influi diretamente na sua "alcançabilidade".

Por exemplo, em uma rede móvel *Ad hoc*, uma rota entre dois computadores pode ser formada por vários *hops* (saltos), através de um ou mais dispositivos na rede. Na figura seguinte (*Figura 2.3*) os círculos demonstram o alcance da comunicação das unidades móveis. Sendo assim, as mensagens de A para D, por exemplo, devem passar por B e C para chegar até D.

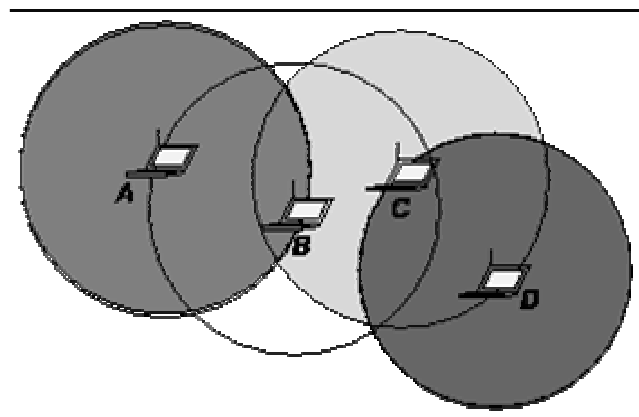


Figura 2.3 - Comunicação em rede móvel *Ad hoc*  
Fonte [Projeto de Redes 06]

Há também outras métricas, como por exemplo, taxa de transmissão e requisitos de segurança, que podem ser usados métodos sobre os quais as redes móveis *Ad hoc* podem ser classificadas [JUNIOR 01].

## 2.5 Aplicação

O crescente interesse pelas redes móveis *Ad hoc* é justificado pelas diversas vantagens que essas redes podem proporcionar para certos tipos de aplicações. Uma vez que redes como essas podem ser construídas rapidamente sem a necessidade de infra-estrutura fixa, tornando-as adequadas a situações e locais os quais são impróprios para redes cabeadas.

Outro aspecto que torna as redes móveis *Ad hoc* atraentes é o fato de não dependerem de pontos que determinem sua organização e controle, evitando assim que o desempenho da rede seja afetado, caso um nodo em particular venha falhar, podendo assim ser adicionados facilmente novos nodos à rede. Dentro das aplicações para as quais as redes móveis *Ad hoc* podem ser utilizadas temos:

**Notebooks, PDA's, e outros dispositivos portáteis:** a redução no tamanho dos equipamentos eletrônicos com o passar dos anos permitiu o desenvolvimento de vários tipos de dispositivos de computação portátil. Muitos desses dispositivos podem ter a possibilidade de acesso a algum tipo de conexão em rede, normalmente uma rede local ou acesso a internet. A atual tecnologia exige que os dispositivos portáteis estejam dentro do raio de alcance de algum tipo de hub sem fio. Isso reduz drasticamente a abrangência e mobilidade do sistema. Se os dispositivos *Ad hoc* fossem equipados com uma estrutura *Ad hoc* e a densidade desses dispositivos fosse boa o bastante, isso permitiria aos usuários terem algum tipo de conexão em rede em qualquer instância.

**Sensor Arrays:** ao passo que a implantação de sensores no meio-ambiente vem se tornando mais e mais comum, as redes móveis *Ad hoc* se tornarão bastante úteis. Sensores conectados a simples processadores podem facilmente ser



implantados em um ambiente. Um sistema de rede dinâmico, como é o das redes móveis *Ad hoc*, permitirá a adição e integração de novos sensores no sistema. Uma vez que cada sensor funciona como um *hub*, o raio de alcance do sistema é tremendamente elevado, pois eles não necessitam estar centralizados ao redor de algum tipo de estação central. Aliado a isso, utilizando protocolos de eficiência energética ajudará a aumentar o tempo de vida dos equipamentos no campo.

**Militar:** equipamentos militares comumente contêm algum tipo de computador. Com isso, as redes móveis *Ad hoc* permitiriam aos militares aproveitarem uma tecnologia de rede local, na qual permite uma mobilidade e versatilidade maior entre seus soldados, veículo e quartel general, mantendo esta rede de informações.

**Aplicações emergenciais:** uma vez que as redes móveis *Ad hoc* não necessitam de uma infra-estrutura fixa preexistente, elas se tornaram bastantes úteis em situações de emergência, tais como busca e salvamento, policiamento e combate ao fogo [JUNIOR 01.].

### **3 Roteamento em Redes Móveis *Ad-hoc***

Neste capítulo será feito uma abordagem sobre os protocolos de roteamento, trataremos do problema de garantias de qualidade de serviço, apresentado pelas redes móveis *Ad-hoc*, e de discutiremos algumas das possíveis soluções nas quais vem sendo propostas a fim de superar os desafios apresentados.

Como descrevemos no capítulo 2, em redes sem infra-estrutura fixa, as denominadas redes móveis *Ad hoc*, todos os dispositivos são capazes de estabelecer uma comunicação direta ou de múltiplos saltos, com outros dispositivos da rede, não havendo a necessidade de um ponto de acesso (PA), ou seja, em uma rede móvel *Ad hoc* todos os dispositivos móveis podem se comunicar através de enlaces sem fio. Nessa rede também é possível o acesso aos equipamentos de uma rede fixa, desde que exista algum tipo de infra-estrutura disponível, tais como visto na figura 2.2. no capítulo 2.

Convém salientar ainda que o protocolo de comunicação da rede móvel deve considerar certas características que não ocorrem em uma rede fixa. É bom lembrar que os elementos portáteis de uma rede móvel *Ad hoc* apresentam várias limitações de recursos, principalmente largura de banda, segurança e autonomia de bateria.

Inicialmente as redes móveis *Ad hoc* foram pensadas para serem usadas em casos de catástrofes onde seria impossível manter uma rede fixa de apoio, como em situações de resgate, tragédias naturais, aplicações militares, dentre outras. Atualmente com o avanço dos dispositivos portáteis e da comunicação sem fio, as aplicações de redes móveis *Ad hoc* tornaram-se muito mais abrangentes.

#### **3.1 Abordagem dos Protocolos de Roteamento**

A principal função da camada de redes é rotear pacotes de uma máquina origem para uma ou mais máquinas destino. O algoritmo de roteamento é a parte do software da camada de redes responsável pela decisão sobre a linha de saída a ser usada na transmissão do pacote de entrada [TANENBAUN 03]. A escolha dos algoritmos que definem as rotas e as estruturas de dados que as utilizam, são pontos importantes a serem definidos nessa camada. Podemos citar algumas características que estes algoritmos de roteamento devem satisfazer:

**Funcionamento correto:** escolher de forma correta a melhor rota para o pacote;

**Simplicidade:** o algoritmo deve oferecer os serviços com a quantidade mínima de processamento possível;

**Robustez:** o algoritmo deve sempre chegar a uma resposta aceitável e funcionar corretamente por anos sem que ocorram falhas no sistema;

**Escalabilidade:** o algoritmo deve prever e continuar funcionando bem, apesar do aumento do número de nós da rede;

**Convergência para a rota ótima:** como as rotas podem mudar rapidamente, o algoritmo deve escolher, o mais depressa possível, a rota ótima;

**Aceitação de parâmetros QoS (*Quality of Service*):** para alguns tipos de tráfego, o suporte a parâmetros de QoS como perda de pacotes e atraso máximo é imprescindível, principalmente em redes militares;

**Adaptabilidade:** inerente às redes móveis *Ad hoc*, o algoritmo deve ser capaz de trabalhar com mudanças freqüentes na topologia;

**Independência da tecnologia de rede:** deseja-se que o algoritmo funcione na maior variedade de computadores e meios físicos;

**“Fairness” (justiça ou eqüitatividade):** todos os nodos devem conseguir ter acesso aos recursos fornecidos pela rede.

### 3.2 Classificação dos Protocolos de Roteamento

Os algoritmos de roteamento, de maneira geral, podem ser agrupados de várias formas: adaptativos (estáticos) ou não adaptativos (dinâmicos), pró-ativo, reativo e híbrido, um caminho ou vários caminhos, *host* inteligente ou roteador inteligente, distribuídos ou centralizados, estado do link (*link state*) ou vetor distância (*distance vector*), inundamento (*flooding*), entre outros [TANENBAUN 03, ABOLHASAN 03]. Entretanto, nesta abordagem, podemos destacar os seguintes algoritmos:

**Inundação (*flooding*):** todos os pacotes que chegam ao nodo de origem são enviados para todos os outros *hosts* que este tem contato, exceto para o que lhe enviou o pacote. Este algoritmo pode gerar infinitos números de pacotes (*loops* de roteamento) caso não seja tomadas algumas medidas para minimizar o processo.

**Roteamento com vetor de distancia (*distance vector*):** este algoritmo de roteamento mantém uma tabela com o menor caminho conhecido a cada destino determinando qual será o trajeto percorrido para chegar ao destino. A tabela é atualizada periodicamente com os dados dos vizinhos, na qual os dados recebidos são comparados e, se tiver um caminho menor é automaticamente atualizado e é armazenado de onde veio a informação.

**Roteamento do caminho mais curto:** esse conceito baseia-se na forma de medir o comprimento do trajeto que pode ser determinada, de modo genérico, pela distância física entre um nodo fonte e um nodo destino ou pelos números de saltos realizados.

**Roteamento por estado de enlace:** os algoritmos dividem a rede em regiões fazendo com que os nodos conheçam todos os detalhes de roteamento dentro de sua região sem conhecer nenhuma particularidade sobre sua estrutura interna de outras regiões onde essas regiões estabeleçam a comunicação através de *gateways*.

**Roteamento *broadcasting*:** este algoritmo pode ser utilizado quando é necessário enviar pacotes a todos os nodos de destino simultaneamente.

**Roteamento *multicast*:** este algoritmo é utilizado quando há necessidade de enviar pacotes para aplicações separadas nas quais funcionam no mesmo grupo.

### 3.3 Características dos Protocolos de roteamento de redes móveis *Ad hoc*

O IETF (*The Internet Engineering Task Force*) criou um grupo de trabalho que tem por finalidade discutir os problemas e padronizar um ou mais algoritmos de roteamento para uma rede móvel *Ad hoc*. Foi publicado por este grupo, várias características nas quais torna o sistema de rede móvel *Ad hoc* mais complexo do que o sistema de redes cabeadas [CORSON 99]. Estas características são:

**Topologia dinâmica:** os nós são livres pra se moverem arbitrariamente, ou seja, a topologia de rede muda frequentemente e a sua comunicação (sua transmissão) pode ser bidirecionais ou unidirecionais;

**Tamanho de banda restrito:** enlaces sem fio continuam a ter capacidade significativamente menor do que enlaces das redes fixas;

**Operação para economia de energia:** alguns ou todos os nós numa MANET (*MóBILE Ad hoc Network*) utilizam baterias para fornecimento de energia;

neste sentido, a conservação de energia é um dos critérios mais importantes para o desenvolvimento do sistema;

**Segurança física limitada:** as redes móveis sem fio são mais vulneráveis às ameaças na segurança do que as redes fixas; o aumento da possibilidade de escuta, invasão e ataques devem ser cuidadosamente considerados, porém, por terem um controle descentralizado, possuem como benefício maior robustez em relação às redes centralizadas (redes fixas).

Devemos sempre considerar que o fato de estarmos lidando com um ambiente móvel, na qual se comunicam por ondas de rádio sem uma existência de uma unidade central que controla a rede, cuja topologia ainda pode sofrer rápidas mudanças. Devido a isso, como por exemplo, a possibilidade de perda de comunicação entre dois nós e a necessidade do nodo de origem encontrar o nodo de origem, existem várias razões para que o roteamento e a localização de um móvel (gerenciamento de rotas) em uma rede móvel *Ad hoc* sejam mais difíceis do que em uma rede cabeada. Dentre essas razões podemos citar:

**Throughput (vazão):** uma das considerações críticas no projeto dos protocolos de roteamento é o *throughput*, já que o espectro é um recurso escasso. Em se tratando de aplicações multimídia de tempo real esta consideração fica mais crítica;

**Retardo (Delay):** características de retardo são importantes para todos os tipos de aplicações, especialmente, para aquelas limitadas no tempo e aplicações multimídia tais como voz e vídeo;

**Interferência com outros dispositivos móveis:** como os nós podem se movimentar aleatoriamente e conseqüentemente podem se aproximar muito uns dos outros, as interferências entre os nós aumentam, principalmente, se houver reuso espacial.

**Inexistência de uma entidade central:** a falta de uma entidade centralizadora, com a capacidade de coordenar a rede de forma completa, exige a

adoção de sofisticados algoritmos de roteamento. Este fato torna a forma de operação mais complexa.

**Todas as comunicações devem ocorrer através do meio sem fio:** este fator traz vários problemas relativos à conectividade, à propagação de sinais e à baixa velocidade do canal.

### **3.4 Classificação dos Protocolos de roteamento de redes móveis *Ad hoc***

Nas MANETs (*MóBILE Ad hoc Network*) devido a sua grande mobilidade, todos os algoritmos de roteamento são dinâmicos. Sendo assim são classificados, conforme já foi citado no item [4.2] em três grupos diferentes: pró-ativo (Global), reativo (*On-demand*) e híbrido [ABOLHASAN 03].

#### **3.4.1 Protocolos Pró-Ativo**

Nos protocolos de roteamento pró-ativos é definido por [ABOLHASAN 03] que as rotas para todos os nodos de destino são determinadas no início e mantidas usando um processo periódico de atualização da rota. Os protocolos pró-ativos diminuem o atraso da determinação das rotas para um destino (devido cada nodo ter suas tabelas com as rotas definidas), mas eles desperdiçam uma quantidade significativa dos escassos recursos a fim de manter a atualização das tabelas de roteamento [CORREA 05]. Como exemplos de protocolos pró-ativo, temos dentre os mais conhecidos: DSDV [PERKINS 94], WRP [MURTHY 95], GSR [CHEN 98].

#### **3.4.2 Protocolos Reativos**

Segundo [CORREA 05], nos protocolos reativos, um nodo inicia a descoberta da rota somente quando ele deseja se comunicar com seu destino [NIKAEIN 01]. Uma vez que a rota é estabelecida, ela é mantida por um processo de

manutenção de rotas até o destino tornar-se inacessível ou até a rota não ser mais apropriada. Os protocolos reativos diminuem o *overhead* de comunicação para a determinação da rota; mas eles não são os melhores em termos de utilização da largura de banda. Por causa da natureza *flooding* ficam escaláveis em relação a freqüente mudança da topologia. Como exemplos de protocolos reativos têm dentre os mais conhecidos: AODV [DAS 03], DSR [JHONSON 02], ROAM [RAJU 99], TORA [PARK 97].

### 3.4.3 Protocolos Híbridos

O protocolo de roteamento híbrido seria a combinação das propriedades básicas das duas primeiras classes de protocolos, possuindo assim natureza pró-ativa e reativa. São considerados por [ABOLHASAN 03] a nova geração dos protocolos de roteamento para MANETs, pois são projetados para aumentar a escalabilidade, permitindo que os nodos com proximidade trabalhem juntos para formar uma espécie de *backbone* a fim de reduzir o *overhead* de descoberta da rota [CORREA 05]. Como exemplos de protocolos híbridos têm, dentre os mais conhecidos: ZRP [HASS 99], ZHLS [JOA-NG 99], DST [RADHAKRISHNAN 99], DDR [NIKAEIN 00], HARP [NIKAEIN 01], Ant-AODV [MARWAHA 02 A].

Contudo, o grupo IETF publicou algumas propriedades que devem ser levadas em consideração quanto à qualidade dos protocolos de roteamento de redes móveis *Ad hoc*, tais como [AMORIM 02]:

**Operação distribuída:** para evitar a centralização que leva à vulnerabilidade. Esta propriedade é essencial para o roteamento em uma rede móvel *Ad hoc*;

**Protocolos livres de loops:** para que os pacotes não fiquem trafegando durante um período de tempo relativamente grande na rede, pode ser usada como solução uma variável do tipo TTL (*time to live*), mas uma abordagem melhor estruturada é mais indicada, por exemplo, a utilização de número de seqüência (MANET);



**Operação baseada na demanda:** o algoritmo de roteamento deve ser adaptável às condições de tráfego; se isto for feito de forma inteligente, os recursos de energia e largura de banda serão utilizados de forma mais eficiente;

**Operação pró-ativa:** em alguns momentos a latência adicionada pela operação baseada na demanda, poderá ser inaceitável; se os recursos de energia e largura de banda permitirem, contudo, serão desejáveis operações pró-ativas;

**Segurança:** se as camadas de rede e de enlace não garantirem segurança, os protocolos de roteamento de redes móveis *Ad hoc* estarão vulneráveis a muitas formas de ataques; é necessário que haja mecanismos para inibir modificações nas operações dos protocolos;

**Operação nos períodos de “sonolência” do nó:** como resultado da conservação de energia ou de alguma outra inatividade, os nós devem parar de transmitir e/ou receber por um período arbitrário de tempo, sem que isto resulte em maiores conseqüências;

**Suporte a enlaces unidirecionais:** tipicamente, uma rede móvel *Ad hoc* assume enlaces bidirecionais e muitos algoritmos são incapazes de funcionar corretamente sobre enlaces unidirecionais. Entretanto, enlaces unidirecionais podem ocorrer em redes sem fio.

Também foram publicadas algumas características para avaliar de forma quantitativa os protocolos de roteamento de redes móveis *Ad hoc*. São eles:

**Throughput e atraso de dados fim-a-fim dos pacotes de dados:** medidas estatísticas como variância, média e distribuição, são muito importantes para avaliação da eficácia do desempenho de uma política de roteamento;

**Tempo de aquisição das rotas:** essa é uma forma particular de medir atraso de um pacote fim-a-fim de interesse particular dos algoritmos de roteamento sob demanda; é o tempo requerido para estabelecer as rotas quando requisitadas;

**Porcentagem de entrega fora de ordem:** medida externa do desempenho de algoritmos de roteamento sem conexões, de interesse particular aos protocolos da camada de transporte, tais como TCP, que entregam os pacotes na ordem correta;

**Eficiência:** se a eficácia do roteamento dos dados é uma medida externa de desempenho de uma política, a eficiência é a medida interna de sua efetividade. Se o controle de tráfego de dados deve compartilhar o mesmo canal, e a capacidade do canal for limitada, então o controle de tráfego excessivo causará impacto no desempenho do roteamento;

Capacidade de manipular e escolher a melhor rota: baseada em parâmetros de QoS.

### **3.5 Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*)**

A Qualidade de Serviço (QoS - *Quality of Service*) é uma forma de tentar garantir o desempenho dos pacotes que circulam na rede. Para fornecer soluções completas de QoS para um ambiente de redes móveis *Ad hoc*, isto requer a interação e a cooperação de diversos componentes. Destes componentes, podemos citar: QoS no roteamento de protocolos, uma reserva dos recursos dos dispositivos móveis, e outros.

Hoje, é tão importante e comum, a utilização do tratamento de qualidade de serviço (QoS), onde podemos encontrar, em muitos tipos de ferramentas e tecnologias, . Como por exemplo: na Internet, cujo o QoS usado é o Best-Effort Service, não muito recomendável para redes móveis *Ad hoc* (topologia totalmente dinâmica), pelo fato de funcionar bem em uma topologia estática.

Uma característica comum, para a garantia de QoS nas redes sem fio, é o princípio de adaptabilidade, na qual consiste em acomodar as aplicações e os

recursos da rede às condições reais com o objetivo de manter a qualidade que necessita. Alguns mecanismos usados para garantir o QoS são: as MANETs devem permitir o uso das mesmas aplicações que são comuns nos *desktops*, para os dispositivos móveis; o uso de múltiplos tipos de redes com características muito diferentes (redes cabeadas, infra-estruturas, moveis, satélites) interagindo entre – si; QoS no nível de conexão (gerência de conexão, inicialização da conexão), QoS a nível de pacote (tempo na entrega de pacotes, no processamento, tratamento de erros, e outros).

As características de rápida instalação, conectividade dinâmica, mobilidade, etc., fazem as redes móveis *Ad-hoc* muito atrativas, mas ao mesmo tempo existem dificuldades sérias que devem ser resolvidas. Diferente das redes fixas, que assumem uma baixa taxa de erro e usuários estacionários, existem alguns fatores que dificultam a provisão de garantias de QoS para redes móveis sem fio [DIAS 05]:

**Os recursos em redes sem fio** são mais escassos que em redes com fio. Enlaces sem fio, em geral, provêm menos largura de banda que enlaces com fio;

**Em redes sem fio, os canais** são inerentemente, não confiáveis e sujeitos a erros devido a ruído, desvanecimento por múltiplos percursos (*multipath fading*), sombreamento (*shadowing*) e interferências;

**Usuários** tendem a mover-se durante a sessão de comunicação causando *handoffs*<sup>1</sup> entre células adjacentes;

**A largura de banda** deve ser alocada na nova posição, o que pode causar o cancelamento da chamada se a nova localização não possuir largura de banda suficiente;

---

<sup>1</sup> Processo de Handoff acontece quando um nodo se move para fora da área de transmissão da sua rede (MANETs) e entra em uma região servida por uma estação de base ou de outros nodos de uma MANETs, que poderão estar ou não na área de transmissão da qual fazia parte.

**À medida que os usuários móveis movimentam-se**, a rede deve rastreá-los e descobrir suas novas localizações a fim de efetuar a entrega de dados;

**Os ambientes de computação móvel** possuem características que influenciam o projeto de sistemas computacionais sob vários aspectos. Os canais de comunicação sem fio apresentam alta taxa de erros e baixa largura de banda, se comparados às tecnologias atuais de cabeamento. A mobilidade das estações móveis pode causar grandes variações na qualidade da comunicação sem fio e confere ao ambiente de rede uma topologia dinâmica. Além disso, dispositivos móveis possuem recursos limitados de processamento e consumo de energia.

Existem propostas para prover qualidade de serviço (QoS – Quality of service) em redes corporativas, incluindo-se aqui as redes sem fio. Essas propostas seguem, essencialmente, duas vertentes distintas. A dos fabricantes de redes denominada Gerenciamento de Níveis de Serviços e a da IETF (*The Internet Engineering Task Force*), denominada Serviços Diferenciados ou *DiffServ* [GIBBENS 00, AMORIM 02].

Referente a *DiffServ*, existem duas técnicas: a diferenciação de serviços por variação do *DIFS* e a diferenciação de serviços por variação do *Backoff*.

As técnicas de diferenciação podem ser aplicadas para dar prioridades distintas a diferentes terminais ou a diferentes fluxos de mensagens [GIBBENS 00].

O fornecimento de QoS de forma estrita assim como a robustez nos serviços, são requerimentos concorrentes na área da computação móvel. Esta competição é amplamente ilustrada quando uma conexão de um usuário, num ambiente celular, é derrubada devido à sua movimentação para outra célula (*handoff*) [LIMA 02]. Quando isso acontece, podem ser perdidos pacotes ou inclusive a conexão pode ser derrubada. Por isto manter as métricas de qualidade do serviço, resulta numa tarefa bem mais difícil sob estas circunstâncias.

O bom funcionamento de propostas de QoS na Internet depende muito do conhecimento das características de tráfego, incluindo seu volume através dos

nós da rede. Através desses dados é possível que se realize uma previsão adequada. No caso de clientes móveis essa previsão de tráfego fica muito prejudicada, por causa do fator dinâmico que é acrescentado com o movimento dos nós. Dessa forma é importante a existência de mecanismos que possam controlar e gerenciar os níveis de serviços, como Acordos de Níveis de Serviço - SLA e Gerência destes Níveis de Serviço - SLM.

Neste momento, deve ser identificado o que é mais importante para cada tipo de aplicação: a confiabilidade, a disponibilidade e/ou conectividade do serviço, etc. Quando se fala em redes móveis, entretanto, novos fatores de QoS que vem da mobilidade e de sua imprevisibilidade também tornam-se importantes. A garantia de serviços sem interrupções é uma delas. O fato de estar continuamente conectado pode ser mais importante do que a ausência total de perdas, ou até mesmo do que a presença de uma alta vazão.

### **3.6 Qualidade de Serviço (QoS) em redes móveis *Ad hoc***

As soluções até agora apresentadas para o problema de QoS em redes móveis *Ad hoc* são incapazes de fornecer garantias robustas no caso geral. Podemos analisar estas tendências revendo brevemente o comportamento dos mecanismos FQMM (*Flexible QoS-Model for MANET*) [XIAO 00] e INSIGNIA [XIAO 00].

O FQMM foi o primeiro modelo de QoS proposto em 2000 para redes móveis *Ad hoc* por [XIA 00], com característica híbrida pois, tenta combinar os modelos DiffServ com IntServ ajustando a combinação às especificidades das redes *Ad hoc*. Assim usa o modelo de encaminhador do IntServ, e altera-o de forma a incluir funcionalidades do DiffServ como formatação de tráfego, controlada por DSCP (*Differentiated Services Code Point*) do fluxo e reservas ao longo da rota obtida por um protocolo de encaminhamento QoS. São definidos três tipos de nodos:

*ingress* (transmissor), *core* (passa a diante), *egress* (receptor). Pode-se visualizar na figura 3.6 abaixo o funcionamento. Os resultados são genericamente algo limitado. Por um lado, os resultados apresentados usam normalmente redes pequenas. A principal métrica analisada é o ganho na proporção de débito-entre-extremos (*throughput*), obtendo aumento muito baixos (~10%). Por outro lado, são garantias dependentes do cenário e pouco escaláveis.

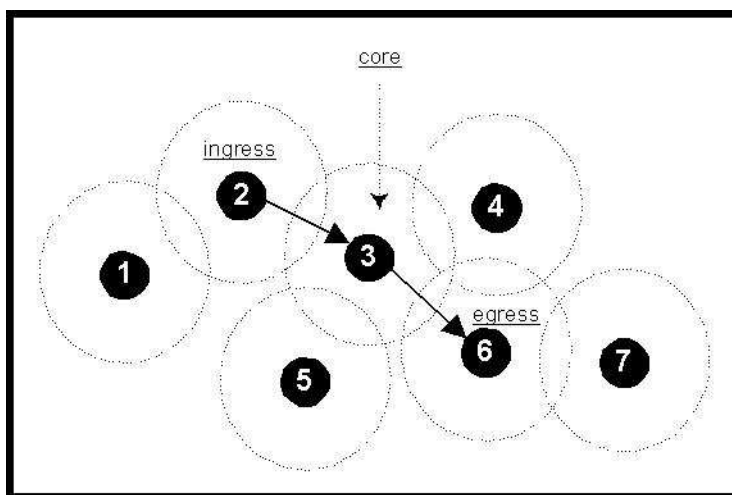


Figura 3.6: funcionamento da MANET  
Fonte[<http://www.cs.ucr.edu/~csyiazti/cs260.html>]

O INSIGNIA é o primeiro sinalizador de protocolo designado unicamente, para redes móveis *Ad hoc*, na qual propõe um modelo baseado em sinalização fora-de-banda e baseia-se na filosofia do RSVP (*"In-Band RSVP"*). O RSVP (*Resource Reservation Protocol*) é um protocolo de sinalização, que gerencia as informações na arquitetura *IntServ* e que as aplicações usam requisições de reserva orientadas ao receptor, o que o torna ideal para grupos *multicast* muito grandes, pois cada *host* receptor teria a qualidade de acordo com as suas necessidades e condições[BERSON 99]. As adaptações incluem a definição de classes de tráfego, com possibilidade de degradação (via relatórios). Conseguem-se diferenciação de tráfego, mas sem conseguir impor limites a nenhuma métrica, já que, para cargas crescentes, o serviço se degrada monotonicamente. Assim, apenas se pode falar de QoS caso admita-se que QoS é qualquer serviço da rede melhor do que melhor-esforço.

## 4 Ferramentas para Obter um QoS Desejável

Este capítulo tem por objetivo descrever e avaliar empiricamente algumas das ferramentas encontradas na literatura que visam prover desejáveis garantias de QoS (*Quality of service*) para roteamento de redes móveis *Ad hoc*.

Alcançar garantias de qualidade de serviços em redes cuja topologia é altamente dinâmica e recursos como memória, processamento, taxa de transmissão e energia são escassos é ainda um fator desafiante a ser superado pelo mundo científico.

Dentre as estratégias encontradas na literatura que buscam prover qualidade de serviço para redes móveis *Ad-hoc* abordadas nas seções seguintes deste trabalho temos: Sistema Multi-Agente, Localização Probabilística e Balanceamento de Carga, Predição de Mobilidade e o protocolo OLSR (*Optimized Link State Routing*)

### 4.1 Sistema Multi-Agente

Os nodos de uma MANET (*Mobile Ad hoc NETWORK*) criam conexões para se comunicarem com outros nodos distantes quando necessário. Essa topologia muda constantemente devido a mobilidade do nodo, o que causa quebras de rotas e faz com que as conexões tenham que ser restabelecidas. De acordo com as regras de qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*), o protocolo de roteamento procura por caminhos com os recursos necessários, como taxa de transmissão, atraso (*delay*) e perdas de pacotes, que possibilitem o estabelecimento de trajetos confiáveis para um destino desejado.

A grande maioria dos protocolos de roteamento baseiam-se no algoritmo de escolha de trajetos de caminhos mínimos de *BellmanFord*, em vez de escolher apenas o caminho de menor tráfego. Após um nodo conhecer seus enlaces para um

destino final, o problema passa ser o de determinar um caminho que cumpra as exigências mínimas necessárias que garantam a qualidade de serviço exigida. No entanto, é importante salientar que o cenário de redes móveis *Ad-hoc* possui alguns problemas adicionais aos cenários de redes cabeadas, tais como a dificuldade de obter informações precisas sobre todos os caminhos e o alto nível de código extra a ser armazenado.

Em busca de uma solução que resolva estes problemas, [MANTILL 04] propõe uma estrutura de roteamento usando um sistema multi-agentes (MAS – *Multi Agent System*). Neste trabalho, são definidas duas as atividades principais: i) configurar o roteamento, repassando as mensagens explicadas a seguir, a todos os nodos, obtendo a informação dos recursos disponíveis e informando as rotas prioritárias e ii) fazer sua manutenção, atualizando a lista de rotas prioritárias e avaliando os recursos disponíveis.

O MAS funciona com qualquer protocolo reativo (como o AODV [PERKINGS 02], DSR [JOHNSON 96] e TORA [PARK 97] ). As classes de agentes são divididas em Agente Solicitador e Agente Fornecedor. O Agente Solicitador recebe as exigências de QoS da aplicação e consulta a tabela de caminhos. Com essas informações, o mesmo envia uma mensagem denominada por *cfp* (*call for proposal*) para os nodos fontes dos caminhos da tabela de roteamento, junto com o QoS exigido e um tempo máximo permitido para a operação. Os nodos fontes enviam à mensagem *cfp* para os próximos nodos definidos no seu trajeto até que a mensagem chegue ao nodo destino. Deste modo, o Agente Solicitador recebe a informação dos recursos disponíveis dos diferentes caminhos possíveis que é incluído em uma lista de rotas prioritárias. Já o Agente Fornecedor de cada nodo, envia uma mensagem a todos informando os recursos disponíveis, e o Agente Solicitador a usa para atualizar a lista de rotas. Além disso, o Agente Fornecedor também é responsável pelo controle de admissão e pelo mecanismo de provisão de recursos, tendo uma lista de recursos disponíveis, como visto na figura 4.1.



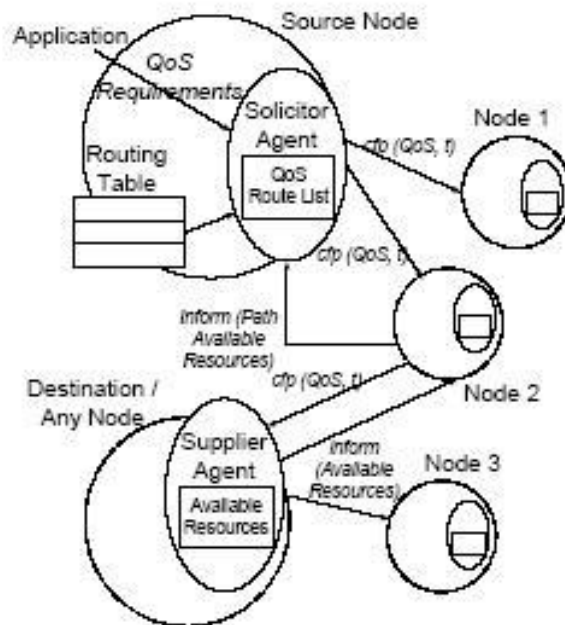


Figura 4.1: **Funcionamento do sistema Multi-Agente.** Fonte: [MANTILL 04]

## 4.2 Localização Probabilista e Balanceamento de Carga

Progressos recentes na área de redes móveis *ad-hoc* iniciaram uma intensiva busca a respeito da integração direta dos usuários de redes móveis com a Internet [ELMALLAH 01]. Em uma rede móvel *ad-hoc*, os nodos se movem livremente sem nenhum suporte da rede. Ainda segundo [ELMALLAH 01] o nível de detalhamento que um modelo de mobilidade possa ter não é algo evidente. Logo faz-se necessário definir como estimar os parâmetros do modelo, e como aproveitar essa informação para otimizar o desempenho dos atuais algoritmos de roteamento.

O Balanceamento de Carga consiste em dois algoritmos. O primeiro é definido por uma função *evalRoute()* que calcula a probabilidade de existência de um caminho dado. Já o segundo é uma função *selectRoute()* que calcula uma solução aproximada da escolha do caminho que ira balancear melhor a carga dos nodos. Essas funções são usadas em protocolos da classe de algoritmos de

roteamento *on-demand*, que se mostram eficazes em redes móveis *ad-hoc* [ELMALLAH 01]. As atenções são voltadas para os algoritmos *Dynamic Source Routing* (DSR) [JOHNSON 96] e *Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing* (AODV) [PERKINGS 02].

Falaremos agora sobre o modo com que os protocolos tratam uma quebra na rota. No algoritmo DSR, por exemplo, as rotas são armazenadas em um *route cache* onde mais de uma rota para cada destino pode ser armazenada. Se um nodo intermediário detecta uma quebra na rota, ele procura no *route cache* uma rota alternativa.

Usar uma memória de rotas em roteamento dinâmico é uma clara proposta para ajudar a otimizar o procedimento de escolha de rota, gerenciando de forma inteligente o conteúdo na memória. Em um ambiente onde a localização espacial pode ser estimada de forma probabilista, a ordenação das rotas na memória de acordo com sua probabilidade de existência seria uma otimização no processo de roteamento. Essa ordenação pode ser feita pela função *evalRoute()*. Se a memória estiver vazia para um determinado destino, podem-se gerar novas rotas que tenham probabilidades de sucesso aceitáveis, e adicioná-las a memória.

Por muito tempo acreditou-se que o desempenho dos protocolos de roteamento de redes móveis *ad-hoc* era otimizado pela redução da mobilidade dos nodos. Entretanto, estudos mostram que os atrasos nas rotas aumentam com baixa mobilidade em ambos os algoritmos, DSR e AODV [DAS 00]. Este comportamento inesperado foi atribuído ao alto nível de congestionamento da rede e a interferência de múltiplos acessos a certas regiões da rede móveis *ad-hoc*, combinado com o fato que nenhum protocolo possui qualquer mecanismo para balanceamento de carga (isto é, escolhendo rotas de tal maneira que o tráfego de dados pode ser distribuído na rede de forma mais uniforme).

Para explicar melhor o procedimento de Balanceamento de Carga, [ELM01] usa um modelo simples no qual um nodo qualquer chamado de  $x$  se movimenta entre um conjunto  $\{x[1], x[2], \dots, x[\ell]\}$  de posições (onde  $\ell$  pode ser diferente de um nodo para outro), permanecendo parado nessas posições por

intervalos de tempo diferentes. Estes conjuntos de posições são chamados de  $Pos(x)$ . A figura 4.2.1 mostra um exemplo em andamento, onde  $|Pos(v)| = |Pos(x)| = |Pos(y)| = 3$  e  $|Pos(w)| = 2$ . [ELM01] supõe que podemos estimar a probabilidade  $\rho_x[i]$  do nodo  $x$  estar na posição  $x[i]$ . Isto é,  $\sum_{x[i] \in Pos(x)} \rho_x[i] \leq 1$  (o  $\leq$  serve para um conhecimento parcial da posição do nodo).

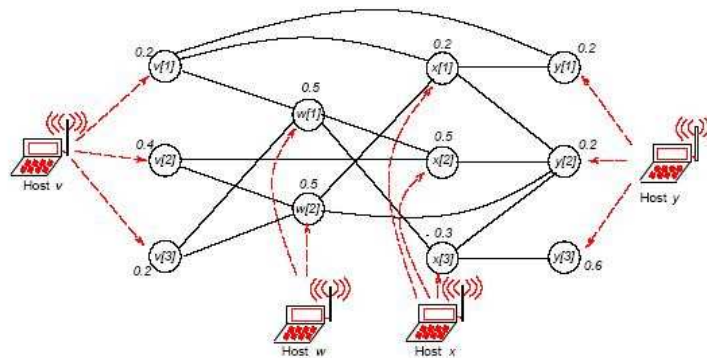


Figura 4.2.1: **Ilustração do modelo de localização probabilística.**

A relação de conectividade é simbolizada por  $L$ , e é definido como segue. Se o móvel  $x[i]$  pode alcançar diretamente o nodo móvel  $y[j]$ , então  $L$  contém o par não ordenado  $(x[i], y[j])$ . Equivalentemente, escrevemos  $L(x[i], y[j]) = 1$  (ou 0, caso contrario). Se simbolizarmos o conjunto de todos os nodos como  $B$ , sendo  $Pos(B) = \cup_{x \in B} Pos(x)$ ,  $\rho(B) = \cup_{x \in B} \{ \rho_x[1], \rho_x[2], \dots \}$  neste caso, a rede móvel *ad-hoc* pode ser representada pela seqüência  $( B, Pos(B), \rho(B), L )$ .

Vamos então ao primeiro problema: em algum momento a rede móvel descobre que a rota não é mais válida, tentará encontrar uma rota alternativa evitando que novamente seja refeito toda a fase de busca de caminhos. Se a rede possuir algumas rotas antigas, ela pode ordená-las de acordo com sua probabilidade. O problema pode ser dado como segue:

[P1] Dado um nodo fonte  $s$ , e um nodo destino  $d$  em uma localização especifica, e uma rota  $(s, d)$  (um caminho simples)  $R$ , calcule  $Prob(R)$ .

Primeiramente, o calculo de  $\text{Prob}(R)$  não depende apenas de  $R$ , mas também na maneira com que o protocolo de comunicação trata os pacotes extras (isto é, pacotes que não são destinados ao nodo) em cada um dos nodos de  $R$ . Para ilustrar, considere como exemplo, a rota  $(s,d) R = \{s, v, w, x, y, d\}$  da Figura 4.2.2, onde as linhas pontilhadas representam as conexões  $q$  causam pacotes extras na rota  $R$ .

Tratando-se de pacotes extras, há duas possibilidades: os pacotes extras em cada nodo são descartados, ou são utilizados para formar rotas mais eficientes. Primeiramente foi adotado um ponto de vista no qual o protocolo de comunicação tira partido das possibilidades de refinamento da rota de modo que as rotas armazenadas na memória resultam em um número de pacotes extras insignificantes. Quando aplicado à Figura 4.2.2, isso implica que nenhuma das linhas pontilhadas existem em  $R$ , se  $R$  é uma rota armazenada na memória no momento em que a conexão foi quebrada.

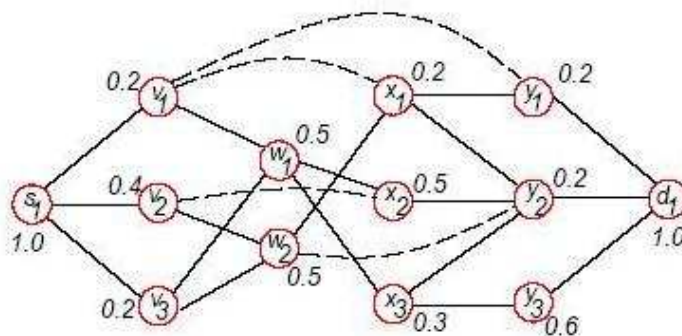


Figura 4.2.2: **Pacotes extras em uma rota.**

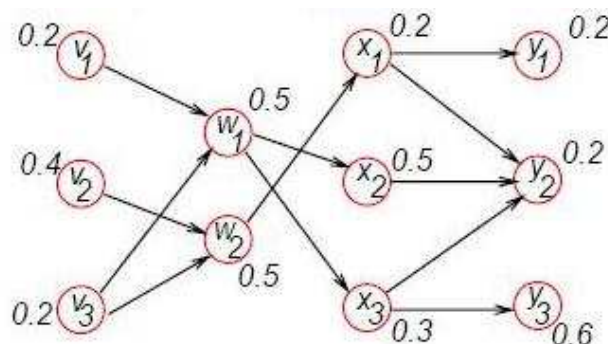


Figura 4.2.3: **Uma rota  $(v, y)$  com fonte e destino incertos.**

Como uma segunda observação, o processo de avaliação da rota pode ser chamado num momento em que a fonte e/ou o destino estão comprometidos em se mover freqüentemente entre um determinado subconjunto de localidades. A Figura 4.2.3 ilustra a rota  $(v, y) R = (v[1,2,3], w[1,2], x[1,2,3], y[1,2,3])$ , onde por exemplo, o nodo fonte  $v$  move-se previamente entre três posições. O processo de procura deve considerar fonte/destino incertos junto com incertezas similares para os nodos intermediários. Considerando estes aspectos, isso nos leva ao seguinte problema:

[P2] Assim como em [P1], com a exceção de que  $s$  e  $d$  podem estar localizados em qualquer posição de  $Loc(s) \subseteq Pos(s)$ , e  $Loc(d) \subseteq Pos(d)$ .

Para cada nodo  $x$  em  $R$ ,  $Loc(x)$  denotará um subconjunto de  $R$  que melhor representa as possíveis posições de  $x$  que contribuem para calcular  $Prob[R]$ . Para cada  $x \in R$ , associamos um vetor de probabilidade  $c_x = (c_x[i] : 1 \leq i \leq |Loc(x)|)$ . Aproximadamente falando,  $c_x$  é a probabilidade que o móvel  $x$  chegue ao destino  $d$ , dado que  $x$  esta na  $i$ -ésima posição de  $x[i]$  de  $Loc(x)$ . A função *evalRoute()* abaixo faz o caminho inverso (do destino para a fonte) enquanto calcula as probabilidades, e finalmente retorna o valor de  $Prob[R]$ .

Para ilustrar o algoritmo, [ELMALLAH 01] usou a rota  $(v, y)$  da Figura 4.2.3. Os vetores resultantes do passo 1 (inicialização), e passo 2.3 (removendo um nodo) são mostrados abaixo. O resultado de  $Prob[R] = 0.092$ .

Inicialização

$$c_v = [0, 0, 0]$$

$$c_w = [0, 0]$$

$$c_x = [0, 0, 0]$$

$$c_y = [1, 1, 1]$$

Removendo y

$$c_v = [0, 0, 0]$$

$$c_w = [0, 0]$$

$$c_x = [0.4, 0.2, 0.8]$$

Removendo x

$$c_v = [0, 0, 0]$$

$$c_w = [0.34, 0.08]$$

Removendo w

$$c_v = [0.17, 0.04, 0.21]$$

```

function evalRoute (R, Loc)
#input:  an (s, d)-route R, and a local-
        ity set Loc(x) for each mobile
        x ∈ R
#output: Prob[R]
1.  for each mobile x ∈ R, and possible
    location index i, set:
    cx[i] =  $\begin{cases} 1 & \text{if } x \text{ is the destination} \\ & \text{node} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ 
2.  while (R has at least two nodes) {
    2.1 Let y be the mobile farthest
        from s on R, and let x be
        y's unique neighbor on R
        # compute cx as follows:
    2.2 for (x[i] in Loc(x))
        cx[i] =  $\sum_{y[j] \in \text{Loc}(y)} p_y[j] c_y[j] L(x[i], y[j]);$ 
    2.3 remove y from R;
    }
3.  return  $\left( \sum_{s[i] \in \text{Loc}(s)} p_s[i] c_s[i] \right);$ 

```

Para provar a precisão, pode-se verificar que ao final de cada interação, se  $x \in R$ , e  $x[i] \in \text{Loc}(x)$ , então os segmentos de caminho em  $c_x[i]$  são: (a) topologicamente distintos, (b) correspondem a um conjunto de eventos estatisticamente independentes, e (c) exaustivos.

Ao modo que fazemos com que o papel do algoritmo acima seja além de calcular a probabilidade de uma simples rota, mas também calcular a probabilidade de uma sub-rede principal escolhida arbitrariamente, a complexidade do algoritmo cresce dramaticamente.

Agora iremos aprofundar os conhecimentos sobre roteamento com balanceamento de carga, usando um modelo de localização probabilística. O estudo é baseado no desenvolvimento de um *framework* de otimização que procura rotas que podem ser usadas em camadas de alto nível de um protocolo de roteamento. Primeiramente iremos apresentar os parâmetros chave do problema, e em seguida discutiremos a estratégia de solução.

Foi considerado por [ELMALLAH 01] um simples *framework* de dois parâmetros onde: (a) cada host  $x$  monitora sua carga de tráfego, denominada  $u(x)$ , e é medido pelo número de pacotes recebidos e transmitidos por segundo, e (b) cada nodo ajusta a taxa máxima de tráfego que ele pode lidar, denominada  $umax(x)$ . Supondo que os nodos troquem informações, então cada nodo saberá a carga atual e a taxa máxima de aceitação de outros nodos da rede.

Com os parâmetros acima, pode-se dar forma a vários problemas de otimização no roteamento. Das possibilidades existentes, extraímos o problema a seguir. Dado uma rota  $(s, d)$   $R$ , defina a relação de utilização crítica de  $R$ , definida por  $ur_{critica}(R)$  assim como  $max_{x \in R}(u(x)/umax(x))$ . Isto é, os hosts associados com a relação crítica são os hosts mais carregados da rota  $R$ . Nosso problema passa a ser selecionar a rota  $(s, d)$   $R$  que provavelmente tem a menor relação de utilização crítica. Isto é, nosso algoritmo de roteamento facilita a rota  $R$  satisfazendo:

[P3] Maximize  $Prob[R]$ , com as seguintes restrições:  $ur_{critica}(R) = \min(ur_{critica}(R'))$ , onde  $R'$  é uma rota  $(s, d)$ .

Faremos agora algumas observações sobre os parâmetros acima. Primeiramente, comparado a outras medições de QoS, a carga de tráfego é mais fácil de ser acessada por um nodo. Todavia, devido a forma *broadcast* do protocolo MAC, a carga de tráfego  $u(x)$  é afetada pelas rotas passando pelo próprio nodo, assim como pelos nodos vizinhos. Tal interferência, por ser imprevisível, sugere o uso de uma técnica simples e um método de predição para aproximar a qualquer momento a carga de tráfego a um nodo.

[ELMALLAH 01] observou também que é óbvio que  $u(x)$  nunca deve exceder  $umax(x)$ , os algoritmos de roteamento existentes não podem garantir isso; as rotas consultivas obtidas pelo algoritmo de [ELMALLAH 01] tentam aliviar este problema. Além disso, abaixando a carga máxima de tráfego aceitável, cada nodo pode acomodar temporariamente condições de sobrecarga e de pouca bateria.

Evidentemente, uma solução estratégica baseada na geração e na verificação de todas as possíveis rotas  $(s, d)$  não atinge o nível de eficiência

necessária nem mesmo para redes com tamanho relativamente pequeno (vinte nodos, por exemplo). Uma melhor estratégia seria executar os procedimentos que seguem:

Primeiro, classificar o vetor de relação de utilização  $(u(x)/u_{\max}(x) : x \in B)$  em ordem crescente (dos hosts menos carregados aos mais carregados) e compactar o vetor, removendo entradas numéricas duplicadas. A seqüência resultante é chamada de  $ur_{\text{sorted}}$ , e seu tamanho é denominado de  $|ur_{\text{sorted}}|$ .

Por fim, para cada valor numérico  $ur_{\text{check}}$  em  $ur_{\text{sorted}}$  (pegos em ordem, do menor para o maior) forma-se uma sub-rede  $N'$  que inclui apenas os nodos  $\{x : u(x)/u_{\max}(x) \leq ur_{\text{check}}\}$ . Em seguida, para cada sub-rede  $N'$ , encontrar a mais provável rota  $(s, d) R$ , se existir alguma. Interrompe-se a execução quando for encontrado o primeiro  $R$  com  $\text{Prob}[R] > 0$  ( $R$  passa a ser a solução). Caso não seja encontrado nenhum  $R$  com  $\text{Prob}[R] > 0$ , então  $d$  não é alcançável por  $s$  na rede original.

Com o algoritmo de busca acima, obtém-se a solução para um problema de otimização em tempo proporcional ao tamanho de  $|ur_{\text{sorted}}|$  e em tempo necessário para encontrar um provável caminho entre os nodos  $s$  e  $d$ . Infelizmente, não se sabe de nenhuma solução de tempo polinomial para resolver este ultimo problema. Para lidar com a aparente intratabilidade de encontrar o mais provável caminho  $(s, d)$ , é proposto uma noção mais fraca de probabilidade de rota, que é acessível a uma solução algorítmica. Com esta finalidade, [P4] definir um caminho  $(s, d)$ , entre a fonte  $s$  e o destino  $d$  para ser um caminho de roteamento onde cada host está em algum local específico de seu conjunto de localidades. Por exemplo,  $(v[1], w[1], x[3], y[3])$  corresponde a um caminho ao longo da rota  $(v, w, x, y)$  na figura 4.2.3.

Se  $R'$  é um caminho qualquer de uma conjunto de rotas, então  $\text{Prob}[R'] \leq \text{Prob}[R]$ , por esta razão, um elevado  $\text{Prob}[R']$  pode ser um indicativo de um  $\text{Prob}[R]$  elevado. Conseqüentemente, se a procura de um provável caminho  $(s, d)$  pode ser resolvido eficientemente, então uma primeira tentativa aproximada seria a de usar o conjunto de rotas  $(s, d)$  associada com o mais provável caminho  $(s, d)$ . O teorema a



seguir mostra que o grande número de algoritmos de curta distância podem ser usados para o problema da procura do mais provável caminho. Como está subentendido na prova do teorema a seguir, o algoritmo de menor caminho roda em um grafo que é razoavelmente maior que a rede *Ad hoc* original. Particularmente, se fizermos  $B' = \bigcup_{x \in B} Pos(x)$  o conjunto de todas as posições possíveis dos móveis em uma rede *Ad hoc*, então o algoritmo de menor caminho rodará em um grafo com  $2|B'|$  nodos, e  $|B'| + 2|L|$  ligações.

**Teorema 1.** Encontrar o mais provável caminho pode ser feito em tempo polinomial.

Prova.

Dado um modelo de localização probabilista  $(B, Pos(B), \rho(B), L)$ , e dois nodos  $s$  e  $d$  constroem um grafo  $G$ , como segue. Cada posição  $x[i] \in Pos(x)$  é associada a dois nodos de  $G$ :  $x^{in}[i]$ , e  $x^{out}[i]$  conectados pelo arco  $(x^{in}, x^{out})$  de distância  $-\log(\rho_x[i])$ . Além disso, para cada possível ligação  $(x[i], y[j]) \in L$  da rede *Ad hoc*, adiciona-se dois arcos  $(x^{out}[i], y^{in}[j])$  e  $(y^{out}[j], x^{in}[i])$ , cada um com distância zero, ao grafo  $G$ .

Um pode então verificar que para quaisquer dois nodos  $x$  e  $y$  em  $B$ : (1) se  $R'$  é um caminho  $(x[i], y[j])$  da rede *Ad hoc*, então é associado a um caminho direto  $(x^{in}[i], y^{out}[j])$  em  $G$ , e (2) se  $R'$  existe com probabilidade  $Prob[R']$ , então o caminho direto correspondente em  $G$  tem uma distância  $-\sum_{x(i) \in R'} \log(x[i]) = -\log(Prob[R'])$ . Isso completa a prova.

```

function selectRoute (ADHOC, s, d)
#input:   a probabilistic locality model
         ADHOC of an ad hoc network,
         and two mobiles s and d
#output:  a route that approximates a
         solution to problem [P3]

1.  initialize: (R, Prob[R]) = ( $\phi$ , 0);
2.  construct the sorted list  $ur_{sorted}$ ,
     as outlined above
3.  foreach ( $u_{check} \in ur_{sorted}$  in
           ascending order) {
3.1 ignore the mobiles  $x$  with
      $\frac{u(x)}{u_{max}(x)} > u_{check}$ ;
3.2 foreach( $(s[i], d[j]) \in Loc(s) \times Loc(d)$ ) {
3.2.1 find the most probable
     ( $s[i], d[j]$ )-strand; denote
     its associated route by  $R$ ;
3.2.2 call evalRoute( $R$ )
3.2.3 keep the route with the
     highest probability
     }
3.3 if ( $R \neq \phi$ ) break;
}
4.  return ( $R$ );

```

A estratégia é gerar um numero de caminhos (s, d), e examinar as rotas (s, d) associadas, para então selecionar a melhor rota. Mais especificadamente, consideramos  $Pos(s) \times Pos(d)$  como sendo o conjunto de todas as possíveis posições que s e d possam ter. Para cada par de posições possíveis, digamos  $s[i]$  e  $d[j]$ , [ELMALLAH 01] calculou o mais provável caminho ( $s[i], d[j]$ ); a rota R correspondente passa a ser uma candidata de ser a rota escolhida. Usamos agora a função *evalRoute()* para calcular  $Prob[R]$  de cada rota candidata. A função *selectRoute()* resume a solução proposta para o problema [P3]. Isso conclui o algoritmo de seleção de rota.

### 4.3 Predição de Mobilidade

Apresentaremos agora um *framework* desenvolvido por [PAVLOU 03], a fim de organizar dinamicamente os nodos de uma MANET, provendo uma melhor qualidade de serviço no roteamento. [PAVLOU 03] ainda acredita que, em uma MANET, é essencial para um nodo ter aproximadamente o padrão de mobilidade dos nodos vizinhos, para prover tal melhoria no roteamento dos pacotes.

A gerência de mobilidade é importante em redes sem-fio a fim de rotear os pacotes de acordo com a localização dos usuários. Em sistemas celulares tradicionais, o rastreamento das posições se dá de duas formas: por paginação e por atualização da posição pelos terminais móveis. Isso se torna muito difícil em uma MANET, mas tal gerência de mobilidade ainda é de extrema importância para um roteamento eficaz [PAVLOU 03].

Já que o problema de rastreamento das posições é, pela definição, orientado ao usuário, uma hipótese subentendida é de que o movimento do usuário é um reflexo do padrão de sua vida. Assim sendo, a tentativa é de fazer uso da mobilidade pessoal de cada usuário [LEUNG 01] [DAS 99]. Os usuários tendem a ter algumas rotas favoritas e um certo padrão de movimento habitual, e isso pode ser aprendido. Este aprendizado ajuda na hora de tomar uma decisão quando é detectada a reparação destes padrões. A predição de mobilidade explora este fato e tenta deduzir a mobilidade de usuários particulares com a utilização de um histórico de movimento.

Para tornar o estudo de predição de mobilidade mais simples, [PAVLOU 03] modelou a MANET por um grafo conexo  $G = (V, E)$ , onde  $V$  representa o *virtual cluster* e  $E$  representa a adjacência entre pares de *virtual cluster*.

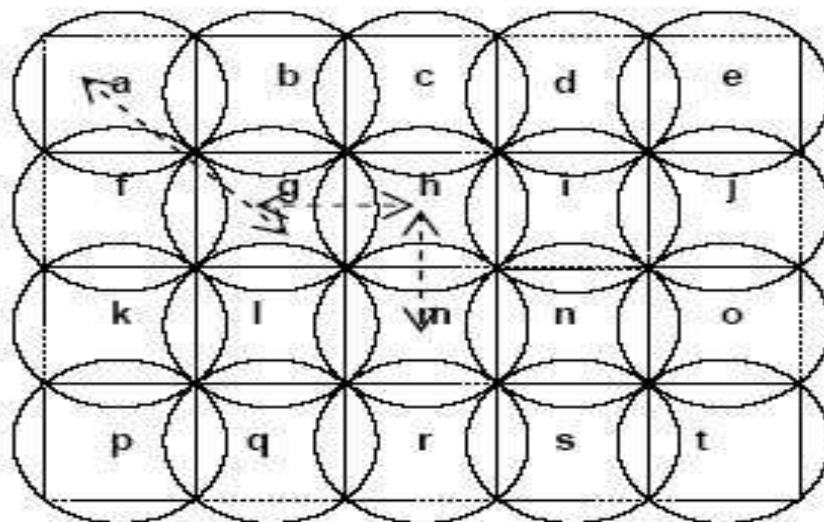
*Virtual cluster* [PAVLOU 03] é idealmente uma região circular centrada em um *virtual cluster center* (VCC), como visto na figura 4.3.1. Um *virtual cluster* se torna realmente um *cluster* quando existe um nodo móvel nele.

O histórico de movimento de um nodo móvel é representado por uma string de símbolos ' $v_1, v_2, v_3...$ ', onde  $V = \{v_1, v_2, v_3...v_n\}$  é o conjunto de *virtual clusters* e  $v_i$  é denotado de *virtual cluster id* (VID). Essas strings são geradas por um modelo de rastreamento que usa uma combinação entre os modelos *time-base* e -

*movement-based* [LEUNG 01] [DAS 99] [DAS 02]. No modelo *time-based*, o rastreamento se dá periodicamente, enquanto no modelo *movement-based*, o rastreamento se dá sempre que um cruzamento de *virtual clusters* é detectado.

O objetivo do algoritmo de predição de mobilidade é construir um prognosticador universal. Ele tenta criar um dicionário de *virtual clusters ids* (VIDs), que são tratados como caracteres, e usa esse dicionário para colher estatísticas baseadas no histórico de movimentos. Cada nodo móvel é responsável por gerar os strings de VIDs e manter seu respectivo dicionário na memória.

Além de fazer predições sobre os movimentos futuros de um nodo móvel em particular, cada nodo móvel também usa o algoritmo para fazer uma predição aproximada do tempo gasto nos *virtual clusters* que ele visita.



**Figura 4.3.1 Conceito de Virtual Clusters.**

O processo de aprendizagem é ajudado por um processo correlacionado, que cria e melhora eficientemente um dicionário explícito. O algoritmo analisa gramaticalmente a *string* de entrada ' $v_1, v_2...v_n$ ' ( $v \in V$ ) e o transforma em um  $c(n)$  de *substrings* distintas ' $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{c(n)}$ ' de tal forma que para todo  $j \geq 1$ , o prefixo da *substring*  $\omega_j$  é igual a alguma  $\omega_i$ , para  $1 \leq i < j$  [DAS 99]. Por causa desta propriedade do prefixo, *substrings* analisadas há bastante tempo, podem ser eficientemente mantidas em uma árvore ordenada de múltiplos caminhos [LEUNG 01].

```

initialize Mobility_Trie := null
initialize phrase  $\omega$  := null
initialize Num_of_Event := 0
loop
  wait for next event (symbol) v
  if ( $\omega.v$  in Mobility_Trie)
    Num_of_Event := Num_of_Event + 1
     $\omega := \omega.v$ 
  else
    create a leaf v
    encode <index( $\omega$ ), v>
     $\omega := v$ 
  endif
  calculate the probabilities of
  possible events based on the
  Num_of_Event of leaves
forever

```

Sendo que cada nodo móvel é responsável por gerar essas árvores em tempo real dependendo de seu próprio movimento, ele agirá como um codificador. Como cada nodo móvel deve ter o tempo gasto de cada visita nos *virtual cluster* da árvore construída, ele irá funcionar também como um decodificador.

Cada nodo folha desta árvore ordenada, com exceção da raiz, preserva as estatísticas relevantes que podem ser usadas para prever a probabilidade dos eventos seguintes. Quando um nodo móvel é ativado pela primeira vez em um determinado dia da semana, o codificador (ou prognosticador) deste nodo móvel deve inicializar a raiz da árvore ordenada de acordo com o tempo e o VID, e deve poder calcular a probabilidade de todos os possíveis eventos futuros associados a este nodo móvel. Neste modelo [PAVLOU 03], os eventos ocorrem em razão da atualização do *time-based* ou do *movement-based* [LEUNG 01] [DAS 99] [DAS 02]. Tendo em vista o evento atual, o prognosticador de cada nodo móvel verifica a árvore ordenada e está pronto para prognosticar novamente. Quando um evento não está na árvore, é gerada uma falha de predição e a árvore ordenada é atualizada, adicionando um nodo folha.

Além de representar o dicionário, a árvore ordenada pode armazenar estatísticas para os contextos explorados. O caminho desde a raiz a qualquer nodo folha  $\omega$  na árvore ordenada, representa um contexto. A figura 4.3.2 mostra um

exemplo de uma árvore ordenada formada ao analisar gramaticalmente um histórico de movimento “aaagagggggaaghhmmhgaaaa...” – obtido pela figura 4.3.1 – tal como “a, aa, g, ag, gg, gga, agh, h, m, mh, ga, aaa, ...”. As vírgulas separam as frases analisadas e indicam os pontos de atualização da árvore ordenada. Enquanto a análise gramatical está em andamento, frases cada vez maiores são acumuladas na árvore. Conseqüentemente, as estimativas de probabilidades condicionais para contextos maiores começam a ser construídas. Modelando a seqüência de eventos (símbolos) gerados em um específico tempo de duração (por exemplo, um dia da semana) e prognosticando os próximos eventos, pode-se prognosticar não apenas a qual *virtual cluster* o nodo móvel irá visitar, mas também o tempo aproximadamente gasto nesta visita [PAVLOU 03].

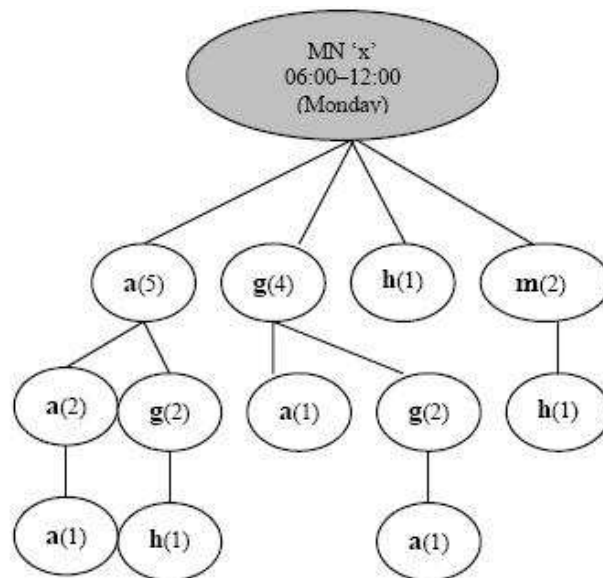


Figura 4.3.2 **Árvore ordenada de um determinado nodo móvel 'x'.**

Fonte: [PAVLOU 03].

[PAV03] supôs que  $\xi$ ,  $N(\omega)$ ,  $L(\omega)$ ,  $\delta^k(\omega)$ ,  $\rho(\omega)$  e  $\Lambda$  represente a última frase atualizada, número de ocorrências de uma frase  $\omega$ , seu tamanho, k-ésimo prefixo, sufixo, e uma frase nula, respectivamente. A probabilidade de alguma frase

$\varphi$  pode ser estimada pela fórmula recursiva:  $\Pr[\varphi] =$

$$\frac{N(\varphi | \rho(\delta^k(\xi)))}{\sum_{\omega} N(\omega | \rho(\delta^k(\xi)))} + \frac{N(\Lambda | \rho(\delta^k(\xi)))}{\sum_{\omega} N(\omega | \rho(\delta^k(\xi)))} \times \Pr[\delta^1(\rho(\delta^k(\xi)))].$$

Desta maneira, a combinação das probabilidades, associado com o acontecimento dos próximos VIDs possíveis no segmento de caminho a ser reportado pelo próximo evento atualizado, é calculada se é conhecido o contexto de histórico de movimento [DAS 99] [DAS 02]. Esta técnica é usada por cada nodo móvel 'x' para calcular a probabilidade ( $p_{xk}$ ) que este tem de ficar em um *virtual cluster* 'k'.

O tempo de intervalo ( $T_e$ ), e o raio (R) do *virtual cluster* são dois importantes parâmetros, e deste modo, determinam a exatidão do prognóstico e conseqüentemente o desempenho do algoritmo de clusterização [PAVLOU 03]. Quanto menor for o  $T_e$ , mais preciso será o cálculo do tempo de visita, mas torna mais difícil o rastreamento. Semelhante a isso, quanto menor o R, melhor a capacidade de predição, mas mais difícil será o rastreamento. Por essa razão, deve-se entrar num acordo ao selecionar os valores desses dois parâmetros. Uma suposição feita por [PAVLOU 03] é que todos os nodos móveis tenham um tempo de referência comum. Neste modelo, assume-se que se um nodo móvel estiver dentro de um *virtual cluster* específico, ele permanecerá nesta posição por grande parte do tempo, e não se moverá desnecessariamente dentro deste *virtual cluster*.

Segundo [PAVLOU 03], associando *clusters* a posições geográficas, resultam nos seguintes benefícios: (1) faz com que a tarefa de gerência de mobilidade seja facilitada, (2) pode-se prognosticar a futura posição de um nodo móvel específico, assim como a rota de pacotes a fim de evitar uma queda no QoS, (3) a identidade de um *cluster* não mudará após uma mudança de atividade do *cluster head*, (4) a mudança de atividade do *cluster head* não é freqüente, e o tempo de ajuste de um *cluster* é mínimo. A melhoria da estabilidade, entretanto, depende da exatidão da predição de mobilidade.

#### 4.4 OLSR

O protocolo OLSR (Optimized Link State Routing) [KUNZ 02] é uma otimização dos algoritmos de estado de enlace (*link state*). O conceito chave do OLSR é o de retransmissões multiponto (MPRs – Multipoint Relays). O conjunto MPR é selecionado de tal maneira que atinja todos os nodos vizinhos que estão a

dois laços de distância. O nodo N, que é selecionado como um multiponto de retransmissão pelos nodos vizinhos, informa periodicamente quem o selecionou como um MPR. Essa informação é recebida e processada por todos os nodos vizinhos a N, mas apenas os nodos vizinhos que estão no conjunto MPR de N que retransmitem essa informação. Usando este mecanismo, todos os nodos são informados de um subconjunto de todas as ligações – ligações entre o MPR e os seletores de MPR na rede. Assim, ao contrario do algoritmo *link state* clássico, em vez de todas as ligações, apenas subconjuntos de ligações são declarados.

Para o cálculo de rota, cada nodo calcula sua própria tabela de roteamento usando um algoritmo que calcula a rota com o menor numero de laços, baseada na topologia parcial da rede que o nodo possui.

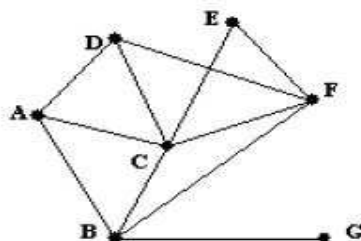
A seleção do MPR é o ponto chave do protocolo OLSR. A proposta para seleção do MPR, dada de forma heurística em [JACQUET 05], é selecionar iterativamente um nodo vizinho a um laço que alcance o número máximo de nodos vizinhos a dois laços como MPR. Se houver um empate, o nodo com o maior grau (mais vizinhos) é escolhido.

A tabela 4.4.1 mostra como o nodo B seleciona o(s) MPR(s), baseado na rede mostrada na figura 4.4.1:

Nodo	Vizinhos a um laço	Vizinhos a dois laços	MPR(s)
B	A, C, F, G.	D, E.	C

**Tabela 4.4.1** Seleção de MPR no protocolo OLSR.

Da perspectiva do nodo B, ambos nodos C e F atingem todos os vizinhos a dois laços de B. Entretanto, C é selecionado MPR de B pois possui cinco nodos vizinhos, enquanto F tem apenas quatro (o grau de C é maior que o grau de F).



**Figura 4.4.1** Exemplo de rede para a seleção de MPR.

Fonte: [KUNZ 02]



#### 4.4.1 Integrando OLSR no Roteamento

Na seleção do MPR, o nodo seleciona um nodo vizinho que atinja o número máximo de nodos vizinhos a dois laços como MPR. Entretanto, no roteamento, tal mecanismo de seleção de MPR pode acabar ocultando as ligações de “boa qualidade” dos outros nodos da rede. Como exemplo consideramos a topologia da rede como na figura 4.4.1 (veja também a figura 4.4.2), onde os números ao lado das linhas representam a banda passante disponível entre as ligações. Como explicado anteriormente, o nodo B escolherá o nodo C como seu MPR. Então, para todos os outros nodos, eles só sabem que podem chegar a B por C. Sendo assim, quando o nodo D construir sua tabela de roteamento, para o destino B, selecionará a rota D-C-B, onde a largura de banda é três, a pior entre todas as possíveis rotas.

Quando a preocupação para a provisão de QoS passa a ser a largura de banda, os nodos não podem mais usar este algoritmo de escolha de rota de menor laços, proposto no OLSR. Devido a essas limitações no roteamento, [KUNZ 02] revisou o OLSR em dois aspectos: seleção de MPR e cálculo da tabela de roteamento.

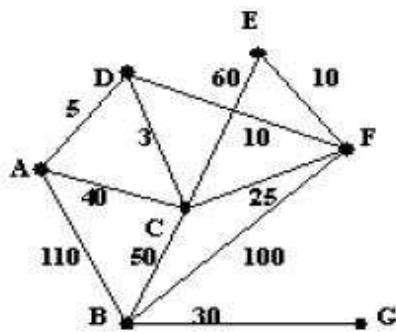


Figura 4.4.2 Exemplo de rede para seleção de MPR.

Fonte: [KUNZ 02]

#### 4.4.2 Mudando o Critério de Seleção de MPR

O modo com que cada nodo faz sua seleção de MPR é essencial para

determinar uma rota ótima quanto à largura de banda em uma rede. Na seleção de um MPR, uma ligação com uma boa largura de banda não deve ser omitida. Baseado nesta idéia, três algoritmos para seleção de MPR [KUNZ 02] são apresentados.

#### 4.4.2.1 OLSR\_R1

Neste primeiro algoritmo, a seleção de MPR é bastante parecida ao descrito anteriormente. Entretanto, quando há mais de um nodo vizinho a um laço cobrindo o mesmo numero de nodos vizinhos a dois laços, o nodo que possui a ligação com a maior largura de banda ao nodo atual é selecionado como MPR.

A rede na figura 4.4.2 faria a seguinte seleção de acordo com o algoritmo OLSR\_R1 para escolha do MPR para o nodo B:

Nodo	Vizinhos a um laço	Vizinhos a dois laços	MPR(s)
B	A, C, F, G.	D, E.	F

**Tabela 4.4.2** Seleção de MPR no protocolo OLSR\_R1.

Entre os nodos C e F, o nodo F foi escolhido como MPR de B, pois possui a ligação com maior largura de banda.

#### 4.4.2.2 OLSR\_R2

A idéia no algoritmo OLSR\_R2 é escolher os vizinhos com melhor largura de banda como MPRs, até que todos os nodos vizinhos a dois laços sejam atingidos.

Por exemplo, usando este algoritmo, baseado na figura 4.4.2, o nodo B escolheria como seu MPR:

Nodo	Vizinhos a um laço	Vizinhos a dois laços	MPR(s)
B	A, C, F, G.	D, E.	A, F

**Tabela 4.4.3** Seleção de MPR no protocolo OLSR\_R2.

Entre os vizinhos do nodo B, os nodos A, C e F possuem conexões aos nodos vizinhos a dois laços. Entre eles, a ligação BA possui a maior largura de banda. Sendo assim, o nodo A é o primeiro MPR de B escolhido, e o nodo D, que

está a dois laços é atingido. Semelhantemente, F é escolhido como o próximo MPR e o nodo E é atingido, fazendo com que todos os nodos a dois laços sejam atingidos e o algoritmo termina.

#### 4.4.2.3 OLSR\_R3

Este terceiro algoritmo faz a seleção de MPR de tal maneira que todos os nodos vizinhos a dois laços tenham uma largura de banda ótima na ligação entre o MPR e o nodo atual. Largura de banda ótima significa dizer que a rota escolhida possui a maior largura de banda entre todas as outras possíveis rotas. Dando mais uma olhada no nodo B da figura 4.4.2, a fim de atingir o nodo D, os nodos A, C ou F devem ser escolhidos como MPR. As larguras de banda disponíveis do nodo B ao nodo D por três diferentes rotas são:

B – 110 – A – 5 – D	A largura de banda é 5
B – 50 – C – 3 – D	A largura de banda é 3
B – 100 – F – 10 – D	A largura de banda é 10

O algoritmo escolhe a rota com a maior largura de banda (em dois laços). Neste caso, o MPR escolhido é F. Da mesma maneira, C é escolhido MPR de B para atingir o nodo E.

Nodo	Vizinhos a um laço	Vizinhos a dois laços	MPR(s)
B	A, C, F, G.	D, E.	F, C

**Tabela 4.4.4** Seleção de MPR no protocolo OLSR\_R3.

Estes três algoritmos podem fazer com que a seleção do MPR escolha uma rota com uma melhor largura de banda. Entretanto, usando tais algoritmos, o código extra pode ser maior comparado ao algoritmo original para escolha do MPR, pois o número de MPRs na rede pode ser maior, principalmente no algoritmo OLSR\_R3, que pode escolher um MPR diferente para cada nodo vizinho a dois laços.

## 5 Considerações Sobre as Ferramentas

Com o intuito de empiricamente analisar os benefícios oferecidos pelas abordagens propostas na seção 4 deste trabalho, apresentamos nesta seção, considerações que levam em conta o ponto de vista e o julgamento feito pelos autores de cada abordagem específica anteriormente apresentada.

A ferramenta de Multi-Agente, segundo [MANTILL 04], está em fase de simulação e avaliações quanto a medidas de desempenho, como taxa de entrega de pacotes, *delay* médio fim-a-fim e controle de *overhead*. Os autores, definem como trabalho futuro fazer avaliações quanto a escalabilidade e predição para o bloqueio de recursos, fração de QoS alcançado e recursos utilizados.

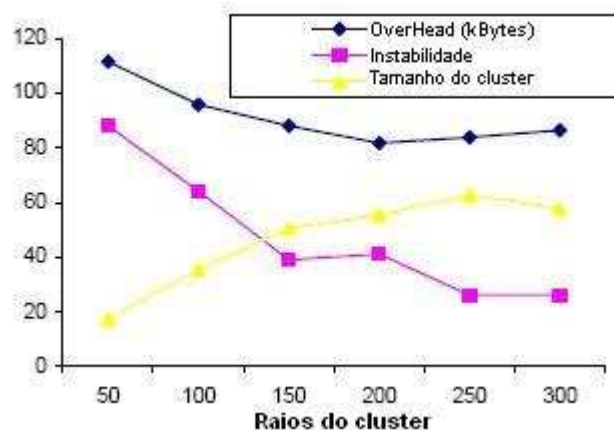
Na segunda ferramenta apresentada, foi descrito um modelo probabilista que capta o comportamento do usuário. [ELMALLAH 01] usou este modelo para desenvolver dois algoritmos eficientes: a função *evalroute()* que estima a probabilidade de todos segmentos de uma rota multi-laço existirem simultaneamente, e a função *selectroute()* que escolhe a rota mais provável que evite más condições de tráfego. Estes algoritmos resultantes podem ser usados por protocolos como ferramentas para otimizar o roteamento. Segundo [ELMALLAH 01], estudos de simulação ainda estão em andamento para poder avaliar o impacto de usar este modelo e seus respectivos algoritmos em protocolos de roteamento do tipo *on-demand*.

Para a Predição de Mobilidade, foi feita uma simulação, com todos os parâmetros especificados na tabela 5.1, para encontrar o valor ótimo do raio que um *virtual cluster* deve ter no algoritmo de clusterização [PAVLOU 03]. A tentativa de medir isto serve para um melhor controle do *overhead* de mensagens, estabilidade dos *clusters* formados, e o tamanho do *cluster*. A simulação é feita com 100 nodos, e o controle de *overhead* é medido em kilobytes [PAVLOU 03]. A instabilidade do *cluster* é medida pelo cálculo do número total de mudanças no *cluster head* por todos os nodos, e o tamanho do *cluster* é medido pelo número total de membros em cada *cluster* formado.

**Tabela 5.1 Parâmetros da simulação.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Tamanho do campo	600 X 600 m <sup>2</sup>
Taxa de velocidade	0 – 10 ms <sup>-1</sup>
Taxa de transmissão	71 m
Raio do VCC	142 m
Tempo de simulação	250 s

Assumindo que todos tem uma taxa de transmissão de 71m, fica claro na Figura 5.1 que o raio do *virtual cluster* deve estar na faixa de 200 – 250m. Este valor ótimo é tal que minimiza o *overhead* envolvido, leva a uma formação mais estável do *cluster*, e resulta em um maior *cluster*.

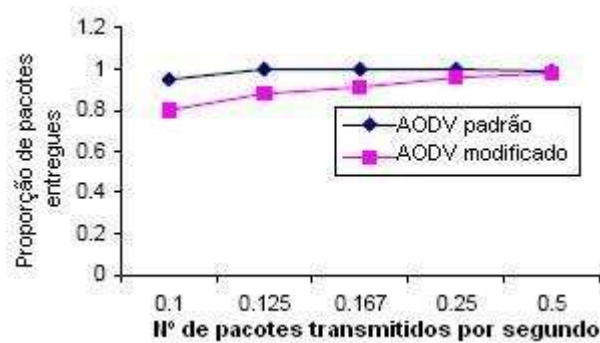


**Figura 5.1 Função do controle de overhead, instabilidade do cluster, e média do tamanho do cluster com o raio do virtual cluster.**

*Fonte: [PAVLOU 03].*

Durante o processo de avaliação [PAVLOU 03], foi simulado e comparado a predição de mobilidade com o AODV [PERKINGS 02]. As seguintes medidas foram usadas: 1) proporção de pacotes entregues, 2) número total de pacotes transmitidos por pacotes de dados entregues. A primeira medida mede o número de pacotes recebidos pelo destino sobre o número de pacotes de dados enviados. A segunda medida é o número de pacotes de dados entregues ao destino

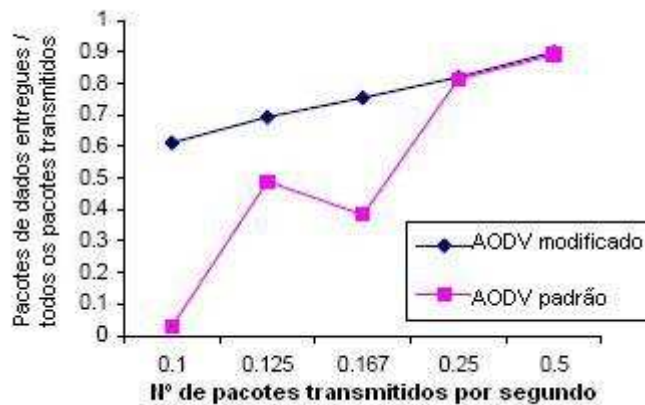
sobre o número total de pacotes (de dados e de controle) transmitidos. A figura 5.2 mostra a proporção de pacotes entregues como uma função do número de pacotes transmitidos por segundo. Como pode ser visto, a uma taxa de transmissão razoável, a predição de mobilidade obtém um aumento de 20% na entrega de pacotes se comparado com o AODV padrão.



**Figura 5.2 Função da proporção de entrega de pacotes com o número de pacotes transmitidos por segundo.**

*Fonte: [PAVLOU 03].*

Já na figura 5.3, mostra novamente uma performance melhor do AODV modificado (pela predição de mobilidade) ao AODV padrão, quanto à eficiência do canal de acesso. Neste novo processo, os nodos tentam manter rotas estáveis, limitando o excesso de pacotes de controle. Conseqüentemente, enquanto a carga (número de pacotes) aumenta várias sessões tendem a usar os poucos caminhos que são mais estáveis. Como muitas sessões tentam usar o mesmo caminho, esse fato pode levar a colisão, congestionamento, disputas e perda de pacotes. Esta é a provável razão para que os dois métodos tenham um desempenho parecido para cargas elevadas. A predição de mobilidade pode ter um desempenho ainda melhor com cargas elevadas se for usado um método de balanceamento de carga adequado.



**Figura 5.3 Função do número de dados transmitidos pelo total de pacotes transmitidos com o número de pacotes transmitidos por segundo.**  
 Fonte[PAVLOU 03].

Com relação ao protocolo OLSR, foi feita uma simulação dos algoritmos de seleção de MPR, onde foram geradas topologias de rede randômicas [KUNZ 02].

Os seguintes parâmetros foram usados:

Área da rede: 1000 M X 1000 M;

Número de nodos: 100;

Taxa de transmissão: 100 M, 200 M, 300M;

Largura de banda: a largura de banda de um *link* é calculado com segue.

Cada nodo é associado randomicamente a um tempo ocioso que varia de 0 a 1. A largura de banda de um *link* entre dois nodos é igual ao mínimo tempo ocioso entre eles X a largura de banda máxima. Foi considerada que a largura de banda máxima é de 2 Mbps.

Os resultados serão mostrados em duas categorias: desempenho e custo. A primeira é caracterizada por taxa de erro e diferença média, enquanto o custo do protocolo é medido pelo *overhead* e pelo número de MPRs.

Taxa de erro representa a porcentagem com que os algoritmos OSLR, OLSR\_R1, OLSR\_R2, e OLSR\_R3 não encontraram o caminho com largura de banda ótima. Quanto maior for a porcentagem, pior é o resultado.

Diferença média é a média da diferença entre a largura de banda ótima e a largura de banda encontrada pelos algoritmos. Assim como a taxa de erro, quanto maior for a porcentagem, pior será o resultado.

*Overhead* seria o número médio de mensagens de controle (mensagens originadas pelos nós informando a seleção do MPR) que são transmitidas / retransmitidas na rede.

Número de MPRs é o número médio de MPRs na rede. Quanto maior o número de MPRs, maior será o *overhead*.

A tabela 5.3 mostra os resultados obtidos para a rede com características descritas na tabela 5.2.

**Tabela 5.2 Características da rede.**

Taxa de transmissão	300 M	200 M	100 M
Vizinhos a um laço	21	10	2
Vizinhos a dois laços	33	15	4

*Fonte: [PAVLOU 03].*

Considerando esta mesma rede para todos os algoritmos OLSR, e a uma taxa de transmissão de 300 M, vemos que o OLSR padrão obteve a pior performance, tendo a maior taxa de erro e média de diferença. Concluindo assim, que para uma rede com taxa de transmissão de 300 M, o OLSR padrão tem a menor probabilidade de encontrar o caminho com a melhor largura de banda. Ao mesmo tempo, há uma grande diferença da largura de banda do caminho encontrado para o caminho ótimo.

Embora o OLSR\_R1 use o mesmo algoritmo de seleção de MPR, ele obtém um aproveitamento maior no desempenho, obtendo uma menor taxa de erro e diferença média.

Apesar de o OLSR\_R2 e OLSR\_R3 apresentarem bons resultados no desempenho, já que eles sempre encontram o caminho com largura de banda ótima, eles possuem um alto custo, já que os custos estão diretamente relacionados com o número de MPRs selecionados pelos algoritmos. Quanto maior o número de MPRs na rede, maior será o *overhead*. Esta relação é mostrada claramente na coluna de custo.

Dentre os cinco algoritmos, o OLSR padrão dá ênfase na redução do número de MPRs na rede e na redução do *overhead*. Tendo assim, um menor custo se comparado com o OLSR\_R2 e OLSR\_R3. Como o OLSR\_R1 tem o mesmo



mecanismo de seleção de MPR que o OLSR padrão, eles também possuem custos semelhantes.

Como também se pode ver na tabela 5.3, OLSR\_R2 e OLSR\_R3 selecionam um maior número de MPRs, produzindo um maior *overhead* que o OLSR. Comparado ao OLSR\_R3, o OLSR\_R3 possui um *overhead* ainda maior, isso pelo fato de gerar um maior número de MPRs. O algoritmo *link state* puro, obviamente tem o maior *overhead*, já que cada nodo funciona como um MPR, retransmitindo todas as mensagens que são recebidas.

O resultados dos cinco algoritmos em redes com taxa de transmissão de 200 M e de 100 M possuem as mesmas características que os resultados descritos para as redes com transmissão de 300M.

**Tabela 5.3 Resultados da simulação.**

Algoritmo	Taxa de transmissão	Desempenho		Custo	
		Taxa de Erro	Diferença média	Overhead	Número de MPRs
OLSR padrão	300 M	28%	46%	12	65
	200 M	41%	51%	24	68
	100 M	12%	45%	5	42
OLSR_R1	300 M	14%	22%	12	65
	200 M	21%	26%	24	68
	100 M	8%	44%	5	42
OLSR_R2	300 M	0%	0%	18	70
	200 M	0%	0%	33	72
	100 M	0%	0%	5.7	45
OLSR_R3	300 M	0%	0%	26	71
	200 M	0%	0%	38	73
	100 M	0%	0%	5.7	44
<i>Link State</i>	300 M	0%	0%	1245	100
	200 M	0%	0%	979	100
	100 M	0%	0%	28	100

Fonte: [PAVLOU 03].

A seguir, apresentamos uma tabela comparativa com todas as ferramentas descritas neste projeto, e as respectivas métricas de qualidade de serviço (QoS) que estas prometem garantir.

Vemos pela tabela 5.4 que a ferramenta de Multi-Agentes garante uma melhor taxa de entrega de pacotes, com um menor *overhead* e *delay*. Apesar de não garantir um menor *overhead*, o Balanceamento de Carga também garante uma melhor taxa de entrega, assim como um melhor *throughput* e um menor *delay*. A ferramenta que utiliza a Predição de Mobilidade prevê também uma melhora na taxa de entrega de pacotes, com uma melhora no *throughput* e uma diminuição no *overhead*. A otimização do algoritmo *link state* (OLSR) garante apenas o caminho com largura de banda ótima, ou seja, com a melhor largura de banda entre todas as possíveis rotas.

**Tabela 5.4 Características analisadas das Ferramentas e suas Garantias de QoS.**

	Taxa de Entrega de Pacotes	Throughput	Overhead	Delay	Largura de Banda
Multi-Agentes	X		X	X	
Balanceamento de Carga	X	X		X	
Predição de Mobilidade OLSR	X	X	X		X

Dentre as ferramentas analisadas, podemos verificar que apesar do esforço, ainda não existe uma única ferramenta que consiga superar o desafio de prover garantias de qualidade de serviço em redes móveis *Ad-hoc*. Logo este continua sendo uma tarefa difícil a ser superada pela comunidade científica.

## Conclusão e Trabalhos Futuros

Ter uma boa qualidade de serviço é essencial para qualquer rede. Nas redes móveis *Ad hoc*, a preocupação maior com a qualidade de serviço fica no roteamento, onde as situações adversas são maiores, como a constante mudança na topologia da rede, quebra de rotas e outras dificuldades.

Neste trabalho, apresentamos a rede móvel *Ad hoc*, suas características, vantagens e desvantagens. Damos ênfase nos protocolos de roteamento para estas redes e a importância de ter uma qualidade de serviço satisfatória neste roteamento.

Apresentamos também algumas ferramentas que auxiliam tais protocolos a garantir a qualidade de serviço, explicando seu funcionamento, mostrando suas características e informando as métricas de qualidade que elas visam combater.

Ao final do trabalho, mostramos algumas simulações feitas pelos autores das ferramentas em questão, e fizemos uma tabela comparativa entre tais ferramentas e as métricas de qualidade por elas tratadas.

Para trabalhos futuros, poderia simular/montar uma rede móvel *Ad hoc*, e testar estas ferramentas, coletando dados, e com isso, fazer uma análise dos resultados obtidos, avaliando quais destas apresenta melhor desempenho.

Poderia-se também criar condições adversas nestas redes, como desligamento de nodos, a fim de verificar o comportamento das ferramentas sob tais situações adversas.

## Referências

**[ABOLHASAN 03]** ABOLHASAN, M., WYSOCKI, T., DUTKIEWICZ, Eryk., “A review of routing protocols for mobile Ad hoc networks”, *Elservier Computer Science*, [www.elsevier.com/locate/adhoc](http://www.elsevier.com/locate/adhoc), Ago, 2003.

**[AMORIM 02]** AMORIM, G. F. “Análise de Desempenho de Protocolos de Roteamento com Diferenciação de Serviços em Redes de Comunicação Móvel Ad hoc”. Instituto Militar de Engenharia. 2002.

**[BERSON 99]** BERSON, STEVEN “RSVP Protocol Overview”, <http://www.isi.edu/div7/rsvp/overview.html>, Março, 1999.

**[CAMARA e LOUREIRO 99]** CAMARA, Daniel e LOUREIRO, Antonio A. F., “Redes de Computação Móvel Ad hoc. Jornada de Atualização em Informática”, Rio de Janeiro, 1999.

**[CAMARA e LOUREIRO 99]** CAMARA, Daniel, LOUREIRO, Antonio A. F. e ALMEIDA R. B., “GPSAL – Um algoritmo de Roteamento para Redes Móveis Ad hoc.” I Workshop de Comunicação Sem Fio. Belo Horizonte, Minas Gerais, 14 a 16 de julho de 1999.

**[CAMPBELL 02]** CAMPBELL, A.T. et al. “SWAN: Service Differentiation in StatelessWireless Ad hoc Networks.” 2002.

**[CHEN 98]** CHEN, T.-W., GERLA, M, “Global state routing: a new routing scheme for Ad-hoc wireless networks”, in: *Proceedings of the IEEE ICC*, 1998.

**[CORREA 05]** CORREA, C. U., “Proposta de um Framework de Roteamento para Redes Móveis Ad hoc.” UFSC. Dissertação de Mestrado, 2005.

- [CORSON 99]** CORSON, S., MACKER, J., “*Mobile Ad hoc Networking (MANET)*”, IETF RFC 2501, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>, Jan. 1999.
- [DAS 99]** DAS, S. K.; BHATTACHARYA, A. “*LeZi-Update: An Information-Theoretic Approach to Track Mobile Users in PCS Networks*”, 5th Annual ACM Int'l Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), p 1-12, Ago 1999.
- [DAS 00]** DAS R. S.; PERKINS, C. E.; ROYER, E. M. “*Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad-hoc networks.*” IEEE 2000.
- [DAS 02]** DAS, S. K.; et al. “*The Role of Prediction Algorithms in the MavHome Smart Home Arcitecture*”, *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, no. 6, p 77–84. Dec 2002.
- [DAS 03]** DAS, S., PERKINS, C. and ROYER, E., “*Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing*”, RFC 3561, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, 2003.
- [DIAS 05]** DIAS, K. L. “*Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS*”. Centro de Informática - UFPE. 2005.  
<http://www.pad.lsi.usp.br/ipt-wireless-2k3/outros-cursos/sbrc2001/MCcap04.pdf>  
Acesso em Novembro de 2006.
- [ELMALLAH 01]** ELMALLAH, E.; et al. “*Supporting QoS routing in mobile Ad hoc networks using probabilistic locality and load balancing.*” p 2901-2906 vol.5. 2001.
- [GIBBENS 00]** GIBBENS, R. J., et al. “*An Approach to Service Level Agreements for IP Networks with Differentiated Services.*” Royal Society. 2000.
- [HASS 99]** HASS, Z.J., PEARLMAN, R., “*Zone routing protocol for ad-hoc networks*”, Internet Draft, draft-ietf-manet-zrp-02.txt, work in progress, 1999.

**[HOSSAIN 01]** HOSSAIN, E.; BHARGAVA, V. A “*Centralized TDMA-Based Scheme for Fair Bandwidth Allocation in Wireless IP Networks.*” *IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS*, VOL. 19, NO. 11, november 2001.

**[JACQUET 05]** JACQUET, P.; et al. “*Optimized Link State Routing Protocol*” draft-ietf-manet-olsr-05.txt, INTERNET-DRAFT, IETF MANET Working Group, 2005.

**[JOA-NG 99]** JOA-NG, M. and I-TAI, L. “*A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks*”, *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol 17, nº 8, p. 1415-1425, 1999.

**[JOHNSON 96]** David B. Johnson and David A. Maltz. “*Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks*”. In *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 5, pages 153–181. Kluwer Academic Publishers, 1996.

**[JOHNSON 02]** JOHNSON D., MALTZ D., JETCHEVA J., “*The dynamic source routing protocol for mobile Ad hoc networks*”, *Internet Draft*, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, work in progress, 2002.

**[JUNIOR 01]** JÚNIOR, Simith T. D.; “*Análise de Tráfego de Dados em Redes Bluetooth*”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco Graduação em Ciência da Computação Centro de Informática; Junho de 2001.

**[KUNZ 02]** KUNZ, L.; et al. “*Quality of Service Routing in Ad-Hoc Networks Using OLSR.*” 2002.

**[LEE 98]** LEE, S.B., CAMPBELL, A.T. “*INSIGNIA: In-band Signaling Support for QoS in Mobile Ad hoc Networks.*” Berlin, 1998.

**[LEUNG 01]** LEUNG, V.; YU, F.. “*Mobility-Based Predictive Call Admission Control*

*and Bandwidth Reservation in Wireless Cellular Networks*”, IEEE INFOCOM, p 518 – 526, 2001.

**[LIMA 02]** LIMA, A.; WESTPAHLL, C. “*A Bandwidth Management Adaptive Mechanism for Ad hoc Wireless Network.*” SBRC 2002.

**[MANTILL 04]** MANTILL, C.; MARZO, J.. “*QoS Routing in Mobile Ad-hoc Networks using Agent Technology,*” Girona University, Espanha. 2004.

**[MARWAHA 02 A]** MARWAHA, S., THAM, C. K. and SRINIVASAN, D., “*Mobile Agents based Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks*”, *Global Telecommunications Conference. GLOBECOM '02. IEEE*, Vol. 1, p. 17-21, 2002.

**[MARWAHA 02 B]** MARWAHA, S., THAM, C. K. and SRINIVASAN, D., “*A Novel Routing Protocol using Mobile Agents and Reactive Route Discovery for Ad Hoc Wireless Networks*”, *Networks ICON, 10th IEEE International Conference*, p. 311 – 316, 2002.

**[MIGAS 03]** MIGAS, N., BUCHANAN, W., J., WILLIAM, McARTNETY, K. A., “*Mobile Agents for Routing, Topology Discovery, and Automatic Network Reconfiguration in AdHoc Networks*”, *Engineering of Computer-Based Systems, 10th IEEE International Conference and Workshop*, p. 200-206, 2003.

**[MICHAIL 03]** MICHAIL A, EPHREMIDES A, “*Energy-efficient routing for connection-oriented traffic in wireless ad-hoc networks*”, *ACM Computing Mobile Networks and Applications*, Vol. 8 , Issue 5, p. : 517 – 533, 2003.

**[MUNG 01]** MUNG, C.; et al. “*Resource Allocation for QoS Provisioning in Wireless Ad hoc Networks.*” IEEE 2001.

**[MURTHY 95]** MURTHY, S. J.J. Garcia-Luna-Aceves, “A routing protocol for packet radio networks”, in: Proceedings of the First Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Berkeley, CA, 1995, pp. 86–95, 1995.

**[NIKAEIN 00]** NIKAEIN, N., LABIOD, H. and BONNET, C., “DDR – Distributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks”, *Mobile and Ad Hoc IEEE Networking and Computing. MobiHOC 2000 First Annual Workshop*, p19- 27, 2000.

**[NIKAEIN 01]** NIKAEIN, N. and BONNET, C., “HARP- Hybrid Ad Hoc Routing Protocol”, In: *IST2001 – International Symposium on Telecommunications* <http://www.eurecom.fr/~nikaeinn/harp.ps>, 2001.

**[ONISHI 01]** ONISHI, R., YAMAGUCHI, S., MORINO, H. and SAITO, T., “The Multi-agent System for Dinamic Network Routing”, *Autonomous Decentralized Systems, 5<sup>th</sup> IEEE International Symposium*, p. 375-382, 2001.

**[PARK 97]** PARK, V.D., CORSON, M.S., “A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks”, in: Proceedings of INFOCOM, April, 1997.

**[PARK 99]** PARK, V.; CORSON, M., “Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA)”, Out 1999.

**[PAVLOU 03]** PAVLOU, G.; SIVAVAKEESAR, S.. “A Scalable QoS Routing Scheme Using A Mobility Prediction-Based Clustering Approach for Large-Scale Ad hoc Networks.” Jun 2003.

**[PERKINGS 94]** PERKINS, C.E. T.J. Watson, “Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers”, in: ACM SIGCOMM\_94 conference on Communications Architectures, London, UK, 1994.

**[PERKINS 99]** PERKINS, C. E.; ROYER, E. M. “Ad hoc on demand distance vector routing.” IEEE 1999.



**[PERKINS 01]** PERKINS, C. E., “*Ad hoc Networking*”, 1<sup>st</sup> ed. *United States of America, Addison-Wesley*, p. 11- 27, 2001.

**[PERKINGS 02]** PERKINGS, C. E.; et al. “*Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*”, 2002.

**[PINHEIRO 05]** PINHEIRO, J. M. S.

[http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo\\_redes\\_moveis\\_ad\\_hoc.php](http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_redes_moveis_ad_hoc.php).

Acesso em Setembro de 2006.

**[PISHING 01]** PISHING, M. “*Uma Aplicação Java-SNMP para Monitoração de Redes Sem Fio.*” UFSC. Dissertação de Mestrado, 2001.

**[RADHAKRISHNAN 99]** RADHAKRISHNAN. S., RAO, N.S.V, RACHERLA, G., SEKHARAN, C.N., BATSELL, S.G., “*DST—A routing protocol for Ad hoc networks using distributed spanning trees*”, in: IEEE Wireless Communications and Networking Conference, New Orleans, 1999.

**[RAJU 99]** RAJU J., J. Garcia-Luna-Aceves, “*A new approach to ondemand loop-free multipath routing*”, in: Proceedings of the 8th Annual IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), Boston, MA, October 1999, pp. 522–527, 1999.

**[ROY 00]** ROYCLHOUDHURY, R., BANDYOPADHYAY, S., K., P., “*A distributed mechanism for topology discovery in ad hoc wireless networks using mobile agents*”, *Mobile and Ad Hoc Networking and Computing, MobiHOC IEEE 2000 First Annual Workshop*, p. 145-146, (2000).

**[TANENBAUN 03]** TANENBAUN, Andrew S., “*Computer Networks*” – *Third Edition*, 2003.

**[QoS 02]** QoS Forum, Technology Working Group. <http://www.qosforum.com>.  
Acesso em Julho de 2006.

**[XIAO 00]** XIAO, H., et al. “*A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad-hoc Network.*” Tokyo, 2000.