

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MODELO DE MÉTRICA MULTIDIMENSIONAL PARA  
A MELHORIA DO ROTEAMENTO EM REDES AD HOC  
MÓVEIS**

**YURI JORGE SAMPAIO CARVALHO**

**ORIENTADOR: RAFAEL TIMÓTEO DE SOUSA JÚNIOR**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MODELO DE MÉTRICA MULTIDIMENSIONAL PARA A MELHORIA  
DO ROTEAMENTO EM REDES AD HOC**

**YURI GEORGE SAMPAIO CARVALHO**

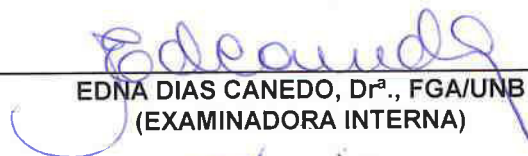
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:



---

**RAFAEL TIMÓTEO DE SOUSA JÚNIOR, Dr., ENE/UNB  
(ORIENTADOR)**



---

**EDNA DIAS CANEDO, Dr<sup>a</sup>., FGA/UNB  
(EXAMINADORA INTERNA)**



---

**ROBSON DE ALBUQUERQUE OLIVEIRA, Dr., ABIN  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

Brasília, 05 de abril de 2013.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MODELO DE MÉTRICA MULTIDIMENSIONAL PARA  
MELHORIA DO ROTEAMENTO EM REDES AD HOC  
MÓVEIS**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Rafael Timóteo de Sousa Júnior, Dr. (ENE-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof<sup>a</sup> Edna Dias Canedo, Dr. (UnB)  
(Examinadora Interna)**

---

**Prof. Robson de Oliveira Albuquerque, Dr. (ABIN)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 05 de Abril de 2013.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

CARVALHO, YURI JORGE SAMPAIO.

Modelo de Métrica Multidimensional para a Melhoria do Roteamento em Redes Ad Hoc Móveis [Distrito Federal] 2013. Publicação 526/2013 PPGEE, 84 pp, 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2013).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Redes ad hoc móveis

2. Roteamento

3. Protocolo DSR (Dynamic Source Routing)

4. Métrica

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, YURI J. S. (2013). Modelo de Métrica Multidimensional para a Melhoria do Roteamento em Redes Ad Hoc Móveis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação 526/2013 PPGEE, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Yuri Jorge Sampaio Carvalho.

TÍTULO: Modelo de Métrica Multidimensional para a Melhoria do Roteamento em Redes Ad Hoc Móveis.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Yuri Jorge Sampaio Carvalho

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que me apoiaram a concluir esta importante etapa de minha vida, sobretudo ao meu pai, que não se encontra mais neste mundo, a minha mãe e ao grande amigo Luiz Fernando Serique Junior.

## RESUMO

Este trabalho visa a propor uma métrica multidimensional que tem como propósito causar um melhor desempenho no roteamento de redes ad hoc móveis, na presença de nós egoístas e nós em modo sleep, e com mobilidade.

A melhora de desempenho diz respeito, principalmente, ao incremento da taxa de entrega de pacotes com sucesso. Para alcançar um melhor desempenho, foram observados e analisados os resultados prévios alcançados por outras métricas, o que resultou na descoberta de padrões e comportamentos, de modo a embasar à elaboração de uma nova métrica capaz de suprir as lacunas e imprecisões daquelas métricas existentes anteriormente.

A validação do trabalho foi feita por método de simulação, tendo o protocolo DSR sido modificado para implantar a métrica proposta e operar considerando tal métrica. Como resultado das simulações, constatou-se que métrica proposta por este trabalho teve, em alguns pontos, uma taxa de entrega de pacotes com sucesso 30% superior àquela encontrada para a métrica original do próprio protocolo DSR (Dynamic Source Routing) e cerca de 15% superior àquela encontrada para uma métrica proposta em trabalho precedente (Serique; Sousa, 2011).

## ABSTRACT

This work aims to propose a multidimensional metric that aims to improve routing performance in mobile ad hoc networks in the presence of selfish nodes, nodes in sleep mode.

In order to reach a better performance in the delivery rate of packets successfully, we observed the results achieved by other metrics in simulations, which resulted in the discovery of patterns and behaviors that led to the development of a metric that supplied the gaps and inaccuracies of those metrics.

This work's validation was performed using a simulation method, with the DSR (Dynamic Source Routing) protocol which was modified so as to implement and to operate with our proposed metric. The simulations results show that the metric proposed in this work presents, at some points, a successfully delivery rate of packets 30% higher than the original metric of the DSR protocol and about 15% higher than that of the metric proposed in a previous work by (Serique; Sousa, 2011).

## LISTA DE ACRÔNIMOS

<b>ABR</b>	<b>Associativity Based Routing</b>
<b>ACK</b>	<b>Aknowledgement frame</b>
<b>AMRIS</b>	<b>Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS</b>
<b>AMRoute</b>	<b>Ad-hoc Multicast Routing</b>
<b>AODV</b>	<b>Ad hoc On- demand Distance Vector routing</b>
<b>CBM</b>	<b>Content Based Multicast</b>
<b>CGSR</b>	<b>Clusterhead Gateway Switch Routing</b>
<b>CSMA/CA</b>	<b>Sense Multiple Access with Collision Avoidance</b>
<b>CTS</b>	<b>Clear To Send</b>
<b>DCF</b>	<b>Distributed Coordination Function</b>
<b>DIFS</b>	<b>Distributed InterFrame Space</b>
<b>DREAM</b>	<b>Distance Routing Effect Algorithm for Mobility</b>
<b>DSDV</b>	<b>Destination Sequence Distance Vector</b>
<b>DSR</b>	<b>Dynamic Source Routing</b>
<b>DSSS</b>	<b>Direct sequence spread spectrum</b>
<b>EIFS</b>	<b>Extended InterFrame Space</b>
<b>FHSS</b>	<b>Frequency hopping spread spectrum</b>
<b>FSR</b>	<b>Fisheye State Routing</b>
<b>HARP</b>	<b>Hybrid Ad hoc Routing Protocol</b>
<b>IBSS</b>	<b>Independent Basic Service</b>
<b>IM-BSS</b>	<b>Infrastructure Mode Basic Service Set</b>
<b>LAR</b>	<b>Location Aided Routing</b>
<b>NAV</b>	<b>Network Allocation Vector</b>
<b>PCF</b>	<b>Point Coordination Function</b>
<b>RABR</b>	<b>Route-Lifetime Assessment Based Routing</b>



<b>RREP</b>	<b>Route Reply</b>
<b>RREQ</b>	<b>Route Request</b>
<b>RTS</b>	<b>Request To Send</b>
<b>SIFS</b>	<b>Short InterFrame Space</b>
<b>SSR</b>	<b>Signal Stability based Routing</b>
<b>TSF</b>	<b>Timing Synchronization Function</b>
<b>WRP</b>	<b>Wireless Routing Protocol</b>
<b>ZHLS</b>	<b>Zone-based Hierarchical Link State routing</b>
<b>ZRP</b>	<b>Zone Routing Protocol</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Exemplo de Route Reply - (Liu; Kaiser, 2003).....	22
Figura 3.2 - Manutenção do link - retirada de (Liu; Kaiser, 2003) .....	24
Figura 3.3 - Caching de rotas unidirecional .....	26
Figura 3.4 - Caching de rotas unidirecional e bidirecional .....	27
Figura 3.5 - Caching de rotas bidirecional .....	28
Figura 3.6 - Um caso específico de Route Reply .....	29
Figura 3.7 - Gratuitous Route Reply .....	31
Figura 4.1 - Virtual carrier sensing - Figura retirada de(Basagni, 2004).....	38
Figura 4.2 - Problema do nó escondido - Figura retirada de (Basagni, 2004) .....	40
Figura 4.3 - Problema do nó exposto - Figura retirada de (Basagni, 2004) .....	41
Figura 5.1 - Chance de se entregar os pacotes com sucesso em função da intensidade do sinal - Figura retirada de (Punnoose; Nikitin, 1999).....	52
Figura 6.1 – Coleta de dados na rede .....	61
Figura 6.1 – Comparação da taxa de entrega entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica.....	64
Figura 6.2 - Ganho na taxa de entrega de pacotes.....	65
Figura 6.3 - Comparação entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica, variando-se apenas a velocidade .....	68
Figura 6.4 - Comparação entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica, variando-se apenas o número de nós em modo sleep.....	69
Figura 6.5 - Comparação entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica, variando-se apenas o número de nós egoístas .....	71
Figura 7.1 – Resultados da taxa de entrega com sucesso para a métrica proposta.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação dos protocolos de roteamento - Tabela retida de (Liu; Kaiser, 2003).....	9
Tabela 2.2 - Classificação dos protocolos de roteamento multicast – Tabela retirada de (Liu; Kaiser, 2003).....	16
Tabela 6.1 – Parâmetros da simulação para o teste da métrica SERIQUE & SOUSA .....	63
Tabela 6.2 - Atraso médio.....	68
Tabela 7.1 – Parâmetros da simulação para o teste da métrica YC.....	77

## SUMÁRIO

1.0. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	4
2.0. REDES AD HOC MÓVEIS.....	5
2.1. CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS.....	5
2.2. RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES NA UTILIZAÇÃO DAS REDES AD HOC MÓVEIS .....	6
2.3. CLASSIFICAÇÕES DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO UTILIZADOS NAS REDES AD HOC MÓVEIS.....	8
2.3.1. Classificação dos protocolos em proativos, reativos e híbridos .....	9
2.3.2. Classificação dos protocolos segundo o papel que cada nó exerce no roteamento .....	11
2.3.3. Classificação pela métrica.....	12
2.3.4. Classificação pela utilização de informações de topologia, localização ou informações ligadas ao conteúdo dos pacotes.....	13
2.3.5. A classificação dos protocolos de roteamento multicast.....	14
2.4. EXEMPLOS DE PROTOCOLOS UTILIZADOS NAS REDES AD HOC MÓVEIS.....	16
2.4.1. O protocolo Wireless Routing Protocol (WRP) .....	16
2.4.2. O protocolo Destination Sequence Distance Vector (DSDV).....	17
2.4.3. O protocolo Fisheye State Routing (FSR).....	18
2.4.4. Comparação entre os protocolos WRP, DSDV E FSR .....	18
3.0. O PROTOCOLO DYNAMIC SOURCE ROUTING (DSR).....	21
3.1 DSR ROUTE DISCOVERY .....	21
3.2. DSR ROUTE MAINTENANCE .....	23
3.3. CACHING OVERHEARD ROUTING INFORMATION .....	24
3.4. REPLYING THE ROUTE REQUEST .....	28
3.5. LIMITADOR DE SALTOS PARA O ROUTE REQUEST .....	30
3.6. RECUPERAÇÃO DE PACOTES .....	30

3.7. SELEÇÃO AUTOMÁTICA DE CAMINHOS MENORES .....	31
3.8. ESTRUTURA CONCEITUAL DO PROTOCOLO DSR .....	32
3.8.1. Route Cache .....	32
3.8.2. A tabela do Route Request .....	35
4.0. PADRÃO 802.11 .....	36
4.1. ESTRUTURAS E PROTOCOLOS DO PADRÃO 802.11 .....	37
4.2. PROBLEMAS COMUNS DO PADRÃO 802.11 AO SER UTILIZADO NAS REDES AD HOC .....	39
4.3. SUPORTE DO PADRÃO 802.11 A REDES AD HOC .....	41
5.0. MÉTRICAS.....	43
5.1. FORMAS DE OTIMIZAÇÃO DO ROTEAMENTO.....	44
5.2. ALGUMAS CLASSIFICAÇÕES DAS MÉTRICAS .....	46
5.3. FORMAS DE COLETA DE INFORMAÇÕES .....	47
5.4. OUTRAS CLASSIFICAÇÕES DAS MÉTRICAS DE ROTEAMENTO .....	49
5.4.1. Métricas baseadas na topologia.....	49
5.4.2. Métricas baseadas na intensidade do sinal .....	50
5.4.3. Métricas baseadas em provas ativas.....	52
5.4.4. Métricas baseadas na mobilidade .....	53
6.0. TESTE DA MÉTRICA SERIQUE & SOUSA .....	55
6.1. PREMISSAS DO TESTE .....	55
6.2. DIMENSÕES DA MÉTRICA SERIQUE & SOUSA .....	56
6.3. COLETA DE INFORMAÇÕES NA REDE.....	60
6.4. PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO .....	62
6.5. RESULTADOS DO TESTE DA MÉTRICA SERIQUE & SOUSA .....	63
7.0. PROPOSTA E AVALIAÇÃO DA MÉTRICA YC.....	73
8.0. CONCLUSÕES.....	79

## **1.0. INTRODUÇÃO**

As redes ad hoc móveis, em um passado não tão distante, tinham como únicos interessados as Forças Armadas de vários países, que viam nestas redes a solução para que houvesse comunicação quando não se tem uma infraestrutura pré-existente que a suporte. Entretanto, atualmente, estas redes se mostram como uma solução viável para vários desafios ligados às comunicações móveis. A independência de uma infraestrutura fixa e o compartilhamento de atividades e recursos, que são características das redes ad hoc móveis, fazem com que estas redes sejam uma alternativa para que haja uma desconcentração das atividades da rede, o que melhoraria o desempenho da rede por desobstruir os pontos mais críticos da rede, e para que se possa ampliar o alcance das redes sem que haja a necessidade de se fazerem grandes investimentos em infraestrutura.

Contudo, as redes ad hoc são bastante peculiares e o seu comportamento, que é extremamente dinâmico (Yau; Karim, 2004), traz consigo uma série de consequências que afetam diretamente a operação e a eficiência destas redes. Este ambiente dinâmico, cenário das redes ad hoc móveis, é extremamente propício à ocorrência de quebras de enlace, particionamentos de rede, retransmissões e perdas de pacotes (Gerla et al., 1998). Por isso, há que serem desenvolvidas soluções que minimizem os efeitos indesejados que são indissociáveis do conceito de redes ad hoc móveis, para que estas possam se tornar, de fato, uma solução para os desafios da comunicação móvel.

Neste contexto, tendo em vista as qualidades e limitações das redes ad hoc móveis, este trabalho traz uma sugestão de métrica que visa a melhorar o roteamento das redes ad hoc móveis. Uma métrica nada mais é que um conjunto de regras que levam à atribuição de valores às rotas, o que faz com que se tenha uma diferenciação de preferência por cada rota visando a um propósito específico de melhoria. Esta métrica tem o intuito de dar uma inteligência maior ao roteamento, capacitando o protocolo a entender e diferenciar os vários comportamentos que, por vezes, colocam em risco o funcionamento da rede.

A métrica proposta por este trabalho foi desenvolvida com base em vários resultados conseguidos por meio de simulações que proporcionaram a identificação de alguns padrões

no funcionamento das redes ad hoc e de algumas das fragilidades de métricas que tentaram solucionar efeitos indesejados que degradam o desempenho das redes.

O resultado foi uma métrica multidimensional que atua de forma a contornar os efeitos degradantes da mobilidade, da presença de nós sleep e da presença de nós egoístas na rede. Para tanto, utilizou-se de várias regras e fórmulas matemáticas que visam a identificar e evitar rotas que agregam uma certeza menor quanto à entrega bem-sucedida de pacotes. A eficiência da métrica proposta foi comprovada, o que agrega substância às conclusões que subsidiaram a elaboração desta.

### **1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

A carência por protocolos com métricas que levem em consideração a diversidade de fatores a que está exposta uma rede ad hoc móvel é a grande motivação deste trabalho. Esta carência é consequência do fato de vários protocolos utilizados nas redes ad hoc móveis terem sido desenvolvidos a partir de protocolos utilizados nas redes com fio. O que parecia ser uma boa solução, na verdade, não passou de um paliativo que em pouco tempo mostraria suas fragilidades. As redes com fio têm uma diferença das redes ad hoc móveis que é a principal responsável pela incompatibilidade na utilização das soluções entre estas, esta diferença é a mobilidade, que traz consigo várias consequências não previstas quando do desenvolvimento dos protocolos utilizados nas redes com fio.

A mobilidade faz com que a rede se torne extremamente dinâmica do ponto de vista topológico, o que faz com que seja muito complicado se manter, constantemente atualizada, a topologia da rede em todos nós que fazem parte dela. Portanto, torna-se complicado utilizarem-se os protocolos desenvolvidos para as redes com fio nas redes ad hoc móveis, tendo vista que estes mantêm a topologia da rede sempre atualizada em cada nó e as redes ad hoc móveis têm sua topologia alterada a todo instante. Isto faz com que tenha um tráfego muito grande de pacotes que têm como único intuito manter atualizada uma topologia que está em constante mudança.

Na tentativa de evitar este tráfego excessivo e desnecessário de pacotes que tentam manter atualizado algo que muda com muita frequência, o protocolo DSR, traz em sua estrutura diferenças significativas dos protocolos utilizados nas redes com fio, a principal delas é o fato deste protocolo atuar de forma reativa, o que faz com que este protocolo faça buscas de

novas rotas apenas quando desejar estabelecer alguma comunicação com qualquer um dos nós da rede.

Entretanto, apesar dos avanços do protocolo DSR, este tem uma métrica unidimensional que faz com o DSR tenha um entendimento pouco elaborado da estrutura da rede em que este está atuando e isto pode levá-lo a escolher rotas que não eram as mais confiáveis dentre as possíveis, o que poderá degradar o desempenho da rede. A métrica do protocolo DSR, portanto, não será capaz de contornar os efeitos degradantes da mobilidade, da presença de nós em modo sleep e da presença de nós egoístas, que são características que podem ser encontradas com facilidade em redes ad hoc móveis.

## **1.2. OBJETIVOS**

Deseja-se, neste estudo, propor melhorias ao protocolo DSR, que é um protocolo bem simples, porém eficiente no roteamento de redes ad hoc sem fio. A melhoria se deu por meio da introdução de novos parâmetros na ordenação das rotas, o que altera a forma como as rotas serão escolhidas, podendo resultar na escolha de rotas diferentes daquelas que seriam escolhidas pelo protocolo antes das alterações que este trabalho propõe. O que se pretende é que rotas mais confiáveis sejam escolhidas frente rotas menos confiáveis. Portanto, o que se tem é uma nova métrica, pois o próprio conceito de métrica consiste no estabelecimento de valores a cada rota para, então, posteriormente, se utilizar desses valores para que se tenha uma priorização de uma rota frente a outras. Estabelecer uma métrica nada mais é que estabelecer um custo para uma rota frente a algum objetivo de melhoria.

A melhoria que se pretende alcançar neste trabalho refere-se à taxa de entrega de pacotes com sucesso. Portanto, o que se deseja neste trabalho é aumentar a quantidade de pacotes entregues com sucesso em seus destinos por meio da utilização de uma nova métrica. Entretanto, a melhoria na taxa de entrega de pacotes com sucesso foi estabelecida com o cuidado de não se degradarem outros parâmetros de desempenho importantes para que se tenha um bom funcionamento da rede. Para tanto, utilizou-se de mecanismos de sobrecarga e prova passiva, que serão detalhados posteriormente, para que se interferisse o mínimo possível no desempenho da rede depois de se ter feito as alterações que este trabalho propõe.



### **1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

No Capítulo 2, é feita uma explicação sobre características da classe de redes escolhidas como área de estudo deste trabalho. Dessa forma, o Capítulo 2 trata de explicar características e estruturas de das redes ad hoc móveis.

O Capítulo 3 trata do protocolo DSR, que foi o protocolo que abrigou a métrica proposta por este trabalho. Devido a sua importância dentro deste trabalho, este protocolo é tratado de forma detalhada, para que se possa compreender um pouco melhor se funcionamento, assim como compreender como foi possível a inserção da métrica proposta nesse protocolo.

O Capítulo 4 trata do Padrão 802.11, que dá suporte ao funcionamento das redes ad hoc móveis. Por esse motivo, foi dada ênfase às estruturas desse Padrão.

O Capítulo 5 visa aprofundar a explicação sobre métricas e mostra exemplos e classificações das métricas, para que se possa classificar e entender a métrica proposta por este trabalho.

O Capítulo 6 testa a métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011), que foi o ponto de partida para a proposta feita por este trabalho. A partir dos resultados obtidos nas simulações feitas com esta métrica, é que se constitui a proposta que se encontra neste trabalho.

No Capítulo 7 encontra-se a descrição e a avaliação da métrica proposta denominada métrica YC.

No Capítulo 8 encontra-se a conclusão do trabalho.

## **2.0. REDES AD HOC MÓVEIS**

De forma resumida, pode-se dizer que redes ad hoc móveis são sistemas formados por nós autônomos que estão conectados por meio de uma rede sem fio sem que haja a presença de infraestrutura. O fato de não haver infraestrutura faz com que a comunicação ocorra por meio dos próprios nós e a esta forma de comunicação se dá o nome de multihop. O nome multihop se deve ao fato de que a comunicação se dá por meio de vários saltos entre os diversos nós da rede. Portanto, para que se possa estabelecer uma comunicação entre dois nós que não estão ao alcance direto um do outro terá que se estabelecer uma rota composta por nós da rede que farão com que o pacote que saiu da origem chegue até o destino por meio de saltos entre os nós da rede.

A ausência infraestrutura aliada à presença de mobilidade faz com que as redes ad hoc sejam extremamente dinâmicas e vulneráveis. O dinamismo impede que o comportamento da rede se torne totalmente previsível e assim se possa tentar resolver certos casos que afetam a comunicação de forma simples e padronizada. Já a ausência de infraestrutura faz com que o funcionamento da rede seja muito dependente da colaboração, o que torna estas redes muito vulneráveis, pois todos os nós terão uma importância muito grande no roteamento e na entrega de pacotes tendo em vista que esta atividade é desempenhada de forma compartilhada. A presença desses dois fatos faz do roteamento nas redes ad hoc móveis uma atividade muito complicada.

### **2.1. CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS**

As redes ad hoc móveis têm características e vantagens semelhantes as demais redes móveis, porém somadas a estas estão outras vantagens e características específicas das redes ad hoc. Dentro das características comuns às redes móveis estão a comunicação sem fio e sua consequência direta, que é a possibilidade de haver mobilidade até mesmo durante a comunicação entre dois nós. A mobilidade, que é então vantagem da comunicação sem fio, torna possível que os nós da rede entrem no sistema e saiam dele conforme haja necessidade, isto torna a rede ainda mais dinâmica, não só no sentido de movimento, como também no sentido estrutural, posto que os nós são as únicas estruturas presentes nas redes ad hoc e se eles mudam toda a estrutura muda também.

Uma característica que diferencia as redes ad hoc das demais redes móveis é fato de que as redes ad hoc não dependem de qualquer infraestrutura para que haja a comunicação entre

os nós, isto traz uma série de vantagens, que vão desde a redução de custos até uma maior autonomia que cada nó passa a ter. Porém por não haver infraestrutura, é necessário que se faça o roteamento em cada nó e que cada nó se utilize dos demais para alcançar o destino desejado, o que faz com que o sistema atue de forma multihop. A ausência de infraestrutura é, portanto, uma vantagem, porém essa vantagem necessita de uma nova forma de se fazer o roteamento para que se torne possível a comunicação. O roteamento multihop passa a ser, dessa forma, estrutura indissociável do conceito de redes ad hoc móveis, posto que essas carregam consigo a ausência de infraestrutura como princípio básico.

## **2.2. RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES NA UTILIZAÇÃO DAS REDES AD HOC MÓVEIS**

Como exposto anteriormente, as redes ad hoc móveis guardam semelhanças e diferenças com as redes sem fio em geral, desta forma haverá limitações que já eram conhecidas das redes sem fio comuns, mas outras são novas à medida que novas também são certas características das redes ad hoc móveis. A ausência de infraestrutura aliada à mobilidade e ao roteamento multihop é umas das características que trazem novas e importantes limitações que devem ser levadas em consideração quando se está tratando de redes ad hoc móveis. Algumas questões importantes, segundo (Basagni, 2004), serão tratadas com maior detalhe neste momento.

Uma primeira questão que deve ser levada em consideração é que a falta de infraestrutura tem várias consequências. Uma delas é que a falta de estrutura fixa traz novos desafios do ponto de vista sistêmico, há que se resolverem algumas questões relativas ao gerenciamento e detecção dentro da rede, pois estas funções passam a ser distribuída entre os próprios nós da rede.

Outra questão relevante, segundo (Toh, 2002), é a rapidez em que ocorrem mudanças na topologia das redes ad hoc móveis. Os nós se deslocam de forma arbitrária dentro da rede, o que faz com que sua topologia mude com frequência de forma quase que imprevisível e isto traz novas questões a serem levadas em consideração no roteamento, pois o protocolo terá de ser tão dinâmico quanto a rede exige que este o seja.

Uma questão comum a todas as redes sem fio é o fato de que sempre irá existir uma limitação quando se fala em raio de transmissão. Essa limitação origina questões como nós

expostos e nós escondidos, que somadas a outros fatores inerentes às redes sem fio, fazem com que estas tenham uma perda de pacotes muito maior do que outras redes. Cabe ressaltar que a existência de nós expostos e escondidos não ocorre simultaneamente, porém ambas são consequência da limitação do raio de transmissão de cada nó e ambas degradam o rendimento da rede.

Quando se fala em redes sem fio, uma informação que vem se tornando cada vez menos verdadeira é que estas necessariamente têm uma banda limitada e pequena. Hoje, há redes com uma capacidade de tráfego muito alta, entretanto essa não é uma realidade generalizada e, portanto, capacidade de banda ainda é uma limitação existente na maioria das redes sem fio e com as redes ad hoc móveis não é diferente. Por isso, há que se saber, quando se estiver lidando com redes sem fio, que o congestionamento da rede é uma situação que deve ser levada em consideração pelo fato de sua ocorrência ser comum.

Outra limitação importante das redes ad hoc móveis é a energia. Devido às pequenas baterias que acompanham os pequenos dispositivos que fazem parte das redes ad hoc móveis, tem-se que a energia se torna um fator extremamente limitante quando se fala nestas redes, ressalta-se que nas redes ad hoc móveis há um maior gasto de energia, pois além das funções comuns que um nó realiza nas redes, nas redes ad hoc há um acúmulo de funções pelo fato de não haver infraestrutura. Isto faz com que se tenha um aumento do gasto de energia, o que acaba impactando na questão da limitação do raio de transmissão, pois maior será este quanto maior for a energia disponível.

Novamente a ausência de infraestrutura ganha atenção, pois, apesar do fato de o roteamento ser multihop, o que supre a ausência de infraestrutura, não se pode dizer que roteamento multihop é tão confiável quanto aquele feito com o auxílio de alguma infraestrutura, pois o roteamento compartilhado faz com que a entrega de pacotes seja dependente da correta realização das funções por parte de cada membro da rede. Por haver um compartilhamento de funções na rede, como dito anteriormente, um comportamento não esperado por parte de algum nó, pode ter severas consequências e impactar na entrega de pacotes de vários outros nós que estão ligados a este que se comportou de forma não prevista e que, como todo nó da rede, desempenha papéis importantes no que se refere ao roteamento e a entrega de pacotes. Nota-se, então, que esta interdependência dos nós é

uma característica que torna a rede ad hoc móvel muito vulnerável e extremamente sensível a desvios de comportamento e quebras de enlace.

Uma característica das redes ad hoc móveis é que estas podem ser abertas e, por isso, há sempre a entrada e saída de nós fazendo com que o tamanho da rede possa variar muito em um curto intervalo de tempo. Por isso, quando se está tratando de redes abertas, deve-se levar em consideração que estas podem atingir grandes proporções e que isto traz importantes questões a serem gerenciadas. Uma grande rede necessita de uma grande capacidade de transmissão e recebimento de pacotes e ao mesmo tempo necessita de uma grande capacidade de gerenciamento de todos estes fatores.

### **2.3. CLASSIFICAÇÕES DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO UTILIZADOS NAS REDES AD HOC MÓVEIS**

A compreensão do funcionamento dos protocolos de roteamento é de suma importância para que se possa tentar de alguma forma melhorá-los ou até mesmo para apenas utilizá-los. Portanto, no estudo das redes ad hoc é necessário que se compreenda a estruturas dos protocolos de roteamento como requisito básico para que se possa alcançar bons resultados.

Para facilitar o entendimento dos protocolos e seu funcionamento, estes foram classificados em categorias que os aproximam ou afastam dependendo do critério que foi utilizado para se fazer a classificação. O critério nada mais é que uma característica capaz de diferenciar de forma concludente os diversos protocolos existentes. A seguir serão tratados alguns dos principais critérios de classificação dos protocolos para que se possa compreender a motivação da escolha do protocolo aplicado neste estudo.

**Tabela 2.1 - Classificação dos protocolos de roteamento - Tabela retida de (Liu; Kaiser, 2003)**

<b>Uniformes</b>	<b>Proativos</b>	Wireless Routing Protocol (WRP)	
		Destination Sequence Distance Vector (DSDV)	
		Fisheye State Routing (FSR)	
		Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)	<b>Localização</b>
		Ad Hoc Multicast Routing (AMRoute)	<b>Multicast</b>
		Ad Hoc Multicast Routing utilizing Increasing id numberS (AMRIS)	<b>Multicast</b>
	<b>Reativos</b>	Dynamic Source Routing (DSR)	
		Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)	
		Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)	
		Location Aided Routing (LAR)	<b>Localização</b>
		Associativity Based Routing (ABR)	<b>Link State</b>
		Signal Stability-based Adaptive Routing (SSR)	<b>Link State</b>
		On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP)	<b>Multicast</b>
		Multicast Ad Hoc On-Demand Distance Vector (MAODV)	<b>Multicast</b>
<b>Não uniformes</b>	<b>Por Zona</b>	Zone Routing Protocol (ZRP)	<b>Híbrido</b>
		Hybrid Ad Hoc Routing Protocol (HARP)	<b>Híbrido</b>
		Zone-based Hierarchical Link State (ZHLS)	<b>Híbrido</b>
		Grid Location Service (GLS)	<b>Localização</b>
	<b>Cluster</b>	Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR)	
		Hierarchical State Routing (HSR)	
		Cluster Based Routing Protocol (CBRP)	
	<b>Nó Central</b>	Landmark Ad Hoc Routing (LANMAR)	<b>Proativo</b>
		Core-Extraction Distributed Ad Hoc Routing (CEDAR)	<b>Reativo</b>
		Optimized Link State Routing (OLSR)	<b>Proativo</b>

### **2.3.1. Classificação dos protocolos em proativos, reativos e híbridos**

Uma das mais importantes classificações, segundo (Liu; Kaiser, 2003), é classificação dos protocolos levando-se em consideração a forma como estes adquirem informações de roteamento. Segundo esta classificação os protocolos podem ser divididos em reativos, proativos e híbridos.

Um protocolo será considerado proativo quando a descoberta de rotas é feita de forma contínua e a qualquer momento. Esta descoberta de rotas poderá envolver todos os nós ao

alcance do nó de origem e, como dito, não será feita apenas no momento em que se deseja estabelecer comunicação com alguns dos nós, mas a qualquer momento.

Os protocolos proativos devem sempre manter atualizada toda a topologia da rede de forma que se houver alguma mudança, esta deverá ser atualizada e propagada por toda a rede. É por essa e por algumas outras características que se percebe que os protocolos proativos derivam de protocolos utilizados em redes com fio e, por isso, guardam grandes semelhanças com estes. Entretanto, algumas mudanças se tornaram necessárias, pois as redes ad hoc móveis têm uma série de peculiaridades que as diferenciam das redes com fio tradicionais, sobretudo no que diz respeito à mobilidade e ao caráter extremamente dinâmico destas redes.

Para os protocolos proativos não é necessário que haja tráfego na rede para que, então, se faça a descoberta de rotas. As rotas são mantidas sempre atualizadas independentemente do tráfego, o que pode gerar uma sobrecarga da rede tendo o vista que as redes ad hoc são extremamente dinâmicas e a todo momento ocorrem mudanças na topologia. Em uma rede com baixo tráfego na qual todas as rotas já são conhecidas pelos nós, não haveria necessidade de que houvesse qualquer tráfego com o objetivo de descobrir novas rotas, porém, em uma rede que utiliza um protocolo proativo, haverá um constante tráfego para atualização das rotas o que seria muito desvantajoso se comparado com a atuação de um protocolo reativo aplicado a esta mesma situação. São exemplos de protocolos proativos os protocolos Wireless Routing Protocol (WRP) descrito em (Murthy; J.J., 1996), o Destination Sequence Distance Vector (DSDV) elaborado por (Perkins; Bhagwat, 1994) e o Fisheye State Routing (FSR).

Os protocolos reativos são também chamados de protocolos "on-demand", pois a descoberta de rotas só é realizada quando for necessário se estabelecer uma comunicação entre nós da rede. Quando se desejar descobrir uma rota será iniciado o route discovery que será encerrado no momento em que se encontrar uma rota ou quando nenhuma rota foi encontrada. São exemplos de protocolos reativos os protocolos Dynamic Source Routing (DSR) e Ad hoc On- demand Distance Vector routing (AODV).

Portanto, os protocolos reativos apesar de se mostrarem uma melhor opção frente à sobrecarga gerada pelas constantes descobertas de rotas realizadas pelos protocolos

proativos, estes podem levar um tempo maior na descoberta de rotas que só será feita no momento que se fizer necessário conhecer uma rota para um dado destino.

Tentando aproveitar as qualidades de ambos os protocolos, surgem os protocolos híbridos, que se utilizam da arquitetura hierárquica para, em diferentes níveis, fazer a utilização das diferentes formas de descoberta de rotas. São exemplos de protocolos híbridos os protocolos Zone Routing Protocol (ZRP) (Haas, 1997) Zone-based Hierarchical Link State routing (ZHLS) (Joa-ng; I-Tai-lu, 1999) e o Hybrid Ad hoc Routing Protocol (HARP), (Navid; Bonnet; Nikaein, 2001).

### **2.3.2. Classificação dos protocolos segundo o papel que cada nó exerce no roteamento**

Outro critério de classificação muito conhecido, também citado por (Liu; Kaiser, 2003), é o que classifica os protocolos de acordo com o papel que cada nó desempenha dentro da rede. Um protocolo que atribui a mesma função a todos os nós da rede é chamado de protocolo de roteamento uniforme. São exemplos de protocolos de roteamento uniforme os protocolos Wireless Routing Protocol (WRP), Dynamic Source Routing (DSR), Ad hoc On-demand Distance Vector routing (AODV) e Destination Sequence Distance Vector (DSDV).

Em um protocolo não uniforme para redes ad hoc móveis, alguns nós desempenham funções diferenciadas na rede. Em certos casos os protocolos não uniformes se utilizam das estruturas hierárquicas da rede para organizar melhor a rede, porém há protocolos não uniformes que não se utilizam de tais estruturas, o que acaba gerando diferenciações dentro da própria classificação dos protocolos não uniformes. Dessa forma, os protocolos não uniformes se dividem de acordo com a organização dos nós e a maneira como estes desempenham suas funções dentro da rede. Essa divisão citada faz surgir dois grupos diferentes de protocolos não uniformes, o grupo dos protocolos zone based hierarchical routing, o grupo dos protocolos cluster-based hierarchical routing e o grupo dos protocolos core-node based routing.

Os protocolos do grupo zone based hierarchical routing separam os nós em zonas utilizando-se de informações topológicas. Com isso, diminui-se a sobrecarga, pois diminui-se a troca de informações de roteamento na rede à medida que o protocolo irá atuar de forma proativa apenas dentro de cada uma das zonas. Manter as rotas atualizadas dentro da mesma zona exige uma quantidade muito menor de trocas de informações de



roteamento e ao mesmo tempo faz com que essas trocas não trafeguem por áreas nas quais estas não terão grande utilidade. A descoberta de rotas será feita de forma reativa entre as zonas, pois para que se estabeleça uma comunicação é imperativo que se saiba mais daqueles nós que estão próximos pelo fato de que estes quando não são o destino da comunicação, necessariamente são parte da rota que leva até ele. Por vezes, em alguns protocolos, é escolhido um nó para desempenhar a função de manter atualizadas as rotas e outro nó pode ser escolhido para desempenhar a função de gateway. São exemplos de protocolos não uniformes zone based hierarchical routing os protocolos Zone Routing Protocol (ZRP) e Zone-based Hierarchical Link State routing (ZHLS).

Os protocolos do grupo cluster-based hierarchical routing dividem os nós em clusters e elegem alguns nós para serem clusterheads. Os clusterheads ficarão responsáveis pelas funções de roteamento da rede. Um exemplo de um protocolo do grupo cluster-based hierarchical routing é o protocolo Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR), (Chiang et al., 1997). Dentro do grupo de protocolos cluster-based hierarchical routing existem protocolos que podem atuar em vários níveis formando um cluster com mais de um nível, um exemplo de protocolo que atua dessa forma é o protocolo Hierarchical State Routing (HSR), (Iwata et al., 1999).

Tem-se, portanto, que os protocolos não uniformes, para realizarem o roteamento e dar razão ao próprio nome do grupo, elegem alguns nós para desempenharem algumas funções de forma centralizada com objetivo de tornar o roteamento uma atividade pouco impactante no tráfego da rede. Todo esse esforço para minimizar o impacto da atividade de descoberta e manutenção de rotas é pelo fato destas serem apenas o meio para se chegar a uma rota que possibilite a comunicação entre dois nós, por isso, é importante que o meio para se chegar à comunicação não seja o próprio obstáculo para se chegar até esta.

### **2.3.3. Classificação pela métrica**

A utilização de métricas de roteamento, segundo (Liu; Kaiser, 2003), pode ser um critério para classificação dos protocolos de roteamento. A maioria dos protocolos utiliza como critério para escolha de uma rota o número de saltos até o destino. Olhando de forma superficial, este critério parece uma boa opção, pois tendo em vista que todos os nós têm a mesma chance de não obter sucesso na comunicação, é prudente que se escolha a rota com o menor número de nós para que se minimize esta chance. Porém, deve-se levar em

consideração, que em situações reais, a chance de não se obter sucesso na comunicação não é a mesma para todos os nós, pois há diversos fatores que podem impactar apenas sobre alguns nós da rede e não serem uma ameaça a outro grupo.

Em resposta a esta lacuna no roteamento, surgem várias proposta de métricas que tentam fazer com que o protocolo leve em consideração, para escolha da rota, outros critérios que não só o número de saltos. Há várias métricas que se utilizam de vários critérios para a escolha das melhores rotas que levam a um destino, algumas delas, por exemplo, levam em consideração a força do sinal como critério para escolha de rotas, como é o caso da métrica dos protocolos Associativity Based Routing (ABR) (Toh, 1997) e Signal Stability based Routing (SSR) (Dube et al, 1997). Este trabalho propõe uma métrica que é composta por vários critérios diferentes, o que faz com que a métrica seja considerada uma métrica multidimensional. Mais à frente as métricas serão tratadas com maior detalhe.

#### **2.3.4. Classificação pela utilização de informações de topologia, localização ou informações ligadas ao conteúdo dos pacotes**

Segundo (Liu; Kaiser, 2003), há protocolos de roteamento para redes ad hoc móveis que coletam informações topológicas para que estas auxiliem na escolha das rotas. Nesta categoria, há importantes protocolos como os protocolos DSR, AODV e DSDV. A utilização de informações topológicas no roteamento não é exclusividade dos protocolos citados, pois a utilização destas é muito importante para sucesso da comunicação em redes ad hoc móveis, por isso, quase todos os protocolos utilizam-se destas informações, principalmente daquela que diz respeito ao número de saltos.

Graças à possibilidade que se tem de conhecer a localização dos nós, há protocolos que, segundo (Liu; Kaiser, 2003), levam em consideração a localização dos nós como informação relevante para se fazer a escolha de rotas. Estes protocolos fazem uma relação entre a posição do nó de origem e a posição do nó de destino para que, juntamente com informações relativas à velocidade, possa se fazer a melhor escolha de rota, não só para o envio de pacotes, como também para enviar informações de roteamento. Dentro do grupo dos protocolos que se utilizam de informações de localização, pode-se fazer uma nova classificação separando-se os protocolos que se utilizam apenas de informações de localização daqueles que, além das informações de localização, se utilizam de outras informações para que se faça a escolha da melhor rota. São exemplos de protocolos que se

utilizam de informações de localização os protocolos Location Aided Routing (LAR) (Ko; Vaidya, 1998) e Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM) (Basagni et al., 1998).

Há outros protocolos que levam em consideração, para que seja feita a escolha da rota, o conteúdo dos pacotes. Um exemplo de protocolo que leva em consideração para escolha de rotas o conteúdo dos pacotes é o protocolo Content Based Multicast (CBM). Apesar de não ser muito comum a utilização destes protocolos, pois não levam em consideração outras informações importantes da rede, em certos casos eles podem ser bem úteis.

É importante notar-se, a partir da tabela 2.1, que algumas classificações são mais abrangentes que outras e o fato de um protocolo ser classificado segundo certo critério não impede que este faça parte de outra classificação mais abrangente ou menos abrangente dependendo do caso. Um exemplo é o protocolo Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM), que se encaixa como uniforme, proativo e que leva em consideração a localização de cada nó como informação relevante para o roteamento.

### **2.3.5. A classificação dos protocolos de roteamento multicast**

A maioria das classificações feitas para os protocolos unicast são feitas, também, para os protocolos multicast. Um exemplo é que se pode classificar os protocolos de roteamento multicast em protocolos reativos e proativos, assim como é feito para os protocolos unicast. Os protocolos Ad-hoc Multicast Routing (AMRoute) (Liu; Talpade; McAuley; Bommaiah) e Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS (AMRIS) (Wu; Tay, 1999) são exemplos de protocolos multicast proativos e os protocolos On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP) (Lee; Gerla; Chiang, 1999) e o protocolo Multicast Ad hoc On-demand Distance Vector (MAODV) (Royer; E., 2000) são exemplos de protocolos multicast reativos.

Há, entretanto, segundo (Liu; Kaiser, 2003), uma classificação de protocolos multicast que se aplica somente a estes. Esta classificação leva em consideração a forma como são feitas a descoberta e armazenamento de rotas. De acordo com esta classificação, os protocolos podem ser classificados em tree based multicast routing, mesh based multicast routing, core based multicast routing e group forwarding based multicast.

Os protocolos tree based multicast routing podem ser ainda divididos em mais dois grupos diferentes, são eles o source-rooted e core-rooted. Esta segunda classificação leva em consideração a forma como são construídas as raízes das árvores. O grupo source-rooted tem como característica o fato de considerar os nós de origem como sendo a raiz da árvore, com isso estes nós serão responsáveis por uma grande parte das atividades de roteamento da rede. Tendo em vista a importância que foi dada ao nó de origem dentro do roteamento da rede, torna-se necessário que este nó conheça a topologia da rede e que conheça o endereço de todos os nós de destino, entretanto para que o nó de origem conheça o endereço de todos os nós de destino haverá uma grande quantidade de pacotes de roteamento, o que poderá gerar sobrecarga no caso redes muito dinâmicas. O protocolo AMRoute é um exemplo de protocolo source-rooted tree multicast routing.

No grupo core-rooted há a criação cores, que são nós responsáveis por grande parte das atividades de roteamento da rede. Assim como no source-rooted, no core-rooted também há a criação de raízes, porém estas terão uma estrutura diferente, a raiz começará a partir de outros nós que não os nós de origem, estes nós serão os nós core. Como dito, os nós core ficarão responsáveis por desempenhar funções específicas dentro da rede, entretanto, dependendo do protocolo, podem-se encontrar diferentes funções que serão realizadas pelos nós core. Como exemplo, pode-se citar os protocolos CTB e AMRIS, que exigem que o nó core faça parte da rota, porém já no protocolo CAMP, os nós core, não necessariamente, fazem parte da rota.

Nos protocolos mesh based multicast routing os pacotes são distribuídos entre os nós que compõe uma estrutura formada pela interligação de vários nós. A estrutura dos protocolos classificados como mesh based multicast routing é mais robusta do que aquela que caracteriza os protocolos do grupo tree based multicast routing. Isto se deve ao fato e que os protocolos mesh based multicast routing oferecem alternativas de rotas quando ocorrem quebras de enlace, o que não ocorre no caso dos protocolos do grupo tree based multicast routing. Entretanto, o custo para se manter uma estrutura mesh é maior do que o custo para se manter uma árvore. São exemplos de protocolos mesh based multicast routing os protocolos ODMRP e Core-Assisted Mesh Protocol (CAMP).

Por fim, tratar-se-á dos protocolos classificados como group forwarding based multicast. Os protocolos que se encaixam nesta classificação têm como característica o fato destes

escolherem dinamicamente alguns nós para a realização de funções específicas dentro da rede. A função dos nós escolhidos como forwarding nodes será a de distribuir os pacotes de forma multicast. Dessa forma, pode-se enviar pacotes por várias rotas e fazer com cheguem mais de um pacote no destino. O protocolo ODMRP é um protocolo classificado como group forwarding based multicast routing.

A tabela a seguir mostra exemplos de protocolos se encaixam em cada um dos grupos citados anteriormente.

**Tabela 2.2 - Classificação dos protocolos de roteamento multicast – Tabela retirada de (Liu; Kaiser, 2003)**

	Tree based	Mesh based	Core based	Group forwarding based
Ad-hoc Multicast Routing (AMRoute)	X		X	
Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS (AMRIS)	X			
On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP)		X		X
Core-Assisted Mesh Protocol (CAMP)		X	X	
Multicast Ad hoc On-demand Distance Vector (MAODV)	X			

## 2.4. EXEMPLOS DE PROTOCOLOS UTILIZADOS NAS REDES AD HOC MÓVEIS

### 2.4.1. O protocolo Wireless Routing Protocol (WRP)

O protocolo de roteamento proativo Wireless Routing Protocol (WRP) é um dos principais protocolos de roteamento utilizados nas redes ad hoc. Este protocolo aperfeiçoou o Bellman-Ford Distance Vector, introduzindo alguns mecanismos para fazer a adaptação aos cenários objetos das redes ad hoc móveis.

Para realizar o roteamento o protocolo WRP se utiliza de uma tabela de distâncias, de uma tabela de roteamento, de uma tabela com o link-cost e da Message Retransmission List (MRL). A tabela de roteamento contém as informações de distância ao nó de destino, de quem é o nó anterior e o seguinte e de uma tag que identifica o estado. Ter informação do nó que o antecede e do nó seguinte é uma forma de se evitar routing loops, que era um dos principais erros do Bellman-Ford Distance Vector. Cada nó cria um campo para cada

vizinho seu na tabela link-cost, o campo contém o custo para se conecta ao vizinho e o número de timeouts desde que houve o recebimento do último pacote com sucesso.

Os nós vizinhos desempenham um importante papel nas redes que se utilizam do protocolo WRP, fazendo com que haja uma uniformidade nas informações que cada nó armazena. Para tanto, os nós vizinhos trocam tabelas utilizando mensagens de atualização. Estas mensagens de atualização podem ser enviadas de forma periódica ou podem ser enviadas quando ocorrer alguma mudança na topologia da rede. O MRL controla quais nós vizinhos não confirmaram o recebimento da informação de atualização.

Caso não haja nenhuma mudança na tabela de roteamento no momento em que for feita a atualização, o nó enviará uma mensagem de Hello apenas para confirmar que ainda há conectividade entre ele e seus vizinhos. Entretanto, quando houve mudanças na tabela de roteamento, cada nó que a receber irá atualizar sua distância e irá buscar rotas melhores que aquelas que ele já conhece.

Como visto, o protocolo WRP se utiliza de diversas tabelas com o intuito de manter as informações da rede sempre atualizadas, entretanto, esse esforço que o protocolo faz para manter os nós informados gera um grande número de tabelas, o que exige uma grande capacidade de armazenamento e outros elementos computacionais. Quando se fala que o protocolo WRP necessita de elevados níveis de recursos computacionais, deve-se levar em consideração que este protocolo é um protocolo proativo e, por isso, essa necessidade se torna ainda mais relevante, o que inviabiliza que o protocolo WRP seja utilizado em redes muito grandes.

#### **2.4.2. O protocolo Destination Sequence Distance Vector (DSDV)**

Da mesma forma que o protocolo WRP tem suas origens no Bellman-Ford Distance Vector, o protocolo Destination Sequence Distance Vector (DSDV) também tem suas origens nele. Entretanto, na tentativa de se adaptar o Bellman-Ford Distance Vector os dois protocolos tomaram caminhos um pouco diferentes.

Como dito, o protocolo DSDV tem semelhanças com o protocolo WRP e, por isso, o protocolo DSDV também faz uso das tabelas, mas os campos são um pouco diferentes. Há um campo que armazena informações referentes ao próximo salto, outro armazena o custo da rota até o destino e um terceiro campo que armazena uma sequência de números criados

pelo nó de destino. Estas sequências são criadas para diferenciar rotas mais novas das mais antigas e assim se evitar a ocorrência de route loops.

O protocolo DSDV também faz atualizações de suas tabelas de forma periódica ou quando da ocorrência de algo relevante. Entretanto, diferentemente do protocolo WRP, estas atualizações podem ocorrer de duas formas diferentes. Há uma forma de atualização em que toda a tabela de roteamento é enviada como atualização e outro que somente a parte que mudou da tabela de roteamento será enviada, dessa forma pode-se evitar que ocorra uma sobrecarga da rede devido ao tamanho dos pacotes.

### **2.4.3. O protocolo Fisheye State Routing (FSR)**

O protocolo Fisheye State Routing (FSR) é um protocolo proativo que se difere dos demais, pelo fato de reduzir significativamente a sobrecarga criada para se manter atualizada as informações topológicas da rede. Como o próprio já indica, este protocolo utiliza uma função semelhante àquela que deu origem ao nome do protocolo. A ideia é fazer com que se mantenham informações detalhadas sobre a distância e qualidade das rotas somente dos nós vizinhos e que com o aumento da distância a qualidade das informações vá diminuindo.

O nome do protocolo faz referência ao Link State, bastante utilizado nas redes com fio, porém, diferente do que se pode pensar, o FSR não faz com que cada nó envie informações topológicas para todos os outros nós, mas faz com que os nós enviem estas informações somente para seus vizinhos. Entretanto, fato de as informações topológicas não serem enviadas para todos os nós não impede que todos os nós da rede tenham informações de qualidade sobre a topologia da rede. O grande diferencial é, portanto, o fato de o protocolo FSR propagar com maior frequência as atualizações dentro de grupos menores.

Com todas essas características, pode-se chegar a conclusão que o protocolo FSR suporta melhor o roteamento de grandes redes, pois este não tenta manter igualmente atualizados todos os nós da rede, este mantém informações mais detalhadas e atualizadas somente entre nós mais próximos, o que pode reduzir a sobrecarga sem que se perca a qualidade.

### **2.4.4. Comparação entre os protocolos WRP, DSDV E FSR**

Todos os protocolos proativos devem levar em consideração dois fatores importantíssimos, para que se possa garantir um bom funcionamento da rede, a sobrecarga e route loops

(Liu; Kaiser, 2003). Esses fatores são considerados importantes devido ao fato que estes são uma consequência natural do modo de funcionamento dos protocolos proativos. Nas redes com fio para que se tenha a topologia sempre atualizada, são feitas atualizações periódicas, pois a chance de ocorrerem mudanças na topologia é muito pequena. Entretanto, nas redes ad hoc móveis não é suficiente que se tenham apenas atualizações periódicas, pois a frequência com que há mudanças na topologia da rede é muito maior do que aquela que é observada nas redes com fio. Por este motivo, surgem as atualizações que não ocorrem de forma periódica, mas que podem ocorrer a qualquer momento desde que haja alguma mudança na topologia da rede. Portanto, um protocolo proativo terá dar muita atenção a forma com que ele próprio evitará que suas necessárias atualizações não sobrecarreguem o tráfego da rede e, ainda, evitar que ocorram route loops.

Apesar dos três protocolos em análise serem protocolos proativos, o fato deles fazerem parte desta mesma classificação não faz com estes tenham todas as características iguais. É certo que há algumas características em comum, pois se assim não fosse não haveria razão para fazerem parte de um mesmo grupo, entretanto, a forma com que cada um dos protocolos lida com cada um dos fatores citados anteriormente é um pouco diferente.

Os protocolos WRP e DSDV têm uma forma semelhante de realizarem suas atualizações, estas ocorrem toda vez que alguma mudança ocorre na rede. Já o protocolo FSR realiza as atualizações em períodos diferentes dependendo dos nós e a qualidade da informação vai diminuindo de acordo com a distância que o nó se encontra daquele que está recebendo a informação. Dessa forma, o protocolo FSR diminui a sobrecarga de pacotes de atualização e restringe o longo alcance a que podem chegar as atualizações do Link State.

Para garantir a não ocorrência de route loops, cada protocolo utilizou-se de um mecanismo diferente. O WRP guarda informações de seu antecessor e seu sucessor na sua tabela de roteamento, dessa forma, o WRP evita que se formem route loops, mas com isso gera-se uma maior sobrecarga, pois todos os nós precisarão de mais informações e de realizar mais funções. O protocolo DSDV cria uma sequência de números que indicarão qual rota é mais recente que as outras, com isso, espera-se evitar route loops. O protocolo FSR, para evitar a ocorrência de route loops, faz uso dos mecanismos próprios do Link State.

Como visto, cada protocolo tem suas peculiaridade e, por isso, cada um acaba tendo suas vantagens e desvantagens frente aos outros protocolos. Entretanto, quando se pretende



trabalhar com redes maiores, (Liu; Kaiser, 2003) afirmam que o protocolo FSR é o mais indicado para ser utilizado, pois este tem importantes mecanismos para evitar uma sobrecarga muito grande. Cabe-se ressaltar que apesar da qualidade citada, o protocolo FSR é bastante complexo no que diz respeito a sua forma de armazenamento de informações.

### **3.0. O PROTOCOLO DYNAMIC SOURCE ROUTING (DSR)**

O protocolo a ser tratado neste momento foi o protocolo utilizado como base neste trabalho e, por isso, será dada atenção especial ao funcionamento das mais variadas estruturas deste protocolo. Isto é importante para que se possa entender a proposta feita por este trabalho, assim como entender como a proposta foi elaborada e de quais estruturas se utilizou. Como base para que se pudesse realizar esta descrição do protocolo DSR, utilizou-se a RFC 4728.

#### **3.1 DSR ROUTE DISCOVERY**

Geralmente, quando se deseja enviar algum pacote para determinado destino, o nó de origem procura em seu "Route Cache" uma rota que possa realizar esta entrega com sucesso. As rotas presentes no Route Cache são rotas que foram armazenadas pelo nó quando este tomou conhecimento, por alguma das formas possíveis, da existência desta rota. Caso não haja rotas no Route Cache que levem o pacote do nó de origem até o seu destino, será iniciado o Route Discovery, que, dinamicamente, encontrará uma rota que leve o pacote até o destino.

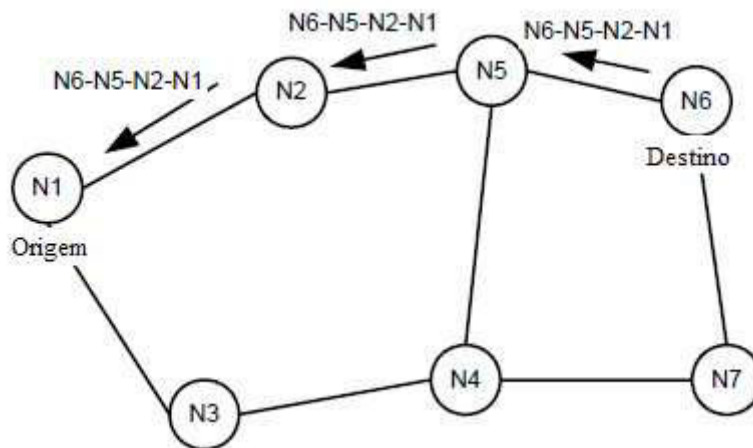
Para iniciar o Route Discovery, o nó de origem envia um Route Request para toda a rede e este será recebido por quase todos os nós que estejam ao alcance do nó de origem. O Route Request contém a informação de qual nó iniciou o Route Request e qual será o nó de destino. Além dessas informações o Route Request contém um número específico que o diferencia dos demais e que foi atribuído pela origem. À medida que o Route Request vai caminhando pela rede, o endereço de cada nó intermediário, pelo qual passou o Route Request, vai sendo armazenado em uma cópia do Route Request que continuará seguindo pela rede até que se encontre uma rota ou até que seja alcançado o número máximo de saltos que um pacote pode dar depois que sai da origem.

Quando o Route Request chega um nó e este nó verifica que é o nó de destino, este enviará um Route Reply que contém a rota solicitada no Route Request. Quando o nó de origem do Route Request recebe o Route Reply, ele armazena a rota, em seu Route Cache, para que possa utilizá-la posteriormente.

Entretanto, quando o nó que recebe o Route Request não é o nó de destino, ele apenas dará seguimento ao Route Request, lembrando que ao dar seguimento o nó inclui seu endereço

no Route Request para que se saiba por quais nós o Route Request já passou. Esta informação é muito importante para que não haja uma multiplicação de pacotes. Cabe-se ressaltar que cada nó antes de repassar o Route Request irá procurar em seu Route Cache uma possível rota para o destino, se houver alguma rota, o nó irá passar essa informação para o nó de origem.

A Figura 2.1, a seguir, ilustra o envio do Route Reply com direção à origem e mostra umas das possíveis formas de se responder um Route Request, que é enviando a rota que o próprio Route Request percorreu até chegar no nó de destino. O Route Reply pode ter percorrido o mesmo caminho que o Route Request pelo fato de o nó de destino não ter nenhuma rota alternativa para o nó de origem em seu Route Cache e, por isso, utilizou a rota que se formou no caminho até ele.



**Figura 3.1 - Exemplo de Route Reply - (Liu; Kaiser, 2003)**

Como foi dito, antes de enviar o Route Reply o nó de destino, no caso da Figura 3.1, o nó N6, irá procurar em seu Route Cache uma rota alternativa para alcançar o nó de origem, se for encontrada alguma rota, o nó de destino utilizará esta rota para mandar o Route Reply para o nó de origem. Entretanto, o nó de destino, por desconhecer uma rota para o nó de origem, pode iniciar seu próprio Route Request com o intuito de descobrir uma rota. É importante ressaltar que o Route Request enviado pelo nó de destino deve conter o Route Request que chegou até ele.

Outra alternativa, diferente das citadas anteriormente, é fazer com que o nó de destino alcance o nó de origem voltando pela rota percorrida pelo Route Request. Esta alternativa é considerada muito boa pelo fato de evitar que mais pacotes sejam enviados, o que reduz a

sobrecarga, pois não serão enviados novos pacotes de Route Request e não será necessário que o nó de destino já tenha uma rota para destino armazenada em seu Route Cache.

Outra informação importante que deve ser esclarecida sobre o protocolo DSR é como se identifica que já foram enviados Route Requests para a descoberta de uma rota para um determinado destino e até quando um mesmo Route Request continua trafegando pela rede. Quando um nó deseja descobrir rota para algum nó, ele envia um Route Request e ao mesmo tempo armazena uma cópia deste pacote que demonstra que o nó, naquele momento, não conhecia nenhuma rota para aquele destino e, por isso, realizou um Route Request. Esta cópia ficará armazenada durante um intervalo de tempo determinado para que não sejam iniciados vários Route Requests na tentativa de se descobrir uma rota um mesmo destino.

Enquanto a cópia do Route Request permanecer armazenada, o nó de origem pode enviar novos Route Requests. Entretanto, o nó deve limitar a certo valor a frequência com que novos Route Requests são enviados na tentativa de se descobrir rotas para o mesmo destino. Essa limitação deve ocorrer, pois nas redes ad hoc móveis, é possível que algum nó esteja inacessível para outro nó devido a uma série de motivos, um deles é que nas redes móveis a comunicação é feita sem fio e para que um nó possa se comunicar com outro é necessário que estes nós estejam ao alcance um do outro, não propriamente um alcance direto entre o nó de origem e o nó de destino, mas um alcance que por meio de vários saltos se alcance o destino.

Ainda tratando da limitação que deve ser feita para que se envie Route Requests para um mesmo destino, ressalta-se que esta é de uma importância singular para o bom desempenho da rede. Esta limitação impede que haja uma multiplicação de Route Requests que visam a alcançar um nó que, dependendo da situação, tem uma chance muito grande de estar fora do alcance do nó de origem. Uma alternativa é aumentar o tempo de espera entre uma tentativa e outra para que à medida que se façam novas tentativas, o tempo de espera para que se possa fazer um novo envio de um novo Route Request para o mesmo destino aumente.

### **3.2. DSR ROUTE MAINTENANCE**

Quando um pacote é passado à frente e se está utilizando source route, cada nó é responsável por confirmar que o pacote foi repassado para o nó seguinte. Pode-se dizer,

então, que o nó que vem antes na sequência da rota é responsável pelo link entre ele e o nó seguinte.

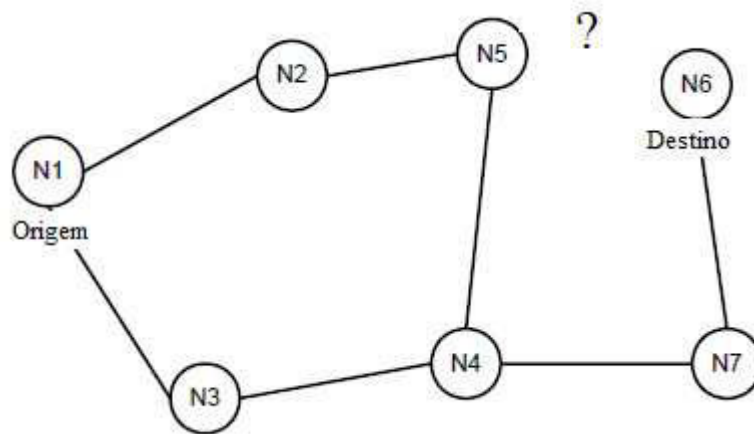


Figura 3.2 - Manutenção do link - retirada de (Liu; Kaiser, 2003)

Na Figura 3.2, caso a rota seja iniciada em N1 e passar por N2 e N5 até chegar a N6, tem-se que o nó N1 é responsável pelo link com N2, N2 é responsável pelo link com N5 e N5 é responsável pelo link com N6. Um mecanismo de confirmação pode resolver a situação, confirmando que certo link é capaz de participar de uma comunicação. Caso o nó antecessor não receba a confirmação de recebimento do nó seguinte, o nó antecessor deve comunicar a origem que aquele link não está disponível. Este mecanismo se torna ainda mais vantajoso tendo-se em vista que este tipo de confirmação não interfere no tráfego, pelo fato de não gerar nenhum pacote para que se faça a confirmação. Isto se deve ao fato de que o próprio padrão 802.11 pode realizar esta função sem a necessidade de nenhuma estrutura nova. Outra forma de se resolver a situação é utilizando-se da capacidade que cada nó tem de escutar o meio para saber-se se o pacote foi recebido com sucesso.

### 3.3. CACHING OVERHEARD ROUTING INFORMATION

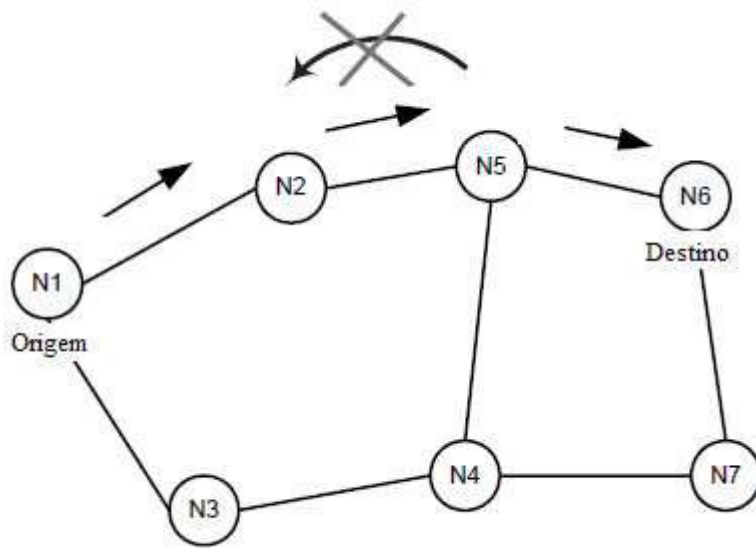
Um nó deve armazenar todo tipo de informação de roteamento sempre que repassar ou escutar alguma comunicação, porém, para que isto seja feito é necessário que se verifique as características do meio físico para que se possa saber quais opções que se pode ter, tendo em vista que o meio físico que estabelecerá as direções em que a comunicação poderá ocorrer.

Dessa forma, seguindo-se (Johnson; Hu; Maltz, 2007), podem-se ter três casos distintos:

- Os nós da rede, frequentemente, operam apenas de forma unidirecional e no meio físico pode-se encaminhar pacotes unicast apenas de forma unidirecional.
- Os nós da rede, ocasionalmente, operam de forma unidirecional, porém na maioria dos casos os links no meio físico são bidirecionais. Entretanto, apesar da maioria dos links serem bidirecionais, o meio não está operando de forma bidirecional.
- Outro caso possível é o caso em que o meio está operando apenas de forma bidirecional. Um exemplo é quando se tem o Distributed Coordination Function (DCF) que só é capaz de encaminhar pacotes de forma bidirecional tendo em vista que há a necessidade de obter a confirmação de recebimento do destino. O envio de RTS e CTS também exige que haja apenas links bidirecionais para que possa haver a comunicação entre o nó de origem e o nó de destino.

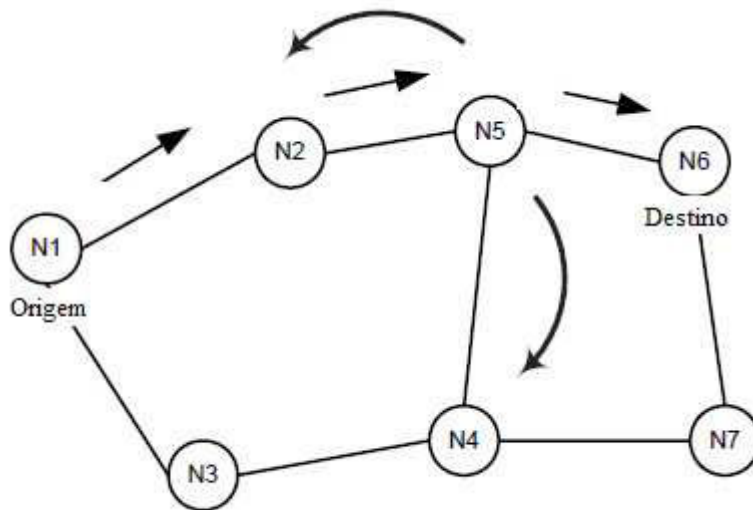
No primeiro caso citado, os nós podem armazenar as rotas em seu Route Cache, não importando se ela estava no Route Request ou se estava retornando no Route Reply, de todas as formas a informação poderá ser armazenada desde que o nó esteja na mesma direção do pacote. Não se é vedado, tampouco, que o nó armazene informações que foram escutadas na rede. Não é requisito para se armazene informações de roteamento que o nó seja o nó de destino do pacote ou que este esteja na rota até o destino, o que se necessita é estar na direção informação de forma direta. O que é vedado nesta rede é troca de informações de forma reversa.

Na Figura 3.3 pode-se ver um exemplo no qual um pacote percorreu os nós N1, N2, N5 e N6. Se a rede operar de acordo com o primeiro caso citado, os nós poderão armazenar informações de roteamento, desde que isto se faça no sentido das setas, que indica o sentido direto da comunicação. Entretanto não poderá ser feita a passagem de informações no sentido reverso, que é indicado pela seta curva e mostra que não será possível a passagem de informações do nó N5 para o nó N2, pois como pode ser visto, a comunicação estaria no sentido reverso da comunicação original.



**Figura 3.3 - Caching de rotas unidirecional**

No segundo caso, tem-se a situação em que os nós se comunicam de forma unidirecional, mas podem se comunicar também de forma bidirecional. Portanto, as informações podem ser repassadas tanto no sentido direto como no sentido reverso. Pode ocorrer, também, de um nó pelo qual o pacote não tenha passado escutar a informação e armazená-la em seu Route Cache para uma posterior utilização, tendo em vista que a comunicação também pode ocorrer forma unidirecional.

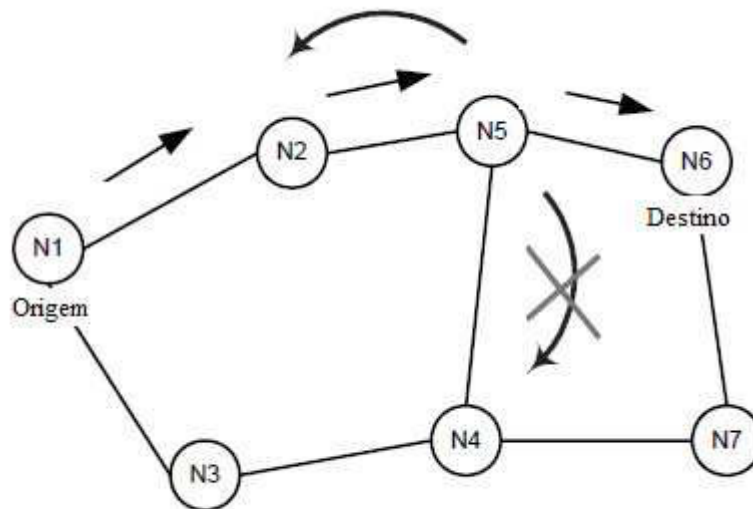


**Figura 3.4 - Caching de rotas unidirecional e bidirecional**

A Figura 3.4 mostra um exemplo do que pode ocorrer em uma rede com as características do segundo caso citado. As informações podem ser encaminhadas tanto na forma direta como na forma reversa. Dessa forma N2 pode passar informações para N5 assim como N5 pode passar informações para N2. Outro caso é o caso em que o nó N4, que não participa da comunicação, escuta as informações, o que também é possível para uma rede que opera de forma semelhante à citada no segundo caso.

O terceiro caso é o caso em que só há comunicação de forma bidirecional, isto faz com que este caso seja bem semelhante ao segundo caso. Entretanto, no segundo caso é possível que haja comunicação de forma unidirecional, o que impede que no terceiro caso ocorra o repasse de informações entre nós pelos quais o pacote não passou.





**Figura 3.5 - Caching de rotas bidirecional**

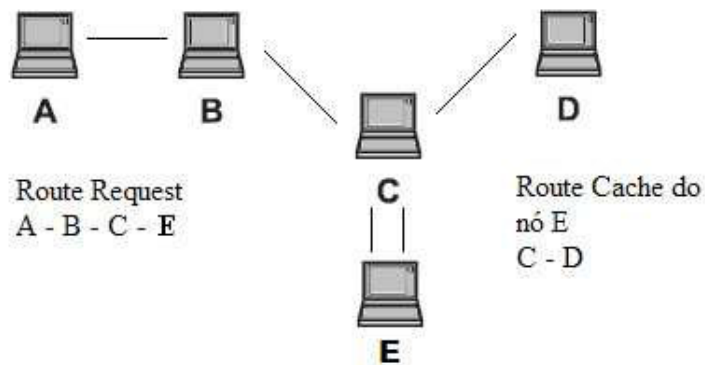
Vendo a Figura 3.5 podemos ver que é possível que o nó N5 repasse informações para o nó N2, mesmo sendo esta comunicação no sentido reverso da comunicação original. Entretanto, não é possível que o nó N4, que não participa da comunicação, receba informações do nó N5, pois as comunicações só ocorrem de forma bidirecional. Portanto, apenas os nós pelos quais irá passar o pacote, os nós N1, N2, N5 e N6 é que podem realizar a comunicação no sentido direto e reverso.

### **3.4. REPLYING THE ROUTE REQUEST**

Quando um nó recebe um Route Request, este nó irá procurar uma rota para o nó destino em seu Route Cache, isto irá ocorrer mesmo que o nó que recebeu o Route Request não seja o destino da rota. Caso o nó encontre em seu Route Cache uma rota para o destino, este enviará um Route Reply para a origem do Route Request além de encaminhar o Route Request para outros nós. Esta rota encontrada será enviada no Route Reply juntamente com o caminho que foi sendo armazenado no Route Request à medida que este foi passando pelos nós. Dessa forma, a rota encontrada no Route Cache será unida ao caminho armazenado no Route Request para que se tenha uma rota completa que comunique a origem com o destino.

Entretanto, antes que o nó envie o Route Reply ele deve verificar se não há duplicações na rota que se formou a partir união da rota encontrada no seu Route Cache com a rota que se foi armazenando no Route Request à medida que este foi sendo repassado. Esta verificação é muito importante, pois impede que se façam caminhos desnecessários e que podem acabar fazendo com que o pacote não chegue até o destino.

A Figura 3.6 exemplifica uma situação em que há essa união de rotas para que se forme uma única rota que comunique a origem ao nó de destino. A Figura 3.6 mostra um caso em que o nó A deseja se comunicar com o nó D, um Route Request foi enviado e o nó E responderá este Route Request com um Route Reply contendo a rota acumulada pelo Route Request unida com a rota encontrada em seu Route Cache.



**Figura 3.6 - Um caso específico de Route Reply**

Pode-se observar que, neste caso, haverá um nó que aparecerá duas vezes ao juntarem-se as duas rotas, isto irá ocorrer tendo em vista que para se chegar ao nó E passou-se por C e para chegar-se até D terá que se passar de novo por C. O protocolo DSR, entretanto, assim como afirmam (Johnson; Hu; Maltz, 2007), irá impedir que o nó faça esta modificação na rota, pois para que não haja a duplicação o nó E não poderá fazer parte da rota e isto é vedado pelo protocolo. O protocolo impede esta situação, pois o fato de o nó não fazer parte da rota impede que este tenha conhecimento da situação da rota, o que se tem é um nó repassando uma rota da qual ele não faz parte e, por isso, não pode garantir que esta seja válida.

### **3.5. LIMITADOR DE SALTOS PARA O ROUTE REQUEST**

Todo Route Request tem um limitador de saltos, que impede que o Route Request seja repassado de forma indefinida pelos nós os quais o Route Request passou. À medida que o Route Request vai caminhando pela rede, um valor vai sendo alterado para que se saiba o número de saltos que já foram dados, quando esse valor chega a zero o Route Request é descartado mesmo que ainda não se tenha um Route Reply.

Nesse contexto, tem-se que este mecanismo pode ser utilizado de várias maneiras com o intuito de se diminuir a propagação do Route Request dentro da rede. Caso não haja esse limitador, o Route Request será repassado de forma indeterminada e acabará gerando uma sobrecarga na rede. Deve-se levar em consideração que um Route Request que não recebe um Route Reply depois de algum tempo, pode ser um indicativo de que o nó que se pretende alcançar pode estar fora de alcance e outras tentativas só farão com mais pacotes trafeguem na rede sem aumentar a chance de que se encontre uma rota.

Uma boa forma de se utilizar a limitação à propagação do Route Request é fazendo com que o Route Request, inicialmente, não dê mais de um salto, com isso, se verifica se o nó que se deseja alcançar encontra-se nas proximidades do nó que deseja enviar pacotes. Caso o nó esteja nas proximidades do nó de origem do Route Request, será evitado que o Route Request se propague pela rede de forma desnecessária. Outra vantagem o fato de os pacotes passarem inicialmente para os vizinhos faz com que o Route Cache dos nós vizinhos seja parte do Route Cache do nó de origem do Route Request. Com isto, caso o nó de origem não receba um Route Reply bem rapidamente, este mesmo nó não precisará esperar muito tempo para enviar um novo Route Request, tendo em vista que como o número de saltos foi limitado não haverá uma multiplicação de Route Requests pela rede.

### **3.6. RECUPERAÇÃO DE PACOTES**

Caso um determinado nó perceba que o link com o próximo nó foi quebrado, este nó pode verificar se há em seu Route Cache uma rota alternativa para que o pacote possa ser entregue ao nó de destino. Se após verificar seu Route Cache, o nó identificar que há uma rota para o destino do pacote, este pode recuperar o pacote em vez de descartá-lo. Para recuperar o pacote o nó deve substituir o source route presente no pacote pela rota que este mesmo nó encontrou em seu Route Cache. Na Figura 3.3, quando o nó N5 verifica que o

link com o nó N6 está quebrado, é responsabilidade de N5 verificar se há alguma rota em seu Route Cache que permita que se alcance o nó N6.

Cabe-se ressaltar, que no momento em que um nó verifica que há um link quebrado na rota, este deve comunicar a rede, por meio de um Route Error, que aquele nó da rota está com o link quebrado. Na Figura 3.3, o nó N5, antes mesmo de verificar se há uma alternativa para o destino, pode enviar um Route Error como forma de informar os demais nós que o pacote não poderá ser repassado por aquela rota.

### 3.7. SELEÇÃO AUTOMÁTICA DE CAMINHOS MENORES

As rotas presentes no source route podem ser modificadas automaticamente para que se tenha uma rota menor do que aquela que seria formada pela continuidade do Route Request. Essa modificação irá ocorrer quando um determinado nó escuta a propagação do Route Request e verifica que há uma parte do source route que pode ser retirada e mesmo assim se poderá alcançar o destino e por um caminho menor o que faz com a rota se torne ainda mais confiável. Entretanto, para que o nó possa propor esta modificação no source route ele não pode ser o próximo salto, mas deve fazer parte do source route como um dos nós que se irá passar mais adiante.

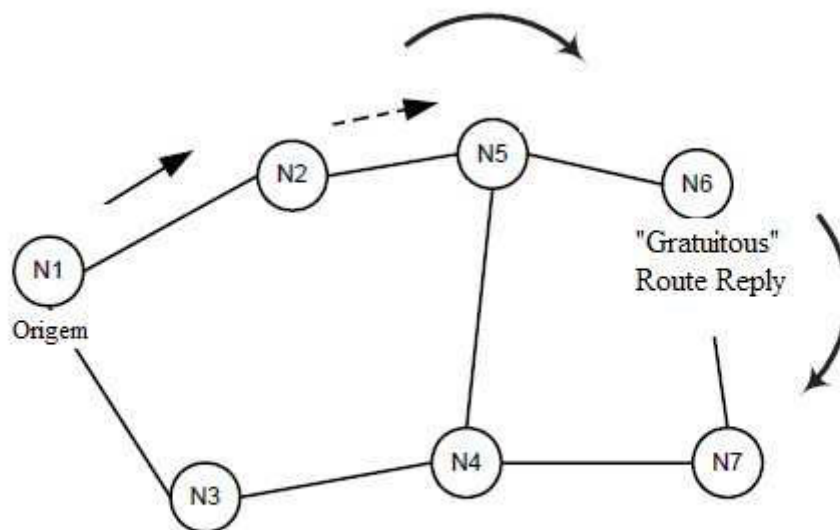


Figura 3.7 - Gratuitous Route Reply

Na Figura 3.7, pode-se notar como se dá a modificação do caminho. Inicialmente, o Route Request iria passar por N5, porém o nó N6 está ao alcance de N2 e propõe que se salte N5 como forma de diminuir o caminho percorrido. Para tanto, o nó N6 irá enviar um "gratuitous" Route Reply contendo a rota formada pelo source route unido à rota que o nó N6 conhece até o destino, que no caso é representado pelo nó N7. Para o caso da figura tem-se, então que a rota enviada para o nó de origem será N1, N2, N6 e N7.

### **3.8. ESTRUTURA CONCEITUAL DO PROTOCOLO DSR**

Agora, se fará uma pequena introdução sobre a estrutura dos principais mecanismos que compõe o protocolo DSR, pois já se conheceu a utilidade que cada mecanismo tem no funcionamento do protocolo, entretanto, neste momento, será feito um detalhamento maior do modo de operação desses mecanismos que são a base de todo o roteamento do protocolo DSR.

#### **3.8.1. Route Cache**

O Route Cache desempenha um papel muito importante dentro do roteamento do protocolo DSR. É nele que são armazenadas as diversas rotas que são conhecidas durante a operação do protocolo. Um nó pode conhecer uma rota de diversas maneiras, pode conhecer uma rota quando recebe um Route Request, um Route Reply ou até mesmo um DSR source route. Da mesma forma que são conhecidas novas rotas e estas são armazenadas no Route Cache, rotas que não existem mais também devem ser conhecidas e serem retiradas do Route Cache, para que não acabem fazendo com que envie pacotes por rota que não são mais capazes de repassar pacotes para os destinatários. Entretanto, a forma com que o nó toma conhecimento que certa rota não existe mais é um pouco diferente da forma com que este toma conhecimento que há rotas novas. Como dito, há vários mecanismos para que um nó saiba que há uma nova rota para ser armazenada, de forma semelhante existem também alguns mecanismos para que este saiba que estas mesmas rotas não existem mais. Um desses mecanismos é o Route Error.

Estando, portanto, o Route Cache devidamente atualizado por um dos mecanismos citados anteriormente, é importante saber-se de que forma serão escolhidas estas rotas e como são feitas as buscas por tais rotas. Primeiro, é importante saber-se que podem estar

armazenadas no Route Cache várias rotas para um mesmo destino. Dessa forma, é importante que haja critérios para que se possa escolher uma rota em vez outra, tendo em vista que as duas levam para o mesmo destino.

Portanto, para que seja escolhida uma rota dentre as várias possíveis é preciso estabelecer critérios, dessa forma, (Johnson; Hu; Maltz, 2007) afirmam que se podem ter as seguintes situações:

- Para que se escolha a melhor rota pode-se fazer uso de uma métrica específica, como é o caso desse trabalho, ou pode-se apenas fazer com que se escolha, dentre as rotas do Route Cache, a rota que tiver o menor número de saltos.
- Outra forma de selecionar rotas é escolher de forma preferencial aquelas rotas que tenham acesso direto ao nó de destino e, por isso, não necessitam acessar o nó de destino por meio de outras redes que estão conectadas a rede ad hoc móvel na qual se utiliza do protocolo DSR.
- É importante ressaltar, que no momento da busca por rotas no Route Cache, não se pode escolher rotas que tenham nós intermediários de fora da rede, apenas o primeiro e o nó de destino podem ser de fora da rede.

As rotas armazenadas no Route Cache não podem ser armazenadas sem que seja respeitado o limite de espaço estabelecido para tal função. Às vezes o espaço reservado para as rotas é fixo, porém, em outros, o espaço pode variar dinamicamente. Dessa forma, havendo uma limitação para o armazenamento de rotas, é certo que em determinado momento as escolhas terão que ser feitas para que se continuem armazenando rotas. A forma com que são escolhidas as rotas que permanecerão no Route Cache e as rotas que sairão do Route Cache pode variar dependendo do caso.

Com isso pode-se ter as seguintes situações, citadas por (Johnson; Hu; Maltz, 2007):

- Uma forma de selecionar as rotas é fazendo com que se escolha, no momento em que se necessitar de mais espaço, a rota que por último foi utilizada. Essa escolha evita com se tenha rotas antigas, que têm grandes chances de não existirem, tendo em vista dinâmica das redes ad hoc móveis.

- Outra forma de se fazer escolhas, no momento em que se necessita de espaço no Route Cache, é escolher as rotas que foram conhecidas por meio do Route Request em vez de se escolher rotas que foram conhecidas escutando-se a comunicação de outros nós. Dessa forma, o nó deixará no Route Cache rotas que ele próprio utilizou e, por isso, há uma certeza de que esta rota é confiável.

Já se falou sobre algumas estruturas do Route Cache referentes ao armazenamento de rotas, porém não se falou de uma questão importantíssima, que é a forma com que se formam as rotas. Estas podem ser obtidas a partir de caminhos completos ou a partir de saltos. A escolha de um desses mecanismos gera grandes diferenças na formação das rotas e, por isso, será feito um detalhamento de cada um deles.

Quando um nó recebe um Route Reply, ele está recebendo um caminho completo até o destino que se pretende alcançar, o mesmo ocorre quando se conhece uma rota por meio de qualquer outro mecanismo. Dessa forma, serão armazenados caminhos completos no Route Cache, o que faz com que o mecanismo de escolha de rotas seja menos complexo se comparado com o mecanismo que forma rotas a partir de saltos isolados. Como, no caso dos caminhos completos, não há que se fazer nenhuma modificação para que se chegue a uma rota partindo-se de um caminho, a formação da rota dependerá somente da escolha de uma entre as possíveis.

Outra forma de se chegar a uma determinada rota é partindo-se de saltos que unidos podem formar rotas. Essa forma de se formar rotas é mais complexa que a anterior. Chegar-se a uma rota a partir de saltos exige uma maior capacidade computacional, pois no momento em que se quiser conhecer uma rota para determinado destino, antes a rota deverá ser formada, não só escolhida, como no caso em que as rotas são formadas a partir de caminhos que têm definidos origem, nós intermediários e destino.

Apesar de o mecanismo de formação de rotas a partir de saltos exigir mais capacidade computacional que o mecanismo de formação de rotas a partir de caminhos, ele se mostra muito superior ao outro graças à quantidade de informação de que dispõe e a maneira com que pode utilizá-la. Quando um caminho é armazenado de forma completa não se pode fazer desse várias rotas a partir dos vários saltos que o compõe. Os saltos de forma isolada fazem com que se tenham mais opções de rota.

### 3.8.2. A tabela do Route Request

A tabela do Route Request armazena informações dos últimos Route Request que foram originados ou repassados por cada nó. Com isso, possibilita-se não só a comunicação como, também, se ordenam os Route Requests, para que, entre outras consequências, não se tenha uma multiplicação de Route Requests. Segundo (Johnson; Hu; Maltz, 2007) as informações que são armazenadas são:

- O número que indica e conta o número máximo de saltos que o Route Request, para um certo destino, poderá dar antes que seja descartado. Esta conduta permite que não haja uma propagação desenfreada de Route Requests pela rede, de forma a gerar uma sobrecarga. Como dito, há várias formas de se fazer uso deste mecanismo no roteamento.
- O momento em foi feito o último Route Request para um determinado destino da rede.
- O número de Route Requests que foram realizados antes que se recebesse um Route Reply contendo uma rota válida para um determinado destino solicitado pela origem.
- O tempo restante para que se possa realizar outro Route Discovery para um mesmo destino, pois, sempre que se inicia um Route Discovery, um tempo é estabelecido para que se inicie outro, como forma de impedir que se iniciem vários Route Request para um mesmo destino sem que antes se dê tempo suficiente para que o Route Request anterior encontre rotas para o destino solicitado. É importante se ressaltar que cada vez que um Route Request não encontra uma rota e se faz necessário o envio de outro, o tempo para que possa enviar um novo Route Request é dobrado a cada tentativa.



#### **4.0. PADRÃO 802.11**

O padrão 802.11 é definido em (IEEE Standard 802.11, 1999) e é um padrão utilizado em redes sem fio e que proporciona a criação de LAN entre dispositivos portáteis e alguma infraestrutura ou a criação de uma LAN entre os próprios dispositivos entre si. Este padrão define a camada física e a camada MAC e define também dois métodos básicos de acesso na MAC o primeiro é o Distributed Coordination Function (DCF) que pode ser utilizado tanto em redes com infraestrutura como em redes onde não há infraestrutura, neste caso o método será utilizado empregando-se o protocolo Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) MAC. O outro método que pode ser utilizado é o Point Coordination Function (PCF), que só poderá ser utilizado em redes com infraestrutura e, por isso, não é aplicável para as redes ad hoc.

Originalmente, o objetivo do padrão era ter taxas de transmissão de 2 Mbps e caso houvesse alguma interferência ou caso a intensidade do sinal caísse muito, a taxa cairia para 1 Mbps. Entretanto, hoje em dia há diferentes taxas dependendo da versão que se está utilizando Além disso, três opções de camada física foram dadas, a de infravermelho, a frequency hopping spread spectrum (FHSS) em 2.4 GHz e a direct sequence spread spectrum (DSSS) em 2.4 GHz. Outra característica do padrão é que foram definidos dois modos de operação possíveis, o IM-BSS (Infrastructure Mode Basic Service Set), que é para os casos onde não há infraestrutura de rede e o IBSS (Independent Basic Service Set), que é para os casos de redes ad hoc, onde não há infraestrutura de rede.

Como visto, o padrão 802.11 pode ser utilizado tanto em redes com infraestrutura como também pode ser empregado nas redes ad hoc, porém os dois modos não podem ser utilizados de forma simultânea. O modo de utilização mais comum para se prover a Internet é aquele que utiliza infraestrutura de rede, porém o fato de se utilizar alguma infraestrutura de rede traz consigo custos não só dos equipamentos em si, como também custos de instalação e manutenção destes. Por isso, em certos casos não haverá motivos ou justificativas para que se façam estes gastos, em outros, ainda, uma rede com infraestrutura pode não suprir as necessidades de certa situação, pois pode-se tratar de uma situação temporária ou extremamente dinâmica que não é compatível com as funções de uma rede com infraestrutura.

O padrão 802.11 é muito bom para utilização em redes single-hop ad hoc e adicionando-se mecanismos de roteamento nas estações pode-se estender a utilização para redes ad hoc que não estão sujeitas às limitações características das redes single-hop. Nas redes single-hop cada nó só é capaz de se comunicar com nós estejam dentro do seu raio de transmissão, já nas redes ad hoc os nós podem ir além desta distância e se comunicar com nós que não estão dentro de seu raio de transmissão, mas que indiretamente podem ser alcançados por uma sequência de saltos.

Entretanto, apesar do padrão 802.11 ser compatível com as redes ad hoc, este não é capaz de driblar as consequências advindas da própria natureza das redes ad hoc, que têm como característica o fato de serem extremamente dinâmicas e, por isso, praticamente imprevisíveis. Devido a estas características, o desempenho cai muito, comprometendo a qualidade e a confiança da rede. Por isso, neste momento se dará ênfase à estrutura do padrão e as consequências fruto da interação com as redes ad hoc.

#### **4.1. ESTRUTURAS E PROTOCOLOS DO PADRÃO 802.11**

O padrão 802.11 define tanto a camada física como a camada MAC. A camada MAC tem dois métodos de acesso ao protocolo MAC 802.11, o Distributed Coordination Function (DCF) e o Point Coordination Function (PCF). O método de acesso mais utilizado e o único que é compatível com as redes ad hoc móveis é o DCF, este é baseado no sistema Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) que traz consigo características marcantes que moldam o funcionamento das redes ad hoc móveis. Como o PCF não pode ser utilizado nas redes ad hoc, este não será tratado em detalhes neste trabalho.

O DCF, por basear-se no sistema Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA), faz com que, antes que algum nó inicie uma transmissão, o nó escute o meio para que se saiba se qualquer outro nó está transmitindo algo naquele momento. Caso o meio esteja disponível por um tempo maior que o Distributed InterFrame Space (DIFS), o nó continua com a transmissão, caso contrário, quando o meio está ocupado, o nó que deseja transmitir irá aguardar o final da transmissão que por este foi percebida quando da escuta do meio. A partir desse momento, surge o que se costuma chamar de tempo de backoff, que é um intervalo de tempo aleatório que passa a ser considerado como um parâmetro que irá auxiliar e disciplinar a espera de cada nó. O tempo de backoff é

interrompido quando alguma transmissão é percebida no meio e volta a ser iniciado após aguardar Distributed InterFrame Space (DIFS) segundos após o término desta transmissão.

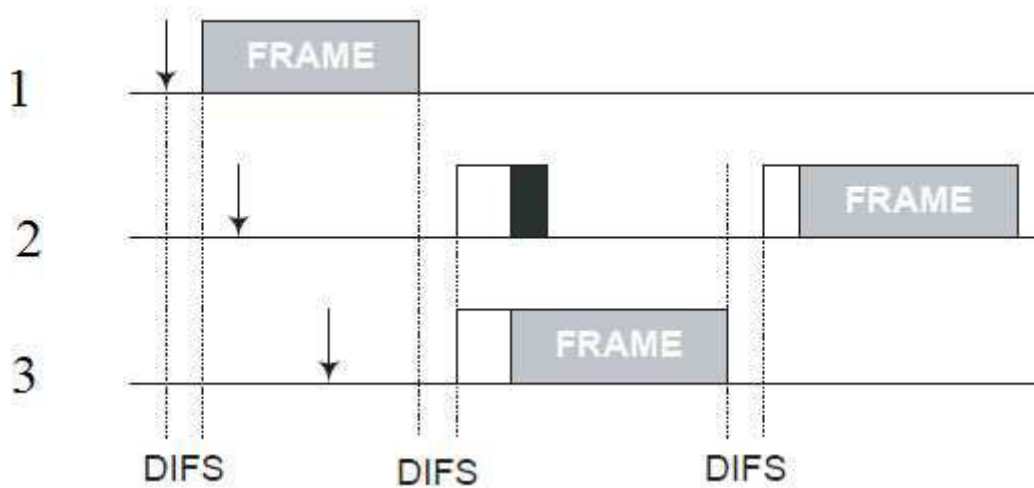


Figura 4.1 - Virtual career sensing - Figura retirada de (Basagni, 2004)

Como exemplo do papel do tempo de backoff, pode-se citar o caso da Figura 4.1 em que nó 2 deseja transmitir algo, porém ao escutar o meio, este percebe que há uma transmissão em andamento e, por isso, a transmissão será interrompida até que se verifique que o nó 1 parou de transmitir. Verificado que o nó 1 parou de transmitir, a contagem do Distributed InterFrame Space (DIFS) é iniciada. Após o meio ter sido dado como disponível durante Distributed InterFrame Space (DIFS), inicia-se a contagem do tempo de backoff, porém antes que o nó 2 pudesse transmitir, o nó 3 começou a transmitir e 2 terá que aguardar, novamente, o término de uma transmissão. Tendo sido encerrada mais essa transmissão, inicia-se mais uma vez a contagem do Distributed InterFrame Space (DIFS) e em seguida do tempo de backoff, quando este se encerra, 2 inicia sua transmissão. O tempo de backoff corresponde a um número inteiro de slots que é uniformemente escolhido no intervalo  $(0, CW-1)$ . CW é definido como a janela de backoff, na primeira tentativa de transmissão,  $CW = CW_{min}$ , e este valor é dobrado a cada nova tentativa de retransmissão até o valor  $CW_{max}$ . Os valores de  $CW_{min}$  e de  $CW_{max}$  dependem do meio físico escolhido.

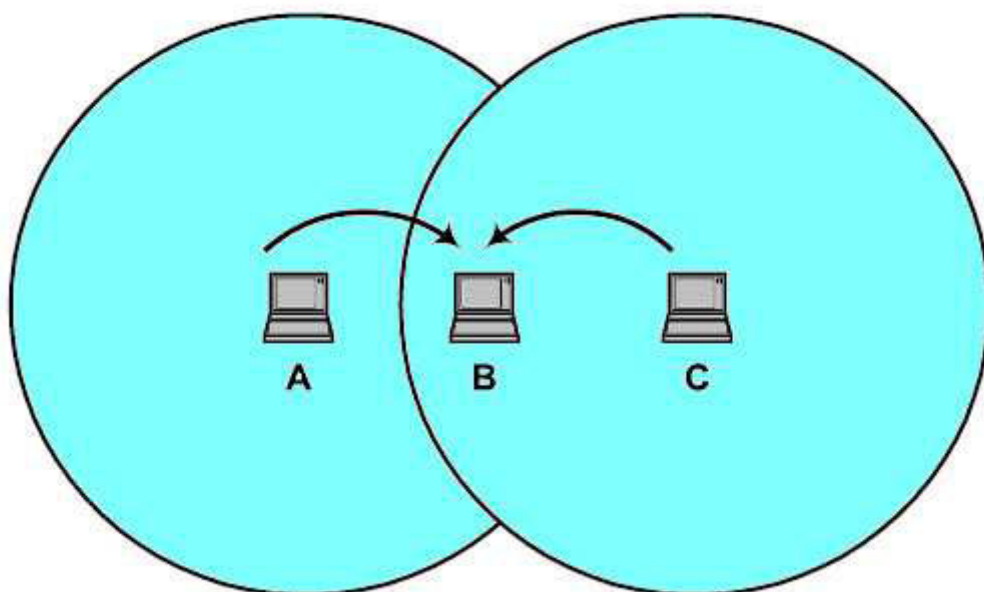
No sistema CSMA/CA, os nós não são capazes de escutar as suas próprias transmissões, entretanto há uma resposta imediata por parte do nó receptor que confirma o sucesso no

recebimento de um frame. Desta forma, uma vez que o receptor recebe com sucesso um frame, este envia um acknowledgement frame (ACK) depois de um intervalo de tempo chamado de Short InterFrame Space (SIFS). O SIFS é menor que o Distributed InterFrame Space (DIFS) para que seja dada preferência para o nó que transmitiu o frame frente àqueles que desejam transmitir. Se o ACK não foi recebido pela origem, subentende-se que o frame se perdeu e uma retransmissão é preparada. O ACK não será enviado caso o frame não seja recebido de maneira íntegra. Ocorrendo um erro no frame, devido a colisões ou devido a erro ocorrido durante a própria transmissão, será dado um tempo adicional chamado de Extended InterFrame Space (EIFS) antes que seja iniciado o tempo de backoff. O EIFS vai ser utilizado quando a camada física tiver indicado com um valor correto para a camada MAC que um frame que foi transmitido não foi recebido de forma completa e sem erros pela camada MAC. A recepção de um frame de não ocorrência de erro durante o EIFS faz com que o meio volte para seu estado atual, seja ele ocupado ou disponível, e em seguida o EIFS é parado e retorna-se para o modo comum de acesso, utilizando o DIFS e o backoff, se necessário. Feito isto, continua-se o recebimento do frame.

#### **4.2. PROBLEMAS COMUNS DO PADRÃO 802.11 AO SER UTILIZADO NAS REDES AD HOC**

Nesta parte do estudo será dado enfoque a problemas, que segundo (Basagni, 2004), são comuns nas redes sem fio, sobretudo no caso das redes ad hoc. As próprias características das redes sem fio já trazem consigo certas peculiaridades que as fazem diferentes de outros tipos de redes e, por isso, torna-se necessário uma abordagem específica das redes ad hoc móveis, para que se possa conhecer suas fragilidades no intento de se poder melhorar a sua forma de operação.

Um problema muito comum nas redes que utilizam o protocolo 802.11 DCF é a ocorrência do que se costuma chamar de nó exposto e nó escondido. Como pode ser visto na Figura 4.2, têm-se dois nós, A e B, que estão ao alcance um do outro, porém há um terceiro nó, o nó C, que não está ao alcance de A, mas está ao alcance de B. Desta forma, caso o nó C deseje transmitir um frame para B, primeiramente, C deverá escutar o meio e verificar se este está livre para que, assim possa estabelecer uma comunicação com B. Tendo verificado que o meio está livre, C inicia sua transmissão, porém este não é capaz de escutar A e, por isso, caso A esteja transmitindo algo para B, ocorrerá uma colisão.



**Figura 4.2 - Problema do nó escondido - Figura retirada de (Basagni, 2004)**

O problema do nó escondido pode ser evitado adicionando-se ao sistema de escuta do meio do DCF, o virtual carrier sensing, que é baseado em dois frames de controle, o Request To Send (RTS) e o Clear To Send (CTS). Primeiramente, antes que se inicie uma transmissão, o nó de origem deve enviar para o nó de destino um RTS anunciando a transmissão que está por vir. Tendo o nó de destino recebido o RTS, este envia para o nó de origem um CTS, que indica que o nó de destino está pronto para receber o frame que a origem pretende enviar. Tanto o RTS como o CTS contêm o tempo de duração da transmissão, que é o tempo necessário para que se transmita o frame mais o tempo para que transmita o respectivo ACK. Esta informação pode ser lida por qualquer nó que utilize o Network Allocation Vector (NAV). Se o NAV tiver um valor diferente de zero, o nó não irá fazer nenhum acesso àquele meio e, por isso, não fará transmissões utilizando aquele meio. Portanto, utilizando-se o RTS/CTS pode-se saber se um meio está ocupado e por quanto tempo este mesmo meio continuará indisponível para novas transmissões.

Entretanto, o fato de o Request To Send (RTS) e o Clear To Send (CTS) evitarem a ocorrência de nós escondidos, estes mesmos mecanismos fazem com que surja um novo problema, que é o nó exposto. O problema do nó exposto ocorre quando um nó A vai se comunicar com um nó B, porém o nó B tem um terceiro nó C dentro de sua área de transmissão e este terceiro nó envia um CTS, após ter recebido um RTS do nó D. Este CTS

fará com que a comunicação dos dois primeiros nós seja interrompido, pois o nó B escutará o CTS enviado por C e não transmitirá o seu CTS por pensar que o nó A, com o qual ele estava se comunicando, encontra-se indisponível, por achar que meio encontra-se ocupado.

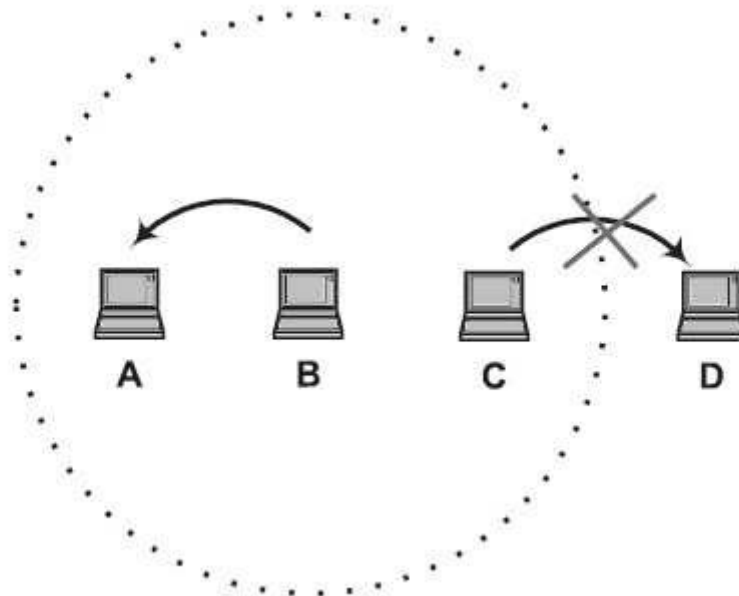


Figura 4.3 - Problema do nó exposto - Figura retirada de (Basagni, 2004)

### 4.3. SUPORTE DO PADRÃO 802.11 A REDES AD HOC

O padrão 802.11 chama as redes ad hoc de Independent Basic Service Set (IBSS), o IBSS torna possível que dois ou mais nós se comuniquem sem a presença de infraestrutura. Por isso, o IBSS é o mecanismo que torna possível que redes ad hoc sejam também criadas dentro do padrão 802.11. Devido à flexibilidade do protocolo CSMA/CA, para que haja o recebimento e a transmissão de dados dentro da rede é suficiente que todos os nós dentro do IBSS estejam sincronizado a um relógio comum. O padrão especifica um Timing Synchronization Function (TSF) para que a sincronização entre os nós seja alcançada. Por haver a falta de infraestrutura nas redes ad hoc, não se pode fazer a sincronização de forma centralizada, portanto é necessário que a sincronização seja feita de forma distribuída. Entretanto, apesar das redes ad hoc terem suas peculiaridades e diferenças das demais redes, inclusive quanto à sincronização, estas se utilizam dos mesmos meios, apesar de utilizarem formas diferentes, para alcançar a sincronização, o meio são os beacons, que são frames especiais que contém informações de tempo.

O TSF tem duas finalidades principais, a *synchronization maintenance* e a *synchronization acquirement*. A *synchronization maintenance* opera da seguinte forma, no início de um beacon cada nó para a contagem do tempo de backoff para qualquer transmissão que esteja em andamento, depois se gera um intervalo aleatório uniformemente distribuído entre 0 e  $2 CW_{min}$ , espera-se a contagem do intervalo, se um beacon chegar antes do término da contagem do intervalo, para-se a contagem do intervalo aleatório, interrompe-se qualquer transmissão de beacon pendente e continua-se a contagem do tempo de backoff, caso não chegue nenhum beacon antes do término da contagem do intervalo aleatório, um frame de beacon é enviado. Tendo enviado o frame de beacon com o seu TSF, quando o receptor receber o frame ele verifica o TSF enviado e compara com seu TSF, feito isto o receptor irá fazer a sincronização com o TSF mais recente.

A *synchronization acquirement* será utilizada quando um determinado nó desejar se juntar a um IBSS já existente. Primeiramente, o nó necessita descobrir se há algum IBSS no meio em que este está inserido, por isso, para que o nó descubra se há um IBSS, este deve fazer um escaneamento do meio, buscando um tipo particular de frames que irá indicar a existência de algum IBSS. Somente se o escaneamento não encontrar nenhum IBSS, o nó poderá criar um novo IBSS.

O escaneamento pode ser passivo ou ativo. No escaneamento passivo, o nó escuta o meio à procura de frames de beacon o que será um indicativo da existência de algum IBSS. Cabe-se ressaltar que o frame de beacon contém não só informação de sincronização como também informação detalhada de todo o IBSS. O escaneamento ativo envolve um novo tipo de frame que será enviado e posteriormente recebido. O nó que irá fazer um escaneamento ativo tem uma lista de canais que serão escaneados. Para cada um desses canais será enviado um frame utilizando-se o método de acesso DCF. O mesmo canal continuará sendo escaneado até que se alcance o tempo limite. Tendo sido alcançado este tempo limite e nenhum frame foi percebido ou detectado, começa-se a escanear o próximo canal.

## 5.0. MÉTRICAS

Como já citado em outras partes desse trabalho, as redes ad hoc móveis têm certas características que as diferenciam de outras modalidades de redes. Essas características podem representar avanços quando vistas de um certo ângulo, mas de outros estas características se transformam em verdadeiros desafios.

Os desafios citados anteriormente fazem referência à criação de novas estruturas que proporcionem um desempenho ao menos semelhante àquele que se tinha quando da utilização de uma tecnologia anterior. As redes ad hoc são, portanto, um avanço se comparadas com as redes com fio, porém as redes ad hoc móveis necessitam de novas estruturas que se adaptem às suas características, tendo em vista que os avanços citados são fruto de um novo modo de comunicação que guarda semelhanças com as redes com fio, mas que também tem várias diferenças.

Segundo (Parissidis; Karaliopoulos, 2009), as características mais desafiadoras das ad hoc e que necessitam de atenção especial são:

- Mobilidade dos nós: a topologia da rede muda com muita frequência nas redes ad hoc móveis, isto faz com que se torne complicado manter-se a topologia sempre atualizada como se faz nas redes com fio, pois haveria um número muito grande de pacotes trafegando na rede com este intuito. É importante ressaltar-se que essas mudanças de topologia, por vezes, geram quebras de enlace o que complica ainda mais a comunicação neste tipo de rede.
- Fenômenos de propagação: nas redes ad hoc móveis a comunicação se dá de forma sem fio, o que faz com que se gere uma série de complicações do ponto de vista do roteamento, como exemplo pode-se citar: sobrecarga, atenuações e ruído. Com isso, não basta apenas que o nó esteja ao alcance de outro para que se tenha uma comunicação bem-sucedida, mas que se tenham condições boas neste link.
- Limitada quantidade de energia: nas redes sem fio em geral há que se garantir a mobilidade dos nós, como já foi dito. Entretanto, para se garantir esta mobilidade não se pode estar preso à rede de energia e, portanto, necessita-se de baterias para que se possa ter deslocamento e ao mesmo tempo se possa



utilizar das funções de cada nó. Como consequência da utilização das baterias, que são cada vez menores pela necessidade de serem compatíveis com os equipamentos que alimentam, tem-se que há uma disponibilidade limitada de energia e, por isso, é necessário racionar, para que se possa ter uma autonomia maior dos nós da rede.

- Não há centralização das atividades por parte dos nós: a possibilidade de não se ter centralização faz com que se possa ter uma distribuição de funções dentro da rede, porém esta distribuição de funções pode ser benéfica por um lado, mas por outro não. Como benefício tem-se a independência de infraestrutura, o que pode ser muito vantajoso tanto do ponto de vista econômico, como do ponto de vista do número de usuários que se pode alcançar. Por outro lado, a distribuição de funções faz com que um comportamento egoísta de algum nó ou até mesmo a inércia deste nó, comprometa o funcionamento de toda a rede.

Portanto, essas características das redes ad hoc necessitam de novas abordagens que as levem consideração, para que se tenha um avanço de fato, pois se assim não for, o que se terá é uma colcha de retalhos que tenta acabar com novos desafios se utilizando de antigas receitas. Nesse contexto, surgem as diferentes métricas que tentam fazer com que os novos protocolos levem cada vez mais em consideração as características que fazem das redes ad hoc móveis uma modalidade diferente das demais.

### **5.1. FORMAS DE OTIMIZAÇÃO DO ROTEAMENTO**

Segundo (Parissidis; Karaliopoulos, 2009), uma métrica nada mais é que um custo que se atribui a uma rota frente a um objetivo de melhoria. Essa definição quer dizer, então, que quando se tem um objetivo de melhoria a ser alcançado, deve-se ordenar as rotas de acordo com a forma que essas contribuem para que se alcance este objetivo, se uma rota não contribui para o objetivo estipulado, deve-se fazer com esta seja escolhida depois daquelas que contribuem com o objetivo da métrica.

Partindo-se da definição citada de métrica, tem-se que a métrica visa a um objetivo que pode variar de acordo com a intenção de quem o estipulou. Conforme (Parissidis; Karaliopoulos, 2009), estes objetivos podem ser:

- Minimização de atrasos: é uma métrica muito utilizada e prioriza a redução de atrasos frente a qualquer outro parâmetro. Esta métrica não levará em conta o quão confiável é uma rota, mas sim qual atraso que esta rota proporciona. Não se pode dizer que esta métrica é pior ou melhor que as outras por considerar um parâmetro que diz muito pouco sobre a confiabilidade da rota, pois em certos casos se faz necessário que esse parâmetro seja o principal critério de escolha, um exemplo é nos casos das aplicações em tempo real.
- Maximização da taxa de entrega de pacotes: na maioria dos casos o que se pretende é que a rede entregue os pacotes para os destinos corretos, mesmo que isso possa demorar um pouco mais. Dessa forma, segundo esse objetivo, é preferível que se demore um pouco mais do que não se entreguem os pacotes.
- Maximização da vazão da rota: é um objetivo que tem como critério para escolha de uma rota a capacidade que cada uma delas tem. Dessa forma, rotas com maior capacidade serão escolhidas preferencialmente às rotas com menor capacidade.
- Maximização da vazão da rede: é um objetivo que visa a melhorar a vazão da rede como todo, não só que se atenda a uma determinada necessidade pontual. Uma decisão será tomada para que se tenha uma melhora da rede inteira em vez de se ter a escolha da opção para um caso específico.
- Minimização do consumo de energia: como dito anteriormente, a energia é escassa nas redes móveis, por isso, é importante que se utilize deste recurso da melhor forma possível para uma maior autonomia dos nós e uma maior cooperação na rede, tendo em vista que caso algum nó fique sem energia, este não mais poderá contribuir com o funcionamento da rede.
- Balanceamento do tráfego nos enlaces: este objetivo visa a um equilíbrio na utilização dos enlaces, portanto este objetivo atua de forma abrangente, pois leva em consideração a rede como um todo e não a realização de uma atividade específica dentro da rede. Portanto, o que se quer com este objetivo é que não se sobrecarreguem alguns enlaces da rede sendo que há outros que não estão sendo utilizados. Isto é muito importante, pois a contínua utilização de um

mesmo enlace pode fazer com que este fique indisponível para maior parte da rede e que assim se acabem perdendo pacotes.

## **5.2. ALGUMAS CLASSIFICAÇÕES DAS MÉTRICAS**

Quando se vai atribuir um valor a determinada rota, deve-se levar em consideração as informações obtidas nos enlaces de uma forma isolada, para que, então, se possa tirar conclusões a respeito da rota. É a partir dos dados obtidos nos enlaces que se chega a um valor para a rota. A forma com que se irá trabalhar com dados obtidos nos enlaces para, então, atribuir-se um valor para as rotas é critério de classificação de métricas.

Segundo (Parissidis; Karaliopoulos, 2009), são formas de cálculo da métrica:

- Somatório: os valores da métrica encontrados para os enlaces são somados, resultando no valor da métrica para a rota. Um exemplo de métrica que é obtida por meio de somatório é a métrica que leva em consideração o valor dos atrasos das rotas da rede, primeiro são medidos nos enlaces e depois são somados para que se tenha o valor para a rota.
- Produtório: o valor obtido para métrica nos enlaces é multiplicado para que se tenha o valor da métrica para a rota. Geralmente, as métricas que trabalham com possibilidades, utilizam-se do produtório para encontrar o valor resultante da rota.
- Funções: o valor encontrado da métrica para a rota é obtido a partir de informações dos enlaces, mas não há soma nem produto, o que há é o estabelecimento de um parâmetro baseado em valores encontrados nos enlaces, mas não há uma correspondência numérica, há apenas uma referência a estes valores. Um exemplo é escolher-se como métrica da rota o valor mínimo ou máximo encontrado nos enlaces para determinado quesito.

Há outra classificação proposta por (Baumann et al., 2007). Esta leva em consideração critérios matemáticos para selecionar as métricas dentro de cada grupo. A classificação é feita da seguinte forma:

- Operador de combinação de enlace: a forma com que a métrica dos enlaces é trabalhada para que se tenha a métrica da rota segue algumas regras que levam em consideração a natureza da métrica.
- Estática ou dinâmica: se o valor que resulta da utilização da métrica muda com o tempo, tem-se uma métrica dinâmica, que é caso da maioria das métricas, pois as redes ad hoc móveis são dinâmicas e, por isso, exigem que a métrica seja dinâmica para que o valor desta seja compatível com a realidade da rede em cada momento. Uma métrica estática faria com que se tivesse informações desatualizadas, o que as tornaria desnecessárias. Entretanto, as métricas estáticas são úteis em certos casos, quando se têm valores fixos que funcionam como limitadores, podem-se empregar as métricas estáticas, pois estes não variam com o tempo.
- Simétrica ou assimétrica: quando o valor da métrica é o mesmo nos dois sentidos possíveis do enlace, tem-se uma métrica simétrica. Entretanto, se o valor em um sentido é diferente do valor no outro sentido, tem-se uma métrica assimétrica.
- Multidimensional ou Unidimensional: uma métrica é considerada multidimensional quando ela formada por mais de um valor que são combinados para que se tenha uma única métrica. Em seu trabalho, (Apud Baumann et al., 2007) mostram, ao utilizarem uma métrica unidimensional, que a busca por uma métrica multidimensional é um problema NP – completo.

### **5.3. FORMAS DE COLETA DE INFORMAÇÕES**

Os nós, para coletarem as informações necessárias para utilização da métrica escolhida, podem se utilizar de diversos meios. Os meios mais comuns de coleta de informações são os seguintes:

- Reuso de informações locais: as métricas podem se utilizar de informações que estão disponíveis em cada nó da rede. Um exemplo seria uma métrica que utiliza como informação o número de nós vizinhos a um determinado nó, esta informação já pode existir em cada nó, pois esta pode ser parte das informações utilizadas no roteamento da rede. Portanto, não há, como o próprio nome já

mostra, uma criação de um novo parâmetro na rede, mas sim a reutilização de informações que já fazem parte do funcionamento da rede.

- Monitoramento passivo: é uma forma de coleta de informações que se baseia na observação do tráfego da rede. Trata-se, portanto, de uma forma de coleta que não torna o tráfego de pacotes maior, pois não há uma intromissão de forma ativa na rede, o que se tem é a utilização de informações que já estão disponíveis na rede, mas que não são utilizadas no funcionamento da rede.
- Prova ativa: pacotes são gerados para que sejam coletadas as informações. Dessa forma, não há uma utilização de informações que já se encontram, de certa forma, disponíveis na rede, o que há é comportamento ativo da métrica para que se possam coletar as informações que necessita. Portanto, essa forma de coleta que gera maior overhead para a rede.
- Prova por sobrecarga: esta forma de coleta, apesar de não se utilizar de informações já disponíveis na rede, se utiliza do próprio tráfego da rede para coletar e compartilhar as informações de que necessita. Portanto, este modalidade de coleta se parece um pouco com anterior, entretanto ela gera um tráfego maior, pois se utiliza, como dito, do tráfego já existente na rede.

Coletados os dados, passa-se a uma etapa importante na elaboração de métricas realmente confiáveis e que trazem uma verdadeira melhoria para o desempenho da rede como um todo. Esta fase refere-se ao trabalho a que serão submetidas as informações coletadas pelas diferentes formas citadas anteriormente. Entretanto, deve-se ter o cuidado de fazer com que a métrica não tenha conseqüências que impactam muito no desempenho da rede, pois dessa forma a métrica poderá gerar um desempenho inferior ao alcançado sem a utilização da métrica.

É importante ressaltar que as informações coletadas podem ser filtradas de várias maneiras no decorrer do tempo, cabe, no entanto, saber-se qual o tipo de filtragem é o mais adequado para cada tipo de métrica. Algumas das formas de filtragem são:

- Janelas dinâmicas de histórico: a média calculada sobre um número de exemplos que varia de acordo com a taxa de transmissão corrente.

- Intervalos fixos de histórico: a média é calculada sobre um número fixo de exemplos.
- Média móvel exponencial: a média é calculada toda vez que um novo exemplo é coletado, porém, no momento do cálculo, são privilegiados os exemplos mais recentes frente aos mais antigos.

## **5.4. OUTRAS CLASSIFICAÇÕES DAS MÉTRICAS DE ROTEAMENTO**

Alguns dos principais tipos de métricas serão detalhados, para que se possa entender as formas de atuação das métricas e quais são as vantagens associadas a cada uma dessas formas de atuação. É importante que se entenda que, em certos casos, algumas métricas são mais adequadas que outras, porém em outros casos esta mesma métrica que se mostrou adequada em determinado caso, pode não ser a melhor opção. Chama-se atenção para este fato, pois as métricas visam a melhorias distintas e dependendo do caso são adequadas ou não. Não se pode, entretanto, entender que não há métrica superior a outras, pois há casos em que se visa a mesma melhoria, o que faz com estas métricas possam ser comparadas de alguma forma.

### **5.4.1. Métricas baseadas na topologia**

As métricas que se utilizam da topologia utilizam informações já disponíveis na rede, entretanto, isto não as torna redundantes, pois o importante é o que se faz com estas informações e não o elas realmente representam. Uma informação utilizada para uma determinada função pode ser trabalhada para que se tenha uma informação ainda mais rica e que pode melhorar o desempenho da rede.

Um exemplo de utilização de informação topológica é utilizar-se da informação que contém quais são os vizinhos de determinado nó. Com esta informação pode-se encontrar rotas de forma mais rápida, consultando, primeiramente, os vizinhos, fazendo com estes sejam como uma extensão de seu Route Cache. Isto pode reduzir a espera por rotas e conseqüentemente melhorar o desempenho da rede. Este é um exemplo, mas pode-se utilizar as informações topológicas de várias formas para que se alcancem melhorias no desempenho da rede.

Tem-se, então, que o conhecimento da topologia pode ser de grande importância para se garantir um bom desempenho da rede. Entretanto, utilizar-se a topologia como forma de se

melhorar o desempenho é um grande desafio, pois a topologia nas redes ad hoc muda com muita frequência e isto complica muito prever-se qualquer comportamento. Não se pode, também, exigir que se mantenha a topologia sempre atualizada, pois esta atividade tem um custo muito grande quando se trata de redes ad hoc móveis.

A utilização da topologia pode melhorar de alguma forma o desempenho da rede, porém trabalhar com informações topológicas em redes ad hoc móveis se mostra um grande desafio. Muitos protocolos utilizados nas redes ad hoc móveis utilizam-se da topologia para realizarem o roteamento da melhor forma possível por dois motivos. Primeiro, porque estes protocolos têm como base os protocolos utilizados nas redes com fio e quase todos eles têm a topologia como base para o roteamento. Segundo, porque as informações topológicas são extrema importância para o roteamento, principalmente no que diz respeito ao número de saltos em uma rota. São exemplos de protocolos que utilizam a topologia como métrica os protocolos OLSR, DSR, DSDV e AODV.

#### **5.4.2. Métricas baseadas na intensidade do sinal**

A intensidade do sinal é um bom indicador para métricas no caso das redes ad hoc móveis, pois a comunicação depende muito da qualidade do sinal nos enlaces. Entretanto, para que o enlace tenha uma boa qualidade do sinal, não é necessário que se estabeleça parâmetros muito altos de intensidade de sinal, pois o que, realmente, é esperado é que os pacotes sejam entregues em seu destino.

Com isso, tem-se que rotas com uma melhor qualidade de sinal devem preferidas em relação àquelas que têm uma qualidade menor, porém o fato de uma rota ter uma qualidade menor não quer dizer que esta não é capaz de estabelecer uma comunicação confiável dentro da rede. Por isso, segundo (Parissidis; Karaliopoulos, 2009), a intensidade do sinal pode ser utilizada de duas formas diferentes em uma dada métrica:

- Utilizar a intensidade do sinal para separar, das rotas com boa qualidade de sinal, as rotas que estão abaixo de um certo nível de intensidade e que, por isso, não serão utilizadas.
- Outra forma é atribuindo um custo para cada rota tendo como parâmetro a intensidade do sinal. Dessa forma, rotas com melhor qualidade de sinal serão preferidas às rotas com qualidade menor.

Esta segunda forma de se utilizar a intensidade do sinal como parâmetro de qualidade nas métricas se diferencia da primeira, pois nela é possível que se escolha uma rota com nível menor de sinal, pois esta, apesar de não escolhida de forma preferencial, ainda é tida como uma rota passível de ser escolhida. No primeiro caso, rotas com nível menor de sinal são impedidas de serem escolhidas.

Há várias propostas de métricas que se utilizam da intensidade do sinal como meio para que se alcance um melhor desempenho da rede. Alguns exemplos dessas métricas são:

(Dube; Rais, 1997) elaboraram um protocolo que coleta as intensidades dos sinais dos nós utilizando-se do próprio tráfego da rede. Depois de coletadas as intensidades dos sinais, o protocolo estabelece um limite abaixo do qual as rotas não serão mais utilizadas no roteamento.

(Punnoose; Nikitin, 1999) fizeram um estudo no qual se queria verificar a relação existente entre a intensidade do sinal e o sucesso na taxa de entrega de pacotes. O estudo mostrou que uma intensidade de sinal muito grande faz com seja mais provável que se entregue um pacote com sucesso, entretanto, quando se tem níveis menores de sinal não há como se garantir que o pacote será entregue com sucesso, mas também não se pode garantir que este mesmo pacote não será entregue. Como se pode perceber pela Figura 5.1, quando se têm níveis menores de sinal não há um comportamento uniforme e conclusivo, o que há são grandes variações nas taxas de entregas bem-sucedidas.



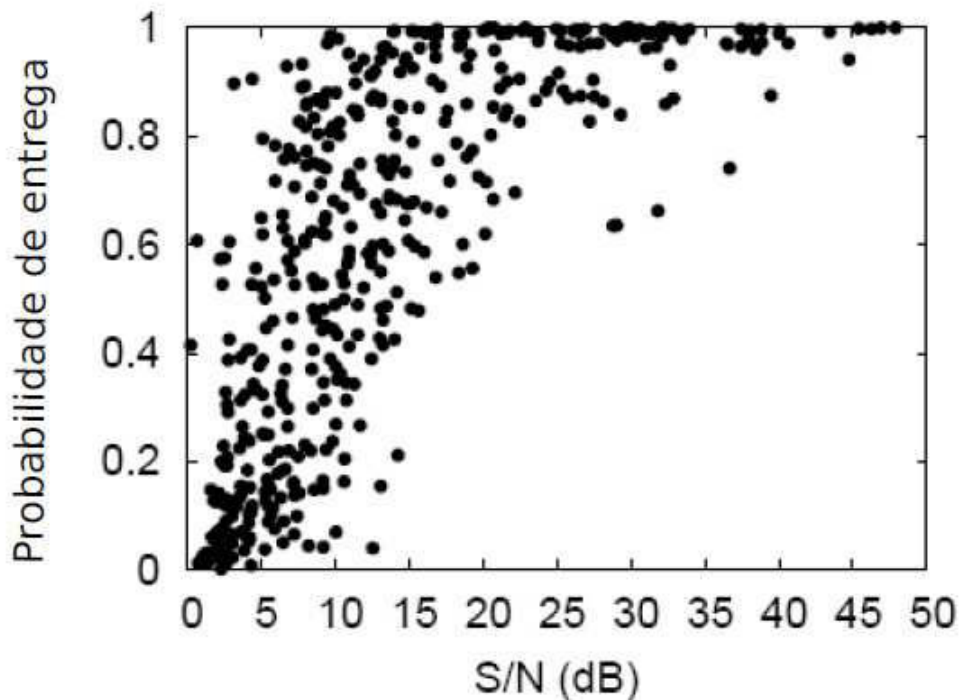


Figura 5.1 - Chance de se entregar os pacotes com sucesso em função da intensidade do sinal - Figura retirada de (Punnoose; Nikitin, 1999)

Como consequência das respostas coletadas neste primeiro estudo, (Punnoose; Nikitin, 1999) propuseram um novo modelo de métrica que utiliza a intensidade do sinal como parâmetro para escolha de melhores rotas. Desta vez, não se criou um limite mínimo para selecionar rotas, o que se fez foi atribuir valores às rotas de acordo com a intensidade de sinal encontrada. Na atribuição de valores para cada rota, utilizou-se de uma fórmula que leva em consideração, dentre outros fatores, a intensidade de sinal percebida por vários nós da rede e a intensidade mínima necessária para que haja comunicação.

#### 5.4.3. Métricas baseadas em provas ativas

Como já dito neste trabalho, as métricas baseadas em prova ativa influenciam no tráfego da rede, pois estas têm como base de seu funcionamento o envio de pacotes com intuito de coletar as informações que serão utilizadas pela métrica. Entretanto, apesar destas métricas terem como consequência um maior tráfego de pacotes, elas não necessariamente geram melhorias com menor qualidade que outros tipos de métrica, na verdade, as métricas

baseadas na prova ativa se destacam como métrica, pois as informações coletadas são, na maioria dos casos, conclusivas e não só informações das quais podem ser feitas suposições.

A principal métrica baseada em prova ativa é a Expected Transmission Count (ETX). Esta métrica surgiu como resposta para a métrica, pouco elaborada, que leva em consideração apenas o número de saltos como parâmetro para que sejam escolhidas as rotas. A ETX tenta estimar o número de tentativas até que se consiga enviar um pacote. Dessa forma, pode-se estimar qual a chance de se conseguir enviar um pacote para um determinado nó especificando-se o número de tentativas que se deseja depreender. Com isso, pode-se tentar reduzir o número de tentativas até que se consiga enviar um pacote com sucesso.

A utilização da métrica ETX juntamente com a métrica que leva em consideração o número de saltos mostrou que a métrica ETX foi capaz de quase dobrar a vazão da rede em relação a vazão encontrada sem a utilização desta mesma métrica. O sucesso da métrica fez com esta se tornasse parte integrante de um protocolo de roteamento.

Outra métrica baseada na prova ativa que é muito importante é a Per-hop Round Trip Time (RTT). Esta métrica, segundo afirmam (Adya; Bahl; Padhye, 2004), esta métrica visa a descobrir o RTT. Para tanto, os nós da rede enviam, constantemente, pacotes para seus vizinhos, estes vizinhos quando recebem os pacotes enviam outro para que se possa assim chegar-se ao RTT.

#### **5.4.4. Métricas baseadas na mobilidade**

Apesar das qualidades citadas anteriormente, as métricas baseadas na prova ativa não são adequadas para redes com mobilidade por vários fatores. (Draves; Padhye; Zill, 2004) afirmam que as métricas baseadas na prova ativa levam certo tempo para coletarem as informações que farão utilização e este tempo é muito importante quando se tem redes ad hoc móveis. Tem-se, então, que o tempo é um fator muito importante nas redes ad hoc móveis, por isso, é necessário que as métricas se utilizem da informação o mais rápido possível para que esta ainda tenha alguma utilidade.

Nesse contexto, surgem as métricas baseadas na mobilidade, que têm como função fazer com que se escolham as melhores rotas possíveis dentro de uma rede com mobilidade. As métricas baseadas na mobilidade, para tentar lidar com a velocidade em que ocorrem

mudanças na rede, não se utilizam de mecanismos que tentem manter as informações da rede sempre atualizadas, pois dessa forma a métrica iria acabar gerando overhead. Diferentemente disto, as métricas baseadas na mobilidade tentam fazer com se escolham rotas mais estáveis, com intuito de fazer com que não haja muitas quebras de enlace, o que iria fazer com que se tivesse overhead assim como caso anterior.

As métricas mais conhecidas dentre as métricas de mobilidade utilizam-se da intensidade do sinal como forma para estabelecer quais rotas têm maior estabilidade. Algumas métricas, a partir da variação na intensidade do sinal, chegam ao nível de associação entre os nós e por meio deste parâmetro farão a escolha das rotas mais estáveis. Alguns exemplos de métricas que se utilizam destes parâmetros são a métrica proposta pelo Associativity-Based Routing (ABR) em (Toh, 1997b) e a métrica proposta por (Paul, 1999), que foi utilizada no protocolo Route-Lifetime Assessment Based Routing (RABR) em (Agarwal; Ahuja, 2000).

Neste trabalho, propõe-se uma métrica baseada na mobilidade, esta métrica utiliza-se da velocidade dos nós para que se saiba quais rotas têm maior velocidade, para tanto, faz-se a soma das velocidades de cada nó. Dessa forma, as rotas que tiverem maior velocidade têm maiores chances de se manterem estáveis do que aquelas que têm uma maior velocidade. Mais à frente, será detalhada a forma de funcionamento desta métrica e das outras também propostas por este trabalho.

## **6.0. TESTE DA MÉTRICA SERIQUE & SOUSA**

A métrica multidimensional proposta em (Serique; Sousa, 2011) foi traduzida em um conjunto de regras que foram inseridas dentro da estrutura protocolo DSR. Entretanto, para que fosse feito o teste foi necessária a elaboração de um mecanismo de coleta de informações e a criação de novos campos, para fazer com que as informações geradas pela utilização da métrica fizessem parte do mecanismo de escolha de rotas. Todos os mecanismos citados serão detalhados mais à frente.

### **6.1. PREMISSAS DO TESTE**

Seguem considerações importantes que devem ser levadas em consideração para uma correta compreensão do teste feito:

- Os nós devem ser capazes de determinar sua velocidade a partir de um sistema de coordenadas relativas, como proposto em (Capkun; Hamdi; Hubaux, 2002).
- Conforme o estudo apresentado (Knoblauch; Pietrucha; Nitzburg, 1996) as velocidades típicas de pedestres giram em torno 0 a 2 m/s. Contemplamos velocidades de até 5 m/s, para considerar as transições de ambientes veiculares, como por exemplo, um usuário chegando ao local em uma bicicleta ou ônibus.
- O protocolo roteamento deve incluir em campos apropriados da pilha TCP/IP, o caminho percorrido pelo pacote, bem como o posicionamento e a velocidade de cada nó por onde o pacote passou. No caso do DSR, o caminho a ser percorrido pelos pacotes já é conhecido desde o nó origem por meio do Source Route.
- Os nós egoístas deixam de cooperar apenas no repasse de pacotes de dados. Já os pacotes de roteamento (RREQ, RREP, HELLO, etc) são encaminhados normalmente, visto que demandam menos recursos desses nós.
- Não existem nós maliciosos, ou seja, nós que fazem ataques ativos contra o protocolo. Assim, podemos garantir a integridade das informações de roteamento, bem como os atributos verificados nas rotas. Os nós não alteram suas identidades, tendo um endereço único e imutável durante toda sua existência na rede.

- Todos os pacotes são transmitidos em broadcast, podendo ser recebido por todos os nós da vizinhança. Essa é uma propriedade inerente das comunicações em meios sem fio.
- Os nós operam em modo promíscuo recebendo todos os pacotes transmitidos por outros nós a seu alcance e podem determinar o endereço de quem originou cada pacote.
- Os enlaces são bidirecionais, permitindo que, ao mesmo tempo que o nó A transmita algo para o nó B, o nó B também possa transmitir para o nó A. Os nós contam com um sistema de vigilância dos nós vizinhos. Assim podem saber se houve ou não descarte de pacotes. Uma sugestão prática e leve é o uso do esquema Watchdog proposto em (Marti; Giuli; Lai; Baker, 2000).

## 6.2. DIMENSÕES DA MÉTRICA SERIQUE & SOUSA

A métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011), que será base para que se encontre uma relação entre alguns parâmetros e a melhoria no desempenho da rede, considera alguns aspectos importantes para o roteamento em ambientes com mobilidade. A métrica se utiliza da atividade dos nós para que se possa saber se há algum nó em modo sleep na rota. Utiliza-se da relação entre taxa de entrega de pacotes com o número de pacotes que descartados pelo nó, para que se saiba se há nós egoísta na rota. A métrica também se utiliza da mobilidade dos nós e, também, do número de saltos em uma rota, para que a rota escolhida pelo mecanismo de escolha de rota seja a mais confiável. Dessa forma têm-se as seguintes dimensões:

Atividade da Rota: esta dimensão visa a avaliar o quanto o nó está participando das atividades da rede. Esse parâmetro foi introduzido como uma tentativa para se contornar problemas com nós em modo sleep, com nós que apresentem defeitos ou com nós que simplesmente se desliguem da rede. A atividade da rota é calculada em relação aos dados de atividade dos demais nós. Com isso, se a rede estiver ociosa, não haverá penalização de rotas com nós inativos. Para calcular a atividade da rota, primeiramente deve ser calculada a atividade de cada nó intermediário. A Equação 1 mostra como fazer o cálculo da atividade do nó.  $Frwd_{data}$  é a quantidade de pacotes de dados encaminhados pelo nó  $i$  e  $Frwd_{routing}$  é a quantidade de pacotes de roteamento encaminhados pelo nó  $i$ . Essa

diferenciação se vale da possibilidade de um nó encaminhar seletivamente apenas um dos tipos de pacotes.

$$Act_i = Frwd_i = Frwd_{data} + Frwd_{routing} \quad (1)$$

Adicionalmente, deve ser calculada a atividade média da rede conforme mostrado na Equação 2, na qual  $N$  é a quantidade de nós da rede e  $Act_i$  é a atividade do nó intermediário  $i$ .

$$Act_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N Act_i}{N} \quad (2)$$

Foram definidos dois limiares para determinar a atividade da rota. O limiar mínimo de atividade  $Act_{low}$  e o limiar máximo de atividade  $Act_{high}$  são calculados conforme as Equações 3 e 4, respectivamente, nas quais  $Act_{min}$  é a atividade do nó menos ativo da rede e  $Act_{max}$  é a atividade do nó mais ativo.

$$Act_{low} = \frac{Act_{avg} + Act_{min}}{2} \quad (3)$$

$$Act_{high} = \frac{Act_{max} - Act_{avg}}{2} \quad (4)$$

Por fim, a atividade da rota  $Act_{path}$  é calculada pela média de atividade dos nós intermediários que participam da rota, conforme mostrado na Equação 5.  $Act_i$  é a atividade do nó  $i$  e  $R$  é quantidade de nós intermediários presentes na rota.

$$Act_{path} = \frac{\sum_{i=1}^R Act_i}{R} \quad (5)$$

Como a dimensão  $Act_{path}$  será um dos critérios usados para compor as regras de decisão, seus valores foram discretizados para evitar o excesso de regras e a perda da capacidade de generalização. Dessa forma, foi adotado que uma rota poderá ter atividade igual a 1 (baixa atividade), 2 (média atividade) ou 3 (baixa atividade), conforme os casos da Equação 6. Por exemplo, uma rota com  $Act_{path} = 1$  será considerada de baixa atividade, pois se aproxima da atividade do nó menos ativo encontrado na rede.

$$Act_{path} = \begin{cases} 1 & \text{se } Act_{path} \leq Act_{low}, \\ 2 & \text{se } Act_{low} < Act_{path} \leq Act_{high}, \\ 3 & \text{se } Act_{path} > Act_{high}. \end{cases} \quad (6)$$

Cooperação da Rota: A cooperação da rota,  $Cop_{path}$ , está associada à chance de sucesso no encaminhamento de pacotes para quem a usa. É um processo puramente estocástico que se baseia na observação do histórico de interações entre os nós. A cooperação da rota é determinada a partir da cooperação dos nós intermediários. A Equação 7 calcula a cooperação  $Cop_i$  do nó  $i$ , sendo que  $Frwd_i$  é a quantidade de pacotes de dados encaminhados pelo nó  $i$  e  $Drop_i$  é a quantidade de pacotes de dados descartados pelo nó  $i$ .

$$Cop_i = \frac{Frwd_i}{Frwd_i + Drop_i} \quad (7)$$

A cooperação da rota  $Cop_{path}$  consiste no produto das probabilidades de encaminhamento de cada nó, conforme mostrado na Equação 8, onde  $C$  é a quantidade de nós intermediários.

$$Cop_{path} = \prod_{i=1}^C Cop_i \quad (8)$$

Os valores de  $Cop_{path}$  também devem ser discretizados, podendo assumir o valor 1 (baixa cooperação), 2 (média cooperação) e 3 (alta cooperação), conforme a Equação 9.

$$C_{op_{path}} = \begin{cases} 1 & \text{se } C_{op_{path}} \leq 0,4, \\ 2 & \text{se } 0,4 < C_{op_{path}} \leq 0,8, \\ 3 & \text{se } C_{op_{path}} > 0,8. \end{cases} \quad (9)$$

Mobilidade da Rota: A mobilidade da rota,  $Mob_{path}$ , pode ser considerada como um indicador de estabilidade dos enlaces. O movimento dos nós traz diversos efeitos indesejados além da própria mudança contínua da topologia, tais como: quebra de enlaces, ruídos e atenuações nos sinais, problemas de terminal exposto e de terminal escondido e outros. Uma rota mais estática oferece melhores condições para o tráfego de pacotes, além de maior previsibilidade. Para calcular a mobilidade da rota, primeiramente, deve ser obtida a velocidade dos nós intermediários  $Spd_i$ , mostrada na Equação 10, na qual  $\Delta d_i$  é a variação da distância do nó  $i$  e  $\Delta t$  é o tempo gasto no trajeto.

$$Spd_i = \frac{\Delta d_i}{\Delta t} \quad (10)$$

A mobilidade da rota é a média das velocidades dos nós intermediários que participam da rota. A Equação 11 denota o calculo da mobilidade da rota  $Mob_{path}$ , na qual  $C$  é a quantidade de nós intermediários.

$$Mob_{path} = \frac{\sum_{i=1}^C Spd_i}{N} \quad (11)$$

Como nas dimensões anteriores, os valores devem ser discretizados conforme a Equação 12 para o cálculo de  $Mob_{path}$ . Os limiares de 1 e 2 m/s foram pensados para um ambiente urbano conforme as sugestões obtidas em (Knoblauch; Pietrucha; Nitzburg, 1996).

$$Mob_{path} = \begin{cases} 1 & \text{se } Mob_{path} \leq 1 \text{ m/s}, \\ 2 & \text{se } 1 \text{ m/s} < Mob_{path} \leq 2 \text{ m/s}, \\ 3 & \text{se } Mob_{path} > 2 \text{ m/s}. \end{cases} \quad (12)$$

Distância da Rota: este parâmetro que compõe mais uma dimensão da métrica é representado, para fins de cálculo, pelo  $Dst_{path}$ , que representa a distância do nó origem



até o nó destino. Essa medida pode influenciar na confiança da rota, pois quanto mais saltos, maior a probabilidade de ocorrerem falhas, pois se levando em consideração que todos os nós têm a mesma chance, ao menos em teoria, de estarem sujeitos a certas condições que os impeça de se comunicar com os demais nós, a chance de que falhas aconteçam aumenta à medida que se aumenta a quantidade de nós na rota. A Equação 13 mostra o cálculo do número de saltos  $Dst_{path}$  a partir do número  $M$  de nós envolvidos na comunicação, incluindo a origem e o destino.

$$Dst_{path} = M - 1 \quad (13)$$

Como dito, essas são as dimensões da métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011), entretanto neste trabalho visa-se a apresentar outra métrica como solução para as imprecisões e baixo desempenho da métrica em algumas situações. Entretanto, cabe-se ressaltar que, apesar de se ter outra métrica, as dimensões trabalhadas serão as mesmas. Dessa forma não há que se fazer maiores comentários no que diz respeito às dimensões.

### 6.3. COLETA DE INFORMAÇÕES NA REDE

As coletas foram realizadas conforme mostrado nos esquemas da Figura 6.1. As linhas superiores das tabelas denotam as coletas por meio de sobrecarga do campo Source Route, e as linhas inferiores, as coletas por monitoramento passivo. As notações  $act(i)$  e  $cop(i)$  se referem aos valores das medidas  $Act_i$  e  $Cop_i$  do nó  $i$ , respectivamente. Vale ressaltar que as medidas de um nó  $i$  podem ter valores distintos nos diferentes nós, pois as coletas dependem do posicionamento na rede.

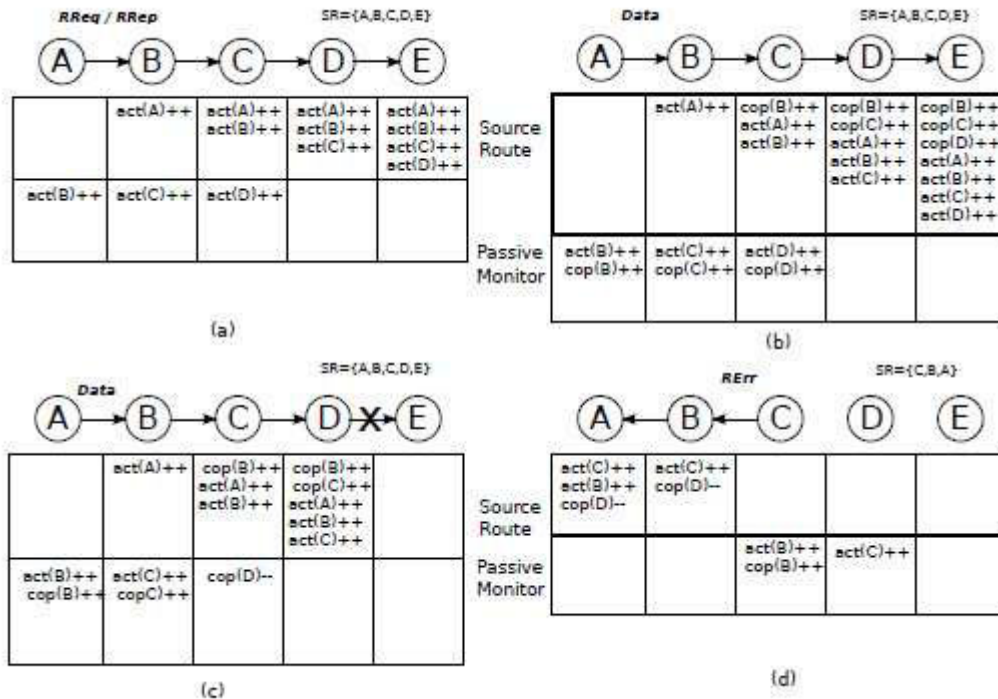


Figura 6.1 – Coleta de dados na rede

No esquema (a) da Figura 6.1, mensagens RREQ ou RREP são encaminhadas pelos nós. Como o Source Route acumula os endereços dos nós por onde o pacote passou, o próximo nó pode incrementar os valores de atividade  $Act_i$  de todos os nós relacionados na rota, pois pode inferir que tais nós encaminharam as mensagens corretamente. Paralelamente, por meio de monitoramento passivo das transmissões de pacotes em broadcast, o nó anterior pode vigiar o seguinte e, em caso positivo, incrementar o seu valor de atividade. No esquema (b), os nós encaminham pacotes de dados. Com a mesma análise anterior, os nós podem inferir sobre a cooperação  $Cop_i$  e sobre a atividade  $Act_i$  dos demais nós do caminho. No esquema (c), o nó C pode decrementar os valores de cooperação do nó D por monitoramento passivo. Após isso, no esquema (d), o nó C enviará uma mensagem de RERR ao nó de origem A. Assim, os demais nós poderão decrementar os valores de cooperação do nó D.

Vale ressaltar que os nós próximos, que não participam da comunicação, poderão fazer as mesmas atualizações, visto que as mensagens trafegam sempre em broadcast. Vale ressaltar que os pacotes também carregam as informações de velocidade dos nós que os encaminham. Dessa forma, os nós presentes no Source Route e os seus vizinhos poderão

manter as velocidades  $Spd_i$  dos demais nós. As distâncias das rotas também podem ser capturadas em todos os pacotes, visto que sempre acumulam a quantidade de saltos.

Um último dado de suma importância é o resultado dos roteamentos que também podem ser monitorados passivamente. Quando o nó D recebe um pacote que passou por A, B e C, pode concluir que a rota A-B-C que é acumulada no pacote foi bem-sucedida. Da mesma forma, quando o nó D encaminhar o pacote para o nó E, o nó C poderá escutar a transmissão e considerar a rota A-B-C-D como bem-sucedida, e assim por diante. No caso de falhas, os nós que escutam o RERR podem considerar a rota acumulada como malsucedidas.

#### **6.4. PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO**

A Tabela 6.1 reúne os parâmetros usados nos dois experimentos realizados para testar a métrica Serique & Sousa. O Experimento I, que foi o experimento balizador para todos os outros, analisou o desempenho da métrica por um tempo mais longo e com a presença concomitante de nós egoístas e nós em modo sleep com velocidades entre 0 e 5 m/s. O Experimento II analisou separadamente o impacto de cada dimensão da métrica (i.e., egoísmo, modo sleep e mobilidade), a fim de comparar o desempenho da métrica em cada caso. Para cada cenário, do Experimento II, foram realizadas 10 simulações com diferentes topologias iniciais. Os resultados observados foram as médias das taxas de entrega de pacotes com sucesso na rede como um todo. Cabe ressaltar que no Experimento II, as velocidades foram fixadas em 2 m/s, nas análises dos nós egoístas e nós em modo sleep, a fim de gerar certa mobilidade na rede.

Tabela 6.1 – Parâmetros da simulação para o teste da métrica SERIQUE & SOUSA

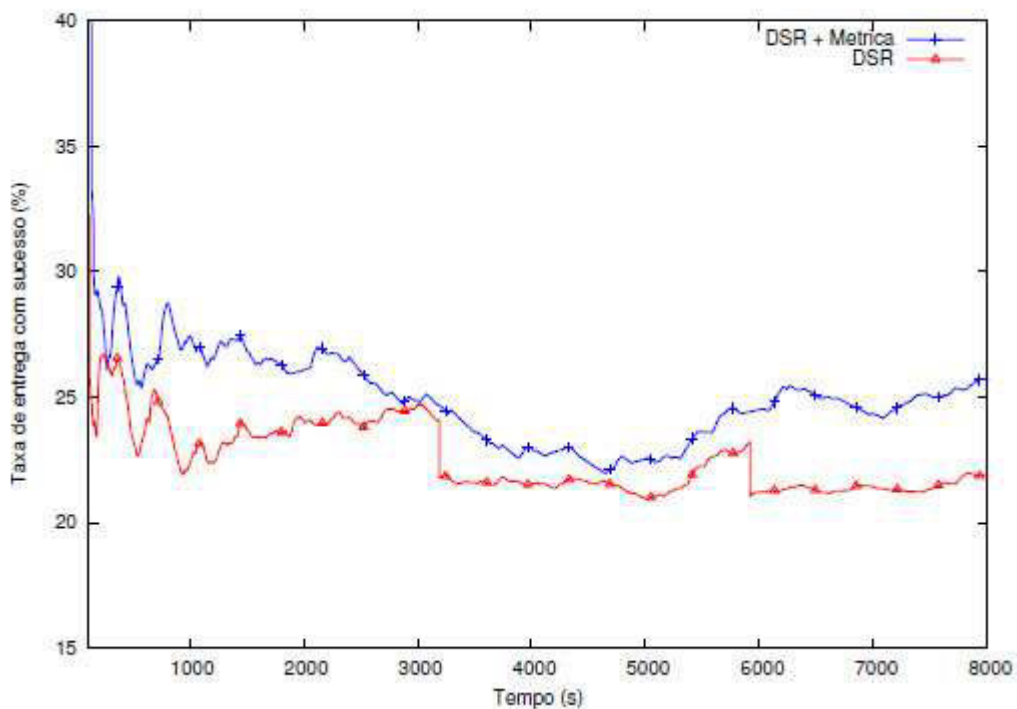
Parâmetro	Experimento I	Experimento II
Tempo de simulação	8000 s	600 s
Expiração das regras	500 s	500 s
Dimensões do terreno	1000 x 1000 m	1000 x 1000 m
Número de nós da rede	100	100
Número de nós egoístas	20	0 a 50
Número de nós sleep	30	0 a 50
Permanência em <i>sleep</i>	60 s	60 s
Posicionamento inicial	<i>Random</i>	<i>Random</i>
Modelo de mobilidade	<i>Random-Waypoint</i>	<i>Random-Waypoint</i>
Velocidade dos nós	0 a 5 m/s	0 a 10 m/s
Pausa de percurso	20 s	20 s
Potência de rádio	6.0 dBm	6.0 dBm
Ganho da antena	0 dB	0 dB
Protocolo MAC	802.11	802.11
Protocolo de roteamento	DSR [+ Métrica]	DSR [+ Métrica]
Aplicação de teste	CBR	CBR

## 6.5. RESULTADOS DO TESTE DA MÉTRICA SERIQUE & SOUSA

Antes de serem apresentados os resultados, algumas considerações devem ser feitas. Deve-se levar em consideração que no experimento II foi estabelecido mais de um cenário. Primeiramente variou-se o parâmetro velocidade, depois o parâmetro nós em modo sleep e por último o parâmetro nós egoístas. Cabe-se ressaltar que no momento em que se variou o número de nós em modo sleep e quando se variou o número de nós egoístas, manteve-se a velocidade de todos os nós em 2 m/s. Não menos importante é deixar claro que, no momento em que se variou o número de nós egoístas, não havia nenhum nó em modo

sleep, assim como, quando se variou o número de nós em modo sleep, não havia nenhum nó egoísta dentro da rede.

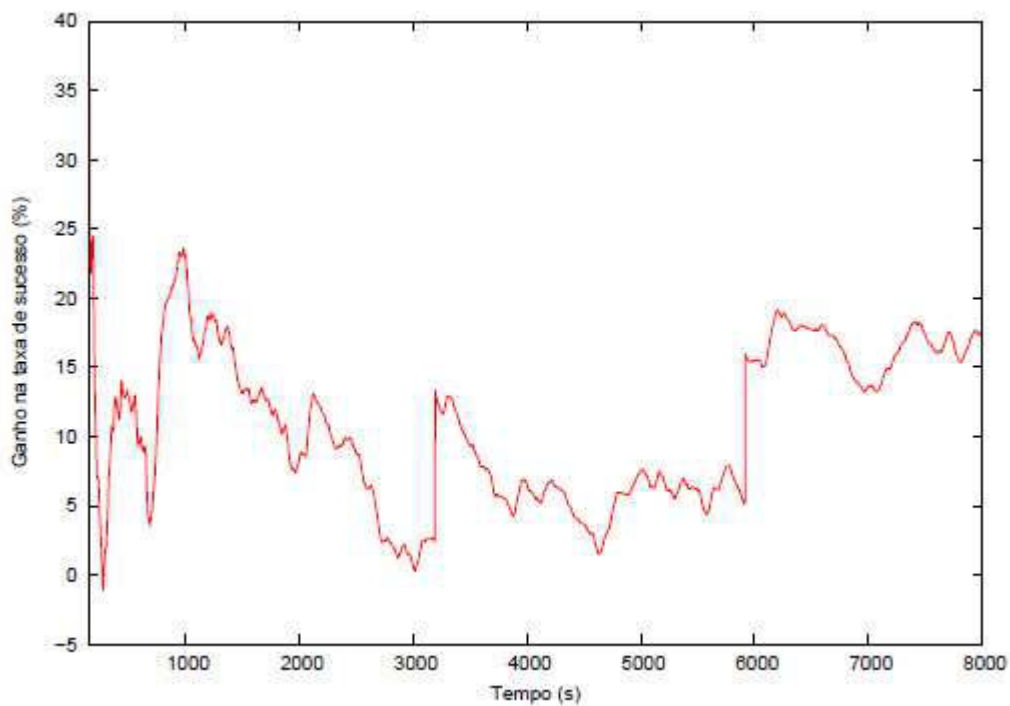
Passa-se, agora, à análise, propriamente dita, dos resultados obtidos com a utilização da métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011). Na Figura 6.1, pode-se notar claramente a melhora significativa na entrega com sucesso de pacotes. Nota-se que a métrica representa, realmente, uma melhoria, pois a menor taxa de entrega de pacotes não foi inferior, em quase nenhum momento, ao alcançado pelo protocolo sem a utilização da métrica. Apesar de ter sido dito que a métrica não foi inferior ao protocolo sem a utilização da métrica em quase nenhum momento, não se pode afirmar que a métrica foi superior ao protocolo de forma individual em todos os parâmetros, o que a informação diz é que a métrica teve uma maior taxa de entrega com sucesso de pacotes e esta será o principal parâmetro a ser analisado neste trabalho.



**Figura 6.1 – Comparação da taxa de entrega entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica**

No caso da métrica em análise por este trabalho, há poucos casos em que o somatório das melhorias efetuadas nas diferentes dimensões resulta em um desempenho inferior ao do

protocolo sem a utilização da métrica, como já foi dito. Além disso, apesar de se mostrar apenas o desempenho da métrica no que diz respeito à taxa de entrega de pacotes com sucesso, que é o parâmetro que se visa a melhorar com a utilização da métrica, outros parâmetros também foram analisados e se constatou que houve uma melhora destes também, como é o caso do atraso no envio de pacotes. Este resultado foi alcançado graças à utilização do monitoramento passivo e da prova por sobrecarga que são dois mecanismos que não necessitam de pacotes adicionais para a obtenção das informações que fazem uso e que são a base do mecanismo de coleta de informações utilizado no teste da métrica. Na Figura 6.2 pode-se ver melhor a diferença no desempenho das duas métricas, a Figura 6.2 mostra o gráfico contendo apenas o ganho na taxa de entrega de pacotes realizada com sucesso. Nela fica claro o bom desempenho da métrica em relação ao caso em que esta não é utilizada.



**Figura 6.2 - Ganho na taxa de entrega de pacotes**

Realizou-se, também, como visto, outro experimento no qual se desejava analisar a melhora que cada dimensão agrega para que se tenha o resultado final gerado pela métrica. Os resultados estão nas figuras que mostram respectivamente as consequências da

alteração da média da velocidade sem que haja nós egoístas ou nós em modo sleep, as consequências da alteração no número de nós em modo sleep e a consequência variação do número de nós egoístas.

Na Figura 6.3 percebe-se que houve uma melhora no desempenho em quase todos os momentos quando se altera apenas as velocidades dos nós. Cabe-se ressaltar, que quando a velocidade dos nós estava em zero, o desempenho da rede era muito inferior quando comparado ao desempenho quando se tem a velocidade dos nós variando de 0 a 1 m/s. Isto ocorre pois a simulação se deu em um espaço muito grande e a mobilidade, apesar de muitas vezes reduzir o desempenho, neste caso faz com que mais nós sejam alcançados, propiciando um melhor desempenho da rede. Merece atenção, também, o fato de se ter tido um desempenho superior da métrica quando não se tinha mobilidade. Este é consequência do fato de que a métrica não foi completamente deixada de lado, pois o nível de atividade dos nós, apesar de não se ter nenhum nó em modo sleep na rede, continua sendo medido e isto fez com que se utilizassem as rotas com maior atividade o que é um indício de que estas estão funcionando bem e, por isso, são uma boa opção de rota.

Apesar da melhora com relação à taxa de entrega com sucesso não ter sido muito significativa, isto não quer dizer que métrica não foi exitosa. Diferentemente do que ocorreu com as taxas de entrega com sucesso, o atraso foi reduzido significativamente para algumas velocidades. Isto significa que a métrica foi bem-sucedida em seu propósito, pois métricas de mobilidade têm como propósito utilizar rotas com maior estabilidade e se houve um menor atraso é consequência de que as rotas se mantiveram estáveis e não houve muitas quebras de enlace. Há que se ressaltar, entretanto, que a melhora nos atrasos se restringiu aos casos em que a velocidade ficou limitada a certo valor, não se podendo afirmar que a métrica teve atrasos menores para todas as velocidades. A partir de certa velocidade os atrasos começaram a ser maiores que aqueles resultados da utilização da métrica.

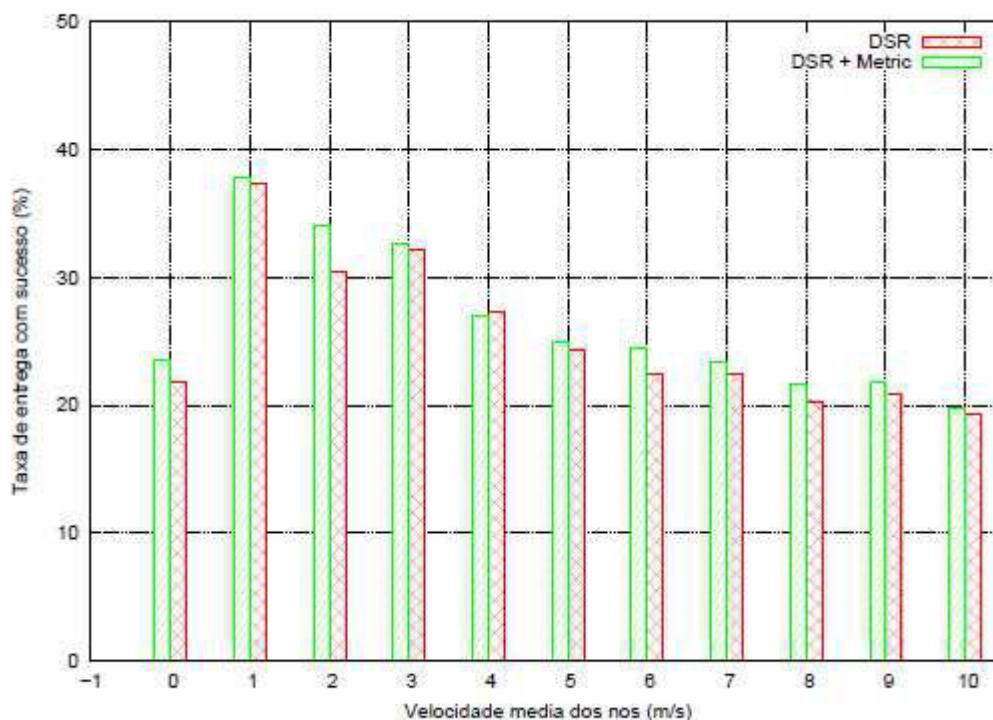
A Tabela 6.2 mostra os atrasos médios para cinco casos do gráfico da Figura 6.3. Como foi dito, o atraso foi reduzido de forma significativa para alguns casos. Isto mostra, que apesar da velocidade ser um fator importante para que se tenham atrasos menores, há que se utilizar desta de forma moderada, tentando-se utilizar rotas que têm uma maior estabilidade dentro de um cenário com mobilidade. A velocidade, como pode ser

constatado pela tabela, auxilia a formação de novas rotas e à medida que se tem um aumento de velocidade é esperado que se tenha, também, uma diminuição do atraso, mas o aumento não pode ser muito grande, pois há uma limitação da intensidade de sinal, que juntamente com uma alta mobilidade torna impraticável a comunicação na rede.

Esta restrição da melhoria a algumas velocidades ocorreu, pois a métrica considerou como velocidade limite 2 m/s e todas as rotas que tiverem velocidade média acima deste limite terão a elas atribuído o valor que resulta na menor preferência na escolha das rotas. Isto significa que caso se estivesse trabalhando com velocidades que pudessem variar até 5 m/s, o que faz com que se tenha uma grande variação de velocidades além daquele limite de 2 m/s, todas as rotas que ultrapassassem esse valor receberiam o mesmo valor para que se pudesse fazer a classificação. Dessa forma, como se têm muitos nós com a velocidade acima do limite estabelecido, é muito provável que se tenham rotas com velocidades acima deste limite também e a métrica não fará diferença entre rotas podem ter velocidades muito diferentes uma das outras. Por exemplo, a métrica não fará diferença entre uma rota com velocidade média de 2 m/s e uma rota com velocidade média de 4 m/s, entretanto estas duas rotas são bem diferentes no que diz respeito à mobilidade.

Portanto, o que se pode concluir é que a métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011), não estabelece valores dinâmicos para os limites que servem de parâmetro para a atribuição de valores que serão a base do mecanismo de escolha de rotas. Isto faz com que a métrica seja superior a sua não utilização apenas em alguns casos nos quais a métrica consegue trabalhar com todo o cenário. Nesse contexto, é importante que se note na Figura 6.3, que o melhor resultado da métrica foi melhor quando se tinha a velocidade máxima de 2 m/s, o que fez com que a métrica pudesse classificar todas as rotas de forma a diferenciá-las.





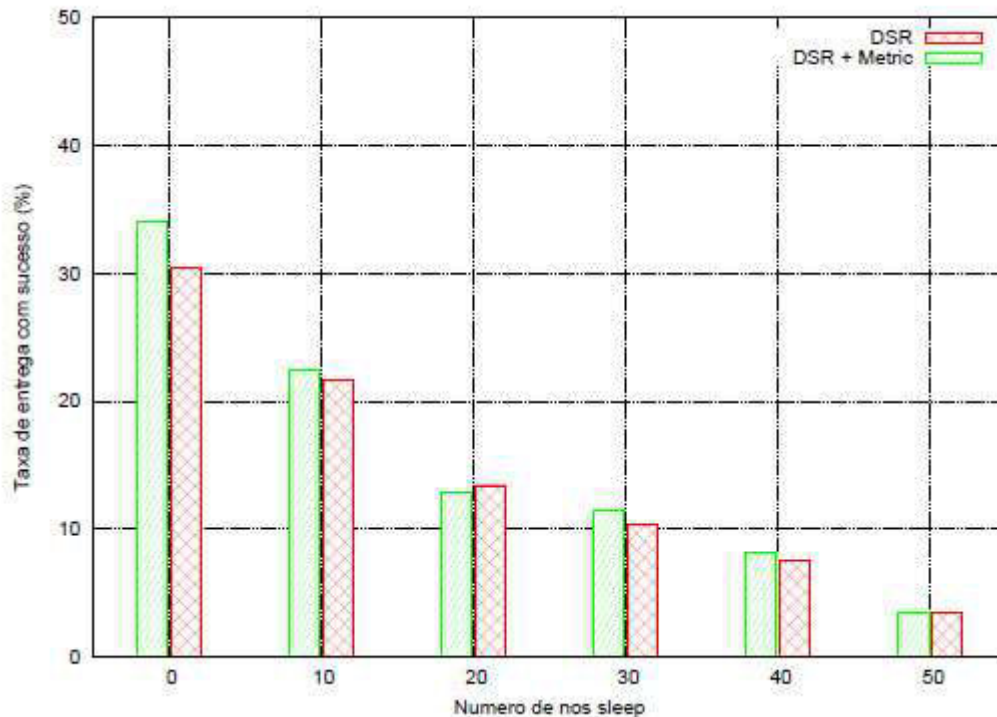
**Figura 6.3 - Comparação entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica, variando-se apenas a velocidade**

**Tabela 6.2 - Atraso médio**

Velocidades médias dos nós	1	2	3	4	5
Atraso médio DSR	4.8	3.55	2.62	2.26	1.86
Atraso médio DSR + metric	2.24	2.86	1.4	1.65	3.26

O que se propõe é que a velocidade estabelecida como limiar seja calculada levando-se em consideração a velocidade média dos nós da rede. Dessa forma, a métrica irá se adaptar melhor a condição de cada rede. Percebe-se, pela Tabela 6.2, que a métrica, realmente, começa a ter dificuldades quando se aumenta a faixa de variação das velocidades. Sem o uso da métrica há uma queda gradativa dos atrasos, enquanto com a utilização da métrica há muitas variações e um início de aumento.

A Figura 6.4 mostra o comportamento da métrica quando se tem apenas nós em modo sleep na rede. Houve uma pequena melhora como pode ser visto.



**Figura 6.4 - Comparação entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica, variando-se apenas o número de nós em modo sleep**

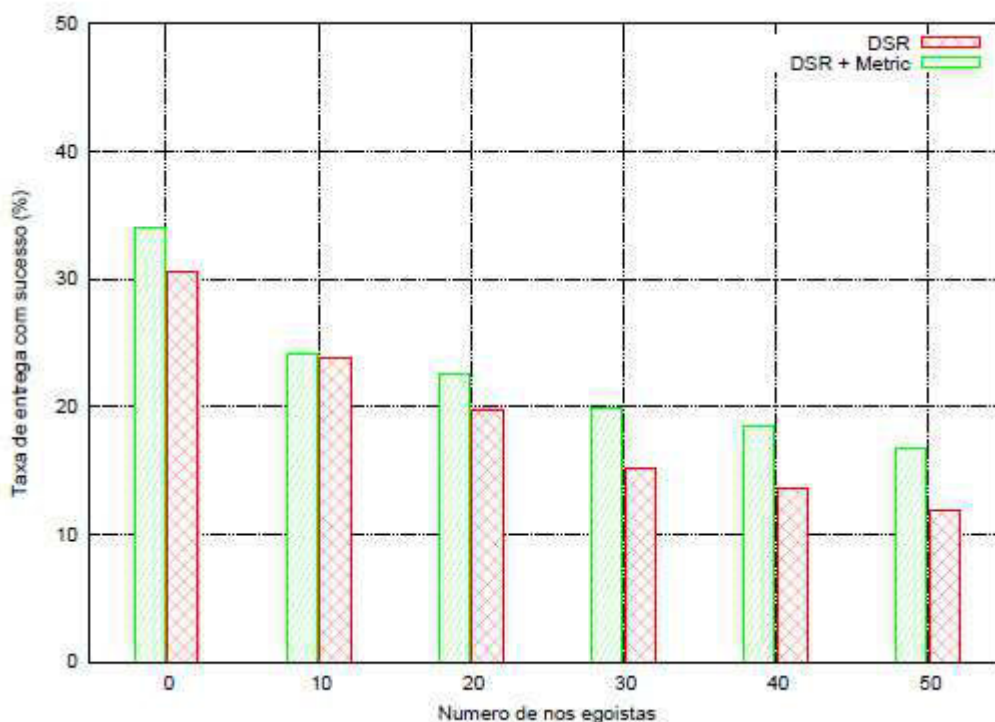
Uma consideração que se deve fazer em relação à Figura 6.4 é que nos casos nos quais há um grande número de nós em modo sleep, como quando se tem 40 e 50 nós em modo sleep, era esperado que houvesse uma melhora muito pequena, pois a rede está com muitos nós em modo sleep, o que faz com que seja muito complicado se ter uma rota em que não haja um nó que esteja em modo sleep. Outro fator, que torna ainda mais complicado o funcionamento da rede quando se têm muitos nós em modo sleep, é que os nós quando estão no modo sleep não ajudam nem no roteamento, diferentemente dos nós egoístas, que apesar de não enviarem os pacotes para seus destinos, participam do roteamento e enviam os pacotes referentes a esta atividade.

Tem-se, portanto, que a métrica influenciou muito pouco a taxa de entrega de pacotes com sucesso rede. A melhoria que se vê é quando não se tem nenhum nó em modo sleep, o que faz com que apenas a dimensão da mobilidade seja utilizada. Esta pequena influência da métrica para o caso em que se tem nós em modo sleep se deve ao fato de que os mecanismos do próprio protocolo já são capazes de perceber que um nó está em modo sleep, utilizando-se dos mecanismos do Route Maintenance.

Outro fato importante é que esta métrica faz com que se sobrecarreguem rotas mais ativas e que, por isso, devam ser evitadas visando um equilíbrio da rede. Dessa forma, deve-se levar em consideração na elaboração da métrica o equilíbrio na utilização da rede, pois não se pode tornar uma rota primeira opção de escolha, por esta ter um bom nível de atividade e fazer com que mais nós a utilizem, pois isto irá gerar uma sobrecarga e a rota acabará se tornando uma armadilha, pois será considerada uma boa opção para o protocolo, mas, de fato, esta rota não estará disponível. Uma solução é estabelecer um limite máximo que não deverá ser ultrapassado, caso este limite de atividade seja ultrapassado, a rota deverá ser classificada com outros valores para que esta não se torne mais prioridade na escolha das rotas.

Para que se consiga identificar quais nós estão em modo sleep, a métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011) deve ser utilizada somente em casos em que se tenham altos tráfegos na rede, pois nestes casos os nós que não estiverem participando da comunicação têm grandes chances de serem nós que operam em modo sleep. Caso não se tenha um tráfego muito alto, alguns nós, apesar de não estarem em modo sleep, serão considerados como tais pelo fato de, por algum motivo, não estarem participando da comunicação da rede. Muitas vezes o motivo de alguns não estarem participando da comunicação está ligado a sua localização na rede.

O terceiro e último caso a ser analisado é caso em que se varia apenas o número de nós egoístas e mantendo-se a velocidade em 2 m/s. Este talvez o caso mais complicado de lidar, pelo fato de o comportamento dos nós não poder ser previsto pelos mecanismos de roteamento, pois não há uma quebra de enlace que indique que aquela rota não pode mais ser escolhida. O que ocorre é que os nós participam do roteamento, mas não encaminham os pacotes que recebem. Entretanto, neste caso a métrica foi assertiva e trouxe melhoras significativas na taxa de entrega de pacotes com sucesso, como pode ser visto na Figura 6.5.



**Figura 6.5 - Comparação entre o protocolo DSR sem utilização da métrica e o protocolo DSR com a utilização da métrica, variando-se apenas o número de nós egoístas**

Percebe-se que houve uma melhora significativa quando o número de nós egoístas aumentou. Isto se deve ao fato de que quando se tem um número muito grande de nós egoístas nas redes, fica muito complicado para o protocolo encontrar rotas que não tenham nós egoístas, pois estes estão presentes na rede em grande quantidade, como dito, e o protocolo não tem nenhum mecanismo, mesmo que de menor desempenho, para evitar tais rotas.

Portanto, a métrica se destaca quando se tem um número muito pequeno de nós que não tem comportamento egoísta. Este fato, quando analisado de outro ângulo, explica a melhora tão significativa no Experimento I, pois apesar de se terem apenas 20 nós egoístas, há 30 nós em modo sleep. Isto faz com que se tenha utilizar os nós restantes que continuam sendo 50, que é quase a mesma quantidade que se tem no caso comentado anteriormente. A diferença é que no caso citado, apesar da quantidade de nós remanescentes ser a mesma, os outros são uma parte egoísta e outra nós em modo sleep.

Graças aos bons resultados conseguidos pela dimensão da métrica que se baseia no comportamento dos nós egoístas, esta foi mantida, assim como a dimensão do número de saltos, como parte da métrica proposta por este trabalho.

## 7.0. PROPOSTA E AVALIAÇÃO DA MÉTRICA YC

Levando-se em consideração os comentários e as propostas feitas até esse momento, foi elaborada uma métrica que tem como propósito suprir as imprecisões da métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011). A métrica proposta é a seguinte.

No que diz respeito à dimensão da mobilidade, a métrica proposta por este trabalho cria mais duas variáveis,  $Mob_{cache}$  e  $Mob_{med}$ , que têm como função fazer com que se conheça melhor a velocidade dos nós da rede, para que se possam estabelecer limites de velocidade coerentes com a mobilidade de cada rede e, dessa forma, se faça uma melhor atribuição de valores a cada rota.

$$Mob_{cache} = \sum_1^v \frac{Mob_{path_v}}{V} \quad (14)$$

$$Mob_{med} = \sum_1^m \frac{Mob_{cachem}}{M} \quad (15)$$

A  $Mob_{cache}$  faz a média das velocidades médias de cada disponível no cache de rotas e representadas por  $Mob_{path}$ . Dessa forma, tem-se conhecimento da média das velocidades das rotas, mas não de toda a rede e sim daquelas que já se conhece e que, por isso, estão no cache de rotas. Isto faz com se tenha uma ideia um pouco melhor da velocidade dos nós na rede.

A  $Mob_{med}$  é uma forma dos nós terem uma ideia ainda melhor do comportamento da velocidade na rede trocando informações entre si. Esta variável faz a média dos valores encontrados para o  $Mob_{cache}$  em cada nó, para tanto há a necessidade que os valores encontrados para o  $Mob_{cache}$  sejam repassados a outros nós à medida que a informação vai passando na rota, o que faz com que à medida que se vai aumentando a interação entre os nós, cada nó vá conhecendo mais sobre a velocidade na rede. Com a  $Mob_{med}$  se tem

praticamente uma média das velocidades dos nós da rede, pois esta é média que representa muito bem o comportamento dos na rede como um todo.

A partir dessas duas novas variáveis pode-se estabelecer limites mais coerentes para a classificação de cada rota. Estes limites serão mais coerentes, pois levarão em consideração a mobilidade da rede e, por isso, farão com que a métrica possa classificar todas as rotas de forma a diferenciá-las.

$$Mob = \begin{cases} 1 & \text{se } Mob_{path} < Mob_{med} - \sigma \\ 2 & \text{se } Mob_{med} - \sigma \leq Mob_{path} < Mob_{med} + \sigma \\ 3 & \text{se } Mob_{path} \geq Mob_{med} + \sigma \end{cases} \quad (16)$$

Nota-se, pela equação acima, que se fez uso da figura do desvio padrão, pois este é muito importante para que se conheça melhor a forma de distribuição dos valores que resultaram na média. Muitas distribuições podem levar a uma mesma média, porém as distribuições podem ser muito diferentes. Por isso, torna-se importante a figura do desvio padrão, pois este passa uma ideia da distribuição dos valores e com isso pode-se chegar a um valor para os limiares que delimitam esta distribuição.

Na dimensão da atividade de cada nó, para que se possa ter uma melhora no desempenho da métrica, deve-se fazer com que esta leve em consideração duas questões importantes. Uma é o equilíbrio da rede, que faz com que se distribua o tráfego na rede de forma que não haja uma sobrecarga de certas rotas em comparação com outras, distribuir o tráfego faz com que se utilizem rotas com maior chance de estarem disponíveis e isto faz com que não se sobrecarregue de atividades apenas alguns nós da rede. A segunda questão é que a métrica deve saber diferenciar melhor quais nós estão de fato em modo sleep e quais nós têm pequena atividade pelo fato de não estarem, de alguma forma, participando da comunicação na rede.

Levando-se em consideração os comentários e as propostas feitas, elaborou-se uma nova métrica para tentar suprir as imprecisões da métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011) na dimensão da atividade de cada nó da rede. A métrica é a seguinte.

$$Act_{nbr} = \sum_1^y \frac{Act_i}{Y} \quad (17)$$

$$Act_{node} = \begin{cases} 1 & \text{se } Act_i < Act_{nbr} - \sigma_{nbr} \\ 2 & \text{se } Act_{nbr} - \sigma_{nbr} \leq Act_i < Act_{nbr} + \sigma_{nbr} \\ 3 & \text{se } Act_i \geq Act_{nbr} + \sigma_{nbr} \end{cases} \quad (18)$$

$$Act_{rote} = \begin{cases} 1 & \text{se mais de um nó da rota tem } Act_{node} = 1 \\ 2 & \text{se somente um nó da rota tem } Act_{node} = 1 \\ 3 & \text{se nenhum nó da rota tem } Act_{node} = 1 \end{cases} \quad (19)$$

Primeiro, tratou-se de cuidar da questão de se diferenciarem os nós que estão em modo sleep daqueles que não estão participando da comunicação por outros motivos. Para tanto, criou-se três novas variáveis,  $Act_{nbr}$ ,  $Act_{node}$  e  $Act_{rote}$ . Estas três variáveis têm como propósito fazer com que saiba quais nós estão em modo sleep. Para isso, a métrica não fez uma análise da atividade por meio do somatório da atividade da rota, pois, dessa forma, a soma da atividade de um nó muito ativo com a de um nó com atividade pequena pode passar a impressão de que não há nós em modo sleep na rota. Nenhum somente

Para analisar a atividade de forma individual, a métrica comparou a atividade dos nós com a dos seus vizinhos. Dessa forma, diferentemente do que ocorre quando se compara a atividade com a dos nós de uma mesma rota, pode-se ter uma ideia se está havendo uma distribuição desequilibrada do tráfego e se isto está fazendo com que se tenha uma menor atividade de alguns nós. Portanto, se um nó tem a atividade menor que a de seus vizinhos é bem provável que ele esteja em modo sleep, pois a interação dos nós com seus vizinhos é sempre muito grande e se há um desequilíbrio nesta relação, algo pode estar acontecendo com um dos nós e este algo pode ser a presença de nós em modo sleep.

Portanto, passando-se para análise das variáveis tem-se que  $Act_{nbr}$  é média da atividade dos nós vizinhos a um determinado nó. Com isso, cria-se um parâmetro de comparação para atividade dos nós que será a base para a atribuição de valores na variável  $Act_{node}$ .  $Act_{node}$  é resultado da comparação da atividade do nó com a de seus vizinhos. Caso a atividade seja muito menor que a dos vizinhos, isto será considerado como um indício de



que determinado nó está em modo sleep. Já a variável  $Act_{rote}$  faz a atribuição de valores que vão de 1 a 3, sendo 3 o melhor caso, para que se saiba se uma rota é confiável. Como dito, diferentemente do que ocorre na métrica proposta por (Serique; Sousa, 2011), a métrica YC faz a atribuição de valores para as rotas levando-se em consideração a atividade de cada nó de forma individual e não por somatório, dessa forma, uma rota que tem um nó que provavelmente está em modo sleep será evitada, pois apenas um nó é capaz de comprometer toda a rota. Portanto, quanto maior for o número de nós que provavelmente estão em modo sleep e que, por isso, têm  $Act_{node} = 1$ , menor será o valor atribuído a ele no  $Act_{rote}$ , o que fará com que rota não seja escolhida de forma preferencial frente as outras.

Nota-se, pela equação, que se fez uso, novamente, da figura do desvio padrão, pois este é muito importante para que se conheça melhor a forma de distribuição dos valores que resultaram na média. Muitas distribuições podem levar a uma mesma média, porém as distribuições podem ser muito diferentes. Por isso, torna-se importante a figura do desvio padrão, pois este passa uma ideia da distribuição dos valores e com isso pode-se chegar a um valor para os limiares que delimitam esta distribuição.

Como dito anteriormente, duas questões importantes tinham que ser levadas consideração, a uma delas já foi dada uma resposta, porém a questão que trata do equilíbrio da rede continua sem resposta até agora. Entretanto, com equação que se segue, pretende-se melhorar o equilíbrio da rede. Para isto, utilizou-se de variáveis já estabelecidas por (Serique; Sousa, 2011) para se criar a variável  $Act_{blc}$  que tem como propósito verificar se determinada rota tem a atividade menor ou maior que a média, para que se possa fazer uma classificação e dessa forma se fazer a distribuição do tráfego.

$$Act_{blc} = \begin{cases} 1 & \text{se } Act_{path} < Act_{avg} - \sigma_{avg} \\ 2 & \text{se } Act_{avg} - \sigma_{avg} \leq Act_{path} \leq Act_{avg} + \sigma_{avg} \\ 3 & \text{se } Act_{path} \geq Act_{avg} + \sigma_{avg} \end{cases} \quad (20)$$

Elaborada a métrica, fez-se mais um experimento, o Experimento III, com o intuito de se comprovar a validade da métrica YC. O experimento seguiu os mesmo moldes dos experimentos feitos para se testar a métrica Serique & Sousa e para se fazer a simulação seguiu-se os parâmetros expostos na Tabela 7.1 a seguir.

Tabela 7.1 – Parâmetros da simulação para o teste da métrica YC

Parâmetro	Experimento III
Tempo de simulação	8000 s
Expiração das regras	500 s
Dimensões do terreno	1000 x 1000 m
Número de nós da rede	100
Número de nós egoístas	20
Número de nós sleep	30
Permanência em <i>sleep</i>	60 s
Posicionamento inicial	<i>Random</i>
Modelo de mobilidade	<i>Random-Waypoint</i>
Velocidade dos nós	0 a 5 m/s
Pausa de percurso	20 s
Potência de rádio	6.0 dBm
Ganho da antena	0 dB
Protocolo MAC	802.11
Protocolo de roteamento	DSR [+ Métrica]
Aplicação de teste	CBR

Os resultados do experimento seguem na Figura 7.1 e mostram que a métrica YC teve um desempenho superior tanto ao da métrica adotada pelo protocolo DSR, como ao da métrica Serique & Sousa. No que diz respeito à métrica Serique & Sousa, pode-se notar que a métrica YC teve pontos em que se teve uma melhora de quase 15% com relação a esta, mas o mais importante é que a métrica YC teve um desempenho mais regular. A métrica Serique & Sousa teve picos em que foi muito melhor que a métrica do protocolo DSR, entretanto em quase todo o tempo da simulação a métrica foi somente um pouco melhor

que a métrica do protocolo DSR, como pode ser visto na Figura 6.1. Já a métrica YC foi mais regular e, apesar de ter tido uma melhora que em valores máximos se aproximou da métrica Serique & Sousa, a métrica YC foi melhor que esta métrica em quase todo o tempo de simulação em valores significativos que giraram em torno de 15%. Deve-se levar em consideração que a métrica Serique & Sousa é muito menos versátil e o desempenho encontrado na Figura 6.1, provavelmente, não será encontrado em outros cenários.

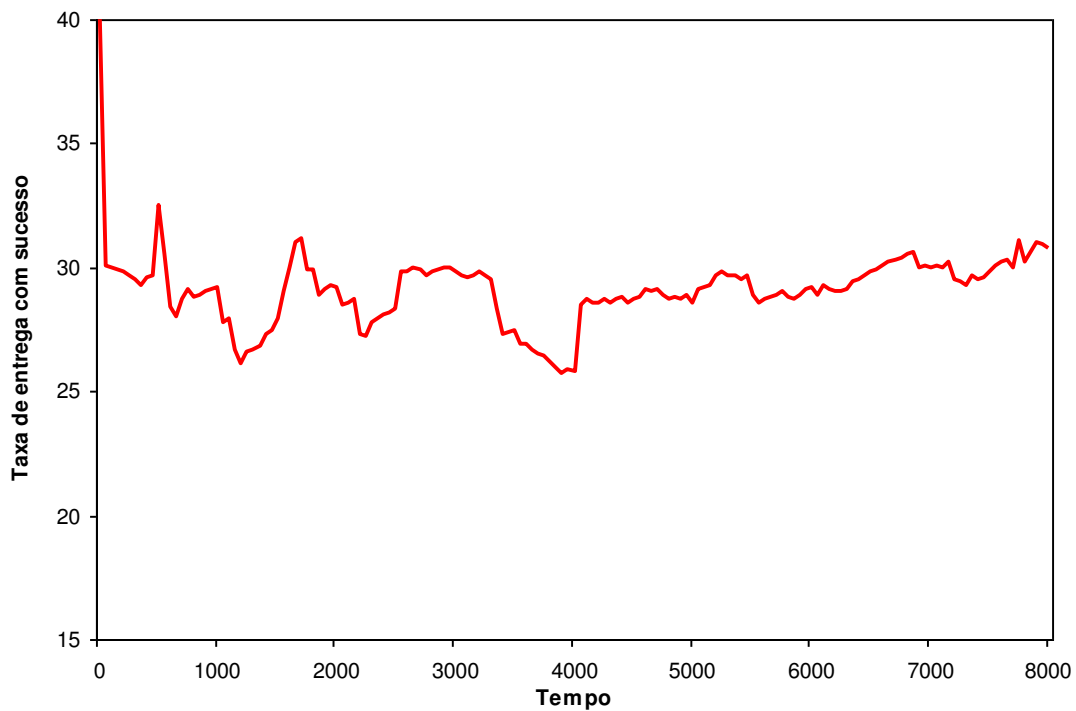


Figura 7.1 – Resultados da taxa de entrega com sucesso para a métrica proposta

## 8.0. CONCLUSÕES

A maioria dos protocolos projetados para as redes ad hoc consideram apenas o número de saltos e o estado dos enlaces, ou seja, caso exista mais de um caminho ativo até o destino, escolhem o mais curto, sem avaliar se os nós intermediários são bons candidatos para o repasse de pacotes. Para aumentar o desempenho no roteamento, os protocolos devem aprimorar suas decisões sobre as rotas por meio da observação de mais variáveis, evitando, assim, que os pacotes passem por caminhos tendentes a falhas. Essa tarefa é complexa em ambientes com mobilidade, pois os protocolos devem lidar com uma grande quantidade de informações incompletas e voláteis, o que exige constante adaptação do algoritmo.

A métrica multidimensional proposta neste trabalho se mostrou promissora para a melhoria do desempenho no roteamento em um cenário com problemas de mobilidade, propagação e cooperação. Os resultados obtidos demonstraram que houve incremento de mais de 30 % no desempenho da rede quando sujeita aos problemas como o egoísmo e o modo sleep quando comparada ao protocolo padrão do DSR e de quase 15% quando comparada com a métrica Serique & Sousa. Logo, o uso da métrica pode beneficiar o processo de roteamento, proporcionando maior desempenho.

### Trabalhos Futuros

A pesquisa pode ser continuada a fim de se aprimorar as regras de decisão da métrica multidimensional. Nesse sentido, propõem-se os seguintes trabalhos futuros:

- Estudo de novas dimensões, não tratadas neste trabalho, que poderiam melhorar ainda mais a eficácia da métrica, tais como o nível de energia dos nós, intensidade do sinal, posicionamento geográfico, etc.
- Variar a estratégia de cada nó, que atualmente é constante, para verificar efetivamente a utilidade do critério de expiração de regras e renovação da aprendizagem.
- Estudo das questões de desempenho, principalmente em redes maiores, considerando que existe maior processamento e consumo de memória dos nós quando fazem uso da métrica.

- Ataques ativos poderiam comprometer a integridade do mecanismo. Seria interessante se fazer um estudo de quais pontos são vulneráveis e como poderiam ser melhorados.
- Fazer experimentos com dispositivos móveis em cenários reais.

## REFERÊNCIAS

1. Adya, A., Bahl, P., & Padhye, J. (2004). A multi-radio unification protocol for IEEE 802.11 wireless networks. First International Conference on Broadband Networks, 344–354. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1363823](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1363823)
2. Albuquerque, R. de O. (2008). Uma proposta de um modelo de confiança computacional para grupos em sistemas distribuídos. Universidade de Brasília.
3. Agarwal, S., & Ahuja, A. (2000). Route-lifetime assessment based routing (RABR) protocol for mobile ad-hoc networks. IEEE International Conference on Communications (Vol. 3, pp. 1697–1701). Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=853783](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=853783)
4. Baumann, R., Heimlicher, S., Strasser, M., & Weibel, A. (2007). A Survey on Routing Metrics - TIK Report 262. ETH-Zentrum, Switzerland.
5. Basagni, S., Chlamtac, I., Syrotiuk, V. R., & Woodward, B. A. (1998). A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM). Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (pp. 76–84). New York, USA: ACM. doi:10.1145/288235.288254
6. Basagni, Stefano, Conti, M., Giordano, S., & Stojmenovic, I. (2004). Mobile ad hoc networking. In IEEE (Ed.), Mobile Ad Hoc Networking (1st ed., pp. 1–63). New Jersey, USA: Wiley-IEEE Press.
7. Capkun, S., Hamdi, M., & Hubaux, J. P. (2002). GPS-free positioning in mobile ad hoc networks. Cluster Computing, 5(2), 157–167. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/XP3J7RA35HYFV474.pdf>
8. Chiang, C. C., Wu, H. K., Liu, W., & Gerla, M. (1997). Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel. Proceedings of IEEE SICON (Vol. 97, pp. 197–211). Los Angeles, USA. doi:10.1.1.50.8359
9. Draves, R., Padhye, J., & Zill, B. (2004). Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks. SIGCOMM 04 Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (pp. 133–144). New York, USA. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1015467.1015483>
10. Dube, R., & Rais, C. (1997). Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks. Personal Communications, IEEE, 4(1), 36–45. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=575990](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=575990)
11. Dube, R., Rais, C. D., Wang, K. Y., & Tripathi, S. K. (1997). Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks. Personal Communications, IEEE, 4(1), 36–45. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=575990](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=575990)

12. Gerla, M, Pei, G., Lee, S., & Chiang, C. (1998). On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP) for mobile Ad-Hoc Networks. WAM Laboratory. Retrieved from <http://www.ietf.org/proceedings/98dec/slides/manet-lee-98dec.pdf>
13. GloMoSim, Global Mobile Information Systems Simulation Library, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>.
14. IEEE Standard 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," August 1999.
15. Iwata, A., Chiang, C. C., & Pei, G. (1999). Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 17(8), 1369–1379. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=779920](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=779920)
16. Johnson, D., Hu, Y., & Maltz, D. (2001). RFC 4728: The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4. IETF working group. Internet Engineering Task Force. Retrieved from <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>
17. Joa-Ng, M. (1999). A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 17(8), 1415–1425. doi:10.1109/49.779923
18. Knoblauch, R. L., Pietrucha, M. T., & Nitzburg, M. (1996). Field studies of pedestrian walking speed and start-up time. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1538, 27–38. Retrieved from <http://trb.metapress.com/index/K340133161573026.pdf>
19. Ko, Y. B., & Vaidya, N. H. (2000). Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks. *Wireless Networks*, 6(4), 307–321. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=352164>
20. Lee, S.-J., Belding-Royer, E. M., & Perkins, C. E. (2002). Ad hoc on-demand distance-vector routing scalability. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 6(3), 94. doi:10.1145/581291.581306
21. Liu, C., & Kaiser, J. (2003). A survey of mobile ad hoc network routing protocols. *Analysis*, 1(2003), 125–136. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.105.7768>
22. Marti, S., Giuli, T. J., Lai, K., & Baker, M. (2000). Mitigating routing misbehavior in mobile ad hoc networks. *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking* (pp. 255–265). ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=345955>
23. Murthy, S., & Garcia-Luna-Aceves, J. J. (1996). An efficient routing protocol for wireless networks. *Mobile Networks and Applications*, 1(2), 183–197. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/X0811063175870L4.pdf>

24. Nikaiein, N., & Bonnet, C. (2001). Harp-hybrid ad hoc routing protocol. Proceedings of International Symposium on Telecommunications, 1(3). Retrieved from <http://www.cs.cornell.edu/courses/cs615/2002fa/615/harp.pdf>
25. Parissidis, G., & Karaliopoulos, M. (2009). Routing metrics for wireless mesh networks. *Wireless Mesh Networks*. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/g65k17442618m12r.pdf>
26. Paul, K. (1999). Communication-aware mobile hosts in ad-hoc wireless network. *IEEE International Conference on Personal Wireless Communication*, (pp. 83–87). Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=759590](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=759590)
27. Perkins, C. E., & Bhagwat, P. (1994). Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 24(4), 234–244. doi:10.1145/190809.190336
28. Punnoose, R., & Nikitin, P. (1999). Optimizing wireless network protocols using real-time predictive propagation modeling. *RAWCON 99. 1999 IEEE Radio and Wireless Conference*, 1999. (pp. 39–44). Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=810925](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=810925)
29. Royer, E. (2000). Multicast ad hoc on-demand distance vector (MAODV) routing. IETF, Internet Draft.
30. Serique, L. F., & De Sousa, R. T. (2012). Evaluating Trust in Ad Hoc Network Routing by Induction of Decision Trees. *Revista IEEE America Latina*, 10(1).
31. Toh, C. (1997). Associativity-based routing for ad hoc mobile networks. *Wireless Personal Communications*, 4(2), 103–139. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/X0516P1X801H7494.pdf>
32. Toh, C. K. (1997). Associativity-based routing for ad hoc mobile networks. *Wireless Personal Communications*, 4(2), 103–139. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/X0516P1X801H7494.pdf>
33. Wu, C. W., & Tay, Y. C. (1999). AMRIS: A multicast protocol for ad hoc wireless networks. *Military Communications Conference Proceedings, 1999. MILCOM 1999. IEEE (Vol. 1, pp. 25–29)*. IEEE. doi:10.1109/MILCOM.1999.822636
34. Xie, J., Talpade, R. R., Mcauley, A., & Liu, M. (2002). AMRoute: ad hoc multicast routing protocol. *Mobile Networks and Applications*, 7(6), 429–439. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=603299>



35. Yau, S. S., & Karim, F. (2004). An Adaptive Middleware for Context-Sensitive Communications for Real-Time Applications in Ubiquitous Computing Environments. *Real-Time Systems*, 26(1), 29–61.