MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

GLAUCO FIOROTT AMORIM

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO COM DIFERENCIAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES DE COMUNICAÇÃO MÓVEL AD HOC

Rio de Janeiro
2002

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

GLAUCO FIOROTT AMORIM

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO COM DIFERENCIAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES DE COMUNICAÇÃO MÓVEL AD HOC

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: José Ferreira de Rezende – D.C.

Rio de Janeiro

2002

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha
Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em Base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer outra forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são responsabilidade do Autor e do Orientador.

A524 Amorim, Glauco Fiorott.
Análise de Desempenho de Protocolos de Roteamento com Diferenciação de Serviços em Redes de Comunicação Móvel Ad Hoc / Glauco Fiorott Amorim. -- Rio de Janeiro : Instituto Militar de Engenharia, 2002.
127 p. : il., graf., tab.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2002.

1. Redes Móveis Ad Hoc. 2. Protocolos de Roteamento. 3.Diferenciação de Serviços. I. Instituto Militar de Engenharia. II. Título.

CDD 384.5

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

GLAUCO FIOROTT AMORIM

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO COM DIFERENCIAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES DE COMUNICAÇÃO MÓVEL AD HOC

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: Prof. José Ferreira de Rezende – D.C..

Aprovada em 30 de Julho de 2002 pela seguinte Banca Examinadora:

_____

Prof José Ferreira de Rezende – D.C. da COPPE – Presidente

_____

Profª Cláudia Marcela Justel – D. C. do IME

_____

Aloysio de Castro Pinto Pedroza – D.C. da COPPE

Rio de Janeiro

2002

A Deus por guiar meus passos, aos meus pais, minha irmã, minha futura esposa e a minha família, pelo amor, compreensão, força e confiança depositados em mim, que fizeram com que eu acreditasse no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos em todos os momentos da minha vida, sejam eles de felicidade ou de tristeza.

A toda minha família, e em especial, a meu Pai, a minha Mãe e a minha Irmã, pelo amor, pela doação, porque são exemplos de vida e por acreditarem e me fazerem acreditar no meu potencial.

A minha futura esposa, Myrna, porque foi a grande mulher que esteve sempre do meu lado me dando apoio, carinho e amor.

Ao professor Rezende, não só pela excelente orientação, mas também, por ter me ensinado a lutar pelo objetivo final em todos os momentos.

Ao IME, ao Departamento de Engenharia e Sistemas e, especialmente, às professoras Ana Maria, Claudia Justel, Lilian Markenzon e ao professor Xexéo, por acreditarem, de forma irrestrita, em seus alunos nos momentos de dificuldade.

Ao meu amigo Glauter, por ter sido um irmão, às vezes mais velho, às vezes mais novo, em todos os sentidos, um irmão.

Ao tio Mauro e a tia Imaculada, por toda força e preocupação.

As minhas cunhadas Michelle e Maureen, e ao meu cunhado Fábio, por terem dividido todos os momentos durante esses três anos de trabalho e por acreditarem que tudo iria dar certo.

Aos amigos Zezinho, Thomas, Rogério e Carlos Henrique pela amizade e pela ajuda em todos os momentos.

Ao Kleber e ao Saulo, por terem contribuído, de forma determinante, para que o trabalho fosse realizado e pela amizade conquistada.

Aos NetStreet Boys, Carlos Eduardo, Andrés Level, Alan, Thiago, André Sobral e Paulo Renato, pela amizade no sentido mais amplo da palavra e por serem exemplos de luta e sucesso.

Ao professor Aloysio e a professora Claudia Justel por participarem da banca examinadora e, desta forma, contribuírem para o enriquecimento do trabalho.

E a todos aqueles que, diretamente ou indiretamente, ajudaram-me para que esta dissertação fosse desenvolvida.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor, mas lutamos para que o melhor fosse feito... Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser. Mas graças a Deus, não somos o que éramos”.

MARTIN LUTHER KING

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES 10
LISTA DE TABELAS 12
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS 13
LISTA DE SIGLAS 14

1. INTRODUÇÃO 18
1.1. Posicionamento 21
1.2. Motivação 22
1.3. Objetivo do Trabalho 24
1.4. Organização do Trabalho 25

2. REDES MÓVEIS 26
2.1. Introdução 26
2.2. Conceitos Básicos de Redes Sem Fio 28
2.2.1. Tipos de Redes Móveis 32
2.2.1.1. Rede Móvel Infra-Estruturada 33
2.2.1.2. Rede Móvel Ad Hoc 34
2.2.1.2.1. Considerações sobre Redes Móveis Ad Hoc 35
2.3. Protocolos de Roteamento em Redes Ad Hoc 36
2.3.1. Classificação dos Protocolos de Roteamento em Redes Ad Hoc 39
2.3.1.1. Protocolos Reativos ou Sob-Demanda 42
2.3.1.2. Protocolos Pró-Ativos 50
2.3.1.3. Protocolos Híbridos 53
2.4. Comparação das Características dos Protocolos de Roteamento 55
2.5. Padrão IEEE 802.11 57
2.5.1. Camada Física do 802.11 59
2.5.2. Camada MAC do 802.11 60
2.5.2.1. Função de Coordenação Distribuída (DCF) 61
2.5.2.2. Função de Coordenação Pontual (PCF) 64
2.6. Considerações Finais 65

3. MECANISMOS DE DIFERENCIAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES 802.11 66
3.1. Introdução 66
3.2. Mecanismos de Diferenciação de Serviços no Padrão 802.11 70
3.2.1. Técnicas baseadas no DCF 70
3.2.1.1. Função de Aumento de Backoff 70
3.2.1.1.1. Mecanismo de Variação do Backoff 73
3.2.1.2. Variação do DIFS 76
3.2.1.2.1. Mecanismo de Variação do DIFS 77
3.2.1.3. Tamanho Máximo do Pacote 78
3.2.2. Técnicas Baseadas no PCF 78
3.3. Protocolos de Roteamento DSR e DSDV 79
3.3.1. Dynamic Source Routing - DSR 80
3.3.1.1. Descobrimento de Rota do DSR 82
3.3.1.2. Manutenção de Rota do DSR 84
3.3.2. Destination-Sequenced Distance-Vector - DSDV 85
3.4. Considerações Finais 89

4. SIMULAÇÃO E RESULTADOS 90
4.1. Introdução 90
4.2. Ambiente de Simulação 92
4.2.1. Network Simulator – NS2 94
4.2.2. Rede Móvel no NS 95
4.2.2.1. Modelo Básico sem fio no NS 95
4.2.2.2. Componentes da Rede em um *MobileNode* 98
4.3. Configuração da Simulação 100
4.3.1. Modelo de Movimentação 100
4.3.2. Modelo de Comunicação 101
4.4. Comparação do desempenho dos Protocolos 102
4.4.1. DSR x DSDV 102
4.5. Avaliação dos Protocolos de Roteamento DSR e DSDV com Diferenciação de Serviços 105
4.5.1. DSR sem utilização das técnicas de diferenciação x DSR com utilização das técnicas de diferenciação 106
4.5.2. DSDV sem utilização das técnicas de diferenciação x DSDV com utilização das técnicas de diferenciação 109

4.5.3. Conclusões dos Resultados das Simulações 112
4.6. Comparação entre os mecanismos de diferenciação 113
4.6.1. Avaliação dos mecanismos de diferenciação 113
4.7. Considerações Finais 118

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 120
5.1. Conclusões..... 120
5.2. Trabalhos Futuros 122

6. REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS 123

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 1.1 Número de Acessos em Serviços na Telefonia Móvel 19

FIG. 1.2 Número de Celulares para cada 100 habitantes 20

FIG. 1.3 Evolução dos preços de habilitação de 1990 até 2000 20

FIG. 2.1 Ambiente de Comunicação Móvel sem fio infra-estruturado 33

FIG. 2.2 Ambiente de Comunicação Móvel *Ad Hoc* 34

FIG. 2.3 Roteamento Plano 41

FIG. 2.4 Roteamento Hierárquico 42

FIG. 2.5 Requisição de Rotas e a resposta ao pedido de requisição 44

FIG. 2.6 TORA na fase inicial do protocolo de manutenção de rotas e após a execução do protocolo 46

FIG. 2.7 Fase de reconstrução de rotas 48

FIG. 2.8 LAR esquema 1 49

FIG. 2.9 LAR esquema 2 49

FIG. 2.10 Escopo do Olho de Peixe (*Fisheye*) 53

FIG. 2.11 Exemplo de uma requisição de rota do nó A para o nó J 54

FIG. 2.12 Duas BSS formando uma ESS 58

FIG. 2.13 Uma BSS independente (*Ad Hoc*) 58

FIG. 2.14 Comparação do padrão 802.11 com o RM-OSI 59

FIG. 2.15 Esquema básico de acesso no DCF 62

FIG. 2.16 Terminal A escondido do Terminal C e vice-versa 63

FIG. 2.17 Esquemas PCF e DCF 64

FIG. 3.1 Informações do Pacote CdF e do pacote a ser enviado por um nó 74

FIG. 3.2 Atualização da tabela de escalonamento distribuído 75

FIG. 3.3 Inclusão de Prioridade no DIFS 76

FIG. 3.4 Protocolo de Descobrimento de Rota 84

FIG. 3.5 Movimentação em uma Rede *Ad Hoc* 86

FIG. 4.1 Relação entre C++ e Otcl 93

FIG. 4.2 Visão do Usuário Simplificada do NS 94

FIG. 4.3 *Node* (*Unicast*) 96

FIG. 4.4 Esquema de *mobilenode* com os respectivos agentes 98

FIG. 4.5 Comparação entre os Protocolos DSR e DSDV utilizando a quantidade de pacotes entregues com sucesso em função dos tempos de pausa utilizados 103

FIG. 4.6 Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSR 104

FIG. 4.7 Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSDV 104

FIG. 4.8 Comportamento do protocolo DSR sem a utilização de diferenciação em relação ao protocolo DSR com utilização de diferenciação por Variação da Função de *Backoff* (10 fontes) 106

FIG. 4.9 Comportamento do protocolo DSR sem a utilização de diferenciação em relação ao protocolo DSR que utiliza diferenciação por Variação da Função de *Backoff* (20 fontes) 107

FIG. 4.10 Comportamento do protocolo DSR sem diferenciação em relação ao protocolo DSR com diferenciação por Variação do DIFS (10 fontes) ... 108

FIG. 4.11 Comportamento do protocolo DSR sem diferenciação em relação ao protocolo DSR com diferenciação por Variação do DIFS (20 fontes) ... 108

FIG. 4.12 Comportamento do protocolo DSDV sem diferenciação em relação ao protocolo DSDV com diferenciação por Variação do DIFS (10 fontes).. 110

FIG. 4.13 Comportamento do protocolo DSDV original em relação ao protocolo DSDV modificado com a variação na função de *backoff* (10 fontes)..... 110

FIG. 4.14 Comportamento do protocolo DSDV original em relação ao protocolo DSDV modificado com a variação do DIFS (20 fontes) 111

FIG. 4.15 Comportamento do protocolo DSDV original em relação ao protocolo DSDV modificado com a variação na função de *backoff* (20 fontes) 112

FIG. 4.16 Variação de *Backoff* e Variação de DIFS com 10 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSDV 114

FIG. 4.17 Variação de *Backoff* e Variação de DIFS com 20 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSDV 115

FIG. 4.18 Variação de *Backoff* e Variação de DIFS com 10 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSR 116

FIG. 4.19 Variação de *Backoff* e Variação de DIFS com 20 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSR 116

LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1 Comparação entre alguns algoritmos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc* 56

TAB. 3.1 Estrutura da Tabela de Roteamento do nó D 87

TAB. 3.2 Estrutura da Tabela de Roteamento do nó D depois da atualização do nó A 87

TAB. 4.1 Número médio das modificações nos enlaces 101

TAB. 4.2 Número de pacotes descartados e os eventos relacionados 112

TAB. 4.3 Resultados da taxa de entrega de pacotes pelos protocolos com diferenciação de serviços 117

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURAS

1G	Primeira Geração de Redes Sem Fio
2G	Segunda Seração de Redes Sem Fio
3G	Terceira Geração de Redes Sem Fio
CdF	Cabeça da Fila
ERB	Estação Rádio Base
ESM	Estação de Suporte à Mobilidade
IFq	Interface de Fila
IR	Raios Infravermelhos
NM	Nó Móvel
PA	Ponto de Acesso – Access Point
RF	Rádio Freqüência
TTL	time to live

SÍMBOLOS

α	constante utilizada na função de *backoff*
β	constante utilizada na função de *backoff*
γ	constante utilizada na função de *backoff*
λ	média
∞	métrica utilizada pelo DSDV
rand ()	função aleatória utilizada no tempo de *backoff*
F(Si)	função da tabela localizada no nó i
Unif [ ]	função uniforme
backoff_time	tempo de *backoff*
slot_time	tempo do *slot*

LISTA DE SIGLAS

ABR	Associativity-Based Routing
AMPS	Advanced Mobile Phone Services
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicação
AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing
ARP	Address Resolution Protocol
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BSA	Basic Service Set
CBR	Constant bit rate
CCA	Clear Channel Assessment Signal
CCC	Central de Comutação e Controle
CDMA	Code Division Multiple Access
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CTS	Clear to Send
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DCF	Função de Coordenação Distribuída
DIFS	Distributed InterFrame Space
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector
DSR	Dynamic Source Routing Protocol
DSSS	Direct Sequence Spread Sprectum
ESA	Extended Service Area
FHSS	Frequence Hopping Spread Sprectum
GEOS	Satélites de órbitas Geoestacionárias
GFP	Contential Free Period
GFSK	Gaussian Frequence Shift Keying
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GSR	Global State Routing
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Enginereering Task Force

IFS	InterFrame Space
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Standards Organization
ITU	International Telecommunications Union
LAR	Location-Aided Routing
LEOS	Satélites de órbitas Baixas à Terra
MAC	Medium Access Control
MAC	Multiple Access Control
MANET	Mobile Ad Hoc Networks
MEOS	Satélites de órbitas Médias à Terra
MONARCH	Mobile Network Architecture
NAV	Network Allocation Vector
NS	Network Simulator
PCF	Função de Coordenação Pontual
PCN	Personal Communication Network
PCS	Personal Communication Systems
PDA	Personal Digital Assistants
PHY	Physical Layer Specifications
PIFS	Point Coordination InterFrame Space
PRNET	Rede de Pacotes via Rádio
QoS	Qualidade de Serviço
RM-OSI	Interconnection of the International Standardization Organization
RTS	Request to Send
SIFS	Short InterFrame Space
TDMA	Time Division Multiple Access
TORA	Temporally-Ordered Routing Algorithm
VNS	Vetor de Números de Seqüência
WLAN	Wireless Local Area Network
ZRP	Zone Routing Protocol

RESUMO

Comunicações Celulares, Redes Locais Sem Fio e Serviços Via Satélite estão desfrutando de um rápido período de crescimento devido, principalmente, a dois fatores: o desenvolvimento de tecnologias que permitem uma ampla faixa de serviços e a necessidade dos usuários acessarem informações sem restrições de espaço e tempo. Essas tecnologias deram origem ao conceito de Redes Móveis.

Neste contexto se destacam as Redes Móveis *Ad Hoc* devido à facilidade de instalação, baixo custo e variedade de aplicações. Ambas utilizam enlaces sem fio para proverem comunicação entre os terminais móveis que constituem estas redes. Pode-se utilizar ou não uma estrutura fixa.

Um dos maiores desafios em Redes *Ad Hoc* está ligado à possibilidade de perda de comunicação, seja por interferências ou por mobilidade dos terminais. Portanto, a função de rotear mensagens é de fundamental importância e influencia diretamente o desempenho de toda a rede. Os protocolos de roteamento utilizam informações imprecisas sobre o estado dos enlaces da rede. Esta imprecisão pode afetar o rendimento do protocolo e conseqüentemente o desempenho da rede. Priorizar fluxos de pacotes de roteamento pode ser usado para possibilitar que os protocolos de roteamento utilizem informações mais recentes sobre as modificações ocorridas na rede.

Outro aspecto importante e, da mesma forma, desafiador é fornecer Qualidade de Serviço (QoS) aos terminais móveis. Prover QoS em Redes Móveis é tão complexo quanto rotear mensagens, pois a mobilidade dos nós impõe várias restrições como baixa vazão, maior atraso entre a troca de mensagens, inexistência de uma entidade centralizadora etc.

Para prover QoS, várias técnicas podem ser utilizadas, dentre elas Diferenciação de Serviços cuja aplicação tem crescido enormemente. Existem duas técnicas de Diferenciação de Serviços que destacam-se: Diferenciação de Serviços por variação do DIFS e Diferenciação de Serviços por Variação do *Backoff*. As técnicas de Diferenciação podem ser aplicadas para dar prioridades distintas a diferentes terminais ou a diferentes fluxos de mensagens.

O objetivo dessa dissertação é investigar o impacto da utilização de Diferenciação de Serviços nos protocolos de roteamento. Para isso, foram usadas duas técnicas de diferenciação denominadas, Diferenciação de Serviços por Variação na Função de *Backoff* e Diferenciação de Serviços por Variação no DIFS aplicadas em dois protocolos de roteamento para redes *Ad Hoc* denominados *Dynamic Source Routing Protocol* – DSR e *Destination-Sequenced Distance-Vector* – DSDV. Os resultados mostram o desempenho dos protocolos originais e dos protocolos utilizando as técnicas de diferenciação. Além disso, é apresentada uma comparação entre os protocolos originais DSR e DSDV e uma comparação entre as técnicas de diferenciação empregadas.

ABSTRACT

Cellular communications, Wireless Local Networks and Services by Satellite are enjoying of a fast period of growth mainly by the two factors: the development of technologies that allow to an ample band of services and the necessity of the users to have access information without space and time restrictions. These technologies had given origin to the concept of Mobile Networks.

In this context the Mobile Ad hoc Networks are distinguished due to installation easiness, low cost and variety of applications. Both use wireless link to provide communication among the mobile terminals that constitute these networks. A fixed structure can be used or not.

One of the biggest challenges in Ad hoc Networks are on to the possibility of loss of communication, either for interferences or mobility of the terminals. Therefore, the function of routing messages is of basic importance and influences directly in the performance of all the net. The routing protocols use inexact information about the state of the links of the network. This imprecision can affect the performance of the protocol and the performance of the network consequently. To prioritize flows of routing packages can be used to make possible that the routing protocols use more recent information about the modifications occured in the net.

Another important and challenger aspect is to supply Quality of Service (QoS) to the mobile terminals. To provide QoS on Mobile Networks is so complex as routing messages therefore the mobility of the nodes imposes some restrictions like low outflow, greater delay among the exchange of messages and inexistence of a centralization entity.

To provide QoS several techniques can be used. Amongst them we can cite Differentiation of Services whose application has grown enormously. There are two techniques of Differentiation of Services that are distinguished: Differentiation of Services for variation of the DIFS and Differentiation of Services for Variation of the Backoff. The techniques of Differentiation can be applied to give to different priorities the different terminals or the different flows of messages.

The objective of this work is to investigate the impact of the use of Differentiation of Services in the routing protocols. For this, two techniques of differentiation, called Differentiation of Services for Variation in the Function of Backoff and Differentiation of Services for Variation in the DIFS had been used and applied in two protocols of routing to Ad hoc Networks called Dynamic Source Routing Protocol – DSR - and Destination-Sequenced Distance-Vector - DSDV. The results show the performance of the original protocols and the protocols modified with the differentiation techniques. Moreover, a comparison between original protocols DSR and DSDV will be presented and a comparison among the employed techniques of differentiation.

1. INTRODUÇÃO

A comunicação entre pessoas em movimento tem se desenvolvido notavelmente desde que Guglielmo Marconi demonstrou pela primeira vez que era possível a comunicação via sinais de rádio entre navios na Inglaterra. Isso se deu em 1897, e desde então novos métodos de comunicações e serviços têm sido adotados por pessoas ao redor do mundo. Durante os últimos dez anos, a indústria de comunicação móvel tem tido um crescimento extraordinário devido ao avanço tecnológico dos circuitos digitais e de rádio-freqüência (RF), os novos circuitos integrados, e outras tecnologias que tornaram os equipamentos portáteis, pequenos, baratos e mais confiáveis. Técnicas de comutação digital têm facilitado o desenvolvimento em larga escala de redes de comunicação via rádio. Esta tendência continuará a crescer durante a próxima década (RAPPAPORT, 1996).

A capacidade de fornecer comunicações sem fio para a população só foi concebida depois que os Laboratórios Bells desenvolveram o conceito do celular nas décadas de 1960 e 1970. Com o desenvolvimento de uma alta confiabilidade, miniaturização e um sólido *hardware* para RF, a era da comunicação sem fio nasceu. O recente crescimento exponencial dos Sistemas Celulares e dos Serviços de Comunicação Pessoal (PCS) através do mundo, é diretamente atribuído às novas tecnologias surgidas nos anos 70, as quais são melhoradas a cada dia.

Na Europa, no Japão e na América do Norte, os sistemas de terceira geração já são fornecidos aos usuários. Já no Brasil, no início da década de 70 foi implantado em Brasília um serviço anterior a tecnologia celular, contando com apenas 150 terminais sem fio. Em 1984, deu-se início à análise de sistemas de tecnologia celular que culminou na escolha do padrão americano AMPS[1] como modelo a ser introduzido (foi implantado, também, em todos os outros países do continente americano e em alguns países da Ásia e Austrália). A primeira cidade a usar o serviço foi o Rio de Janeiro, em 1990, seguido por Brasília. Em São Paulo, considerado o último dos grandes mercados do mundo, o serviço móvel celular foi inaugurado em 1993. O Brasil continuou com o AMPS até que, em 1998, modernizou sua rede com sistemas digitais TDMA e CDMA (ANATEL, 2002).

[1] AMPS – *Advanced Mobile Phone System*. Sistema celular de primeira geração norte americano

Como pode-se observar, a telefonia celular tardou bastante para chegar ao Brasil. Entretanto o crescimento desta tecnologia tem impressionado. De acordo com a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), o crescimento do mercado de telefonia móvel no Brasil está apontando para uma constatação irrefutável: não havia ainda no País uma evolução tecnológica tão expressiva quanto ao de celulares. Em 1999 haviam cerca de 15 milhões de celulares e este número saltou para 23,2 milhões em dezembro de 2000, representando um aumento real de 54,7%. A FIG. 1.1 mostra a evolução da quantidade de acessos no sistema móvel.

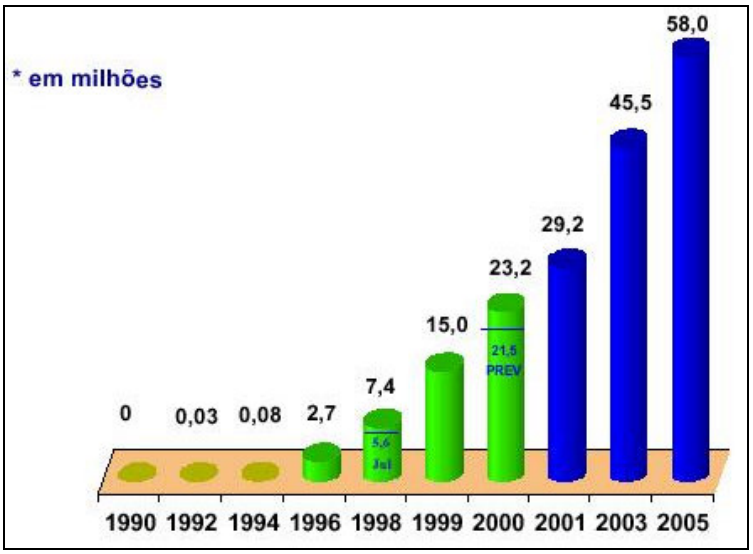

FIG. 1.1 – Número de acessos em serviço na telefonia móvel

A ANATEL esperava, em 2000, 21,5 milhões de acessos, todavia esse número foi de 23,2 milhões o que demonstra um crescimento significativo no setor. Como conseqüência houve também um aumento considerável na quantidade de celulares para cada 100 habitantes (FIG. 1.2).

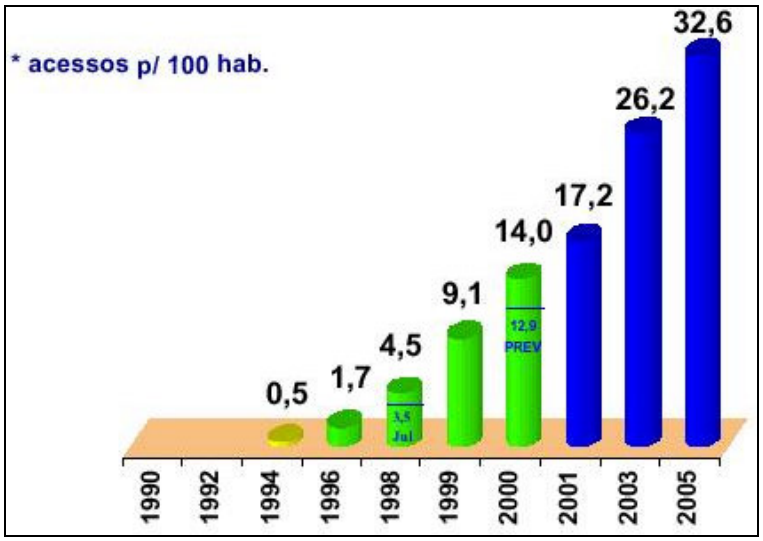

FIG. 1.2 – Número de celulares para cada 100 habitantes

Este aumento significativo do número de celulares pode ser explicado por vários motivos como por exemplo, o preço que era cobrado para habilitar uma linha celular em 1990 (cerca de US$ 22 mil) e o preço que é cobrado hoje (US$ 12) (FIG. 1.3). Além disso, outros fatores preponderantes para o aumento de acessos no serviço móvel celular foram o avanço na qualidade de serviço e a possibilidade de realizar chamadas em movimento. Isto forneceu ao usuário deste sistema a capacidade de utilizar a rede de qualquer lugar e em qualquer instante.

FIG. 1.3 – Evolução dos preços de habilitação de 1990 até 2000

Todos esses fatores demonstram que o grande crescimento na área de serviços móveis tendem a continuar juntamente com o aumento do número de serviços que utilizam esta tecnologia. Não só a área de telecomunicações, mas também, a área de computação, mantém uma expectativa muito grande sobre a capacidade de evolução da comunicação móvel. A grande variedade de serviços e aplicações, proporcionadas pela interação entre essas duas áreas é o principal fator para justificar essa expectativa.

Percebendo isso, não só o mundo corporativo, mas também, o mundo científico está demonstrando um grande interesse através do desenvolvimento e aplicações de projetos e pesquisas como por exemplo: os celulares de terceira (3G) e quarta geração (4G), a tecnologia *Bluetooth* (HAARTSEN, 2000), a tecnologia *Hiperlan* (HIPERLAN, 2002), o desenvolvimento das Redes *Ad Hoc*, dentre outras.

1.1. POSICIONAMENTO

Redes Sem Fio ou Redes Móveis se referem a redes de computadores que são conectadas aos seus ambientes de trabalho via enlaces sem fio, tais como radio freqüência (RF) e raios infravermelhos (IR). Surgiram com a finalidade de superar as limitações de mobilidade e instalação das redes tradicionais. Assim, as Redes Sem Fio possibilitam instalações mais rápidas e apropriadas e as Redes Móveis garantem a mobilidade não suportada pelas redes cabeadas (SALLES, 1998).

Por questão de esclarecimento, neste trabalho os termos Redes Móveis e Redes Sem Fio serão considerados semelhantes e podem ser aplicados individualmente a um mesmo Sistema de Redes com características descritas no parágrafo anterior, sem que isso gere ambigüidade sobre a arquitetura da rede.

O uso de Redes Sem Fio é recomendado para determinadas instalações prediais tais como: hospitais, fábricas e prédios tombados pelo patrimônio histórico onde muitas vezes não é possível o uso de redes convencionais devido aos problemas causados pelo cabeamento na instalação.

As Redes Móveis visam atender usuários de serviços do tipo PCS (*Personal Communication Services*) integrando os sistemas de computação móvel. No seu conceito mais amplo, deseja-se que os usuários de sistemas de computação móvel possam acessar os

recursos, incluindo diferentes tipos de serviços e servidores, em qualquer instante de tempo e de qualquer lugar de origem, eliminando todas as restrições de tempo e de espaço existentes.

Essas redes podem se basear na utilização da rede cabeada como ponto de apoio, Redes Infra-estruturadas, ou ainda considerar a possibilidade de ligação direta entre os computadores móveis, Redes Móveis *Ad Hoc*. Essas redes serão detalhadas no Capítulo 2. Esta taxinomia é amplamente utilizada, não somente na classificação de Redes Locais Sem Fio (*Wireless Local Area Network* – WLAN) , mas também, para classificar Redes Móveis em um contexto geral.

Redes Móveis *Ad Hoc* e WLANs vêm ganhando uma crescente notoriedade. Esse fato se deve ao baixo custo e simplicidade de implementação em conjunto da grande variedade de aplicações fornecidas por essas redes.

Especificamente em WLANs, o padrão 802.11 tem se destacado consideravelmente. Além das características descritas acima, por ser um padrão desenvolvido por um grupo de pesquisa reconhecido e altamente testado, a aplicação do 802.11 em vários cenários como: videoconferências, salas de aulas, redes de acesso para redes celulares 2G/3G e escritórios tem aumentado na mesma velocidade da evolução desta tecnologia. Estima-se que aproximadamente 2 milhões de placas 802.11 serão instaladas até 2002 (RUBINSTEIN e REZENDE, 2002).

O *Internet Engineering Task Force* (IETF), órgão responsável em padronizar os sistemas relacionados à Internet, criou um grupo de trabalho que tem por finalidade discutir os problemas e padronizar um ou mais algoritmos de roteamento para uma Rede Móvel *Ad Hoc*. De acordo com o RFC 2501 (CORSON e MACKER, 1999) publicada por este grupo em janeiro de 1999, as características salientes destas redes são: topologia dinâmica, largura de banda restrita, operação para economia de energia e segurança física limitada.

1.2. MOTIVAÇÃO

Um dos principais problemas existentes em um ambiente de comunicação móvel está ligado à possibilidade de perda de comunicação entre dois nós, como conseqüência da degradação do nível do sinal recebido e da interferência presente no meio rádio. Por isso, a comunicação entre o nó de origem e o nó de destino deve sempre poder ser restaurada, por exemplo, através de outros nós (nós intermediários), segundo um mecanismo de roteamento.

Outro problema surge a partir do momento em que se deseja enviar uma mensagem para um outro nó, pois é necessário encontrar o nó de destino para então definir uma rota até ele e manter esta rota até o fim da comunicação tornando-se necessário um mecanismo de manutenção de rotas.

Existem várias razões para que o ato de rotear uma mensagem e manter esta rota ativa o máximo quanto possível em Redes Móveis *Ad Hoc* seja mais difícil do que em redes fixas. Tais razões são: mobilidade e topologia de rede dinâmica, maior retardo, interferência com outros móveis, inexistência de uma entidade central, todas as comunicações devem ocorrer através do meio sem fio e maior consumo de energia.

Esses problemas têm sido altamente investigados nos últimos anos. Vários protocolos de roteamento e várias formas de manutenção de rotas foram propostos. Entretanto aspectos como suporte de parâmetros de Qualidade de Serviço (QoS) e diferenciação de fluxos em Redes Móveis *Ad Hoc* constituem uma área ainda pouco explorada pelas pesquisas atuais. Esse quadro está mudando pois a crescente aplicação de Redes Sem Fio para prover acesso à Internet faz com que vários aspectos como os que foram citados, tornem-se relevantes quando tratamos este assunto. Aplicações tais como videoconferências, suporte a serviços multimídia e aplicações com restrições de tempo e de largura de banda requerem que alguns parâmetros de QoS sejam respeitados.

Fornecer garantias de QoS em Redes *Ad Hoc* é extremamente desafiador. Isso se justifica porque a topologia da rede é altamente dinâmica e o tempo de vida dos enlaces é relativamente curto se compararmos aos enlaces das redes fixas. Uma forma de minimizar o impacto dessas mudanças é manter informações atualizadas sobre o estado dos enlaces. Assim, é possível melhorar o processo de escolha de rotas para que pacotes tenham uma probabilidade menor de serem descartados.

Estudos sobre Qualidade de Serviço em Redes Locais Sem Fio, mais especificamente no padrão 802.11, estão sendo realizados. Pesquisas como (AAD e CASTELLUCCIA, 2001), (PALLOT e MILLER, 2001), (LINDGREN, ALMQUIST e SCHELÉN, 2001) e (KANODIA, LI, SABHARWAI et al., 2001) mostram que é possível alcançar níveis de QoS satisfatórios modificando-se alguns parâmetros no protocolo da camada MAC (*Multiple Access Control*).

De acordo com (DRABU, 2001), a camada MAC em uma Rede Sem Fio, como o padrão 802.11, tem como função controlar o acesso dos terminais móveis aos canais, gerenciar a qualidade de serviço e fornecer segurança. A camada MAC fornece dois tipos de serviço: assíncrono e síncrono ou livre de contenção. No serviço assíncrono, o acesso ao meio é

controlado por um protocolo denominado CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Já no serviço síncrono é implementado um método de acesso do tipo *polling*, isto é, um ponto de acesso, que atua como coordenador, consulta de tempos em tempos os terminais, oferecendo a oportunidade de transmissão.

1.3. OBJETIVO DO TRABALHO

Os protocolos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc* utilizam informações imprecisas sobre o estado dos enlaces da rede. Esta imprecisão pode afetar o rendimento do protocolo. Em (CÂMARA, LOUREIRO e ALMEIDA, 1999) uma técnica baseada no uso de agentes denominados formigas é utilizada para disseminar mais rapidamente as informações.

Nesse trabalho, outra técnica foi utilizada para possibilitar que os protocolos de roteamento utilizassem informações mais recente quanto possível. A Diferenciação de Serviços pode ser empregada para priorizar certos fluxos, possibilitando que, por exemplo, pacotes de roteamento tenham maior prioridade em relação aos pacotes de dados. Isso implicaria em uma resposta mais rápida às modificações impostas à rede.

O objetivo dessa dissertação é investigar o impacto da utilização de Diferenciação de Serviços nos protocolos de roteamento. Para isso, foram usadas duas técnicas de diferenciação denominadas, Diferenciação de Serviços por Variação na Função de *Backoff* (KANODIA, LI SABHARWAL, et. al., 2001) e Diferenciação de Serviços por Variação no DIFS (AAD e CASTELLUCCIA, 2001) aplicadas em dois protocolos de roteamento para redes *Ad Hoc* denominados *Dynamic Source Routing Protocol* – DSR (JOHNSON, MALTZ, HU et al., 2002) e *Destination-Sequenced Distance-Vector* – DSDV (PERKINS e BHAGWAT, 1996). Os resultados mostram o desempenho dos protocolos originais e dos protocolos modificados com as técnicas de diferenciação.

Além disso, será apresentada uma comparação entre os protocolos originais DSR e DSDV e uma comparação entre as técnicas de diferenciação empregadas.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro é a introdução e o restante está organizado da seguinte maneira:

Capítulo 2 – Redes Móveis: esse capítulo descreve uma revisão bibliográfica sobre Redes Móveis e Redes Locais Sem Fio, ressaltando os conceitos, a arquitetura e os componentes de cada uma dessas redes.

Capítulo 3 – Mecanismos de Diferenciação de Serviços em Redes 802.11: apresenta um resumo sobre as técnicas de Diferenciação de Serviços mais abordados na literatura e uma comparação entre os protocolos de roteamento DSR e DSDV que serão utilizados no quarto capítulo.

Capítulo 4 – Simulação e Resultados: descreve o ambiente de simulação utilizado e exibe os resultados dessa simulação a partir de gráficos. Apresenta uma comparação entre os mecanismos de Diferenciação de Serviços abordados e uma análise da utilização desses serviços nos protocolos de roteamento citados no capítulo 3. No final é feito uma avaliação desses resultados.

Capítulo 5 – Conclusão e Trabalhos Futuros: apresenta as principais conclusões sobre os resultados da simulação e descreve os possíveis caminhos a serem seguidos para estender os estudos realizados nessa dissertação.

2. REDES MÓVEIS

2.1. INTRODUÇÃO

Comunicações Celulares, Redes Locais Sem Fio e Serviços Via Satélite estão desfrutando de um rápido período de crescimento devido, principalmente, a dois fatores: o desenvolvimento de tecnologias que permitem uma ampla faixa de serviços e a necessidade dos usuários acessarem informações sem restrições de espaço e tempo. Essas tecnologias deram origem ao conceito de Redes Móveis.

Uma Rede Móvel, ou Rede Sem Fio, consiste em uma coleção de terminais com transmissores e receptores que se movimentam em uma determinada área, geralmente utilizam transmissões com freqüências de rádio ou infravermelho e configuram uma rede utilizando ou não uma infra-estrutura. O *IEEE* (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) classificou estas redes em: Redes Móveis Infra-estruturada e Redes Móveis *Ad Hoc*.

As Redes Móveis Infra-estruturadas fazem uso de um ponto de acesso (PA), também chamado de Estação Rádio Base (ERB), para proverem a comunicação entre dois nós. Já as Redes Móveis *Ad Hoc*, também chamadas de *independentes*, não necessitam de qualquer infra-estrutura pré-existente para prover comunicação entre os nós.

Atualmente um dos focos de pesquisas das redes de computadores sem fio encontra-se no contexto de Redes Móveis *Ad Hoc*. É esperado que estas redes desempenhem um importante papel em aplicações comerciais futuras, especialmente onde uma rede infra-estruturada não é acessível ou não existe. Aplicações típicas para este tipo de redes incluem computação móvel em áreas remotas, comunicações táticas e resgate em situações de desastre.

Um assunto crítico nessas redes são suas habilidades de adaptação às mudanças dinâmicas da topologia promovidas pelo movimento dos nós. Adaptação à mudanças topológicas requerem mudanças no roteamento. A partir desta afirmação, pode-se perceber que roteamento e, atrelado a isto, gerenciamento de rotas, são aspectos com importância crucial para estas redes. Devido a alta mobilidade dos nós, encontrar uma rota entre origem e destino e mantê-la ativa o tanto quanto possível é uma tarefa complexa. Do mesmo modo,

encontrar o nó para o qual uma certa mensagem se destina, é também uma tarefa difícil nestas redes.

Outro assunto também de suma importância, nos dias de hoje, é a utilização de aplicações de tempo real como voz e vídeo. Estas aplicações requerem que parâmetros de Qualidade de Serviço, tais como atraso e largura de banda, sejam respeitados. Existem várias formas de se definir QoS. De acordo com (DRABU, 2001), QoS é habilidade que um elemento de rede, seja ele uma aplicação, um terminal ou um roteador, tem para fornecer alguns níveis de garantia na entrega de dados.

Quando se configura um parâmetro de QoS para um determinado caminho nesta rede e este caminho se rompe, seja por interferência ou por movimentação dos nós, outro caminho deve ser encontrado para que a conexão seja refeita. Este novo caminho deve prover a QoS exigida pela aplicação. Este fato dificulta o estabelecimento desta rota e, por isso, as soluções propostas anteriormente baseiam-se em um modelo de "melhor esforço" (*best-effort*), onde nenhuma garantia é oferecida.

Paralelamente às tecnologias de Redes Móveis *Ad Hoc*, Redes Locais Sem Fio *(Wireless Local Area Network)* vêm conquistando um espaço importante no cenário móvel. Neste ambiente, o padrão 802.11 (IEEE) obteve um grande sucesso. Devido ao baixo custo de seus dispositivos de rede, simplicidade de instalação e diversidade em sua capacidade e cobertura, o padrão 802.11 tem sido aplicado em várias soluções como: redes residenciais, redes de médio alcance conectando as estações em prédios universitários ou em soluções corporativas ou, até mesmo, em redes de acesso para redes celulares (RUBINSTEIN e REZENDE, 2002). Esta gama de aplicações evidencia o sucesso do padrão.

O padrão 802.11 tem por objetivo especificar o protocolo de controle de acesso ao meio usado na camada MAC *(Medium Access Control)* e diferentes camadas físicas. O avanço desta tecnologia proporcionou um aumento nas taxas de transmissão de dados nas especificações 802.11a (IEEE1, 1999) de 5 Mbps para 11 Mbps na 802.11b (IEEE2, 1999).

A camada MAC do 802.11 oferece dois métodos de controle de acesso: um baseado em um controle distribuído denominado Função de Coordenação Distribuída (DCF) e outro baseado em uma consulta, onde os pontos de acesso, de tempos em tempos, consultam os terminais dando a possibilidade de transmissão e recepção dos dados denominado Função de Coordenação Pontual (PCF).

Nas seções seguintes será apresentado uma visão geral dos conceitos básicos de Redes Sem Fio e do padrão 802.11, serão discutidos os principais problemas nestas redes como:

roteamento e Qualidade de Serviço e apresentadas algumas técnicas utilizadas para solucionar estes problemas.

Este capítulo está organizado em cinco seções. Na seção 2.2 são descritos os conceitos básicos de Redes Móveis e as classificações destas redes como: Rede Móvel Infra-Estruturada e Rede Móvel *Ad Hoc*. A seção 2.3 descreve todos os aspectos de uma Rede Móvel *Ad Hoc* e apresenta, de forma resumida, alguns protocolos de roteamento para estas redes. Na seção 2.4 é apresentado o padrão IEEE 802.11 para Redes Locais Sem Fio e na seção 2.5 são realizadas as considerações finais do capítulo.

2.2. CONCEITOS BÁSICOS DE REDES SEM FIO

A telefonia fixa caracteriza-se pela associação de uma identidade numérica ao terminal telefônico, entretanto o propósito maior de uma ligação é alcançar uma determinada pessoa ou um grupo de pessoas de uma entidade.

Devido ao fato de a telefonia fixa associar o telefone a um local e não a uma pessoa, surgiram sistemas complementares para localizá-las, como o sistema de *paging*[2] (RAPPAPORT, 1996). O advento desse sistema possibilitou contatar as pessoas, mas ele não tinha recursos para fornecerem conversação.

A própria evolução da telefonia sem fio mostrou que não bastava ao indivíduo ter o telefone instalado no automóvel. Este telefone e outras tecnologias que o seguiram fazem parte de um passado recente. Os telefones portáteis representam hoje a preferência quase unânime dos usuários.

As pessoas continuam ainda a ter seu telefone residencial, outro no trabalho e pelo menos um terceiro (o celular) para usar quando não estiver presente nestes locais. O telefone residencial continua a ser o telefone do local antes de ser o telefone da pessoa.

Todavia, a telefonia sem fio caminha para o objetivo final e maior que é a Comunicação Pessoal, em que o indivíduo tem um número telefônico pessoal não vinculado ao aparelho ou local podendo ser alcançado por esse número em seu telefone residencial, comercial ou móvel.

[2] Sistema via rádio unidirecional utilizado para enviar mensagens curtas de procura ou de dados ao terminal

A comunicação sem fio ganhou um espaço considerável nas tecnologias de transmissão de dados, deixando de existir somente nas comunicações de longas distâncias (feitas através de satélites), para fazer parte de ambientes locais. Essa tendência foi fortalecida pelo investimento de instituições e empresas no sentido de aplicar a transmissão sem fio em redes de computadores.

Várias tecnologias podem ser utilizadas nas transmissões como: transmissões via rádio, microondas, infravermelho e transmissões via raios laser. Entretanto, por utilizarem o ar como meio de transmissão, algumas características como largura de banda limitada, erros provocados principalmente por interferências e falta de segurança são impostas.

Atualmente as tecnologias que mais se desenvolveram neste contexto foram: Redes Celulares 3G (RAPPAPORT, 1996), *Bluetooth* (HAARTSEN, 2000), *HomeRF* (HOMERF, 2002), Padrão 802.11 (IEEE, 1999), Redes Móveis *Ad Hoc* (MANET, 1999) e Sistemas via Satélites (FERRARI, 2001).

É possível classificar as Redes Sem Fio em três grandes grupos, levando-se em consideração a potência dos transmissores. Entretanto, redes de um grupo podem vir a fazer parte de outro, compondo-se uma rede maior com a junção de várias menores. Estes grupos são:

1) Redes Sem Fio de Pequeno Alcance

Essas redes possuem, normalmente, uma pequena quantidade de terminais sem fio e atuam sobre uma pequena área de cobertura. Hoje as grandes empresas, que desenvolvem este tipo de rede, baseiam seus produtos no padrão do IEEE. Essas soluções têm sido utilizadas para possibilitar a comunicação entre dispositivos sem fio, com o objetivo de permitir o controle remoto de equipamentos domésticos e interligar periféricos aos computadores, eliminando os fios e tornando mais flexíveis e prático o uso destes aparelhos. Destacam-se soluções proprietárias como: *Bluetooth* (BLUETOOTH, 2002) e *HomeRF* (HOMERF, 2002).

2) Redes Sem Fio de Médio Alcance

Abrangem as Redes Locais Sem Fio e as Redes Móveis *Ad Hoc*. O grande crescimento de aplicações que requeriam a utilização de Redes Sem Fio, fizeram com que as pesquisas em *WLAN* avançassem na mesma proporção. Isto obrigou o IEEE a constituir um grupo de

pesquisa para criar padrões abertos que pudessem tornar a tecnologia sem fio mais robusta. Esse projeto, denominado de Padrão 802.11, nascido em 1990, definiu em 1997 uma arquitetura para as *WLANs* que engloba níveis físicos e de enlace. No nível físico, são tratadas as transmissões em freqüência de rádio ou infravermelho e no nível de enlace o IEEE definiu um novo protocolo de controle de acesso ao meio. Este padrão será apresentado com maiores detalhes na seção 2.5.

Outro tipo de rede, que ganhou muita ênfase nos últimos tempos, foram as Redes Móveis *Ad Hoc* que consistem em terminais independentes de qualquer infra-estrutura. Esta independência reflete-se em uma topologia completamente dinâmica. As comunicações são realizadas diretamente entre os nós que podem, adicionalmente, ter funções especiais como roteamento. O crescimento de aplicações que necessitavam de rápida instalação, alta conectividade, tolerância a falhas e mobilidade tornaram este tipo de rede altamente atrativo. Não só o meio acadêmico, como também o meio corporativo, vislumbram um futuro promissor para estas redes, pois sua aplicabilidade cresce juntamente com as pesquisas e as tecnologias nesta área. Atualmente vários centros mantém pesquisas sobre este assunto como *Mobile Ad Hoc Networks* (MANET, 1999), *Rice University Monarch Project: Mobile Networking Architecture* (MONARCH, 2002) em Berkeley, *UCLA Wireless Adaptive Mobility Laboratory* (UCLA, 2002). Por isso esta rede e problemas relacionados a ela foram escolhidas para o desenvolvimento desta pesquisa. Na seção 2.3 será realizada uma descrição mais detalhada das Redes Móveis *Ad Hoc*, considerações sobre as características, arquitetura e dificuldades e uma comparação com as redes infra-estruturadas.

3) Redes Sem Fio de Longo Alcance

Estas redes têm um número expressivo de terminais sem fio se movimentando sobre uma extensa área de cobertura. Como exemplo pode-se citar Redes Celulares e os Sistemas via Satélites de Comunicação.

Redes Celulares são um exemplo clássico de uma rede infra-estruturada (IEEE, 1999). O conceito celular divide a área de cobertura do serviço em módulos de atendimento chamados células, cada uma delas servida por uma estação rádio base. Com isto, a distância entre a estação base e os terminais sem fio é menor, usa-se menor potência de transmissão e as freqüências utilizadas em uma célula podem ser reutilizadas, dentro de determinadas regras, em outras células. Os componentes básicos de uma rede celular são (RAPPAPORT, 1996):

- Central de Comutação e Controle (CCC): é responsável pela coordenação do roteamento e gerenciamento das chamadas em uma grande área de serviço e pela conexão das ERBs e dos terminais móveis com a telefonia fixa.
- Estação Rádio Base: as ERBs são estações fixas usadas para a comunicação entre todos os usuários móveis na célula e conecta simultaneamente chamadas dos móveis para o CCC. Elas consistem em unidade de rádio e controle. A unidade de rádio inclui os transmissores, receptores e as antenas. O controle é um microprocessador responsável pelo monitoramento e gerenciamento das chamadas;
- Terminal Móvel: terminal que contém um transmissor/receptor, uma antena, um circuito de controle e pode ser montado em veículos ou usados como unidades portáteis. Tem a função de efetuar e receber as chamadas;
- Células: área de cobertura de uma ERB.

O sistema evoluiu desde a primeira geração (1G) (YACOUB, 1993) até a terceira geração (3G) (RAPPAPORT, 1996), passando pela segunda geração (2G) (RAPPAPORT, 1996). Na 1G a tecnologia era analógica e o maior exemplo era o Sistema AMPS utilizado nos Estados Unidos. Na 2G houve a evolução da tecnologia analógica para a digital e o exemplo mais expressivo foi o GSM (*Global System for Mobile Communications*) desenvolvido na Europa. A 3G tem como maior objetivo, atender uma grande variedade de serviços como suporte a tráfego de voz, vídeo e dados, multimídia, *roaming* internacional, tarifação e segurança, e fornecer um único terminal universal para os usuários.

O outro tipo de Redes Sem Fio de grande alcance são os Sistemas via Satélites. Os cabos coaxiais e microondas eram os únicos recursos tecnológicos para o transporte de grandes fluxos de tráfego de telefonia, televisão e dados até o desenvolvimento comercial da tecnologia de satélites de comunicações. Após este acontecimento, os satélites foram, por muito tempo, o principal meio de transporte das ligações telefônicas intercontinentais.

O satélite de telecomunicações funciona como uma plataforma espacial onde são montadas antenas e equipamentos. Ele opera como uma repetidora ativa de feixes de microondas nas faixas de 4-6 GHz, 12-14 GHz e 20-30 GHz. O sinal é transmitido para o satélite numa faixa de freqüência chamada *uplink*, e retransmitido de volta à Terra em outra, denominada *downlink*, para evitar interferência entre os sinais de subida e descida. Os

satélites podem ser classificados em três grupos de acordo com suas órbitas (DORNAN, 2001):

- Satélites de Órbitas Geoestacionárias – GEOS: situam-se em uma órbita circular a uma altura de 36.000 km sobre o Equador e o período orbital dura exatamente 24 horas, o período de rotação da Terra;
- Satélites de Órbitas Médias à Terra – MEOS: situam-se em órbitas inclinadas em relação ao Equador a uma altitude entre 5.000 e 15.000 km acima da atmosfera. Têm a vantagem, em relação aos LEOS, de requererem menor quantidade de satélites para cobrir a Terra, porém exigem maior potência dos portáteis;
- Satélites de Órbitas Baixas à Terra – LEOS: são os de órbita mais baixa que se estendem de 400 a 1000 km e utilizam órbitas polares. Têm a vantagem de serem menores, de custo e lançamento mais baratos. Sob o ponto de vista de transmissão não apresentam o atraso prejudicial ao tráfego de voz. Entretanto precisam de maior quantidade de satélites para cobrir toda a superfície da terrestre.

Uma das maiores promessas para a próxima década, neste ambiente, é uma tecnologia denominada Sistema Móvel Universal. Segundo a concepção do projeto, os satélites projetam células na superfície terrestre e operam como suas estações bases. Quando um satélite está para perder a visão da sua célula, ele a transfere para outro que está se encaminhando para aquela célula. Quando um terminal móvel afasta-se da célula administrada por um satélite para outra administrada por outro satélite, faz-se um *handoff* entre satélites. Esta tecnologia deve ser aproveitada na implementação da terceira geração de redes celulares da Europa e do Japão (DORNAN, 2001).

2.2.1. TIPOS DE REDES MÓVEIS

De acordo com o padrão 802.11, estabelecido pelo comitê fundado em 1990 pelo *IEEE*, as Redes Móveis podem ser classificadas como independentes (*Ad Hoc*) ou infra-estruturadas. De acordo com (CHENG, 1998) outra taxonomia para estas redes também pode ser usada. Baseado na quantidade de saltos na transferência de um pacote, as Redes Móvies Sem Fio

podem ser classificadas em dois tipos: Único salto *(single-hop)* e Múltiplos saltos *(multi-hop)*. Uma rede com Único salto geralmente requer infra-estrutura fixa e configurada. Uma rede com Múltiplos saltos, por outro lado, não necessita de uma infra-estrutura fixa, podendo então, fornecer maior flexibilidade, por exemplo, em áreas inóspitas. Estas duas redes são detalhadas a seguir.

2.2.1.1. REDE MÓVEL INFRA-ESTRUTURADA

Em uma Rede Sem Fio infra-estruturada, a área total de serviço é dividida em várias regiões de serviços menores. Em cada região é necessário alocar ao menos um Ponto de Acesso, também conhecidos como estação de suporte à mobilidade (ESM), ou somente estação base, para fornecer serviço de rede para os nós [3]móveis. O nó móvel (NM) conecta-se à rede para estabelecer uma conexão sem fio com a estação base. As conexões entre estações base são usualmente fornecidas por um *backbone* de alta velocidade. A FIG 2.1 mostra um modelo de uma rede infra-estruturada.

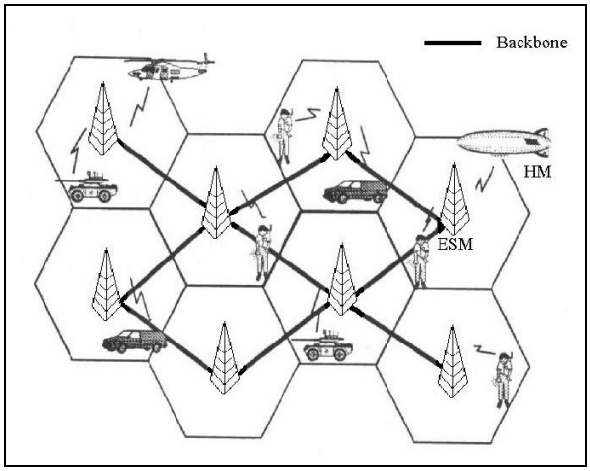

FIG. 2.1 – Ambiente de comunicação móvel sem fio infra-estruturado (Rede Celular)

[3] os termos terminal móvel, móvel e nó móvel serão adotados para referenciar, de forma genérica, um computador portátil ou um *Personal Digital Assistant* (PDA)

Normalmente enlaces sem fio, em uma rede móvel infra-estruturada, existem somente entre um NM e a ESM pelo fato de que as Estações Rádio Base comunicam-se entre si através de uma rede fixa de alta velocidade.

O principal desafio nesta rede é o problema do "*handoff*" (YACOUB, 1993) causado pela mobilidade do terminal móvel. O processo de *handoff* acontece quando um terminal móvel se move para fora da área de transmissão de sua estação base atual e entra em uma região servida por outra estação base. Para manterem a salvo a conexão e a entrega dos pacotes, a estação base atual e a nova estação base comunicam-se efetuando um procedimento de redirecionamento de chamadas.

2.2.1.2. REDE MÓVEL *AD HOC*

A desvantagem de uma rede sem fio infra-estruturada é que ela requer uma rede fixa pré-estabelecida, o que não é possível em certas circunstâncias como, por exemplo, desastres (incêndio, inundações e terremotos), esforços coordenados de emergência e resgate ou explorações em uma área não povoada. Aplicações deste tipo requerem uma infra-estrutura imediata para transportar qualquer tipo de informação. As Redes *Ad Hoc* (referidas pelo IETF[4] como *MANET – Mobile Ad hoc NETwork*) servem exatamente para estas ocasiões porque elas se baseiam meramente em comunicações sem fio e permitem a mobilidade do terminal. Um exemplo do modelo de redes móveis *Ad Hoc* é mostrado na FIG 2.2.

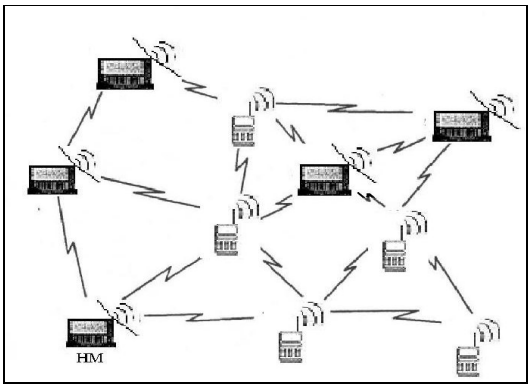

FIG. 2.2 – Ambiente de Comunicação Móvel Ad Hoc

[4] IETF – *Internet Engineering Task Force*

Em uma Rede Móvel *Ad Hoc*, todos os terminais movem-se livremente e não necessitam de nenhuma infra-estrutura de comunicação. Entretanto, um terminal móvel só consegue transmitir informações para outro que esteja dentro da sua área de transmissão (terminal vizinho). Conseqüentemente, um pacote que deve alcançar um nó de destino, que esteja fora da área de transmissão do nó de origem, deverá passar por outros nós, chamados de nós intermediários, que servirão como roteadores até chegar ao seu destino. Por este fato, um dos maiores desafios em Redes Sem Fio *Ad Hoc* está relacionado com a transmissão eficiente de pacotes de dados de um terminal móvel para o outro. Pesquisas nesta área estão sendo realizadas desde os anos 70, quando a DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) começou o projeto de uma Rede de Pacotes via Rádio (PRNET) que tinha como objetivo o suporte a tráfego de datagramas. Desde os anos 90, suas sucessoras WAMIS (WAMIS, 2002) e GLOMO (GLOMO, 2002) estão trabalhando em suporte multimídia (CHENG, 1998).

Cada nó participante na Rede *Ad Hoc* utiliza um protocolo de roteamento que permite descobrir caminhos com múltiplos saltos (*multi-hop*) para qualquer outro nó. Essa rede pode também ser chamada de rede sem infra-estrutura, já que os nós estabelecem rotas dinâmicas entre eles para formarem sua própria rede. Outros exemplos de possíveis utilizações de uma rede *Ad Hoc* incluem estudantes utilizando *laptops* para participarem de uma conferência interativa, empresários compartilhando informações durante uma reunião, comunicação em feiras e exposições e soldados enviando informações em campos de batalhas.

2.2.1.2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE REDES MÓVEIS *AD HOC*

As Redes *Ad Hoc* possuem vantagens e desvantagens se comparadas com redes infra-estruturadas (CAMARA e LOUREIRO, 1998).

Como vantagens pode-se citar:

- rápida instalação: as redes podem ser instaladas rapidamente em locais sem nenhuma infra-estrutura prévia pelo fato de que não necessitam de bases fixas para rotear e gerenciar as mensagens;
- tolerância a falhas: o mal funcionamento ou desligamento de uma estação pode ser facilmente resolvido com a reconfiguração dinâmica da rede. Em uma rede fixa, ao

contrário, quando ocorre uma falha em um roteador, o redirecionamento de tráfego, quando possível, é uma operação complexa. Falhas em redes infra-estruturadas são ainda mais graves se ocorrerem na estação de suporte a mobilidade, pois é uma entidade centralizadora, isto é, todas as comunicações dos nós dependem dela;

- conectividade: se duas estações estão dentro da área de alcance das ondas de rádio, elas têm um canal de comunicação. Em uma rede fixa, mesmo que duas estações estejam uma ao lado da outra, é necessário que as estações estejam ligadas por um meio guiado para que troquem informações. Em uma rede infra-estruturada é necessária a comunicação do terminal móvel com a estação base e desta para o outro terminal móvel;
- mobilidade: em contraposição à falta de mobilidade dos computadores fixos.

Como desvantagens podem ser citados:

- banda passante: canais de comunicação sem fio, normalmente, possuem bandas passantes menores e limitadas devido ao meio utilizado para a comunicação;
- erros no enlace sem fio: a taxa de erros em um enlace sem fio é tipicamente de um bit errado a cada 10^5 ou 10^6 bits transmitidos, enquanto que em uma fibra óptica esta taxa é tipicamente de um a cada 10^{12} - 10^{15} bits retransmitidos;
- localização: existe o problema de se conhecer a localização física do terminal móvel e enviar, para esse ponto, suas mensagens. Em redes fixas este problema não ocorre, pois o endereço IP indica implicitamente a localização do nó. Já em redes *Ad Hoc*, localizar o usuário é um problema, pois não se tem nenhuma informação geográfica e o endereço da máquina não tem, necessariamente, mais nenhuma relação com sua posição;
- roteamento: em uma rede fixa a topologia dificilmente se altera. Em redes *Ad Hoc* os nós movem-se de um lado para o outro de forma não determinística.

2.3. PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES *AD HOC*

O IETF criou um grupo de trabalho que tem por finalidade discutir os problemas e padronizar um ou mais algoritmos de roteamento para uma rede móvel *Ad Hoc*. De acordo

com o RFC 2501 (CORSON e MACKER, 1999) publicada por este grupo em janeiro de 1999, as características que tornam os sistemas de Redes Móveis *Ad Hoc* mais complexos do que os sistemas de Redes cabeadas são:

- topologia dinâmica: os nós são livres para se moverem arbitrariamente, ou seja, a topologia da rede muda freqüentemente e os enlaces podem ser bidirecionais ou unidirecionais;
- tamanho de banda restrito: enlaces sem fio continuam a ter capacidade significativamente menor do que enlaces das redes fixas;
- operação para economia de energia: alguns ou todos os nós numa MANET utilizam baterias para fornecimento de energia; neste sentido, a conservação de energia é um dos critérios mais importantes para o desenvolvimento do sistema;
- segurança física limitada: as redes móveis sem fio são mais vulneráveis às ameaças na segurança do que as redes fixas; o aumento da possibilidade de escuta, invasão e ataques deve ser cuidadosamente considerado, porém, por terem um controle descentralizado, possuem como benefício maior robustez em relação às redes centralizadas.

Como conseqüência da degradação do nível recebido e da interferência presente no meio existe a possibilidade de perda de comunicação entre dois nós. Dessa forma, um mecanismo de roteamento deve sempre poder restaurar a comunicação através de outros nós. Outro problema surge a partir do momento em que se deseja enviar uma mensagem para um outro nó, já que é necessário encontrar o nó de destino para então traçar uma rota até ele e manter esta rota até o fim da comunicação. Por isso, torna-se necessário um mecanismo de gerenciamento de rotas.

Existem várias razões para que o roteamento e a localização de um móvel em Redes Móveis sejam mais difíceis do que em redes fixas. Além das características inerentes ao ambiente descritas acima, pode-se citar as seguintes :

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

- retardo: características de retardo são importantes para todo os tipos de aplicações, especialmente, para aquelas limitadas no tempo e aplicações multimídia tais como voz e vídeo;
- interferência com outros móveis: como os móveis podem se movimentar aleatoriamente e conseqüentemente podem se aproximar muito uns dos outros, as interferências entre os móveis aumenta, principalmente, se houver reúso espacial.
- inexistência de uma entidade central: a falta de uma entidade centralizadora, com a capacidade de coordenar a rede de forma completa, exige a adoção de sofisticados algoritmos de roteamento. Este fato torna a forma de operação mais complexa.
- todas as comunicações devem ocorrer através do meio sem fio: este fator traz vários problemas relativos à conectividade, à propagação de sinais e à baixa velocidade do canal.

A principal função da camada de redes é rotear pacotes de uma máquina de origem para uma ou mais máquinas de destino. O algoritmo de roteamento é a parte do *software* da camada de redes responsável pela decisão sobre a linha de saída a ser usada na transmissão do pacote de entrada (TANEMBAUN, 1996). As características desejadas de um algoritmo de roteamento são as seguintes:

- funcionamento correto: escolher de forma correta a melhor rota para o pacote;
- simplicidade: o algoritmo deve oferecer os serviços com a quantidade mínima de processamento possível;
- robustez: o algoritmo deve sempre chegar a uma resposta aceitável e funcionar corretamente por anos sem que ocorram falhas no sistema;
- escalabilidade: o algoritmo deve prever e continuar funcionando bem, apesar do aumento do número de nós da rede;
- convergência para a rota ótima: como as rotas podem mudar rapidamente, o algoritmo deve escolher, o mais depressa possível, a rota ótima;
- aceitação de parâmetros QoS: para alguns tipos de tráfego, o suporte a parâmetros de QoS como perda de pacotes e atraso máximo é imprescindível, principalmente em redes militares;
- adaptabilidade: inerente às Redes *Ad Hoc*, o algoritmo deve ser capaz de trabalhar com mudanças freqüentes na topologia;

- ♣ independência da tecnologia de rede: deseja-se que o algoritmo funcione na maior variedade de computadores e meios físicos;
- ♣ *"fairness"* (justiça ou eqüitatividade): todos os móveis devem conseguir ter acesso aos recursos fornecidos pela rede.

Os Algoritmos de Roteamento para redes cabeadas podem ser classificados de várias maneiras. Em (TANEMBAUN, 1996) eles são divididos em duas classes principais: algoritmos não-adaptativos (estáticos) e algoritmos adaptativos (dinâmicos). Já em Redes Sem Fio, por causa da mobilidade dos nós, todos os algoritmos são dinâmicos. Sendo assim, outro tipo de classificação é utilizada. Eles também são divididos em duas classes: roteamento plano e roteamento hierárquico e serão descritos mais tarde.

Essas duas classificações são freqüentemente utilizadas, mas não descrevem com exatidão o tipo de funcionamento dos algoritmos de roteamento em Redes Sem Fio *Ad Hoc*, sendo necessário acrescentar uma outra e subdividí-las em dois tipos: uma com relação à filosofia de roteamento e a outra com relação à construção das rotas (seção 2.3.1).

Os algoritmos de roteamento para uma Rede *Ad Hoc* foram baseados nos principais algoritmos de roteamento para redes cabeadas, o Estado de Enlace (*Link State*) e o Vetor de Distância (*Distance Vector*) (TANEMBAUN, 1996).

2.3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES *AD HOC*

Em 1999 o grupo IETF (IETF, 1999) introduziu algumas propriedades que devem ser levadas em consideração, quando tratamos da qualidade dos protocolos de roteamento em uma Rede *Ad Hoc*, tais como:

- ♣ operação distribuída: para evitar a centralização que leva à vulnerabilidade. Esta propriedade é essencial para o roteamento em uma Rede *Ad Hoc*;
- ♣ protocolos livres de *loops*: para que os pacotes não fiquem trafegando durante um período de tempo relativamente grande na rede, pode ser usada como solução uma variável do tipo TTL (*time to live*), mas uma abordagem melhor estruturada é mais indicada, por exemplo a utilização de número de seqüência (MANET);

- ♣ operação baseada na demanda: o algoritmo de roteamento deve ser adaptável às condições de tráfego; se isto for feito de forma inteligente, os recursos de energia e largura de banda serão utilizados de forma mais eficiente;
- ♣ operação pró-ativa: em alguns momentos a latência adicionada pela operação baseada na demanda, poderá ser inaceitável; se os recursos de energia e largura de banda permitirem, serão desejáveis operações pró-ativas;
- ♣ segurança: se as camadas de rede e de enlace não garantirem segurança, os protocolos de roteamento MANET estarão vulneráveis a muitas formas de ataques; é necessário que hajam mecanismos para inibir modificações nas operações dos protocolos;
- ♣ operação nos períodos de "sonolência" do nó: como resultado da conservação de energia ou de alguma outra inatividade, os nós devem parar de transmitir e/ou receber por um período arbitrário de tempo, sem que isto resulte em maiores conseqüências;
- ♣ suporte a enlaces unidirecionais: tipicamente, uma Rede *Ad Hoc* assume enlaces bidirecionais e muitos algoritmos são incapazes de funcionar corretamente sobre enlaces unidirecionais. Entretanto, enlaces unidirecionais podem ocorrer em Redes Sem Fio.

Segundo o grupo MANET, existem pontos que podem ser observados para avaliar, de forma quantitativa, um protocolo de roteamento para Redes *Ad Hoc*. São eles:

- ♣ *throughput* e atraso fim-a-fim dos pacotes de dados;
- ♣ tempo para aquisição de uma rota, principalmente para algoritmos que trabalham sob demanda de rotas;
- ♣ porcentagem de pacotes entregues;
- ♣ eficiência do protocolo, que é o número de pacotes de controle necessários para que o protocolo funcione corretamente;
- ♣ capacidade de manipular e escolher a melhor rota baseada em parâmetros de QoS.

Agora serão apresentados alguns dos algoritmos de roteamento para uma Rede *Ad Hoc* dentre os mais referenciados na literatura e que serviram de base para a maioria dos protocolos atuais. Os algoritmos podem ser classificados de várias maneiras dependendo de suas características tanto físicas como lógicas. Neste trabalho, será apresentado uma taxonomia que pretende abranger duas características essenciais dos algoritmos no que diz

respeito à topologia lógica da rede e à construção das rotas. Assim, pode-se considerar os algoritmos de roteamento para uma Rede *Ad Hoc* da seguinte maneira:

1) quanto à filosofia de roteamento:

- ♣ roteamento plano (IWATA, CHIANG, PEI et. al., 1999): em redes que possuem roteamento plano, todos os nós são iguais, isto é, possuem a mesma responsabilidade na rede e o roteamento de pacotes é feito baseado em comunicações ponto-a-ponto, restringido somente pelas condições de propagação. Todos os nós possuem uma visão global da rede, o que acarreta em constantes trocas de informações sobre a disposição da topologia, aumentando sensivelmente a sobrecarga nos enlaces de comunicação. Porém, o gerenciamento de localização é simplificado pelo fato de que todos os nós possuem informações da rede como um todo e, desta maneira, podem encontrar um nó desejado a partir dessas informações (FIG. 2.3).

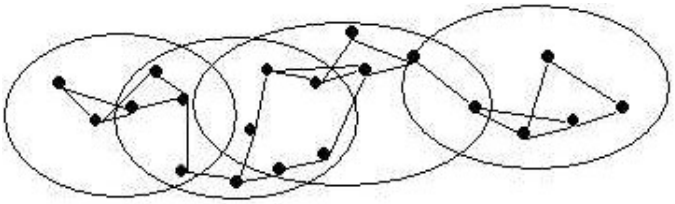

FIG. 2.3 – Roteamento Plano

- ♣ roteamento hierárquico (IWATA, CHIANG, PEI et. al., 1999): quando o roteamento hierárquico é utilizado, os roteadores são divididos em zonas, onde cada roteador conhece todos os detalhes sobre como rotear pacotes para os nós de destino dentro de sua própria zona, mas conhece muito pouco da estrutura interna de outras zonas. Nesse roteamento existem ao menos duas camadas: uma camada mais baixa (primeiro nível), onde nós próximos geograficamente criam redes ponto-a-ponto. Em cada uma dessas redes, ao menos um nó é designado para servir como *gateway* para a camada mais alta. Estes nós *gateway* criam o segundo nível da rede, que usualmente, requer maior poder de transmissão/recepção. A FIG. 2.4 ilustra um roteamento hierárquico.

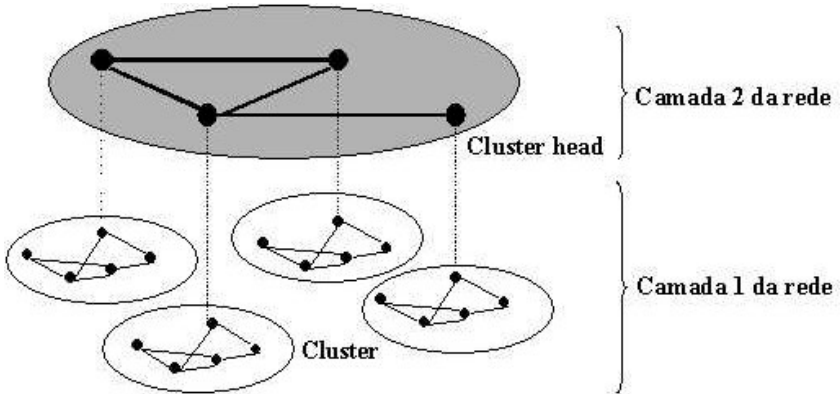

FIG. 2.4 – Roteamento Hierárquico

2) Quanto à Construção das Rotas os algoritmos podem ser:

- reativos ou sob demanda (ROYER e TOH, 1999), nos quais um nó cria a rota somente quando necessita enviar dados para um determinado destino e não possui esta rota, possibilitando economia de banda e de bateria, mas leva um tempo maior para a obtenção de rotas;
- pró-ativos ou baseados em tabela (ROYER e TOH, 1999), nos quais um nó atualiza de forma periódica as rotas;
- híbridos (CAMARA e LOUREIRO, 1999), em que apenas uma parte dos nós faz atualização periódica e a outra trabalha de forma reativa.

2.3.1.1. PROTOCOLOS REATIVOS OU SOB DEMANDA

Nos protocolos reativos ou sob demanda, quando um terminal móvel requer uma rota, ele inicia um processo denominado descobrimento de rotas. Este processo termina quando ele encontra o destino, quando ele encontra um nó intermediário que conhece uma rota para o destino ou quando todas as rotas possíveis foram testadas. Caso uma nova rota seja estabelecida, outro processo é iniciado. Este procedimento é chamado manutenção de rotas e mantém as rotas ativas até que o terminal de destino encontre-se inacessível ou até que a

comunicação termine e a rota já não é mais necessária. A seguir serão descritos alguns protocolos de roteamento que utilizam algoritmos reativos para a construção de rotas.

θ *DYNAMIC SOURCE ROUTING* (DSR)

O DSR (JOHNSON, MALTZ, HU et al., 2002) é um algoritmo do tipo roteamento pela origem (*Source Routing*), isto é, o nó de origem determina qual a rota que o pacote deve seguir pela rede. Não são enviadas mensagens periódicas para troca de informações de roteamento, acarretando economia de banda e de energia de bateria. O DSR considera ainda que a velocidade dos nós é moderada se comparada com a velocidade de transmissão e que o diâmetro da rede é pequeno.

No DSR, o nó origem cria uma rota completa que um pacote seguirá pela rede, acrescenta essa informação no cabeçalho do pacote e o envia para o primeiro nó indicado na lista. Cada nó mantém um *cache* com as rotas que aprende e, quando receber um pacote das camadas superiores, verifica se ele possui uma rota para o destino. Se existir, a origem usa esta rota para enviar o pacote. Caso contrário, usa o protocolo de descobrimento de rotas para encontrar uma rota para o destino. Cada rota armazenada no *cache* possui um tempo de vida e após a expiração deste período esta rota é retirada do *cache*. Os nós sempre utilizam o protocolo de descobrimento de rotas quando ocorre um erro no roteamento, mudança de posição ou desligamento do nó.

O protocolo de descobrimento de rotas funciona da seguinte forma: o nó origem envia por difusão para seus vizinhos um pacote de requisição de rota contendo o endereço de origem, o endereço de destino e o registro de rota. Cada nó, ao receber esse pacote, verifica se há em seu *cache* uma rota para o nó destino. Se existir, envia para o nó origem um pacote de resposta de rota contendo uma lista com a seqüência de todos os nós até o destino; se não existir, os nós inserem seu endereço no registro de rota e repassam o pacote também por difusão para seus vizinhos. Esse procedimento se repete até que o pacote chegue ao destino ou até que algum nó tenha uma rota para ele. Quando isto acontece, é enviado um pacote de resposta utilizando o caminho que está armazenado no registro de rota, necessitando para isso de enlaces bidirecionais. Dessa forma, supondo que não houve falhas de comunicação, o nó origem, além de descobrir rotas para o destino, passará a conter rotas para todos os nós intermediários, possíveis destinos. A FIG. 2.5 ilustra o protocolo.

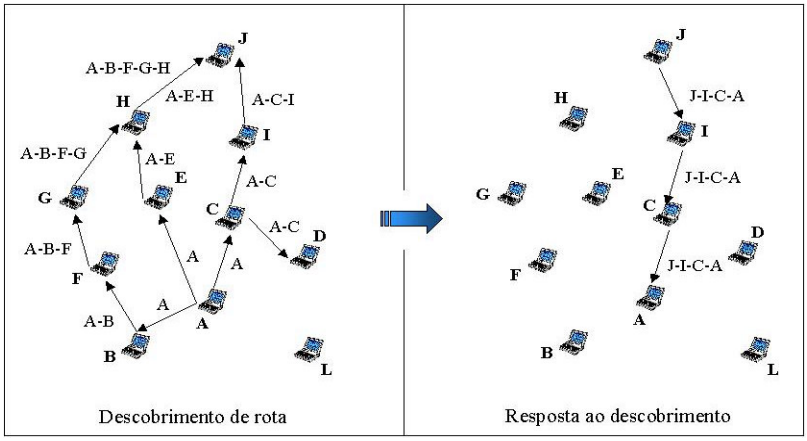

FIG. 2.5 – Requisição de rotas e a resposta ao pedido de requisição.
O nó de origem é o *A* e o nó de destino é o *J*.

O nó A envia um pacote de requisição de rota para os seus vizinhos. Esse pacote percorre os nós intermediários, que inserem no cabeçalho do pacote seu endereço, e chega no nó de destino J. Ao receber o pacote de requisição, o nó J inverte a rota encontrada no cabeçalho (J-I-C-A) e envia um pacote de resposta por este caminho. Se duas requisições de rotas chegarem ao mesmo tempo no nó de destino, a rota escolhida será a que tiver o menor número de nós intermediários ou a que tiver o menor custo (atraso, *jitter*).

Como a topologia nessas redes é altamente dinâmica, o algoritmo contém um mecanismo para manutenção de rotas. Cada nó pode monitorar os pacotes de confirmação de outros nós ou ouvir todas as comunicações que passam por ele (modo promíscuo). Assim, cada nó pode determinar se houve algum problema com os vizinhos e enviar um pacote de erro de rota para o nó origem. Esse, então, deve escolher outra rota que esteja em seu *cache* ou iniciar uma nova requisição de rota.

Uma das vantagens do DSR é ser um algoritmo do tipo reativo que permite uma economia de banda maior, pois não precisa que as informações dos nós sejam atualizadas continuamente.

Apresenta como desvantagem a utilização de inundação (*flooding*) (TANEMBAUN, 1996) e problemas de escalabilidade típicos desse mecanismo. Outro aspecto negativo ocorre quando o DSR é aplicado em enlaces unidirecionais. Nesse modelo, as interfaces trabalham em modo promíscuo, isto é, todas as informações são compartilhadas, mesmo as que não são destinadas ao nó. Isto acontece porque o nó precisa recolher todas as informações possíveis sobre as rotas, já que a proximidade dos nós não siginifica que um enlace esteja ativo devido a natureza unidirecional do canal. O modo promíscuo pode acarretar problemas à segurança, já que algum intruso pode ter acesso a informações sigilosas.

Semelhante ao DSR, o *Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing* (AODV), descrito em (PERKINS e ROYER, 1998), é reativo, permite *multicasting* e foi baseado no *Destinatio-Sequenced Distance-Vector* (PERKINS, 1994), porém não suporta enlaces unidirecionais. No AODV são criados enlaces reversos para que o nó de destino saiba a seqüência de nós que os pacotes devem seguir até a origem.

θ *TEMPORALLY – ORDERED ROUTING ALGORITHM* (TORA)

O objetivo do TORA (PARK, 1998) é minimizar o impacto das mudanças topológicas da rede nas atualizações das tabelas de rotas, mesmo que isso talvez acarrete em uma escolha de uma rota que não seja ótima. Isso é feito restringindo a mensagem de roteamento a um pequeno grupo de nós que estejam perto de onde ocorreu a mudança.

Cada nó mantém apenas informações referentes dos seus vizinhos, podendo o algoritmo prover múltiplos caminhos para um mesmo destino. O TORA pode ser dividido em três funções básicas: criação, manutenção e deleção de rotas.

A criação de rotas requer o estabelecimento de uma seqüência de enlaces iniciados na origem até o destino. Esta criação é realizada através de um grafo acíclico até o destino, garantindo um roteamento livre de *loops*. Quando um nó necessita de uma rota, ele transmite um pacote de requisição com o endereço de destino. O pacote se propaga pela rede até chegar ao destino ou a qualquer nó que conheça uma rota até ele. Este nó, então, envia à origem uma resposta contendo a sua altura (o número de saltos) em relação ao destino. No caminho até a origem, cada nó por onde o pacote passa ajusta sua altura (a quantidade de saltos do nó até o destino) a um valor maior do que o do vizinho. Isso é feito para criar enlaces direcionados da origem até o nó que respondeu, configurando assim uma rota.

Quando um nó descobre uma rota inválida até o destino, ele realiza um processo de manutenção de rota que ajusta a sua altura de modo que seja a maior em relação aos seus vizinhos e transmite uma requisição de rota. No momento que receber a resposta, o nó terá o valor de sua altura. A deleção ocorre quando um nó detecta que houve uma fragmentação na rede e envia um pacote de desobstrução para retirar as rotas inválidas.

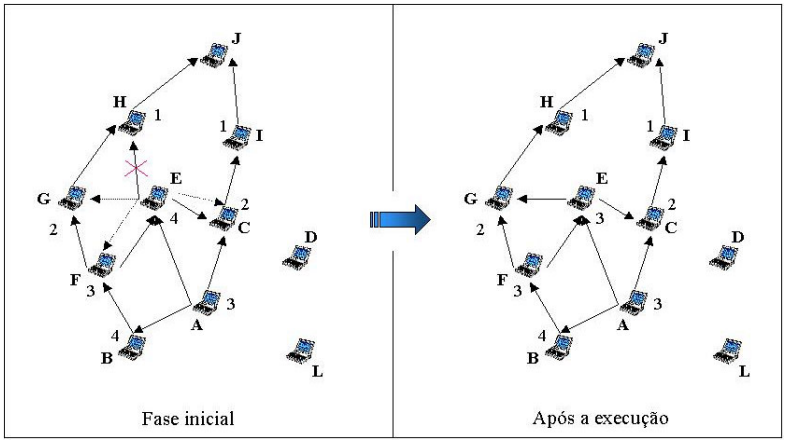

FIG. 2.6 – TORA na fase inicial do protocolo de manutenção de rotas e após a execução do protocolo

A FIG. 2.6 mostra o protocolo de manutenção de rotas em ação. Suponha que o enlace E, H tenha se rompido. O nó E deve ajustar o valor da altura (FIG. 2.6 – Fase inicial. E – 4) para que este seja o maior em relação aos seus vizinhos e depois deve enviar uma requisição de rotas para os nós: C, G, F e A. Ao receber as mensagens de volta, o nó E irá avaliar as alturas dos nós vizinhos e poderá calcular a sua própria altura. (FIG. 2.6 – Após a execução. C - 2, G-2, F-3 e A-3 → E - 3).

O TORA é um algoritmo robusto, mas em (PARK e CORSON, 1998) ele obteve o pior desempenho entre os algoritmos analisados em redes que continham mais de trinta nós, sendo incapaz de gerenciar o tráfego gerado pelo protocolo.

θ *ASSOCIATIVITY - BASED ROUTING* (ABR)

O protocolo de roteamento ABR (TOH, 1999) define que as rotas devem ser estabelecidas respeitando-se uma métrica proposta pelo protocolo. Esta métrica, denominada grau de associatividade, é calculada através da geração de pacotes de controle (*beacons*) que são transmitidos pela rede de tempos em tempos. Cada vez que um nó ouvir um *beacon*, ele incrementa o contador de associatividade do nó que gerou o sinal. Rotas com um grande grau de associatividade implicam em maior estabilidade.

O ABR pode ser dividido em três partes: descobrimento, reconstrução e deleção de rotas. Quando uma rota é requisitada, a fase de descobrimento de rotas é acionada, onde o nó faz uma difusão da requisição para os nós vizinhos. Ao receber essa requisição, o nó verifica se é o destino, e se não for, inclui no pacote o seu endereço, o valor de sua associatividade com seus vizinhos e depois o reenvia por difusão para os seu vizinhos. O nó sucessor apaga todas as informações de associatividade que o nó anterior tinha com seus vizinhos deixando as dele

e o caminho percorrido. Assim, quando o pacote chegar ao destino, poderá escolher a melhor rota examinando a associatividade dos nós. Se duas rotas possuírem o mesmo grau de associatividade o nó deve escolher aquela que tiver o menor número de nós. O nó de destino ao escolher uma rota, envia uma resposta por este caminho. Os nós pertencentes ao caminho escolhido marcam esta rota como válida.

Dependendo da forma como os nós pertencentes à rota se moveram, a fase de reconstrução das rotas consistirá em um descobrimento de rotas parcial, uma atualização de rotas válidas para ter certeza de que elas não se alteraram, ou ainda em um novo descobrimento de rotas. Se o nó de origem se movimentar, um novo descobrimento de rotas será iniciado (FIG. 2.7) e, uma mensagem é enviada para apagar a rota antiga. Quando acontece uma movimentação do nó de destino, o nó imediatamente anterior verifica se existe uma rota utilizando outro nó. Caso exista, o destino responde ao nó que requisitou a rota através de uma resposta parcial utilizando o melhor caminho. Se não for possível encontrar o nó de destino, o processo reinicia a partir do nó imediatamente anterior. Se o processo voltar até o nó de origem um novo processo de descobrimento de rota é disparado. Na FIG. 2.7 o nó de origem A se movimenta gerando um novo processo de descobrimento de rota. Nesta mesma figura, pode-se notar que uma movimentação do nó de destino J ocasionou em um processo parcial de requisição de rota.

A fase de deleção de rota é realizada quando uma rota não é mais necessária. Uma mensagem de deleção de rota é enviada por difusão para todos os nós intermediários, para que esses possam atualizar suas tabelas retirando a rota indicada. A difusão é utilizada porque os nós intermediários podem se mover durante o processo.

De acordo com (TOH, 1999), o ABR possui interessantes conceitos como: associatividade e recuperação de rotas, além de poder lidar com parâmetros de QoS, que é muito importante. Em termos de seleção de rota há a flexibilidade de se utilizar como métrica, parâmetros de QoS como atraso e largura de banda. Todavia, este protocolo possui os mesmos problemas dos algoritmos do tipo sob demanda.

No ABR o nó de destino deve escolher, de um conjunto de rotas possíveis entre a origem e o destino, a rota que possuir a melhor métrica, ou seja, a de maior grau de associatividade. Para isso é esperado que o nó receba várias requisições de rota, o que acaba ocasionando um problema no processo pois aumenta o tempo de espera por uma rota.

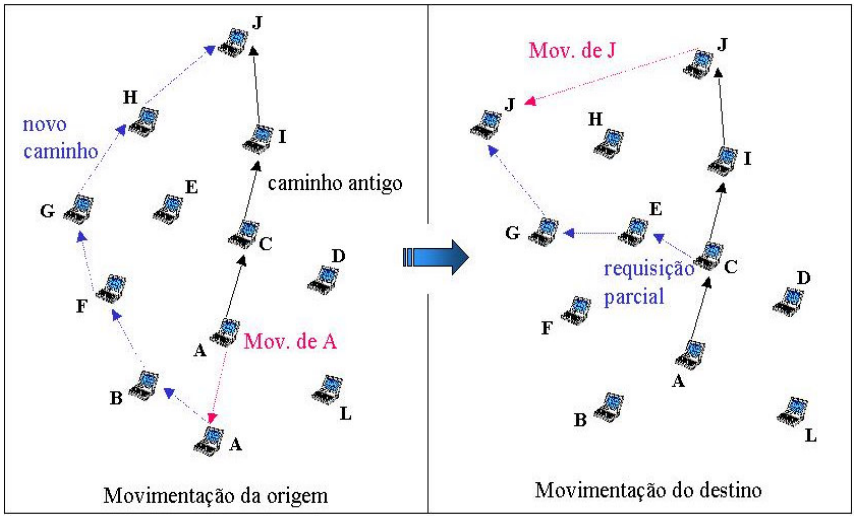

FIG 2.7 – Fase de reconstrução de rotas. É mostrado o momento em que a origem se move (esquerda) e o momento em que o destino muda sua posição (direita)

θ *LOCATION-AIDED ROUTING* (LAR)

O LAR utiliza a localização geográfica dos nós, através do uso do sistema GPS (*Global Positioning System*) (DOMMETY e JAIN, 1996), para descobrir uma rota até um determinado destino. Conhecendo-se a localização geográfica do nó de destino, torna-se possível restringir a área a ser pesquisada. Este algoritmo sugere um conceito similar ao de áreas de localização (RAPPAPORT, 1996) existente a partir da segunda geração das redes de comunicação móvel celular, como o GSM (MOULY, 1992).

Usando uma inundação (*flooding*) na rede, o LAR envia uma requisição de informações sobre a localização do nó. O destino, ao receber a informação, retorna ao nó origem, através dos nós intermediários, uma resposta contendo informações como, por exemplo, sua localização.

Em (KO, 1998), são propostas duas variações para o LAR. A primeira, denominada LAR1, usa uma zona de requisição em formato retangular que pode conter o destino. Cada nó, ao receber um pacote, verifica se está dentro da zona de requisição. Se estiver, envia novamente a mensagem para seus vizinhos; caso contrário, ignora os pacotes. A FIG 2.8 mostra o funcionamento do LAR1. Nesta figura, o nó de origem O envia a requisição para os vizinhos I e N. Os dois nós ao receberem a mensagem, verificam se estão na zona de requisição. Como o nó N não faz parte desta zona, ele descarta o pacote. Já o nó I processa o pacote e, como não é o destino, reenvia a mensagem para os seus vizinhos que realizam o mesmo procedimento até que a mensagem chegue ao destino.

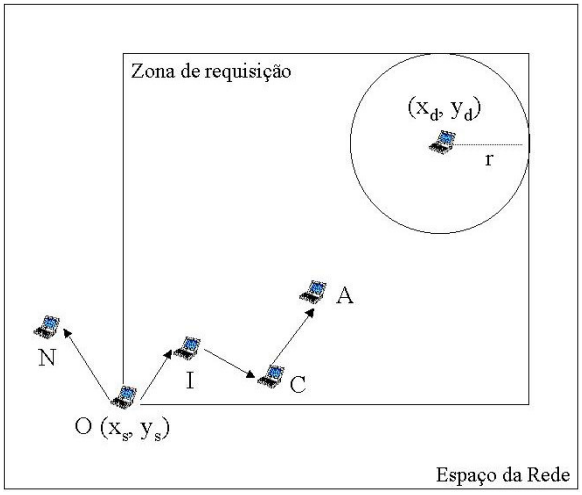

FIG. 2.8 – LAR esquema 1

A segunda variação, denominada LAR2, considera que uma mensagem possui duas informações usadas na escolha de uma zona: as coordenadas do nó e uma estimativa da distância que o nó pode estar dessa coordenada. As informações são usadas pelos nós intermediários para determinar a possível zona onde o móvel de destino pode ser encontrado. Cada nó ao receber uma mensagem, verifica se está mais próximo do destino do que o nó que enviou a mensagem; caso esteja, faz uma difusão para seus vizinhos, senão ignora o pacote. A FIG. 2.9 mostra o esquema 2 para o protocolo de roteamento.

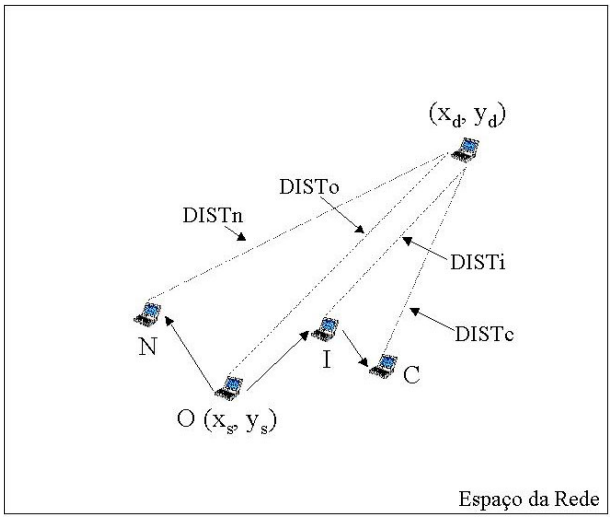

FIG. 2.9 – LAR esquema 2

Na FIG. 2.9 acima pode-se observar o processo de descobrimento de rota efetuado pelo esquema LAR2. O nó de origem envia a requisição de rota para os vizinhos N e I. Além das informações de endereço do nó de origem e do nó de destino, são enviadas no pacote as coordenadas do nó e uma estimativa da distância que o nó está do destino. Ao receber esse pacote o nó N irá comparar sua estimativa de distância com a encontrada na mensagem. Como ele se encontra a uma distância maior, o pacote é descartado. O nó I recebe a informação, percebe que está a uma distância menor do que a encontrada na mensagem e, como não é o destino, insere sua distância e envia para os vizinhos.

Com a utilização do GPS, o LAR apresenta uma nova e importante característica que é o roteamento baseado em informações geográficas do nó. A maior desvantagem é o uso de inundação na fase inicial.

2.3.1.2 PROTOCOLOS PRÓ-ATIVOS

Protocolos de roteamento pró-ativos tentam manter consistentes as informações sobre a topologia da rede armazenadas nas tabelas de roteamento e trocadas entre os nós. Estes protocolos requerem que cada nó detenha uma ou mais tabelas para armazenarem informações de roteamento. As atualizações são disparadas de tempos em tempos ou quando um nó percebe que a topologia da rede foi modificada. Este processo é efetuado para manter a consistência da visão global da rede em cada nó. De acordo com (ROYER, 1999), estes protocolos se diferem pelo número de tabelas de roteamento requeridas para armazenarem as informações e pelos métodos que cada um utiliza para difundir as mudanças estruturais da rede. A seguir serão descritos alguns protocolos de roteamento baseados em troca de tabelas utilizados em ambientes móveis *Ad Hoc*.

- *DESTINATION-SEQUENCED DISTANCE-VECTOR* (DSDV)

O protocolo DSDV é baseado em um algoritmo clássico chamado Vetor de Distância (*Distance Vector*) (TANENBAUM, 1996).

No DSDV, cada nó mantém uma tabela de roteamento que tem uma entrada para cada destino na rede. Os atributos para cada destino são o próximo salto, a métrica utilizada

(normalmente a quantidade de saltos) e o número de seqüência que é estabelecido pelo nó de destino.

A formação de *loops* no DSDV é evitada, colocando-se em cada tabela de roteamento, um número de seqüência para ordenar as informações de roteamento. Outra função do número de seqüência é servir como métrica para o critério de seleção de rota. Qualquer rota que possuir um número de seqüência mais novo é usada. Quando duas rotas possuirem o mesmo número de seqüência, a que tiver a melhor métrica é usada e a outra é descartada ou armazenada como rota secundária.

Para manter a consistência das tabelas de roteamento, o DSDV utiliza atualizações periódicas e disparadas. Atualizações disparadas são usadas adicionalmente para propagar mudanças na topologia o mais rápido possível. Os pacotes de atualização incluem os destinos acessíveis de cada nó e o número de saltos requeridos.

Após receber um pacote de atualização de rota, cada nó compara-o com as informações existentes em sua tabela. Rotas com números de seqüência mais antigos são simplesmente descartadas. Em caso de rotas com números iguais, a rota com a menor métrica é escolhida. A métrica é então incrementada em um salto, já que os pacotes que chegam requerem mais um salto para alcançarem o destino. Novas rotas são imediatamente anunciadas para os vizinhos.

Quando um enlace se rompe, qualquer rota que utiliza este enlace é imediatamente marcada e anunciada com uma métrica infinita (salto = ∞, ou um número maior do que o maior número de seqüência). Isto representa uma informação importante e que deve ser anunciada pelo nó. Quando um nó recebe uma métrica infinita, e ele tem um número de seqüência igual ou mais novo com uma métrica finita, uma atualização de rota é disparada com esta informação. Conseqüentemente, rotas com métrica infinitas serão rapidamente trocadas por outras rotas propagadas por novos nós.

Uma de suas maiores vantagens é fornecer rotas livres de *loops* em todo o instante. Como desvantagem, pode-se citar uma sobrecarga excessiva na comunicação devido as atualizações de rotas disparadas e periódicas. Além disso, um nó tem que esperar até receber a próxima atualização de rota, que é reconhecida por um novo número de seqüência originado pelo destino para que ele possa atualizar sua tabela. Isto implica que sincronização centrada no destino sofre do problema de latência. O DSDV não suporta roteamento com múltiplos caminhos.

θ *GLOBAL STATE ROUTING* (GSR)

O GSR (CHENG, 1998) é um algoritmo de roteamento baseado no Estado de Enlace (*Link State*) (TANEMBAUN, 1996). Todavia, o GSR utiliza mecanismos sofisticados e eficientes para controlar o tráfego gerado pelos algoritmos pró-ativos. Assim, ele consegue manter uma visão global da rede, podendo fazer cálculos precisos de rotas. O GSR também apresenta algumas características importantes que são: utilização de técnicas para diminuir o tamanho das tabelas de roteamento e a sua capacidade de manipular parâmetros de QoS, que ainda não é muito explorado por outros algoritmos de roteamento.

No GSR, quando um nó detecta uma mudança de topologia causada pelo mal funcionamento ou o desligamento de um nó, essa informação é mantida em uma tabela de topologia ou de estados de enlaces, onde já devem estar armazenadas informações de alterações recebidas pelos seus vizinhos. Essas informações são preparadas e disseminadas periodicamente, apenas para os vizinhos, e com isto, ao contrário do Estado de Enlace, não realiza uma inundação das informações de roteamento. Além desta tabela, cada nó possui também uma lista de vizinhos, uma tabela de próximo nó e uma tabela de distâncias. No estado inicial, a lista de vizinhos e a tabela de topologia ficam vazias, sendo necessário atribuir valores de inicialização para as tabelas internas. Após a atribuição dos valores, o nó deve "ouvir" o meio para reconhecer seus vizinhos. Para realizar a redução do tamanho das mensagens de atualização o GSR utiliza duas técnicas que são: Atualização Mais Recente (*Fresh Update*) e Olho de Peixe (*Fisheye*).

Na técnica de Atualização Mais Recente somente as informações consideradas úteis aos vizinhos serão disseminadas, já que, se o seu vizinho contém uma informação mais recente, não faz sentido enviar sua informação para ele. Para a realização desta técnica é necessário que cada nó contenha um Vetor de Números de Seqüência (VNS) onde, além de armazenar todos os destinos que estão na tabela, indica a idade de cada informação enviada. Com isto, o nó de destino compara seu VNS com os valores recebidos dos vizinhos e se a entrada for mais antiga, a mensagem de atualização é removida.

A outra técnica conhecida é o Olho de Peixe que recebeu este nome devido a semelhança que existe entre a aparência da topologia, mostrada na FIG. 2.10 e o olho do animal. O objetivo da técnica é manter um volume alto de informações sobre os nós mais próximos e diminuir o detalhe das informações dos nós mais distantes.

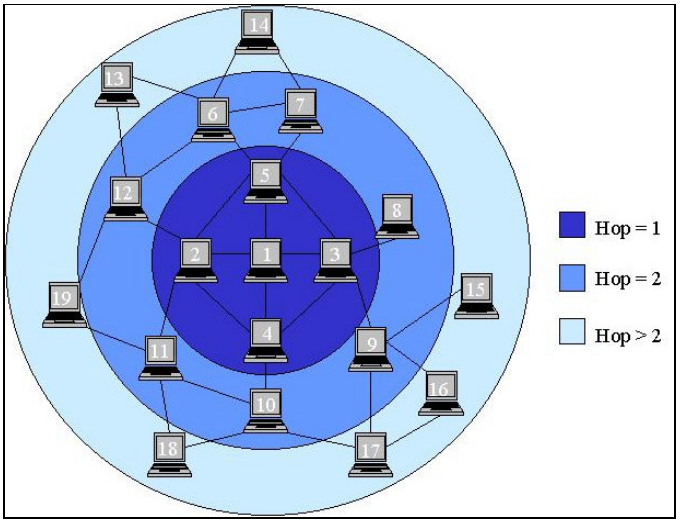

FIG. 2.10 – Escopo do Olho de Peixe (Fisheye)

A FIG. 2.10 ilustra a disseminação de informações promovida pela técnica Olho de Peixe. Os nós que estão a um salto do nó 1 recebem uma quantidade maior de informações nas trocas de tabelas. A quantidade de informações na tabela vai diminuindo a medida que os nós vão se afastando do nó em questão (1).

O GSR permite diminuir o volume e o tamanho dos pacotes que contém informações de roteamento, levando à redução do consumo de energia e de largura de banda. Adicionalmente, suporta parâmetros de QoS.

2.3.1.3. PROTOCOLOS HÍBRIDOS

Estes protocolos fornecem funções reativas e pró-ativas. Cada terminal define uma área de serviço, denominada zona, levando em consideração sua potência de transmissão. Dentro de sua zona, todo nó trabalha de forma pró-ativa, ou seja, mantém a troca de tabelas com os nós vizinhos, dando ao nó uma visão completa de sua área. Quando uma rota requerida não é encontrada na sua tabela de rotas, um processo reativo é iniciado. O nó envia um pacote de requerimento de rotas para os nós que estão nas bordas de sua zona e o processo segue até que o destino seja encontrado ou até que uma mensagem de erro retorne para a origem. Podemos concluir então, que os protocolos híbridos atuam de forma pró-ativa na área denominada

intra-zona e de forma reativa na área denominada inter-zona. A seguir será descrito o protocolo mais estudado desta categoria.

θ *ZONE ROUTING PROTOCOL* (ZRP)

No ZRP a zona é definida por cada nó e inclui os nós que estão a uma distância mínima de saltos do nó em questão. Na maioria das vezes, a distância é um número pré-definido que é denominado como raio da zona.

Se o destino estiver dentro da zona do nó que disparou o procedimento, então o pacote é imediatamente enviado, pois o nó já conhece o caminho. Senão, ele envia o pacote em *multicast* para todos os nós que estão na borda da zona de roteamento, perguntando se conhecem uma rota para o destino. Se conhecerem, os nós mandam uma resposta afirmativa e a rota é ativada. Caso não conheçam, eles enviam a mensagem para os nós da borda de sua zona. Este procedimento segue até que uma confirmação chegue ou até que o número de saltos chegue ao máximo (FIG. 2.11).

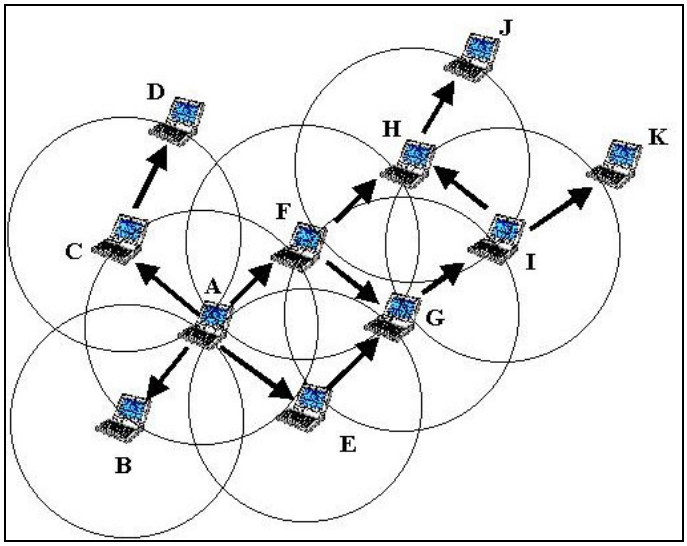

FIG. 2.11 – Exemplo de uma requisição de rota do nó A para o nó J

Na FIG. 2.11 o nó A, por não possuir uma rota para J, envia requisições para os nós da borda B, C, E e F. Estes, procuram em suas tabelas pelo destino. Como não encontram, eles enviam a requisição para os nós da borda e assim até que a requesição chegue ao nó H. Este, como possui uma rota para J, envia a requisição para o destino.

Por ser um protocolo híbrido, ele pode desta forma, apresentar vantagens das duas abordagens. O roteamento pode ocorrer rapidamente em nós que estão na mesma zona, pois os caminhos já são previamente conhecidos. Além disso, o algoritmo apresenta boa escalabilidade, as mudanças na topologia são rapidamente detectadas e as tabelas de roteamento são pequenas. A desvantagem é não padronização dos protocolos intra-zonas. Como o protocolo de roteamento não é especificado, várias zonas podem ter protocolos diferentes e isto não é satisfatório, pois nesse caso os nós devem suportar diferentes algoritmos de roteamento intra-zonas. Outra desvantagem se deve ao fato do algoritmo usado ser do tipo sob demanda. Neste caso, o principal problema é o atraso decorrente da espera pela resposta de requisição de rotas.

2.4. COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

Nesta seção serão comparadas as principais características dos protocolos de roteamento em Redes *Ad Hoc*, levando-se em consideração as propriedades definidas pelo IETF para estes protocolos.

Uma primeira observação demonstra que todos os protocolos citados no trabalho são distribuídos, permitindo prescindir de um elemento centralizador, cuja vulnerabilidade poderia causar sérios riscos ao funcionamento da rede. É possível perceber que cada algoritmo mantém características que o tornam aplicáveis a certos ambientes. Por exemplo, o protocolo DSR possui a característica de manter múltiplas rotas o que é necessário onde o requisito de tolerância à falhas é rigoroso. Nesse ambiente, se a rota principal romper, é possível utilizar uma secundária sem que o protocolo de descobrimento de rota seja executado, ganhando-se tempo. Já os protocolos ABR e GSR têm a possibilidade de prover QoS o que é necessário para uma aplicação de tempo real. Desvantagens também são observadas. Levando em consideração somente os algoritmos comparados, nenhum garante segurança o que restringe a aplicação desses protocolos em ambientes militares e no *e-commerce*. Porém, esta é uma área de pesquisa que tem crescido muito. A TAB 2.1 mostra a comparação.

TAB 2.1 – Comparação entre alguns algoritmos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc*

Propriedades	***Algoritmos de Roteamento para uma rede Ad hoc***						
	DSR	**TORA**	**ABR**	**LAR**	**DSDV**	**GSR**	**ZRP**
Flooding			´	´	´		
Flooding controlado	´	´					´
Uso de GPS				´			
Suporte a QoS			´			´	
Protocolos livre de loops	´	´	´		´	´	´
Múltiplas Rotas	´			´		´	
Necessidade de Seqüenciamento de mensagem		´			´		
Utilização do Vetor de Distância		´	´		´		♥
Utilização do Estado de Enlace			´			´	♥
Suporte a Circuito Virtual	´	´	´			´	
Usa datagrama				´			´
Economia de energia							
Manutenção de rotas	*Cache*	Tabela	Tabela	Tabela	Tabela	Tabela	Híbrido
Métrica do Roteamento	Menor caminho	Menor caminho	Associativi-dade e menor caminho	Menor distância ou zona de requisição	Número de seqüência mais novo e menor caminho	Menor caminho	Depende do algoritmo utilizado
´ = possui a característica ♥ = possui parcialmente a característica							

A TAB 2.1 apresenta algumas características relevantes para os protocolos de roteamento em Redes Móveis *Ad Hoc*. Além dessas características que são específicas da camada de roteamento, outras funções de outras camadas como: controle de acesso ao canal, gerenciamento de Qualidade de Serviço (QoS) e segurança, são tão importantes quanto as citadas na tabela acima em uma Rede Sem Fio. Todas estas funções são realizadas na camada MAC.

Dentre as Redes Sem Fio, a aplicação das WLANs cresceu muito nos últimos anos. Por isso, o IEEE constituiu um grupo de pesquisa que tem como objetivo, além de padronizar essas funções, definir um nível físico para Redes Locais Sem Fio, onde as transmissões são realizadas na freqüência de rádio ou infravermelho, e um protocolo de controle de acesso ao meio. Em 1999 este grupo definiu uma norma para essas redes denominada *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. Esse projeto, como mencionado anteriormente, ficou conhecido como Padrão IEEE 802.11. No contexto de Redes Locais Sem Fio, o padrão IEEE 802.11 tem obtido um enorme sucesso.

2.5. PADRÃO IEEE 802.11

Enlaces sem fio têm características que diferem dos enlaces fixos tais como alta taxa de perda de pacotes, maior número de pacotes reordenados e grande atraso no envio dos pacotes. Além disso, as características do enlace sem fio não são constantes e podem variar no tempo e lugar. Neste ambiente, o padrão 802.11, referenciado pelo IEEE, ganhou notoriedade pela diversidade de aplicações, baixo custo e fácil instalação dentre outras características já citadas neste capítulo. Esta seção irá descrever a arquitetura do padrão, discutir suas vantagens e desvantagens e apresentar resumidamente as soluções para os problemas encontrados.

O padrão 802.11 tem por objetivo especificar o protocolo de acesso ao meio da camada MAC *(Medium Access Control)* e diferentes camadas físicas. O avanço desta tecnologia proporcionou um aumento nas taxas de transmissão de dados nas especificações 802.11a (IEEE1, 1999) e 802.11b (IEEE2, 1999) de 5 Mbps para 11Mbps.

A camada MAC do 802.11 oferece dois métodos de controle de acesso: um baseado em um controle distribuído denominado Função de Coordenação Distribuída (DCF) e outro baseado em uma consulta, onde os pontos de acesso, de tempos em tempos, consultam os

terminais dando a possibilidade de transmissão e recepção dos dados denominado Função de Coordenação Pontual (PCF). Já na camada física são definidos três tipos: espalhamento de espectro por salto em freqüências (*Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS*), espalhamento de espectro por seqüência direta (*Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS*) e infravermelho.

A arquitetura é baseada na divisão da área de cobertura da rede em pequenas regiões. Estas regiões, ou células, são conhecidas como BSA (*Basic Service Area*). O tamanho de uma BSA depende da potência dos transmissores e receptores e das características do ambiente. Um grupo de terminais comunicando-se por radiodifusão ou infravermelho dentro de uma BSA é denominado de BSS (*Basic Service Set*). Este conjunto de serviços é o elemento fundamental de construção da arquitetura. Outro elemento importante é o Ponto de Acesso (PA – *Access Point*). Os PAs são estações especiais responsáveis pela captura das transmissões realizadas pelos terminais, destinadas a estações localizadas em outras BSAs. Para isto as BSAs utilizam uma infra-estrutura de comunicação que interliga múltiplas BSAs denominada *Sistema de Distribuição*. Este sistema permite às redes cobrir áreas maiores que uma célula. A interligação de vários BSAs pelo sistema de distribuição é conhecido como ESA (*Extended Service Area*).

O 802.11 definiu dois tipos de Redes Sem Fio: infra-estruturada ou *Ad Hoc* (independente). Como dito anteriormente, uma Rede *Ad Hoc* é composta por terminais dentro de um mesmo BSS que se comunicam diretamente entre si, sem que qualquer informação tenha que passar por um ponto de acesso centralizado. Já em uma rede infra-estruturada, há a necessidade de um ponto de acesso que é responsável por quase toda a funcionalidade da rede. As FIGs. 2.12 e 2.13 mostram as arquiteturas de uma rede 802.11 infra-estruturada e *Ad Hoc*, respectivamente.

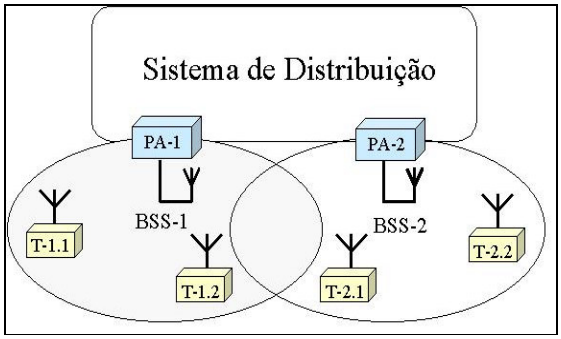

FIG 2.12 – Duas BSS formando uma ESS

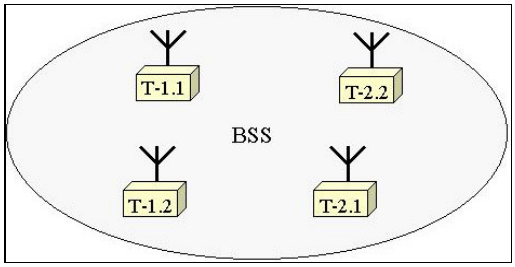

FIG 2.13 – Uma BSS independente (*Ad Hoc*)

A FIG 2.14 ilustra a comparação do padrão IEEE 802.11 com o modelo padrão de redes de computadores, o Modelo de Referência de Interconexão de Sistemas da ISO (*Interconnection of the International Standardization Organization* RM-OSI) (SOARES, LEMOS e COLCHER, 1995).

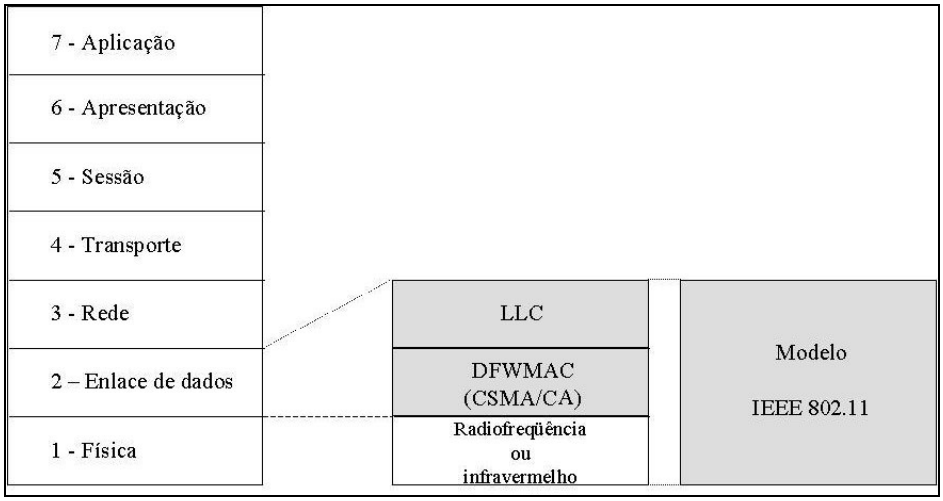

FIG 2.14 – Comparação do padrão 802.11 com o RM-OSI

2.5.1. CAMADA FÍSICA DO 802.11

A camada física do 802.11 é definida em três tipos diferentes: espalhamento de espectro por salto em freqüência (*Frequence Hopping Spread Spectrum – FHSS*), espalhamento de espectro por seqüência direta (*Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS*) e infravermelho. Todas elas incluem o fornecimento do CCA (*Clear Channel Assessment signal*) sinal usado para indicar se o meio está livre e que é utilizado pelo protocolo de acesso ao meio.

O DSSS é um método de espalhamento de espectro que faz separação de códigos. Ele utiliza a banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2,4000 GHz. A taxa de 1 Mbps é gerada por meio de uma modulação diferencial binária por chaveamento de fase (*Differential Binary Phase Shift Keying – DBPSK*) e a taxa de 2 Mbps utiliza uma modulação diferencial quaternária por chaveamento de fase (*Differential Quadrature Phase Shift Keying – DQPSK*). O espalhamento é realizado através da divisão da banda em 11 subcanais, cada um com 11

MHz, e do espalhamento de cada símbolo de dados usando uma seqüência de *Barker* de 11 *chips*[5] .

Diferentemente do DSSS, o FHSS é uma técnica de espalhamento que divide a banda passante total em vários subcanais de pequena largura e faz com que o transmissor e receptor saltem para um outro subcanal após ter estado, um determinado tempo, em um desses subcanais. Permite-se, então, a coexistência de várias redes, em uma mesma área, através da separação dessas redes por diferentes padrões de pseudo-códigos de uso do canal denominados seqüência de saltos. O FHSS também usa a banda ISM. Cada canal possui uma banda de 1 Mbps. O acesso básico desta banda utiliza uma modulação gaussiana por chaveamento de freqüência (*Gaussian Frequence Shift Keying* – GFSK) de dois níveis. A taxa de acesso opcional de 2 Mbps utiliza um GFSK de quatro níveis. Três conjuntos diferentes com 26 seqüências de saltos são definidos. Esses três conjuntos evitam períodos de colisões entre diferentes seqüências de saltos em um conjunto (RUBINSTEIN e REZENDE, 2002).

Já a especificação do infravermelho usa comprimentos de onda de 850 a 950 nm. O infravermelho foi projetado para áreas internas (*indoor*). As estações podem receber dados por transmissões refletidas ou em linhas de visada. Opera com transmissões cujo alcance máximo é de 10 m, aproximadamente, caso não existam fontes de interferência como calor ou luz do sol. Se forem utilizados receptores mais sensíveis, o alcance pode chegar a 20 m.

2.5.2. CAMADA MAC DO 802.11

O protocolo MAC do IEEE 802.11 fornece dois tipos de serviços: assíncrono e síncrono (ou livre de contenção). O tipo assíncrono está sempre disponível enquanto que o síncrono é opcional. O assíncrono é fornecido por uma Função de Coordenação Distribuída (DCF) que implementa o método de acesso básico do protocolo MAC do IEEE 802.11, também conhecido como *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA). O serviço síncrono é fornecido pela Função de Coordenação Pontual (PCF) que basicamente implementa o *polling* (ver 1.2) como método de acesso. O PCF utiliza um Coordenador Pontual, usualmente o Ponto de Acesso, que acessa as estações, ciclicamente, dando-lhes a

[5] Seqüencia de *Barker* de 11 *chips*: (+1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1)

oportunidade de transmitir. Diferentemente do DCF, a implementação do PCF não é obrigatória. Além disso, o PCF depende do serviço assíncrono fornecido pelo DCF.

2.5.2.1. FUNÇÃO DE COORDENAÇÃO DISTRIBUÍDA (DCF)

Existem dois tipos de DCF: o DCF básico baseado em CSMA/CA e outro que, além do CSMA/CA, envolve a troca de quadros de controle RTS (*Request to Send*) e CTS (*Clear to Send*) antes da transmissão de quadros de dados.

De acordo com o DCF básico, uma estação deve "sentir" o meio antes de iniciar uma transmissão. Se o meio estiver livre e permanecer neste estado por um tempo maior do que um espaço distribuído entre quadros (*Distributed InterFrame Space* - DIFS) então a estação pode transmitir. Caso contrário, a transmissão é adiada e um processo de *backoff* é iniciado. A estação calcula um intervalo de tempo aleatório, o intervalo de *backoff*, uniformemente distribuído entre zero e um máximo, chamado de Janela de Contenção (CW). Este intervalo de *backoff* é usado para iniciar o tempo de *backoff*. Este tempo é diminuído, somente enquanto o meio estiver livre, por um período dado pelo tempo de *slot* (*slot-time*) que corresponde ao atraso máximo de ida e volta dentro de um BSS. Enquanto outra estação estiver transmitindo o tempo de *backoff* é congelado. Quando este tempo chega a zero, a estação está autorizada a acessar o meio. Obviamente, uma colisão pode ocorrer se duas ou mais estações começam a transmitir simultaneamente, ou seja, se o tempo de *backoff* chega a zero no mesmo instante.

Se o pacote colide com outro quadro (ou RTS), outro tempo de *backoff* é calculado com um período (janela de contenção) maior do que o anterior para que a probabilidade de colisão na retransmissão seja menor. A janela de contenção aumenta exponencialmente com o número de tentativas de transmissões (inicialmente igual a 1). A equação do período de *backoff* é:

$$Backoff_time = \lfloor 2^{2+i} \text{ x rand( )} \rfloor \text{ x Slot_time}$$

onde Slot_time é uma função da camada física e rand( ) é uma função aleatória com uma distribuição uniforme entre [0, 1].

Em ambientes sem fio uma detecção de colisão é impossível, porque o nó móvel não pode ouvir o canal enquanto está transmitindo devido a grande diferença entre os níveis de potência de transmissão e recepção (AAD e CASTELLUCCIA, 2001). Então um reconhecimento positivo é utilizado para notificar a estação de origem que o quadro transmitido foi recebido com sucesso. A transmissão de um reconhecimento, pela estação receptora (PA ou terminal móvel) é iniciada depois de um intervalo de tempo igual a um espaço pequeno entre quadros (*Short InterFrame Space* - SIFS). Já que o SIFS é, por definição, menor do que o DIFS, a estação de destino não precisa "sentir" o meio antes de transmitir um reconhecimento. Se o reconhecimento não for recebido pela origem após um certo tempo, assume-se que o quadro transmitido foi perdido, agenda-se uma retransmissão e começa um novo período de *backoff*. Contudo, para reduzir a probabilidade de colisões, depois de cada tentativa de transmissão mal sucedida, a janela de contenção é dobrada até que um valor máximo (CWmax) seja alcançado. Depois da transmissão de um quadro (com sucesso ou não), se a estação ainda quiser enviar informações ela deverá executar um novo processo de *backoff* para evitar que uma estação capture o meio. A FIG 2.15 mostra esse processo.

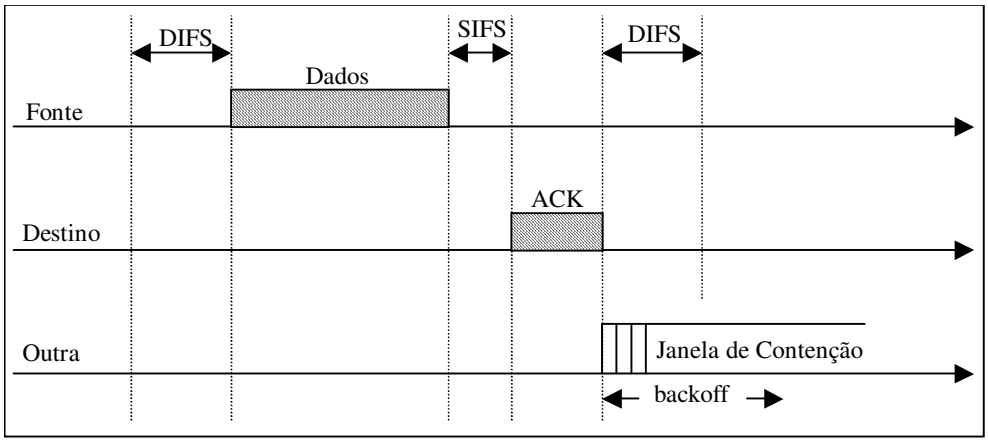

FIG 2.15 – Esquema básico de acesso no DCF

Em sistemas de rádio baseados em detecção do meio, pode ocorrer um fenômeno conhecido como problema do terminal escondido. Este problema aparece quando uma estação está apta a receber quadros de duas ou mais estações diferentes mas estes terminais não

recebem sinais um do outro. Nesse caso, um transmissor pode "ouvir" o meio livre enquanto o outro está transmitindo. Isso resulta em colisão na estação receptora (FIG. 2.16).

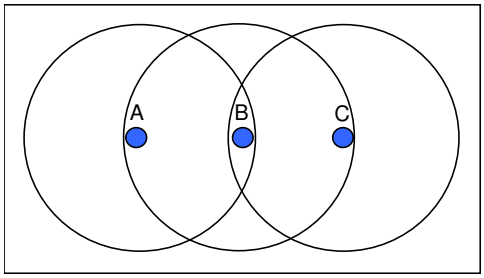

FIG 2.16 – Terminal A escondido do Terminal C e vice-versa

Para solucionar este problema, utiliza-se um esquema opcional RTS/CTS (*Request To Send* e *Clear To Send*) em adição ao esquema básico. Uma estação envia um RTS antes de cada transmissão de pacote para reservar o canal. Se o destino está pronto para receber, responde com um CTS e o canal é reservado durante o envio dos pacotes. Quando a origem recebe o CTS, ela começa a transmitir seus quadros através do canal que ele mesmo reservou durante todo o processo. Um *Network Allocation Vector* (NAV) é usado para fornecer um mecanismo virtual de detecção do meio e para reservar o meio durante a transmissão. Este mecanismo é conhecido como *Virtual Carrier Sense*.

A detecção de portadora pode ser realizado em ambas camadas física e MAC. Na camada física, a detecção física da portadora é feita sentindo qualquer atividade no canal causado por outra estação. Na sub-camada MAC, a detecção virtual da portadora pode ser realizada atualizando um NAV local com o valor do tempo de transmissão de outros terminais. Este valor é declarado nos dados, RTS e CTS. Usando o NAV, a sub-camada MAC de uma estação sabe quando uma transmissão termina. O NAV é atualizado quando um RTS, gerado pelo nó de origem, e/ou um CTS do receptor é ouvido.

Nem todos os tipos de pacotes têm a mesma prioridade. Por exemplo, o pacote ACK deve ter prioridade sobre os pacotes RTS e de dados. Isto é feito atribuindo-se para cada tipo de pacote um *InterFrame Spacing* (IFS) diferente. No DCF, são usados dois IFSs: *Short* IFS (SIFS) e DCF IFS (DIFS), onde o SIFS é menor do que o DIFS. Como resultado, se um ACK (usa SIFS) e um novo pacote de dados (usa DIFS) estão esperando simultaneamente pelo canal, o ACK será transmitido antes do novo pacote de dados.

2.5.2.2. FUNÇÃO DE COORDENAÇÃO PONTUAL (PCF)

Outro tipo de acesso da camada MAC do 802.11 é o PCF. Trata-se de uma função opcional que pode ser inserida no protocolo de acesso ao meio, sendo construída sobre a DCF para transmissão de quadros assíncronos, e é implementada através de um mecanismo de acesso ordenado ao meio que proporciona a oportunidade de transmitir sem contenção.

O coordenador pontual divide o tempo de acesso em períodos de superquadros. Cada superquadro compreende um período livre de contenção (modo PCF) e um período com contenção (modo DCF). Durante os períodos nos quais as estações estão no modo PCF, o coordenador pontual consulta cada estação para saber se tem algo a transmitir. As estações recebem dados quando são consultadas pelo coordenador pontual.

O coordenador pontual inicia e controla o tempo livre de contenção. Ele escuta o meio por PIFS (*Point Coordination InterFrame Space*) segundos e então começa um período livre de contenção (*Contention Free Period* - CFP) através da difusão de um sinal que contém a duração do período de *beacon*. Todas as estações adicionam a duração máxima do período de contenção, contido no *beacon*, aos seus respectivos NAVs. O período livre de contenção pode terminar a qualquer momento através do envio de um pacote CFP_{end} pelo coordenador pontual. O início de um CFP pode ser atrasado caso esteja acontecendo uma transmissão de uma estação no modo DCF como indicado na FIG. 2.17.

Quando for a vez de uma estação transmitir, o coordenador pontual envia um pacote de dados, se existir algum, dentro de um pacote de consulta. A estação de destino envia de volta um ACK, também com dados se for o caso, depois de SIFS segundos. Após encerrar todas as transmissões das estações contidas em uma lista de consultas, o coordenador pontual reinicia o processo de consulta depois de PIFS segundos. As estações que ficarem sem transmitir por alguns ciclos são retiradas da lista de consulta e são consultadas novamente no início do próximo período livre de contenção. A FIG. 2.17 mostra o esquema PCF e DCF trabalhando juntos.

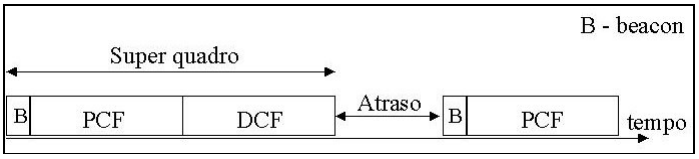

FIG 2.17 – Esquemas PCF e DCF

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi apresentado neste capítulo, as Redes Móveis podem ser divididas em dois tipos básicos: Redes Móveis Infra-estruturadas e Redes Móveis *Ad Hoc*. Quando tratamos de Redes Móveis *Ad Hoc*, podem ser citadas várias vantagens e desvantagens sobre as redes cabeadas. Como vantagens a rápida instalação, tolerância à falhas, conectividade e mobilidade são as mais contundentes e como desvantagens a banda passante limitada, os erros no enlace e a dificuldade na localização dos terminais são os grandes desafios a serem superados.

Uma das funções mais complexas em Redes Móveis *Ad Hoc* é rotear as mensagens do terminal de origem para o terminal de destino. Por isso, os protocolos de roteamento são fatores determinantes no desempenho da rede.

O IETF introduziu algumas propriedades que devem ser levadas em consideração quando analisa-se o comportamento dos protocolos de roteamento em Redes Móveis *Ad Hoc*, tais como: operação distribuída, protocolos livres de *loops*, operação sob demanda, operação pró-ativa, segurança, operação nos períodos de "sonolência" do nó e suporte a enlaces unidirecionais.

Entretanto, além dessas características que são específicas da camada de roteamento, outras funções de outras camadas como: controle de acesso ao canal, gerenciamento de Qualidade de Serviço (QoS) e segurança, são muito importantes no desempenho da rede. Todas estas funções são realizadas na camada MAC (*Medium Access Control*).

O padrão IEEE 802.11 define o protocolo de acesso ao meio e especificações da camada física da rede. Ele fornece dois tipos de serviço: serviço assíncrono desempenhado pela DCF e serviço síncrono ou livre de contenção desempenhado pela PCF. Originalmente, o padrão 802.11 fornece QoS através do serviço livre de contenção pelo fato de que é possível calcular a latência máxima de uma transmissão. O PCF necessita de um coordenador pontual para controlar o mecanismo de acesso ao meio. Isto pode se tornar em um ponto vulnerável do serviço já que ele concentra as principais funções.

Como o serviço DCF é o mais utilizado em Redes Móveis já que é completamente distribuído, técnicas de diferenciação de serviço em terminais móveis estão sendo empregadas para, também, proverem QoS. O próximo capítulo tratará de mecanismos de Diferenciação de Serviços em Redes 802.11.

3. MECANISMOS DE DIFERENCIAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES 802.11

3.1. INTRODUÇÃO

Comunicações sem fio estão emergindo como uma tecnologia que possui características essenciais para os dias de hoje. Não somente redes de computadores estão se tornando móveis, mas, eventualmente, cada dispositivo tais como *laptops*, câmeras, telefones, etc, terá uma ou mais interfaces sem fio.

Simultaneamente, aplicações multimídia têm experimentado crescimento equivalente. Estas aplicações impõem requerimentos nos parâmetros de comunicações, tais como taxa de dados, taxa de perda, atraso e *jitter*[6]. Garantir estes requerimentos em ambientes sem fio é um dos grandes desafios da comunicação móvel, principalmente devido ao fato dos enlaces sem fio possuírem características variáveis por causa das interferências nos enlaces, como por exemplo ruído, obstáculos, etc.

Para resolver este problema, muitos padrões de comunicação sem fio estão sendo definidos. Alguns deles melhoram a Qualidade de Serviço de todo o sistema, outros diferenciam as prioridades de cada terminal móvel, oferecendo a eles diferentes parâmetros de QoS tais como diferentes taxa de dados e atrasos.

O estudo da QoS, como o próprio nome sugere, é o estudo do nível de satisfação do usuário fornecido pelos sistemas de comunicação. Em redes de computadores, o objetivo da provisão de QoS é alcançar uma comunicação com certas garantias, tal que as informações transportadas pela rede possam ser preservadas e os recursos da rede possam ser usados da melhor forma possível.

Em (DRABU, 2001), é sugerida outra definição. QoS é a habilidade que um elemento de rede tem, seja ele uma aplicação, um terminal ou um roteador, para fornecer alguns níveis de garantia na entrega de dados.

[6] *Jitter* é a variação no retardo fim-a-fim (TANENBAUM, 1996)

Os requerimentos QoS variam de aplicação para aplicação e por isto existem duas abordagens para a provisão de QoS: Reserva de Recursos (*Reservation Resource*) e Priorização (*Priorization*).

Na abordagem Reserva de Recursos (serviços integrados), os recursos da rede são reservados de acordo com os requerimentos das aplicações e sujeito às políticas de gerenciamento.

Já na abordagem de Priorização (serviços diferenciados), os tráfegos são classificados e os recursos são divididos de acordo com critérios de gerenciamento. Os tráfegos que requerem mais recursos ganham tratamento preferencial.

Estes dois grupos de QoS podem ser aplicados a fluxos individuais ou a fluxos agregados. Conseqüentemente, existem duas outras formas de caracterizar os grupos de QoS (DRABU, 2001):

- Por Fluxo: um fluxo é definido como um conjunto individual de dados, uni-direcional entre duas aplicações, unicamente identificados por uma quíntupla (protocolo de transporte, endereço de origem, número da porta da origem, endereço de destino, número da porta do destino);
- Por Agregação: uma agregação é simplesmente dois ou mais fluxos contendo algo em comum, como por exemplo qualquer um dos cinco parâmetros da quíntupla, um *label,* uma prioridade ou talvez algumas informações de autenticação.

O conceito de QoS é, de certa forma, novo, e tem sido extensamente discutido no contexto de grandes redes de alta velocidade, incluindo serviços de tempo-real e datagrama. A rede ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) (SOARES, LEMOS e COLCHER, 1995) tem tido grande ênfase no suporte de QoS para tráfego de diferentes classes. Recentemente, a Internet, uma das redes de dados mais usadas no mundo, também tem considerado a importância do QoS no suporte a serviços multimídia. Grandes esforços têm sido feitos pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) para melhorar a comunicação da Internet atual.

Contudo, a realização dos aspectos considerados em grandes redes tradicionais para o suporte de parâmetros QoS não são diretamente aplicáveis aos ambientes sem fio por causa das características intrínsecas do meio já discutidas neste trabalho. Estas características não fazem parte das redes cabeadas, mas elas promovem uma enorme mudança no fornecimento

de serviços multimídia para usuários móveis. As Redes Sem Fio, como por exemplo o padrão 802.11, estão desenvolvendo pesquisas para que possam fornecer QoS a seus usuários.

Como mencionado no segundo capítulo, o padrão 802.11 definiu um protocolo de acesso ao meio, onde dois tipos de acesso são oferecidos: DCF e PCF. O DCF é o tipo de acesso básico do padrão, baseado no CSMA/CA e é obrigatório.

O outro tipo de acesso, denominado PCF, é opcional e funciona em conjunto com o DCF. Esse mecanismo é caracterizado por possuir um ponto de controle, geralmente o ponto de acesso, o que vai de encontro às características das Redes Móveis *Ad Hoc* onde todos os terminais se movimentam aleatoriamente sobre uma região e, normalmente, têm as mesmas responsabilidades, já que, o sistema é completamente distribuído. Se fosse conferido a responsabilidade de manter o esquema de *polling* a um determinado terminal, este deveria ter uma capacidade de processamento maior, sua mobilidade deveria ser restringida e ele se tornaria um ponto vulnerável da rede. A partir dessas considerações, seria interessante que o fornecimento de QoS em Redes Sem Fio fosse realizado utilizando-se o tipo de acesso DCF.

Várias pesquisas procuram prover QoS em Redes Móveis *Ad Hoc*. Em (LIN e LIU, 1999) é proposto um protocolo de roteamento para suportar parâmetro QoS que faz o cálculo da largura de banda fim-a-fim exigida por uma aplicação e o reserva.

Em (CHEN e NAHRSTEDT, 1999) é proposto um esquema de roteamento distribuído que seleciona um caminho na rede com recursos suficientes para satisfazer um certo requerimento de atraso ou largura de banda em um ambiente dinâmico com múltiplos saltos (*Ad Hoc*). Este algoritmo trabalha com informações imprecisas da rede e procura múltiplos caminhos em paralelo. Técnicas de tolerância à falhas são utilizadas para manutenção de rotas quando os nós se movem ou deixam a rede. São considerados, não somente os requerimentos de QoS, mas também, o custo ótimo da rota para melhorar o desempenho de toda a rede.

Estes trabalhos utilizaram a abordagem de Reserva de Recursos (*Reservation Resource*) para proverem QoS. Já em (AAD e CASTELLUCCIA, 2000), (KANODIA, LI e SABHARWAL et al, 2000), (PALLOT e MILLER, 2001) e (RUBINSTEIN e REZENDE, 2002) são descritos exemplos de mecanismos que utilizam a abordagem de Priorização ou Diferenciação de Serviços para suportarem parâmetros de QoS.

As pesquisas citadas acima não diferem só na abordagem de QoS utilizado, isto é, Reserva de Recursos ou Priorização, mas também no nível em que o sistema define a possibilidade ou não de prover o valor requisitado pelo parâmetro da QoS, seja ele largura de banda, atraso, etc. Nas duas primeiras, esta definição ocorre na camada de rede, ou seja,

interfere diretamente no processo de roteamento da rede. Já nas outras, a definição ocorre no protocolo de acesso ao meio que se encontra na camada de enlace dos dados. Neste caso, os valores requisitados são alcançados modificando-se os parâmetros que definem como um terminal móvel deveria acessar o meio sem fio.

Igualmente desafiador ao fato de suportar aplicações multimídia em Redes Móveis *Ad Hoc* é o fato de rotear uma mensagem neste ambiente. Todos os protocolos propostos até então, trabalham para encontrarem uma rota até o destino utilizando-se de parâmetros variados como: menor caminho, associatividade entre os nós, zonas de requisição, caminho com menor atraso entre outros. Porém nenhum deles faz distinção entre o fluxo de dados e o fluxo de roteamento.

Não foi encontrada na bibliografia pesquisada nenhum trabalho que analisasse a diferenciação de fluxos nos protocolos de roteamento. A partir deste fato, um dos objetivos desta dissertação é diferenciar os fluxos de dados e de roteamento, priorizando os pacotes de roteamento, e avaliar, a paritr dessa modificação, o desempenho dos protocolos. O objetivo principal desta técnica é permitir que os terminais móveis tenham informações mais precisas sobre localização e movimentação dos outros nós. Para isso, algumas técnicas de Diferenciação de Serviços descritas neste capítulo serão aplicadas aos protocolos de roteamento.

O capítulo tem por finalidade descrever as técnicas mais utilizadas em Diferenciação de Serviços em Redes 802.11 tais como: Variação de DIFS, Função de Aumento de *Backoff* e Tamanho Máximo de Pacotes e analisar o desempenho dos protocolos originais de roteamento em Redes Móveis *Ad Hoc* que serão utilizados nesta pesquisa para que se tenha um parâmetro de comparação. Ele está organizado da seguinte forma: a seção 3.2 descreve os modelos que utilizam a abordagem de Priorização mais conhecidos na literatura e detalha os mecanismos utilizados para proverem Diferenciação de Serviços nesta pesquisa; a seção 3.3 apresenta as principais características dos protocolos de roteamento usados na simulação e na seção 3.4 são apresentadas as considerações finais.

3.2. MECANISMOS DE DIFERENCIAÇÃO DE SERVIÇOS NO PADRÃO 802.11

A Diferenciação de Serviços é alcançada com a variação dos parâmetros que definem como o protocolo de acesso ao meio deve agir para fornecer acesso aos terminais móveis no meio de comunicação. Em (DRABU, 2001) foi descrita uma classificação das técnicas de Diferenciação de Serviços. Como existem dois tipos de serviços no 802.11, as técnicas de diferenciação podem ser classificadas em: Técnicas Baseadas no DCF e Técnicas Baseadas no PCF. Estas técnicas serão abordadas nas seções 3.2.1 e 3.2.2.

3.2.1. TÉCNICAS BASEADAS NO DCF

As principais técnicas de Diferenciação de Serviços baseadas no DCF são: Função de Aumento de *Backoff* ou Escalonamento Justo Distribuído, Variação do DIFS e Tamanho Máximo do Pacote (AAD e CASTELLUCCIA, 2001).

3.2.1.1. FUNÇÃO DE AUMENTO DE *BACKOFF*

Como mencionado no segundo capítulo, o parâmetro de *backoff* é definido através da seguinte equação (AAD e CASTELLUCCIA, 2001):

$$Backoff_time = \lfloor 2^{2+i} \text{ x rand( )} \rfloor \text{ x } Slot_time$$

onde, rand( ) é uma função aleatória uniformemente distribuída entre (0, 1), o *Slot_Time* é uma porção de tempo definida pela camada física do 802.11 e *i* (inicialmente igual a 1) é o número de tentativas consecutivas de transmissão de um pacote.

O *backoff* controla o tempo que um terminal deverá esperar para tentar enviar um pacote. Por este fato, a variação deste tempo pode designar uma probabilidade maior ou menor de um terminal se apossar do canal e, conseqüentemente, define quem envia o pacote primeiro.

Na função de *backoff*, o único parâmetro configurável é a variável 2^{2+i} e, por isso, as técnicas de diferenciação de serviço que utilizam a variação de *backoff* aplicam modificações neste parâmetro para introduzirem prioridade. Alguns dos modelos que utilizam esta técnica podem ser encontrados em: (VAIDYA, PARAMVIR e GUPTA, 2000), (AAD e CASTELLUCCIA, 2001), (KANODIA, LI, SABHARWAL et. al., 2001), (PALLOT e MILLER, 2001) e (DENG e CHANG, 1999).

Em (VAIDYA, PARAMVIR e GUPTA, 2000), o intervalo de *backoff* é calculado proporcionalmente ao tamanho do pacote, isto é, pacotes maiores receberão *backoffs* maiores (prioridades menores) e inversamente proporcional ao peso dos fluxos, o que significa que terminais com maior peso terão *backoffs* menores e, conseqüentemente, prioridades maiores. A utilização do tamanho do pacote no cálculo faz com que o compartilhamento da banda passante, ponderado pelo fluxo, seja justo. Este método tem por objetivo implementar, de maneira distribuída, o escalonamento *fair-queueing*.

Em (AAD e CASTELLUCCIA, 2001), os intervalos de *backoff* são calculados de acordo com as prioridades estabelecidas para cada estação. Ao invés de utilizar a porção 2^{2+i} para o cálculo, foi utilizada P_j^{2+i} onde P_j é o fator de prioridade do terminal *j*. Neste caso, um fator de prioridade maior implica em um valor de *backoff* maior e em uma chance menor de acessar o canal primeiro.

Em (PALLOT e MILLER, 2001), os autores propõem um esquema onde o cálculo de *backoff* é realizado dependendo do nível de prioridade do pacote. São usadas distribuições diferentes para calcular aleatoriamente o tempo de *backoff*. O cálculo de um tempo de *backoff* priorizado é representado por uma distribuição de probabilidade de Alta Prioridade. Terminais com alta prioridade têm uma probabilidade maior de escolherem tempos de *backoff* menores, fazendo com que o terminal com prioridade alta, provavelmente, "ganhe" o canal durante o período de *backoff*.

O conceito de distribuição de tempo de *backoff* priorizado é baseado em uma distribuição exponencial com média $1/\lambda$. No padrão 802.11, o intervalo para a escolha do número de tempo de *slot* para o *backoff* varia de [0, *CW_tamanho_min*] a [0, *CW_tamanho_max*], dependendo do número de tentativas de acesso ao meio de transmissão. Neste modelo, um mecanismo similar é implementado para a distribuição de prioridade de *backoff*, onde:

$$\lambda = 0{,}1 + \left[\frac{CW_tamanho_max - CW_tamanho_atual}{CW_tamanho_max - CW_tamanho_min} \right] \text{ x } 0{,}3$$

e *CW* denota janela de contenção. Quando não há colisão em uma tentativa de acesso e o tamanho da janela é mínimo, a distribuição com $\lambda = 0{,}4$ é usada, e quando colisões forçam o tamanho da janela de contenção a atingir o valor máximo, a distribuição com $\lambda = 0{,}1$ é usada.

Em (DENG e CHANG, 1999) a função original de *backoff* do padrão 802.11 foi modificada. Duas fórmulas foram criadas para calcularem o período de *backoff*: terminais com alta prioridade e terminais com baixa prioridade. A função modificada para terminais com alta prioridade calcula o período de *backoff* da seguinte maneira:

$$backoff_high_priority = \lfloor 2^{2+i}/2 \,.\, \mathrm{rand}(\,) \rfloor \times slot_time$$

e para terminais com baixa prioridade:

$$backoff_low_priority = 2^{2+i}/2 + \lfloor 2^{2+i}/2 \,.\, \mathrm{rand}(\,) \rfloor \times slot_time$$

É possível notar que dividindo-se o tempo de *backoff* em mais partes, mais níveis de prioridade serão alcançados. Entretanto, um número maior de níveis significaria uma maior probabilidade de colisões dentro do mesmo nível de prioridade porque diminui o conjunto de tempo a serem escolhidos pela função de *backoff*, isto é, dois terminais têm maior probabilidade de escolherem o mesmo tempo de *backoff*. Especificamente no caso descrito acima, as estações com maior prioridade gerarão um tempo de *backoff* dentro da faixa de 0 – 3 e as estações de baixa prioridade gerarão tempos de *backoff* na faixa de 4 – 7.

Já em (KANODIA, LI, SABHARWAL et. al., 2001) é proposto um esquema de agendamento com prioridade distribuída. Isto é feito enviando-se informações sobre a prioridade do próximo pacote nos pacotes RTS, CTS, Dados e ACK. Desta forma, cada terminal mantém uma tabela de escalonamento local e adiciona os índices de prioridades anunciados pelos outros terminais. Cada terminal pode, então, ter uma noção da prioridade de seus pacotes em relação à dos outros terminais. Nesta tabela, o intervalo da janela de contenção é calculado por cada terminal de acordo com a posição (*rank*) do seu pacote, em termos de prioridade. Este esquema será descrito em maiores detalhes na próxima seção pois um esquema similar foi adotado para avaliar a Diferenciação de Serviços no protocolo de roteamento.

3.2.1.1.1. MECANISMO DE VARIAÇÃO DO *BACKOFF*

De acordo com este mecanismo, são necessários além de um algoritmo de escalonamento distribuído na camada de rede, que deve selecionar e transmitir os pacotes respeitando os requerimentos de QoS, um protocolo de controle de acesso ao meio.

Nas Redes Sem Fio Infra-estruturadas, isto é, que possuem estações bases (pontos de acesso), a estação base age como centralizador para atribuições das demandas de QoS. Contudo, em Redes *Ad Hoc*, onde as funções são completamente distribuídas, não existe nenhum agente centralizador. Neste caso, como nenhum nó tem a função de gerenciar as prioridades dos outros nós, um nó que possua um pacote com a maior prioridade não terá conhecimento deste fato e nós que possuam pacotes com baixas prioridades não terão conhecimento de que deveriam adiar o acesso ao meio. Além disso, em redes com múltiplos saltos, o desafio de satisfazer os parâmetros QoS fim-a-fim aumenta, a medida que o pacote vai sendo repassado pelos nós. Por isso, foi utilizada uma técnica de escalonamento que trabalha com informações distribuídas das prioridades dos pacotes.

Um mecanismo de escalonamento distribuído é alcançado, pois cada nó constrói uma tabela de escalonamento local baseado nas informações "ouvidas" no meio e incorpora a estimativa de sua prioridade relativa no controle de acesso ao meio. Cada pacote tem um índice de prioridade associado, que pode ser calculado com informações puramente locais.

Quando um nó envia um RTS, ele envia também, o índice de prioridade do pacote a ser transmitido. O nós que "ouvem" este RTS irão inserir esta informação em sua tabela de escalonamento. Se um CTS é enviado em resposta a este RTS, o nó que o enviou, deve incluir informações sobre o índice de prioridade de seu próximo pacote, denominado de pacote Cabeça da Fila (CdF), no CTS e no pacote de dados. Esta informação então é incluída na tabela local dos nós que a "ouviram". Cada nó pode, então, comparar a prioridade de seus próprios pacotes CdF em relação aos pacotes CdF de outros nós.

A disciplina de serviço do escalonamento distribuído é baseado na ordem crescente dos índices de prioridade, ou seja, os pacotes com índices de prioridades menores serão servidos primeiro. Como mencionado anteriormente, esses índices podem ser calculados utilizando somente informações e fluxos do próprio nó que são as informações locais. A FIG. 3.1 mostra a distribuição da informação sobre o pacote CdF e o pacote a ser enviado por um determinado nó.

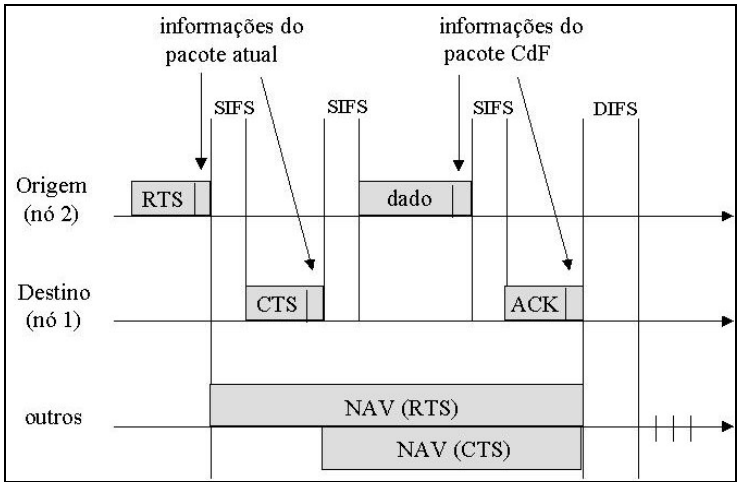

FIG. 3.1 – Informações do pacote CdF e do pacote a ser enviado por um nó

Suponha que o nó 2 deseja transmitir um pacote para o nó 3 como mostrado na FIG. 3.1. Ele, então, deve enviar um RTS para o nó de destino. Se o RTS não sofrer nenhuma colisão, todos os nós que estão dentro da região de transmissão do nó que originou o pacote irão "ouvir" o RTS, por exemplo o nó 6, e adicionarão a informação em sua tabela de escalonamento, 2, 3, P_3, como mostrado na FIG. 3.2. Quando o nó 3 receber este RTS, um pacote CTS será originado e também conterá a informação do pacote que foi enviado pelo nó origem (nó 2). Isso permite que nós "escondidos", como por exemplo, um possível nó 5, que não "ouviu" o RTS, possa adicionar a informação a partir do CTS (FIG. 3.2). Após o recebimento de um ACK, que indica o sucesso da transmissão, cada nó remove a informação do pacote que está sendo reconhecido de suas tabelas. Se o CTS ou o ACK não for recebido, esta informação não é retirada da tabela. Quando o pacote de dados é transmitido pelo nó 2, cada nó insere a informação do pacote CdF (2, 4, P_7 na FIG. 3.2), que inclui a origem do pacote, o destino e o índice de prioridade. Esta informação também é inserida no ACK para permitir que terminais "escondidos" possam atualizar sua tabela. A FIG. 3.2 exemplifica a tabela de dois nós durante o tempo de transmissão.

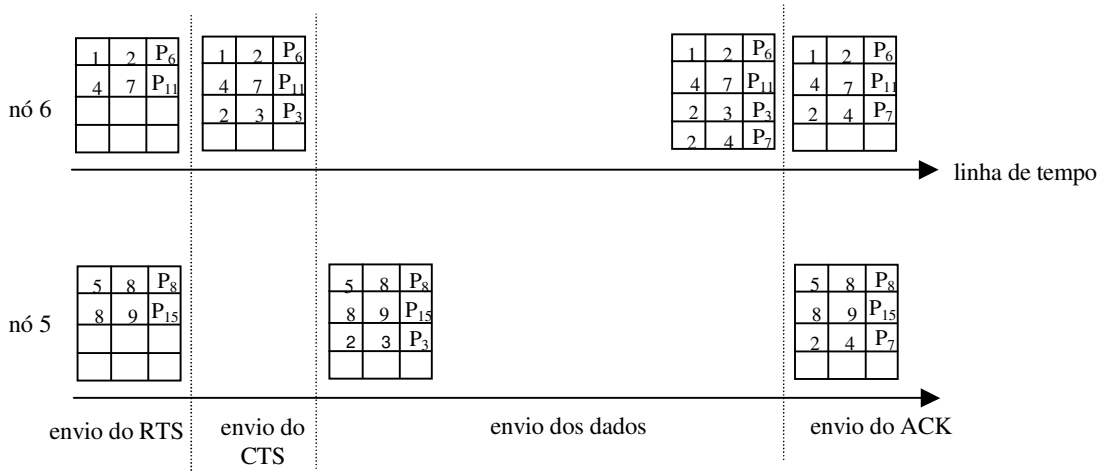

FIG. 3.2 – Atualização da tabela de escalonamento distribuído

Tendo como base o padrão 802.11, esta técnica modifica a política de *backoff*, utilizando as informações adicionadas aos pacotes e as tabelas constituídas localmente. O *Backoff* foi o parâmetro escolhido para introduzir a diferenciação de serviço desejada.

Tem-se que n denota o número de nós na região de transmissão. A tabela de escalonamento de um nó i, S_i, é uma tripla (s_j, d_j, P_j) onde, s_j é a identificação do nó origem, d_j é a identificação do nó destino e P_j é o índice de prioridade do pacote.

Dada a tabela de escalonamento S_i, a política de acesso ao canal calcula uma função $f(S_i)$ que será a distribuição do tempo de *backoff*.

Digamos que r_i seja a posição (*rank*) do pacote do nó i em sua própria tabela de escalonamento S_i. Então, a proposta de variação de *backoff*, caracterizada pela distribuição $f(S_i)$ é:

$$f(S_i) = \begin{cases} \text{Unif } [0, 2^l\, CW_{min} - 1], & r_i = 1,\ l < m \\ \alpha CW_{min} + \text{Unif } [0, \gamma Cw_{min} - 1], & r_i > 1,\ l = 0 \\ \text{Unif } [0, 2^l\, \gamma Cw_{min} - 1], & r_i > 1,\ l \geq 1 \end{cases}$$

onde l representa o número de tentativas de transmissão, α e γ são constantes que controlam a redução da janela de contenção para os nós que não têm as melhores posições e m é a quantidade máxima de tentativas permitidas antes que o pacote seja descartado. Os outros parâmetros fazem parte da função de *backoff* do padrão 802.11. Quando o nó é o primeiro da tabela, a variação do *backoff* é igual a do 802.11. Se o nó não for o primeiro, isto é, não é o de maior prioridade, então é levado em consideração as tentativas de transmissão. Se for a

primeira vez que o pacote é transmitido, a variação dependerá dos valores de α e γ. Senão, dependerá somente de γ. É importante ressaltar que nessas duas situações o tempo de *Backoff* é maior do que se o pacote estivesse na primeira posição, ou seja, o pacote terá que esperar um tempo maior para que seja transmitido.

3.2.1.2. VARIAÇÃO DO DIFS

O DIFS (DCF *InterFrame Spacing*) é um parâmetro utilizado pelo padrão 802.11 para inserir um certo tipo de prioridade entre os pacotes RTS, CTS, ACK e Dados transmitidos. Esta mesma idéia é utilizada para priorizar as estações em uma rede. Valores diferentes de DIFS são configurados em diferentes estações de acordo com a prioridade que se queira dar a cada uma delas. Quanto maior o DIFS, menor a prioridade de acesso ao meio, isto é, menor a probabilidade de acesso desta estação.

Em (AAD e CASTELLUCCIA, 2001) cada nível de prioridade tem um DIFS diferente, digamos $DIFS_j$ onde $DIFS_{j+1} > DIFS_j$. Para evitar que pacotes com a mesma prioridade colidam, o mecanismo de *backoff* é mantido tal que o tamanho máximo da janela de contenção adicionado ao $DIFS_j$ seja igual a $DIFS_{j-1} - DIFS_j$ como ilustrado na FIG. 3.3.

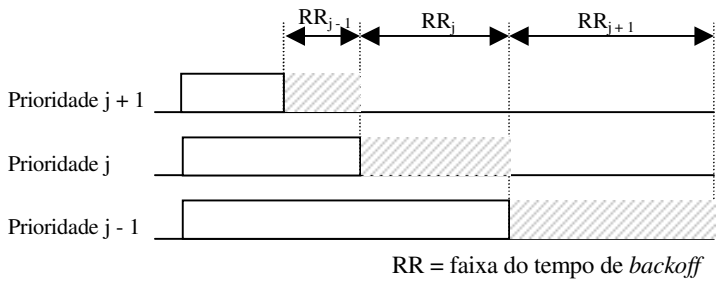

FIG 3.3 – Inclusão de prioridade no DIFS (AAD et. al., 2001)

Isto assegura que nenhum terminal de prioridade j + 1 tenha pacotes para serem enviados quando um terminal de prioridade j começar a enviar seus pacotes.

Este mecanismo quando sujeito a tráfegos CBR e TCP apresentou melhores resultados do que o mecanismo de Variação do *Backoff* (quarto capítulo). Em (RUBINSTEIN e REZENDE, 2002) um modelo similar de variação de DIFS é observado e o resultado também demonstra que esta técnica consegue dar prioridades diferentes de acesso ao meio às estações.

O mecanismo baseado na Variação do DIFS, utilizado nas simulações, será detalhado na próxima seção.

3.2.1.2.1. MECANISMO DE VARIAÇÃO DO DIFS

Cada fluxo, em um nó, terá um DIFS distinto. Isto significa que, por exemplo, fluxos de dados e fluxos de controle terão probabilidades diferentes de acesso ao meio, permitindo uma versatilidade maior a esta técnica, pois ela pode ser ajustada em relação ao ambiente em que estiver sendo empregada. Situações onde o pacote de controle é peça importante no desempenho do funcionamento do terminal, este deverá obter uma prioridade maior, e portanto, um DIFS menor em relação aos outros fluxos. Por outro lado, podem existir situações onde outros fluxos são mais importantes, requerendo que tais fluxos sejam tratados com uma prioridade maior.

Diferentemente da técnica de variação do *backoff*, que é uma função aleatória, a técnica de variação do DIFS é determinística e possibilita, desta maneira, que se tenha um maior controle da prioridade fornecida aos fluxos.

Nessa técnica, cada nível de prioridade tem um DIFS distinto, digamos $DIFS_j$ onde $DIFS_{j+1} > DIFS_j$. Para evitar que pacotes com a mesma prioridade colidam, será mantido o mecanismo de *backoff*.

A cada fluxo é adicionado um parâmetro de prioridade denominado β. O tempo de DIFS será calculado proporcionalmente em relação a este parâmetro da seguinte maneira:

$$DIFS_j = \beta.DIFS$$

Desta forma, é possível perceber que a variação do tempo de DIFS é proporcional ao valor de β, quanto maior o parâmetro, maior o DIFS e menor a prioridade do fluxo. Se $\beta = 1$ o tempo de DIFS assumirá o valor do padrão 802.11, caso contrário a prioridade do fluxo dar-se-á inversamente proporcional ao valor de β.

Nesse trabalho, foram diferenciados dois fluxos, o fluxo de controle que, nesse caso, será representado pelos pacotes de roteamento e o fluxo de dados. Como o objetivo principal do trabalho é avaliar os protocolos de roteamento com Diferenciação de Serviços, o fluxo de

controle se tornou mais prioritário que o fluxo de dados. Esta avaliação foi realizada através de simulações.

3.2.1.3. TAMANHO MÁXIMO DO PACOTE

O terceiro mecanismo para Diferenciação de Serviços é limitar o tamanho máximo de pacotes utilizado para cada terminal. Duas possibilidades podem ser distinguidas:

- ♣ os pacotes com tamanhos maiores que o limite máximo são descartados;
- ♣ fragmentar os pacotes que ultrapassem o tamanho máximo.

Quando um pacote é fragmentado, os RTSs entre os fragmentos são desnecessários, então um terminal continua enviando os fragmentos sempre que recebe um ACK correspondente. Enquanto isso os outros terminais permanecem sem transmitir. Este fato torna a fragmentação, em termos de taxa de dados, transparente.

Em (AAD e CASTELLUCCIA, 2001) esta técnica foi avaliada e o resultado obtido mostrou que não há perda de eficiência, os resultados são menos complexos e trabalhou bem com tráfego TCP e CBR.

3.2.2. TÉCNICAS BASEADAS NO PCF

Como o PCF utiliza o ponto de acesso como componente centralizador das ações, a diferenciação, neste modelo, recai justamente neste elemento. Especificamente, o desempenho deste modelo de acesso está diretamente ligado aos algoritmos de consulta utilizados pelos pontos de acesso.

De acordo com (DRABU, 2001), dois métodos de diferenciação podem ser descritos. O primeiro é uma Função de Coordenação Híbrida que utiliza o ponto de acesso como um coordenador do tráfego. O PA usa uma técnica de *polling* como mecanismo controlador do tráfego. Ele envia requisições de transmissão para as estações na rede. Uma estação pode

responder à requisição com um pacote que contém, além da resposta, dados a serem transmitidos. Mas a estação sempre deve esperar pela requisição do PA. Ao invés de utilizar *polling* justo, isto é, não baseado em pesos, o PA estabelece um *polling* baseado em prioridade na qual esta prioridade é influenciada pelo parâmetro de QoS.

O segundo é denominado TDM Distribuído. Ele utiliza o *polling* regular do PCF mas, adicionalmente, uma técnica de multiplexação por divisão no tempo (TDM) pode ser utilizada para criar períodos fixos de tempos, denominadas fatias de tempo (*timeslots*), e especificar qual estação deveria transmitir em que *timeslot*. Uma vez definidos as fatias de tempo, todas as estações saberão em qual período transmitirão seus pacotes, e desta forma, pacotes podem ser trocados com uma intervenção mínima do PA.

3.3. PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DSR e DSDV

Todos os protocolos de roteamento para Redes *Ad Hoc* descritos nesta pesquisa, trabalham para encontrarem uma rota até o destino utilizando-se parâmetros variados como: menor caminho, associatividade entre os nós, zonas de requisição, caminho com menor atraso, entre outros. Entretanto nenhum deles faz distinção entre o fluxo de dados e o fluxo de roteamento. Todos os pacotes têm a mesma prioridade, isto é, todos os pacotes são tratados igualmente por todos os níveis da rede e disputam o acesso ao meio com a mesma probabilidade de terem sucesso. Isso pode acarretar em uma desatualização das rotas, devido ao fato de pacotes de roteamento perderem a disputa pelo acesso ao canal.

O objetivo principal de diferenciar estes dois tipos de tráfego, é permitir que os protocolos de roteamento tenham informações mais precisas sobre os outros nós. Idéia similar foi utilizada por (CAMARA, LOUREIRO e ALMEIDA, 1999), onde são utilizados agentes formigas para coletarem e disseminarem informações sobre a localização dos nós na rede.

Os protocolos escolhidos para serem submetidos à técnica de Diferenciação foram o *Destination-Sequenced Distance-Vector* (DSDV) e o *Dynamic Source Routing* (DSR). O DSDV é um protocolo de roteamento pró-ativo, baseado no algoritmo *Distance Vector*, muito abordado pela literatura. O DSR, em contrapartida, é um protocolo reativo, do tipo *Source Routing*, onde o terminal de origem é quem define quais nós intermediários farão parte da rota até o destino. Será realizada, antes de submeter os protocolos às técnicas de Diferenciação,

uma análise e uma comparação entre os dois protocolos originais. Estes dois protocolos já foram descritos brevemente no capítulo anterior, mas como serão utilizados no restante do trabalho, uma abordagem detalhada dos aspectos mais importantes de cada protocolo será apresentada nas próximas seções.

3.3.1. *DYNAMIC SOURCE ROUTING – DSR*

O protocolo de roteamento DSR é simples e eficiente e foi desenvolvido especificamente para o uso em Redes Móveis *Ad Hoc*. Utilizando o DSR, uma rede pode se auto-configurar e auto-organizar sem a necessidade de nenhuma infra-estrutura ou administração. Este protocolo fornece um serviço altamente reativo para ajudar a garantir o sucesso da entrega dos pacotes de dados, apesar da movimentação dos nós ou de outras mudanças nas condições da rede.

De acordo com (JOHNSON, MALTZ, HU, et al, 2002) o protocolo é composto por dois mecanismos principais que trabalham em conjunto para permitirem a descoberta e a manutenção de rotas em uma Rede Móvel *Ad Hoc*:

- Descobrimento de Rota: é um mecanismo através do qual um nó S, que tenha pacotes a transmitir para um nó D, obtenha uma rota para o mesmo. O Descobrimento de Rota é usado somente quando S tenta enviar um pacote para D e não conhece nenhuma rota até ele.
- Manutenção de Rota: é o mecanismo pelo qual um nó S está apto a detectar, enquanto utiliza uma rota para D, se a topologia da rede foi modificada de tal forma que a rota já não pode mais ser usada, porque algum enlace se rompeu. Quando uma Manutenção de Rota indica que uma rota se rompeu, S pode tentar utilizar qualquer outra rota que ele tenha aprendido para D, ou pode invocar um novo Descobrimento de Rota para encontrar um novo caminho. Manutenção de Rota é somente utilizado quando S está realmente enviando dados para D.

Diferentemente dos outros protocolos, o DSR não requer o envio de nenhum tipo de pacote periódico em nenhuma camada da rede. Este comportamento inteiramente sob

demanda e a falta de atividades periódicas permitem que a sobrecarga dos pacotes, gerados pelo DSR, seja drasticamente diminuída quando todos os nós são aproximadamente estacionários e quando todas as rotas necessárias para as comunicações ativas já tenham sido descobertas. Quando os nós iniciam a movimentação ou o padrão de comunicação muda, a sobrecarga do DSR aumenta até a quantidade necessária para localizar as rotas atualmente em uso. Mudanças na topologia da rede, que não afetam as rotas utilizadas, são ignoradas e não causam reação no protocolo.

Em resposta a um único Descobrimento de Rota, um nó pode aprender e armazenar em seu *cache* múltiplas rotas para o destino. Isto permite que as reações sejam mais rápidas, já que um nó com múltiplas rotas pode escolher outra rota se a que ele estiver usando falhar. Este armazenamento também evita a sobrecarga da realização de novos Descobrimentos de Rota quando um caminho se rompe.

Em (JOHNSON, MALTZ, HU, et al, 2002) são feitas algumas suposições para que, a princípio, o protocolo alcance seus objetivos. Isto não significa uma limitação e sim, uma questão de certificação de que o protocolo irá trabalhar bem. Estas suposições são as seguintes:

1. Todos os nós que desejam se comunicar com outro nó dentro da Rede *Ad Hoc* devem estar dispostos a participarem totalmente do protocolo de roteamento da rede;
2. O diâmetro de uma Rede *Ad Hoc* é o número mínimo de saltos necessários para que um pacote seja enviado de qualquer nó localizado na extremidade da rede até um outro nó na extremidade oposta. Assume-se que este diâmetro, freqüentemente, será pequeno (talvez 5 ou 10 saltos);
3. Um nó tem a capacidade de detectar um erro em um pacote corrompido e descartá-lo;
4. A velocidade de movimentação dos nós é moderada com relação à velocidade de transmissão dos pacotes e a área de transmissão sem fio da rede. Em particular, o DSR pode suportar taxas muito rápidas de mobilidade de um nó, mas assume-se que este nó não se move continuamente.
5. Uma característica comum de muitas interfaces de rede é a habilidade de operar em modo "promíscuo". Est e modo faz com que o *hardware* entregue qualquer pacote recebido para o *driver* da rede sem uma filtragem baseada no endereço da camada de

enlace. Embora esta facilidade não seja requerida, algumas otimizações podem ser feitas a partir desta disponibilidade.

Comunicações sem fio, entre qualquer par de nós, pode não funcionar bem em ambas as direções devido, por exemplo, à diferença de antena, diferença de padrões de propagação ou interferências. Por isso, comunicações sem fio deveriam estar aptas a trabalharem com enlaces unidirecionais. Isto permite que um nó tenha sucesso ao enviar um pacote, enquanto não é possível uma comunicação no enlace reverso. Porém, alguns protocolos da camada MAC, como MACA (KARN, 1990), MACAW (BHARGHAVAN, 1994) ou CSMA/CA do padrão IEEE 802.11, limitam a transmissão de pacotes somente em enlaces bidirecionais.

3.3.1.1. DESCOBRIMENTO DE ROTA DO DSR

Como foi descrito na seção 2.3.1.1, o descobrimento de rota do protocolo DSR é um processo pelo qual, um nó que deseja enviar um pacote e não tenha uma rota preestabelecida para um determinado destino, descubra um caminho até ele. Quando algum nó gera um novo pacote, ele procura em seu *cache* de rotas por uma rota já aprendida para o destino. Se nenhuma rota for encontrada, o protocolo de descobrimento de rota é iniciado. Por exemplo, suponha que um nó A tente descobrir uma rota para E (FIG. 3.4). Para iniciar o processo de descobrimento de rota, o nó A transmite uma requisição de rota, por difusão, para todos os vizinhos. Cada requisição de rota contém o nó de origem e o nó de destino, um identificador único determinado pela origem e uma lista de endereços de cada nó intermediário por onde ele tenha passado até então. Esta lista é iniciada pelo próprio nó de origem.

Quando outros nós (B, C) recebem esta requisição de rota, ele confere se é o destino. Se for, o nó retorna uma resposta de rota para quem iniciou o processo, contendo uma cópia da rota acumulada no pacote de requisição de rota. O nó A armazena esta informação em seu *cache*. Se não for o destino (E), o nó confere para saber se este pacote já foi recebido por ele ou se seu endereço já está listado na requisição de rota. Se uma destas alternativas for verdadeira, o pacote é descartado. Senão o nó procura em seu *cache* uma rota para E. Se achar, ele envia uma resposta de rota para a origem contendo o caminho completo até o destino, caso contrário ele adiciona seu próprio endereço e o envia para seus vizinhos por

difusão. O pacote segue o mesmo processo até chegar ao destino ou até que todas as tentativas sejam realizadas.

Quando o nó de destino recebe o pacote, ele envia o pacote de resposta de rota para o nó de origem, revertendo o caminho encontrado no pacote de requisição de rota. Isto requer enlaces bidirecionais. Esta rota reversa evita a sobrecarga de um novo descobrimento de rota.

Quando um descobrimento de rota é iniciado, o nó de origem salva uma cópia do pacote original em um *buffer*, chamado de *Send Buffer*. Cada pacote no *buffer* é relacionado com um temporizador e é descartado quando este temporizador expira.

Enquanto existir algum pacote no *buffer*, um novo descobrimento de rota deve ser iniciado. Entretanto, o nó deve limitar a taxa de descobrimento de rota para o mesmo endereço, já que é possível que o destino não esteja sendo alcançado.

Em ambientes sem fio, devido ao limite das transmissões, a rede pode às vezes sofrer partições. Se um novo descobrimento de rota for iniciado para cada pacote, em uma rede particionada, um número grande de requisições de rota improdutivas deverão propagar-se por toda subrede. Para reduzir o número de descobrimento de rota, um nó deve utilizar um algoritmo de *backoff* exponencial para limitar a taxa de novos descobrimentos para o mesmo destino. A FIG. 3.4 ilustra o protocolo de descobrimento de rota em ação. Nesta figura, o nó de origem *O* deseja enviar uma mensagem para o nó de destino *D* e para isso necessita descobrir uma rota. Ele faz uma inundação da requisição de rota, enviando-a para os vizinhos *B, C* e *E*. Estes nós verificam se são o destino. Se forem, retornam uma resposta de rota através da inversão da rota contida na requisição. Se não forem, verificam se o seu identificador está na requisição de rota. Se estiver, o pacote deve ser descartado para evitar o que o ele fique circulando na rede indefinidamente. Se não estiver, devem verificar em seu *cache* de rotas se possuem uma rota até o destino e se possuírem então enviam o pacote através desta rota. Por fim, se não possuírem, inserem seu identificador na requisição de rota e realizam uma inundação. Este processo segue até que o pacote chegue no destino *D* ou até que todas as possibilidades estejam esgotadas.

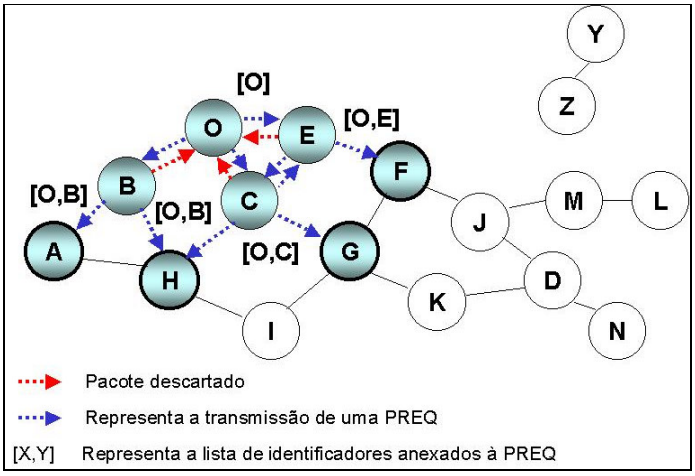

FIG. 3.4 – Comportamento do protocolo de descobrimento de rota. *O* é o nó de origem e *D* é o nó de destino. Os nós em azul representam os nós que receberam a requisição de rotas

3.3.1.2. MANUTENÇÃO DE ROTA DO DSR

Cada nó que transmite um pacote é responsável por confirmar que os dados podem trafegar pelo enlace escolhido. Por exemplo, na FIG. 3.4 o nó A enviou um pacote para o nó E utilizando os nós B, C e D como intermediários. Neste caso, o nó A é responsável pelo enlace de A para B e assim sucessivamente. Um reconhecimento pode ser utilizado para confirmar que um enlace está ativo em uma rede sem fio.

Se um reconhecimento não for recebido por um determinado período de tempo, o nó de origem pressupõe que o enlace para o próximo nó se rompeu. Ele deverá remover este enlace de seu *cache* e deverá retornar uma mensagem de erro de rota, para cada nó que tenha enviado um pacote para aquela rota, utilizando-o como intermediário. Na situação descrita acima, se o nó C não receber um reconhecimento de D depois de um período de tempo, ele deve retornar uma mensagem de erro de rota para A, como também para qualquer outro nó que possa ter usado este enlace. O nó A remove este enlace de seu *cache*. Se for necessário enviar outro pacote de dados, o nó A deverá procurar por outra rota até o destino E, em seu *cache*. Encontrando, o nó A utiliza esta nova rota para enviar o pacote, senão um novo descobrimento de rota deverá ser iniciado.

Cada mensagem de requisição de rota contém um número de saltos, que pode ser utilizado para limitar a quantidade de nós intermediários que podem enviar uma cópia da

requisição de rota. O limite é implementado usando o parâmetro *Time-to-Live* (TTL). Este limite é decrementado sempre que passa por um nó intermediário e é descartado quando o TTL alcança zero.

3.3.2. *DESTINATION-SEQUENCED DISTANCE-VECTOR – DSDV*

Em (PERKINS e BHAGWAT, 1994) é descrito o protocolo de roteamento *Distance-Sequenced Distance-Vector*. O DSDV é um protocolo pró-ativo, isto é, troca as informações de roteamento de tempos em tempos (periódico) ou quando recebe uma informação importante sobre mudanças na topologia da rede. É baseado no clássico algoritmo Vetor de Distância e armazena as informações de roteamento em tabelas que contém informações sobre cada um dos outros nós que constituem a rede.

Cada entrada na tabela de roteamento é marcada com um número de seqüência, que é estabelecido pela estação de destino. Para manter a consistência das tabelas de roteamento em uma topologia altamente dinâmica, cada estação transmite atualizações periódicas e atualizações sempre que uma nova informação é identificada.

O protocolo DSDV requer que cada estação móvel envie, para cada vizinho, sua própria tabela de roteamento. As entradas dessa tabela podem mudar rapidamente, então as atualizações devem ser realizadas imediatamente após uma mudança na topologia da rede para assegurar que qualquer estação móvel possa localizar uma outra estação.

Os dados difundidos de cada estação conterão seu novo número de seqüência e as seguintes informações para cada nova rota:

- o endereço de destino;
- o número de saltos requerido para alcançar o destino;
- o número de seqüência original da informação que foi criado e enviado pelo destino.

Nesse protocolo, assume-se que cada nó só pode inserir informações de roteamento recebidas se o vizinho mostrar que pode receber pacotes do nó em questão. Então, efetivamente, o DSDV somente utiliza enlaces bidirecionais.

Um dos mais importantes parâmetros do algoritmo é a escolha do tempo entre as difusões de pacotes de roteamento. Estações móveis causam rupturas nos enlaces quando se movem de um lugar para o outro. Uma ruptura no enlace pode ser detectada pelo protocolo da camada de enlace ou pode ser deduzida se nenhuma difusão tenha sido recebida por um vizinho. Uma ruptura de enlace é representada pela métrica ∞. Quando um enlace para o próximo salto rompe-se, qualquer rota que passe por este enlace é imediatamente marcada com ∞ e uma atualização de rota é requerida. Um nó, ao receber um pacote com a métrica ∞, deve verificar, em sua tabela, se possui um número de seqüência igual ou maior com uma métrica finita para aquele destino. Se possuir, o nó dispara uma atualização de rota para disseminar as informações sobre o destino.

Para reduzir a quantidade de informação nos pacotes de roteamento, dois tipos de pacotes são definidos. Um irá transportar todas as informações disponíveis e será denominado pacote completo (*full dump*). O outro tipo transportará somente informações modificadas pelo último pacote completo e será chamado de pacote com incremento (*incremental*).

Quando uma estação recebe novas informações, elas são comparadas com as disponíveis na tabela de roteamento. Qualquer rota com um número de seqüência mais recente é utilizada e as rotas com números de seqüência mais antigos são descartados. Quando duas rotas contém números iguais, a rota utilizada será aquela que tiver a melhor métrica.

O endereço armazenado nas tabelas de roteamento corresponderão à camada onde o protocolo DSDV está operando. Por exemplo, se o DSDV estiver operando na camada de rede, será usado o endereçamento da camada de rede e se ele estiver operando na camada de enlace, será usado o endereço da Camada de Acesso ao Meio (MAC).

Um exemplo do DSDV em operação será descrito para esclarecer os aspectos mais importantes do protocolo. A FIG. 3.5 mostra um movimento em uma Rede Móvel *Ad Hoc*.

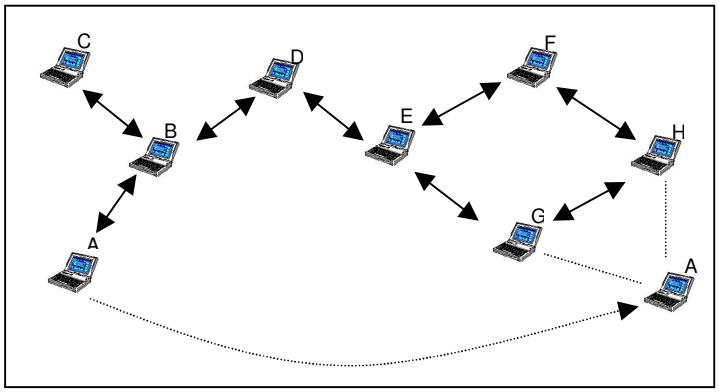

FIG. 3.5 – Movimentação em uma Rede *Ad*

Considere o nó D na FIG. 3.5. A TAB 3.1 mostra uma possível estrutura da tabela de roteamento que é armazenada em D.

TAB. 3.1 – Estrutura da tabela de roteamento do nó D

Destino	Próximo Salto	Métrica	Número de seqüência	Tempo
A	B	2	S418-A	T001-D
B	B	1	S122-B	T001-D
C	B	2	S550-C	T001-D
D	D	0	S690-D	T001-D
E	F	2	S337-E	T002-D
F	F	1	S075-F	T001-D
G	F	2	S122-G	T002-D
H	F	3	S050-H	T002-D

Suponha que o endereço de cada nó seja representado por uma letra (ex.: A). Suponha também, que o número de seqüência seja denotado por SXXX-nó, onde nó significa a estação que criou o número e SXXX o próprio número. O campo Tempo, ajuda a determinar quando deletar uma rota antiga. A tabela 3.1 pode ser resumida contendo somente as informações mais relevantes como destino, métrica e número de seqüência.

Agora, suponha que o nó A se move da posição inicial para uma posição próxima dos nós G e H (FIG. 3.5). A nova tabela de D depois da atualização pode parecer como a tabela 3.2.

TAB 3.2 – Estrutura da tabela de roteamento do nó D depois da autalização do nó A

Destino	Próximo Hop	Métrica	Número de seqüência	Tempo
A	E	3	S516-A	T810-D
B	B	1	S238-B	T001-D
C	B	2	S674-C	T001-D
D	D	0	S820-D	T001-D
E	F	2	S502-E	T002-D
F	F	1	S186-F	T001-D

G	F	2	S238-G	T002-D
H	F	3	S160-H	T002-D

Somente a entrada para o nó A mostra a nova métrica, mas durante o tempo de atualização, foram recebidos muitos números novos de seqüência. A primeira entrada deve ser anunciada em uma atualização de informação de roteamento via pacote de incremento. Quando o nó A se move para perto dos nós G e H, ele dispara uma atualização via pacote de incremento, o qual é difundida para o nó E. O nó E, determinando que esta é uma informação de roteamento significativa, também dispara uma atualização imediata contendo a nova informação de roteamento do nó A. D, após receber esta informação, deverá então difundí-la.

Um problema pode ser encontrado nas trocas das tabelas de roteamento e ele é conhecido como flutuação das tabelas de roteamento. A flutuação surge porque duas métricas para a escolha de rotas são utilizadas: rotas com número de seqüência mais novo e rotas com melhor métrica e um exemplo pode ser descrito da seguinte maneira: suponha que um nó móvel recebe uma tabela de atualização com um número de seqüência e uma métrica (número de saltos) e logo em seguida ele recebe uma nova tabela de atualização (via um vizinho diferente) com o mesmo número de seqüência mas com uma métrica menor. A menos que alguma atitude seja tomada, isto levará a uma rajada de novas atualizações de rotas, porque estas atualizações são passadas para os nós vizinhos e assim em diante.

A solução encontrada foi atrasar a divulgação destas rotas, quando o nó móvel pode prever que uma mensagem com uma métrica melhor, provavelmente será recebida em breve. A rota deve ser disponibilizada para uso, mas não deve ser anunciada imediatamente, ao menos que seja uma rota para um destino que estava fora do alcance anteriormente. Então, o nó pssará a ter duas tabelas de roteamento: uma para repassar os pacotes quando necessário e outra que será anunciada via pacotes de incremento.

Para determinar a probabilidade de chegadas de tabelas com uma métrica melhor, o nó móvel deverá manter um histórico dos tempos médios para um determinado destino. Este tempo é iniciado a partir da chegada de uma atualização e continua até que uma rota com uma métrica melhor seja recebida.

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentada uma descrição das técnicas mais utilizadas para prover Diferenciação de Serviços como: Variação de DIFS, Função de aumento de *backoff* e Tamanho Máximo de Pacotes. Uma descrição mais detalhada das duas técnicas de Diferencição de Serviços, Variação da Função de *Backoff* e Variação do DIFS, que serão utilizadas para proverem a diferenciação neste trabalho, foi realizada.

Além disso, realizou-se um detalhamento dos principais aspectos dos protocolos de roteamento para Redes Móveis DSR e DSDV. Estes aspectos são relevantes, porque influenciam no desempenho do protocolo original e, por conseqüência, no desempenho dos protocolos que utilizaram as técnicas de Diferenciação de Serviços.

Estas descrições fornecem uma base para que uma análise dos protocolos e das técnicas de diferenciação seja feita. Esta análise será realizada no quarto capítulo.

4. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

4.1. INTRODUÇÃO

Qualquer sistema, indiferentemente da área em que estiver sendo realizado, deve ter seu desempenho avaliado. Para isso, vários métodos são encontrados e eles diferem na forma com que os resultados são gerados e avaliados. Um sistema pode ser, por exemplo, totalmente implementado e experimentos realizados, simulado ou modelado de forma analítica, ou seja, através de funções matemáticas.

Para implementar um sistema, é necessário criar completamente o ambiente a ser estudado. Por exemplo, para avaliar o desempenho de um protocolo de roteamento através de uma implementação, é necessário implantar uma rede, identificar quais protocolos serão utilizados nas mais diversas camadas desta rede, implementar, se não existir, o protocolo pretendido, entre outras coisas. Esse método demanda, além de conhecimento, um custo geralmente alto. Em contrapartida, os resultados obtidos através de experimentos são precisos e se bem avaliados fornecem um grande respaldo na avaliação do sistema, pois pode ser testado em todas as situações possíveis, sejam elas favoráveis ou desfavoráveis.

Outra forma de gerar os resultados é realizar um modelo analítico do sistema. Vários são os exemplos de métodos analíticos utilizados para avaliar o desempenho de sistemas, dentre os quais pode-se citar: Máquinas de Estado como as Redes de Petri, Modelos Matemáticos, Redes de Filas e outros. A aplicação desses métodos de avaliação tem crescido muito e, normalmente, é realizado em conjunto com uma implementação ou simulação.

Esses modelos são utilizados para avaliarem, de forma quantitativa, os sistemas. Entretanto outros modelos podem ser utilizados para avaliarem o desempenho dos sistemas de forma qualitativa, como por exemplo, os métodos formais. Eles são usado em uma fase inicial de avaliação, onde os protocolos são especificados formalmente. Logo em seguida esta especificação é inserida em um analizador automático para que os resultados possam ser gerados. Geralmente os modelos analíticos são utilizados em conjunto com simulações. Um dos exemplos é a Linguagem ESTELLE (FILHO, 1995) utilizada para verificar propriedades nos protocolos.

Já a simulação desempenha um papel importante em várias áreas do conhecimento humano. Não se pode imaginar a realização de um grande projeto, por exemplo de Engenharia, sem uma prévia simulação de seu comportamento, avaliando as respostas do sistema para os mais diversos valores de entrada.

Uma das vantagens da simulação é o custo/benefício proporcionado. Geralmente, uma simulação tem um custo relativamente pequeno se comparado a uma implementação, e o resultado pode chegar bem próximo ou igualar ao obtido por uma implementação. Todavia, a simulação apresenta vários tipos de limitações que dependem do simulador utilizado. Mas, se bem projetada, uma simulação pode, sem perda de generalidade, produzir ótimos resultados.

No que diz respeito a protocolos para Redes de Computadores a simulação é fundamental, constituindo valiosa ferramenta de avaliação, comparação, otimização e ajuste de parâmetros. Portanto, deve ser devidamente estudada e adequada ao ambiente em questão.

Vários são os simuladores utilizados para projetar e avaliar Redes de Computadores. O *Network Simulator* (MONARCH, 2001) é um simulador de rede orientado à objeto, escrito em C++ e tendo como ambiente de programação a linguagem interpretada Otcl, que simula uma variedade de redes fixas ou móveis, desenvolvido na Universidade de *Berkeley*.

Outro simulador existente é o GloMoSim, cujo ambiente de simulação é aplicável à redes sem fio e redes fixas. O GloMoSim é um simulador baseado em eventos discretos paralelos, realizados por um ambiente de simulação para sistemas complexos, denominado PARSEC (BRAGODIA, MEYER, TAKAI et al, 1998). Ele foi desenvolvido pelo Laboratório de Computação Paralela da Universidade da Califórnia.

Para esse trabalho, o simulador escolhido foi o *Network Simulator* – NS, pois preenchia todos os requisitos esperados como, por exemplo, robustez, agilidade, simplicidade na criação e inicialização dos componentes da rede e facilidade na obtenção dos resultados. Outro ponto importante na escolha desse simulador foi o prévio conhecimento de seu funcionamento. O Grupo de Teleinformática e Automação do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde o trabalho se desenvolveu, possui uma grande experiência com o simulador, proveniente de várias pesquisas desenvolvidas nesse ambiente.

O objetivo principal dessa simulação é obter e avaliar os resultados sobre o impacto da inserção de Diferenciação de Serviços nos protocolos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc*. A perspectiva é de que, com a disponibilização de informações mais recentes, a taxa de entrega de pacotes pelos protocolos de roteamento melhore.

Os resultados foram gerados em gráficos que mostram a variação da taxa de entrega dos pacotes em relação a diferentes graus de mobilidade e em relação ao número de fontes, geradoras de tráfego. A partir desses resultados, foi possível avaliar o desempenho das técnicas de Diferenciação de Serviços quando utilizadas nesse ambiente.

Esse capítulo está organizado da seguinte maneira: a seção 4.2 descreve o ambiente de simulação, abrangendo as especificações de hardware e as principais características do simulador; a seção 4.3 mostra as configurações utilizadas nas simulações; na seção 4.4 é realizada uma comparação entre os protocolos de roteametno DSR e DSDV; na seção 4.5 são mostrados os resultados e as avaliações de desempenho obtidas através das simulações com os protocolos de roteamento DSR e DSDV com mecanismos de Diferenciação de Serviços; na seção 4.6 é realizada uma comparação entre as técnicas de Diferenciação de Serviços Variação da Função de *Backoff* e Variação de DIFS e na seção 4.7 são realizadas as considerações finais.

4.2. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Como mencionado, o simulador utilizado foi o NS-2. A versão usada foi a 2.1b8a, disponibilizada em 2001. Esta versão possui a extensão mais atualizada para redes móveis contendo quatro protocolos de roteamento já codificados para essas redes, o DSDV, o DSR, o TORA e o AODV. A simulação foi rodada em uma máquina com as seguintes configurações: processador Athlon XP de 1,9 GHz, 512 MB de memória RAM e 60 GB de disco rígido. O Sistema Operacional requerido pelo simulador foi o LINUX e a versão utilizada foi o Red Hat 7.2.

A próxima seção conterá uma descrição do NS-2, como também, várias especificações dos procedimentos de configuração e inicialização dos componentes de redes necessários para criar uma Rede Móvel *Ad Hoc*.

4.2.1. *NETWORK SIMULATOR* – NS-2

O NS-2 é um simulador de rede orientado à objeto, escrito em C++ e tendo como ambiente de programação a linguagem interpretada OTcl. Este simulador foi desenvolvido na *UC Berkeley* e implementa uma variedade de mecanismos como: protocolos da arquitetura TCP/IP, fontes geradoras de tráfego como FTP, Telnet, Web, CBR e VBR, mecanismos de gerenciamento de filas nos roteadores tais como *Drop Tail, RED e CBQ* e algoritmos de roteamento como Dijkstra. O NS também implementa tráfego *multicast* e alguns protocolos da camada MAC para simulações de LANs. O projeto desenvolve ferramentas para expor e analisar os resultados das simulações.

O simulador suporta uma classe hierárquica em C++, e uma classe hierárquica similar dentro do interpretador OTcl. Da perspectiva do usuário, existe uma correspondência um para um entre uma classe hierárquica OTcl e a classe hierárquica C++, sendo assim, a correspondência entre as duas classes são muito estreitas. No topo da hierarquia está a classe OTcl onde o usuário cria novos objetos de simulação. Esses objetos são instanciados dentro do interpretador, e refletidos pelo objeto correspondente na hierarquia C++.

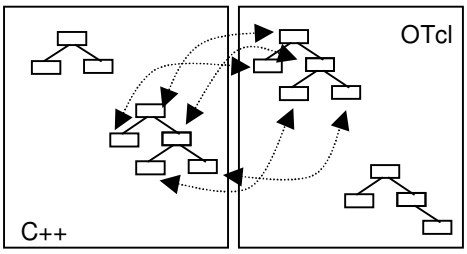

FIG. 4.1 – Relação entre C++ e OTcl

O NS utiliza duas linguagens porque as simulações detalhadas dos protocolos requerem uma linguagem de programação que possa manipular eficientemente *bytes*, cabeçalhos de pacotes e implementem algoritmos que processem um grande conjunto de eventos. Para essas tarefas, é importante velocidade de execução. Por outro lado, uma grande parte de pesquisas em redes envolvem variações e configurações dos parâmetros ou exploração de arquivos de cenários. Neste caso, o tempo de iteração (mudar o modelo e rodar novamente) é mais importante.

O simulador NS satisfaz ambas as necessidades, utilizando-se de duas linguagens de simulação. O C++ é rápido em execução, porém é mais devagar quando se requer mudanças, tornando-o interessante para as implementações detalhadas dos protocolos. A linguagem OTcl roda mais devagar mas pode ser alterada muito rapidamente e interativamente, tornando-o ideal para as configurações das simulações.

Em (FALL e VARADHAN, 2002) é aconselhado utilizar a linguagem OTcl para:

- configurações e inicialização de objetos (ou variáveis);
- manipulação dos objetos C++ já existentes;

e utilizar a linguagem C++ para:

- se estiver fazendo qualquer coisa que requeira processamento de cada pacote em um fluxo;
- se tiver que efetuar uma modificação imprevista no comportamento de qualquer classe C++.

Por exemplo, enlaces de uma rede são objetos OTcl que agrupam características como atraso, enfileiramento e, possivelmente, módulos de perda. Se o experimento a ser analisado puder utilizar estes objetos, não haverá nenhuma modificação na linguagem C++ e o código se restringirá à linguagem OTcl. Se, ao invés disso, o experimento requiser algum tipo especial de qualquer objeto relacionado ao enlace, isto é, uma disciplina especial de fila ou outro modelo de perda, então será necessário criar um novo objeto C++. A FIG. 4.2 mostra a visão do usuário de um processo de simulação em um NS simplificado.

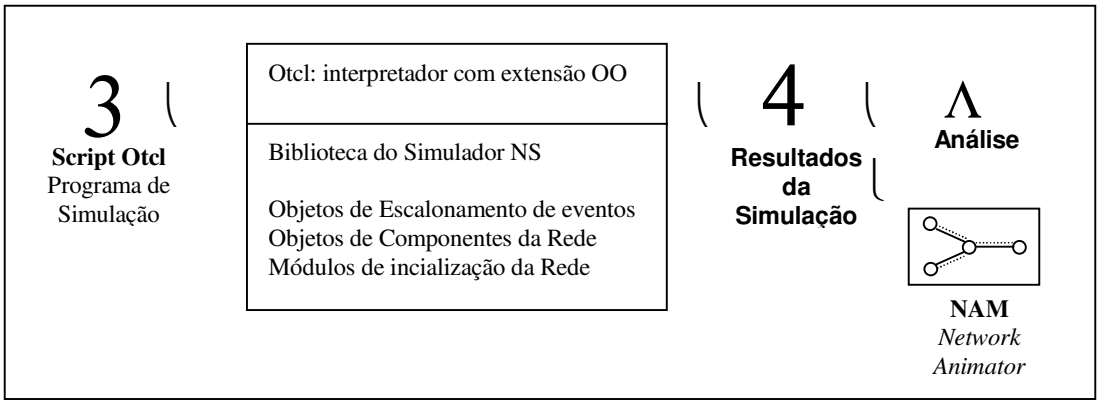

FIG. 4.2 – Visão do Usuário Simplificada do NS

Uma das classes mais importantes do NS é a classe *Simulator* que descreve o simulador como um todo. Ela fornece um conjunto de interfaces para a configuração e a escolha do tipo de escalonador de evento que será utilizado na condução da simulação. Um *script* de simulação, geralmente inicia-se criando uma instância desta classe e chamando vários métodos para criar os nós, a topologia e configurar outros aspectos da simulação.

O NS é um simulador baseado em eventos. O escalonador seleciona o próximo evento agendado, executa-o inteiramente e retorna para executar o próximo evento. A unidade de tempo utilizada é o segundo. Atualmente, o simulador executa somente um evento de cada vez, isto é, em qualquer parte do tempo, somente um evento estará sendo executado. Se mais de um evento estiver programado para executar no mesmo tempo, o primeiro evento agendado será realizado e em seguida o outro. Eventos simultâneos não são reordenados pelos escalonadores e dada uma entrada, a ordem de execução dos eventos deve ser a mesma, sempre que esta entrada for selecionada.

4.2.2. REDE MÓVEL NO *NS*

Esta subseção irá descrever como é configurado um modelo de rede móvel no NS. Esta extensão do NS foi criada pelo grupo *Monarch CMU* da Universidade de *Berkeley*. Serão discutidos os mecanismos de roteamento e os componentes que são usados para construir a rede móvel. Os componentes mais importantes deste modelo são: o Canal, a Interface de Rede, o Modelo de Propagação de Rádio, os Protocolos MAC, a Interface da Fila, a Camada de Enlace e o Protocolo ARP (*Address Resolution Protocol*).

4.2.2.1. MODELO BÁSICO SEM FIO NO *NS*

O nó móvel consiste em um agente denominado *MobileNode* com características adicionais que permitem simulações de Redes *Ad Hoc* com múltiplos saltos, Redes Locais e outros. O objeto *MobileNode* é um derivado de um outro objeto chamado *Node*.

Node é composto de um objeto de entrada e classificadores que examinam os campos dos pacotes e encaminham ao seu destino, dentro do nó. Um *Node* é mostrado na FIG. 4.3.

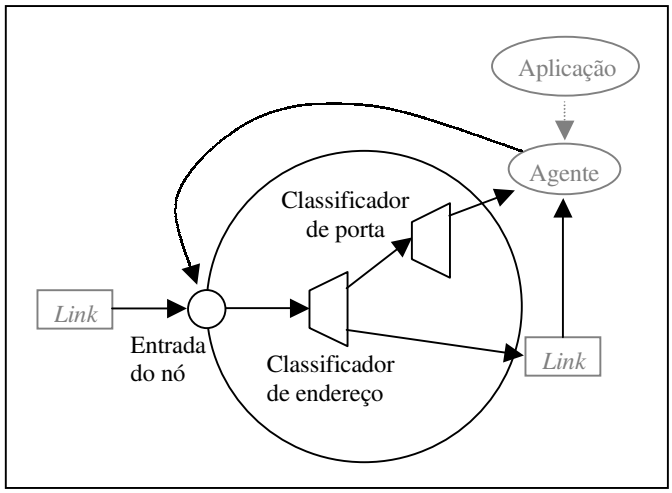

FIG. 4.3 – *Node* (*Unicast*)

Existem dois tipos de *nodes* no NS, um *node unicast* que contém um classificador de endereço, o qual realiza o roteamento, e um classificador de porta que repassa o pacote ao agente correspondente, e um *node multicast* que tem um classificador que faz a distinção entre pacotes *multicast* e pacotes *unicast* e um classificador *multicast* que realiza o roteamento *multicast*.

Um *MobileNode* é, então, um objeto *Node* com habilidades para mover-se dentro de uma topologia e habilidades para receber e transmitir sinais de rádio utilizando um canal sem fio. A principal diferença entre um *Node* e um *MobileNode* é o meio físico utilizado para o transporte dos sinais.

A característica de mobilidade, incluindo movimentação dos nós, atualizações periódicas da posição, gerenciamento de topologia, são implementadas em C++, enquanto que as inicializações dos componentes de rede dentro de um *MobileNode*, são implementadas em OTcl.

São suportados pelo NS quatro protocolos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc*. O TORA e o AODV foram mencionados brevemente no segundo capítulo, já as principais características do DSR e do DSDV foram descritas em detalhes no terceiro capítulo.

Um *MobileNode* é projetado para mover-se sobre uma topologia tridimensional. Entretanto a terceira dimensão (z ou altura), geralmente não é usada. Os nós têm coordenadas x, y e z, ajustadas continuamente para simularem a movimentação do nó. Existem dois mecanismos para inserir movimentação no *NS*. No primeiro método, a atualização das posições dos nós pode ser configurada explicitamente. Estas diretivas são normalmente inseridas em arquivos de cenários utilizados como entrada no *NS*. É possível configurar a atualização com os seguintes comandos:

$node set x_ <$x_1$>
$node set y_ <$y_1$>
$node set z_ <$z_1$>

$ns at $time $node setdest <$x_2$> <$y_2$> <speed>

O último comando significa que no tempo $time segundos, o nó começa o movimento de sua posição inicial (x_1, y_1) para o destino (x_2, y_2) com a velocidade definida em <speed>. Este método é disparado sempre que for requerida a posição do nó num dado momento. Isso acontece através de uma consulta de um nó vizinho ou através da primitiva *setdest*, descrita acima, que modificam a direção e a velocidade dos nós.

O segundo método emprega uma movimentação aleatória dos nós. A primitiva utilizada é:

$mobilenode start

o qual inicia o nó móvel com uma posição aleatória e configura atualizações para modificar as direções e as velocidades dos nós. Os valores das direções e velocidades também são escolhidos aleatoriamente.

4.2.2.2. COMPONENTES DA REDE EM UM *MOBILENODE*

A pilha de componentes para um *mobilenode* consiste em uma camada de enlace (*link layer* – LL), um modelo ARP conectado à LL, uma interface de fila com prioridade (Ifq), uma camada MAC (MAC), uma interface de rede (netIF), cada um conectado ao respectivo componente seguindo o fluxo dos pacotes. A FIG. 4.4 mostra o esquema de um *mobilenode* e seus componentes.

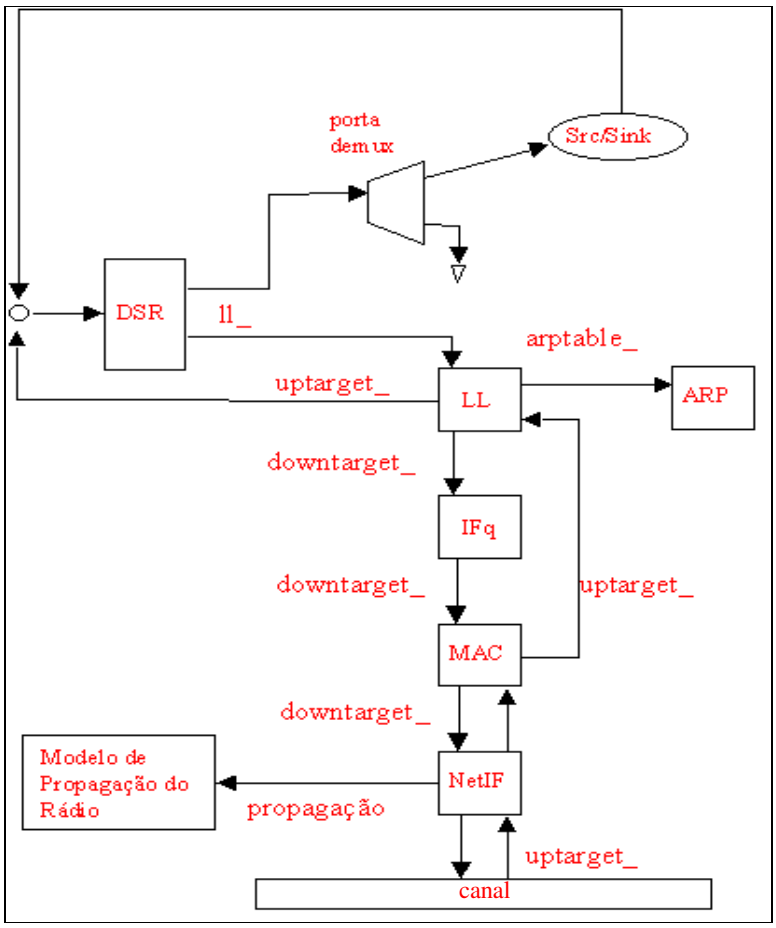

FIG. 4.4 – Esquema de *mobilenode* com os respectivos agentes

A LL tem a função de receber um pacote enviado pelo agente de roteamento ou pela camada MAC, processá-lo e repassá-lo para a interface de fila (IFq) ou para o ponto de entrada do nó.

O módulo do protocolo de resolução de endereço (ARP) recebe as requisições da camada de enlace. Se o ARP tem o endereço *hardware* para o destino, ele insere este endereço no cabeçalho MAC do pacote. Senão, ele difunde uma consulta ARP e armazena temporariamente o pacote. Para cada endereço de *hardware* desconhecido, existe um *buffer* para um único pacote. Uma vez que o endereço for descoberto, o pacote é enviado para a interface de fila.

A Interface de Fila (IFq) é representada por uma classe *Priqueue* que é implementada como uma fila que prioriza os pacotes de roteamento, inserindo-os na frente da fila.

Na camada MAC é utilizado o protocolo de acesso ao meio desenvolvido pelo IEEE 802.11. Ele utiliza um esquema de RTS/CTS/DADOS/ACK para diminuir a probabilidade de colisão entre os pacotes.

A camada de Interface de Rede (NetIF) serve como uma interface de *hardware* que é utilizada pelo *mobilenode* para acessar o canal. O NS implementa uma interface para o meio compartilhado sem fio. Esta interface, onde os pacotes estão sujeitos a colisões e a um determinado modelo de propagação via rádio, recebe pacotes transmitidos por outras interfaces de outros nós, pelo canal. A interface anexa a cada pacote transmitido, dados sobre os aspectos de transmissão como a potência e o comprimento de onda. Os dados no cabeçalho dos pacotes são utilizados pelo modelo de propagação via rádio para determinar se o pacote tem uma potência mínima para ser recebido ou detectado por um determinado nó. O modelo aproxima-se da interface de rádio utilizando a técnica de espalhamento DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

O modelo de propagação via rádio utiliza o modelo de atenuação *Friss-space* ($1/r^2$) para curtas distâncias e uma aproximação para o modelo *Two Ray Ground* ($1/r^4$) para grandes distâncias. É utilizada, também, uma antena omnidirecional.

Como mostrado anteriormente na FIG. 4.2, os resultados das simulações são inseridos em arquivos, que podem ser utilizados pelo NAM para mostrar uma animação da movimentação dos nós e/ou podem ser analisados para retirar métricas de desempenho, tais como vazão, taxa de perdas, atraso, etc.

4.3. CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO

Tanto o cenário de movimentação quanto o cenário de comunicação foram gerados a partir de comandos do NS-2 e serão descritos nas seções 4.3.1 e 4.3.2. O simulador utiliza esses cenários como entrada para variar a movimentação dos nós e o padrão de comunicação. Os cenários são gerados com valores aleatórios, isto é, cada cenário configura um ambiente completamente novo para o sistema.

4.3.1. MODELO DE MOVIMENTAÇÃO

Os nós na simulação movem-se de acordo com um modelo criado através de comandos no *Network Simulator*. Os arquivos de movimentação são caracterizados por períodos de pausa denominados tempos de pausa. Cada nó começa em uma determinada posição e se mantem nesta posição durante o tempo de pausa estabelecido. Depois deste tempo, o nó escolhe um ponto aleatório entre a área de 1500 x 300m e se movimenta para o ponto com uma velocidade média entre 0 e um valor máximo determinado. Após alcançar este ponto, pára durante o tempo de pausa, volta a escolher outra posição e assim sucessivamente até terminar o tempo de simulação.

Foram gerados sete diferentes tempos de pausa: 0, 30, 60, 120, 300, 600 e 900. O tempo de pausa de 0 segundos corresponde a movimentação contínua e o tempo de pausa de 900 segundos, igual ao tempo total da simulação, corresponde a um nó estacionário. Os tempos de pausa representam, além do tempo em que os nós permaneceram parados, o padrão de mobilidade dos nós. Este parâmetro foi utilizado por ser facilmente controlado pelo simulador. Todavia outro parâmetro pode ser usado, como por exemplo, a velocidade de cada nó. Para cada tempo de pausa foram definidos dez cenários de movimentação, também através de comandos do NS. Desta forma, podem ser utilizados 70 padrões de movimentação.

Os nós se movimentam com uma velocidade média de 10 m/s e velocidade máxima de 20 m/s. Esses arquivos fornecem todas as informações de movimentação como direção, localização e velocidade como mostrado na seção 4.2.2.1.

4.3.2. MODELO DE COMUNICAÇÃO

O tráfego escolhido para a comparação entre os protocolos foram de fontes CBR (*constant bit rate*[7]) com uma taxa de 4 pacotes por segundo com 64 bytes de tamanho. Foram utilizadas duas quantidades de fontes CBR: 10 ou 20 fontes. Uma carga total de 2048 bps é gerada na rede. De acordo com (BROCH, MALTZ, JOHNSON et al, 1999), este padrão de comunicação consiste em um bom teste para os protocolos de roteamento.

Se os dois padrões de comunicação forem combinados com os 70 padrões de movimentação, um total de 140 arquivos de diferentes cenários serão oferecidos para uma velocidade média de 10 m/s.

A métrica escolhida para análise dos protocolos foi taxa de entrega de pacotes. Esta taxa foi definida como a relação entre o número de pacotes originados pelas fontes CBR do nó de origem e o número de pacotes recebidos pela fonte CBR do nó de destino.

Taxa de entrega de pacotes é uma métrica importante porque descreve a taxa de perda dos pacotes, o qual afeta a vazão máxima que a rede pode suportar. Esta métrica caracteriza a corretude do protocolo de roteamento.

A TAB. 4.1 mostra a quantidade média de mudanças ocorridas nos enlaces durante cada rodada da simulação para cada tempo de pausa (padrão de mobilidade). Os nós possuem uma velocidade máxima de 20m/s.

TAB 4.1 – Número médio das modificações nos enlaces

Tempos de Pausa	Número de modificações nos enlaces (20 m/s)
0	11857
30	8984
60	7738
120	5390
300	2428
600	1270
900	0

[7] *Constant Bit Rate* (CBR) – taxa constante de bits (dados)

4.4. COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DOS PROTOCOLOS

Foi realizada uma simulação para comparar o desempenho dos dois protocolos originais de roteamento escolhidos para utilizarem as técnicas de Diferenciação de Serviços. O principal objetivo desta seção é medir a capacidade de entrega de pacotes pelos protocolos. As avaliações foram baseadas em simulações de 50 terminais móveis que formavam uma Rede *Ad Hoc*, movendo-se sobre uma área retangular de 1500m x 300m, durante um tempo de 900 segundos. Os dois protocolos foram sujeitos à condições idênticas de carga e ambiente descritas na seção 4.3.1 e 4.3.2. Cada rodada do simulador aceita como entrada, um arquivo de cenário que descreve movimentações exatas de cada nó, a seqüência exata dos pacotes originados pelos nós junto com o exato tempo em que mudanças na movimentação ou na origem dos pacotes ocorrem.

4.4.1. DSR X DSV

A FIG. 4.5 destaca o desempenho relativo dos protocolos de roteamento com tráfego criado por 20 fontes.

Os dois protocolos entregam uma grande porcentagem de pacotes quando a mobilidade do terminal móvel é pequena e convergem para 100% de pacotes entregues quando não há movimentação dos nós (tempo de pausa igual a 900). Porém é visível que o protocolo de roteamento DSR tem um desempenho muito melhor do que o DSDV quando existe uma movimentação mais intensa dos nós (tempo de pausa igual a 0). O DSR entrega mais do que 95% dos pacotes com mobilidade constante dos nós, enquanto que o DSDV entrega um pouco mais do que 75% dos pacotes no mesmo ambiente. Isso se deve ao fato de que o DSR, por ser um protocolo reativo, identifica mais rapidamente as mudanças e portanto consegue convergir para um descobrimento de rota até o destino em menor tempo, evitando uma perda muito grande dos pacotes. Por outro lado, o DSDV, por se tratar de um algoritmo pró-ativo, observa um maior atraso para manter as informações das tabelas de rotas atualizadas. Isso reflete em envios de pacotes sobre enlaces rompidos, o que acaba ocasionando perdas de pacotes.

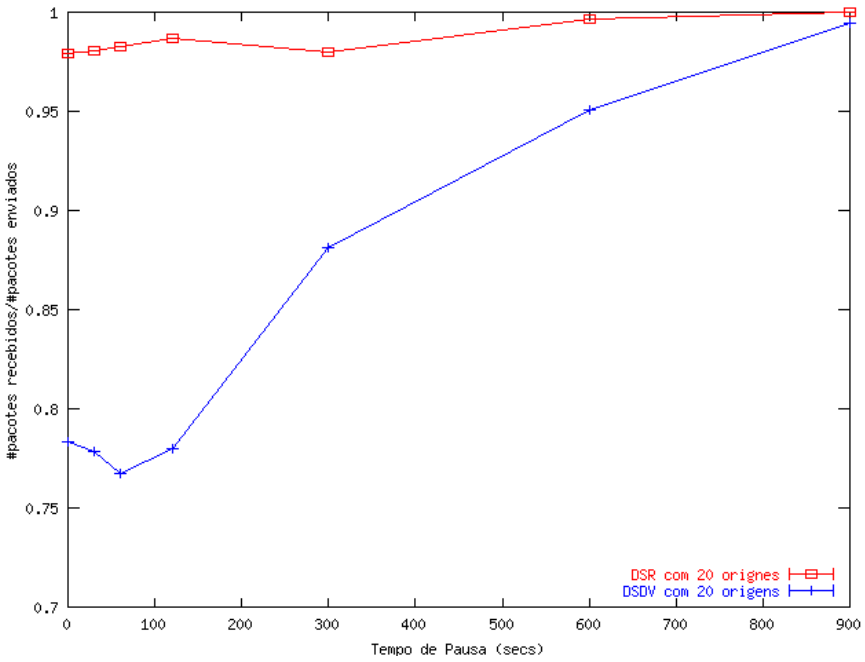

FIG. 4.5 – Comparação entre os protocolos DSR e DSDV utilizando a quantidade de pacotes entregues com sucesso em função dos tempos de pausa utilizados. Tempo de pausa igual a 0 significa mobilidade constante e tempo de pausa igual a 900 significa nó estacionário

As FIGs. 4.6 e 4.7 mostram desempenho dos protocolos variando-se o número de fontes CBR. Como pode-se verificar, o protocolo DSR mantém um desempenho semelhante, quando o número de fontes varia de 10 para 20. Já o protocolo DSDV melhora o rendimento quando há uma variação de 10 fontes para 20 fontes. O desempenho cresce porque uma quantidade maior de pacotes requer que seja trocada uma quantidade maior de informação e, conseqüentemente, a tabela de roteamento refletirá melhor as mudanças ocorridas na rede.

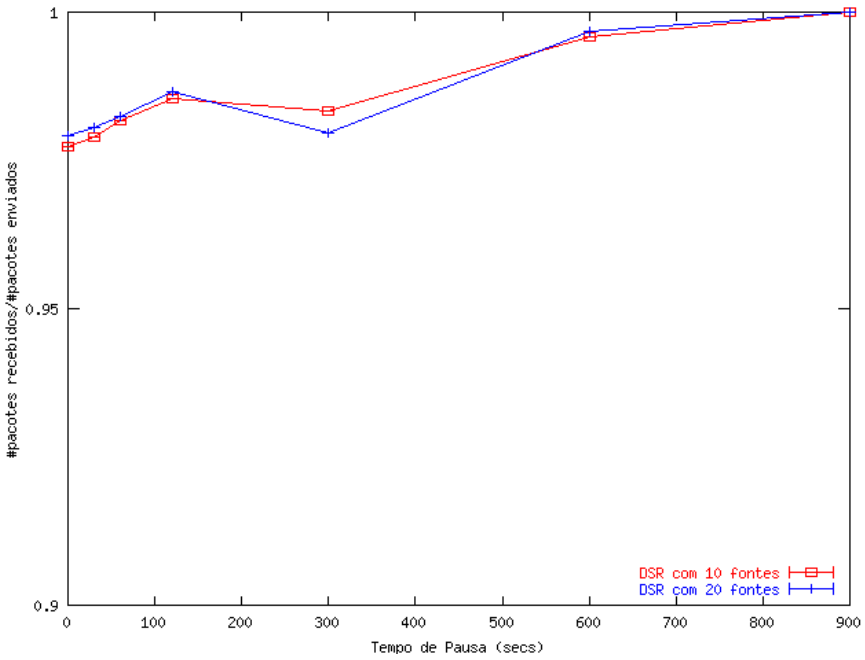

FIG. 4.6 – Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSR

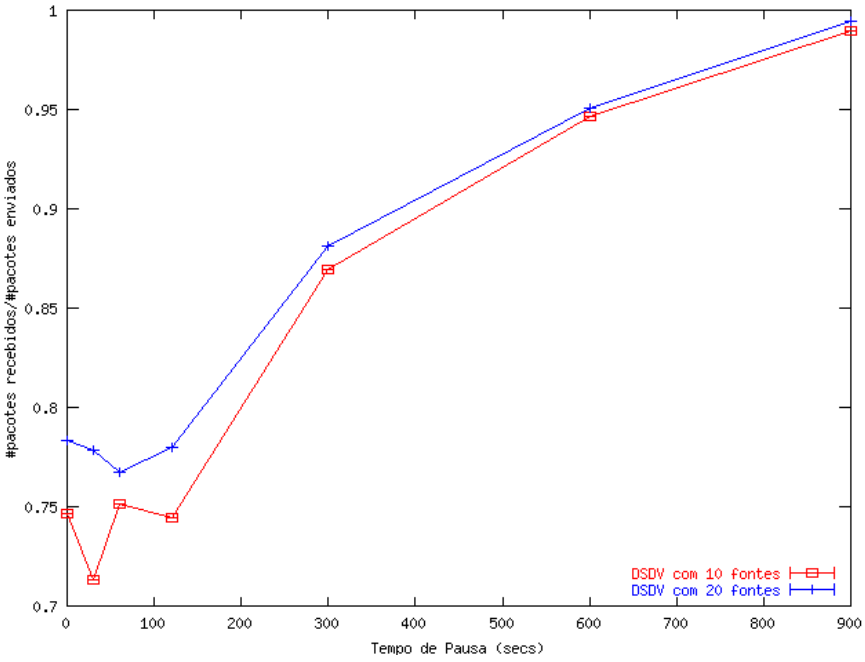

FIG. 4.7 – Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSDV

Esses resultados validam os resultados encontrados em (BROCH, MALTZ, JOHNSON, et al., 1999). Neste trabalho quatro protocolos de roteamento foram avaliados, incluindo o DSR e o DSDV e o desempenho foi igual ao encontrado pelo trabalho.

4.5. AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DSR E DSDV COM DIFERENCIAÇÃO DE SERVIÇOS

Os protocolos utilizados na avaliação foram o *Dynamic Source Routing* (DSR) e o *Destination-Sequenced Distance-Vector* (DSDV). Como esses protocolos, originalmente não trabalham com uma camada de enlace que forneçam a Diferenciação de Serviços, então esta característica foi adicionada para que eles fossem avaliados.

O objetivo principal é analisar o impacto dessa modificação na capacidade de roteamento dos protocolos. Para tal, a métrica utilizada foi a taxa de entrega dos pacotes. Essa taxa mede a relação entre os pacotes enviados e os pacotes recebidos por um móvel.

Foram usadas duas técnicas de Diferenciação de Serviços: Variação da Função de Aumento de *Backoff* e Variação do DIFS. Essa diferenciação foi aplicada em dois fluxos: pacotes de roteamento e pacotes de dados. A idéia é dar prioridades aos pacotes de roteamento em relação aos pacotes de dados para que os protocolos trabalhem com as informações mais atualizadas quanto possíveis. Dessa forma, as mudanças na topologia são descobertas mais rapidamente, facilitando o funcionamento dos protocolos.

Os gráficos apresentados na próxima seção mostram os resultados obtidos. Esses resultados foram divididos de acordo com os protocolos e a técnica de diferenciação empregada para facilitar a interpretação e visualização dos mesmos.

4.5.1. DSR SEM UTILIZAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIFERENCIAÇÃO X DSR COM UTILIZAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIFERENCIAÇÃO

A FIG. 4.8 mostra o comportamento do protocolo de roteamento DSR sem diferenciação e com diferenciação usando-se a técnica de Variação da Função de *Backoff*. São utilizadas 10 fontes CBR.

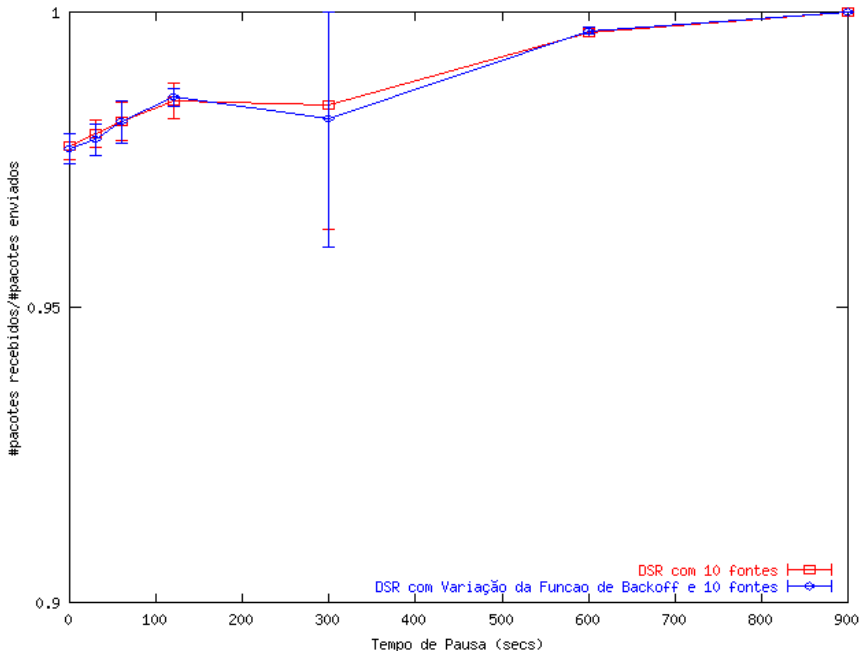

FIG. 4.8 – Comportamento do protocolo DSR sem a utilização de diferenciação em relação ao protocolo DSR com utilização de diferenciação por Variação da Função de *Backoff* (10 fontes)

Pode-se observar que o desempenho em ambos os casos é praticamente o mesmo. Isso se deve ao fato do protocolo DSR possuir um alto poder de reação frente às modificações da topologia. De acordo com os gráficos mostrados na seção 4.4.1, o protocolo DSR entrega entre 97 % a 100% dos pacotes enviados. Variando-se a quantidade de fontes CBR para 20, pode-se perceber que o comportamento dos protocolos não se altera. Não se verifica uma

melhoria do desempenho do protocolo de roteamento quando este utiliza a Diferenciação de Serviços fornecida pela camada MAC. Observar a FIG. 4.9.

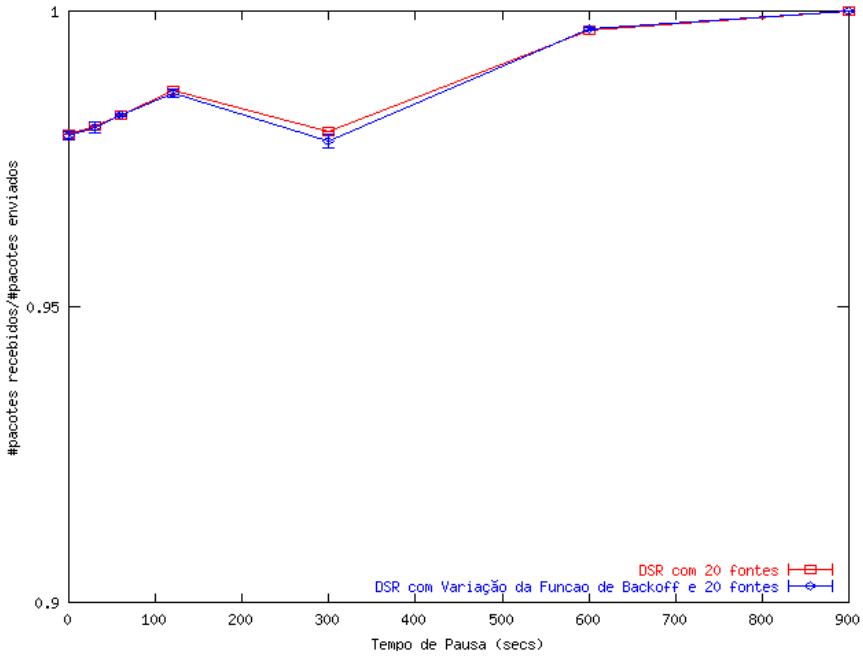

FIG. 4.9 – Comportamento do protocolo DSR sem utilização de diferenciação em relação ao protocolo DSR que utiliza diferenciação por Variação da Função de *Backoff* (20 fontes)

As FIGs. 4.10 e 4.11 mostram o desempenho do protocolo DSR sem e com a utilização da técnica de Variação do DIFS.

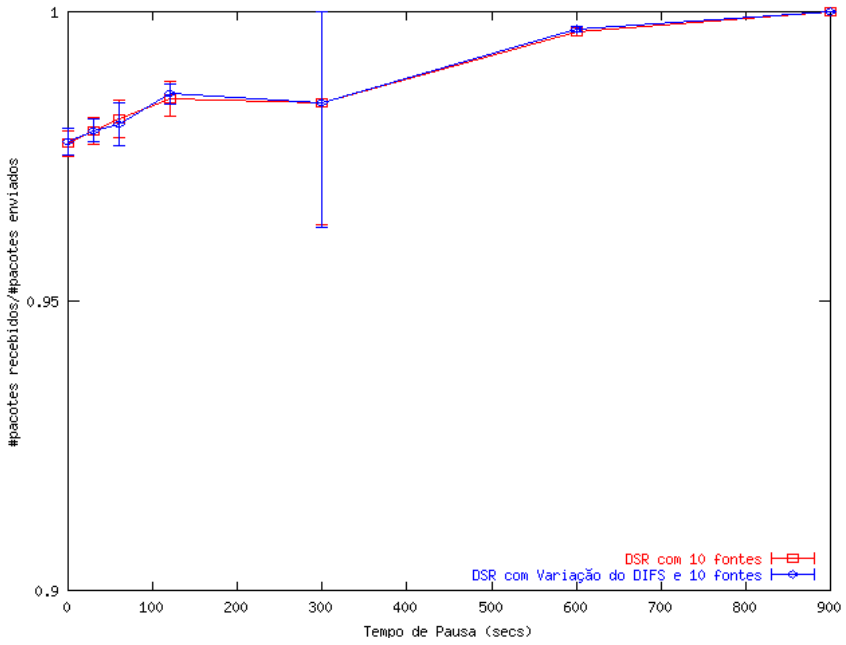

FIG. 4.10 – Comportamento do protocolo DSR sem diferenciação em relação ao protocolo DSR com diferenciação por Variação do DIFS (10 fontes)

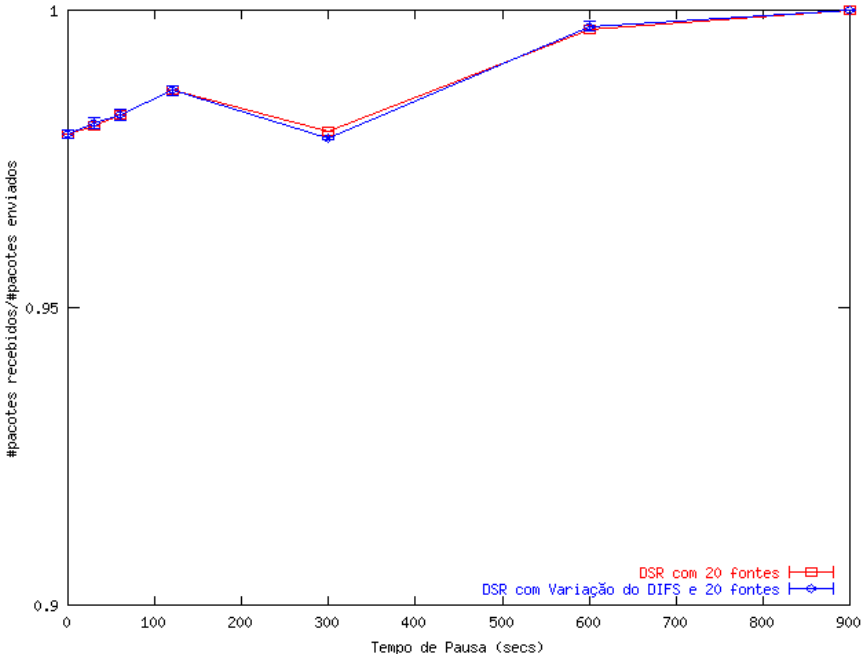

FIG. 4.11 – Comportamento do protocolo DSR sem diferenciação em relação ao protocolo DSR com diferenciação por Variação do DIFS (20 fontes)

Pode-se notar que a Diferenciação de Serviços também não proporcionou nenhuma melhoria no desempenho. No tempo de pausa de 900 segundos a taxa de entrega dos dois casos é equivalente, de aproximadamente 100 % dos pacotes. A Diferenciação por Variação do DIFS, altera o tempo que o pacote deve esperar para tentar obter acesso ao meio.

Nessa avaliação, dois níveis de prioridade foram inseridos. Os pacotes de roteamento receberam o parâmetro de prioridade igual a 2 e os pacotes de dados receberam prioridade 4. De acordo com a técnica, quanto menor o parâmetro, maior a prioridade e menor o tempo de acesso.

Mesmo com o emprego da Diferenciação por Variação do DIFS, a função de *backoff* continua sendo utilizada para diminuir a probabilidade de colisão entre os pacotes, contudo não insere nenhum tipo de prioridade nos pacotes.

Variando-se a quantidade de fontes CBR de 10 para 20 o resultado da diferenciação não é notado. A quantidade de pacotes descartados, não pelos agentes de roteamento, mas por outros componentes como o ARP ou por expiração do temporizador (*time-out*), explicam a estagnação do rendimento. Como os pacotes de roteamento têm prioridade em relação aos pacotes de dados, quando o temporizador do pacote expira, ele é descartado, e isso acontece normalmente com os pacotes de dados. Quando aumenta-se a quantidade de fontes CBR, aumenta-se o tráfego na rede, aumentando a probabilidade de descarte de um pacote de dados.

4.5.2. DSDV SEM UTILIZAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIFERENCIAÇÃO X DSDV COM UTILIZAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIFERENCIAÇÃO

Nesta seção foi utilizado outro tipo de protocolo de roteamento para que fosse possível avaliar o desempenho de técnicas de diferenciação em protocolos que usam outras formas de construção de rotas. O protocolo escolhido foi o DSDV, cuja construção de rotas é pró-ativa e baseado em tabelas de roteamento.

As FIGs. 4.12 e 4.13 mostram o desempenho desse protocolo com e sem diferenciação.

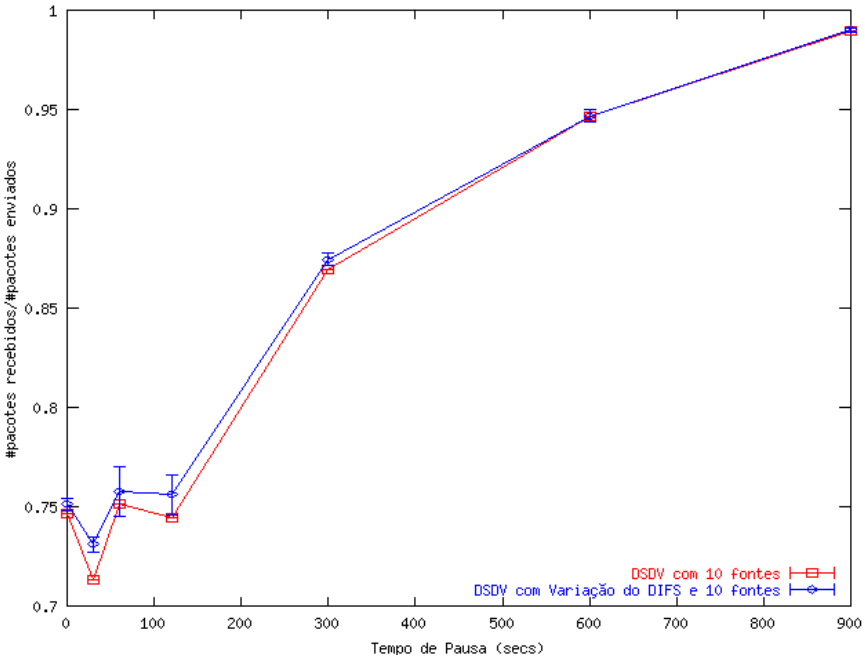

FIG. 4.12 – Comportamento do protocolo DSDV sem diferenciação em relação ao protocolo DSDV com diferenciação por Variação do DIFS (10 fontes)

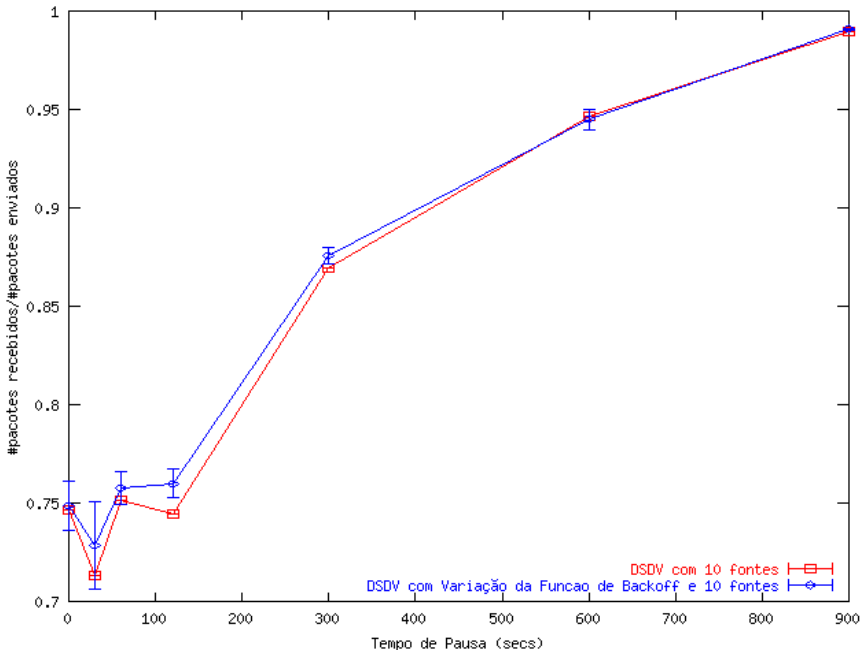

FIG. 4.13 – Comportamento do protocolo DSDV original em relação ao protocolo DSDV modificado com a variação na função de *backoff* (10 fontes)

Como pode-se observar, tanto a modificação com variação na função de *backoff* quanto a diferenciação com variação do DIFS, não melhoram o desempenho do protocolo com 10 fontes, mesmo onde não há sobreposição das curvas, pois os intervalos de confiança dos tempos de pausa estão superpostos.

Entretanto, os resultados sugerem que uma melhoria pode ser alcançada nos tempos de pausa 30, 60, 120 e 300. Isto porque o DSDV utiliza um atraso para tentar reduzir as flutuações nas tabelas o que causa uma demora na reação às mudanças e envios de pacotes em enlaces rompidos. Os métodos de diferenciação podem permitir que essas tabelas "ganhem" o meio sem que haja um acréscimo de tempo causado por uma eventual disputa e perda do meio de comunicação pelas tabelas de roteamento.

O aumento do tráfego na rede também não apresenta nenhuma melhora no desempenho do protocolo. As FIGs. 4.14 e 4.15 mostram esses resultados. Pelo mesmo motivo, o aumento de carga e o aumento de descarte dos pacotes, o rendimento desse protocolo com Diferenciação de Serviços foi menor do que esperado, e por isso, nesse ambiente, a Diferenciação de Serviços não é evidente.

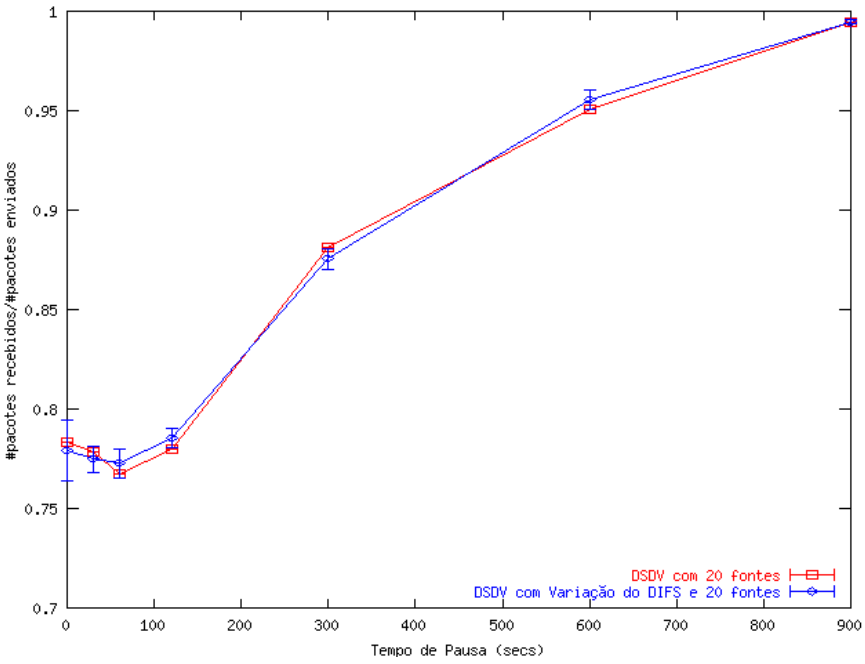

FIG. 4.14 – Comportamento do protocolo DSDV original em relação ao protocolo DSDV modificado com a variação no DIFS (20 fontes)

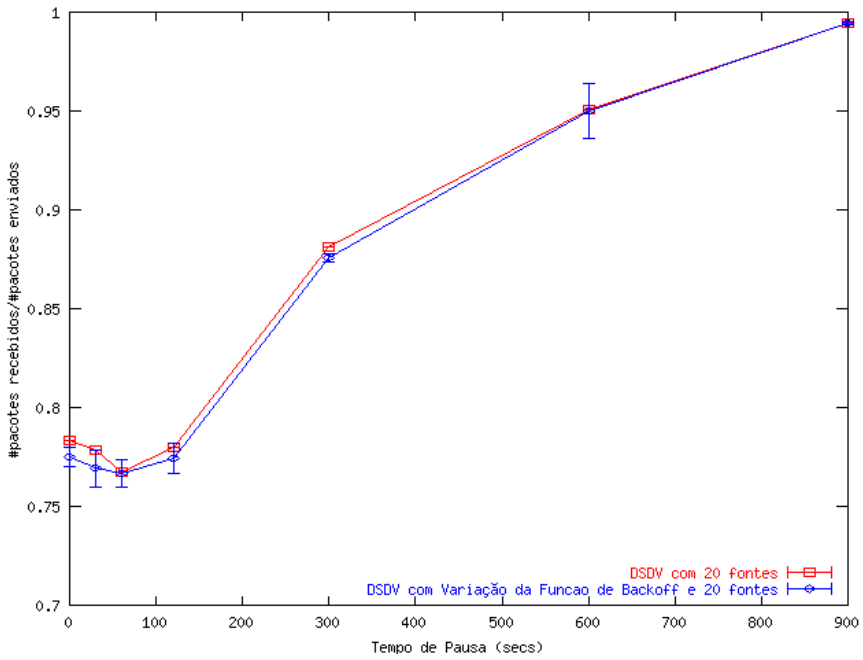

FIG. 4.15 – Comportamento do protocolo DSDV original em relação ao protocolo DSDV modificado com a variação na função de *backoff* (20 fontes)

4.5.3. AVALIAÇÕES DOS RESULTADOS

A princípio, uma conclusão pode ser obtida com o auxílio da TAB. 4.2 que mostra a quantidade de pacotes descartados e os eventos que causaram estes descartes nos três protocolos avaliados.

TAB 4.2 – Número de pacotes descartados e os eventos relacionados

Protocolos (10 fontes CBR)	**Descartes por falta de rota**	**Descartes no componente IFq**	**Descartes por *time-out***	**Descartes no componente ARP**
DSR original	697	0	0	152
DSR com variação do DIFS	554	0	98	159

DSR com Variação do *Backoff*	524	0	0	170

Como é possível notar, o emprego das técnicas de diferenciação melhora o desempenho do protocolo se for considerada a obtenção de rotas, pois a quantidade de pacotes que são descartados por falta de rotas diminui. Todavia, o aumento do número de descartes por *time-out* (expiração do tempo) e de descartes no componente ARP, acabam comprometendo o rendimento do protocolo. Outro fato interessante é que não há descartes na Interface de Fila. Isso também foi notado no protocolo DSR, o que sugere que a taxa de comunicação utilizada foi pequena, mesmo que considerada um bom teste para os protocolos.

Esses resultados podem ser estendidos para que se possa avaliar a relação entre o comportamento dos componentes da rede como o ARP, *Interface Queue*, as técnicas de Diferenciação de Serviços e o aumento da carga fornecida à rede. Outra possibilidade é testar mais protocolos, cuja forma de construção de rotas são diferentes e definir quais técnicas de diferenciação são melhores em quais formas de construção de rotas. Todas essas possibilidades, contribuirão para tornarem a pesquisa sobre técnicas de Diferenciação de Serviços em protocolos de roteamento nas Redes *Ad Hoc* mais completa. Esses estudos fazem parte dos trabalhos futuros.

4.6. COMPARAÇÃO ENTRE OS MECANISMOS DE DIFERENCIAÇÃO

Normalmente a métrica utilizada para comparar as técnicas de Diferenciação de Serviços é o *throughput*, contudo neste trabalho foi usada como métrica de avaliação a taxa de entrega dos pacotes para que se pudesse analisar a relação entre o emprego das técnicas.

4.6.1. AVALIAÇÃO DOS MECANISMOS DE DIFERENCIAÇÃO

Os dois mecanismos foram avaliados sob as mesmas condições de cenário e padrão de comunicação descritos nas seções 4.3.1 e 4.3.2.

As FIGs. 4.16 e 4.17 mostram o comportamento das técnicas de diferenciação no protocolo DSDV em relação ao número de pacotes enviados e número de pacotes recebidos, os tempos de pausa utilizados e o número de fontes CBR. No tempo de pausa igual a zero a proporção de pacotes enviados em relação aos pacotes recebidos foi de aproximadamente 75% (0,75) para as duas técnicas. Já no tempo de pausa igual a 900 (nós estacionários), as duas técnicas convergem os resultados para 100% de pacotes recebidos.

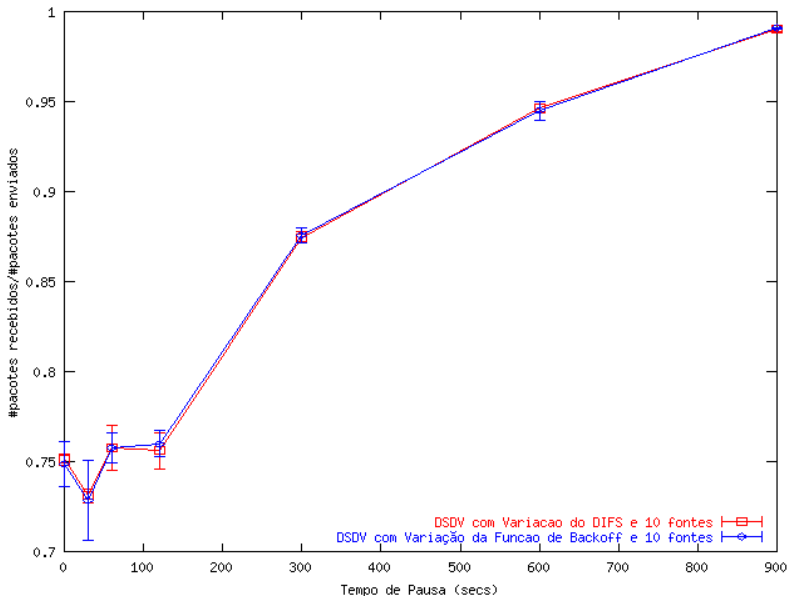

FIG. 4.16 – Variação de *Backoff* e Variação do DIFS com 10 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSDV

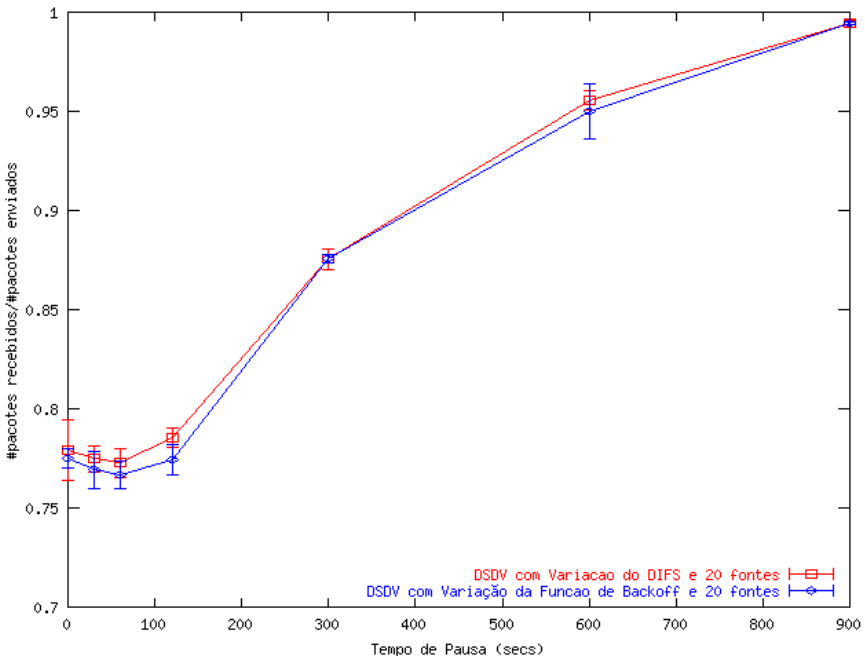

FIG. 4.17 – Variação de *Backoff* e Variação de DIFS com 20 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSDV

Como pode-se notar, os resultados das duas técnicas para o protocolo DSDV com 10 fontes CBR são praticamente iguais. As diferenças são muito sutis e se fazem em casas decimais, então neste ambiente, as duas técnicas têm o mesmo desempenho. Entretanto, os resultados para o ambiente com 20 fontes CBR, embora demonstrarem que os desempenhos são os mesmos, sugere que a Diferenciação de Serviços por Variação do DIFS pode obter um resultado melhor do que a Variação da Função de *Backoff* quando são utilizadas pelo protocolo DSDV.

Já as FIGs. 4.18 e 4.19 mostram o comportamento das técnicas no protocolo DSR, também em relação à entrega de pacotes, os tempos de pausa e o número de fontes.

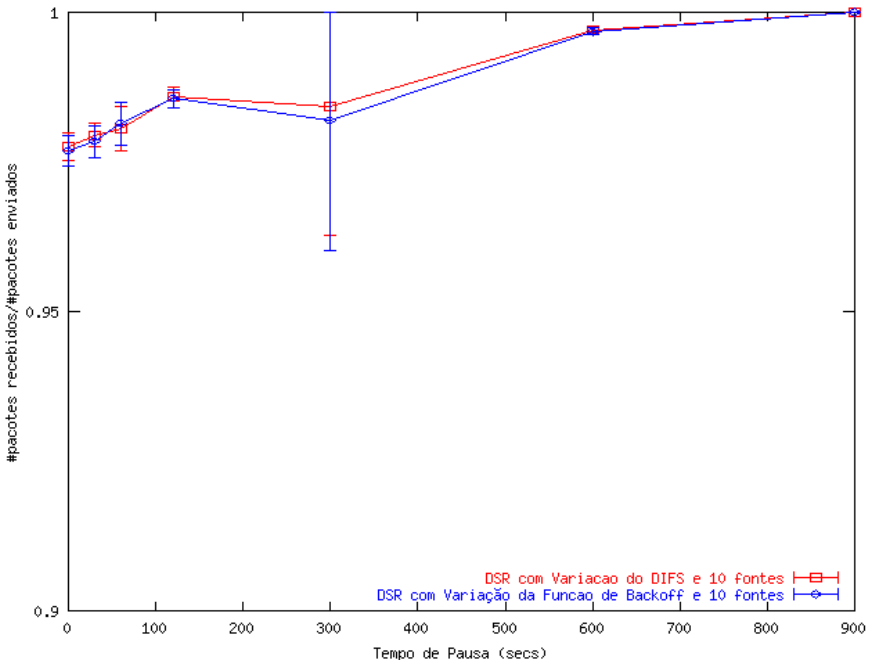

FIG. 4.18 – Variação de *Backoff* e Variação de DIFS com 10 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSR

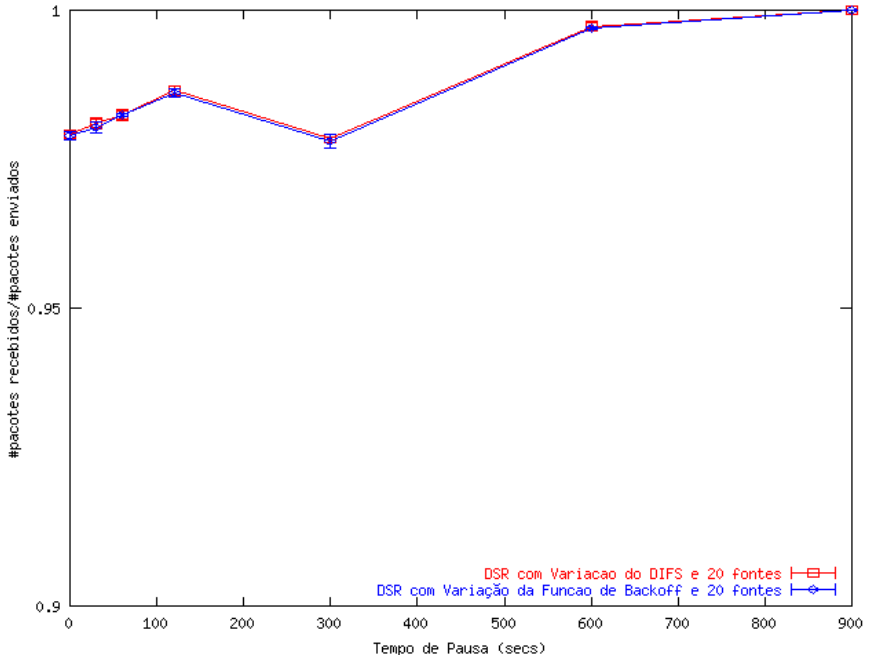

FIG. 4.19 – Variação de *Backoff* e Variação de DIFS com 20 fontes CBR utilizadas pelo protocolo DSR

Pode-se observar para 10 fontes CBR, as duas técnicas trabalham com resultados bem próximos. Aumentando a quantidade de fontes e, conseqüentemente, a quantidade de pacotes, o desempenho das técnicas é o mesmo. Alguns desses resultados são mostrados na TAB. 4.3.

TAB. 4.3 – Resultados da taxa de entrega de pacotes pelos protocolos com diferenciação de serviços

Protocolos	DIFS			*BACKOFF*		
	Tempo de Pausa	Taxa de pacotes entregues	Intervalo de confiança	Tempo de Pausa	Taxa de pacotes entregues	Intervalo de confiança
DSDV com 20 fontes	0	0.77926867	0.01531070	0	0.77512967	0.00497400
	30	0.77479333	0.00676403	30	0.76918733	0.00921438
	60	0.77276500	0.00723650	60	0.76648000	0.00693251
	120	0.78523900	0.00494579	120	0.77450233	0.00759484
	300	0.87537233	0.00551159	300	0.87586667	0.00221265
	600	0.95560400	0.00497891	600	0.94967800	0.01390150
	900	0.99477933	0.00072401	900	0.99447833	0.00064826
DSR com 10 fontes	0	0.97853733	0.00077116	0	0.97760133	0.00169354
	30	0.98014067	0.00058519	30	0.97936900	0.00098527
	60	0.98275000	0.00110241	60	0.98139000	0.00212796
	120	0.98665900	0.00087929	120	0.98547300	0.00050956
	300	0.98449700	0.00042793	300	0.98286433	0.00415627
	600	0.99685633	0.00044181	600	0.99539700	0.00168200
	900	0.99997567	0.00002113	900	0.99997900	0.00001291

Os resultados insinuam que a técnica de Variação do DIFS se comporta melhor do que a técnica de Variação da Função de *Backoff*, isto porque a a Variação do DIFS é um técnica determinística enquanto que a Função de *Backoff* é aleatória. Avaliação semelhante pode ser encontrado em (AAD e CASTELLUCCIA, 2001). O resultado obtido a partir dessa simulação foi mascarado pela utilização da pequena taxa de simulação que facilita a ação dos protocolos de roteamento.

4.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi apresentado nesse capítulo, os projetos de pesquisa devem ser avaliados e para isso, várias ferramentas são propostas. Um experimento pode ser, por exemplo, implementado, simulado ou analisado através de um método formal.

Para implementar um sistema, é necessário criar completamente o ambiente a ser estudado. Essa ferramenta, geralmente, demanda além de conhecimento, custos relativamente altos. Os resultados obtidos são precisos e podem ser testados em todas as situações possíveis, sejam elas favoráveis ou desfavoráveis.

Outra forma de gerar os resultados é realizar um modelo analítico do sistema. Exemplos como: Máquinas de Estado, Redes de Petri, Modelos Matemáticos e Redes de Filas são utilizados para detectar falhas nos protocolos. Esses métodos são usados, normalmente, na fase inicial de avaliação e em junção com outras ferramentas.

Já a simulação é uma das ferramentas mais empregadas para avaliar as respostas do sistema para os mais diversos valores de entrada. Uma das vantagens da simulação é o custo/benefício proporcionado. Entretanto, a simulação apresenta vários tipos de limitações que dependem do simulador utilizado.

Para Redes de Computadores a simulação é fundamental, constituindo valiosa ferramenta de avaliação, comparação, otimização e ajuste de parâmetros. Existem várias ferramentas de simulação disponibilizadas na literatura. Como exemplos pode-se citar o *Network Simulator* e o *GloMoSim* que são capazes de simularem tanto redes fixas quanto Redes Móveis *Ad Hoc* e LANs sem fio.

O simulador NS foi escolhido pois preenchia vários requisitos tais como: robustez, agilidade, simplicidade na criação e inicialização dos componentes da rede e facilidade na obtenção dos resultados. Outro aspecto importante na escolha do simulador, foi o prévio conhecimento de seu funcionamento, promovido pela experiência de várias pesquisas desenvolvidas nesse ambiente.

Os resultados foram obtidos após 2520 simulações. Foram utilizados sete tempos de pausa (0, 30, 60, 120, 300, 600 e 900) e dois padrões de comunicação (10 e 20 fontes CBR). As simulações com 10 fontes CBR duravam, em média, 14 horas e as simulações com 20 fontes duravam, em média, 28 horas. Após a obtenção dos resultados, gravados em arquivos, foram gerados os gráficos que mostram o desempenho das técnicas de diferenciação de

serviços em relação aos protocolos de roteamento, os tempos de pausa e os padrões de comunicação.

A partir dos resultados obtidos na seção 4.4 onde foi constatado que o protocolo de roteamento *Dynamic Source Routing* (DSR) entrega entre 95% a 100% dos pacotes e o *Destination-Sequenced Distance Vector* (DSDV) entrega entre 75% a 100%, resolveu-se avaliar o impacto da inserção das técnicas de diferenciação em protocolos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc*. As técnicas foram inseridas nesses dois protocolos de roteamento.

Os resultados descritos na seção 4.5 revelam que ambas as técnicas de diferenciação não melhoram o rendimento dos protocolos de roteamento. Esse fato deve-se à quantidade de pacotes descartados pela expiração do *time-out* dos pacotes enquanto estavam na interface de fila ou no *buffer* do agente ARP. Contudo os resultados obtidos a partir do desempenho do protocolo DSDV com 10 fontes CBR, sugerem que as técnicas podem melhorar seu rendimento se a carga na rede for acrescida.

De acordo com os resultados obtidos na seção 4.6, pode-se sugerir que a técnica de diferenciação baseada na variação do DIFS mostrou-se mais estável que a técnica baseada na Variação da Função de *Backoff*. Resultado semelhante foi visto em (AAD e CASTELLUCCIA, 2001), embora a métrica utilizada tenha sido diferente.

Contudo esses resultados podem ser estendidos para avaliarem a relação entre o tamanho da fila no agente *Interface Queue*, as técnicas de diferenciação e a variação da carga fornecida à rede. É provável que exista uma forma de maximizar o desempenho das técnicas de diferenciação variando o tamanho da fila no agente *Interface Queue*. Outra possibilidade é testar mais protocolos, cuja forma de construção de rotas são diferentes e definir quais técnicas de diferenciação são melhores em quais formas de construção de rotas. Todas essas possibilidades contribuirão para tornarem o estudo sobre técnicas de Diferenciação de Serviços em protocolos de roteamento nas Redes *Ad Hoc* mais completo.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

Os objetivos deste trabalho foram avaliar e analisar o desempenho dos protocolos de roteamento DSR e DSDV, comparar duas técnicas de Diferenciação de Serviços e analisar o desempenho dos protocolos, quando estes são submetidos às técnicas de Diferenciação de Serviços. A intenção é distinguir fluxos de tráfego dando preferência de acesso ao canal de comunicação. Neste caso, pacotes de roteamento terão prioridade em relação aos fluxos de dados.

Foi realizada também uma revisão dos protocolos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc* no segundo capítulo. Desta revisão pode-se analisar as vantagens e desvantagens dos principais protocolos de roteamento referenciados na literatura. Uma tabela de comparação foi construída e apresentada a partir da revisão. Concluiu-se, que cada protocolo de roteamento possui características específicas que podem se tornar vantagens ou desvantagens dependendo do ambiente a ser utilizado. Entretanto, dois protocolos se destacaram pelas qualidades que apresentaram e pela simplicidade no processo de roteamento: *Dynamic Source Routing* (DSR) e *Destination-Sequenced Distance Vector* (DSDV). O dois foram escolhidos e alterados para que as técnicas de diferenciação fossem analisadas.

No quarto capítulo foi feita uma comparação entre os protocolos de roteamento DSR e DSDV. Através desta comparação pode-se concluir que o protocolo DSR possui uma taxa de entrega de pacotes superior a 95% em todos os tempos de pausa e nos dois padrões de comunicação: 10 e 20 fontes CBR. Esta taxa se deve a capacidade de reação às mudanças da topologia. Já o protocolo DSDV entrega somente 75% dos pacotes nos cenários de maior movimentação e converge para 100% nos cenários sem movimentação. O protocolo DSDV tem uma deficiência em manter as tabelas de roteamento atualizadas, já que um certo retardo na troca dessas tabelas acaba prejudicando o rendimento do protocolo. Os resultados encontrados validam os resultados obtidos em (BROCH, MALTZ, JOHNSON et. al., 1999).

Duas técnicas de diferenciação foram empregadas. A primeira, denominada Diferenciação de Serviço por Variação da Função de *Backoff*, como o próprio nome sugere,

usa como fator de diferenciação, a variação do parâmetro de *backoff*. *Backoff* é um tempo aleatório utilizado pela Função de Coordenação Distribuída (DCF) para controlar o tempo que um terminal deverá esperar quando tentar enviar um pacote. Este tempo é uniformemente distribuído entre 0 e o tamanho da janela de contenção e é decrementado sempre que o meio estiver livre. Se o terminal detectar uma transmissão no canal, o tempo é congelado. A diferenciação é alcançada fazendo com que diferentes terminais ou diferentes fluxos de comunicação tenham distintos tempos de *backoff*, por exemplo, os fluxos de pacotes que tiverem a maior prioridade têm uma probabilidade maior de escolherem um tempo de *backoff* menor possibilitando que esses pacotes acessem o canal primeiro.

A segunda técnica é a Diferenciação de Serviços por Variação do DIFS. Esta técnica sugere que diferentes parâmetros DIFS sejam atribuídos a diferentes terminais ou fluxos. Sempre que um terminal quiser enviar um pacote, este deve esperar um tempo (DIFS) antes de enviar os pacotes RTS (*Request to Send*) e Dados. Este tempo é pré-definido pela DCF e de certa forma já insere uma prioridade sobre os pacotes citados.

As duas técnicas diferem, não só pelo parâmetro utilizado para efetuar a diferenciação mas também no modo em que esta diferenciação é realizada. A Variação da Função de *Backoff* utilizada neste trabalho especifica uma faixa de tempo na qual o terminal irá se basear para selecionar o valor da função de *backoff*. Como mencionado anteriormente, esse valor é uniformemente distribuído em uma faixa. Já a Variação do DIFS determina um valor que será utilizado para diferenciar as prioridades do acesso ao canal.

Os resultados obtidos no quarto capítulo, onde as técnicas foram comparadas, demonstram que a técnica de Variação do DIFS é mais estável do que a Variação de Função de *Backoff*.

Foi realizada também, uma análise do impacto da utilização das técnicas de diferenciação nos protocolos de roteamento para Redes Móveis *Ad Hoc* denominados de DSR e DSDV.

Neste caso, os pacotes de roteamento obtiveram maior prioridade do que os pacotes de dados o que implica em uma probabilidade maior de "ganhar" o meio de comunicação quando há uma disputa entre os pacotes. A idéia é fornecer aos protocolos de roteamento a possibilidade de trabalharem com informações atualizadas sobre os enlaces.

De acordo com esta análise pode-se concluir que a utilização das técnicas de Diferenciação de Serviços em cenários com baixa carga não influenciam significativamente o desempenho dos protocolos de roteamento.

Após a realização das simulações chegou-se a conclusão de que a taxa de pacotes fornecidas pelas fontes CBR foi pequena visto que nenhum descarte foi percebido na interface de fila, o que mascarou os resultados obtidos. Entretanto, aumentar a carga na rede ou aumentar o padrão de mobilidade, isto é, aumentar a velocidade dos nós que era 20 m/s (72 km/h) poderia-se criar um ambiente que não corresponde à realidade dos ambientes onde essas redes são aplicadas. Nesses ambientes, espera-se uma velocidade moderada dos nós e fluxos com baixas taxas de transmissão.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos podem ser estendidos para avaliarem a relação entre os agentes que compõem o *Mobilenode*, as técnicas de diferenciação e a carga fornecida à rede. É provável que uma análise do comportamento de todos os componentes e das técnicas de diferenciação possa maximizar o desempenho das técnicas.

Outra possibilidade é testar mais protocolos, cuja forma de construção de rotas são diferentes e definir quais técnicas de diferenciação são melhores em quais formas de construção de rotas.

Além disso, outras técnicas de diferenciação de serviços podem ser testadas, como por exemplo, Tamanho Máximo dos Pacotes que em (AAD e CASTELLUCCIA, 2000) obteve bons resultados, utilizando outras métricas, tais como: vazão e sobrecarga de roteamento.

Finalmente, as técnicas podem ser introduzidas em protocolos que já utilizam outro método para aumentar a velocidade de reação às mudanças topológicas como por exemplo, o protocolo de roteamento proposto em (CAMARA, LOUREIRO e ALMEIDA, 1999). Isso poderia potencializar os dois métodos e, dessa forma, melhorar o desempenho do protocolo.

Todas essas possibilidades, contribuirão para tornarem o estudo sobre técnicas de diferenciação de serviços em protocolos de roteamento nas Redes *Ad Hoc* mais completo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAD, Imad e CASTELLUCCIA, Claude, **Differentiation mechanism for IEEE 802.11**. In Proceedings of IEEE INFOCOM, Anchorage, Alaska, 2001

ANATEL, **Agência Nacional de Telecomunicações**. [on line]. Disponível em: http://www.anatel.gov.br [capturado em 2002].

BAGRODIA, Rajive e LIAO, W. –T. **Maisie User Manual**. Computer Science Departament. University of California, Los Angeles, 1995.

BROCH, J., MALTZ, D. A., JOHNSON, D. B., et. al., **A performance Comparison of Multi-hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols**. In ACM The Forth Annual Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'98), Dallas, outubro de 1998.

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

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

CHENG, T.-W. e GERLA, Mário. **Global State Routing: A new routing scheme for ad hoc wireless networks**. In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'98), Atlanta, June 1998.

CHENG, T.-W. **Efficient Routing Quality of Service Support for Ad Hoc Wireless Networks**. Dissertação de Doutorado, Universidade da California, Los Angeles, 1998.

CHENG, T.-W., TSAI, J. T. e GERLA, M. **QoS Routing Performance in Multihop, Multimedia, Wireless Networks**. In Proceedings of the IEEE ICUPC'97, San Diego, October 1997.

CORSON, S. e MACKER, J. **Mobile Ad hoc networks (manet): Routing protocol performance issues and evaluation considerations**. IETF RFC 2501, January 1999.

DORNAN, Andy, **Wireless Communications: O Guia Essencial de Comunicação Sem Fio**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2001. 304 p. ISBN 0-13-031716-0

DRABU, Yasir, **A survey of QoS Techniques in 802.11.** [on line]. Disponível em: http://trident.mcs.kent.edu/~ydrabu/ [capturado em 2002]

FALL, K. e VARADHAN, K., **The NS Manual**. Relatório Técnico. The VINT Project, Janeiro de 2002. [on line]. Disponível em: http://www.monarch.cs.cmu.edu/ [capturado em 2002].

FERRARI, Antonio M., **Telecomunicações: Evolução e Revolução**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2001. 306 p. ISBN 85-7194-527-6

GLOMO, **Global Mobile Information Systems**. [on line]. Disponível em: http://www.janet.ucla.edu/glomo/ [capturado em 2002].

HAARTSEN, Jaap C., **The Bluetooth Radio System**. IEEE Personal Communications. p. 28-36, Fevereiro 2000

HASS, Zygmunt J. **A new Routing Protocol for the Reconfigurable Wireless Networks**. IEEE ICUPC'97, San Diego, October 1997.

HASS, Zygmunt J. e PEARLMAN, M.R. **The zone routing protocol (ZRP) for Ad hoc networks**. Internet Draft, June 1999.

HOMERF, **HomeRF Wireless LAN**. [on line]. Disponível em: http://homerf.org [capturado em 2002].

IEEE, **Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications**. IEEE Standard 802.11, 1999. [on line]. Disponível em: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/ [capturado em 2001].

IEEE1, **Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: High-speed physical layer in the 5 GHz band**. IEEE Standard 802.11a, 1999. [on line]. Disponível em: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/ [capturado em 2001].

IEEE2, **Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band**. IEEE Standard 802.11b, 1999. [on line]. Disponível em: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/ [capturado em 2001].

IETF, **Internet Engineering Task Force**. [on line]. Disponível em: http://www.ietf.org. [capturado em 2000].

IWATA, A., CHIANG, C., PEI, G., GERLA, M. e CHEN, T. **Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks**.

JOHNSON, D., MALTZ, D. A., HU, Yih-Chun et al. **The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks**. Internet Draft, February 2002.

KANODIA, V., Li C., SABHARWAL, A., et. al. **Distributed Multi-Hop Scheduling and Medium Access with Delay and Throughput Constraints**. In ACM The Seventh Annual Conference on Mobile Computing and Neworking (MobiCom'01), Roma, Itália, julho de 2001.

KO, Young-Bae e VAIDYA, Nitin H. **Location Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks**. In Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pages 66-75, Dallas, Texas, USA, October 1998.

LIN, C. R. e LIU, J. **QoS Routing in Ad Hoc Wireless Networks**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 17, nº 8, August 1998.

LINDGREN, Anders, ALMQUIST, Andreas e SCHELÉN, Olov, **Quality of Service Schemes for IEEE 802.11: A Simulation Study**. IWQoS 2001.

MANET, **Mobile Ad hoc Networks (MANET)**. [on line]. Dispónível em: http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html [capturado em 2000].

MONARCH, **Mobile Networking Architectures**. [on line]. Disponível em: http://www.monarch.cs.cmu.edu/ [capturado em 2002].

NAHRSTEDT, Klara e CHEN, Shigang. **Distributed Quality-of-Service Routing in Ad Hoc Networks**. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, vol. 17, No. 8, August 1999.

PALLOT, Xavier e MILLER, Leonard E. **Implementing Message Priority Polices Over an 802.11 Based Mobile Ad Hoc Network**. 2001. [on line]. Disponível em: http://w3.antd.nist.gov/site_map.shtml [capturado em 2002]

PARK, Vicent D. e CORSON, M.S. **A Highly Adaptative Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks**. INFOCOM, 1997.

PARK, Vicent D. e CORSON, M.S. **Temporally-ordered routing algorithm (TORA) version 1 functional specification**. Internet Draft, August 1998.

PERKINS, C. E. e ROYER, E. M. **Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing**. Internet Draft, August 1998.

PERKINS, Charles E., BHAGWAT, Pravin, **Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers**. In Proceedings of the SIGCOMM'94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, Agosto 1994

RAPPAPORT, Theodore, S. **Wireless Communications – Principles and Practices**. Ed. Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996. 617p. ISBN

ROYER, Elizabeth M. e TOH, Chai-Keong. **A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless network**. IEEE Personal Communications, April 1999.

RUBEINSTEIN, Marcelo G. e REZENDE, José F. de, **Qualidade de Serviço em Redes 802.11**. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Búzios, 2002.

SALLES, Ronaldo M. **Protocolos de Múltiplo Acesso para Redes sem Fio**. Dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 1998.

SOARES, Luiz F. G., LEMOS, Guido e COLCHER, Sérgio, **Redes de Computadores. Das LANs, MANs e WANs às Redes ATM**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1995. 705 p. ISBN 85-7001-954-8

STROULIA, E. e NIKOLAIDIS, I. **Schemes for Adaptative QoS Routing**. In proceedings of Internet networking'99, San José, 1999.

TALUCCI, F. e GERLA, M. **MACA-BI (MACA By Invitation) A Wireless MAC Protocol for High Speed ad hoc Networking**. In Proceedings of ICUPC'97, 1997.

TANEMBAUN, Andrew S., **Computer Networks**. Third Edition – Prentice Hall PTR, Ney Jersey, 1996. 813p. ISBN 0-13-349945-6

TOH, C. –K. **Long-Lived Ad Hoc Routing based on the Concept of Associativity**. Internet Drafts, March 1999.

UCLA, **UCLA Wireless Adaptative Mobility Laboratory**. [on line]. Disponível em: http://www.cs.ucla.edu/NRL/wireless/ [capturado em 2002].

WAMIS, **UCLA Wireless Adaptive Mobile Information System**. [on line]. Disponível em: http://www.lk.cs.ucla.edu/wamis.html [capturado em 2002].

YACOUB, Michel D., **Foundations of Mobile Radio Engineering**. Florida: CRC Press, 1993. 473 p. ISBN 0-8493-8677-2