

FLAVIO MARCELLO STRELOW

**ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE PROVISÃO DE QOS EM REDES
SEM FIO UTILIZANDO SIMULAÇÃO**

**FLORIANÓPOLIS - SC
2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

Flavio Marcello Strelow

**ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE PROVISÃO DE QOS EM REDES
SEM FIO UTILIZANDO SIMULAÇÃO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Vitório Bruno Mazzola

Florianópolis, fevereiro de 2003.

ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE PROVISÃO DE QOS EM REDES SEM FIO UTILIZANDO SIMULAÇÃO

Flavio Marcello Strelow

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação na Área de Concentração Sistemas de Computação e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Fernando Álvaro Ostuni Gauthier, Dr.
Coordenador do Curso

Apresentada à Comissão Examinadora integrada pelos professores:

Professor Vitório Bruno Mazzola, Dr. (Orientador)

Professor Claudio Cesar de Sa, Dr. (Co-orientador)

Professor Roberto Willrich, Dr.

A Deus que, nos defende daqueles que se levantam contra nós.

*À minha mãe Renata que nos auxiliou na
superação de mais esta etapa em minha vida*

Ao meu irmão Fabio Mauricio pela sua compreensão.

A todos os meus amigos pelo apoio nos momentos difíceis.

*Agradeço à Direção da UDESC e
a chefia do Departamento de Ciências da Computação
pelo apoio e confiança,
ao meu orientador, Prof. Vitorio e ao meu co-orientador Prof. Claudio,
que sempre estiveram prontos a me atender.*

RESUMO

O objetivo desta dissertação de mestrado é discutir questões relacionadas à provisão de QoS em redes locais sem fio 802.11, fornecer uma relação das propostas de acordo com a abordagem e os mecanismos empregados, avaliar e comparar o desempenho via simulação de alguns problemas relacionados à qualidade de serviços e dos mecanismos de diferenciação.

ABSTRACT

The objective of this master's degree dissertation is to discuss the subjects related to the provision of QoS in local nets without thread 802.11, to supply a relationship of the proposals in agreement with the approach and the employed mechanisms, to evaluate and to compare the acting through simulation of some problems related to the quality of services and of the differentiation mechanisms.

Lista de Tabelas

Tabela 1.a - Comparação entre computação móvel e redes sem fio.....	40
Tabela 3.a - Terminologia IEEE 802.11 [11].....	49
Tabela 4.a. - Camadas da arquitetura TCP/IP e alguns protocolos usados.....	69
Tabela 4.b. - Fatores <i>versus</i> Questões.....	73
Tabela 5.a. – Exemplos de parâmetros de QoS em diferentes níveis.....	77

Lista de Figuras

Figura 2.a – Espectro Eletromagnético (Frequência Hz).....	26
Figura 2.b – Espectro Eletromagnético (Comprimento de Onda ?).....	26
Figura 2.c. (i) – Multiplexação pela divisão de frequência (FDM).....	33
Figura 2.c. (ii) – Multiplexação pela divisão de tempo (TDM).....	33
Figura 2.c. (iii) – Multiplexação pela divisão estatística de tempo (STDM).....	33
Figura 2.d – Topologia do Sistema Celular.	35
Figura 3.a – Diagrama do Sistema ALOHA.	44
Figura 3.b – Camadas do Protocolo IEEE 802 comparada ao Modelo OSI.	47
Figura 3.c – Comparação do padrão 802.11 com o OSI.	50
Figura 3.d – Rede sem fio infra-estruturada.....	52
Figura 3.e – Rede sem fio Ad Hoc.	52
Figura 3.f – Funções de coordenação na subcamada MAC.....	54
Figura 3.g – Método CSMA/CA com reconhecimento.	56
Figura 4.a – Evolução dos Sistemas.	59
Figura 5.a - Visão lógica da arquitetura proposta em [97].....	89
Figura 6.b – Terminal Escondido.....	102
Figura 6.c – Terminal Exposto.....	103
Figura 7.a – Topologia <i>String</i>	108
Figura 7.b – Cenários utilizados nas simulações de Injustiça e Instabilidade.	110
Figura 7.c – Cenário 0: DSDV (i) e DSR (ii).....	111
Figura 7.d – Cenário 1: DSDV (i) e DSR (ii).....	113
Figura 7.e – Vazão com a janela do TCP igual a 32 (i), 16 (ii) e 4 (iii).....	115
Figura 7.f – Cenário utilizado nas simulações de diferenciação.....	117
Figura 7.g – Vazão sem diferenciação de serviço.....	117
Figura 7.h - Vazão com alteração do DIFS.	118
Figura 7.i - Vazão com alteração da janela de contenção e tamanho de blocos.	119

Acrônimos

AAL - ATM Adaptive Layer
ACIA - Asynchronous Communications Interface Adapter
ACK - ACKnowledge (char 06 - 06H)
ACM - Association for Computing Machinery
ACTA - American Carriers Telecommunication Association
ADSL - Asymmetrical Digital Subscriber Line
AEA - American Electronics Association
AFC - Automatic Frequency Control
AM - Amplitude Modulation
AM/FM - Automatic Mapping / Facility Management
AMPS - Advanced Mobile Phone System (TIA 553)
ANSI - American National Standards Institute (NY)
API - Application Program Interface
ARCnet - Attached Resource Computer NETwork
ARP - Address Resolution Protocol (Layer 3)
ASA - American Standards Association
ASCII - American Standard Code for Information Interchange
ASIC - Application Specific Integrated Circuit
ASK - Amplitude Shift Keying
ASME - American Society of Mechanical Engineers
ASN.1 - Abstract Syntax Notation 1 (ISO 8824 8825)
AT&T - American Telegraph & Telephone
ATM - Asynchronous Transfer Mode (Cell-Switching, Fast Packet)
ATM - Automated Teller Machine
BER - Bit Error Rate
BERT - Bit Error Rate Tester
BFT - Binary File Transfer
B-ISDN - Broad band Integrated Services Digital Network
bpi - Bits Per Inch
bps - Bits Per Second
BPSK - Binary Phase Shift Keying
BRA - Basic Rate Access
CBR - Constant Bit Rate
CCS - Common Channel Signaling (SS7) (tel)
CDMA - Code Division Multiple Access (Cellular, IS-95)
CDPD - Cellular Digital Packet Data
CNR - Carrier to Noise Ratio
CORBA - Common Request Object Broker Architecture
COS - Corporation of Open Systems (International)
CRC - Cyclic Redundancy Check
CRCC - Cyclic Redundancy Check Character
CSA - Canadian Standards Association (Rexdale)
CSMA/CD - Carrier Sense with Multiple Access/Collision Detection
CTIA - Cellular Telecommunications Industry Association
CTS - Clear To Send
CW - Continuous Wave
DFSK - Double Frequency Shift Keying

DLC - Data Link Control (sub-layer 2)
DLC - Digital Loop Carrier
DLL - Dynamic Link Library (Windows)
DM - Delta Modulation
DMTF - Desktop Management Task Force
DPSK - Differential Phase Shift Keying
DQPSK - Differential Quaternary Phase Shift Keying
DS/CDMA - Direct Sequence CDMA
DS/SS - Direct Sequence Spread Spectrum
DTMF - Dual Tone MultiFrequency (signalling)
EMR - Electro-Magnetic Radiation
EMS - Energy Management System
EQ - Equipment Qualification
FCC - Federal Communications Commission (Washington)
FDDI - Fiber Distributed Data Interface (ISO 9314)
FDM - Frequency Division Multiplex
FH/SS - Frequency Hopping Spread Spectrum
FM - Frequency Modulation
FTP - File Transfer Protocol
GSC - Global Standards Collaboration
GSM - Global Standard for Mobile
GSM - Groupe Speciale Mobile
HF - High Frequency
HERF - High Energy Radio Frequency
HFC - Hybrid Fiber/Coaxial network
IDRP - InterDomain Routing Protocol (ISO)
IEC - Inter Exchange Carrier
IEC - International Electrotechnical Commission
IEE - Institute of Electrical Engineers (London)
IEEE - Institute of Electric and Electronics Engineers (NY)
IETF - Internet Engineering Task Force
IP - Internetwork Protocol (layer 3)
IPng - Internet Protocol Next Generation (IETF)
IPv6 - Internet Protocol Version 6
IR - InfraRed
IRED - InfraRed Emitting Diode
IRL - Inter Repeater Link (Ethernet)
ISA - Industry Standard Architecture (PC bus)
ISDN - Integrated Services Data Network
ISO - International Standards Organization
ISP - Internet Service Provider
ITSC - International Telecommunications Standards Conference
ITU - International Telecommunications Union
ITU-R - ITU Telecommunications Union - Radio Communications Sector
ITU-T ITU - Telecommunications Union - Telecommunications Sector
ITU-TS ITU - Telecommunications Standardization
KB - Kilobytes
kbps - Kilo Bits Per Second
LAN - Local Area Network
MAC - Media Access Control (sub-layer 2)

MAN - Metropolitan Area Networks
MAP - Manufacturing Automation Protocol
MAPs - Multiple Access Protocols
MFM - Modified Frequency Modulation
MIT - Massachusetts Institute of Technology (USA)
MITI - Ministry of International Trade and Industry (Japan)
PDA - Personal Digital Assistant
PDC - Personal Digital Cellular (Japan)
PDF - Portable Document Format
QA - Quality Assurance
QAM - Quadrature Amplitude Modulation
QoS - Quality Of Service
QPSK - Quadrature/Quaternary Phase Shift Keying
RCA - Radio Corporation of America
RCL - Resistance, Capacitance and inductance(L)
RF - Radio Frequency
RSVP - resource ReSerVation Protocol
RTS - Request To Send
TCP - Transmission Control Protocol (layer 4)
TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDM - Time Division Multiplex
TDMA - Time Division Multiple Access
TDR - Time Domain Reflectometry
TIA - Telecommunications Industries Association
UDP - User Datagram Protocol (layer 4)
UMTS - Universal Mobile Telecommunications System
URL - Universal Resource Locator (Internet)
UV - Ultraviolet
VBR - Variable Bit Rate
VC - Virtual Circuit
VPN - Virtual Private Network
W3 - World Wide Web (WWW)
W3C - World Wide Web Consortium
WAN - Wide Area Networks
WDM - Wave Division Multiplexing
WWAN - Wireless Wide Area Networks
WWW - World Wide Web

Sumário

Capítulo 1	16
Introdução	16
1.1. Contexto	16
1.2. O Problema	18
1.3. Objetivos da Dissertação.....	20
1.3.1. Objetivo Geral.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4. Metodologia do Trabalho	20
1.5. Organização do Trabalho	21
Capítulo 2.....	22
Fundamentação sobre Redes sem Fio.....	22
2.1. História das Redes sem Fio	22
2.2. Principais Conceitos.....	25
2.2.1. Espectro Eletromagnético	25
2.2.2. Modulação	30
2.2.3. Sistemas Celulares.....	34
2.2.4. Modelo de Referência OSI	35
2.3. Diferenças entre Comunicação Sem Fio, Computação Móvel e Redes de Computadores Sem Fio	39
2.4. Tipos de Redes Sem Fio	41
2.5. Resumo do Capítulo.....	42
Capítulo 3.....	43
Redes Locais Sem Fio.....	43
3.1. Antecedentes das Redes Sem Fio	44
3.1.1. Sistema ALOHA da Universidade do Havai.....	44
3.2. Desenvolvimento das Redes Sem Fio.....	45
3.3. Padrão IEEE 802 LAN	46
3.4. Padrão IEEE 802.11	49
3.5. Topologia.....	51
3.5.1. Rede Infra-estruturada	51

3.5.2. Rede <i>Ad Hoc</i>	52
3.6. Subcamada de Controle de Acesso ao Meio	53
3.7. Resumo do Capítulo.....	56
Capítulo 4.....	57
Redes Sem Fio de Longa Distância.....	57
4.1. Sistemas Celulares	57
4.1.1. Tecnologias, Sistemas e Serviços.....	59
4.2. Fatores Relacionados ao Projeto de Hardware e Software	62
4.2.1. Mobilidade.....	62
4.2.2. Variações nas condições de comunicação.....	64
4.2.3. Gerenciamento de Energia.....	65
4.3. Software versus Computação Móvel	66
4.3.1. Serviços de Informação	67
4.3.2. Gerência de Dados.....	67
4.3.2. Protocolos para Suporte	69
4.3.3. Algoritmos Distribuídos na Computação Móvel.....	72
4.4. Resumo do Capítulo.....	74
Capítulo 5.....	75
Qualidade de Serviço.....	75
5.1. Garantia de QoS.....	76
5.2. Exemplos de Aplicações e seus Requisitos.....	78
5.3. QoS em Redes de Computadores.....	79
5.3.1. Redes Fixas	79
5.3.2. Redes Móveis Sem Fio.....	85
5.3.3. Redes 802.11.....	89
5.4. Resumo do Capítulo.....	92
Capítulo 6.....	93
QoS e o Padrão IEEE 802.11	93
6.1. Técnicas de QoS em 802.11	94
6.2. Técnicas Baseadas em Acesso com Contenção.....	95
6.2.1. Função de Aumento de Backoff.....	95
6.2.2. Variação de DIFS	96
6.2.3. Tamanho Máximo de Frame.....	97
6.2.4. DCF Estendido.....	97

6.2.5. Blackburst.....	97
6.3. Técnicas Baseadas em Acesso sem Contenção.....	98
6.3.1. Função de Coordenação Híbrida.....	99
6.3.2. TDM Distribuído.....	99
6.4. Problemas Relacionados à Provisão de QoS.....	100
6.4.1. Problema de Injustiça.....	100
6.4.2. Problema de Instabilidade.....	101
6.4.3. Problema do Terminal Escondido.....	102
6.4.4. Problema do Terminal Exposto.....	102
6.5. Resumo do Capítulo.....	103
Capítulo 7.....	104
Simulações com Cenários Propostos.....	104
7.1. <i>Network Simulator</i>	104
7.2. Princípios Básicos de Roteamento.....	106
7.2.1. <i>Dynamic Source Routing (DSR)</i>	107
7.2.2. <i>Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV)</i>	107
7.3. Ambiente de Simulação e Metodologia.....	108
7.4. Por que Tráfego TCP?.....	109
7.5. Problemas de Injustiça e Instabilidade.....	109
7.6. Problemas de Instabilidade.....	114
7.7. Diferenciação de Serviços.....	116
7.8. Resumo do Capítulo.....	120
Capítulo 8.....	121
Conclusões.....	121
8.1. Contribuições deste Trabalho.....	121
8.2. Perspectivas futuras.....	122
8.3. Trabalhos Futuros.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124

Capítulo 1

Introdução

Com o aumento do uso de redes móveis sem fio, graças às novas tecnologias que permitem maiores taxas de transmissão, maior durabilidade das baterias de equipamentos e a maior flexibilidade dos computadores portáteis. É natural que seja crescente o desejo de utilizar aplicações que requeiram confiabilidade da conexão e grande largura de banda neste ambiente. Para satisfazer tal desejo deve-se garantir graus de QoS às aplicações.

Este capítulo mostra o contexto no qual o trabalho está inserido, apresentando o problema a ser tratado, os objetivos desta dissertação, a metodologia utilizada e como o trabalho está organizado.

1.1. Contexto

Nos últimos anos o desenvolvimento das telecomunicações e da informática, juntamente com a necessidade do homem de estar cada vez mais informado onde ele estiver, têm incentivado uma nova geração de redes de computadores, as redes sem fio. Muitos sistemas de comunicação fazem a transmissão dos dados utilizando fios de cobre como o par trançado e cabo coaxial ou fibra óptica. Porém outros transmitem os dados pelo espaço etéreo, não utilizando qualquer tipo de meio físico, a exemplo, a transmissão por raios infravermelhos, laser, microondas e rádio.

A utilização deste tipo de meio de comunicação tem aumentado devido as suas inúmeras vantagens, dentre as quais podemos citar: rápida instalação (as redes podem ser instaladas rapidamente sem nenhuma infraestrutura prévia), tolerância à falhas (o mau 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 pode ser uma operação complexa, quando possível), conectividade (se duas estações estão dentro da área de alcance das ondas de rádio, elas tem um canal de comunicação; em

redes fixas, mesmo que duas estações estejam lado a lado, necessitam de um meio físico para troca de informações) e mobilidade (em contraposição, a falta de mobilidade das redes sem fio) [112]. As redes que utilizam estas técnicas chamam-se redes sem fio - *Wireless* [2]. A utilização de dispositivos portáteis como laptops, notebooks ou PDA's comunicando-se com a rede fixa ou com outros computadores móveis, sem a necessidade de ter uma posição fixa recebe o nome de computação móvel ou computação nômade [1]. As redes sem fio/móveis surgem como a quarta revolução na computação, antecedida pelos CPDs (Centro de Processamento de Dados) na década de 60, o surgimento dos terminais nos anos 70 e das redes de computadores na década de 80 [2].

A evolução conjunta da tecnologia da informática e da comunicação sem fio busca atender muitas necessidades do mercado, tais como: redes locais sem fio, serviços de telefonia móvel, transmissão de dados via satélite, TV, rádio, modem, sistemas de navegação, base de dados geográficas, etc. [1].

A combinação da comunicação sem fio com a mobilidade dos computadores criou novos problemas nas áreas de informática e telecomunicações, em especial: redes de computadores, sistemas operacionais, otimização, sistemas de informação, banco de dados, dentre outras [1].

Diferentes padrões e tecnologias de rede sem fio surgiram nos últimos anos para acomodar a vasta gama de aplicações e coberturas em diferentes tipos de ambientes (residências, edifícios, cidades). Foram concebidas as redes celulares de larga cobertura, passando pelas redes locais sem fio (WLANs – *Wireless Local Area Network*), até as redes PANs (*Personal Area Networks*) usadas na comunicação de equipamentos pessoais, como PDA's, câmeras digitais, computadores e celulares.

Neste cenário, o padrão 802.11 [99] obteve um enorme sucesso. Estima-se um total de dois milhões de placas de rede 802.11 tenham sido instaladas até o final de 2002. Pela sua diversidade em termos de capacidade e cobertura e devido ao baixo custo de dispositivos de rede, o padrão 802.11 tem sido usado nos mais variados cenários, desde redes de acesso para redes celulares 2G/3G, como solução para redes residências e de campus (redes locais e metropolitanas), ou mesmo em enlaces

ponto-a-ponto de média distância em soluções corporativas. Esta vasta aplicabilidade do padrão 802.11 tem sido chave do seu sucesso comercial [99].

O padrão 802.11 especifica um protocolo de controle de acesso ao meio (MAC – *Medium Access Control*) e diferentes camadas físicas de enlace e velocidades diversas. Avanços recentes nas técnicas de processamento de sinais permitem que se atinjam taxas de transmissão de até 54 Mbps no padrão 802.11a [100] quem opera com banda de 5Ghz. Apesar do aumento contínuo da capacidade dessas redes, as especificações atuais oferecem um suporte limitado a Qualidade de Serviço *QoS* – *Quality of Service*).

Problemas inerentes às redes sem fio como compartilhamento do meio, a necessidade de mecanismos de controle de erro ponto-a-ponto e os problemas de terminal escondido e exposto dificultam a provisão de QoS nestas redes.

De forma sucinta, deseja-se que os usuários de sistemas de computação móveis 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 espaço e tempo existentes.

1.2. O Problema

Como mostrado anteriormente, o padrão 802.11 especifica um protocolo de controle de acesso ao meio; diferentes camadas físicas de enlace e velocidades diversas.

Especificamente, a camada MAC do 802.11 oferece, em uma configuração com infra-estrutura, um método centralizado de controle de acesso baseado em consulta, onde os pontos de acesso são responsáveis pela alocação de banda passante e pela limitação da latência das estações. O desempenho deste modo de acesso esta diretamente ligado aos algoritmos de consulta utilizados, os quais buscam um compromisso entre a eficiência na utilização da banda passante e a capacidade de oferecer garantias estritas de desempenho aos tráfegos sensíveis ao tempo.

Considerando uma configuração de rede sem infraestrutura, ou *ad hoc*, o controle distribuído de acesso ao meio tem como objetivo fornecer um compartilhamento justo de banda passante, no qual todas as estações recebem o mesmo tratamento independente dos requisitos de QoS. Assim, redes *ad hoc* que utilizam o padrão 802.11 seguem o modelo de serviços de melhor esforço, não oferecendo nenhuma garantia de QoS ao tráfego transportado.

Protocolos e mecanismos específicos ao 802.11, usados em diferentes abordagens e arquiteturas, foram propostos com o objetivo de prover QoS em redes *ad hoc* [101, 102, 103]. Ao final do ano de 2000 o grupo tarefa 802.11e iniciou o estudo e especificação de mecanismos de suporte a QoS na camada MAC, seguindo a abordagem adotada pela arquitetura de diferenciação de serviços do IEF .

Além dos problemas inerentes mencionados, outros dois problemas constituem desafios a serem resolvidos para a adoção de redes sem fio 802.11, eles são: a polêmica levantada sobre problemas de saúde ocasionados pela radiação eletromagnética em alta frequência [67] e o consumo de energia por parte dos equipamentos portáteis utilizados na computação móvel. Porém não há conclusões definitivas sobre os malefícios ocasionados pela transmissão de redes sem fio. Já, o consumo de energia torna-se um problema à medida que:

- ?? Não se prevê aumento significativo em armazenagem de energia até o ano de 2005 (um máximo de 20% em relação às capacidades das baterias em 1995) [14];
- ?? Os computadores móveis sem fios possuem cada vez mais dispositivos, com processadores mais potentes, aumentando o consumo de energia destes dispositivos.

Para aliviar a demanda de energia o padrão prevê mecanismos de economia de energia, onde os dispositivos de transmissão passam a consumir significativamente menos (estando no modo *stand-by*).

1.3. Objetivos da Dissertação

Devido ao aumento do uso de redes sem fio graças às novas tecnologias que permitem maiores taxas de transmissão; é natural que seja crescente o desejo de utilizar aplicações que requeiram confiabilidade da conexão e grande largura de banda neste ambiente. Para satisfazer tal desejo deve-se garantir graus de QoS às aplicações.

1.3.1. Objetivo Geral

Este trabalho aborda os problemas relacionados à provisão de qualidade de serviços em redes sem fio padrão no 802.11; especificamente os problemas relacionados à injustiça e instabilidade. Problemas que estão diretamente relacionados ao desempenho da utilização do meio.

1.3.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- ?? Listar e descrever os problemas relativos à qualidade de serviços na camada de acesso ao meio das redes padrão 802.11;
- ?? Fornecer uma relação das propostas pesquisadas para a solução de alguns problemas de QoS de acordo com abordagem e mecanismos empregados;
- ?? Avaliar e comparar o desempenho via simulação dos problemas relacionados a QoS: injustiça e instabilidade, utilizando técnicas de diferenciação de serviços sob a visão de alguns cenários.

1.4. Metodologia do Trabalho

O trabalho consiste de uma pesquisa bibliográfica e por meio de um simulador de redes sem fio, a provisão de qualidade de serviços tem seu comportamento observado e avaliado. O recurso considerado para a avaliação de qualidade de serviços é a vazão do fluxo de transmissão de dados numa largura de banda fixa.

1.5. Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte forma, o capítulo 2, trata da fundamentação das redes sem fio, sua história, principais conceitos, diferenças entre comunicação sem fio, computação móvel e redes de computadores sem fio, também apresenta os tipos de redes sem fio.

O capítulo 3 apresenta uma introdução sobre redes locais sem fio, seus antecedentes e como se desenvolveram, mostra o padrão IEEE 802 LAN, o qual originou o padrão 802.11. Apresenta a topologia das redes sem fio, a subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) e sua camada física.

As redes sem fio de longa distância são apresentadas no capítulo 4. Uma introdução à tecnologia celular, os fatores relacionados ao desenvolvimento de projetos de hardware e software utilizando a tecnologia sem fio, conceito sobre mobilidade, problemas relacionados com a computação móvel integra este capítulo.

Conceitos relacionados a QoS são apresentados no capítulo 5, garantia de QoS, exemplos de aplicações e requisitos são mostrados. A QoS em redes de computadores fixas, redes móveis sem fio e especificamente a rede 802.11 é discutida neste capítulo.

O capítulo 6 trata especificamente da QoS no padrão 802.11, as técnicas utilizadas para sua obtenção e alguns dos principais problemas relacionados à provisão de QoS tais como: injustiça, instabilidade, terminal escondido e terminal exposto.

No capítulo 7 são apresentadas as simulações através de software, dos problemas mencionados no capítulo 6; este capítulo propõe soluções para os problemas simulados.

Os capítulos 8 e 9 apresentam respectivamente as conclusões e as referências bibliográficas.

Capítulo 2

Fundamentação sobre Redes sem Fio

Este capítulo trata da origem das redes sem fio, apresenta seus principais conceitos tais como: espectro eletromagnético, modulação e sistemas celulares. Descreve a importância do Modelo OSI como referência para a padronização de protocolos para redes, mostra as diferenças entre comunicação sem fio, computação móvel e redes sem fio; e os tipos de redes sem fio existentes.

2.1. História das Redes sem Fio

A evolução das redes sem fio/móveis passou por várias etapas. Na metade do século XIX, o primeiro sistema foi o telégrafo, que permitia a transferência de palavras à longa distância utilizando-se do código Morse. O segundo sistema de comunicação foi o telefone, o qual evoluiu rapidamente e em 1928 nos Estados Unidos, existia um telefone para cada cem habitantes [3]. E para acelerar ainda mais o processo chegou a tecnologia digital; considerando os computadores como a terceira geração dos sistemas de comunicação.

A seguir, a evolução cronológica [3]:

- 1820 Hans Christian Oersted descobre experimentalmente que a corrente elétrica produz um campo magnético. André Marie Ampere quantifica esta observação na Lei de Ampere;
- 1830 Joseph Henry descobre que a variação do campo magnético induz uma corrente elétrica, mas não publica o resultado. Em 1831, Michael Faraday descobre independentemente esse efeito que passaria a ser conhecido como Lei de Faraday, mais tarde, conhecida como a terceira equação de Maxwell;
- 1864 James Clark Maxwell modifica a Lei de Ampere, amplia a Lei de Faraday e desenvolve as quatro famosas equações de Maxwell sobre campos magnéticos;
- 1876 Alexander Graham Bell inventa o telefone;

- 1887 Heinrich Rudolph Hertz detecta as ondas eletromagnéticas previstas pelas equações de Maxwell;
- 1896 Guglielmo Marconi inventa o primeiro receptor sem fio prático, o telégrafo sem fio;
- 1907 Início do serviço de radiodifusão comercial transatlântico (estações terrestres com antenas de 30x100m);
- 1914 Início da Primeira Guerra Mundial, com o rápido desenvolvimento das comunicações e sua interceptação;
- 1921 Radiodifusão comercial entra em operação nos Estados Unidos;
- 1928 A Polícia de Detroit introduz um sistema de acionamento de carros baseados em radiodifusão (unidirecional) na faixa de 2 MHz;
- 1933 A FCC (*Federal Communications Commission*) autoriza o uso de quatro canais na faixa de 30-40 MHz;
- 1935 Modulação em Frequência – FM (*Frequency Modulation*) surge como alternativa para a Modulação de Amplitude – AM (*Amplitude Modulation*), reduzindo os problemas de ruídos na transmissão, ou melhor, desempenho com relação à perda de sinal;
- 1939 Pesquisa e uso da comunicação via rádio se expande durante a Segunda Guerra Mundial;
- 1945 AT&T lança o IMTS (*Improved Mobile Telephone Service*), um sistema de transmissão onde apenas uma torre de alta potência atendia a uma grande área ou cidade. Em seguida, AT&T Bell Labs propõe o conceito celular;
- Anos 50 Os sistemas requerem uma elevada banda de transmissão, uma faixa de 120 kHz para transmitir um circuito de voz de apenas, 3 kHz. Esta faixa é reduzida pela metade. Com os transmissores, os equipamentos reduzem de tamanho e já são transportáveis. Nessa época os primeiros sistemas de paging começaram a surgir;
- Anos 60 Um novo receptor de FM permite reduzir a banda para 30 kHz, abrindo espaço para um maior número de canais de comunicação com menor espectro. Bell Labs já testa as técnicas de comunicação celular e surgem os primeiros aparelhos portáteis;
- Anos 70 O sistema ALOHA foi implantado, primeiro sistema de computadores a empregar a técnica de radiodifusão ao invés de cabos ponto-a-ponto.

Também, nesta década, a FCC aloca um espectro de frequência para os sistemas celulares. Neste período AT&T lança o sistema celular conhecido como AMPS (*Advanced Mobile Phone System*). Inicialmente era um serviço de uso, destinado para o uso em automóveis e de aplicação limitada tendo em vista a baixa durabilidade das baterias. Atendiam uma capacidade limitada de tráfego e um número reduzido de usuários. A primeira rede celular no mundo é lançada no Japão em 1979.

- 1983 O sistema AMPS evoluiu para os padrões atuais com a primeira rede celular americana lançada neste ano, em Chicago e Baltimore. Outros sistemas similares entram em operação no mundo. TACS (*Total Access Communications Systems*) no Reino Unido (1985); NMT (*Nordic Mobile Telephone Service*) na Escandinávia (1981). NAMTS (*Nippon Advanced Telephone System*) no Japão. O AMPS ainda em uso nos EUA, Brasil e grande parte do mundo, é considerado um sistema de primeira geração;
- 1987 Implementada a segunda geração wireless (2G) na Europa e em poucos anos, em outros países. Esta tecnologia permite a transmissão de dados a mais de 14,4 kbps;
- 1991 Validação inicial dos padrões TDMA e CDMA nos EUA. Introdução da tecnologia microcelular;
- 1994 Introdução do sistema CDPD (*Celular Digital Packet Data*). Início dos serviços PCS (*Personal Communications Services*) CDMA e TDMA;
- 1995 Início dos projetos para cobertura terrestre por satélites de baixa órbita, como o projeto Iridium;
- 1997 O grupo de trabalho IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) publica o novo padrão para as redes locais sem fio, o padrão 802.11.
- 1999 Cria-se um consórcio entre as empresas Ericson, Nokia, Toshiba, Intel e IBM para desenvolver a tecnologia conhecida como BlueTooth, neste momento o consórcio é formado por mais de mil empresas em todo o mundo; Os telefones celulares permitem a recepção/envio de e-mails, como a navegação pela internet.

Após a exposição cronológica da história das redes sem fio, damos continuidade apresentando os principais conceitos sobre redes sem fio.

2.2. Principais Conceitos

Esta seção apresenta alguns dos principais conceitos relacionados às redes sem fio. São abordados os conceitos de espectro eletromagnético, modulação, sistemas celulares, modelo de referência OSI; as diferenças entre comunicação sem fio, computação móvel, redes de computadores sem fio e os tipos de rede sem fios existentes.

2.2.1. Espectro Eletromagnético

Quando os elétrons movem-se criam ondas eletromagnéticas que podem se propagar através do espaço livre. Uma onda tem três características básicas: *amplitude*, *frequência* e *fase*. A amplitude é medida da altura da onda para a voltagem positiva ou voltagem negativa, também definida como a altura da crista da onda [3]. A frequência corresponde ao número de cristas ou ciclos por segundo e é medido em Hz, onde 1 ciclo = 1 Hz. A fase é o ângulo de inflexão da onda em um ponto específico no tempo, e é medido em graus. Define-se comprimento de onda λ como a distância entre dois pontos máximos consecutivos [3].

Quando se instala uma antena com o tamanho apropriado em um circuito elétrico, as ondas eletromagnéticas podem ser transmitidas e recebidas com eficiência por um receptor localizado a uma distância razoável. Toda comunicação sem fio é baseada neste princípio. [3]

Com as descobertas da Física, no século XIX, foi possível visualizar o espectro eletromagnético de forma global, permitindo colocar ordem no mesmo, a fim de possibilitar a utilização racional e fins diversos.

De acordo com a frequência e comprimento de onda das ondas eletromagnéticas pode-se definir varias zonas, podendo haver alguma sobreposição entre elas. Figuras 2.a e 2.b.

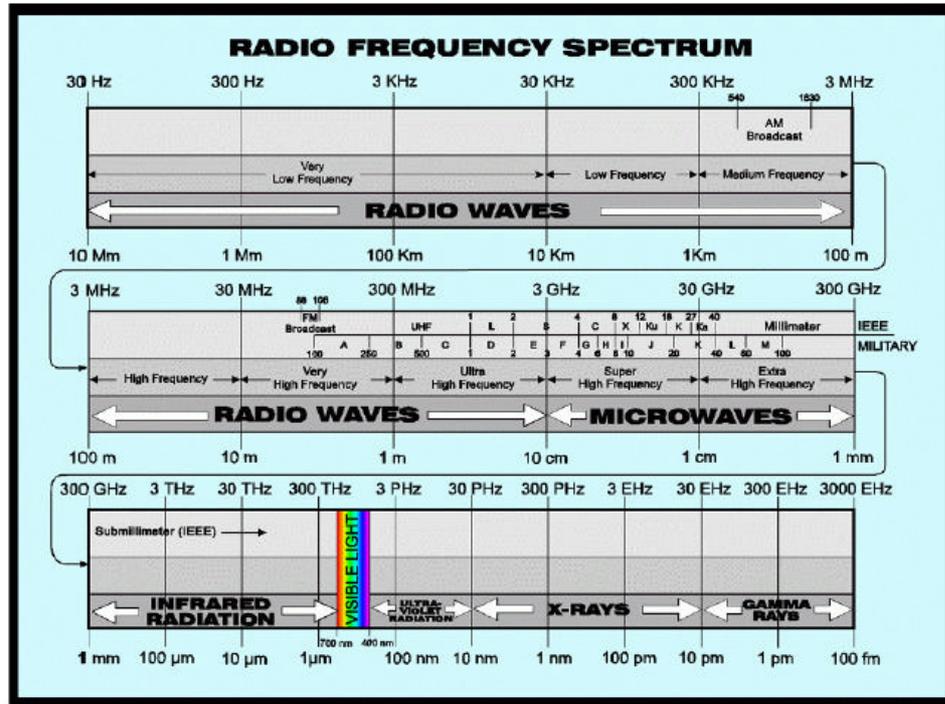


Figura 2.a – Espectro Eletromagnético (Frequência Hz).

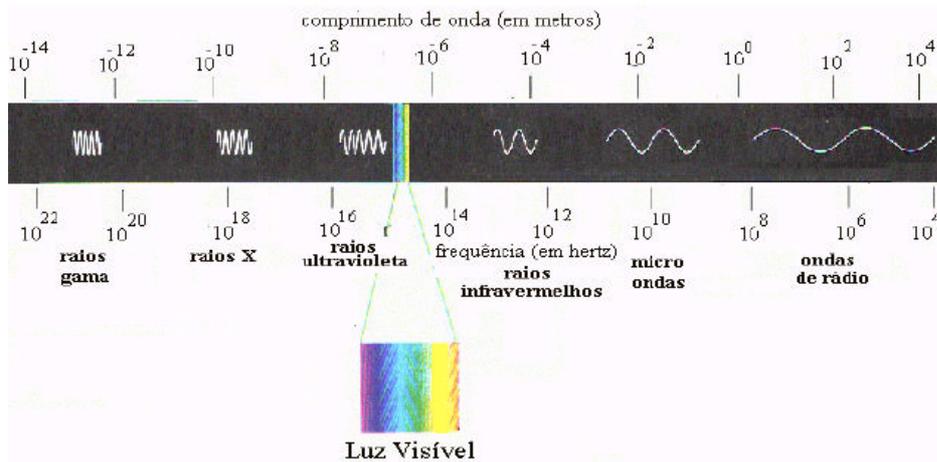


Figura 2.b – Espectro Eletromagnético (Comprimento de Onda ?).

Por sua vez, as ondas de rádio são classificadas segundo a sua distribuição pelo espectro eletromagnético devido ao seu comprimento de onda. A seguir mostra-se a distribuição das diferentes faixas das ondas de rádio [3]:

?? A faixa das ondas de radio vai de 300 Hz a 3 GHz:

Espectro de Freqüência das Ondas de Radio	
ELF (Extremely Low Frequency)	[300 Hz a 3000 Hz]
VLF (Very Low Frequency)	[3000 Hz a 30000 Hz]
LF (Low Frequency)	[30000 Hz a 300000 Hz]
MF (Medium Frequency)	[300000 Hz a 3000000 Hz]
HF (High Frequency)	[3000000 Hz a 30000000 Hz]
VHF (Very High Frequency)	[30000000 Hz a 300000000 Hz]
UHF (Ultra High Frequency)	[300000000 Hz a 3000000000 Hz]

?? A faixa das microondas vai de 3 GHz a 300 GHz; a faixa de SHF (Super High Frequency), de 3 GHz a 30 GHz; e a faixa de EHF (Extra High Frequency), vai de 30 GHz a 300 GHz;

?? A radiação infravermelha esta localizada entre as faixas de 300 GHz e o inicio da faixa de luz visível, inicio da cor vermelha, aproximadamente 429 THz;

?? A faixa de luz visível vai de 429 THz até 750 THz, que é a freqüência superior à faixa de cor violeta;

?? A radiação ultravioleta vai de 750 THz até 30 PHz;

?? A faixa de raios X vai de 30 PHz até 30 Ehz;

?? A radiação Gama, indo de 30 Ehz até 3 ZHz.

Apesar desta gama de faixas de ondas dentro do espectro eletromagnético, existem restrições para a utilização delas. Devido a este fato, algumas características das zonas do espectro utilizadas na transmissão de dados devem ser respeitadas.

O rádio, a microonda e raio infravermelho podem ser utilizados na transmissão de informações, desde que a amplitude, a freqüência, ou a fase de ondas seja modulada. A luz ultravioleta, os raios-X e o raio Gama representariam opções ainda melhores, já que possuem freqüências ainda mais altas, mas eles são difíceis de produzir e modular, Além de não se propagarem através de prédios e serem perigosos para os seres vivos.

As principais faixas de onda utilizadas são: as ondas de rádio, o infravermelho e as microondas, descritas a seguir.

Ondas de Rádio: Hertz conseguiu pela primeira vez, gerar e detectar ondas de rádio. Seu transmissor consistia, fundamentalmente, numa descarga oscilante entre dois elétrodos (uma forma de dipolo elétrico em oscilação). Como antena de recepção, utilizava uma espiral aberta de fio condutor com uma esfera de latão numa extremidade e uma ponta aguçada de cobre na outra. Uma centelha visível entre estas duas extremidades revelava a detecção de uma onda eletromagnética incidente. Hertz mediu o comprimento de onda que era da ordem de um metro [3].

As fontes de radiação das ondas de rádio são normalmente produzidas em circuitos eletrônicos, percorrem longas distâncias e podem entrar nos prédios facilmente, são amplamente usados para comunicação seja em ambientes abertos ou fechados.

Principais características da transmissão de dados por ondas de rádio frequência [4]:

- ?? Normalmente são usadas e frequências altas devido a maior velocidades;
- ?? As ondas de rádio são unidirecionais, o que significa que elas percorrem todas as direções a partir da origem; portanto, o transmissor e o receptor não precisam estar alinhados;
- ?? Devido à capacidade que as ondas de rádio tem para percorrer longas distâncias, a interferência entre os usuários é um problema, por esta razão todos os governos exercem um rígido controle sobre as transmissões de rádio;
- ?? Existem requisitos que devem ser respeitados para que a transmissão tenha êxito, tais como, potência de transmissão e mínima distorção da propagação do sinal.

Infravermelho (IR): A radiação infravermelha foi detectada pela primeira vez pelo astrônomo Sir William Herschel em 1800. Em meados da década de 80, a HP lançou uma calculadora de mão que podia se comunicar com sua impressora através de um feixe de luz infravermelho. Um pouco antes a mesma HP havia iniciado um experimento de interconexão de computadores em um mesmo recinto por infravermelho. A partir daí, a tecnologia de acesso sem fio em distâncias curtas através do infravermelho evoluiu e se diversificou, chegando até hoje às redes locais. [3]

A área do infravermelho no espectro é subdividida em três regiões: o IR próximo (780 – 2500 nm), o IR intermédio (2500 – 50000 nm) e o IR longínquo (50000 – 1mm).

Principais características da transmissão de dados por IR [5]:

- ?? As ondas infravermelhas não atravessam objetos sólidos;
- ?? Quando se desloca do rádio de onda longa em direção à luz visível, as ondas assumem um comportamento cada vez mais parecido com a da luz, perdendo pouco a pouco as características de rádio;
- ?? São mais seguros, já que um sistema infravermelho instalado num ambiente fechado não interfere em outro sistema semelhante instalado em salas adjacentes; é por esta razão que podem ser operados sem autorização do governo;
- ?? A comunicação infravermelha não pode ser usada em ambientes abertos, pois o Sol emite radiação em infravermelho como no espectro visível.

Microondas: As fontes de radiações das microondas são os circuitos eletrônicos, assim como transições atômicas quando os níveis energéticos estejam próximos:

Principais características da transmissão de dados por microondas [6]:

- ?? Como suas frequências de rádio são muito altas, elas se comportam como ondas de luz, e sendo assim seguem em linha reta não devendo existir obstáculos no meio desta linha;
- ?? Necessitam o uso de antenas que fazem a transmissão, recepção e modulação da rádio frequência recebida, estas deve estar a uma distancia de 5 até 80 Km;
- ?? Uma de suas vantagens em relação ao cabo, é que a construção de duas torres é mais barato do que a colocação de cabos ao de grandes distâncias e sua manutenção é mais pratica.

Existem algumas aplicações como links ponto-a-ponto, fazendo um *backbone* de uma rede local ou de rede de longa distancia; uso em sistemas multiponto para telefonia e transporte de sinais de vídeo como televisão a cabo; na transmissão de conversas telefônicas e de televisão; na orientação de aviões; estudo da origem do Universo; aberturas de portas de garagem; assim como estudo da superfície do planeta.

Nesta seção foram apresentados os conceitos de espectro eletromagnético, suas faixas de onda, e os principais tipos de onda: radio, infravermelho e microondas. A próxima seção apresenta o conceito de modulação.

2.2.2. Modulação

Cada provedor pode variar a frequência, amplitude ou fase, fazendo combinações dentro dos limites autorizados. A modulação é o processo de variação de um desses atributos. A modulação em amplitude (AM) e em frequência (FM) são as mais conhecidas. A primeira usa o sistema de chaveamento de amplitude ASK (*Amplitude Shift Keying*) e a segunda o chaveamento de frequência FSK (*Frequency Shift Keying*). Outras formas são a modulação de fase PM (*Phase Modulation*), PCM (*Pulse Code Modulation*) e QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) usada em sistemas digitais. A combinação de diferentes tecnologias pode gerar combinações de formas de modulação[3].

A forma AM é a mais usada nas transmissões comerciais e é bastante sensível a ruídos, portanto, é pouco indicada para comunicação de dados [3].

Pela modulação caracterizamos a forma de apresentação da informação que se transforma em tráfego. Visando maiores velocidades de transmissão, esse tráfego deve ser cursado rapidamente, surgindo então a idéia de multiplexação, descrita a seguir.

Multiplexação: A multiplexação é a agregação de varias informações para acelerar a transmissão. Dentre as técnicas de multiplexação sem fio destacam-se: a FDM (*Frequency Division Multiplexing*) e a TDM (*Time Division Multiplexing*). Estas técnicas são utilizadas pelos métodos ou arquiteturas de acesso de usuários. FDMA (*Frequency Division Multiplexing Access*) e TDMA (*Time Division Multiplexing Access*); também se destaca o método de acesso mais recente, o CDMA (*Code Division Multiplexing Access*) [3].

As técnicas FDM e TDM dividem a largura de banda em canais disponibilizados aos usuários do sistema como é mostrado na Figura 2.c (i), por sua vez, o CDMA disponibiliza toda a banda para todos os usuários, sem a caracterização de canais com uma banda pré-fixada. Essa subdivisão do espectro torna o FDMA uma arquitetura de faixa estreita, o TDMA de faixa estreita ou larga e o CDMA de faixa larga.

A multiplexação FDM predominava até início dos anos 90, mas ainda usada em comunicação via satélite, telefonia, sistemas microondas e televisão a cabo (CATV). A largura de banda é subdividida em canais de banda menos, com uma portadora para cada canal, capaz de cursar um sinal de voz ou dados. A arquitetura FDMA explora FDM e os canais são alocados conforme a demanda, reservando alguns canais de controle. Dependendo do sistema, torna-se necessário à alocação de dois canais para cada usuário, uma para cada sentido da comunicação: canal duplex. FDMA é explorado, principalmente em sistemas analógicos, pode ser utilizado em sistemas de transmissão digital [3].

A primeira geração dos sistemas celulares analógicos (conhecida como 1G Wireless), baseia-se no FDMA, entre eles o AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*), sistema que ainda predomina nos EUA, Brasil e outros 40 países. Cada canal ocupa uma banda de 30 kHz, a largura de banda total é de 25 MHz para a faixa A (ou também conhecida por banda A, faixa de 824 a 849 MHz) e 25 MHz para faixa B (banda B, faixa de 869 a 894 MHz). Para cada faixa, a multiplexação, resulta a capacidade de atendimento simultâneo de 416 usuários por faixa [3].

A multiplexação TDM disponibiliza toda a largura de banda para um canal, mas cada uma usa apenas um slot de tempo. Uma mesma portadora é usada por todos os canais em intervalos de tempo. Os sinais são discretizados, cabendo a cada usuário um canal que recebe o sinal a cada seqüência de slots. Uma das limitações desta técnica consiste na geração de slots de tempo mesmo para canais sem transmissão. Essa desvantagem é corrigida pela STDM (*Statistical Time Division Multiplexing*), com a alocação dinâmica de slots apenas aos terminais em uso, como pode ser visto na Figura 2. c (iii). O maior número de canais, implica em maior faixa de transmissão, mas o número de slots por canal depende do projeto e pode superar o FDM.

A segunda geração de sistemas celulares (*2G Wireless*) baseia-se no TDMA que em geral, são similares ao STDM. O TDMA tem sido bastante usado pelos atuais sistemas móveis sem fio. Nessa arquitetura de acesso, o sinal de voz é digitalizado, armazenado em um buffer na estação e, então, transmitido pela alocação aos slots de tempo, com intervalos distintos para transmissão e recepção. Esta arquitetura também pode ser vista como uma combinação de técnicas FDM e TDM. O FDM no sentido que divide a largura de banda em canais e uma portadora para cada canal, e o TDM porque os sinais digitais são enviados pela mesma portadora. Isso exige uma maior custo para manter a qualidade do sinal. Os sinais dos usuários, apesar de ocuparem a mesma frequência, não interferem entre si, pois ocupam diferentes slots de tempo. No sistema celular predominante na Europa, o mais popular na linha digital é o GSM (*Global System for Mobile Communications*), o qual explora o TDMA, atuando nas faixas de 890 até 915 MHz e 935 até 960 MHz.

O sistema digital D-AMPS (*Digital AMPS*), também em uso no Brasil, faz uso da técnica de multiplexação FDM, própria do AMPS, mas também do TDM, que gera sinais digitais. Como cada portadora gerada pelo FDM é multiplexada em três canais pelo TDM, a capacidade do D-AMPS é multiplicada por três.

A arquitetura CDMA disponibiliza toda a largura de banda para todos os usuários e cada conexão recebe um código específico, o qual é aleatório ou ortogonal aos demais, mas os sinais dos usuários cursam o mesmo canal ao mesmo tempo, permitindo inclusive a interferência entre eles.

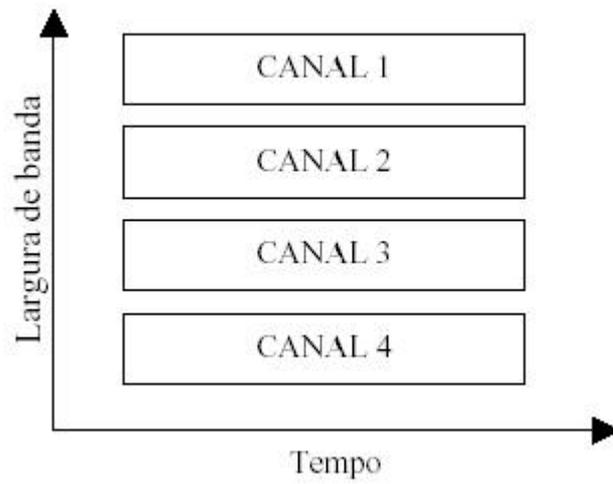


Figura 2.c. (i) – Multiplexação pela divisão de frequência (FDM).

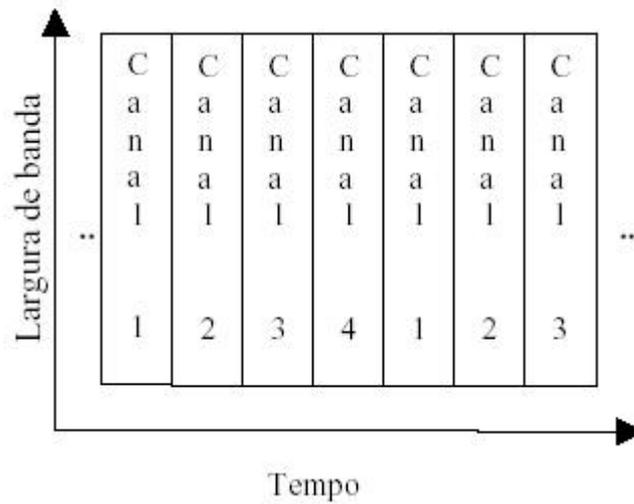


Figura 2.c. (ii) – Multiplexação pela divisão de tempo (TDM).

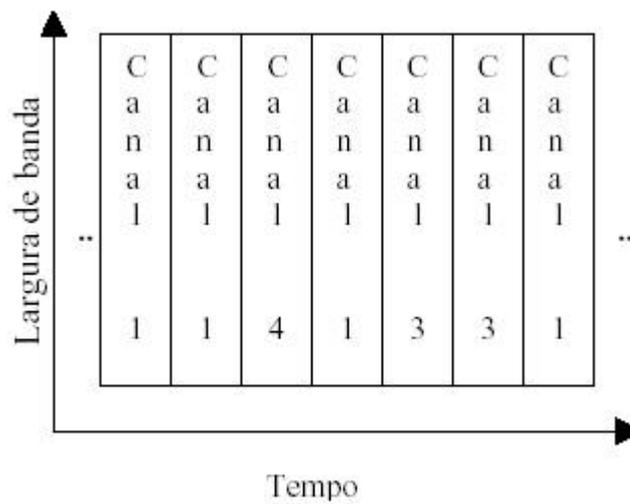


Figura 2.c. (iii) – Multiplexação pela divisão estatística de tempo (STDM).

Esta seção abordou o conceito de modulação que é a agregação de várias informações para acelerar a transmissão, a seguir uma introdução sobre Sistemas Celulares.

2.2.3. Sistemas Celulares

Os sistemas celulares são os mais populares sistemas de comunicação sem fios. O nome Sistema Móvel Celular (SMC) advém da sua estrutura de células. Uma célula é uma área geográfica atendida ou coberta por um transmissor de baixa potência chamada ERB (Estação Rádio Base), a qual consiste de uma ou mais antenas fixas, instaladas em torres que tem o objetivo de atender a demanda originada pelas estações ou unidades moveis, dentro da área de cobertura [10]. A unidade móvel é o equipamento manipulado pelos usuários do SMC, os mais usuais são os telefones celulares. As células não têm forma definida, dependendo do relevo e da topologia da área, por conveniência são representadas por hexágonos, alguns pontos podem ser cobertos por mais de uma ERB, nesse caso se tem *overlapping* de células [10].

Com o crescimento na demanda e o reduzido espectro de frequência, as células têm tendência a reduzirem sua área de cobertura. Neste contexto surgem os conceitos de macrocélulas, microcélulas e picocélulas [10].

A conexão entre uma ERB e uma unidade móvel se realiza por um canal ou frequência disponível, os canais são liberados por ordem de chegada dos usuários e serão atendidos segundo os canais disponíveis na ERB. Cada ERB esta conectada por uma linha física dedicada a uma CCC (Central de Comutação e Controle), que por sua vez, também esta conectada a RPT (Rede Publica de Telefonía). A CCC é responsável pela interligação e controle de varias ERB, assim como pela monitoração e chamadas de *handoff*¹. O deslocamento de longa distância, como mudança de área metropolitana, exige também o redirecionamento de chamada via *roaming* [10].

¹ *Handoff* é o processo de transferir uma estação móvel (MS) de uma estação rádio-base (ERB) para outra ou de um canal para outro. A mudança de canal devido ao *handoff* pode ser através de um *slot* de tempo, de uma banda de frequência, de uma palavra código, ou de uma combinação deles, dependendo da técnica de múltiplo acesso utilizada [113].

As antenas são usadas como transmissores e receptores de sinais de rádio. Essas são projetadas em relação aos comprimentos de onda. Assim, frequências elevadas com pequenos comprimentos de onda exigem antenas menores e baixas frequências com grandes comprimentos de onda exigem antenas maiores. Essa relação genérica pode ser modificada pelo uso de indutores, capazes de reduzir a dimensão das antenas.

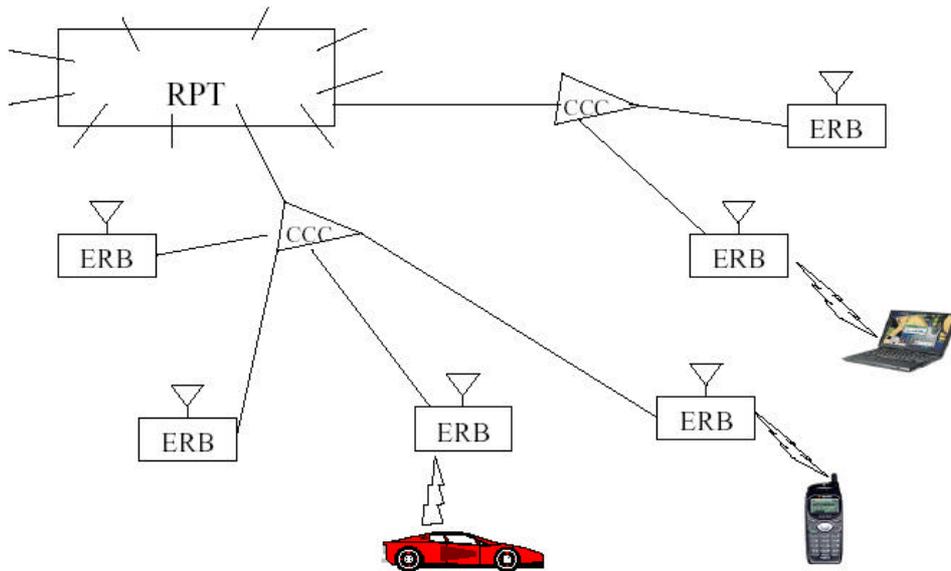


Figura 2.d – Topologia do Sistema Celular.

Com a evolução das comunicações sem fio e os desafios criados para se conseguir uma utilização eficiente do limitado espectro de frequência disponível, juntamente com a necessidade de prover serviços com qualidade surgiu à necessidade da padronização. O modelo adotado como referência, foi o modelo OSI, que será descrito na próxima seção.

2.2.4. Modelo de Referência OSI

Para satisfazer requerimentos de clientes para a capacidade de computação remota, fabricantes de computadores de grande porte desenvolveram uma variedade de arquiteturas de redes. Algumas destas arquiteturas definem o inter-relacionamento de fornecedores de hardware e software, em particular, para permitir o fluxo de comunicações através da rede para fabricantes de computadores em geral.

Com a finalidade de padronizar o desenvolvimento de produtos para redes de comunicação de dados foi elaborado um modelo aberto, que teve como referencia o OSI – *Open System Interconnection* pela ISO (*International Organization for Standardization*). Este modelo estabelece sete camadas para as funções de comunicação de dados: Aplicação, Apresentação, Sessão, Transporte, Rede, Enlace, Física [6].

Aplicação: A camada de aplicação dentro do processo de comunicação é representada pelo usuário final no modelo OSI. Em outras palavras, baseado em pedidos de um usuário a rede, esta camada seleciona serviços a serem fornecidos por funções das camadas baixas. Esta camada deve providenciar todos os serviços diretamente relacionados aos usuários. Alguns destes serviços são:

- ?? Identificação da intenção das partes envolvidas na comunicação e sua disponibilidade e autenticidade;
- ?? Estabelecimento de autoridade para comunicar-se;
- ?? Acordo sobre o mecanismo de privacidade;
- ?? Determinação da metodologia de alocação de custo;
- ?? Determinação de recursos adequados para prover uma qualidade de serviços aceitável;
- ?? Sincronização de cooperação para aplicações;
- ?? Seleção da disciplina de dialogo;
- ?? Responsabilidade de recuperação de erros de estabelecimento de autoridade;
- ?? Acordo na validação de dados;
- ?? Transferência de informações.

Apresentação: Esta camada é responsável pela representação da informação para entidade de aplicação, comunicandose em uma determinada via, e por preservar o sentido em determinado espaço de tempo resolvendo diferenças de sintaxe. Para esses objetivos, esta camada pode prover as seguintes funções:

- ?? Transformação de dados;
- ?? Formação de dados;
- ?? Sintaxe de seleção.

Sessão: O objetivo desta camada é prover os mecanismos necessários para organizar e sincronizar o diálogo e o gerenciamento da troca de dados entre entidades de apresentação. Para tal, a camada de sessão entre as duas entidades de apresentação é o suporte para ordenar a troca de dados. Como suporte a esses objetivos, a camada de sessão providencia os seguintes serviços para a camada de apresentação:

- ?? Estabelecimento de conexão de sessão;
- ?? Liberação de conexão de sessão;
- ?? Troca normal de dados
- ?? Gerenciamento de interação;
- ?? Reporte de condições de exceção;
- ?? Mecanismos para sincronização de conexão de sessão.

Transporte: Esta camada existe para realizar a transferência transparente de dados entre entidades em sessão. Protocolos de transporte são empregados para estabelecimento, manutenção e liberação de conexões de transporte que representam uma via dupla para os dados entre dois endereços de transporte. O modelo OSI define três fases de operação dentro da camada de transporte:

- ?? Fase de estabelecimento;
- ?? Fase de transferência;
- ?? Fase de terminação.

Rede: A função básica desta camada é propiciar a transferência de todos os dados submetidos pelo nível de transporte. A estrutura e conteúdo detalhados dos dados submetidos serão determinados exclusivamente pelas camadas acima da camada de rede. O propósito é permitir que as camadas mais altas tenham independência para rotear e comutar considerações associadas com o estabelecimento e operação de uma conexão. O estabelecimento, manutenção e terminação de conexões das entidades comunicando-se são inclusos nos serviços executados por esta camada. Essas funções e serviços são:

- ?? Endereçamento da rede e identificação do ponto final;
- ?? Multiplexação da rede de conexões acima das conexões da camada de enlace providenciadas pela próxima camada mais alta;
- ?? Segmentação e/ou bloqueio para facilitar a transferência de dados;
- ?? Serviços de seleção quando diferentes serviços estão disponíveis

- ?? Seleção da qualidade de serviços baseados em parâmetros como: erros residuais, disponibilidade, confiabilidade, fluxo de tráfego, tempo gasto no estabelecimento da conexão e no trânsito;
- ?? Detecção e recuperação de erros para atingir qualidade de serviços desejada;
- ?? Notificação de erros para as camadas acima quando a qualidade dos serviços não pode ser mantida;
- ?? Entrega seqüenciada de dados, se disponível, para uma implementação particular;
- ?? Controle de fluxo, isto é, suporte de indicadores de controle de fluxo providenciados pela camada de transporte;
- ?? Transferência de dados como um serviço opcional;
- ?? Rearranjo de conexão quando ocorre a perda de rota de retorno de dados e notificação para o usuário;
- ?? Serviços de terminação quando solicitado por parte do usuário.

Enlace: A camada de enlace providencia maneiras funcionais e procedimento para estabelecimento, manutenção e liberação de enlaces de dados entre entidades de rede. Os objetivos são providenciar a transmissão de dados para a camada de rede detectando e corrigindo erros que possam ocorrer no meio físico. As características funcionais desta camada são:

- ?? Conexão dos enlaces, ativação e desativação, estas funções incluem o uso de facilidades multiponto físico para suportar conexões entre funções da camada de rede;
- ?? Mapeamento de unidades de dados para a camada de rede dentro das unidades do protocolo de enlace para transmissão;
- ?? Multiplexação de um enlace de comunicação para várias conexões físicas;
- ?? Delimitação de unidades de transmissão para protocolos de comunicação;
- ?? Detecção, notificação e recuperação de erros;
- ?? Identificação e troca de parâmetros entre duas partes do enlace.

Física: A camada física provê características físicas, elétricas, funcionais e procedimentos para ativar, manter e desativar conexões entre duas partes. Uma entidade de dados de serviço neste nível consiste em um bit em transmissão serial e de n bits em transmissão paralela. As funções dentro deste nível são:

- ?? Ativação e desativação da conexão física entre duas entidades do nível de ligação de dados, inclusive concatenação e circuitos de dados quando solicitado pelo nível de ligação;
- ?? Transmissão de unidades de dados de serviço (bits), que pode ser executada de modo síncrono ou assíncrono;
- ?? Controle de erros.

A seção 2.2.4. descreve que com a finalidade de padronizar o desenvolvimento de produtos para redes de comunicação de dados foi elaborado um modelo aberto, que teve como referencia o modelo OSI. A próxima seção apresenta as diferenças entre comunicação sem fio, computação móvel e redes de sem fio.

2.3. Diferenças entre Comunicação Sem Fio, Computação Móvel e Redes de Computadores Sem Fio

A adoção de sistemas sem fio vem crescendo significativamente, em quemuitas soluções WLAN (*Wireless Local Area Network*) estão ou já foram implantadas em empresas, universidades e outras instituições do mundo inteiro. Isso indica, sem dúvida, que as redes de computadores sem fio são uma realidade e, possivelmente, nos próximos anos, substituirão ou serão adicionais aos sistemas com fio já existentes, passando a ser uma solução bastante interessante para as organizações, pois desta forma os pontos que necessitam de mobilidade são conectados à rede pelo meio “*Wireless*” e as estações fixas são ligadas à rede via cabo. “Fibra ótica e comunicação sem fio são as tecnologias do futuro” [6].

Além disto, há uma tendência moderna de se implantar cada vez mais as redes sem fio ao invés de redes com fio. Essa propensão é motivada tanto por aspectos da inviabilidade da instalação de redes com fio em certos lugares, como pelo barateamento dos equipamentos sem fio e da interoperabilidade oferecida pela tecnologia *Wireless*. Outros fatores relacionam-se com as facilidades de mobilidade e flexibilidade que as comunicações sem fio oferecem.

A tecnologia sem fio não é recente, mas seus produtos caros e sua baixa taxa transferência de dados, inviabilizaram seu uso. Porém, a tecnologia WLAN

(*Wireless Local Area Network*) vem sendo muito usada na medicina móvel [15] no atendimento aos pacientes, transações comerciais e bancárias, usadas onde não possa traspasar fios como construções antigas ou tombadas pelo patrimônio histórico, entre outros, lugares onde há a necessidade de mobilidade e flexibilidade nas estações de trabalho. Embora as redes sem fio e a computação móvel tenham uma estreita relação, elas não são iguais.

A comunicação sem fio é o fato de estabelecer comunicação através do ar. As conhecidas emissões via rádio AM e FM, as comunicações navais e a própria televisão são alguns exemplos. A comunicação sem fio é considerada o suporte para a computação sem fio e móvel, a qual se encarrega das transmissões de dados entre computadores sem o uso de fios [3].

Às vezes, os computadores portáteis podem ser conectados por fios, por exemplo, se um viajante conecta um computador na tomada de telefone de um hotel, temos mobilidade sem uso de uma rede sem fio. Por outro lado, alguns computadores em uma rede sem fio não são portáteis, por exemplo, das empresas sediadas em prédios antigos, nos quais não há cabeamento de rede para conectar os computadores e é feita a ligação dos computadores através de uma rede sem fio [6]. A Tabela 1.a mostra alguns exemplos de aplicações.

Tabela 1.a - Comparação entre computação móvel e redes sem fio

Aplicações	Sem fio	Móvel
Estações de trabalho fixa em escritórios.	Não	Não
Utilização de um notebook em um hotel.	Não	Sim
LANs em prédios antigos, sem fiação.	Sim	Não
Escritório portátil, PDA para estoque de loja.	Sim	Sim

Deixando esclarecida estas diferenças, vamos considerar através deste trabalho os termo:

Redes sem fio (*Wireless*) - as redes de computadores que fazem a comunicação sem fios e podem estar fixas ou se movimentando [3];

Computação móvel - as redes de computadores portáteis que fazem a comunicação sem fios permitindo mobilidade [3];

Comunicação sem fio - aquela comunicação entre dois ou mais dispositivos sem a utilização de qualquer meio físico [3].

As diferenças entre redes sem fio, computação móvel e comunicação sem fio foram apresentada. A seguir os tipos de redes sem fio.

2.4. Tipos de Redes Sem Fio

Como nas redes cabeadas, que utilizam cabos como o par trançado ou cabo coaxial para a transmissão de dados, existem as LANs (*Local Area Network*) e as WANs (*Wide Area Network*). Nas redes que transmitem os dados pelo ar, as redes sem fio, também existem estes tipos de redes.

As redes LAN sem fio, conhecidas como WLAN (*Wireless Local Area Network*), tem suporte de comunicação para interconexão de equipamentos numa área restrita, com o objetivo de viabilizar o compartilhamento dos recursos computacionais de hardware, software e de informação [18]. A organização consiste de um número de equipamentos, isto é, computadores, impressoras, terminais, servidores especializados que são interligados através de conexões sem fio.

As redes WAN sem fio, conhecidas também como WWAN (*Wireless Wide Area Network*), tem suporte na tecnologia desenvolvida inicialmente para comunicação de voz e depois foram adaptadas para suportar dados [10]. Baseia-se fundamentalmente na infra-estrutura da telefonia celular existente.

2.5. Resumo do Capítulo

O capítulo apresenta a origem das redes sem fio, seus principais conceitos tais como: espectro eletromagnético, modulação e sistemas celulares. Descreve a importância do Modelo OSI como referência para a padronização de protocolos para redes, mostrando as diferenças entre comunicação sem fio, computação móvel e redes sem fio; e os tipos de redes sem fio existentes.

Os próximos capítulos apresentam uma análise das características fundamentais das redes LAN sem fio (redes locais sem fio) e redes WAN sem fio (redes de longa distância sem fio); respectivamente os capítulos 3 e 4.

Capítulo 3

Redes Locais Sem Fio

O nosso trabalho relaciona-se com o tema redes sem fio e especificamente sobre problemas de provisão de qualidade de serviços. É importante que se apresente uma análise das características fundamentais das redes LAN sem fio (redes locais sem fio) e redes WAN sem fio (redes de longa distância sem fio).

Uma rede sem fio (*Wireless*) é tipicamente uma extensão de uma rede local (*Local Area Network* - LAN) convencional com fio [18], criando-se o conceito de rede local sem fio (*Wireless Local Area Network* - WLAN). Uma WLAN converte pacotes de dados em onda de rádio ou infravermelho e os envia para outros dispositivos sem fio ou para um ponto de acesso que serve como uma conexão para uma LAN com fio [10]. O padrão de rede sem fio é o padrão IEEE 802.11x. Sendo que o padrão emergente para LAN é o IEEE 802.11a com taxas de dados de até 54 Mbps [10]. O padrão 802.11b permite maior número de usuários sem fio simultâneos e aplicativos avançados de multimídia móvel, como vídeo de fluxo contínuo.

Os sistemas sem fio locais podem ser usados como ampliação de uma rede com fios para computadores portáteis dentro de uma sala ou edifício. Pontos de acesso os conectam a uma rede com fios e estabelece contato por rádio com os dispositivos de redes portáteis, dentro de sua área de propagação [2].

Podendo ser utilizados em situações de desastre, como furacão, terremoto ou inundação, onde as equipes de resgate precisam se coordenar, e não tem uma rede fixa disponível; num campo de batalha, onde os soldados necessitam trocar informação ou empresários compartilhando informações numa reunião. [7]

As próximas seções apresentam o surgimento da primeira rede sem fio, uma breve descrição do seu funcionamento básico. Bem como, o desenvolvimento das redes sem fio até os dias atuais, os padrões em uso e topologias de redes sem fio adotadas.

3.1. Antecedentes das Redes Sem Fio

O primeiro sistema de computadores que empregou as técnicas de radiodifusão ao invés de cabos ponto-a-ponto foi o sistema ALOHA [131].

Desenvolvido em 1970, por Norman Abramson da Universidade do Havaí, para ser utilizado na rede Aloha, de onde surgiu seu nome. Este sistema foi o precursor das redes sem fio atuais. Na década dos anos 70, quando o projeto foi implantado, as linhas telefônicas disponíveis eram caras e pouco confiáveis. Havia a necessidade da interligação de subredes da universidade, espalhadas pelas ilhas, ao Centro de Computação principal.

3.1.1. Sistema ALOHA da Universidade do Havai

No sistema, a comunicação foi realizada através da instalação, em cada estação, de transmissor/receptor de rádio FM, com um alcance suficiente para se comunicar com o transmissor/receptor do Centro de Computação, são usadas duas faixas de frequência e a transmissão foi feita a 9600 bps [131].

A Figura 3.a apresenta os elementos básicos do sistema ALOHA; na instalação central há um computador (chamado Menehune) onde todos os dados que trafegam passam por ele.

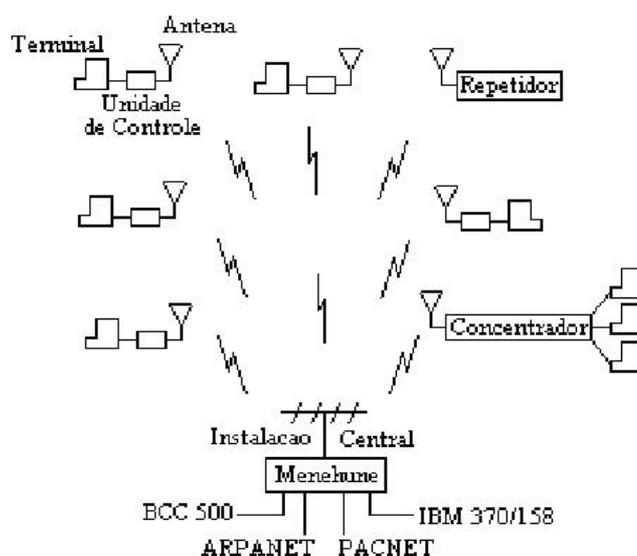


Figura 3.a – Diagrama do Sistema ALOHA.

Quando uma estação tem dados a enviar, ela simplesmente faz a transmissão, se a central recebe os dados corretamente, envia uma mensagem de confirmação para a estação. Se a estação não recebe tal confirmação dentro de um intervalo de tempo predefinido, ela faz a retransmissão dos dados. Desta experiência nasceu a tecnologia amplamente usada em redes locais fixas: a tecnologia Ethernet.

Vimos nesta seção como surgiu a primeira rede sem fio, ela se originou do sistema ALOHA, a seguir apresentaremos como ocorreu o desenvolvimento desta rede sem fio.

3.2. Desenvolvimento das Redes Sem Fio

Na época em foi instalada a rede ALOHA, limitações como a largura de banda e a tecnologia de transmissão não permitiram que o projeto resultasse na utilização em massa das redes sem fio. Entretanto, dois fenômenos consolidados ao longo da última década: miniaturização de componente eletrônica e comunicação pessoal sem fio, devolveu a rede local sem fio grande interesse em termos de pesquisa e desenvolvimento, que culminou com o aparecimento das primeiras redes sem fio comerciais no início dos anos 90.

A partir desse momento os fabricantes desenvolveram suas redes com critérios próprio, pelo qual era possível encontrar redes com demandas e alcances diferentes, empregando diversos tipos de critérios de segurança e definindo os algoritmos das camadas com abordagens particulares.

Em maio de 1991 é pedida ao IEEE, a elaboração de padrões, adotados em redes locais e metropolitanas, conformando-se o Grupo de Trabalho 802.11, cujo objetivo era definir uma especificação para conectividade sem fio entre estações de uma área local [8]. Esse projeto ficou inerte por aproximadamente sete anos devido a fatores que não permitiam que a tecnologia sem fio saísse do papel. Um dos principais fatores era a baixa taxa de transferência de dados que inicialmente a tecnologia oferecia, que era em torno de Kbps.

De acordo com a elevação dessa taxa de transferência de dados que passou a atingir Mbps, a rede sem fio começou a ser vista como uma tecnologia promissora e a receber ainda mais investimentos para a construção de equipamentos que possibilitassem a comunicação sem fio entre computadores.

Atualmente o foco das redes de computadores sem fio (*Wireless*) se encontra no contexto das redes locais de computadores (*Wireless Local Area Network - WLAN*), tanto em soluções proprietárias como no padrão do IEEE. Primeiramente foram colocados em prática alguns padrões proprietários, através de empresas como IBM, CISCO, Telecom e 3COM. Hoje essas e outras empresas baseiam seus produtos no padrão do IEEE, devido às inúmeras e já conhecidas vantagens que o padrão aberto oferece: interoperabilidade, baixo custo, demanda de mercado, confiabilidade de projeto, entre outras.

Afora as redes de computadores, muitas tecnologias sem fio proprietárias têm sido usadas para possibilitar a comunicação entre dispositivos sem fio. Essas tecnologias têm o propósito de permitir o controle remoto de equipamentos domésticos e interligar os periféricos (teclado, mouse, impressoras, etc) aos computadores, eliminando os fios e tornando mais flexível e prático o uso desses equipamentos. O *Bluetooth* e *HomeRF* são exemplos dessas tecnologias [17].

A seguir vamos fazer uma breve descrição do padrão IEEE 802 LAN, mostrando basicamente sua arquitetura e o funcionamento para depois explanarmos o padrão 802.11 para redes sem fio.

3.3. Padrão IEEE 802 LAN

A arquitetura de uma LAN é descrita em termos de camadas de protocolos que organizam as funções básicas de uma LAN. Uma arquitetura de protocolos LAN trata questões relacionadas à transmissão de blocos de dados sobre a rede. Seguindo o modelo OSI, protocolos de camadas superiores (acima da camada 3) são independentes da arquitetura de rede e são aplicáveis a redes locais, metropolitanas e mundiais. Sendo assim, os protocolos LAN são destinados principalmente a tratar as camadas inferiores do modelo.

A Figura 3.b ilustra os protocolos LAN para a arquitetura OSI. Esta arquitetura foi desenvolvida pelo comitê IEEE 802 e tem sido adotada por organizações que trabalham em especificações de padrões LAN. Esta normalmente é referenciada como Modelo de Referência IEEE 802.

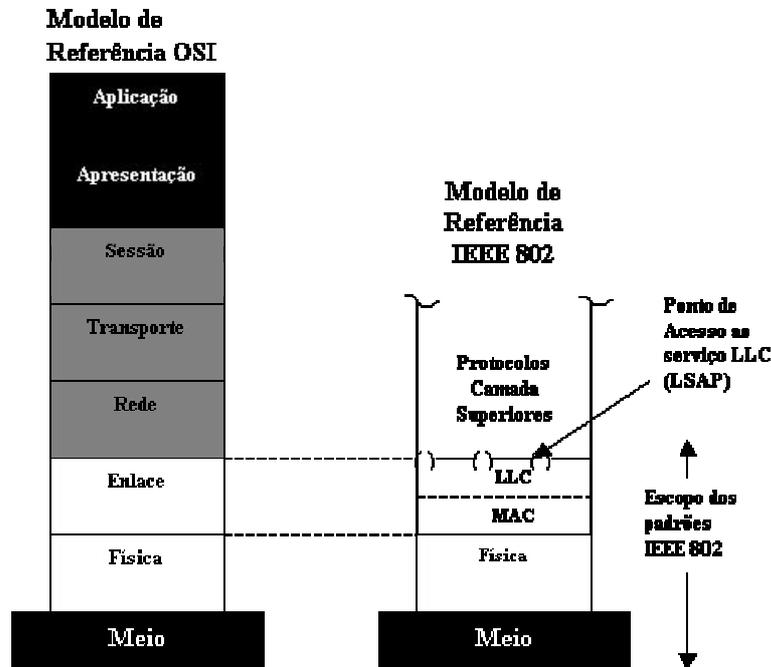


Figura 3.b – Camadas do Protocolo IEEE 802 comparada ao Modelo OSI.

A camada inferior do modelo de referência 802 corresponde à camada física do modelo OSI e incluem as seguintes funções:

- ?? Codificação/decodificação de sinais;
- ?? Preâmbulo de geração/transferência (para sincronização);
- ?? Transmissão/recepção de bits.

Acima da camada física, estão as funções associadas ao fornecimento de serviços para os usuários LAN, camada MAC *Medium Access Control* o qual trata os aspectos de transmissão e recepção de quadros, detecção de erros e controle de acesso ao meio de transmissão e a camada LLC (*Logical Link Control*), que provê acesso às camadas superiores, controle de fluxo e erro [13]. Essas são as funções tipicamente associadas à camada 2 do modelo OSI, do qual foi dividida nas camadas citadas acima, MAC e LLC, afim de torná-la modular em relação às diversas formas de acesso ao meio existentes, e conseqüentemente gerenciável, possibilitando que várias opções MAC sejam providas pelo mesmo LLC.

Os dados do nível superior são passados ao LLC do qual adiciona informações de controle como um cabeçalho [13], criando um PDU LLC *Protocol Data Unit* - informação de controle usada na operação do protocolo LLC. A entidade PDU LLC é então passada para a camada inferior, MAC, do qual acrescenta informações de controle nas pontas (no início e fim) do pacote, formando um quadro MAC. Novamente, estas informações de controle no quadro são necessárias para a operação do protocolo MAC. Desta forma temos o relacionamento entre os níveis desta arquitetura.

O quadro MAC é responsável por exercer funções relacionadas ao controle de acesso e transmissão dos dados. Como todas as outras camadas, faz uso de PDUs em sua camada, sendo referidas como quadro MAC. O formato do quadro difere em alguns aspectos de outros protocolos MAC. Os campos que compõem um quadro MAC são: Controle MAC - campo q pode assumir níveis de prioridade, endereço MAC de destino, endereço MAC de origem, dados, CRC – campo que verifica redundâncias, detecção de erros. Na maioria dos protocolos de enlace de dados, não somente fazem detecção de erros utilizando CRC, mas também tentam recuperar os quadros com erros e transmiti-los novamente [13].

A camada LLC se preocupa com as transmissões de PDU entre duas estações, sem que haja necessidade de um nó de comutação intermediário. Possui duas características não compartilhadas por outros protocolos de enlace:

- ?? Suporte as naturezas de acesso compartilhado e multi-acesso de enlace (este difere das multi-linhas de transmissão em que não há um nó primário);
- ?? Pode ser substituído em alguns aspectos pela camada MAC.

Endereçamento em LLC envolve especificação do usuário de origem e destino. Tipicamente, um usuário é o protocolo da camada superior ou uma função de gerenciamento de rede na estação. Tais endereços de usuário LLC são referidos como *service access point* – ponto de acesso de serviços [13].

Esta seção descreveu o funcionamento e a arquitetura básica do padrão 802 LAN. O mesmo será feito, na próxima seção, com o padrão 802.11 que o objeto deste trabalho.

3.4. Padrão IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 define basicamente uma arquitetura para as WLANs que abrange os níveis físico e de enlace. No nível físico são tratadas apenas as transmissões com frequência de rádio (RF) e infravermelho (IR), embora outras formas de transmissão sem fio possam ser usadas, como microondas e laser, por exemplo. No nível de enlace, o IEEE definiu um protocolo de controle de acesso ao meio (protocolo MAC), bastante semelhante ao protocolo usado em redes locais Ethernet (CSMA/CD). O padrão IEEE 802.11 possibilita a transmissão de dados numa velocidade de 1 à 2Mbps [11], e especifica uma arquitetura comum, métodos de transmissão, e outros aspectos de transferência de dados sem fio, permitindo a interoperabilidade entre os diversos produtos WLAN [4].

Apesar da significativa elevação da taxa de transferência de dados que subiu de algumas poucas dezenas de kilobits por segundo para 2Mbps, as WLANs não atendiam satisfatoriamente a necessidade de banda das empresas. Com isso, o IEEE investiu no melhoramento do padrão 802.11 (que passou a ser chamado de 802.11b), com a mesma arquitetura e tecnologia, mas com taxa de transferência de dados maiores, entre 5 e 11 Mbps [4], impulsionando de vez a tecnologia e estimulando as comunidades científica e industrial a padronizarem, projetarem e produzirem produtos para essas redes.

Tabela 3.a - Terminologia IEEE 802.11 [11].

Access Point (AP)	Qualquer entidade que tenha funcionalidade de estação e provê acesso ao Sistema de Distribuição via o meio wireless para estações associadas.
Basic Service Set (BSS)	Um grupo de estações controladas por uma função simples de coordenação.
Coordenation Function	A função lógica que determina quando uma estação operando dentro de um BSS é permitido para transmitir e pode ser capaz de receber PDUs.
Distribution System (DS)	Um sistema utilizado para interconectar um grupo de BSSs e integrado a LANs para criar uma ESS.
Extended Service Set (ESS)	Um grupo de um ou mais BSSs interconectados e integrados a LANs que aparecem como um simples BSS para a camada LLC em qualquer estação associada com um desses BSSs.
MAC Protocol data unit (MPDU)	A unidade de dados trocados entre duas entidades MAC utilizando o serviço da camada física.
MAC Service data unit (MSPDU)	Informação que é entregue como uma unidade entre os usuários MAC.
Station	Qualquer dispositivo que contenha uma conformidade MAC e camada física do IEEE 802.11.

Como em qualquer outro padrão IEEE.802.x, o padrão IEEE.802.11 define as regras relativas a subcamada de Controle de Acesso ao Meio (*MAC – Medium Access Control*) e a camada física (*PHY – Physical Layer*). Da mesma forma, a subcamada LLC (Logic Link Control) e os níveis superiores não percebem as particularidades da subcamada MAC e de seus possíveis níveis físicos [9].

A Figura 3.c ilustra o padrão IEEE 802.11, comparando com o modelo padrão de redes de computadores, o RM-OSI da ISO (*Reference Model – Open Systems Interconnection of the International Standardization Organization*).

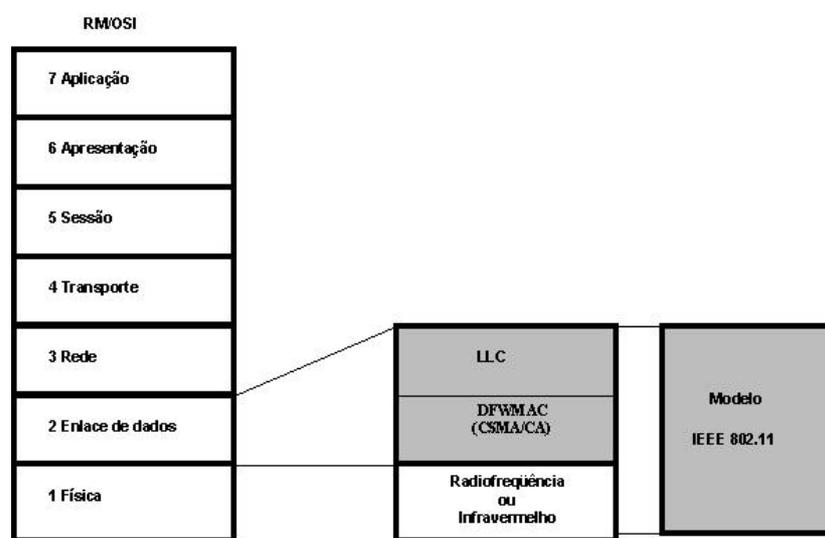


Figura 3.c – Comparação do padrão 802.11 com o OSI.

O padrão define três tipos de tecnologias de transmissão sem fio, com o objetivo de atender necessidades diferentes, pois as primeiras redes sem fio apresentavam-se com essa variedade de níveis físicos [10]. Duas dessas formas de transmissão são de técnicas de espalhamento do espectro e, outra, radiação infravermelha difusa.

Observa-se que a transmissão sem fio possui características únicas quando são comparadas com redes fixas:

- ?? Alta taxa de erros conjugados a uma demanda limitada;
- ?? As características do meio podem variar abruptamente no tempo, ou seja, as características de propagação do sinal alteram-se muito rapidamente [11];
- ?? A largura de banda é limitada, tanto por imposição de órgãos regulamentadores, quanto pelas limitações técnicas dos dispositivos de transmissão e recepção;

?? A detecção da portadora (essencial) para o funcionamento da subcamada MAC, pois esta define um algoritmo CSMA não confiável e nem rápida [12];

?? O meio é de domínio público, estando sujeito a interferências gerando problema de segurança.

Quanto à segurança, o padrão possibilita autenticação e criptografia dos quadros MAC. Para isso, define um algoritmo denominado WEP (*Wired Equivalent Privacy*). O WEP utiliza o algoritmo RC4PRNG da companhia RSA Data Security Inc. [13].

No capítulo 5 este padrão será abordado sob o aspecto da qualidade de serviços. A seguir são apresentadas as topologias das redes sem fio.

3.5. Topologia

As redes sem fio 802.11 podem apresentar-se fisicamente de dois modos: redes de infra-estrutura e redes *ad hoc* [15].

3.5.1. Rede Infra-estruturada

As redes de infra-estrutura caracterizam-se por possuir dois tipos de elementos: Estações Móveis (EM) e Pontos de Acesso (PA). Cada ponto de acesso é responsável pela conexão das estações móveis de uma área de cobertura (BSA – *Basic Set Area*) com a rede fixa. O PA desempenha tarefas importantes na coordenação das estações móveis, aceita ou não a inserção de uma nova estação a rede, colhe estatísticas para melhor gerenciamento do canal e ajuda a definir quando uma estação deve ou não ser controlado por outro PA. Figuras 3.d.

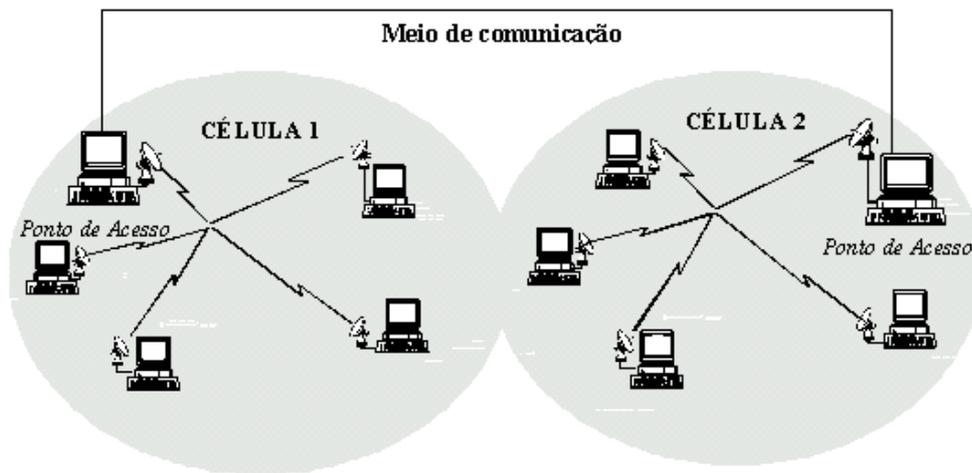


Figura 3.d – Rede sem fio infra-estruturada.

3.5.2. Rede Ad Hoc

As redes *ad hoc* caracterizam-se por não possuírem qualquer infra-estrutura de apoio a comunicação. São diversos equipamentos moveis confinados a uma pequena área e que estabelecem comunicação ponto-a-ponto por certo período de tempo [16]. Figuras 3.e.

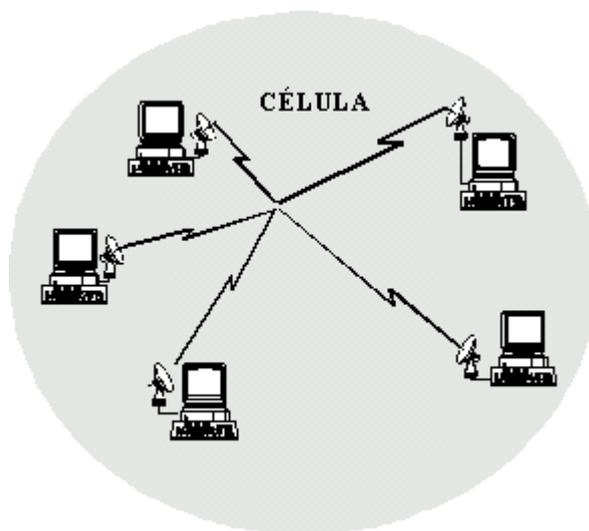


Figura 3.e – Rede sem fio Ad Hoc.

Para que alguns conceitos e definições da subcamada de acesso ao meio do padrão 802.11 fossem esclarecidos, as topologias das redes sem fio existentes foram apresentadas. A próxima seção trata do padrão 802.11, especificamente da camada de acesso ao meio.

3.6. Subcamada de Controle de Acesso ao Meio

O padrão IEEE 802.11 utiliza o protocolo DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless Access Control*), para definir o comportamento nesta subcamada [99].

O DFWMAC suporta dois métodos de acesso; um método distribuído básico, obrigatório, e um método de acesso centralizado, opcional. Os dois métodos de acesso podem coexistir. Na realidade, os métodos de acesso distribuídos formam a base sobre a qual é construído o método centralizado. Os dois métodos, ou “funções de coordenação“, são usados para dar suporte a transmissão de tráfego assíncrono ou com retardo limitado [99].

No IEEE 802.11, uma função de coordenação é um mecanismo que determina quando uma estação específica tem permissão para transmitir. Se a função de coordenação for distribuída (*Distributed Coordination Function – DCF*), a decisão de quando se deve transmitir é tomada individualmente pelos nós o que pode resultar em transmissões simultâneas. Por outro lado quando a função por coordenação é PCF (*Point Coordination Function – PCF*), a decisão é centralizada em um ponto, que determina qual estação deve transmitir e em que momento, evitando a ocorrência de colisões [100]. A Figura 3.f mostra as funções de coordenação na subcamada MAC.

PCF – Point Coordination Function: O DFWMAC suporta opcionalmente uma função de coordenação PCF centralizada, construída sobre a função de coordenação distribuída (DCF). A PCF implementa um mecanismo de acesso ordenado ao meio que suporta a transmissão de tráfego com retardo limitado ou tráfego assíncrono. A função de coordenação PCF apenas pode ser usada em configurações de rede com infra-estrutura e onde não haja intercessão entre PA's que operam na mesma faixa de frequência.

As duas funções de coordenação – PCF ou distribuída – são integradas com a utilização do conceito de superquadro [99]. Quando implementada a função de coordenação PCF, o DFWMAC divide o tempo em períodos denominados superquadros. Um superquadro consiste em dois intervalos de tempos consecutivos: no primeiro, controlado pela PCF, o acesso é ordenado (não ocorrem colisões), no segundo, controlado pela DCF, o acesso baseia-se pela posse do meio (podem ocorrer colisões).

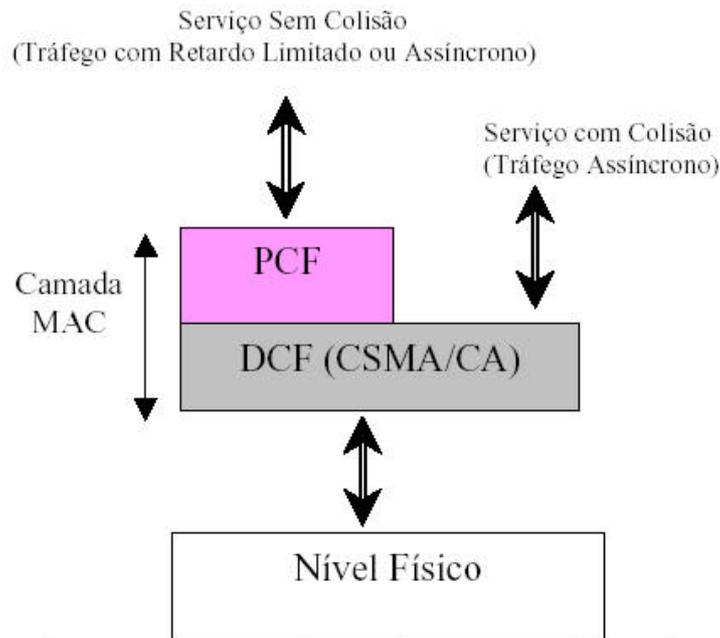


Figura 3.f – Funções de coordenação na subcamada MAC.

A função de coordenação PCF é construída sobre a função CSMA/CA básica através da utilização do mecanismo de prioridade no acesso. O algoritmo distribuído CSMA/CA determina que ocorra um período de ausência de transmissão com uma duração específica entre a transmissão de quadros consecutivos, esse período é denominado espaço interquadros (*Inter Frame Space – IFS*) [99,100].

DCF - Distributed Coordination Function: O método de acesso básico do DFWMAC é uma função de coordenação distribuída (DCF) conhecida como CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance*). A utilização desse método é obrigatória para todas as estações e pontos de acesso nas configurações *ad hoc* e com infra-estrutura [99].

A estação que deseja transmitir seguindo a regra do CSMA/CA deve operar da seguinte forma: constatar no meio se outra estação já está transmitindo. Se o meio estiver livre, a estação transmite seu quadro, senão ela aguarda o final da transmissão. Depois de cada transmissão com ou sem colisão, a rede entra em um modo onde as estações apenas podem começar a transmitir em intervalos de tempo pré-alocados. Ao término de uma transmissão, as estações alocadas ao primeiro intervalo de tempo têm o direito de transmitir. Se não o fazem, o direito passa às estações alocadas ao segundo intervalo e assim sucessivamente até que ocorra uma transmissão, quando todo o processo é reiniciado [100].

O método CSMA/CA não garante a entrega correta dos quadros (podem ocorrer colisões). Assim, uma estação após transmitir um quadro fica aguardando (*timeout*) um aviso de recebimento que deve ser enviado pela estação de destino, acusando o recebimento correto do quadro, se o aviso de recebimento não chegar, em tempo hábil, a estação origem retransmite este quadro.

O DFWMAC acrescenta ao método CSMA/CA com reconhecimento, um mecanismo opcional que envolve troca de quadros de controle RTS (*Request to Send*)/CTS (*Clear to Send*) antes da transmissão de quadros de dados. Esse mecanismo funciona da seguinte forma: quando uma estação assume a posse do meio, ao invés de enviar o quadro de dados imediatamente, ela transmite um quadro de controle RTS, que carrega uma estimativa de duração de tempo da futura transmissão do quadro de dados. O quadro RTS possui duas funções: reservar o meio para a transmissão de quadro de dados, e verificar se a estação de destino está pronta para recebê-lo. A estação receptora, em resposta ao quadro RTS, envia um quadro de CTS avisando que está pronta para receber o quadro de dados. A Figura 3.g mostra o mecanismo [99,100].

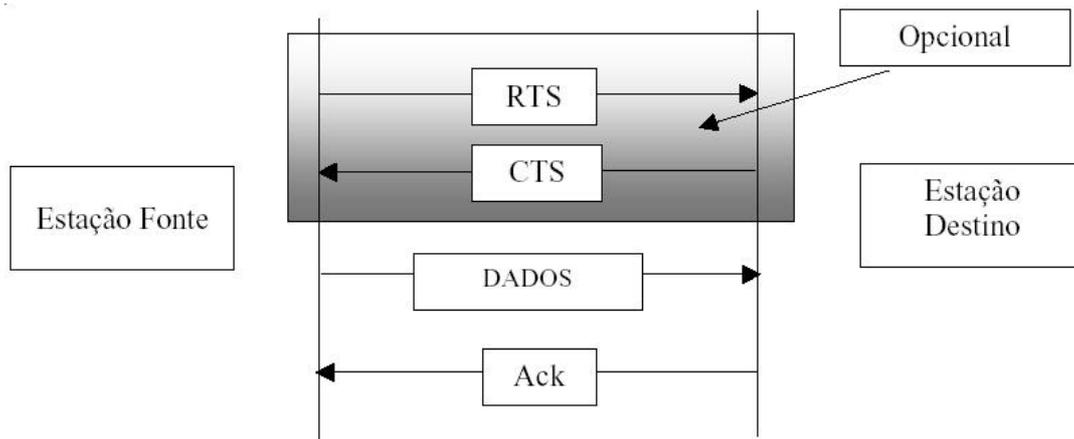


Figura 3.g – Método CSMA/CA com reconhecimento.

O mecanismo básico do controle de acesso DFWMAC a estação que deseja transmitir, deve perceber o meio livre por um período de silêncio mínimo, o **IFS**, antes de utilizá-lo. Usando valores diferentes para o período de silêncio, o DFWMAC define três níveis de prioridade de acesso:

1. *Short Priority* é usado para transmissão de quadros carregando respostas imediatas. Por exemplo, quadros carregando reconhecimento e quadros CTS após a recepção de um quadro RTS;
2. Nível de prioridade *DCF Priority* é utilizado pela função de coordenação pontua – PCF para enviar quadros no período livre de contenção de um superquadro. O espaço interquadros associado a esse nível de prioridade é denominado PIFS (PCF IFS);
3. Nível de prioridade *DCF Priority* é utilizado pela função de coordenação distribuída – DCF para transmissão de quadros assíncronos.

3.7. Resumo do Capítulo

Este capítulo apresentou o surgimento da primeira rede sem fio, uma breve descrição do seu funcionamento básico, bem como o desenvolvimento das redes sem fio até os dias atuais. Mostrou os padrões em uso e topologias de redes sem fio adotadas. Foram apresentadas as características básicas do funcionamento da camada de acesso ao meio das redes sem fio e as funções de DCF e PCF. Em síntese, apresento-se uma análise das características fundamentais das redes locais sem fio. O próximo capítulo está estruturado de forma análoga, sob o ponto de vista das redes WAN sem fio (redes de longa distância sem fio).

Capítulo 4

Redes Sem Fio de Longa Distância

Este capítulo apresenta uma análise das características fundamentais das redes de longa distância sem fio. Aborda os sistemas celulares, tecnologias, sistemas e serviços, fatores relacionados aos projetos de *hardware* e *software*, tais como mobilidade, variações nas condições de comunicação, gerenciamento de energia, software versus computação móvel, serviços de informação, gerência de dados, protocolos para suporte e algoritmos distribuídos na computação móvel.

De forma análoga ao que acontece com as redes WAN cabeadas, o acesso das redes WAN sem fio se baseia na infraestrutura de telefonia existente. O suporte fundamental das redes de computadores de acesso remoto sem fio é o sistema de telefonia celular, implantado há alguns anos. Para este tipo de rede a propriedade da mobilidade será mais explícita, considerando o conceito de computação móvel de forma mais completa. Este capítulo apresenta os sistemas celulares, suas tecnologias e serviços disponíveis. Apresenta os fatores relacionados ao desenvolvimento de projetos de hardware e software, tais como: mobilidade, variação nas condições de comunicação e gerenciamento de energia. Problemas relacionados com a computação móvel são discutidos, entre eles: serviços de informação, gerência de dados, protocolos para suporte e algoritmos distribuídos.

4.1. Sistemas Celulares

Os sistemas celulares predominam atualmente na área de comunicação móvel. Surgiram no final da década de 70 como um serviço de luxo [19].

Os primeiros sistemas celulares tinham a capacidade limitada e o número de usuários alocados a cada estação base era bastante reduzido. Este primeiro grupo representa a primeira geração, e destaca-se o AMPS (*Advanced Mobile Phone System*). O AMPS implementa o Pacote de Dados Digitais Celulares (CDPD – *Cellular Digital Packet Data*) sobre a rede, oferecendo taxas de transmissão de dados de 19.2 kbps, para usuários. Além de usar um circuito dedicado para a transmissão de dados, o CDPD usa os períodos ociosos sobre canais de voz para garantir os serviços requisitados. Esta é a forma mais eficiente de uso do espectro para tráfego de dados, os quais precisam de mais largura de banda. Para conectarmos aos serviços necessita-se um modem CDPD ou um cartão equivalente no notebooks, pode-se usar protocolo IP para acessar a Internet permitindo: navegar na WEB, processar e-mail, manipular arquivos, etc [19].

A segunda geração de sistemas de celulares se identifica como o padrão GSM (*Global System for Mobile Communications*), é um sistema com maior capacidade e compatível com diversas e modernas arquiteturas de redes, é um sistema de comunicação pessoal (PCS – *Personal Communications Service*) que atualmente opera em mais de 200 países. Os dois padrões nos EUA são IS-136, o qual usa o TDMA e IS-95, que usa CDMA. O GSM provê o Serviço de Rádio por Pacotes Gerais (GPRS – *General Packed Rádio Service*), o qual encapsula dados num pequeno pacote para a transmissão através da rede à velocidade de 100 kbps, o GPRS intercala pequenos pacotes dos diferentes usuários e os envia através da rede, aproveitando a largura de banda disponível nos diferentes usuários e de tempo, isto permite que os pacotes compartilhem as capacidades disponíveis da rede e alcancem maiores taxas de transmissão [20].

Os sistemas celulares têm evoluído rapidamente sempre buscando o atendimento de uma maior número de usuários e a elevação de sua capacidade de transmissão, tornando-se a primeira alternativa para a comunicação de dados sem fio a longa distância, representando o melhor suporte para as redes WWAN.

A evolução tecnológica das redes celulares, acompanhadas da sua demanda explosiva, marca o surgimento da terceira geração de sistemas, com grandes investimentos em pesquisas, projetos e instalação. Essa geração terá que seguir lidando com a comunicação de voz e dados simultaneamente, buscando sempre uma maior capacidade. O conceito de capacidade passa a ser visto sob nova ótica, considerando a comunicação de dados através de novos paradigmas como: tráfego por rajada, ocupação de múltiplos canais por enlace, etc. As capacidades de transmissão que são esperadas são 144 kbps para usuários moveis movimentadose em seus veículos e, 384 kbps para usuários que se movimentam a pé e 2.05 Mbps para locações fixas [20].

4.1.1. Tecnologias, Sistemas e Serviços

Os principais sistemas celulares no mercado são o AMPS, D-AMPS (Digital AMPS), GSM e o CDMA, os outros estão em uso, mas, com a tendência a ceder espaço para os primeiro, pela predominância tecnológica e do mercado. Uma visão no tempo dos principais sistemas é dada pela Figura 4.a.

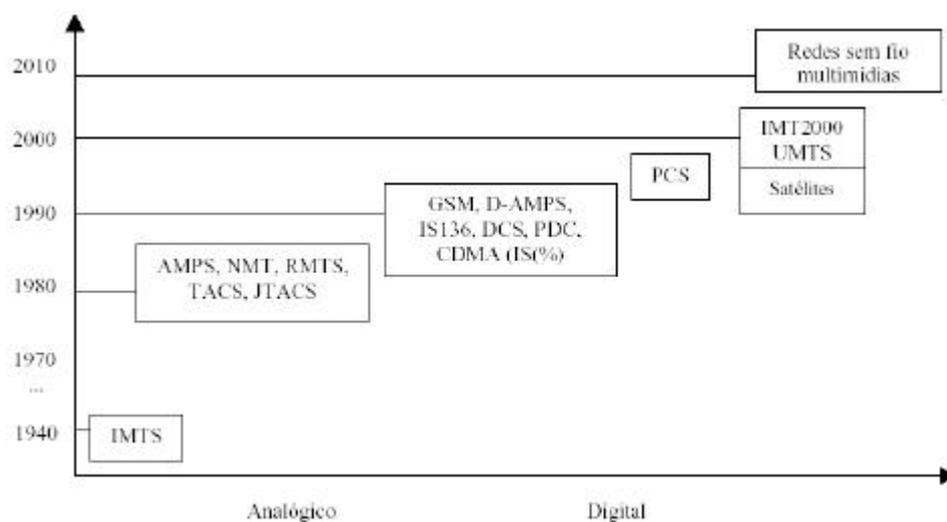


Figura 4.a – Evolução dos Sistemas.

A comparação entre eles pode levar em conta vários parâmetros, tais como: número máximo de canais, fator de reuso, número de usuários por canal, eficiência espectral, interferência, segurança e processamento *handoff*. A evolução tecnológica e a capacidade de comunicação de dados também são importantes para a expansão do sistema [21].

O AMPS surgiu em 1983 como sucessor do IMTS, é um sistema analógico e teve uma boa aceitação a nível internacional. Sua especificação consta no EIA/TIA 533, da *Electronic Industries Association e da Telecommunications Industry Association*. Considerando os 146 canais duplex disponíveis, dentre eles, sete canais de controle (a FCC define 21 canais de controle), e o fator de reuso de sete, resulta $58 \left(\frac{146-7}{7} \right)$ canais duplex para cada célula, um número bastante reduzido de usuários. A elevação desse número somente é possível pela divisão da célula ou pelo uso de antenas setorizadas. Interferências co-canal e adjacentes no sistema são contornadas pela alocação de canais com frequências devidamente espaçadas, ou no controle da potência de transmissão de cada canal, o que limita sensivelmente a capacidade do sistema. O *handoff* implica na interrupção momentânea, a tecnologia analógica é obsoleta, o controle geral do sistema é fixo e a segurança pode ser quebrada facilmente, dada às características ele não é indicado para transmissões dos dados digitais, na sua especificação original. No entanto, pelo uso de protocolos especiais de fácil instalação e baixo custo, destinados a detecção e correção de erros, o que torna esse sistema viável para a transmissão de dados [21]. Este protocolo é o CPDP.

A versão digital do AMPS (D-AMPS) está especificado no IS-54 da EIA/TIA e cobre os dois modos de operação suportando o FDMA e o TDMA. A combinação FDM/TDM faz com que este sistema tenha três vezes mais canais que AMPS. Pelo sistema IS-136 novas facilidades foram agregadas, a taxa de voz foi reduzida para 6.5 kbps, elevando a capacidade do sistema de seis em relação ao sistema analógico. Portanto, pelo IS-54 o sistema D-AMPS apresenta o número máximo de canais de 443.7 e a taxa de 13 kbps/canal, pela IS-136 são 887.4 canais de 6.5 kbps/canal [31]. O sistema caminha-se para uma técnica de multiplexação TDM totalmente digital: IS-136, o objetivo é explorar as técnicas de Espalhamento de Espectro (SST – *Spread Spectrum Technology*), mais especificamente a técnica de Saltos de Frequência (FH – *Frequency Hopping*); no estágio atual o *handoff* ainda é um problema, mas nem sua versão final deveria ser suave. Nesta evolução vários serviços têm sido embutidos, como a comutação de pacotes, no entanto a comunicação de dados ainda é limitada e em baixas taxas de transmissão [37].

O GSM é um sistema baseado na tecnologia TDMA, especificado pela *European Commission* em 1987. Cada canal de voz transmite na taxa de 13 kbps, 2400 bps, 4800 bps e 9600 bps. Considerando 124 portadoras, cada portadora com oito slots de tempo, fator de reuso de sete e o ganho de 2.55 pelo uso de antenas setorizadas, resulta um número máximo de canais de 361.37, de 13 kbps por canal [31]. Como é um sistema digital, é mais apropriado para a comunicação de dados, mas o *handoff*, ainda continua com interrupções, compromete a qualidade de serviço com a perda de informação, no entanto, serviços de correio eletrônico, ftp e acesso a computador, já podem ser realizados via computadores pessoais conectados a um terminal GSM com interface PCMCIA.

A tecnologia CDMA foi lançada pela empresa americana Qualcomm Incorporated e depois incorporada pelas empresas GTE, Ameritech Sprint, Airtouch, USWest e Nynex. Em 1993, TIA/EIA lançaram sua especificação IS-95, como o padrão *wideband* spread spectrum digital celular system, de alta capacidade, modo dual que permite a operação em modo analógico (AMPS) e digital (CDMA). A banda de 25 MHz no sistema CDMA é dividida em 10 canais duplex de 1.25 MHz, cada canal pode transmitir simultaneamente 64 canais digitais com taxas básicas de 9.6 kbps ou 14.4 kbps, diferenciados por códigos ortogonais e taxas de espalhamento de 1.228 Mbps [31]. O uso de códigos de espalhamento garante uma alta segurança e sigilo para o sistema, independente da criptografia. Dos 64 canais, 55 são para a telefonia, sete para mensagens ou *pagging* e dois para controle. O CDMA é um sistema bastante rico de recursos para aumentar a sua eficiência e qualidade de serviço. O fator de reuso no sistema é igual a 1, isto porque todo o espectro de frequência é usado por todas as células, esta característica garante um *handoff* suave, à medida que o usuário muda de célula, libera o código da célula antiga e mantém o da nova, esta característica é fundamental para transmissão de dados. Já se fala de B-CDMA (*Broadband CDMA*) para aplicações de banda larga, com taxas acima de 64 kbps, redução de interferências, desvanecimento, e dos componentes de múltiplo percurso, melhor rádio cobertura e compartilhamento de todo o espectro. Considera-se, teoricamente, que o CDMA tem uma superioridade de 20 vezes em relação ao AMPS e de 3.7 vezes ao D-AMPS [31].

O CDMA é o grande concorrente do padrão TDMA, presente no GSM e no D-AMPS (padrão IS-136). Por sua vez os sistemas baseados do FDMA tendem a perder todo espaço até então ocupado. Um longo debate tem sido travado em torno desses padrões, com uma tendência ao CDMA, mas muito tem sido feito, com destaque ao GSM e ao D-AMPS. O GSM continua sendo mais barato que o CDMA na fase de implementação, pelo custo das ERBs e terminais de baixo custo, no entanto, o crescimento do mercado de CDMA tem levado a uma redução constante dos custos neste padrão.

Outra discussão gira em torno de sistemas analógicos versus digitais. Isto porque estudos científicos têm mostrado de forma consistente que os telefones celulares de tecnologia digital podem ser prejudiciais à saúde. Esse é um argumento favorável à tecnologia analógica. Por outro lado, a tecnologia digital esta vinculada à qualidade de serviço, capacidade, segurança, transmissão de voz e dados.

Esta seção apresentou a origem dos sistemas celulares, sua evolução ate os dias atuais. Foram apresentadas suas tecnologias juntamente com os serviços envolvidos nestes sistemas. A seguir, os principais fatores relacionados aos projetos de hardware e *software* em sistemas computação móvel.

4.2. Fatores Relacionados ao Projeto de Hardware e Software

Os problemas das pesquisas na área de computação móvel são decorrentes, principalmente da mobilidade, variação nas condições de comunicação e gerenciamento de energia. Nas seções posteriores abordamos cada um desses problemas de maneira a dar uma idéia geral das preocupações que são levadas em consideração nesta tecnologia. Os fatores relacionados a *hardware* são abordados inicialmente, passando a seguir, para os fatores relacionados a *software*.

4.2.1. Mobilidade

A localização de um elemento móvel e, conseqüentemente, seu ponto de acesso à rede fixa muda à medida que esse elemento se move pela rede. Como conseqüência da mobilidade temos problemas relacionados com gerencia de localização, projeto de protocolos e algoritmos, heterogeneidade, segurança, dentre outros [46].

A gerência de localização o custo de pesquisa para localizar um elemento móvel deve incluir custo da comunicação. Para minimizar o custo final, algoritmos e estruturas de dados eficientes, junto com planos de execução de consultas devem ser projetados para a localização de elementos móveis. Nos projetos dos protocolos e dos algoritmos distribuídos, para ambientes móveis a configuração do sistema não é estática e, por essa razão, a topologia passa a ser dinâmica. Neste contexto, o centro de atividades das aplicações e servidores, a carga do sistema e a noção de localidade mudam ao longo do tempo. Esses fatores não podem ser desprezados e, na verdade, um dos grandes desafios da computação móvel é projetar novas aplicações e algoritmos que levem em consideração essas características do ambiente.

A heterogeneidade é uma constante na computação móvel, por exemplo, a conectividade entre os elementos computacionais não pode ser sempre garantida e, quando existe, possui confiabilidade e vazão variáveis. Em ambientes externos (*outdoors*) a velocidade de comunicação é mais baixa que em ambientes internos (*indoors*) onde se pode oferecer uma conectividade mais confiável ao dispositivo móvel ou até mesmo permitir que seja operado através de uma conexão com a rede fixa. Outra característica é que o número de dispositivos móveis numa célula muda com o tempo e, conseqüentemente, a carga na estação base e a largura de banda disponível. Também os serviços na rede fixa usada pelo computador móvel podem variar como, por exemplo, o tipo de impressora disponível.

A mobilidade também introduz novos problemas de segurança e autenticação, na comunicação sem fio é mais fácil fazer a interceptação de mensagens, o que pode causar sérios problemas de segurança, que deve fazer uso de técnicas de criptografia. Outra questão é a facilidade para o rastreamento do computador móvel quando se comunica com a rede fixa, o que nem sempre pode ser desejável para o usuário se o sigilo de movimento for importante. A seguir o problema sobre as variações na comunicação são abordados.

4.2.2. Variações nas condições de comunicação

Rede sem fio são normalmente mais caras, oferecem uma largura de banda menor e são menos confiáveis que redes fixas. Por outro lado às redes fixas tem tido um crescimento muito grande de largura de banda disponível. Por exemplo, o padrão Ethernet provê 10 Mbps, Fast Ethernet 100 Mbps, FDDI 100 Mbps e ATM 155 e 622 Mbps [20]. Produtos para comunicação sem fio oferecem 19 kbps para comunicação via pacote na telefonia celular. A largura de banda típica para rede locais sem fio varia de 250 Kbps a 2 Mbps, ou até 25 Mbps para ATM em fio. O problema ainda é mais crítico por dois motivos: o primeiro é que a largura de banda é dividida entre os usuários de uma célula o faz com que a largura de banda efetiva por usuário seja ainda menor, o segundo é que o ruído e atenuação afetam a taxa de erro na comunicação sem fio que é de cinco a dez ordens de grandeza maior que na rede fixa.

Na comunicação sem fio as desconexões são freqüentes e podem ser caracterizadas de forma diferentes. Desconexões podem ser voluntárias, ou seja, o usuário ou o computador móvel evita intencionalmente o acesso à rede para diminuir o custo da tarifa de comunicação, o consumo de energia ou uso de largura de banda. Pode ser forçada quando o usuário móvel entra numa região onde não existe acesso a rede fixa por falta de um canal de comunicação ou cobertura nesse local, dessa forma as desconexões podem ser previsíveis ou súbitas. Exemplos de desconexões previsíveis são [54]:

- ?? Desconexão voluntária;
- ?? Variações na taxa de sinal-ruído (SNR – *Signal-to-Noise Rádio*) o que pode fazer com que seja mais interessante esperar um intervalo de tempo para fazer uma transmissão quando o valor de SNR é alto;
- ?? Energia disponível na bateria que pode fazer com que todo ambiente móvel passe a trabalhar com outra qualidade de serviço;
- ?? Conhecimento da distribuição da largura de banda disponível num determinado momento.

As desconexões também podem ser categorizadas de acordo com a sua duração. Desconexões muito curtas devidas, por exemplo, as *handoff's* podem ser mascaradas pelo hardware ou software do sistema. Outras desconexões podem ser tratadas pelo sistema operacional através de seus diversos módulos (sistema de gerenciamento de arquivos, memória, etc.), pela aplicação ou pelo próprio usuário. Como as desconexões são muito comuns, tanto o hardware quanto o software para computadores moveis, deve ser projetado para operar em modo desconectado. Este é um outro ponto central no projeto da computação móvel.

Outros aspectos importantes relacionados com a comunicação sem fio são as características do computador móvel. Uma unidade móvel deve ser leve, pequena e fácil de carregar, estas características em conjunto com o custo e tecnologias existentes fazem com que um computador móvel atual tenha menos recursos que computadores fixos incluindo memória, velocidade de processador, tamanho da tela, dispositivos periféricos, memória secundária e inexistência de problemas relacionados com consumo de energia, a qual será discutida na próxima seção. Além disso, computadores móveis são mais fáceis de serem danificados, roubados ou perdidos.

4.2.3. Gerenciamento de Energia

Computadores móveis dependem de baterias para poderem funcionar. Atualmente, as baterias disponíveis no mercado são relativamente pesadas e apenas conseguem armazenar energia para algumas horas de uso. Este problema é visto como o maior empecilho no uso computadores moveis. Infelizmente a tecnologia de construção de baterias não tem acompanhado o crescimento de outros segmentos da informática e a evolução prevista não muda esse cenário. Logo, o gerenciamento de energia é um problema importante e deve ser tratado tanto pelo hardware como pelo software.

Na comunicação sem fio, o gerenciamento de energia para transmissão é muito importante por dois motivos: primeiro, a energia é um recurso limitado em computadores moveis e o seu consumo deve ser minimizado; segundo, um sinal deve ser transmitido como um valor correto de potência para não interferir na recepção de um outro sinal por uma outra estação minimizando a relação sinal/ruído.

Projetistas de hardware para computadores moveis já incorporaram algumas características nesses sistemas para diminuir o consumo de energia como desligar a luz de fundo de tela, desligar o disco quando não esta sendo usado ou mesmo elimina-lo completamente substituindo-o por uma memória flash³, e projetar processadores que consuma menos energia no modo doze (modo de espera).

Por outro lado, várias situações têm contribuído para o aumento do consumo da energia nas unidades moveis, cada vez mais se tem aumentado a frequência de trabalho do processador das unidades moveis, o que aumenta a taxa de consumo de energia. Além disso, a presença de partes móveis na unidade móvel também leva a um aumento da taxa de consumo energia.

O grande desafio é projetar todo o software de um computador móvel considerando o consumo de energia, por exemplo, tarefas do sistema operacional como escalonadores de processadores e outros dispositivos, protocolos de comunicação e aplicações.

4.3. Software versus Computação Móvel

Pode-se dizer que a computação móvel é um caso especial de sistemas distribuídos, onde problemas de comunicação e desconexão são constantes e a topologia do ambiente é dinâmica. Logo, todos os problemas existentes e já resolvidos em sistemas distribuídos devem ser no mínimo repensados na computação móvel. O objetivo é procurar identificar o que continua valido, o que deve ser mudado e o que deve ser renovado. Seguindo este raciocínio a lista de problema em computação móvel é extensa, a grande maioria dos problemas ainda é assunto de pesquisa e os problemas acima mencionados são apenas uma pequena amostra dessa área extremamente vasta.

4.3.1. Serviços de Informação

Devido às diferenças estruturais de um sistema móvel, assim como às variações de tráfego, o ambiente de operação do usuário passa a ser altamente dinâmico. Tais fatos levam a necessidade do projeto de aplicações, com a capacidade de interoperabilidade ao longo de diferentes ambientes de acesso sem fio, pontos-chaves no projeto de tais projetos são: capacidade de identificação das condições do ambiente, adaptabilidade do modo de apresentação das informações em tais condições e continuidade da prestação do serviço ao longo de mudanças fronteiriças (*handoffs*). O que torna a continuidade da prestação dos serviços necessária a capacidade de comunicação de diferentes servidores. Imaginando uma arquitetura cliente/servidor poderíamos dizer que o serviço deve ter autonomia de escolha dos dados a transmitir baseado nas condições de tráfego de sua área de abrangência, assim como o cliente deve ser capaz de se adaptar a tais condições, no entanto, certas aplicações podem necessitar de dados completos independente das condições do sistema (por exemplo, imagens médicas), o que torna necessário também a capacidade de negociação da apresentação dos dados entre a parte cliente e a servidora da aplicação.

A negociação pela qualidade do serviço leva a questão da tarifação destes. As aplicações prestadoras de serviços de informação sem fio devem ser capazes de cobrar do usuário o custo associado ao serviço prestado. Esquemas adequados de tarifação envolvem questões de dimensionamento e de processamento em tempo real. O dinamismo e a variabilidade dos serviços prestados exige estruturas mais dinâmicas do sistema de tarifação.

4.3.2. Gerência de Dados

O principal aspecto no projeto de um sistema de arquivos para usuários móveis é o tratamento de operações no modo “desconectado” [22, 23, 24]. Neste caso, quando o usuário se reconecta com a rede fixa, as modificações que foram feitas em arquivos durante o modo desconectado, devem ser enviadas para o servidor apropriado.

Algumas das questões a serem analisadas são: que arquivos devem ser trazidos para a memória do computador móvel antes de haver a desconexão, como é feita a atualização no servidor das cópias dos arquivos modificados localmente, etc. Dois outros aspectos que devem ser levados em consideração são: a minimização de operações síncronas; e o grau de consistência que deve ser mantido entre a cópia de um arquivo no servidor e no computador móvel [25].

As restrições no consumo de energia por parte do computador móvel, tem levado ao desenvolvimento de trabalhos em diferentes áreas, tais como: gerencia de dados e sistemas operacionais. Na área de gerencia de dados, alguns dos problemas estudados são: otimização de consultas à banco de dados [26], organização de dados que são enviados para vários usuários dentro de uma macrocélula [27], alocação e replicação de dados entre um computador móvel e fixo [28, 29], outras questões relacionado com o impacto da mobilidade na gerencia de dados são discutidas em [30, 31, 32].

Na área de sistemas operacionais, o problema de minimizar o consumo de energia é fundamental, uma das questões mais importantes é como o estado do sistema deve ser salvo periodicamente para prevenir uma perda do estado no caso de uma falta de energia [33]. Além deste problema, sistemas operacionais para PDAs (por exemplo) devem tratar questões como o uso de tecnologias que tem latência, largura de banda, características de conectividade e custos diferentes para acessar dispositivos e serviços dependentes da localização[34].

Num ambiente de comunicação móvel, a questão de comunicação entre processos é critica devido às limitações na largura de banda da comunicação sem fio e da potência.

4.3.2. Protocolos para Suporte

Nos próximos anos, o número de computadores móveis ligados a Internet deve aumentar muito, exigindo um suporte eficiente à mobilidade que será fundamental no desempenho de toda a rede [35], os protocolos de comunicação têm uma parcela imensa de responsabilidade nessas tarefas. Dentro da comunidade da Internet e de outras organizações como o IEEE, existem vários grupos de trabalho discutindo, projetando e fazendo propostas de protocolos de comunicação para sistemas de computação móvel, esta é uma área muito ativa e, em vários pontos, não existe uma abordagem a ser escolhida.

Uma arquitetura de redes de computadores define um conjunto de camadas e protocolos. No caso de redes WWAN, a arquitetura adotada é a TCP/IP, da qual mostra-se uma visão simplificada na Tabela 4.a. É importante considerar que os protocolos dessa arquitetura não foram projetados para ambiente de redes sem fio, pelo qual possuem características particulares que serão discutidas nesta seção

Tabela 4.a. - Camadas da arquitetura TCP/IP e alguns protocolos usados.

Camadas	Protocolos
Aplicação	SMTP, Telnet, FTP, http, DNS, SNMP
Transporte	TCP, UDP
Rede	IP, IP Móvel, ICMP, IPX, AppleTalk
Enlace	Família IEEE 802, PPP
Física	Adaptador de rede

A seguir veremos com detalhes algumas das camadas da arquitetura TCP/IP e as características que devem ser levadas em consideração na comunicação móvel.

Camada de Enlace: A Camada de enlace é responsável pelo estabelecimento do enlace é responsável pelo estabelecimento do enlace e seu gerenciamento. Por ser a camada mais perto do meio físico deve-se considerar no projeto de protocolos as características de um enlace de comunicação sem fio: largura de banda menor, confiabilidade mais baixa e alta taxa de erro.

Efeitos da comunicação devido à mobilidade afetam o projeto de protocolos de enlace. Mudanças na posição do usuário afetam a taxa sinal/ruído. O uso de técnicas de compressão de dados permite um maior aproveitamento do canal de comunicação, porém acarretam um *overhead* de processamento nas duas extremidades do enlace que se traduz num consumo de energia [36]. Outro requisito é o uso de técnicas de criptografia na comunicação devido a confidencialidade. Temos ainda, problemas relacionados com técnicas de detecção de colisão como as usadas no protocolo CSMA/CD devem ser substituídas por técnicas que evitem colisão.

Camada de Rede: Computadores na arquitetura TCP/IP usada na Internet possuem um endereço IP que determina o roteamento de pacotes a serem entregues a um destinatário, por trás desse conceito esta o fato que os computadores são fixos, e o endereço determina a localização de um computador em relação aos restantes da rede. No entanto, em caso de computadores móveis, isto não é válido, já que a localização de uma unidade móvel muda, se o endereço associado como o computador móvel permanece o mesmo, independente de sua localização, então o endereço não pode ser usado para rotear pacotes IP. Foram abordadas várias estratégias para resolver o problema, uma delas é que o computador móvel possua um endereço em função da sua posição, então todas as outras entidades (computadores, processos, aplicações, roteadores, etc) em contato com esse computador precisam ser informados de mudanças de endereço, no caso de redes com muitos computadores móveis esta estratégia possui sérios problemas de desempenho, visto que uma grande quantidade de informação deve ser difundida na rede para notificar todos os elementos dos novos endereços dos computadores. Uma outra estratégia baseia-se no conceito *home base* de um computador móvel, ou seja, todo computador móvel possui uma estação base responsável pelo redirecionamento de suas mensagens, neste caso, toda vez que um computador deseja enviar pacotes para um computador móvel, basta que o pacote seja enviado para a sua *home base* que se encarregará de redirecionar o pacote para o endereço físico onde se encontra o computador móvel no momento, nesta abordagem, toda vez que o computador móvel alterar seu ponto de conexão na rede, é necessário informar a sua estação base da sua localização.

Esta solução está sendo implementada pelo protocolo IP Móvel, o qual se baseia no protocolo IPv4, no entanto um grupo de trabalho do IETF (*Internet Engineering Task Force*) está adaptando este protocolo para poder trabalhar com a versão mais nova do protocolo IP (IPv6).

Camada de Transporte: Um dos objetivos iniciais de considerar o aspecto da mobilidade na camada de rede é para que a camada de transporte não sofra modificações, no entanto, um estudo apresentado em [37] mostra que conexões TCP ativas usando IP Móvel na camada de rede apresentam problemas de desempenho, como atrasos e perdas de pacotes.

O protocolo TCP assume que o meio de transmissão é confiável e perdas de pacotes são causadas por congestionamento. Nesse caso, a entidade de transporte deve diminuir o fluxo de mensagens na rede assim que a perda de um pacote seja detectada [38]. Na comunicação sem fio, os pacotes são perdidos geralmente por erros e perdas no canal de comunicação, logo, a estratégia usada no protocolo TCP, não é válida e deve ser revista. Existem duas estratégias que foram propostas: TCP-Indireto [39] e modificação na camada de rede [40].

Camada de Aplicação: A camada mais alta na hierarquia é a camada de aplicação. Dependendo do protocolo de transporte usado (por exemplo, confiável ou não) os protocolos de aplicação não precisam se preocupar com questões como correção de erro, retransmissão e controle de fluxo. No entanto, a mobilidade introduz novos requisitos que devem ser oferecidos pelos protocolos às aplicações: configuração automática, descoberta de serviços, supervisão do enlace e estado do ambiente [36].

Estes requisitos formam um conjunto de serviços *middleware* que facilitam o uso de certas aplicações em ambientes de computação móvel, por exemplo, um computador móvel pode ter que ser reconfigurado diferentemente em cada ponto de acesso dependendo das características do ambiente com outro servidor de DNS e um novo endereço IP. Em particular esses problemas estão sendo resolvidos por: *Dynamic Host Configuration Protocol* [41,42] e *Service Location Protocol* [43].

Um dos aspectos mais importantes no projeto de serviços *middleware* é a incorporação dos fatores que afetam o projeto de sistemas de computação: a mobilidade e o consumo de energia, estes fatores são dinâmicos e podem afetar o comportamento da aplicação. O exemplo mais simples é a necessidade de aplicações WEB adaptarem a apresentação gráfica em função da largura de banda disponível. A computação móvel introduz mais variabilidade nesta situação e reforça o fato de aplicações, como as que usam multimídia, detectarem e agirem nos parâmetros usados pela conexão num dado momento, como largura de banda do enlace, taxa de erro e tempo de resposta. Outros parâmetros como custo e segurança podem ter um comportamento variável e dificultar o uso da aplicação.

4.3.3. Algoritmos Distribuídos na Computação Móvel

Normalmente, há uma dificuldade em se executar diretamente algoritmos distribuídos clássicos num ambiente de computação móvel. Isso se deve ao fato de que tais algoritmos não consideram a mobilidade nem a restrição de recursos desses computadores, por essa razão é necessário aplicar outros princípios de projeto de algoritmos distribuídos [44].

Alguns dos algoritmos distribuídos que tem sido estudado recentemente para a computação móvel são: *definição de mecanismos de ordenação de eventos, propagação de informação em uma rede comunicação, controle de concorrência, coordenação entre processos e comunicação em grupos (multicasting)*.

Bancos de dados também são influenciados pela presença de usuários moveis, novos paradigmas de transação devem ser desenvolvidos de forma a tratar usuários que se movimentam e se desconectam durante a realização de uma transação. Deve-se criar mecanismos, como, por exemplo, uso de *cache* e manutenção da consistência de dados, para o tratamento de consultas quando a unidade móvel se encontra desconectada da rede comunicação. Deve-se criar consultas que sejam otimizadas visando a economia de energia e não a quantidade de informação transmitida.

Esta postura tem levado ao desenvolvimento de esquemas de processamento que permitam a migração de tarefas que consomem grande quantidade de energia, de unidade moveis a estações fixas, com o resultado retornado posteriormente para unidade móvel. Normalmente, isto tem sido feito através de agentes móveis. Também têm sido desenvolvidas técnicas para tratamento de falta de energia na unidade móvel, o que permite que dados críticos existentes na memória principal possam ser deslocados para uma região de memória estática quando vai acabar a energia disponível. Este é um caso típico de projeto de sistema considerando a utilização de hardware e software simultaneamente (hardware/software co-design).

Para mostrar quais os aspectos que devem ser considerados nos projetos de algoritmos distribuídos na computação móvel, criamos a Tabela 4.b. que relaciona o agente motivador e o tema que deve ser discutido. Que em síntese faz um sumário dos principais fatores que afetam o projeto de algoritmos.

Tabela 4.b. - Fatores *versus* Questões.

Fator	Questão a ser considerada
Mobilidade	?? A topologia do sistema é dinâmica
Conservação de energia	?? Deve ser um requisito de projeto de hardware quanto de software
Características do meio de comunicação	?? Largura de banda limitada; ?? Altas taxas de bits errados e sinal-ruído.
Custo de comunicação	?? Custo por localizar a unidade móvel + Custo comunicação que é depende das características de enlace sem fio num determinado momento; ?? Transmissão consome mais energia que recepção; ?? Tarifação do meio normalmente é função do tempo da conexão e não do número de mensagens transmitidas.
Modo típico de operação	?? Modo “doze” para economizar energia; ?? Ao receber uma mensagem o computador móvel entra no modo normal de operação.
Conexão com a rede fixa	?? Depende do cliente (aplicação): conectado, conectado às vezes ou tipicamente desconectado; ?? As desconexões são mais freqüentes do que na rede fixa.
Escalabilidade	?? Distância entre os clientes (processos ou nodos) é totalmente variável; ?? Algoritmos que funcionam para poucos clientes devem funcionar para um número arbitrário de clientes.
Configuração dos clientes	?? Geralmente são heterogêneos com capacidade e recursos diferentes; ?? Comparadas com as estações de rede fixa, as unidades móveis possuem menos capacidade e recursos.

4.4. Resumo do Capítulo

Este capítulo apresentou de maneira abrangente os sistemas celulares suas tecnologias e serviços disponíveis, juntamente com os fatores relacionados ao desenvolvimento de projetos de hardware e software, tais como: mobilidade, variação nas condições de comunicação e gerenciamento de energia. Problemas relacionados com a computação móvel também foram abordados, entre eles: serviços de informação, gerência de dados, protocolos para suporte e algoritmos distribuídos. O próximo capítulo tem como objetivo identificar as principais funções e estruturas de provisão de QoS.

Capítulo 5

Qualidade de Serviço

O objetivo desse capítulo é caracterizar os serviços e identificar as principais funções e estruturas de provisão de qualidade de serviço (*QoS - Quality of Service*). Desta forma espera-se facilitar a compreensão das simulações efetuadas utilizando os critérios de QoS aos cenários identificados. Inicialmente, abordamos o conceito de QoS descrevendo como se pode garantir a qualidade de serviços e suas aplicações. Como a QoS é diferenciada nas redes fixas e móveis, estas características serão tratadas distintamente em seções posteriores.

A QoS é fundamental para diversos tipos de aplicações, sobretudo as multimídias, pois é desejável que haja um sincronismo entre as diversas mídias [93]. A exemplo a vídeo-conferência, o som deve estar sincronizado com a imagem, ou seja, deve haver sincronia entre o som das palavras e os movimentos dos lábios das pessoas.

Os atuais avanços tecnológicos na área de redes de computadores têm propiciado um crescente aumento das taxas de transmissão, tornando possível falar mais amplamente em qualidade de serviço, pois tradicionalmente o que se tem em redes é o modelo do melhor esforço (*best-effort*) [6], no qual a grande preocupação reside em entregar os dados corretamente para a outra entidade participante da comunicação.

Outras aplicações podem negociar com a rede a probabilidade de queda da conexão, não se preocupando com a velocidade de transmissão nem com o sincronismo, mas desejando-se que a conexão tenha um certo grau de confiabilidade. Isto é interessante principalmente em redes móveis sem fio nas quais as quedas de conexões são frequentes.

Pode-se notar, a partir desses exemplos que o estudo de QoS depende do contexto no qual se está inserido, ou seja, além de se analisar os requisitos de QoS em redes de computadores, deve ser levado em consideração se a rede é fixa, móvel sem fio, ou um misto dos dois tipos de redes, o que é mais provável quando se tem uma parte móvel envolvida.

Como se pode perceber, a definição de QoS é um tanto subjetivo [84], podendo variar de aplicação para aplicação de acordo com as características desejadas para o serviço oferecido pela rede. Porém, de alguma forma, esta subjetividade inicial deve ser traduzida em parâmetros a serem negociados entre as aplicações e a rede. A seguir iremos discutir como garantir a QoS desejada.

5.1. Garantia de QoS

A proposta da garantia de QoS determina que a aplicação deve ter qualidade de serviço em certa situação, mas não se explicita o que significa “ter qualidade de serviço”.

Aproveitando-se da subjetividade do termo qualidade de serviço [84], muitos a utilizam indistintamente e sem contextualizá-lo adequadamente. Para se falar em QoS deve-se definir parâmetros de qualidade, por meio dos quais será possível verificar se a QoS está sendo atendida ou não para uma aplicação.

Os parâmetros de QoS devem ser escolhidos de acordo com o ambiente usado, pois devido às suas características particulares, redes fixas e redes móveis sem fio necessitam negociar parâmetros diferentes. Por exemplo, a probabilidade de queda da conexão durante um é um parâmetro que não faz nenhum sentido em uma rede fixa.

A QoS pode ser analisada sob o ponto de vista de várias camadas da pilha de protocolos, mas é sob o ponto de vista da aplicação que sua importância é primordial, pois é neste ponto em que se encontra o usuário, que é quem vai escolher os requisitos de QoS e vai perceber os efeitos do seu cumprimento ou não.

Qualidade de serviço é uma maneira de se expressar às características desejadas pela aplicação por meio de um conjunto de parâmetros pré-definidos [88]. Ou ainda, qualidade de serviço é todo um conjunto de características que a aplicação, ou o usuário, pode negociar com a "rede" a fim de atender suas necessidades Porém, os parâmetros de QoS do ponto de vista da aplicação são mais subjetivos, pois tratam, por exemplo, se a imagem em uma videoconferência deve ser em cor ou em preto-e-branco, se o som deve ter qualidade de telefone ou de CD, se pode haver ou não interrupção da comunicação durante um *handoff*, entre outras coisas. Deste modo, deve existir um mecanismo que traduza tais desejos em parâmetros de mais baixo nível os quais possam ser negociados pelas entidades de rede, tais como taxa de transmissão ou atraso. Portanto, QoS é algo que deve ser tratado por todo o sistema [90].

Após a escolha dos valores dos parâmetros de QoS (veja a Tabela 5.a) pela aplicação e sua posterior tradução em parâmetros que a rede possa “compreender”, deve-se efetivamente iniciar a negociação com os elementos na rede envolvidos na comunicação para verificar se é possível prover a qualidade desejada. Por exemplo, um usuário escolhe o nome do arquivo e a qualidade tipo telefone na interface da aplicação; a aplicação traduz os requisitos em parâmetros (sample rate=8kHz, 8bps); a requisição é passada ao SO que determina se pode processar um byte a cada 125 micro seg.; a camada de transporte verifica se alcança 64 kbits/s; o servidor verifica se pode processar um byte a cada 125 micro seg.; o controlador de disco verifica se processa 64kbits/s; a sessão é estabelecida.

Tabela 5.a. – Exemplos de parâmetros de QoS em diferentes níveis.

Especificação do Usuário	Parâmetros da Aplicação	Parâmetros do Sistema
Qualidade de Telefone	Sample rate = 8 KHz Bits per sample = 8	Bit rate = 64 kbits/s (sem compressão), 16kbits/s (com comp.) Perda de pacotes < 1%
CD de Audio	Sample rate = 44.1 kHz Bits per sample = 16 2 canais	Bit rate = 1.41 Mbits/s (sem compressão), 128 kbits/s (com comp.) Delay < 150 ms Perda de pacotes < 1% Skew entre 2 canais de áudio < 11 micros
NTSC Vídeo	30 frames/s Resolução: 720x480	Bit rate = 200 Mbits/s (sem compressão), 2 Mbits/s (com comp.)
HDTV	30 frames/s Resolução: 1440x1152	Bit rate = 800 Mbits/s (sem compressão), 10 Mbits/s (com comp.)

Uma vez que a negociação com os outros elementos de rede tenha sido bem sucedida, é preciso que os recursos necessários à garantia da QoS sejam reservados ao longo do caminho da comunicação. Durante a comunicação deve-se monitorar também a QoS e, caso seja violada, tomar as providências necessárias. Além disso é preciso que à medida que a aplicação necessite de novos níveis de QoS durante a comunicação, isto possa ser feito, através de renegociações.

Como a QoS é garantida às aplicações por meio de reserva de recursos ao longo da rede, como banda de passagem (*bandwidth*), *buffers* nos roteadores, ciclos de CPU, entre outros, torna-se importante que não haja desperdício de recursos, pois deste modo, pode-se atender a mais usuários simultaneamente. Esta racionalidade no uso dos recursos também é importante devido ao fato de que o usuário estará eventualmente pagando pela sua utilização e, portanto, deve-se procurar minimizar os custos.

De maneira geral, o que se deve ter é uma arquitetura de gerenciamento de QoS que obtenha e mantenha os requisitos de QoS especificados no contrato com a aplicação, provendo as funções de tradução de parâmetros, negociação, controle de admissão, reserva de recursos, monitoramento e renegociação. A aplicação seletiva de tais funções permitirá que se tenha vários níveis de garantia de QoS (classes de serviço). A seguir, alguns exemplos de aplicações e seus requisitos de QoS.

5.2. Exemplos de Aplicações e seus Requisitos

Para tornar mais clara como a especificação da QoS pode ser utilizada em benefício das aplicações, abaixo estão alguns exemplos de aplicações com suas características de comunicação e que tipo de garantias lhes seriam úteis [84]:

Áudio: neste tipo de aplicação se ocorrerem perdas de alguns pacotes de maneira espaçada o usuário ainda conseguirá entender o que foi dito, porém se ocorrem grandes perdas em rajadas o entendimento será mais prejudicado. Uma garantia de que as perdas para esta conexão, se existirem, serão suaves (não serão em rajadas) é um bom requisito de QoS a ser negociado, sendo que isso pode ser conseguido ao se utilizar alguma política que leve este fator em consideração ao se descartar dados de conexões quando necessário.

Videoconferência: neste tipo de aplicação é desejável que a atraso dos pacotes não seja muito grande, e mais importante, que a variação neste atraso seja próxima de constante. Com isso pode haver a sincronia entre voz e imagem, mesmo se ocorrerem algumas perdas de dados.

FTP – File Transfer Protocol: esta é uma aplicação que não tolera perdas de dados. Quanto ao atraso ou a variação do atraso, estes parâmetros não são muito importantes, pois o principal objetivo é entregar os dados corretamente e em ordem.

5.3. QoS em Redes de Computadores

Nas próximas seções tratamos das garantias de QoS em redes móveis sem fio, redes fixa e rede 802.11. Cada uma dessas redes tem características específicas para o tratamento da questão de QoS, pois cada ambiente possui variáveis distintas a serem consideradas.

5.3.1. Redes Fixas

A garantia de QoS em redes fixas, apesar de ser uma tarefa complexa, é bem mais simples do que em redes móveis sem fio, pois o ambiente tem menos variáveis a serem consideradas e apresenta características mais estáveis, como altas velocidades, poucas oscilações na qualidade do canal de comunicação, não há restrições quanto ao consumo de energia. Isto significa que, por exemplo, se uma conexão é estabelecida, esta, muito provavelmente, não será interrompida devido a erros no canal de comunicação ou falta de energia.

Os principais problemas para se garantir QoS em uma rede fixa tradicional são o custo de manter as informações sobre os recursos disponíveis dos enlaces da rede, e o roteamento com QoS [88].

As informações sobre o estado da rede devem ser mantidas o mais atualizado possível, pois as escolhas de rotas são feitas baseadas nos estados dos enlaces da rede. Mas, para que isso seja feito, não se deve gastar demasiadamente recursos com informações de controle sobre a qualidade disponível nos enlaces.

Parâmetros de QoS: A escolha dos valores dos parâmetros de QoS pode se dar pelo uso de classes de serviço, que já implicariam em determinados valores a serem negociados com a camada de transporte. Deste modo, a aplicação somente necessita escolher a classe de serviço que a atenda, sem se preocupar diretamente com quais parâmetros estão sendo negociados. Pode-se ter classes que variam desde *best-effort* até aquelas com severas restrições de tempo e largura de banda. As aplicações multimídias se encaixariam nesta última classe, enquanto uma aplicação que necessita apenas de um certo tempo de resposta a uma consulta em um servidor ficaria em uma classe intermediária, e, por exemplo, uma aplicação de correio eletrônico estaria na classe de *best-effort*.

Os parâmetros de roteamento com QoS devem ser providos de maneira eficiente, para que os requisitos de QoS da camada de transporte possam ser fornecidos, porém, sem consumir muito tempo de processamento. Ou seja, deseja-se rotas com a qualidade necessária em tempo hábil. Outros parâmetros de QoS que podemos considerar para roteamento em ambientes móveis são [114]:

- ?? Tempo de resposta necessário a comunicação, considerando aplicações multimídia, e não multimídia.
- ?? Requisitos mínimos dos componentes físicos: roteadores, placas de rede, computadores móveis, computadores fixos, etc.
- ?? Qualidade do canal de comunicação tanto na rede fixa, que da suporte a rede móvel, quanto nesta.
- ?? Probabilidade de queda do canal de comunicação.

Para se garantir QoS à aplicação, os parâmetros que geralmente são negociados entre a aplicação e o transporte são a vazão, o atraso de transmissão e a variação do atraso e taxa de erros [84]. Estes são os chamados parâmetros de tráfego e adicionalmente pode-se ter os chamados parâmetros de conexão, tal como o custo [84].

1) A vazão (*throughput*) é a quantidade de dados transferidos de um ponto a outro de um sistema (rede de comunicações), em um determinado tempo, sendo que neste caso pode-se inserir alguma informação sobre a taxa de pico e sobre a duração de rajadas na transmissão.

2) O atraso de transmissão é o tempo que o dado gasta para ir do transmissor ao receptor, sendo causado pela latência do meio e pelo tempo gasto em buffers intermediários.

3) A variação do atraso corresponde à especificação dos atrasos máximo e mínimo permitido, e é necessário em aplicações de áudio, em que o atraso pode até ser alto, mas os pacotes devem chegar sem grandes atrasos entre eles, pois senão o som pode tornar-se incompreensível para o usuário.

4) A taxa de erros da transmissão permite à aplicação determinar probabilidades de perda de pacotes devido à falta de *buffers* ou erros de transmissão, sendo que o serviço oferecido por aplicações de videoconferência pode tolerar uma certa perda de pacotes, porém, o serviço oferecido por aplicações como correio eletrônico ou transferência de arquivos não pode tolerar perda alguma.

Após a escolha dos parâmetros negociados entre a aplicação e o transporte, é necessário que se tenha algum tipo de garantia de que esses parâmetros sejam atendidos. Estes tipos de garantias de QoS serão vistos a seguir.

Tipos de garantias: Os tipos de garantias que a camada de transporte pode prover são a garantia determinística, a garantia estatística *best-effort* [93].

1) Uma garantia determinística é aquela que garante que todos os dados serão transmitidos e entregues dentro dos limites estabelecidos pelos valores de parâmetros desejados e negociados. É a solução mais cara para QoS, pois os recursos de rede devem ser reservados para o pior caso.

2) Uma garantia estatística é a que garante que determinado percentual dos dados transmitidos e entregues estejam dentro dos valores de parâmetros de QoS desejados. Esta é uma solução que permite um maior compartilhamento dos recursos na rede, pois a aplicação não precisa monopolizar os recursos.

3) O *best-effort* é o modo atual de transferência de dados, que pode ser usado nas novas redes com suporte a QoS pelas aplicações que não utilizam este conceito, possibilitando deste modo que tais aplicações funcionem nestas novas redes sem necessitar de nenhuma alteração.

Reação a Violações de QoS: Ao ser detectado que a QoS inicialmente acordada entre os participantes da comunicação não está sendo atendida ou está sendo desrespeitada alguma medida deve ser tomada pela gerência de QoS.

Se a aplicação, por exemplo, está colocando na rede a uma taxa superior àquela combinada, pode-se tomar como providência o descarte de alguns pacotes desta aplicação, somente sendo entregues ao seu destino na taxa antes combinada.

Porém, se o problema da violação da QoS for ocasionado por algum problema na rede, a solução é a renegociação dos parâmetros ou a ativação de filtros, que, por exemplo, podem comprimir os dados de um fluxo, retirar a cor de um vídeo ou reduzir a qualidade de um *stream* de áudio. As soluções acima podem ser implementadas basicamente de duas maneiras:

?? A aplicação é notificada da diminuição da QoS e esperase que esta tome as devidas medidas para a adaptação ao novo nível de qualidade da rede.

?? A própria rede se encarrega de adaptar a conexão ao novo nível de qualidade sem notificar a aplicação, sendo que neste caso a aplicação ao iniciar a conexão informa um perfil de QoS desejado. Ou seja, a aplicação informa quais os valores limites para os parâmetros de QoS que são aceitáveis e/ou como reagir às mudanças de QoS.

Com a segunda opção, descrita acima, a implementação da rede torna-se mais complexa, porém a adaptação às variações de QoS fica transparente às aplicações e tornam a programação mais simples, uma vez que não é necessário se preocupar com esse problema. Desta forma, também fica mais fácil o uso de QoS com aplicações antigas que foram projetadas sem levar isto em consideração.

O importante é ressaltar que as renegociações nem sempre são causadas devido a violações de QoS, estas podem ser originadas também pelo desejo da aplicação de mudar os parâmetros negociados quando do início da conexão. Por exemplo, em uma transmissão de vídeo comprimido a demanda por largura de banda varia ao longo do tempo, e é interessante que se possa variar o quanto se está reservado para a conexão juntamente com essa demanda. Desta forma, não há desperdício de recursos como haveria se fosse reservada a taxa de pico para a transmissão de todo o vídeo.

Trabalhos Relacionados: Entre as soluções existentes ou ainda em desenvolvimento para a garantia de QoS em redes fixas estão: ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) que, apesar de ser uma solução ainda cara e ter problemas de interoperabilidade com o ambiente Internet, vem crescendo no ambiente de telecomunicações. Possui uma camada chamada AAL (*ATM Adaptation Layer*) que é responsável por adaptar as diferentes classes de serviços, com diferentes características de tráfego e requisitos de sistema, à camada ATM.

Os tipos de tráfego que podem ser manipulados são [93]:

- CBR (*Constant Bit Rate*): o usuário declara a taxa requerida, que é garantida. Exemplos de aplicações são áudio e vídeo não comprimidos;
- VBR (*Variable Bit Rate*): são declaradas as taxas média e máxima. Pode ser de tempo-real, como em uma videoconferência; ou não tempo-real, como vídeo comprimido;
- ABR (*Avaliable Bit Rate*): a fonte dos dados age de acordo com as informações vindas da rede, alterando os parâmetros da conexão se a rede permitir;
- UBR (*Unspecified Bit Rate*): é equivalente ao tráfego de melhor esforço (*best-effort*) oferecido pela Internet.

O gerenciamento do tráfego da rede é feito através da técnica de *Virtual Path* (VP, Caminho Virtual), na qual, vários *Virtual Channels* (VC, Canais Virtuais) podem ser agrupados em um VP, o que facilita o controle de admissão de conexões e o controle de tráfego, por exemplo. Somente há necessidade de se manipular o tráfego do VP inteiro, não há necessidade de se controlar cada VC separadamente. Ao se alterar as características de tráfego de um VP, as características de todos os VC's nele contidos são também alteradas.

- RSVP (*ReSerVation Protocol*) que é uma proposta de um protocolo de reserva de recursos na Internet. A reserva é feita a cada nodo ao longo do caminho da conexão, sendo que o roteamento não é feito pelo RSVP e sim pelo protocolo de roteamento existente na rede. Os pedidos de reserva de recursos são iniciados pelos receptores de dados e estes pedidos se propagam até a fonte de dados, com isso pode-se acomodar grandes grupos de usuários na rede [93, 85].
- Esta solução tem tomado vulto ultimamente, pois diversos fabricantes de equipamentos começam a lançar produtos com suporte ao RSVP e até mesmo API (*Application Programming Interface*) para o desenvolvimento de aplicações RSVP compatíveis. Além de que, neste caso não existem problemas de interoperabilidade, uma vez que pertencendo ao ambiente Internet, tanto novas, como antigas aplicações são suportadas.
- DIFFSERV (*Differentiated Services*) que é uma proposta mais recente de arquitetura para implementar diferenciação de serviços de forma escalonável na Internet. Existe um esquema de classificação e marcação dos pacotes para receberem um tratamento particular a cada nodo ao longo do caminho, sendo que operações mais sofisticadas de classificação, marcação entre outras somente precisam ser feitas nos limites da rede ou hosts [80].
- Em Goulart et. al. [90], este propõe que um método para negociação dinâmica de QoS e renegociação nos nodos intermediários da rede, sendo que o esquema oferece uma maior prioridade aos pedidos de renegociação do que aos de novas conexões e permite o uso sem desperdício dos recursos reservados.

- o Em Loureiro et. al. [92] são apresentados alguns resultados da implementação do método proposto em [90] sobre o protocolo RSVP.

5.3.2. Redes Móveis Sem Fio

A garantia de QoS em redes móveis sem fio, é mais complexa que nas redes fixas, pois o ambiente tem mais variáveis a serem consideradas e apresenta características menos estáveis, como baixas velocidades, oscilações na qualidade do canal de comunicação, restrições quanto ao consumo de energia. Isto significa que, por exemplo, se uma conexão é estabelecida, esta, poderá ser interrompida devido a erros no canal de comunicação ou falta de energia.

Apesar dos problemas mencionados anteriormente, cada vez mais se tem difundido o uso de redes de computadores móveis sem fio, graças, sobretudo à evolução tecnológica que tem permitido a fabricação de equipamentos menores, mais leves e com baterias de maior duração [64].

Além disso, atualmente as velocidades de transmissão no enlace sem fio estão aumentando e possibilitando o uso de aplicações que requerem certas características de QoS ao mesmo tempo em que se está em movimento.

Nesta movimentação é que ocasiona grandes problemas para se garantir uma QoS para a aplicação, pois ao se movimentar de uma região para outra, além de transferir às reservas de recursos de uma célula para outra, deve-se também cuidar do roteamento dos pacotes.

Neste ambiente sem fio surgem novos problemas até então inexistentes nas redes fixas, sendo eles a restrição no consumo de energia, a alta taxa de erro no enlace sem fio e a grande variabilidade da qualidade deste enlace que provoca desconexões frequentes e a própria mobilidade. Portanto com outros aspectos da QoS a considerar.

Nas próximas seções são apresentadas algumas características que devem ser levadas em consideração para o entendimento da QoS em redes móveis sem fio.

Topologia da Rede Móvel: A rede móvel é formada por células, sendo cada uma servida por uma estação rádio base (ERB) que estão conectadas em uma rede fixa de alta velocidade. Pode-se ainda definir regiões na rede móvel, formadas por conjuntos de células que são controladas por uma estação móvel hierárquico acima das ERB's. Isto possibilita que se tenha informações mais detalhadas disponíveis dentro destas regiões, como por exemplo, informações sobre a movimentação do usuário e tráfego.

Para suportar maiores taxas de transmissão aos usuários o diâmetro das células geralmente é da ordem de 100 m para ambientes externos, como um campus, ou da ordem de 10 m para ambientes internos. No primeiro caso tem-se microcélulas e no último picocélulas [87].

Quanto menor o tamanho das células, mais freqüente é a ocorrência de *handoffs*, portanto, esta é uma questão que deve ser bem estudada quando da implantação da rede, analisando as características locais de tráfego e movimentação de usuários [87].

Parâmetros de QoS: Necessita-se, portanto, de novos parâmetros de QoS para lidar com estes novos aspectos que se somam aos já existentes nas redes fixas, aumentando ainda mais a complexidade da tarefa de se estabelecer, monitorar e gerenciar comunicações com qualidade de serviço.

Entre estes novos parâmetros pode-se ter o tempo máximo de interrupção da conexão ou a freqüência máxima de interrupção da conexão. Com o primeiro parâmetro pode-se evitar um longo período sem conexão na percepção do usuário, e com o outro parâmetro pode-se evitar, por exemplo, que o áudio em uma aplicação seja interrompido várias vezes seguidas [84].

As interrupções na conexão ocorrem principalmente devido aos *handoffs* que são consequência direta da mobilidade do usuário e são mais frequentes quanto menor a área de cobertura das células ou maior for a mobilidade do usuário. Devido a isso, pode-se especificar um novo parâmetro de QoS que é a probabilidade de comunicação sem interrupção, podendo-se ter um *handoff* suave (sem interrupção), através do envio dos dados para a aplicação nas duas células envolvidas no processo, ou seja, para a célula de onde o usuário está saindo e para a sua nova célula; ou ainda, enviando os dados para a região provável onde o usuário pode se mover. Neste último cenário é necessário manter informações sobre a movimentação do usuário, o que pode ser uma tarefa complexa, dependendo da arquitetura da rede móvel. Um problema adicional é que se a variabilidade da qualidade do enlace sem fio for muito alta, pode ser difícil garantir a QoS desejada.

Neste último cenário, pode-se utilizar parâmetros que especifiquem como as perdas de dados podem ocorrer, ou em rajadas ou distribuídas ao longo do tempo. Deste modo, pode-se saber quais conexões devem ser mantidas e quais devem ser desfeitas em uma impossibilidade momentânea de transmissão, que pode ocorrer ao se entrar em uma célula onde os recursos não são suficientes para atender a todos os usuários em seu interior.

Tipos de Garantias e Reação a Violações de QoS: Os tipos de garantias para as aplicações podem ser os mesmos que são oferecidos no ambiente fixo e já citados anteriormente (determinística, estatística, melhor esforço).

Neste ambiente tão instável, em relação às redes fixas, o monitoramento da QoS torna-se ainda mais complexo, devendo-se lembrar que este não deve tomar muito da já limitada banda de passagem e deve ter informações sobre o estado da rede.

A reação às violações da QoS podem ser tomadas ou pela própria aplicação que é avisada disso antes, ou pela própria rede, da mesma forma que nas redes fixas. No primeiro caso tem-se uma renegociação que pode ocorrer também por vontade do usuário de mudar os seus parâmetros de qualidade de serviço e, no último a rede é que se adapta às mudanças sem nada notificar à aplicação, sendo um processo transparente.

A adaptabilidade da rede sem o conhecimento da aplicação é um tema que tem sido estudado ultimamente e apresenta vantagens sobre a notificação à aplicação de variações da QoS, apesar de introduzir uma maior complexidade na rede. As vantagens são a maior facilidade de programação, com conseqüente redução do tempo de desenvolvimento de aplicações com requisitos de QoS, e o menor tempo gasto na adaptabilidade, pois a aplicação não participa deste processo, com a rede se adaptando de acordo com limites de valores por ela antes determinados.

No caso de redes de computadores móveis sem fio, além dos recursos que são alocados normalmente em redes fixas, como banda passante, buffers, a maneira de alocação dos recursos é importante, pois se pode fazer reservas nas células vizinhas para se ter um handoff mais suave ou diminuir a probabilidade de queda de conexões.

Trabalhos relacionados: Na área de redes móveis sem fio as soluções para se garantir QoS ainda não estão consolidadas. Existem muitos estudos e propostas de algoritmos, parâmetros de QoS que devem ser considerados e até mesmas arquiteturas para se garantir QoS, porém, muitas das propostas ainda são somente protótipos ou analisam apenas alguns aspectos do problema.

As soluções apresentadas tratam cada parte da conexão em um ambiente como este como duas conexões separadas. Uma na parte móvel e outra na parte fixa, cada uma com parâmetros de QoS negociados diferentemente e procurando reduzir o impacto da mobilidade em cima do roteamento na parte fixa.

Alguns exemplos são:

Em Campbell [86] é apresentada uma plataforma para o suporte de QoS de aplicações multimídias numa rede móvel sem fio e, em Angin et. al. [79] descreve se um conjunto de ferramentas para um middleware para computação móvel que habilita serviços móveis adaptativos nesta plataforma.

Em S. Singh [97] são identificados dois parâmetros de QoS únicos ao ambiente móvel (probabilidade de comunicação sem interrupção e degradação suave do serviço em situações de sobrecarga). Para a garantia dos parâmetros propostos define-se a arquitetura hierárquica da figura 5.a na qual o SH (*Supervisor Host*) tem uma visão do que ocorre na região por ele controlada, exercendo as tarefas de CAC (controle de admissão de conexões) e a alocação de recursos entre outras.

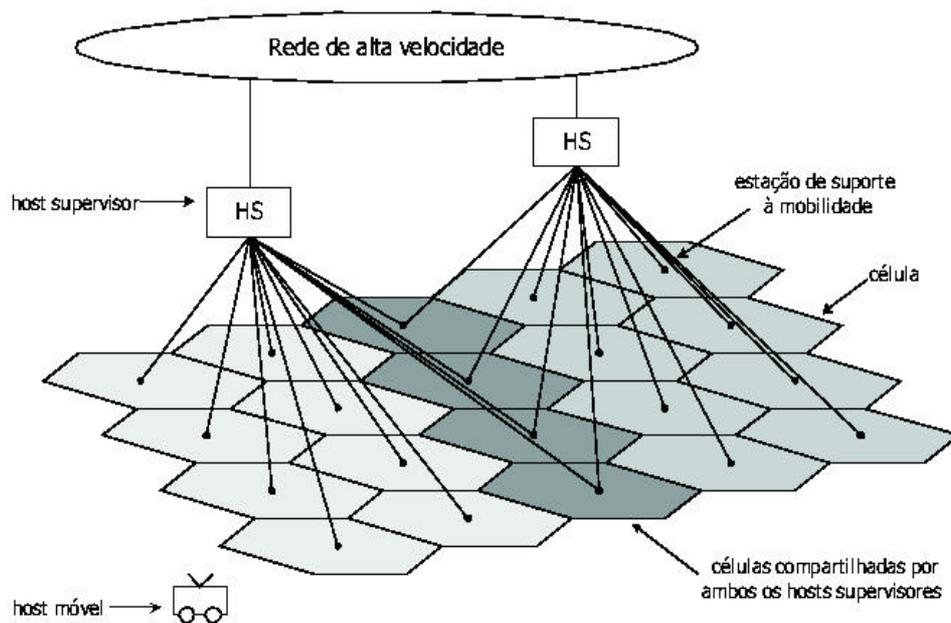


Figura 5.a - Visão lógica da arquitetura proposta em [97].

Vimos nas seções anteriores algumas das características da QoS em redes fixas e redes móveis sem fio, tais como: parâmetros de qualidade de serviço, tipos de garantias, reação a violações de QoS e trabalhos que estão sendo desenvolvidos nestas áreas.

5.3.3. Redes 802.11

Devido ao fato deste ser o padrão utilizado na comunicação sem fio das redes com o tipo de topologia infra-estruturada ou *ad hoc*. Esta seção apresenta as características de qualidade de serviço em redes padrão 802.11.

Dentre os diferentes padrões e tecnologias de rede sem-fio que surgiram nos últimos anos para acomodar a vasta gama de aplicações e coberturas em diferentes tipos de ambientes (residências, edifícios, cidades). Foram concebidas as redes celulares de larga cobertura, passando pelas redes locais sem fio (WLANs), até as redes PANs (Personal Area Networks) usadas na comunicação de equipamentos pessoais, como PDAs, câmeras digitais, computadores e celulares.

Neste cenário, o padrão 802.11 [99] obteve um enorme sucesso. Estima-se um total de 2 milhões de placas de rede 802.11 instaladas até o final de 2002. Pela sua diversidade em termos de capacidade e cobertura e devido ao baixo custo de dispositivos de rede, o padrão 802.11 tem sido usado nos mais variados cenários, desde redes de acesso para redes celulares 2G/3G, como solução para redes residências e de campus (redes locais e metropolitanas), ou mesmo em enlaces ponto-a-ponto de média distância em soluções corporativas. Esta vasta aplicabilidade do padrão 802.11 tem sido chave do seu sucesso comercial.

O padrão 802.11 especifica um protocolo de controle de acesso ao meio (MAC) e diferentes camadas físicas de enlace e velocidades diversas. Avanços recentes nas técnicas de processamento de sinais permitem que se atinjam taxas de transmissão de até 54 Mbps no padrão 802.11a [100] que opera com banda de 5GHz. Apesar do aumento contínuo da capacidade dessas redes, as especificações atuais oferecem um suporte limitado a Qualidade de Serviço (QoS). Mais especificamente, a camada MAC do 802.11 oferece, em uma configuração com infra-estrutura, um método centralizado de controle de acesso baseado em consulta, onde os pontos de acesso são responsáveis pela alocação de banda passante e pela limitação da latência das estações. O desempenho deste modo de acesso está diretamente ligado aos algoritmos de consulta utilizados, os quais buscam um compromisso entre a eficiência na utilização da banda passante e a capacidade de oferecer garantias estritas de desempenho aos tráfegos sensíveis ao tempo. Numa configuração de rede sem infra-estrutura, ou ad hoc, o controle distribuído de acesso ao meio tem como objetivo fornecer um compartilhamento justo de banda passante, no qual todas as estações recebem o mesmo tratamento independente dos requisitos de QoS. Assim, redes ad hoc que utilizam o padrão 802.11 seguem o modelo de serviços de melhor esforço, não oferecendo nenhuma garantia de QoS ao tráfego transportado.

Protocolos e mecanismos específicos ao 802.11, usados em diferentes abordagens e arquiteturas, foram propostos com o objetivo de prover QoS em redes ad hoc [101, 102, 103]. No final de 2000, o grupo tarefa 802.11e iniciou o estudo e especificação de mecanismos de suporte a QoS na camada MAC, seguindo a abordagem adotada pela arquitetura de diferenciação de serviços do IETF.

Alguns problemas inerentes às redes sem-fio, como compartilhamento do meio, a necessidade de mecanismos de controle de erro nó-a-nó e os problemas de terminal escondido e exposto, dificultavam a provisão de QoS nestas redes.

Outros dois problemas graves constituem desafios a serem resolvidos para a adoção de redes sem fio 802.11, eles são: a polémica levantada sobre problemas de saúde ocasionados pela radiação eletromagnética em alta frequência [67] e o consumo de energia por parte dos equipamentos portáteis. Não há conclusões definitivas sobre os malefícios ocasionados pela transmissão de redes sem fio. O consumo de energia torna-se um problema à medida que:

- ?? Não se prevê aumento significativo em armazenagem de energia até o ano de 2005 (um Máximo de 20% em relação às capacidades das baterias em 1995) [14];
- ?? Os computadores móveis sem fios possuem cada vez mais dispositivos, com processadores mais potentes, aumentando o consumo de energia destes dispositivos.

Para aliviar a demanda de energia, o padrão prevê mecanismos de economia de energia, em que os dispositivos de transmissão passam a consumir significativamente menos (estã*stand-by*).

5.4. Resumo do Capítulo

Neste capítulo caracterizamos os serviços e identificamos as principais funções e estruturas de provisão de qualidade de serviço (*QoS - Quality of Service*). Apresentamos o conceito de QoS, descrevemos como se pode garantir a QoS e as suas aplicações, mostramos exemplos e requisitos para se garantir QoS. Apresentamos também, como a QoS é diferenciada nas redes fixas, móveis e redes 802.11 juntamente com as suas características. O capítulo 6 tratará especificamente da QoS em redes 802.11.

Capítulo 6

QoS e o Padrão IEEE 802.11

Este capítulo apresenta as técnicas utilizadas para se obter QoS e os problemas em se manter QoS relacionados ao padrão IEEE 802.11. Estes problemas de provisão de QoS serão ensaiados com auxílio de uma ferramenta de simulação, para análise e conclusões.

Atualmente, tentativas de implementar serviços diferenciados na Internet tem sido feitas. Todavia, em redes sem fio, onde a banda passante é limitada e as condições do canal são extremamente variáveis, serviços IP diferenciados não podem operar bem sem o apoio de camadas inferiores. No caso do 802.11 vamos discutir algumas técnicas aplicáveis na camada MAC para obter diferenciação de serviço.

As mais importantes finalidades da camada MAC numa rede sem fio são: controlar o acesso aos canais, manter a QoS e prover segurança [78]. Links sem fio têm características muito diferentes das redes comuns, como grande perda de pacotes e grande variação do atraso de pacotes. Além disso, as características do link não são constantes e variam no tempo e no espaço. A mobilidade dos usuários traz novos problemas, como por exemplo, o fato dos pacotes terem de mudar quando o usuário troca seu ponto de conexão. Os usuários gostariam de obter a mesma QoS depois de um evento destes, o que implica no mesmo ponto de acesso suportar QoS e suportar uma reserva de banda, o que nem sempre é verdade e pode causar problemas na conexão.

Com intuito de apresentar os problemas de provisão de QoS em redes 802.11, primeiramente vemos as técnicas para a provisão de QoS no padrão 802.11, e numa segunda parte, os problemas relacionados à utilização do TCP em redes 802.11.

6.1. Técnicas de QoS em 802.11

A seção apresenta como as técnicas de QoS podem ser divididas levando-se em consideração a diferenciação de serviços. Segundo este critério podemos dividir as técnicas de QoS em técnicas baseadas em DCF e em PCF. Os conceitos de DCF e PCF abordamos anteriormente, na seção 3.6..

De acordo com o DCF uma estação precisa ouvir o meio antes de iniciar a transmissão de um pacote. Se o meio estiver livre por um intervalo de tempo maior que o intervalo chamado DIFS (*Distributed Interframe Space*), então a estação transmite o pacote. Caso contrário à transmissão é cancelada e começa o processo de *backoff*². Assim que o *backoff* expire a estação está autorizada a acessar o meio. Obviamente ocorre uma colisão se duas ou mais estações começam a transmitir ao mesmo tempo. Ao contrário das redes com fio (Exemplo: CSMA/CD), em um ambiente sem fio não é possível utilizar detecção de colisão, uma confirmação positiva (ACK) é usada para notificar a estação que enviou o pacote de que este foi recebido. A transmissão da confirmação é iniciada após o intervalo de tempo chamado SIFS (*Short Interframe Space*) que ocorre no fim da recepção do frame anterior. Como o SIFS por definição é menor que o DIFS, a estação transmissora assume que não conseguiu transmitir seus dados e tenta retransmiti-los. Se após uma retransmissão de frame (bem ou mal sucedida) uma estação ainda possuir *frames* a serem enviados, ela precisa entrar em um novo processo de *backoff*.

A diferenciação de serviços pode ser obtida pela modificação dos parâmetros que definem como uma estação acessa o meio. O protocolo MAC do 802.11 oferece dois tipos de serviço: Assíncrono e Síncrono (ou Sem Contenção). Estes tipos de serviços podem ser providos sobre uma variedade de camadas físicas e sobre diferentes taxas de transmissão [78]. O tipo de serviço assíncrono está sempre disponível enquanto o síncrono é opcional. O serviço assíncrono é fornecido pela DCF (*Distributed Coordination Function*), que implementa o sistema de acesso básico do protocolo MAC IEEE 802.11, que também é conhecido como CSMA/CA.

² *Backoff* – é processo no qual o transmissor fica “escutando” o meio, para verificar se o mesmo, está livre.

O serviço sem contenção é fornecido pelo PCF (*Point Coordination Function*) que implementa basicamente um sistema *depooling*. O PCF usa um *Point Coordinator*, que geralmente é o ponto de acesso, que ciclicamente faz *pooling* das estações dando a elas a oportunidade de transmitir. A implementação não é obrigatória, além disso, o PCF utiliza-se do serviço assíncrono provido pelo PCF. As técnicas podem ser baseadas nos parâmetros que são utilizados para se atingir a diferenciação de serviços. Dentro de cada método de acesso, diferentes técnicas foram utilizadas para realizar a diferenciação. Estas técnicas são descritas a seguir.

6.2. Técnicas Baseadas em Acesso com Contenção

No método de acesso com contenção (DCF), as técnicas pode ser classificadas de acordo com o parâmetro utilizado para alcançar a diferenciação. Dentre esses parâmetros, destaca-se o DIFS, o *backoff*, o tamanho do pacote e o RTS/CTS.

6.2.1. Função de Aumento de Backoff

A função de aumento de *backoff*, também chamada de agendamento de justiça distribuída [127], consiste na escolha de intervalos diferenciados para as janelas de contenção de cada estação. Desta forma, estações com pesos mais baixos terão intervalos mais longos do que estações com pesos maiores, recebendo assim menor prioridade. O cálculo destes intervalos varia de acordo com objetivo que se quer alcançar. Em [101], o intervalo de *backoff* calculado é proporcional ao tamanho do pacote a ser enviado e inversamente proporcional ao peso atribuído ao fluxo ao qual pertence o pacote.

Este cálculo faz com que as estações de maior peso (maior prioridade) escolham tempos de *backoff* menores. A inclusão do tamanho do pacote faz com que o compartilhamento da banda passante ponderado pelo peso seja justo. Este esquema implementa, de maneira distribuída, o mecanismo de escalonamento *fair-queuing*.

Na proposta de Aad et al. [102], os intervalos da janela de contenção são calculados de acordo com a prioridade estabelecida para cada estação. Em Kanodia et al. [103], ou autores propõem um esquema onde a prioridade do próximo pacote a ser enviado é incluída nos pacotes RTS, CTS, Dados e ACK. Assim, cada estação mantém uma tabela com os pacotes presentes na cabeça da fila de todas as estações que disputam o meio. O intervalo da janela de contenção é então calculado por cada estação de acordo com a posição (*rank*) do seu pacote, em termos de prioridade, nessa tabela. Bensaou et al. [108] apresentam um esquema de *backoff* diferente no qual cada estação ajusta a sua janela de contenção de acordo com a estimativa do seu compartilhamento do meio e do compartilhamento das outras estações. A idéia é permitir que todas as estações transmitam normalmente se a carga total das estações for menor do que a capacidade do meio, mas, caso isso não ocorra, cada estação deve obter um acesso ao meio proporcional a um índice de compartilhamento previamente estabelecido no controle admissão. As duas últimas técnicas são aproximadas no estabelecimento da diferenciação [108].

6.2.2. Variação de DIFS

Diferentes propostas surgiram nos últimos anos para permitir a diferenciação de serviços entre as estações no padrão 802.11. Esta diferenciação se traduz por diferentes prioridades no acesso ao meio dadas as estações que disputam a banda passante oferecida pela rede [128]. A técnica baseada no DIFS consiste em configurar as estações com valores diferentes para DIFS de acordo com a prioridade que se queira atribuir a cada uma delas. Quanto maior o DIFS, menor a prioridade de acesso ao meio recebe uma estação. É o mesmo que dizer, as estações de maior prioridade tem uma maior probabilidade de acesso ao meio. Para evitar a disputa entre estações com prioridades diferentes, garantindo que não haja colisões entre elas, o tamanho máximo da janela de contenção de uma estação com prioridade j somada ao $DIFS_j$ pode ser escolhida de tal forma que nunca seja maior do que $DIFS_{j+1}$ (menor prioridade) [128]. Isto garante que uma estação de maior prioridade nunca tenha quadros a enviar quando uma estação de menor prioridade inicia sua transmissão e faz com que estações menos prioritárias nunca transmitam em caso de haver pacotes a serem enviados pelas estações mais prioritárias.

6.2.3. Tamanho Máximo de Frame

Este método consiste em limitar o tamanho máximo do frame usado por cada estação [129]. Podemos desconsiderar os pacotes maiores do que o limite, configurar a estação para não gerar pacotes maiores do que o limite, ou fragmentar pacotes. Assim, pacotes maiores levarão a taxas mais altas de transmissão para certos fluxos de dados do que para outros. Na técnica baseada no tamanho dos pacotes, estações com maior prioridade utilizam pacotes de maior tamanho nas suas transmissões. Isto garante um maior tempo de utilização do meio cada vez que uma estação ganha a disputa [129].

6.2.4. DCF Estendido

A janela de contenção é um intervalo de tempo que precede a transmissão de um frame [102]. Durante esta "janela" de tempo, as várias estações da rede competem pelo acesso; mas as estações não podem tentar apoderar-se do meio exatamente após o fim da transmissão de um pacote de dados. Para evitar colisões, o protocolo MAC requer que cada estação espere primeiro por um período aleatório.

O DCF Estendido envolve o uso da janela de contenção como uma forma de dar mais prioridade a algumas estações do que a outras. Dando uma janela de contenção pequena para aquelas estações que devem ter maior prioridade do que a outras garante que, na maioria dos casos, as estações com maior prioridade transmitirão na frente das estações com menor prioridade.

6.2.5. Blackburst

O principal objetivo do *blackburst* é minimizar o atraso no tráfego de tempo real [130]. Ao contrário dos outros esquemas, este exige alguns requisitos das estações de alta prioridade, tais como:

1. Devem ser capazes de acessar o meio em intervalos constantes de tempo. t_{sch} .
2. Devem ser capazes de lançar interferência no meio por um período de tempo.

Quando uma estação de alta prioridade quer enviar um frame, ela ouve o meio e verifica se este fica vago por um período igual a PIFS e envia seu frame. Se o meio estiver ocupado, a estação espera o meio ficar vago por um período igual a PIFS e entra em um período de contenda de *blackburst* [130]. Neste período, a estação transmite interferência para o meio. O tempo de duração do *blackburst* é determinado pelo tempo que a estação esperou para acessar o meio, e é calculado como um número de *slots* de *blackburst*. Após transmitir a interferência, a estação ouve o meio por um curto intervalo de tempo (menor que um *slot* de *blackburst*) para verificar se outra estação está mandando um *blackburst* maior, o que implicaria que a outra estação estará esperando há mais tempo pelo meio, portanto deve acessá-lo primeiro. Se o meio estiver vago, a estação enviará o seu frame, caso contrário esperará que o meio se esvazie e entrará em um novo período de *blackburst*.

Com o uso de *slots* de tempo, e impondo um tamanho máximo de *frame* para *frames* de dados, pode-se garantir que cada período de *blackburst* terá um único vencedor. Após a transmissão com sucesso de um frame, a estação agenda o envio de outro frame para t_{sch} segundos no futuro. Isto tem o efeito de sincronizar as rajadas de dados, e as estações passam a compartilhar o meio em um esquema TDM (*Time Division Multiplex*). Desta forma, até que uma estação de baixa prioridade interfira na ordem ocorrerá pouco *blackbursting*. Estações de baixa prioridade usam o CSMA/CA comum como método de acesso [130].

As técnicas vistas até agora, foram técnicas baseadas no método de acesso com contenção (DCF), a seguir veremos as técnicas baseadas no método de acesso sem contenção (PCF).

6.3. Técnicas Baseadas em Acesso sem Contenção

No método de acesso sem contenção (PCF), as técnicas podem ser classificadas de acordo com o mecanismo empregado: baseadas na consulta e em alocação distribuída de *slots* de tempo.

As técnicas baseadas em consulta consistem no emprego de mecanismos de consultas às estações que levam em conta a prioridade destas estações [127]. Nas técnicas baseadas em alocação de *slots*, o ponto de acesso determina, também através de consulta, os *slots* de tempo atribuídos a cada uma das estações. Uma vez feita esta atribuição, esta técnica não necessita mais da intervenção do ponto de acesso. As técnicas baseadas nesse tipo de acesso são função de coordenação híbrida e TDM distribuído.

6.3.1. Função de Coordenação Híbrida

No método de acesso sem contenção (PCF), algumas técnicas foram propostas para atingir a diferenciação. Como este método exige a presença de um ponto de acesso, a função de diferenciação recai neste elemento.

A Função de Coordenação Híbrida usa o Ponto de Acesso (AP) como um diretor de tráfego [127]. Este usa um sistema de *pooling* como mecanismo de controle de tráfego. O AP envia pacotes de *pooling* para uma sucessão de estações na rede. Cada estação pode responder com um pacote que contém não apenas a resposta, mas também o dado que precisa ser transmitido, mas primeiro este precisa receber o pacote de *pooling*. Ao invés de fazer *pooling* por *round-robin*, ou outro esquema sem base em pesos, o AP estabelece uma prioridade de *pooling* baseada na prioridade de QoS [127].

6.3.2. TDM Distribuído

Este mecanismo usa o *pooling* da mesma forma que o PCF padrão, porém com esta técnica podemos obter algo semelhante a um TDM. Basta dividirmos o tempo em *slots* e informar a cada estação em quais *slots* ela pode transmitir. Desta forma é requerida pouca intervenção do AP [127]. Algumas destas técnicas podem ser implementadas com poucas modificações no protocolo, outras necessitam de uma implementação mais elaborada.

Quanto à organização das seções vimos descritas de forma sucinta, as técnicas de provisão de QoS no padrão IEEE 802.11. Estas técnicas podem ser usadas para atingir a diferenciação de serviços em rede sem fio baseadas neste protocolo. A seguir os problemas de injustiça, instabilidade, terminal escondido e terminal exposto que ocorrem na utilização destas técnicas.

6.4. Problemas Relacionados à Provisão de QoS

A seção aborda a interação dos mecanismos de controle de erro da camada MAC, o problema da injustiça no compartilhamento da banda passante disponível e a instabilidade provocada com o tráfego TCP. Os problemas de terminal escondido e terminal exposto são abordados.

6.4.1. Problema de Injustiça

O uso do MAC 802.11 quando a carga de tráfego é alta pode causar diversos problemas de injustiça no acesso ao meio e de instabilidade em conexões TCP [107].

O DFC tem como objetivo fornecer um compartilhamento justo da banda passante, no qual todas as estações recebem o mesmo tratamento. Porém, vários problemas relacionados à injustiça no acesso ao meio, principalmente em redes de múltiplos saltos, são descritos em [101, 107, 108, 109]. Esses problemas não estão relacionados à injustiça do TCP causada por diferenças do tempo de ida e volta [109].

Tang e Gerla [107] descobriram que a interação entre o TCP e os temporizadores de *backoff* da camada MAC em redes de múltiplos saltos causam injustiça devido à captura do meio, ou seja, algumas estações obtêm acesso ao meio enquanto outras não. Quando duas estações estão competindo pelo meio e uma é repelida pelos temporizadores, o *backoff* exponencial binário utilizado no MAC e no TCP torna a situação cada vez pior para a estação que não ganhou o acesso ao meio [107], em outras palavras, a última estação que transmitiu com sucesso é sempre privilegiada [108]. Bensaou et al. [108] e Vaidya et al. [101] também descrevem o problema de injustiça causado pelo *backoff* exponencial binário.

Xu e Saadawi [109] apresentam um problema do TCP em redes 802.11 com múltiplos saltos chamado injustiça de um salto. Esse problema ocorre devido às falhas de alcançabilidade de um nó em relação ao seu nó adjacente. Caso o nó adjacente seja um nó intermediário, este nó irá descartar todos os pacotes que já estão na fila de transmissão e indicará uma falha de rota. Até que uma rota seja encontrada, nenhum pacote poderá ser enviado, o que provavelmente irá causar um estouro no temporizador no transmissor da conexão TCP. A falha de roteamento pode ocorrer devido à camada MAC, por causa de colisões e do problema do terminal escondido. Nesse caso, o nó intermediário não pode se comunicar com o vizinho. Uma solução para esse problema é limitar o envio de pacotes sem reconhecimento, ou seja, diminuir o tamanho máximo da janela do transmissor [109].

A instabilidade é outro problema que pode ocorrer no uso das técnicas de provisão de QoS no 802.11, este problema é apresentado na próxima seção.

6.4.2. Problema de Instabilidade

Ao se utilizar o protocolo TCP sobre redes TCP sem fio de múltiplos saltos, pode ocorrer um problema de instabilidade em conexões que se reflete em bandas passantes que variam bastante mesmo quando uma só conexão é aberta e a condição de rede não muda [109].

Através da análise de traços de saída de simulações, Xu e Saadawi [109] descobriram que esse problema também ocorre devido às falhas de alcançabilidade de um nó em relação ao seu nó adjacente. Uma solução para esse problema é limitar o envio de pacotes sem reconhecimento, ou seja, diminuir o tamanho máximo da janela do transmissor [109].

6.4.3. Problema do Terminal Escondido

O problema do terminal escondido é apresentado através do seguinte exemplo: Na Figura 6.b, A e C querem se comunicar com B; onde B esta no raio de alcance de A e C. A estação A esta fora do alcance de C, bem como, C esta fora do alcance A, pois não há interseção entre essas estações. A estação B consegue detectar transmissões das estações A e C, contudo A e C não se conseguem detectar um ao outro; pois A está fora do alcance de C e C está fora do alcance de A. Por isso, quando A envia pacotes para B, mas C não consegue detectar esta transmissão e pensa que o meio está livre. Por este motivo, ocorre uma colisão e conseqüentemente, a informação de A ou de C chega corrompida em B. A e C são chamados estações ou terminais escondidos [131]. Neste caso no CSMA é o emissor que detecta o estado do meio.

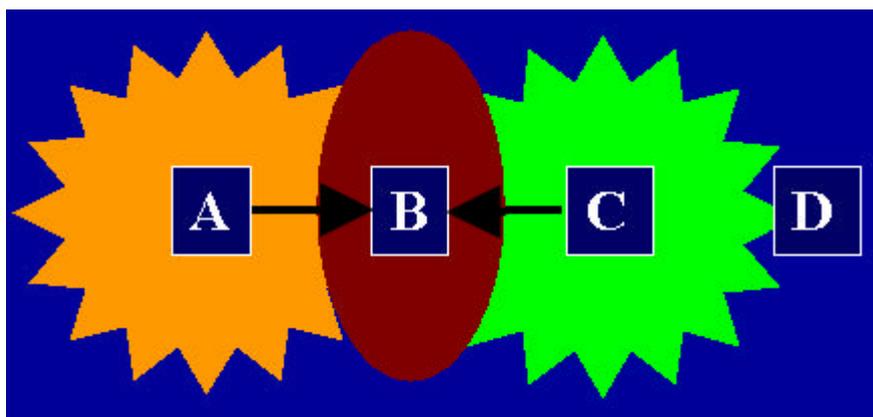


Figura 6.b – Terminal Escondido.

6.4.4. Problema do Terminal Exposto

Para mostrar o problema do terminal exposto iremos utilizar o exemplo vide a Figura 6.c.: B quer se comunicar com A e C quer se comunicar com D; onde B esta no raio de alcance de A e C. Onde B esta fora do alcance de D e D esta fora do alcance de B. Uma estação B manda pacotes a A. A estação C detecta esta transmissão. Seria incorreto concluir que C não poderia transmitir a nenhuma das outras estações só porque detecta a transmissão de B para A. Suponhamos, por exemplo, que C quer enviar pacotes para D. Isto não seria nenhum problema, visto que a transmissão de C para D não irá interferir com a transmissão de B para A.

(Apenas interferia se fosse A a transmitir para B em vez de B transmitir para A). C é chamado uma estação ou terminal exposto [131]. Neste caso no CSMA a atividade do meio é detectada nas vizinhas do emissor.

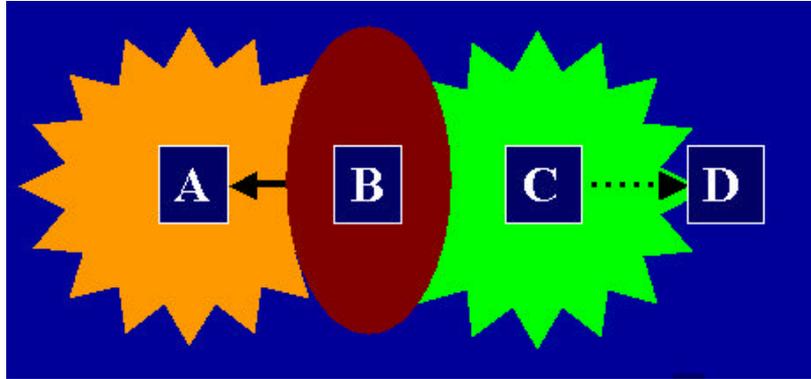


Figura 6.c – Terminal Exposto.

6.5. Resumo do Capítulo

Este capítulo apresentou as técnicas utilizadas para se obter QoS e os problemas em se manter QoS relacionados ao padrão IEEE 802.11. Descreveu respectivamente, os problemas de injustiça e instabilidade e de terminal escondido e exposto que podem ocorrer na utilização das técnicas de provisão de QoS. O próximo capítulo simula estes problemas de provisão de QoS com auxílio de uma ferramenta de simulação, para análise de desempenho e conclusões.

Capítulo 7

Simulações com Cenários Propostos

O objetivo deste capítulo é avaliar e comparar o desempenho via simulação dos problemas relacionados à qualidade de serviços: injustiça, instabilidade e mostrar como a diferenciação dos serviços de QoS melhora o desempenho da utilização da banda, sob a visão de alguns cenários. Para verificar os problemas da injustiça e da instabilidade e o nível de diferenciação oferecido por algumas técnicas apresentadas no capítulo anterior foram utilizadas. Para as avaliações de desempenho utilizamos o software para simulações NetWork Simulator NS [110].

7.1. *Network Simulator*

A pesquisa científica ou a administração de sistemas frequentemente avaliam propostas para melhoria de processos vigentes ou para solução de problemas. A Avaliação de Desempenho de Sistemas oferece técnicas para abordar essa questão [116, 117]. Uma destas abordagens consiste em modelar um determinado sistema, contendo as variáveis de interesse, de forma que este modelo possa ser tratado matematicamente. O tratamento do modelo oferecerá diversos resultados de acordo com as situações desejadas. As variáveis de interesse num sistema de redes de computadores podem ser: o atraso fim-a-fim, pacotes perdidos, vazão, dentre outras.

A solução do modelo pode ser desenvolvida através de métodos analíticos ou através de simulação. O método analítico, ou algébrico, implica em posse de profundo conhecimento matemático, mas confere exatidão. Dependendo do modelo matemático, a resolução torna-se extenuante, o que obriga a simplificações do modelo, o que pode resultar em imperfeições na representação do sistema. O método por simulação, por outro lado, permite a confecção de modelos complexos e resolução destes com menor desenvolvimento matemático. Para isso, emprega-se poder computacional para as iterações numéricas requeridas implicando, a depender dos resultados desejados, grande consumo computacional.

Um dos simuladores que tem sido utilizado com grande frequência em pesquisas em redes de computadores é o *Network Simulator - NS* [118]. Concebido em 1989 a partir de uma variação do *REAL Network Simulator* [119], um projeto da Cornell University, EUA, o ns tem evoluído desde então, sempre com suporte e apoio de várias organizações durante períodos. Atualmente o desenvolvimento do ns é suportado pelo DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, EUA) através do projeto SAMAN [120] e pela NSF (*National Science Foundation*, EUA) através do projeto CONSER [121], em colaboração com outros pesquisadores como o centro ICIR [122]. O simulador já recebeu apoio do Lawrence Berkeley National Laboratory, do Xerox PARC (*Palo Alto Research Center*), da Universidade da Califórnia em Berkeley, Sun Microsystems e também agrega diversos módulos contribuídos por pesquisadores independentes. É um software de código livre e fornecido gratuitamente [118]. Uma lista de discussão é mantida pelos desenvolvedores, onde os pesquisadores de diversas partes do mundo podem trocar idéias e experiências, e também propor correções para o código do simulador, que depois de avaliadas podem ser incorporadas. Estes pesquisadores, oriundos de países como Estados Unidos, Índia, Inglaterra, Itália, Taiwan e também Brasil, contribuem para o valor desta ferramenta.

O ns é um simulador de eventos discretos, focado para o desenvolvimento de pesquisas em redes de computadores. Ele prevê suporte a TCP e variantes do protocolo (*Tahoe, Reno, New Reno, Vegas, etc.*), *multicast*, redes sem fio (*wireless*), roteamento e satélite. Implementa filas de roteamento tipo *droptail*, Diffserv RED [122], *Fair Queueing* (FQ), *Stochastic Fair Queueing* (SFQ), *Class-based Queueing* (CBQ), dentre outras [123].

Tem facilidades de *tracing*, que é a coleta e registro de dados de cada evento da simulação para análise posterior. Possui um visualizador gráfico para animações da simulação (*nam - network animator*), *timers* e escalonadores, modelos para controle de erros e algumas ferramentas matemáticas como gerador de números aleatórios e integrais para cálculos estatísticos. Inclui também uma ferramenta de plotagem, o *xgraph*, e vários tipos de geradores de tráfego.

O ns foi desenvolvido na linguagem orientada a objetos C++, de forma modular. O uso desta linguagem nos módulos confere velocidade e mais praticidade na implementação de protocolos e modificação de classes. A interface com o usuário, configuração, estabelecimento de parâmetros e manipulação de objetos e classes é feita em modo texto, através da linguagem interpretada OTcl [124], que também é orientada a objetos.

7.2. Princípios Básicos de Roteamento

O meio de transmissão via rádio possui diversas características que influenciam a escolha de um protocolo de acesso ao meio adequado. Basicamente temos um meio de transmissão único compartilhado entre diversas estações *half-duplex*, caracterizado por um baixo *delay* de propagação em relação ao tempo de transmissão de um pacote [132].

O papel do roteamento é enviar um pacote de um nó emissor para um nó destino, e depende, para isto, da escolha de uma rota adequada com base numa métrica específica. Com este propósito, alguns (ou todos) nós da rede funcionam como roteadores, recebendo e processando pacotes. Os roteadores tomam decisões com base nas informações que possuem da rede para encaminhar os pacotes para seus respectivos destinos.

Para realizar esta função corretamente, os roteadores trocam informações entre si, de modo a mantê-los a par das rotas disponíveis, e de parte (ou totalidade) da topologia da rede. Inicialmente, os roteadores só possuem conhecimento local, ou seja, conhecem seus próprios endereços e a situação dos enlaces aos quais estão ligados. Através da troca de mensagens, cada roteador constrói seu conhecimento da rede. Este processo continua até que todas as informações relevantes tenham sido obtidas e a rede entre em equilíbrio, quando dizemos que a rede convergiu.

No entanto, este estado de equilíbrio não é uma situação constante, enlaces ou nós inteiros podem sair de funcionamento, fazendo com que os roteadores tenham que tomar novas decisões e estabelecer novas rotas para o encaminhamento de pacotes. Os mecanismos de roteamento devem ser capazes de reestabelecer o equilíbrio da

rede com grande rapidez. A forma com que este processo ocorre na prática depende do protocolo de roteamento implementado nos nós, mas é sempre desejável que o algoritmo de roteamento utilizado seja simples, ou seja, não acarrete em grande *overhead* de processamento. A seguir apresentaremos os protocolos de roteamento utilizados nas simulações.

7.2.1. Dynamic Source Routing (DSR)

O *Dynamic Source Routing* (DSR) [125], determina na origem a rota completa de nodos por onde irão trafegar os pacotes. Esta rota é explicitada no cabeçalho da mensagem, e colocada em seqüência. Se um *host* precisar mudar a rota, isto é determinado dinamicamente pela informação do seu cache e pelo resultado do protocolo de descobrimento de rotas.

O DSR não faz troca periódica de informações de roteamento, pela estação não ser obrigada a transmitir ou receber estas informações, há uma economia de bateria e banda. Adapta-se rapidamente às mudanças causadas pela movimentação dos *hosts*. Assume que a velocidade com que os *hosts* se movem é moderada, com respeito à latência na transmissão dos pacotes. Na forma atual não suporta múltiplos caminhos, que seria uma característica desejável, e tem problemas com a escalabilidade, devido a sua natureza de roteamento *on-demand* [125].

7.2.2. Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV)

O DSDV é um protocolo pró-ativo baseado no mecanismo clássico de roteamento Bellman-Ford, com a eliminação de *loops*. Em cada nó existe uma tabela com todos os possíveis destinos dentro da rede, e o número de saltos até cada um deles [77]. Cada entrada nesta tabela é marcada com um número de seqüência determinado pelo nó destino. Este número tem a função distinguir rotas velhas de rotas novas, evitando a formação de *loops*. Para realizar a atualização o protocolo dispõe de dois tipos de pacotes *full dump*, no qual todas as informações de roteamento são transmitidas, e o pacote incremental, que apenas completa a informação enviada no último *full dump*. Cada *broadcast* de novas rotas inclui o endereço do destino, o número de saltos até o destino, o número de seqüência da informação original sobre

o destino e um número de seqüência para o *broadcast*. Utiliza-se sempre a rota com o número de seqüência mais recente, no caso de duas atualizações terem o mesmo número de seqüência, utiliza-se a rota com menor métrica [77].

7.3. Ambiente de Simulação e Metodologia

As simulações incluem um ambiente de redes sem fio *ad hoc* utilizando protocolos de roteamento DSR e DSVD implementando técnicas de QoS na camada MAC 802.11 através de um modelo de propagação via rádio para solucionar alguns problemas relativos à provisão de QoS nestes ambientes. O *software* utilizado nas simulações foi o NS, veja seção 7.1..

A camada de ligação do simulador implementa o padrão IEEE 802.11 de forma a modelar os nós de contenção para mídias sem fios. Todos os nós comunicam-se com rádios sem fio *half duplex* idênticos; que foram modelados baseados no modelo comercial disponível, o 802.11 WaveLan Wireless que possuem uma largura de banda de 2 Mb/s e a transmissão nominal de 250 m.

Com algumas exceções, escolhemos a maioria dos parâmetros de simulação utilizados por J. Broch et al. [111]. Nas seções posteriores cada uma das simulações tem o seu cenário descrito.

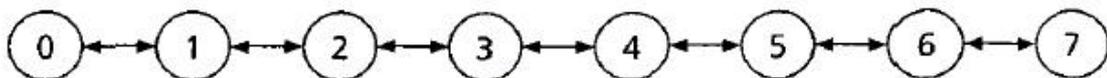


Figura 7.a – Topologia *String*.

A topologia de rede sem fio considerada nas simulações foi a topologia *string*³ [109] com oito nós (0 até 7) como mostrada na Figura 7.a que é um bom exemplo para conectividade de múltiplos saltos. Apenas uma parte dos nodos está envolvida em cada experimento, para os problemas de injustiça e instabilidade foram utilizados quatro nós e uma topologia semelhante foi utilizada para demonstrar a técnica de diferenciação de serviços.

³ Uma topologia *string* é uma rede na qual um nó conecta com outro nó que conecta ao nó seguinte e assim por diante, em uma linha. É assumido que cada nó executa troca de funções entre tráfego *upstream* e *downstream* e no tráfego dentro do próprio nó.

À distância entre cada dois nós vizinhos é de 200 m e cada nó está apenas conectado ao seu nó vizinho. Em outras palavras, apenas aqueles nós entre a linha existente podem se comunicar diretamente. Nas simulações foram mantidas as mesmas distâncias entre os nós. Os nós são estáticos porque não trataremos do problema de falha no link causado pela mobilidade. O objetivo da nossa rede é criar um ambiente onde possamos simular os problemas de provisão de QoS. Neste trabalho utilizamos o tráfego TCP para mostrar os problemas existentes na camada MAC. Assumimos que conexões TCP podem suportar grandes transferências de arquivos. Na próxima seção apresentamos as razões para a utilização do tráfego TCP.

7.4. Por que Tráfego TCP?

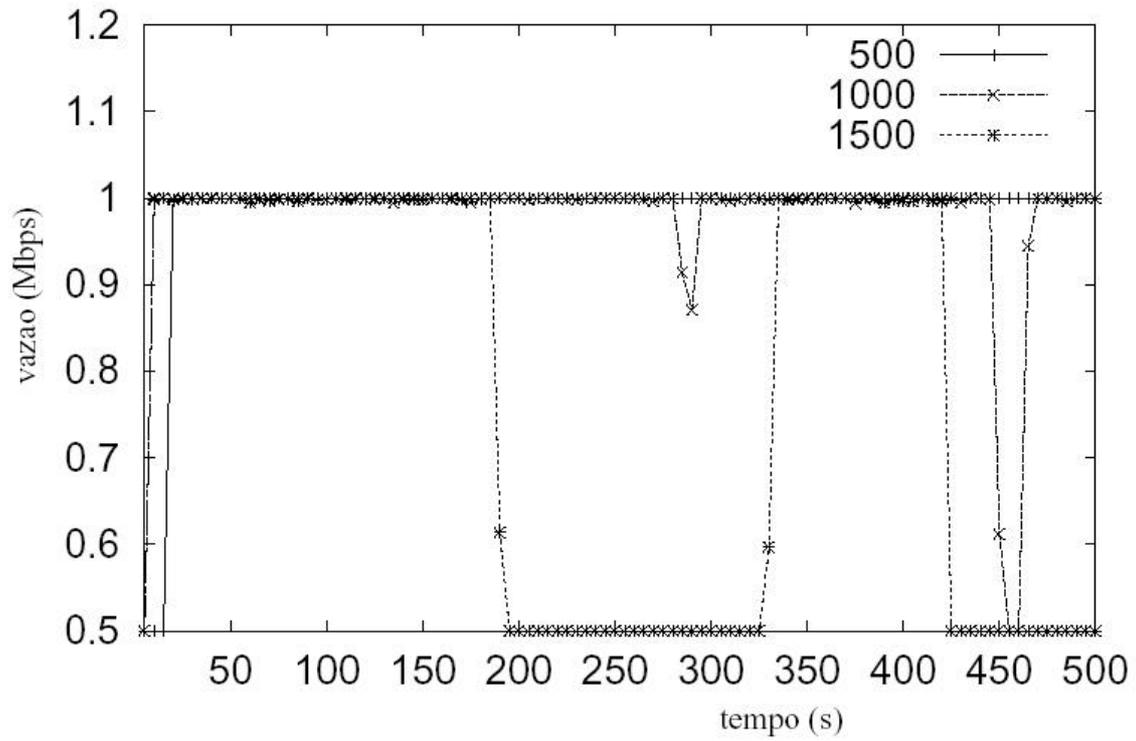
Em primeiro lugar, o TCP (*Transmission Control Protocol*) é o protocolo de transporte mais utilizado atualmente na Internet. Para que estas funções de rede funcionem, o TCP deve ser suportado.

Outro motivo seria que o TCP tem uma outra vantagem importante: ele pode se adaptar às condições da rede e fazer controle de congestionamento. Por esta razão, podemos utilizar este protocolo utilizando toda a banda disponível sem causar congestionamentos. Utilizamos esta característica para examinar o protocolo da camada MAC. Como mencionado anteriormente, o tráfego TCP aumenta os problemas na camada MAC.

7.5. Problemas de Injustiça e Instabilidade

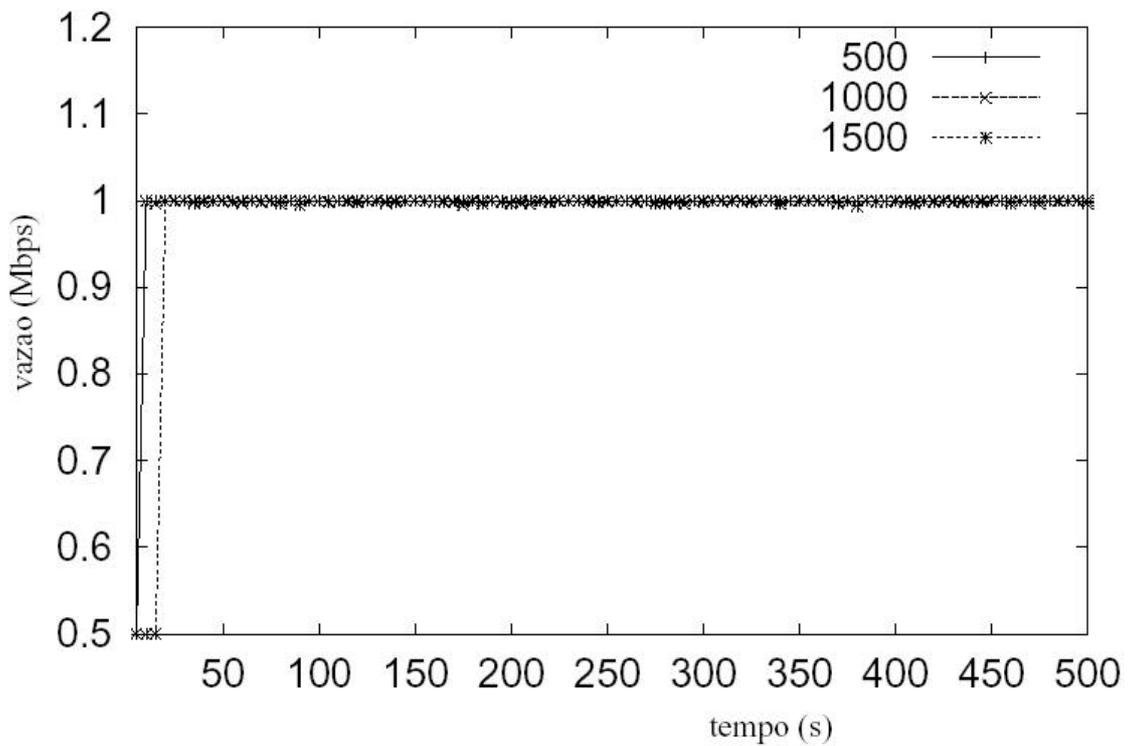
Para que fosse possível identificar uma solução para os problemas de QoS seria necessário criar um ambiente para testes. Os cenários foram escolhidos baseados em ambientes de simulação de redes sem fio [109, 133], para evidenciar os problemas existentes na QoS oferecida pelo 802.11 e serão apresentados a seguir.

DSDV: intervalo 5,0 e cenário 0



(i)

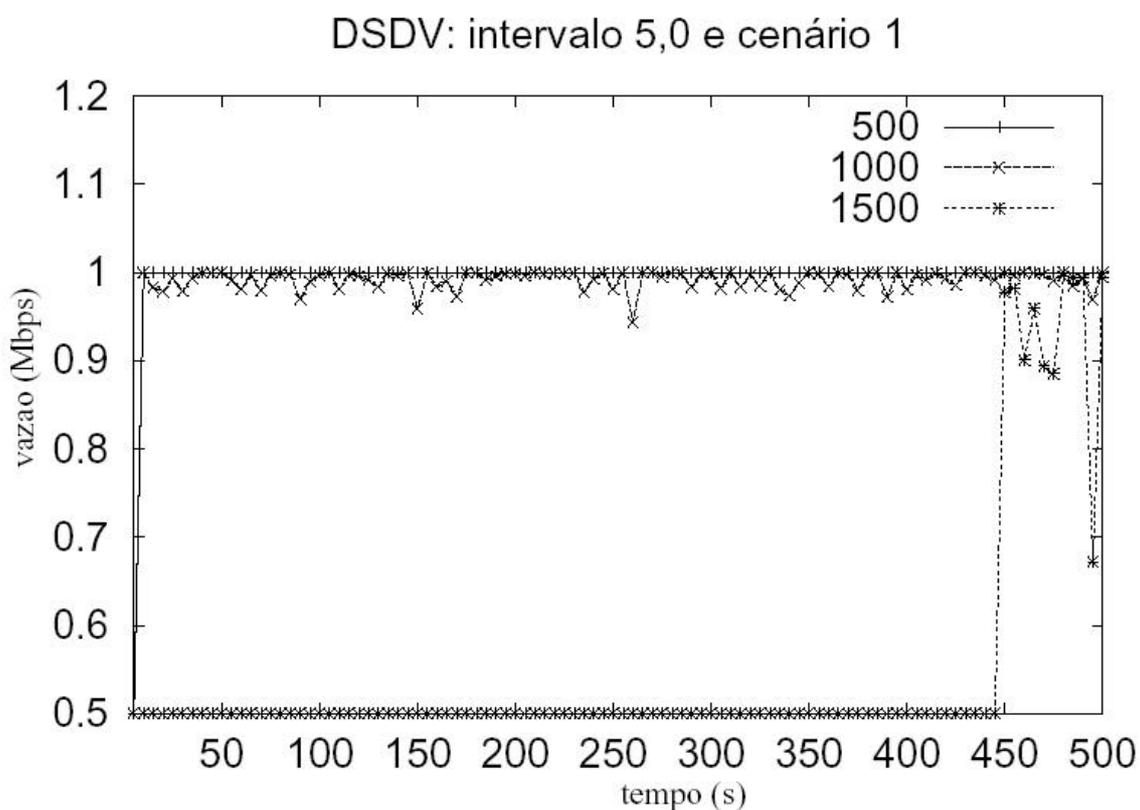
DSR: intervalo 5,0 e cenário 0



(ii)

Figura 7.c – Cenário 0: DSDV (i) e DSR (ii).

Nas Figuras 7.c (i) e 7.c (ii), são apresentados os resultados para o cenário 0. Para os dois protocolos de roteamento, quando a taxa agregada dos fluxos CBR não ultrapassa a capacidade do canal, que de aproximadamente 1,6 Mbps, há justiça no compartilhamento do canal. Para o protocolo DSR, pode -se dizer que há justiça de um modo geral, mesmo que a taxa seja alta. Para o DSDV, de acordo com os traços gerados nas simulações, ocorrem seguidos estouros do temporizador de atualização de rota quando são utilizados os tráfegos CBR de 1000 e 1500 kbps, ou seja, o nó 2 não tem uma rota para transmitir para o nó 3. Com isso, vários pacotes são perdidos até que uma nova rota seja encontrada.



(i)

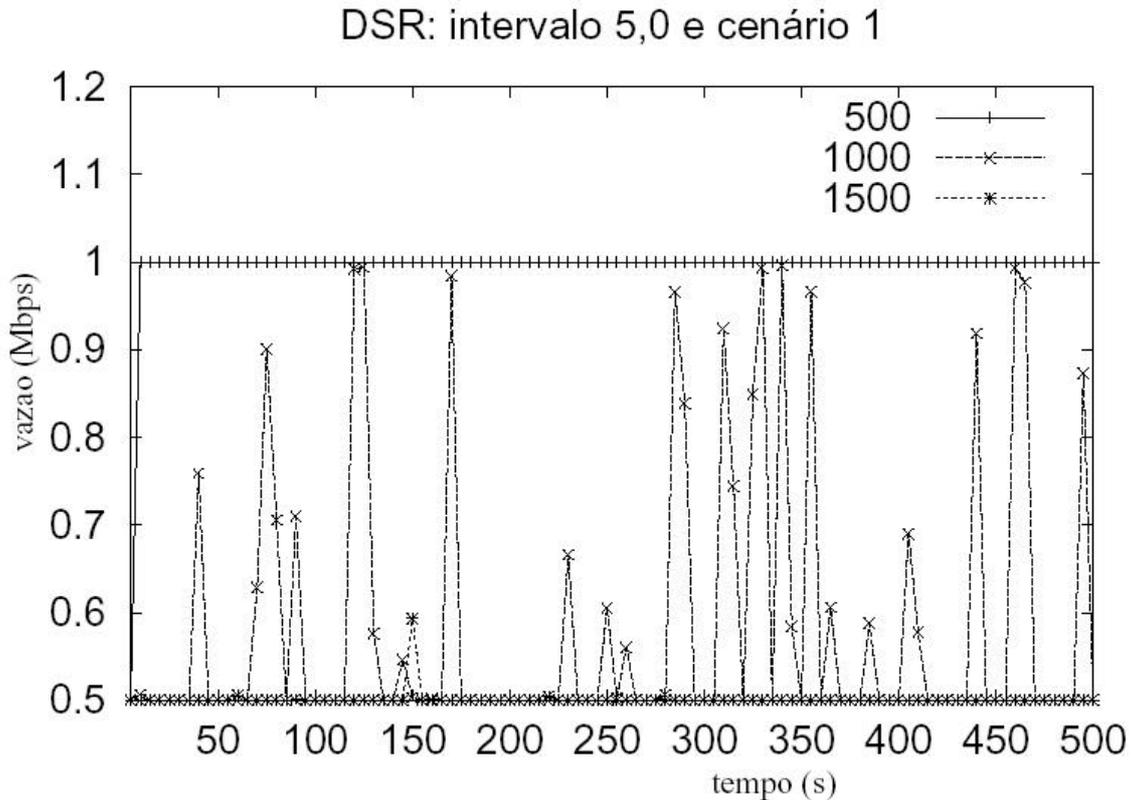


Figura 7.d – Cenário 1: DSDV (i) e DSR (ii).

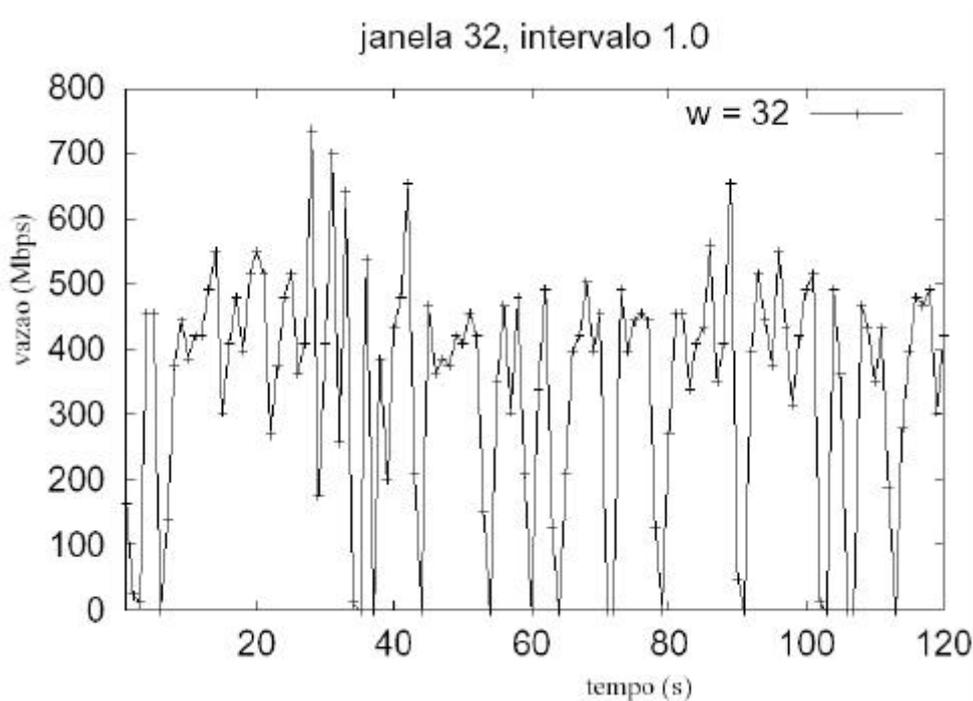
No cenário 1, novamente se a taxa agregada dos fluxos é menor que a capacidade do meio, há justiça no compartilhamento. No caso do DSDV, a injustiça surge quando a taxa de transmissão de cada CBR é de 1500 kbps, conforme a Figura 7.d (i). Os resultados mostram que há uma maior injustiça quando o DSR é utilizado, pois nesse cenário as perdas de rotas são mais acentuadas que no cenário anterior, fazendo com que somente uma estação consiga transmitir durante uma parte da simulação e outro nó assuma o controle do meio no tempo restante. Este problema foi descrito na seção 6.4.1., devido às falhas de alcançabilidade de um nó em relação ao seu nó adjacente. Caso o nó adjacente seja um nó intermediário, este nó irá descartar todos os pacotes que já estão na fila de transmissão e indicará uma falha de rota. Até que uma rota seja encontrada, nenhum pacote poderá ser enviado, o que provavelmente irá causar um estouro no temporizador no transmissor da conexão TCP. A falha de roteamento pode ocorrer devido à camada MAC, por causa de colisões. Nesse caso, o nó intermediário não pode se comunicar com o vizinho.

Os resultados indicam uma forte influencia do protocolo de roteamento no problema da injustiça no compartilhamento da banda passante disponível devido a sucessivas falhas de roteamento que tem origem na camada MAC.

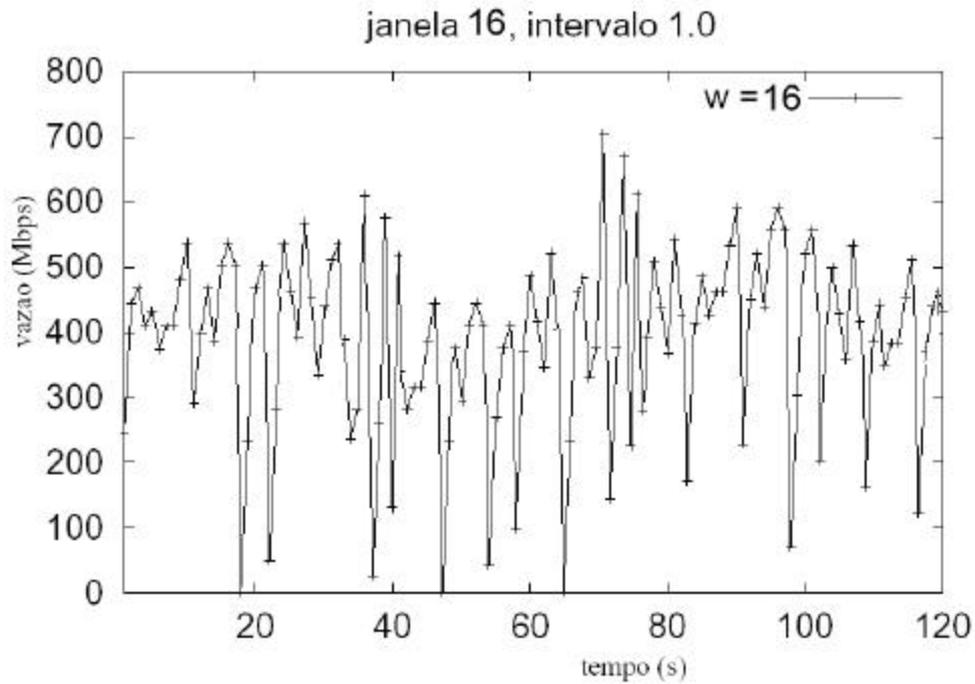
Uma solução para este problema seria a inclusão do tamanho do pacote nos cálculos, fazendo com que conexões com pacotes menores acessem ao meio mais vezes. Isto daria a conexões com o mesmo peso a mesma taxa de transferência independente do tamanho do pacote utilizado. Se uma colisão ocorrer, um novo intervalo de *backoff* seria calculado usando o algoritmo tradicional do padrão IEEE 802.11.

7.6. Problemas de Instabilidade

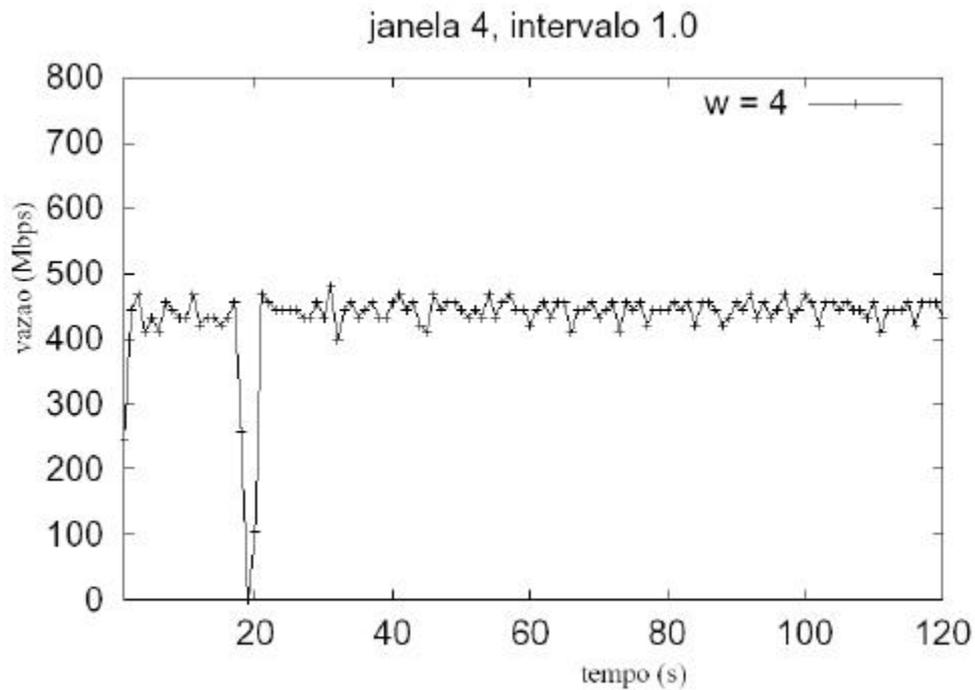
Em relação ao problema da instabilidade de conexões TCP, descrito na seção 6.4.2., foram realizadas simulações em um cenário de quatro nós de topologia igual a dos cenários apresentados anteriormente. As simulações duram 120s e a banda do canal é de aproximadamente 1.6 Mb. Uma conexão que envia pacotes TCP de 1460 bytes é aberta entre o nó 0 e o nó 3 e uma aplicação FTP que sempre tem dados a enviar é utilizada. O protocolo DSR é usado e a janela máxima de transmissão do TCP é variada na simulação. O resultado apresentado nos gráficos é a vazão em função do tempo.



(i)



(ii)



(iii)

Figura 7.e – Vazão com a janela do TCP igual a 32 (i), 16 (ii) e 4 (iii).

A Figura 7.e (i) onde $w = 32$, onde w representa a janela de contenção, apresenta vários pontos de recusa (falha) na obtenção do meio, por outro lado há momentos de alta taxa de transmissão. Na Figura 7.e (ii) onde $w = 16$, o número de falha para a obtenção do meio também apresenta alto índice de recusa.

Na Figuras 7.e (iii), pode-se observar que para janela igual a 4, apenas ocorre um período no qual o nó 0 não consegue transmitir nenhum pacote, ver o ponto $t = 19s$. Pois nesse caso o número máximo de pacotes transmitidos de uma única vez (back to-back) é quatro. Com isso, há uma menor probabilidade de um nó intermediário falhar na obtenção do meio; por conseguinte, uma quebra de enlace devido a essa falha é menos provável. O problema também ocorre devido às falhas de alcançabilidade de um nó em relação ao seu nó adjacente, problema discutido na seção anterior (seção 7.5.).

Da análise dos gráficos podemos concluir; quanto menor a janela de contenção melhor e mais estável a conexão apresentando um determinado grau de QoS. Fica claro que a solução para esse problema é diminuir o tamanho máximo da janela do transmissor, conforme mostrado na seção 6.2.4.. Nesta solução, atribuímos diversos "fatores de incremento" para as diversas prioridades, e no caso de colisão (não recebimento de um ACK na camada MAC) multiplicamos a janela de contenção corrente por este fator (no padrão 802.11 este fator vale sempre 2 para qualquer estação). Passaremos a nos referir a este fator como "fator de prioridade". Com esta alteração conseguimos obter alguma diferencial no tráfego.

7.7. Diferenciação de Serviços

Conforme mencionado, uma das abordagens para diferenciar num protocolo de acesso, é justamente possibilitar algum tipo de vantagem na contenção pelo meio a estações prioritárias (ou cujo tráfego é prioritário). No caso do protocolo IEEE 802.11 um trabalho inicial foi apresentado em [102], onde os autores primeiramente mostram o comportamento da alocação de banda para estações que sobrecarregam o canal.

Para mostrarmos a importância da diferenciação de serviços, a topologia dos experimentos realizados consiste em três estações 802.11 transmitindo para uma única estação (Figura 7.f). Todas as estações utilizam tráfego CBR com uma taxa de 1,7 Mbps cada, ou seja, uma taxa maior que a capacidade do canal. A distancia entre as estações transmissoras e a receptora é de 50 m e protocolo utilizado foi o DSDV.

As estações 1, 2, e 3 iniciam suas transmissões nos tempos 0, 10s e 20s, respectivamente. Uma avaliação da vazão obtida por cada estação ao longo do tempo (50s) foi realizada.

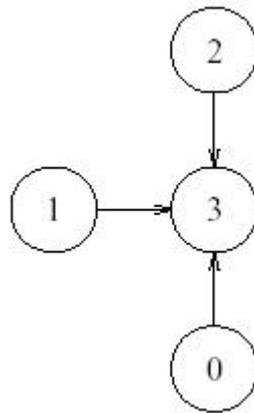


Figura 7.f – Cenário utilizado nas simulações de diferenciação.

Em um primeiro experimento, nenhum mecanismo de diferenciação foi empregado. A Figura 7.g mostra a vazão obtida por cada estação em intervalos de 1s. A banda passante no canal é compartilhada de forma justa entre todas as estações.

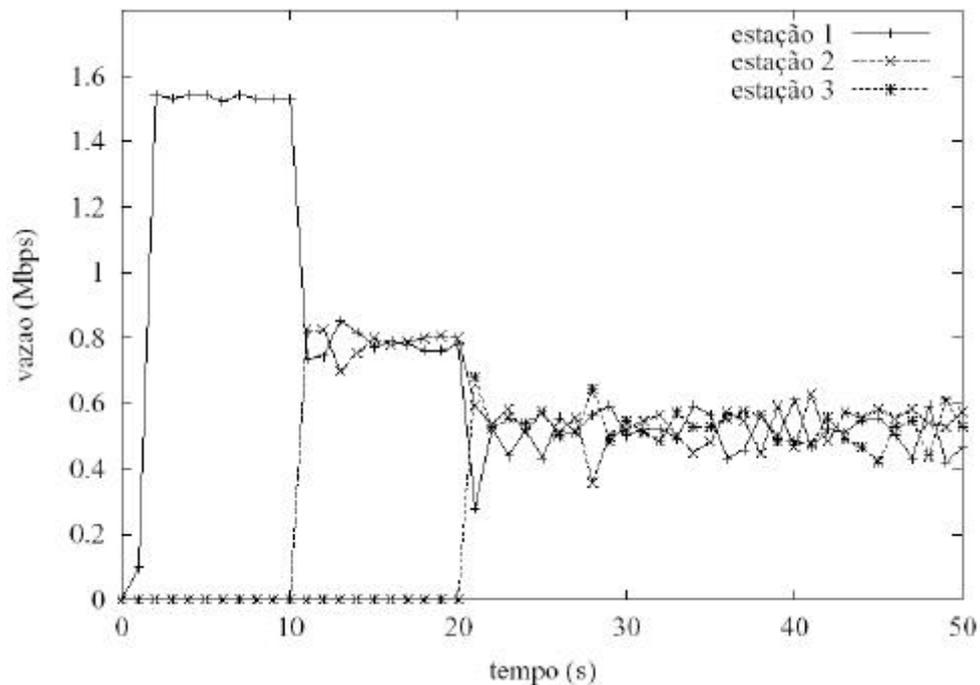


Figura 7.g – Vazão sem diferenciação de serviço.

Ao invés de modificar o algoritmo de *backoff*, nós podemos variar o DIFS (veja seção 6.2.2.) para obter diferenciação de serviços. Os pacotes ACK conseguem prioridade maior do que os RTS simplesmente porque o intervalo de tempo SIFS é menor que o DIFS (para o RTS).

No segundo experimento, as estações 1, 2 e 3 tiveram seus DIFS configurados com os valores 2, 4 e 6 *slots*, respectivamente. Assim como na figura anterior, a Figura 7.h mostra a vazão obtida por cada uma das estações. Pode-se observar que há uma diferenciação entre as vazões obtidas.

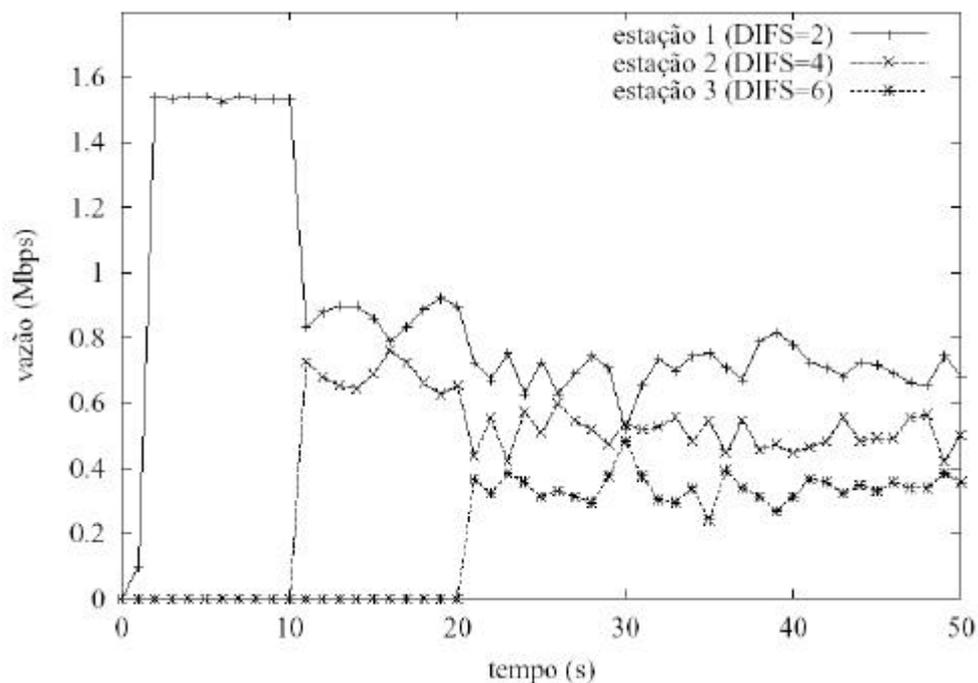


Figura 7.h - Vazão com alteração do DIFS.

Em seguida, as estações tiveram seus intervalos das janelas de contenção alterados; usando a mesma idéia, podemos introduzir prioridades para *frames* de dados; basta que pacotes com prioridades menores tenham que esperar um período maior para serem transmitidos do que pacotes de alta prioridade. A Figura 7.i mostra as vazões obtidas. A estação 1 por ter menor intervalo para a janela de contenção, obtém mais banda passante que as demais.

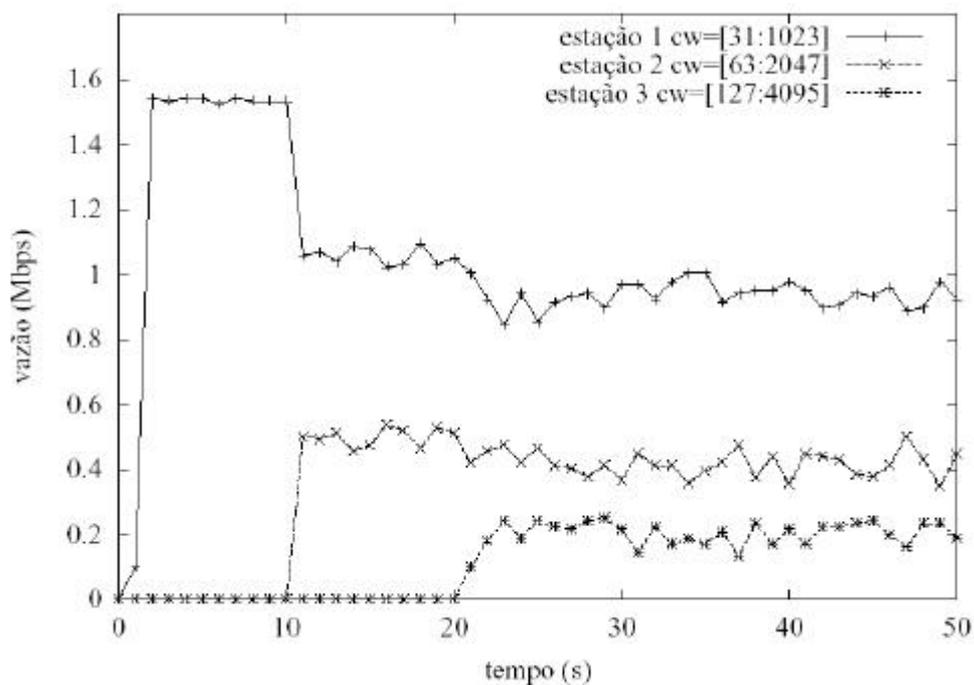


Figura 7.i - Vazão com alteração da janela de contenção e tamanho de blocos.

Quanto às técnicas de diferenciação, os resultados mostram que se pode prover prioridades no acesso ao meio caso seja utilizados um DIFS menor e alterando-se a janela de contenção. Como podemos constatar o próprio mecanismo de contenção pelo meio do protocolo de acesso 802.11 garante que cada estação receba uma parte igual da banda total disponível, sendo esta a característica que precisamos mudar para obtermos alguma diferenciação na camada MAC. Esta alternativa possibilita criar diferentes DIFS, um para cada classe de prioridades, fazendo com que em geral as estações mais prioritárias adquiram o meio antes das demais.

Podemos concluir que para obtermos algum tipo de diferenciação na provisão de QoS, uma ou mais das alternativas abaixo deverão ser utilizadas, são elas: alterar o incremento da janela de contenção (influenciando o tempo de backoff); utilizar diferentes valores de DIFS, um para cada nível de prioridade; variar o tamanho máximo do pacote (fragmentar).

7.8. Resumo do Capítulo

O capítulo apresenta a avaliação e comparação de desempenho via simulação dos problemas relacionados à qualidade de serviços: injustiça, instabilidade. Mostra como a implementação de técnicas de relacionadas a diferenciação dos serviços de QoS melhora o desempenho da utilização da banda passante.

Capítulo 8

Conclusões

Visto como uma parte da evolução da informática, os sistemas de computação sem fio representam o próximo passo lógico no rompimento do usuário dos ambientes computacionais. O usuário pode acessar recursos do sistema (serviços, servidores, impressoras, etc.) a qualquer tempo e em qualquer lugar, sem a necessidade de estar interligado por cabos.

8.1. Contribuições deste Trabalho

Este trabalho apresentou e descreveu os problemas da provisão de qualidade de serviço na camada de acesso ao meio em redes padrão IEEE 802.11.

Com o material apresentado neste trabalho abordamos diversos aspectos referentes a problemas de provisão de serviços, sendo este tema o principal foco de pesquisas na área de qualidade de serviços (QoS) de redes sem fio. Conforme mencionamos no decorrer do trabalho muitas propostas têm sido levantadas, porém algumas delas desconsideram trabalhos feitos desde a década de 70, muitas vezes voltando a abordar os mesmo pontos. Procuramos listar as propostas pesquisadas para a solução de problemas de qualidade de serviços, de acordo com abordagem e mecanismos empregados. E utilizando algumas das técnicas pesquisadas avaliou-se o desempenho via simulação dos problemas relacionados à qualidade de serviços, tais como: injustiça e instabilidade. Avaliou-se também, o desempenho de técnicas de diferenciação de serviços, sob a visão de alguns cenários. Essas simulações permitiram avaliar a vazão do fluxo de transmissão de dados numa largura de banda fixa.

Onde os resultados indicam uma forte influencia do protocolo de roteamento no problema da injustiça no compartilhamento da banda passante disponível devido a sucessivas falhas de roteamento que tem origem na camada MAC. Quanto às técnicas de diferenciação, os resultados mostram que se pode prover prioridades no acesso ao meio caso seja utilizados serviços de diferenciação, no caso utilizouse a variação de DIFS (seção 6.2.2.) nas estações; variação da janela de contenção ou DCF estendido (seção 6.2.4.) e tamanho máximo do frame (6.2.3).

Neste trabalho, inserimos o tema diferenciação de serviços num contexto mais amplo, relacionando-o à diferenciação puramente na camada MAC e também ao uso de filas de prioridades, e argumentamos que este último ponto não tem sido levado em consideração em muitos dos estudos de hoje apesar da teoria já estar desenvolvida, ou seja, poderíamos aplicar a teoria de filas de prioridades em novas situações.

Concluimos reforçando que muitas pesquisas ainda devem ser feitas nesta área, mas que muito material já desenvolvido pode ser aplicado e utilizado sob nova ótica, gerando novas soluções sem criar novos problemas ou até mesmo reincidir em problemas já resolvidos no passado. Incentivamos também a pesquisa de materiais relacionados ao tema, citados nas referências deste trabalho.

8.2. Perspectivas futuras

Atualmente computadores móveis podem receber e enviar mensagens eletrônicas, consultar bancos de dados espalhados pela Internet, receber informações sobre serviços locais, transferir arquivos e executar vários outros serviços.

Existem vários estudos e projetos sendo realizados, visando:

- ?? Um melhoramento no gerenciamento de força, a fim de aumentar a duração da bateria do sistema;
- ?? Desenvolver técnicas de modulação mais eficientes, com o objetivo de aumentar a velocidade de transferência de dados;
- ?? Considerar os diferentes aspectos relacionados com a mobilidade dos usuários;

?? Melhorar a QoS.

8.3. Trabalhos Futuros

Verificou-se a possibilidade de aprofundar os estudos e experimentos realizados no âmbito das redes sem fio e avaliação de performance. Como sugestões para trabalhos futuros citamos:

- ?? Nas técnicas de diferenciação de serviços utilizar o protocolo DSR para a simulação ao invés do DSDV;
- ?? Simulações que possibilitem a reprodução do comportamento dinâmico da rede;
- ?? Análise estatística dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ferreira, A.A. e Robson, G. “O Paradigma Computacional da Próxima Década”. Escola de Informática da SBC, Edição Norte, Pará 1999.
- [2] Derfler, F.J.Jr.; Freed, L. “Como Funcionam as Redes” Editora Quark, 1993.
- [3] Waldam, H. e Daoud, M. “Telecomunicações, Princípios e Tendências” Editora Érica, 1998.
- [4] Soares, L.F.; Lemos, G. e Colcher, S. “Redes de computadores das LANs, MANs e WANs às redes ATM”. Editora Campus, 1997.
- [5] Adams, N.; Gold, R.; Schilit, B.N.; TSO, M.M. e Want, R. “An infrared network for mobile Computers”. Proc. UJENIX Mobile and Location – In depend Commuting Symposium, USENIX, pp 41-51, 1993.
- [6] Tanenbaum, Andrew S. “Redes de Computadores”. Editora Campus. 1997.
- [7] Toh, C.K. “A Novel Distributed Routing Protocol to support ad hoc Mobile Computing”. Wireless Personal Communication. January. 1997.
- [8] Bantz, D.F. e Banchot, F.J. “Wireless LAN Design Alternatives”. IEEE Network Magazine, Vol. 8, Março/Abril 1994.
- [9] Ramos, C.; Rochol, J. “Análise de Desempenho por Simulação de Subcamada MAC do Padrão IEEE 802.11 para Redes Locais sem Fio”. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 25-28 de Maio de 1998.
- [10] Dayen, R. “ Mobile data and Wireless LAN Technologies”. New Jersey, Estados Unidos: Prentice-Hall, 1997.
- [11] Chen, K.C. “ Medium Access Control of Wireless LANs for Mobile Computing”. IEEE Network, Vol. 8, N 5. 1998.
- [12] Bauchot, F. J. and Lanne, F. “IBM Wireless RF LAN Design and Architecture”. IBM Systems Journal, Vol. 34, N 3. 1995.
- [13] IEEE Standards Department. “ IEEE Draft Standard for Wireless LAN – Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification”. Documento P802.11D6.1. 1997.
- [14] Souza, A. e Cunha, P.R.F. “Uma extensão da Plataforma Ansaware para suportar a Comunicação Móvel”. XV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Maio 1997.
- [15] Katz, R.H. “Adaptation and Mobility in Wireless Information Systems”. IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 1, N 1. 1994.

- [16] Valadas, R.T.; Tavares, R.A. e Oliveira, A.M. "The infrared Physical Layer of the IEEE 802.11 Stander for Wireless Local Area Networks". IEEE Communication. Vol. 36, N 12, pp. 107-112, December, 1998.
- [17] Adams, N.; Gold, R.; Schilit, B.N.; Tso, M.M. e Want, R. "An infrared network for Mobile Computers". Proceedings. USENIX – Symposium, USENIX, pp. 41-51, 1993.
- [18] Rocha, H. e Martins, P. "Redes Sem Fio – Alternativas e Tendências". UFPb. 1994.
- [19] Agrawal, P. and Sreenan, C.J." Get Wireless: A Mobile Technology Spectrum". ITPro, July/August 1999.
- [20] Clark, D. "Preparing for a New Generations of Wireless Data". Computer. August, 1999.
- [21] Rochol, J.; Barcelos, M. e Pufal, H. "Comunicação de Dados em Redes Celulares de Telefonia Móvel (RCTM)". I Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Brasil. 1995.
- [22] Heidemann et. al. " Primarity Disconnected Operation: Experiences With Ficus". Proceedings of the 2nd Workshop on the Management of Replicated Data. 1992.
- [23] Huston, L.B. and Honeyman, P. " Disconnected Operation for AFS". USENIX Symposium on Mobile and Location-Independent Computing. 1993.
- [24] Kistler, J.J. and Satyanarayanan, M. "Disconnected Operation in the Coda File System". ACM Transactions on Computer System., Vol. 10, N 1, 1992.
- [25] Tait, C.D. and Duchamp, D. "Service Interface and Replica Management Algorithm for Mobile File System". Proceedings of the First International Conference on Parallel and Distributed Information Systems. 1994.
- [26] Alonso, R.; Haber, E.M. and Korth, H.F. "A Database Interface for Mobile Computers". Proceedings of the 1992 Globecom Workshop on Networking for Personal Communications Applications. 1992.
- [27] Imielinski, T.; Vishmatwan, S. and Badrinath, B.R. "Energy Efficient Indexing on Air". Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. May 1994.
- [28] Badrinath, B.R. and Imielinski, T. "Replication and Mobility". Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on the Management of Replicated Data. November 1992.
- [29] Huang, Y.; Sistla, P. and Wolfson, O."Data Replication for Mobile Computers" Proceedings of the SIGMOD Conference. May 1994.

- [30] Alonso, R. and Korth, H. "Database System Issues in Nomadic Computing". Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. June 1993.
- [31] Imielinski, T. and Badrinath, B.R. "Data Management for Mobile Computing". Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. March 1993.
- [32] Imielinski, T. and Badrinath, B.R. "Wireless Mobile Computing: Challenge in Data Management" Communications of ACM. October 1994.
- [33] Bender, M. et. al. "Unix for Nomads: Making Unix Support Mobile Computing". USENIX Symposium on Mobile and Location-Independent Computing. August 1993.
- [34] Theimer, M.; Demers, A. and Welch, B. "Operating System Issues for PDAs". Fourth Workshop on Workstation Operating System (WWOS-IV). October 1993.
- [35] Bradner, S. and Mankin, A. "The Recommendation for IP Next Generation Protocol". Request for Comments 1752. January 1999.
- [36] Bell, T.; Cleary, J.G. and Witten, I.H. "Text Compression". Prentice-Hall. 1990.
- [37] Caceres, R. and Iftode, L. "The Effects of Mobility of Reliable Transport Protocols". Proceedings of the 14th International Conference on Distributed Computing System. May 1994.
- [38] Stevens, W. "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit and Fast Recovery Algorithms". Request for Comments 2001. January 1997.
- [39] Banke, A. and Badrinath, B.R. "ITCP: Indirect TCP for mobile Hosts". Proceedings of the 15th International Conference on Distributed Computing System. 1995.
- [40] Balakrishnan, H.; Seshan, S. and Katz, R.H. "Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks". Proceedings of the ACM Mobile Computing and Networking Conference. 1995.
- [41] Alexander, S. and Droms, R. "DHCP Options and BOOTP Vendor Extensions". Request for Comments 2132. March 1997.
- [42] Droms, R. "Dynamic host Configuration Protocol". Request for Comments 2131. March 1997.
- [43] Tait, C.D. and Duchamp, D. "Service Interface and Replica Management Algorithm for Mobile File System". Proceedings of the First International Conference on Parallel and Distributed Information Systems. June 1994.

- [44] Badrinath, B.R.; Acharya, A. and Imielinski, T. "Structuring Distributed Algorithms for Mobile Hosts". Proceedings of the 14th International Conference on Distributed Computing System. 1994.
- [45] Satyanarayanan, M. "Mobile Information Access". IEEE Personal Communications. Vol. 3. N 1. February 1996.
- [46] Joseph, A.D.; Tauber, J.A. and Kaashoek, M.F. "Mobile Computing with Rover Toolkit". IEEE Transactions on Computers. February 1997.
- [47] Tennenhouse, D.L.; Smith, J.M; Sincoskie, W.D. and Minden G.J. "A Survey of Active Network Research". IEEE Communication Magazine. Vol 35, N 1. January 1996.
- [48] Zenel, B. and Duchamp, D. "General Purpose Proxies: Solved and Unsolved Problems". Proceedings of the Hot-OS VI. 1997.
- [49] Fox, A.; Gribble, S.D.; Brewer, E.A. and Amir, E. "Adapting to Network and Client variability via OnDemand Dynamic Distillation". ". Proceedings of the ASPLOS-VII, USA. 1996.
- [50] Housel, B.C.; Samaras, G. and Lindquist, D.B. "WebExpress: A Client/Intercept Networking and Applications (MONET). 1997.
- [51] Oracle. "Oracle Mobile Agents Technical Product Summary". 1997.
- [52] Samaras, G. and Pitsillides, A. "Client/Intercept: A Computational Model for Wireless Environments". Proceedings of the 4th International Conference on Telecommunications. Australia. April 1997.
- [53] Reiher, P.; Popek, J.; Gunter, M.; Salomone, J. and Ratner, D. " Peer-to-Peer Reconciliation Based Replication for Mobile Computers" Proceedings of the European Conference on Object Oriented Programming. June 1996.
- [54] Chess, D.; Grosz, B.; Harrison, C.; Levine, D.; Parris, C. and Tsodikov, G. " Itinerant Agents for Mobile Computing". IEEE Personal Communications. Vol. 2. N 5. October 1995.
- [55] Berners-Lee, T. and Connolly, D. "Hypertext Markup Languages Specification". IETF, HTML Working Group.
- [56] Berners-Lee, T.; Fielding, R. and Frystyk, H. "Hypertext Transfer Protocol Specification". IETF, HTML Working Group.
- [57] Fielding, R.; Gettys, J. Mogul, J.C.; Frystyk, H and Berners-Lee, T. "Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1." Request for Comments 2068. January 1997.
- [58] Internet Engineering Task Force. "Hypertext Transfer Protocol (HTTP)". IETF Working Group. 1998.

- [59] Radmanabhan, V.N. and Mogul, J.C. "Improving HTTP Latency". Computer Networks and ISDN Systems. Vol. 28, N 1. December 1995.
- [60] Ribeiro, V.F. "A Família Miner de Agentes para Web". Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências da Computação. Universidade Federal de Minas Gerais. Março 1998.
- [61] Bartlett, J.F. "Experience with Wireless World Wide Web Clients". Proceedings of the IEEE COMPCON. USA. March 1995.
- [62] Fox, A. and Brewer, E.A. "Reducing WWW Latency and Bandwidth Requirements by Real-Time Distillation". Proceedings of the 5th International World Wide Web Conference. France. May 1996.
- [63] Kaashoek, M.F.; Pinckney, T. and Tauber, J.A. "Dynamic Documents: Mobile Wireless Access to the WWW". Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. USA. 1994.
- [64] Moon, P. "Protótipos do Milênio". Revista ISTO É. Outubro 1999.
- [65] Lin, J.C. "Biological Aspects of Mobile Communication Filed". Wireless Networks. Vol. 3, N 6. November 1997.
- [66] Salford, L.G.; Burn, A. and Persson, B.R.R. "Brain Tumour Development in Rats". Exposed to Eletromagnetic Fields used in Wireless Cellular Communication". Wireless Networks. Vol. 3, N 6. November 1997.
- [67] Bernardi, P.; Cavagnaro, M. and Pisa, S. "Assesment of the Potential Risk for Humans Exposed to Millimeter-wave Wireless LANs: the power absorbed in the eye". Wireless Networks. Vol. 3, N 6. November 1997.
- [68] Lai, H.; Carino, M. and Singh, N. "Naltrexone Blocks RFR-induced DNA Double Strand Breaks in Rate Brain Cells". Wireless Networks. Vol. 3, N 6. November 1997.
- [69] Di Caro, G. and Dorigo, M." Mobile Agents for Adaptive Routing". 31st Hawaii International Conference on Systems. Big Island of Hawaii. USA. January 1998.
- [70] Billinghamts, M. and Starner, T. "Wearable Devices: New Ways to Manage Information". Computer. Vol. 1, N 1. January 1999.
- [71] Das, B.; Sivakumar, E. and Bhargavan, V. "Routing in Ad Hoc Networks Using a Spine". IEEE International Conference on Computer Communications and Networks. 1997.
- [72] Dube, R.; Rais, D.D.; Wang, K. and Tripathi, S.K. "Signal Stability Based Adaptive Routing (SSA) for Ad Hoc Mobile Networks". IEEE Personal Communications. February 1997.

- [73] Haas, Z.J. and Pearlman, M.R. "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks". Internet Draft. August 1998.
- [74] Jiang, M.; Li, J. and Tay, Y.C. "Cluster Based Routing Protocol (CBRP) Functional Specification". Internet Draft. August 1998.
- [75] Ko, Y.B. and Vaidya, N.H. "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks". Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. USA. October 1998.
- [76] Krishna, P.; Chatterjee, M.; Vaidya, N.H. and Pradhan, D.K. "A Cluster-Based Approach for Routing in Ad Hoc Networks". USENIX Symposium on Location Independent and Mobile Computing. April 1995.
- [77] Perkins, C.E. and Bragwat, P. "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers". ACM SIGCOMM Symposium on Communication. Architectures and Protocols. 1994.
- [78] Cristina Aurrecochea, Andrew T. Campbell, and Linda Hauw. "A Survey of QoS Architectures". ACM/Springer Verlag Multimedia Systems Journal, 6(3):138-151, May 1998. Special Issue on QoS Architecture.
- [79] Oguz Angin, Andrew T. Campbell, Michael E. Kounavis, and Raymond R. F. Liao. "The Mobeware Toolkit: Programmable Support for Adaptive Mobile Networking". IEEE Personal Communications Magazine, 5(4):32-44, August 1998. Special Issue on Adapting to Network and Client Variability.
- [80] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss. "An Architecture for Differentiated Services". Network Working Group, December 1998. RFC 2475.
- [81] Gordon Blair, Nigel Davies, Adrian Friday, and Stephen Wade. "Quality of Service Support in a Mobile Environment: An Approach Based on Tuple Spaces". In 5th IFIP International Workshop on Quality of Service (IWQoS '97), pages 37-48, New York, USA, May 21-23, 1997. Columbia University.
- [82] Subir Kumar Biswas and Andy Hopper. "A Representative Based Architecture for Handling Mobility in Connection Oriented Radio Networks". In Proceedings of ICUPC '95, International Conference on Universal Personal Communications, Tokyo, Japan, November 1995.
- [83] Martin G Brown. "Supporting User Mobility". In Proceedings of the IFIP '96 Conference, Mobile Communications, Canberra, Australia, September 1996. (Invited Paper).
- [84] Raymond J. Bunsting. "Quality of Service Issues in Wireless Networks". Masters Essay, University of Waterloo, Ontario, Canada, 1995.

- [85] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin. "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification". Network Working Group, September 1997. RFC 2205.
- [86] Andrew T. Campbell. "Mobiware: QoS-Aware Middleware for Mobile Multimedia Communications". In 7th IFIP International Conference on High Performance Networking, White Plains, NY, April 1997.
- [87] Luis Henrique Maciel Kosmalsky Coça and Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte. "Um Mecanismo de Roteamento para Aplicações Multimídias com Três Requisitos de Qualidade de Serviço. In XXV Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH '98), pages 107–124, Belo Horizonte, MG, Agosto 1998. UFMG.
- [88] Dan Chalmers and Morris Sloman. "A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments". IEEE Communications Surveys, Second Quarter 1999. <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>.
- [89] N. Davies, G. Coulson, and G. Blair. "Supporting Quality of Service in Heterogeneous Networks: from ATM to GSM". Technical Report MPG -93-26, Lancaster University, 1993.
- [90] Carlos de Castro Goulart, José Marcos S. Nogueira, and Gerald Neufeld. "A Scheme for Dynamic QoS Renegotiation at Intermediate Nodes". In Wanderley Lopes de Souza and Rogério Drummond, editors, Anais do 15o. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC '97), pages 383–398, São Carlos, SP, Maio 19–22 1997. UFSCar.
- [91] Kamal K. Kasera and Ramesh K. Sitaraman. "Region-based Call Admission Algorithms For Wireless Cellular Networks". Technical Report 96-72, Dept. of Computer Science, University of Massachusetts, Amherst, July 16, 1997.
- [92] Antonio A. F. Loureiro, Vladimir de Lima Santos, Carlos de C. Goulart, and José Marcos S. Nogueira. "A Study of Dynamic QoS Negotiation for Multimedia Applications in RSVP". In Sixth IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service (IWQoS '98), pages 164–167, Napa, California, USA, May 18–20, 1998.
- [93] Indu Mahadevan and Krishna M. Sivlingam. An Architecture for QoS guarantees and Routing in Wireless/Mobile Networks. In First ACM/IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Multimedia (WoWMoM '98), pages 11–20, Dallas, October 30, 1998.
- [94] Carlos Oliveira, Jaime Kim, and Tatsuya Suda. "Quality-of-Service Guarantee in High-Speed Multimedia Wireless Networks". Technical Report 95-41, University of California, Irvine, CA, 1995.
- [95] J. Porter, A. Hopper, D. Gilmurray, O. Mason, J. Naylor, and A. Jones. "The ORL Radio ATM System, Architecture and Implementation". Technical Report 96.5, Olivetti Research Laboratory, Cambridge, England, January 1996.

- [96] Mauro Nacif Rocha, Geraldo Robson Mateus, and Soraia Lúcia da Silva. "Using Object Oriented and Event Driven Simulation for Mobility Analysis". Submitted to ACM/TOMACS, 2000.
- [97] Suresh Singh. "Quality of Service Guarantees in Mobile Computing". J. Computer Communications, 19:359-371, 1996.
- [98] L. Zhang, S. Deering, D. Estrin, S. Shenker, and D. Zapala. "RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol". IEEE Network Magazine, 7:(5):8-18, September 1993.
- [99] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications". IEEE Standard 802.11, 1999.
- [100] "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.
- [101] N.H. Vaidya, P. Bahl e S. Gupta, "Distributed fair Scheduling in a Wireless LAN", in ACM The 6th Annual Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00), Boston, EUA, August 2000.
- [102] I. Aad e C. Castelluccia, "Differentiation Mechanisms for IEEE 802.11", in InfoCom'2001, Anchorage, Alaska, April 2001.
- [103] V. Kanodia, C. Li, A. Sabharwal, B. Sadeghi e E. Knightly, "Distributed multi-hop Scheduling and Medium Access with Delay and Throughput Constraints", in ACM The 7th Annual Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'01), Roma, Italy, July 2001.
- [104] B.P. Crow, I. Widjaja, J.G. Kim e P.T. Sakai, "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 35, N 9, pp. 116-126, Setembro 1997.
- [105] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Layer in the 2.4 GHz Band". IEEE Standard 802.11b, 1999.
- [106] J. Schiller, Mobile Communications. AddisonWesley, 1st Ed. 2000. ISBN.
- [107] K. Tang e M. Gerla, "Fair Sharing of MAC under TCP in Wireless ad hoc Networks", in IEEE Multi-access, Mobility and Teletraffic for Personal Communications (MMT'99), Venice, Italy, October 1999.
- [108] B. Bensaou, Y. Wang e C.C. Ko, "Fair Medium Access in 802.11 based Wireless ad hoc Networks", in IEEE/ACM The 1st Annual Workshop on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHoc'00), Boston, EUA, August 2000.
- [109] S. Xu e T. Saadawi, " Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Work well in Multihop Wireless Ad Hoc Networks? ", IEEE Communications Magazine, Vol. 39, N 6, pp. 130-137, Junho de 2001.

- [110] K. Fall e K. Varadhan, “The Ns Manual”, Technical Report, The VINT Project, January 2002.
- [111] J. Broch, D.A. Maltz, D. B. Johnson, Y.C. Hu e J. Jetcheva, “A Performance Comparison of Multihop Wireless Ad Hoc Network Rounting Protocols”, in ACM The 4th Annual Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom’98), Dallas, EUA, October 1998.
- [112] Camara, Daniel e Loureiro, Antonio A. F., “Curso de Redes de Computação Móvel Ad Hoc”, Jornal de Atualização em Informática, Rio de Janeiro, !999.
- [113] Tripathi, Reed & Van Landingham, “Handoff in Cellular Systems”, IEEE Personal Communications, The Magazine of Nomadic Communications and Computing – vol. 5 no. 6 – Dezembro/98
- [114] Costa, L. H. M. K. and Duarte, O. C. M. B. – “Um Mecanismo de Roteamento para Aplicações Multimídias com Três Requisitos de Qualidade de Serviço”. XVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, XXV Seminário Integrado de Software e Hardware -SEMISH’98, pp. 107-124, Belo Horizonte, MG, August 1998.
- [115] Raj Jain “The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling”, John Wiley & Sons, 1991.
- [116] Raj Jain “The art of computer systems performance analysis.”, John Wiley & Sons, 1991 apud BRITO, Sergio de Figueiredo et al. Simulation tool and usage strategy a practical and pragmatic approach . In Anais do V INDUSCON 2002 (IEEE Industry Applications Society), Salvador, BA, 03 Julho. 2002.
- [117] BRITO, Sergio de Figueiredo; MARTINS, Joberto Sérgio Barbosa; FLEMING, Paulo Victor; RAMOS, João Carlos Rodrigues; ARAÚJO, Rafael Gonçalves Bezerra; PORTNOI, Marcos. “Simulation tool and usage strategy a practical and pragmatic approach”. In Anais do V INDUSCON 2002 (IEEE Industry Applications Society), Salvador, BA, 03 Julho. 2002.
- [118] THE NETWORK SIMULATOR ns-2 [online]. Disponível na Internet via URL: <http://www.isi.edu/nsnam>. Arquivo capturado em 20.07.2002.
- [119] KESHAV, S. REAL 5.0 overview [online]. Disponível na Internet via URL: <http://www.cs.cornell.edu/skeshav/real/overview.html>. Arquivo capturado em 24.07.2002.
- [119] SAMAN (Simulation Augmented by Measurement and Analysis for Networks) [online]. Disponível na Internet via URL: <http://www.isi.edu/saman/index.html> Arquivo capturado em 24.07.2002.
- [120] CONSER (Collaborative Simulation for Education and Research) [online]. Disponível na Internet via URL: <http://www.isi.edu/conser/index.html>. Arquivo capturado em 24.07.2002.

- [121] ICIR (The International Computer Science Institute Center for Internet Research) [online]. Disponível na Internet via URL: <http://www.icir.org/>. Arquivo capturado em 24.07.2002.
- [122] DIFFSERV (Differentiated Services) [online]. Mais referências disponíveis na Internet via URL: <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>. Arquivo capturado em 24.07.2002.
- [123] FERGUSON, Paul; HUSTON, Geoff. Quality of service. 1ª. edição. John Wiley & Sons, 1998.
- [124] OTCL (MIT Object Tool Command Language) [online]. Disponível na Internet via URL: <http://otcl-tclcl.sourceforge.net/otcl/>. Arquivo capturado em 24.07.2002.
- [125] Sameh Asaad, "Simulation Environment for an AdHoc Wireless Network Running the AODV Routing Algorithm", http://www.ctr.columbia.edu/~angin/e6950/sameh/aodv_final.html, 1996.
- [126] Terri Gimpelson, "Protection-switching technology offers standards-based SONET-like restoration", 03/11/02. <http://www.nwfusion.com/edge/news/2002/0311edge.html>
- [127] D-J. Deng and R-S. Chang, "A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method", IEICE Transactions on Communications, E82-B(1), January 1999.
- [128] Drabu, Yasir "A Survey of QoS Techniques in 802.11" [online]. Disponível na Internet via URL: <http://trident.mcs.kent.edu/~ydrabu/research/wmac/mac.pdf>. Arquivo capturado em 23.07.2001.
- [129] G. Anastasi and L. Lenzi, "QoS Provided by the IEEE 802.11 Wireless LAN to Advanced Data Applications: a Simulation Analysis", ACM Wireless Networks, Vol. 6, N. 2, 2000, pp. 99-108.
- [130] Anders Lindgren, Andreas Almquist, Olov Schelén "Evaluation of Quality of Service Schemes for IEEE 802.11 Wireless LANs", Disponível na Internet via URL: <http://www.sm.luth.se/csee/csn/publications/lcn2001lindgren.pdf> Arquivo capturado em 20.07.2001.
- [131] D. Otero, "Diferenciação de Serviços em Redes sem Fio", Rio de Janeiro, Fevereiro de 2003, Disponível na Internet via URL: http://www.ravel.ufrj.br/~daniel/wlan_dif.pdf Arquivo capturado em 20.02.2003.
- [132] Leonard Kleinrock, Queueing Systems Volume II: Computer Applications, Wiley, 1976.
- [133] Yang Xiao, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11", IEEE Communication Letters, vol. 6, no. 8, pp. 355-357, August 2002.