

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

Abiel Roche Lima

**Gerência da Largura de Banda para Garantir QoS  
Adaptável em Redes Sem Fio *Ad hoc***

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Becker Westphall

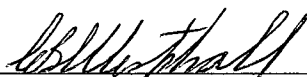
Co-Orientador: Prof. Dr. P.A.C. K-S Graf von Mecklenburg

**Florianópolis, Fevereiro 2001**

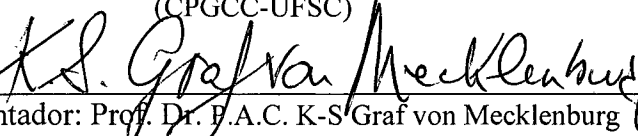
# Gerência da Largura de Banda para Garantir QoS Adaptável em Redes Sem Fio *Ad hoc*

Abiel Roche Lima

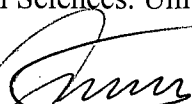
Esta Dissertação (Tese) foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação Área de Concentração Sistemas de Computação e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.



Orientador: Prof. Dr. Carlos Becker Westphall  
(CPGCC-UFSC)



Co-Orientador: Prof. Dr. F.A.C. K-S Graf von Mecklenburg  
(Faculty of Social Sciences, University of Edinburgh)

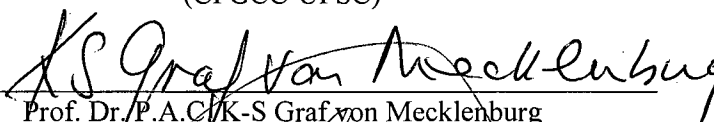


Prof. Dr. Fernando A. O. Gauthier  
(Coordenador do CPGCC-UFSC)

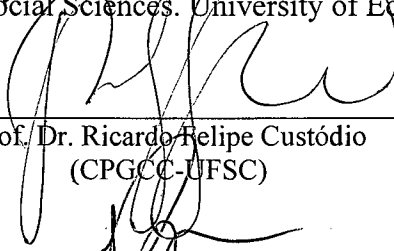
Banca Examinadora



Presidente: Prof. Dr. Carlos Becker Westphall  
(CPGCC-UFSC)



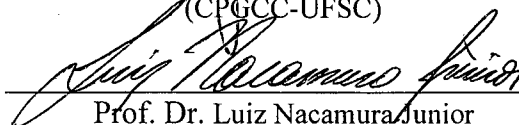
Prof. Dr. P.A.C./K-S Graf von Mecklenburg  
(Faculty of Social Sciences, University of Edinburgh)



Prof. Dr. Ricardo/Felipe Custódio  
(CPGCC-UFSC)



Prof. Dr. João Bosco da Mota Alves  
(CPGCC-UFSC)



Prof. Dr. Luiz Nacamura Junior  
(CEFETPR-Curitiba)

*DEDICO ESTE TRABALHO AO MEU FILHO, FABIO.  
ESPERO QUE ALGUM DIA RECUPEREMOS  
O TEMPO QUE FICAMOS SEPARADOS.*

## AGRADEÇO

A MINHA MÃE, PELA SUA CONSTÂNCIA,

A MINHA ESPOSA, PELA SUA ENTREGA INCONDICIONAL,

AOS MEUS FAMILIARES, QUE SEMPRE ME ALENTARAM,

A AMARILYS, POR TODO O QUE FIZ,

A LIBERTAD, PELA SUA CONFIANÇA,

AOS MEUS AMIGOS, AQUELES QUE IDENTIFICARAM O MEU  
AGRADECIMENTO QUANDO LEREM ESTAS LINHAS,

AO MEU ORIENTADOR PELO SEU APOIO,

A TODOS OS QUE FIZERAM POSSÍVEL A REALIZAÇÃO DESTE TRABALHO,

**MUITO OBRIGADO.**

## SUMARIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1. Definição .....	11
1.2. Redes LAN sem fio .....	12
1.2.1. Padrão IEEE 802.11 .....	13
1.2.2. Redes <i>ad hoc</i> .....	15
1.3. Caracterização dos mecanismos para garantir QoS em redes sem fio .....	18
1.3.1. Mecanismos para garantir QoS .....	19
1.3.1.1. QoS no nível de pacotes .....	20
1.3.1.2. QoS no nível de conexão .....	22
1.3.2. Caracterização dos mecanismos estudados .....	25
1.3.3. Aplicação .....	26
1.4. Motivações e objetivos do trabalho .....	28
<b>2. MEIOS E MÉTODOS</b> .....	30
2.1. Proposta do mecanismo para garantir QoS em redes sem fio <i>ad hoc</i> baseado no princípio de gerenciar a largura de banda .....	30
2.1.1. Aspectos considerados para a aplicação em redes <i>ad hoc</i> .....	30
2.1.2. Descrição do sistema .....	31
2.1.3. Mecanismo de adaptação da largura de banda .....	34
2.1.4. Controle de admissão da conexão .....	35
2.1.5. Regra de adaptação .....	36
2.2. Ferramenta de simulação utilizada .....	40
2.3. Metodologia usada para a validação .....	42
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
3.1. Implementação do simulador .....	44
3.2. Resultados e discussão das simulações .....	48
<b>4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	51
<b>5. PUBLICAÇÕES</b> .....	53
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Escopo do Padrão IEEE 802.11 .....	14
FIGURA 1.2. Rede sem fio infra-estruturada .....	14
FIGURA 1.3. Rede sem fio <i>ad hoc</i> .....	14
FIGURA 1.4. Modelo de comunicação em redes móveis <i>ad hoc</i> .....	15
FIGURA 1.5. Exemplo de uma comunicação entre os computadores de uma MANET .....	16
FIGURA 1.6. Arquitetura de Mobeware .....	20
FIGURA 1.7. Modelo INSIGNIA em um host/roteador móvel .....	22
FIGURA 1.8. Visão do sistema de adaptação aplicação/rede .....	24
FIGURA 2.1. Janela com uma simulação ocorrendo .....	41
FIGURA 3.1. Definição de classes .....	44
FIGURA 3.2. Tela inicial do simulador .....	45
FIGURA 3.3. Tela de Configuração do canal .....	46
FIGURA 3.4. Tela de entrada de dados dos cliente .....	46
FIGURA 3.5. Tela de entrada de dados das conexões .....	47
FIGURA 3.6. Probabilidade de uma nova conexão ser rejeitada .....	49
FIGURA 3.7. Alocação da largura de banda (W) .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Caracterização dos mecanismos estudados.....	27
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> , Modo de Transferência Assíncrona.
BBS	<i>Basic Service Set</i> , Conjunto de Serviços Básicos.
BPSK	<i>Binary Phase Shifting Key</i> , Método de Chaveamento por Deslocamento da Fase Binária.
BSA	<i>Basic Set Area</i> , Área de Cobertura
BU	<i>Bandwidth Unit</i> , Unidade de Largura de Banda
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i> , Plataforma para programação em sistemas distribuídos, seguindo o paradigma de programação orientada a objetos.
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Medium Access with Collision Avoidance</i> , Acesso ao Meio com detecção da portadora e prevenção da colisão.
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> , Espalhamento do Espectro por Sequência Direta.
EM	Estações Móveis.
FHSS	<i>Frequency Hops Spread Spectrum</i> , Espalhamento do Espectro por Saltos de Frequência.
FM	<i>Frequency Modulated</i> , Frequência Modulada.
GHz/MHz	Giga/Mega Hertz: Unidade de medida de frequência.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos.
IP	<i>Internet Protocol</i> , Protocolo Internet.
LAN	<i>Local Area Network</i> , Rede Local.
LLC	<i>Logic Link Control</i> , Controle de Enlace Lógico, subcamada em que é dividida a Camada de Enlace do modelo de referência OSI.
MAC	<i>Medium Access Control</i> , Controle de Acesso ao Meio, subcamada em que é dividida a Camada de Enlace do modelo de referência OSI.
MANET	<i>Mobile Ad hoc Network</i> , Redes <i>ad hoc</i> móveis.
NS2	<i>Network Simulation 2</i> , Simulador de Redes Versão 2.
OSI	<i>Open Systems Interconnect</i> , Modelo de Referência de Interconexão de Sistemas Abertos.
PA	Pontos de Acesso.

PC	<i>Personal Computer</i> , Computador Pessoal.
PCR	<i>Prediction Confidential Radio</i> , Radio Confidencial da Predição.
PHY	Camada Física do modelo de referência OSI.
PRADOS	<i>Prioritized Regulated Allocation Delay-Oriented Scheduling</i> , Esquema Alocação de Tempo de Regulação Priorizada.
QoS	<i>Quality of Service</i> , Qualidade do Serviço
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> , Método de Chaveamento por Deslocamento da Fase Quadrada.
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> , Protocolo de Controle de Transmissão, Protocolo usado na camada de transporte do modelo de referência TCP/IP.
TDMA	<i>Time Division Multiplexation Access</i> , Acesso de Multiplexação por Divisão do Tempo,
Wave-LAN	Empresa que desenvolve/fornecer equipamentos para redes sem fios
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> , Rede Local Sem Fio
WWAN	<i>Wireless Wide Access Network</i> , Rede de Longa Distância Sem Fio



## RESUMO

As redes sem fio apresentam um novo paradigma computacional que tem como função principal prover aos usuários o acesso permanente à rede independente de sua localização física. Com a diminuição dos custos dos dispositivos portáteis e o aumento da sua capacidade surgiu um novo conceito chamado redes *ad hoc*, onde a comunicação é feita diretamente entre os computadores móveis. Neste trabalho são descritas as características fundamentais das redes *ad hoc*. Assim como as principais tendências para garantir a qualidade de serviço nas redes sem fio, considerando as características: transmissão pouco confiável, largura de banda limitada e alta taxa de erros. No trabalho é proposto um mecanismo para manter QoS adaptável sobre o princípio de gerência da largura de banda em redes sem fio de topologia *ad hoc*. Também foi desenvolvido um software que permite simular ambientes de redes *ad hoc*, fazendo as conexões em conformidade com o critério do mecanismo proposto. Para a validação realizaram-se várias experiências que permitiram provar as vantagens do mecanismo. Naquelas redes onde o mecanismo de QoS adaptável foi usado, obteve-se melhor aproveitamento do canal de transmissão, ao mesmo tempo que maior quantidade de conexões eram aceitas.

**ABSTRACT**

*The wireless networks represent a new computing paradigm that has as main function to provide the users permanent access, independently of his physical location. With the decrease of the costs of the portable devices and the increase of its capacity appeared a new concept called ad hoc network, where the communication is made directly among the mobile computers. In this master theses is described the fundamentals characteristics of ad hoc networks. As well as the principals tendencies to guarantee the quality of service in wireless network, considering the characteristic: unreliable transmission links, bandwidth-constrained and high error rate. In this work is the proposal a mechanism based on the principle of bandwidth management to QoS guarantee in ad hoc wireless networks. Also, a software is developed to simulate ad hoc environments, making the connections following the approach of the proposed mechanism. For the validation, several experiences were accomplished, proving the advantages of the method: it guarantees better use of the transmission channel, at the same time that it accepts larger amount of connections.*

## 1. INTRODUÇÃO

“A 18ª edição da PC Expo, realizada na última semana de junho de 2000, em Manhattan, New York, foi marcada pela tecnologia dos aparelhos sem fio....”

“...Tradicionalmente, essa feira sempre foi espaço para anúncio de novos computadores e *chips*. Neste ano, a exposição seguiu a tendência do mercado, em que o consumidor busca cada vez mais serviços para os computadores portáteis...”

“... Imagine usar seu PC portátil sem fio, de qualquer localidade, conectando-se à rede de sua empresa ou à Internet...ou ter a possibilidade de sair com seu *notebook* para qualquer ponto do edifício, mantendo o acesso à rede da companhia para a qual você trabalha...”<sup>1</sup>.

O desenvolvimento nos últimos anos das telecomunicações e da informática, unido à necessidade do homem de estar cada vez mais informado, esteja onde estiver, provocou que se considerem as redes sem fio como a próxima geração nas redes de computadores. As redes sem fio/móveis, surgem como a quarta revolução na computação, antecedida pelos centros de processamento de dados da década de sessenta, o surgimento dos terminais nos anos setenta e as redes de computadores na década dos oitenta.

A evolução conjunta da comunicação sem fio e da tecnologia da informática busca atender muitas das necessidades do mercado: serviços celulares, redes locais sem fio, transmissões de dados via satélites, TV, rádio modems, sistemas de navegação, base de dados, etc. [17].

Neste capítulo são definidas as redes sem fio, aprofundando-se nas redes LAN e, mais especificamente, na topologia *ad hoc*. Finalmente são expostas as principais motivações associadas ao desenvolvimento deste trabalho, assim como os objetivos que se pretendem atingir.

### 1.1. Definição

Está se assistindo ao surgimento de pessoas totalmente viciadas em informações: pessoas que precisam estar permanentemente *online*. Para os usuários móveis, o par trançado, o cabo coaxial e a fibra ótica não são suficientes para satisfazer as suas

---

<sup>1</sup> Zilveti, Marijô. “Micros sem fio e câmaras dominam feira”. Jornal Folha de São Paulo. Quarta-feira 5 de julho do 2000.

necessidades, eles precisam transferir dados para os seus computadores *laptop*, *notebook*, etc sem depender das conexões com cabos. A solução para os problemas desses usuários está na comunicação sem fio.

Muitos sistemas de comunicação fazem a transmissão dos dados utilizando fios de cobre, entretanto outros transmitem os dados sem utilizar qualquer tipo de meio físico, como é o caso da transmissão por raios infravermelhos, laser, microondas, rádio, etc. As redes que usam estas técnicas são chamadas de redes sem fio [13].

Como acontecem nas redes cabeadas, nas redes sem fio existem as redes LAN e redes WAN.

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

As redes WAN sem fio, conhecidas também como WWAN (*Wireless Wide Area Network*), têm suporte na telefonia, inicialmente desenvolvida para a comunicação de voz e depois adaptadas para transmissão de dados. Baseia-se, fundamentalmente, no sistema telefônico celular.

O objeto de estudo deste trabalho são as redes WLAN, que serão abordadas na próxima seção. Maiores informações sobre as redes WWAN, podem ser encontradas em livros recentes [18, 19, 21, 23, 31, 34, 35, 39, 42, 45].

## 1.2. Redes LAN sem fio

Uma das funcionalidades das redes locais sem fio é servir como extensão das redes cabeadas para computadores portáteis (*laptops*, *notebooks*, etc.). Através dos pontos de acesso, os dispositivos portáteis se conectariam com a rede fixa, usando conexões sem fio [47].

Uma outra funcionalidade ocorre em cenários onde aconteceu alguma situação de desastre como furacão, terremoto ou inundação, e as equipes de resgate precisam se coordenar, e não se tem uma rede fixa disponível. As redes sem fio podem ser usadas

também em campos de batalha, onde os soldados necessitam trocar informações; em reuniões onde os empresários precisam compartilhar dados; etc.[49].

O primeiro sistema de computadores a empregar as técnicas de radiodifusão ao invés de cabos ponto a ponto foi o sistema ALOHA, na década de 70. A comunicação foi realizada através da instalação, em cada estação, de um pequeno transmissor/receptor de rádio FM, com um alcance suficiente para se comunicar com o transmissor/receptor central. Foram usadas duas faixas de frequência e a transmissão foi feita a 9600 bps. Na época em que foi instalada a rede, 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. Contudo, dois fenômenos consolidados ao longo da última década: a miniaturização de componentes eletrônicos e comunicações pessoais sem fio, propiciaram às redes locais 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 conforme critérios próprios, pelos quais eram possíveis encontrar redes com vazões e alcances diferentes, empregando diversos critérios de segurança e definindo os algoritmos das camadas com abordagens particulares.

Em maio de 1991, foi pedido à IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) a elaboração de padrões adotados em redes locais, formando-se o Grupo de Trabalho 802.11, cujo objetivo foi definir as especificações para conectividade sem fio entre estações de uma área local [3]. A elaboração do padrão teve atrasos e o Grupo publicou o novo padrão no segundo semestre de 1997. A seguir, são descritas as principais características definidas no IEEE 802.11.

#### 1.2.1. Padrão IEEE 802.11

Tem como objetivo definir as regras relativas à subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e camada física (PHY) para as redes LAN sem fio.

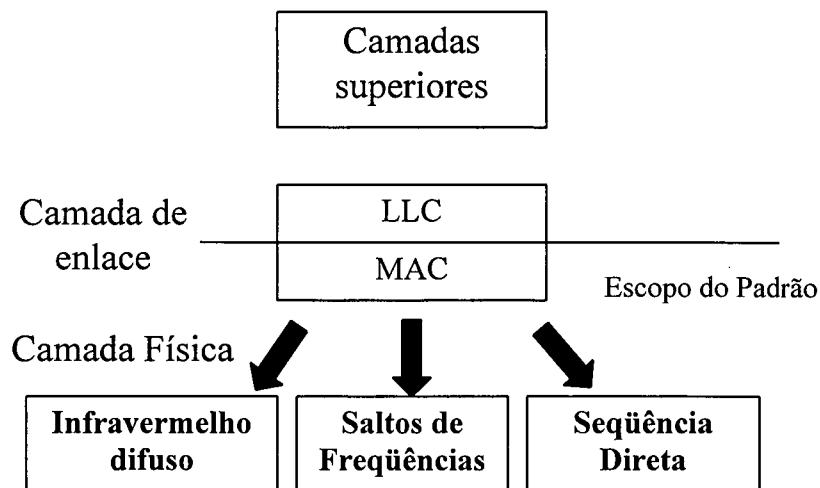


FIGURA 1.1 Escopo do Padrão IEEE 802.11.

Como é observado na Fig. 1.1 o padrão não considera a subcamada LLC (*Logic Link Control*) e as camadas superiores dos modelos de referências. Apenas a subcamada MAC e a camada física são contemplados no padrão IEEE 802.11 [44].

Na subcamada MAC é definido o mecanismo de controle de acesso ao meio: o CSMA/CA (*Carrier Sense Medium Access with Collision Avoidance*) – acesso ao meio com detecção de portadora e prevenção da colisão.

Na camada física (PHY) são definidos os três tipos de tecnologias de transmissão sem fio, duas comunicações de rádio usando técnicas de espalhamento do espectro e, a outra, radiação infravermelha difusa.

O padrão IEEE 802.11 define dois tipos de topologias para as redes LAN sem fio: infra-estruturada e *ad hoc* [26], ilustradas nas Fig. 1.2 e 1.3, respectivamente.

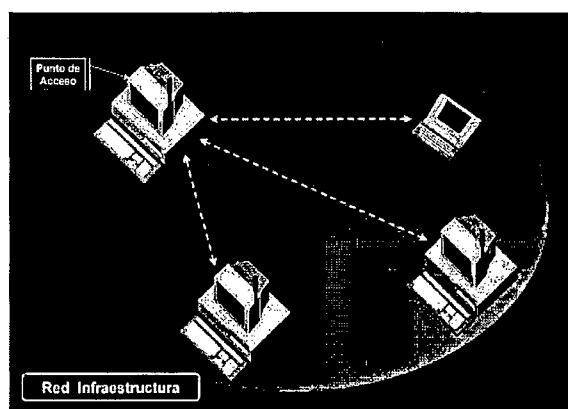
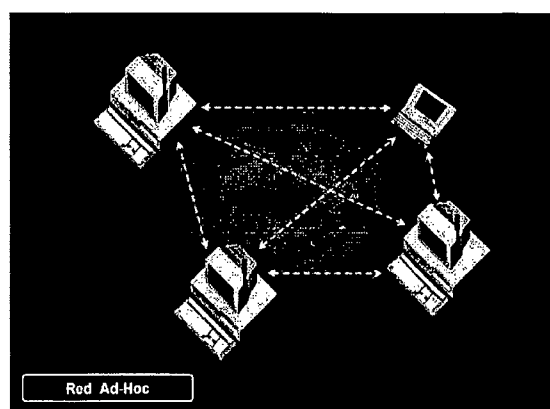


FIGURA 1.2. Rede sem fio infra-estruturada

FIGURA 1.3. Rede sem fio *ad hoc*

Como é apreciado na Fig. 1.2 as redes infra-estruturadas caracterizam-se por possuir dois tipos de elementos: Estações Móveis (EM) e Pontos de Acesso (PA). Cada PA é o 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, como aceitar ou não a inserção de uma nova estação à rede, colher estatísticas para o gerenciamento do canal e ajudar a definir quando uma estação deve ou não ser controlada por outro PA.

Como pode ser visto na Fig. 1.3 as redes *ad hoc* não possuem qualquer infraestrutura de apoio à comunicação. São diversos equipamentos móveis confinados em uma pequena área que estabelecem comunicação *peer-to-peer* por certo período de tempo [51]. A seguir são apresentados os principais conceitos e características deste tipo de redes.

#### 1.1.2. Redes *ad hoc*

As redes móveis *ad hoc* são também conhecidas como MANET (*Mobile Ad hoc NETWORK*).

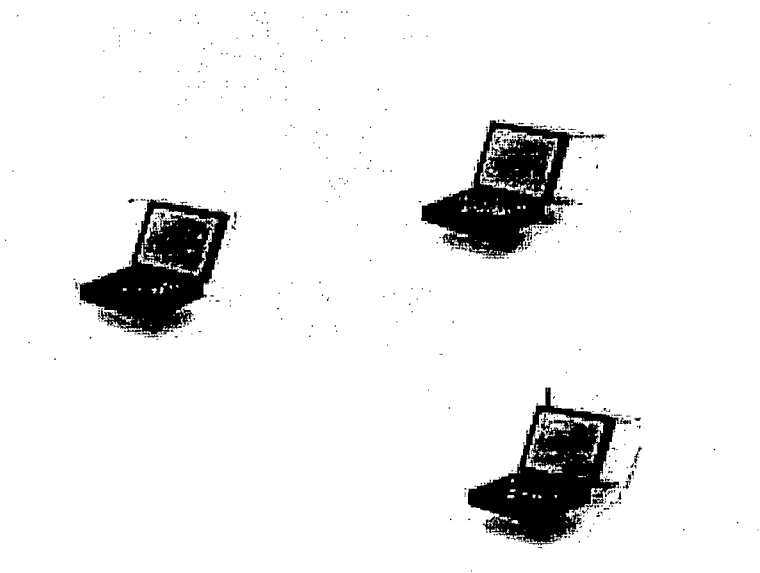


FIGURA 1.4. Modelo de comunicação com redes móveis *ad hoc*.

Conforme mostrado na Fig. 1.4 os dispositivos computacionais são capazes de trocar informações diretamente entre si. As redes *ad hoc* são, principalmente, indicadas para situações onde não se pode, ou não faz sentido, instalar uma rede fixa.

Numa MANET uma rota entre dois computadores pode ser formada por vários *hops* (saltos) através de um ou mais computadores na rede.

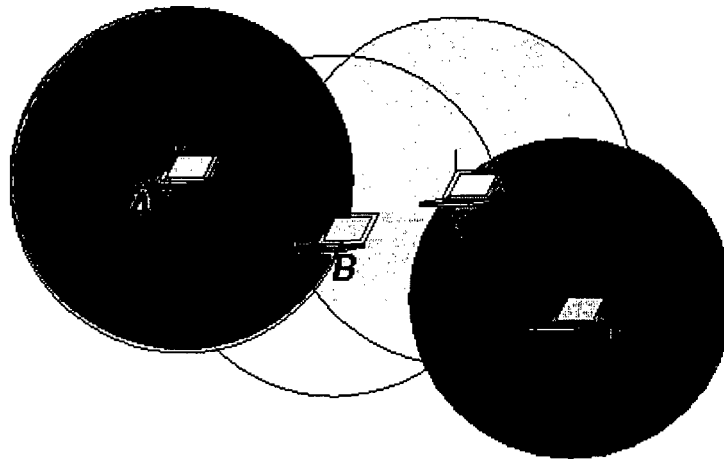


FIGURA 1.5. Exemplo de uma comunicação entre os computadores de uma MANET.

Na Fig. 1.5 os círculos demonstram o alcance da comunicação das unidades móveis e, por exemplo, as mensagens de A para D devem passar, pelos nodos B e C para chegar em D.

Um dos problemas fundamentais numa rede *ad hoc* é determinar e manter as rotas, já que a mobilidade de um computador pode causar mudanças na topologia. Vários algoritmos de roteamento para redes *ad hoc* são propostos [12, 14, 22, 24, 28, 29, 43, 50]. Estes algoritmos diferem na forma em que novas rotas são determinadas e como as rotas existentes devem ser modificadas quando necessário.

As redes *ad hoc*, têm vantagens e desvantagens, quando se comparam com redes infra-estruturadas e fixas.

Como vantagens podem ser citadas:

- Rápida instalação: MANETs podem ser instaladas rapidamente em locais sem nenhuma infra-estrutura prévia;
- Tolerância a falhas: o mal funcionamento ou o desligamento de uma estação, pode ser facilmente sanado com a reconfiguração dinâmica da rede. Em uma



rede fixa, quando ocorre uma falha em um roteador, o redirecionamento de tráfego é uma operação complexa;

- **Conectividade:** se duas estações estão dentro da área de alcance das ondas de rádio, elas têm um canal de comunicação entre elas. Em uma rede sem fio fixa, mesmo que duas estações móveis (EM) estejam uma ao lado da outra, é necessário que as estações se comuniquem com o ponto de acesso (PA) para que troquem informações;
- **Mobilidade:** em contraposição, à falta de mobilidade dos computadores fixos.

Como desvantagens podem ser citadas:

- **Largura de Banda limitada:** canais de comunicação sem fio normalmente possuem menor largura de banda que *links* através de cabos. Em ambientes internos (*indoor*), a velocidade para redes sem fio tipicamente varia de um a dois Mbps e em redes fixas esse valor já chega a Gbps;
- **Erros no enlace sem fio:** a taxa de erros em um *link* sem fio é tipicamente de um bit a cada  $10^5$  ou  $10^6$  bits transmitidos, enquanto que em uma fibra ótica esta taxa é tipicamente de um a cada  $10^{12}$  ou  $10^{15}$  bits transmitidos;
- **Localização:** existe o problema de se conhecer a localização física da EM e enviar, para esse ponto, suas mensagens. Em redes fixas este problema não ocorre, pois o endereço IP indica implicitamente a localização do nodo. Para redes infra-estruturadas esse problema foi resolvido através do protocolo IP móvel, que se encarrega de localizar o nodo. Em MANETs, localizar o usuário é um problema, pois não se tem nenhuma informação geográfica e o endereço da máquina não tem necessariamente mais nenhuma relação com sua posição;
- **Roteamento:** em uma rede fixa a topologia raramente se altera, os nodos ficam normalmente nas mesmas posições da rede. Em uma MANET os nodos movem-se de um lado para outro de forma não determinística. Se em um momento o nodo A pode se comunicar com um nodo C passando por um nodo B, nada garante que em um próximo momento isto continue ocorrendo. Tanto o nodo A quanto o nodo B ou C podem ter se movido de forma a ficarem fora

da área de alcance uns dos outros. Neste caso é necessário encontrar, de alguma forma, outra rota de A para C.

Como foi descrito nesta seção, as características de: rápida instalação, conectividade dinâmica, mobilidade, etc., fazem as redes *ad hoc* muito atrativas para novas aplicações (multimídia, videoconferência, etc.), mas ao mesmo tempo existem dificuldades sérias que devem ser resolvidas. Uma delas é garantir os parâmetros de qualidade de serviço que este tipo de aplicações necessitam.

Na próxima seção são estudados os principais mecanismos de garantia de QoS para redes sem fio com o interesse de valorizar a aplicabilidade nas redes sem fio *ad hoc*.

### 1.3. Caracterização dos Mecanismos para Garantir QoS em Redes sem fio

Os futuros sistemas sem fios vão apoiar o estilo de vida cada vez mais nômade das pessoas na sociedade moderna. Este apoio será provido pelo uso de múltiplos tipos de redes as quais têm características muito diferentes [5]. Além disso, estas redes devem permitir o uso das mesmas aplicações que são comuns no *desktop* (navegadores Web, multimídia interativa e videoconferências) para os dispositivos móveis. Assim, um dos desafios principais no projeto destes sistemas móveis é o adequado fornecimento da qualidade de serviço (QoS), definido como as garantias que as aplicações exigem nas diferentes redes [7], e representada através de parâmetros da rede, tais como: *throughput*, retardo de trânsito, taxa de erros residuais, proteção, prioridade, etc.

Há um crescimento interessante nas redes sem fio/móveis como conseqüência da grande utilização dos computadores pessoais e das comunicações móveis. Os computadores pessoais portáteis integram o poder computacional e a mobilidade numa única plataforma e introduzem a necessidade de acessar às redes de comunicação sem as restrições dos cabos [51].

Os elementos gerais de uma arquitetura de QoS, para a transmissão de fluxo multimídia, em redes fixas são a caracterização do tráfego, controle de admissão e reserva de recursos; que agem juntos com o objetivo de eliminar o congestionamento e caso ocorra o congestionamento, reagir de forma tal que o mesmo termine em um tempo razoavelmente curto [36]. A mobilidade dos nós é outro problema a ser considerado nas redes sem fio/móveis.

O fornecimento de QoS de forma estrita assim como a robustez nos serviços, são requerimentos concorrentes na área da computação móvel. Esta competição é amplamente ilustrada quando uma conexão de um usuário, num ambiente celular, é derrubada devido à sua movimentação para outra célula (*hand-off*) [11]. Quando acontece o *hand-off* podem ser perdidos pacotes ou inclusive a conexão pode ser derrubada, por isto manter os parâmetros de qualidade do serviço, resulta numa tarefa bem mais difícil sob estas circunstâncias.

A seguir são analisadas e comparadas as diferentes abordagens que existem para garantir a QoS nas transmissões multimídia das redes sem fio.

### 1.3.1. Mecanismos para garantir QoS

A qualidade do serviço pode ser direcionada em dois sentidos [8]: QoS no nível de pacote e QoS no nível de conexão. A QoS, no nível de pacote, está associada com a demora de entrega do pacote, o processamento, e o desempenho do erro. A QoS no nível de conexão está relacionada com a inicialização e a gerência da conexão. Existem vários mecanismos para garantir a QoS nas redes sem fio, visando essas duas direções. Nas próximas subseções serão apresentados alguns desses mecanismos.

#### 1.3.1.1. QoS no nível de pacotes

Existem certas tendências na garantia da QoS no nível de pacotes. Um deles é o uso de controles de redes programáveis [2], onde se disponibilizam gerências de serviços adaptáveis em redes sem fio [1]. Este é o caso de *Mobiware*, uma ferramenta *middleware* móvel que disponibiliza serviços adaptáveis para explorar dinamicamente as propriedades escaláveis intrínsecas das aplicações multimídia em resposta às condições da rede móvel, as quais variam no tempo[6]. É um software construído sobre a tecnologia de objeto distribuído, usando CORBA e Java. Consiste de um conjunto de controladores que interagem com os objetos distribuídos que controlam as camadas de transporte, de rede e acesso ao meio para manter os níveis necessários de qualidade de serviço das aplicações. Esta ferramenta garante a separação entre a gerência de sinalização-adaptação e o transporte da mídia.

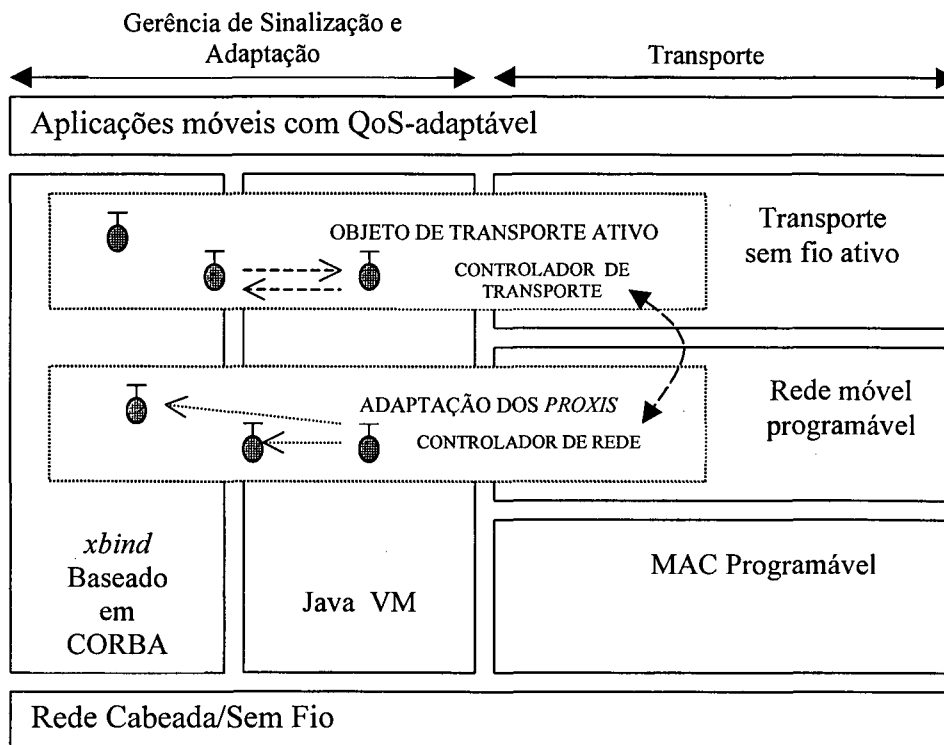


FIGURA 1.6. Arquitetura de Mobaware

Na Fig. 1.6 é mostrada a arquitetura do Mobaware. Na camada de transporte, é permitida a transmissão fim-a-fim de áudio, vídeo e serviços de dados em tempo real sobre a base do paradigma de QoS adaptável; o transporte sem fio ativo é baseado em objetos que eliminam a região sobre a qual as camadas de transportes tradicionais (TCP, etc.) operam, com o objetivo de incluir pontos de acesso e dispositivos móveis. A camada de rede permite a introdução de novos serviços de QoS adaptáveis móveis sobre a base do kernel de banda larga *xbind*, esta por sua vez é formada pelo conjunto de objetos CORBA e *proxies* de adaptação que também operam em dispositivos móveis, pontos de acesso e nos *switches/routers* correspondentes. Na camada de enlace, a Subcamada de Acesso ao Meio (MAC) programável estabelece um conjunto de serviços para garantir de forma sofisticada a QoS adaptável, a qual, através do esquema de controle centralizado, permite a criação dinâmica de novos serviços e a sua instalação instantânea.

Uma outra tendência é a implementação de protocolos para a camada MAC [40,52], com o objetivo de manter a qualidade do serviço. Em *MASCARA*, é feita uma proposta de implementação do protocolo MAC, através das técnicas de reserva e

contenção com o objetivo de garantir a QoS em redes móveis ATM (Modo de Transferência Assíncrona) [41]. É incluída uma subcamada de Controle de Enlace de Dados sem fio, a qual é a responsável pelo controle do erro sobre o enlace de rádio. É usado em sistemas TDMA (Acesso de Multiplexação por Divisão de Tempo), onde o tempo é dividido em *frames* de comprimento variável, e por sua vez dividido em slots de tempo. Nesta subcamada é implementado o *Scheduler*, que é capaz de localizar os *slots* livres na transmissão de forma que mantenham a QoS necessária para as conexões de recepção e transmissão, compartilhando a largura de banda, e ao mesmo tempo, atingindo o uso mais eficiente da mesma. O algoritmo de *Scheduler*, chamado PRADOS (*Prioritized Regulated Allocation Delay-Oriented Scheduling*), tem dois objetivos principais: a regulação do tráfego baseado na suas características e o controle do congestionamento causado pela demora das conexões na interface de rádio. Em MASCARA, o tamanho do *frame*, assim como o comprimento dos períodos de recepção, transmissão e contenção são variáveis, para prover a adaptabilidade requerida nas diferentes condições de tráfego no ambiente multi-serviços, assim como garantir a melhor performance da rede.

A marcação de pacotes IP (Protocolo Internet), é outra tendência usada na garantia da QoS nas redes [37,55]. No mecanismo INSIGNIA, é definido um sistema de sinalização *in-band* para permitir qualidade do serviço fim-a-fim em ambientes altamente dinâmicos, como redes móveis *ad hoc* [30]. O termo “*in-band*” refere-se ao fato de transportar a informação de controle com o pacote IP. Este mecanismo é projetado para ser de “peso leve” e responder, rapidamente, às mudanças na topologia, conectividade dos nós e condições de qualidade do serviço. O modelo de gerência de fluxo desta ferramenta, permite que pacotes de áudio, vídeo e aplicações de dados em tempo real especifiquem a largura de banda que necessitam. Além de permitir serviços adaptáveis em tempo real, o modelo também permite a entrega de pacotes IP do melhor esforço (*best effort*). O modelo de gerência considera também algumas mudanças técnicas próprias das redes *ad hoc*: 1. fluxos e microfluxos são rapidamente estabelecidos sem ter que esperar pela viagem de ida e volta e com um mínimo de *overhead* graças à sinalização; 2. os fluxos ativos são mantidos e restabelecidos no caso de mudanças no roteamento ou falhas no enlace; e 3. o estado do fluxo deve ser automaticamente liberado quando uma sessão de aplicação termina.

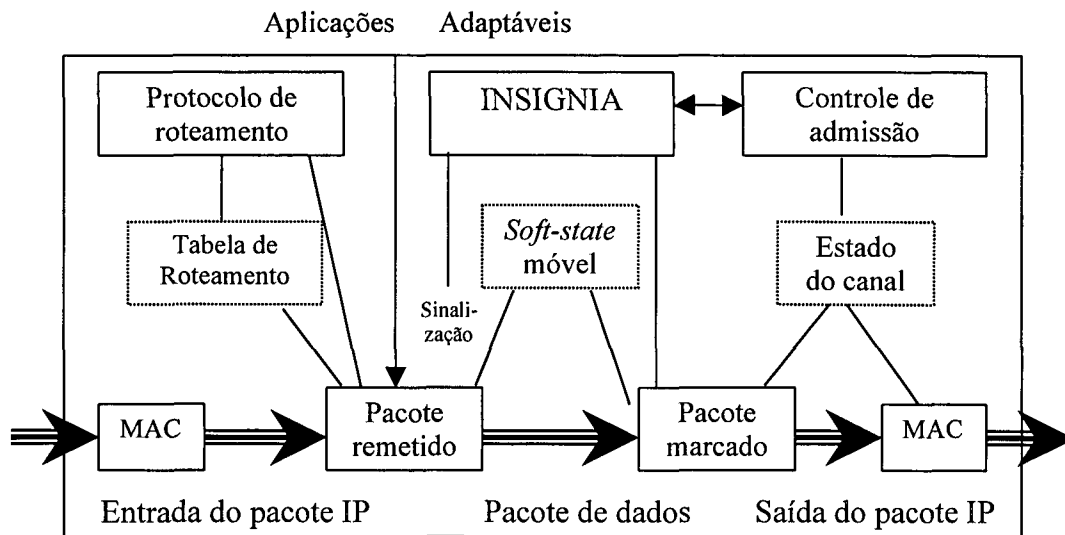


FIGURA 1.7. Mecanismo INSIGNIA em um host/roteador móvel

A Fig. 1.7. ilustra os módulos principais do modelo de gerência de fluxo. Para o estabelecimento de fluxo em tempo real adaptável, INSIGNIA realiza marcações nas opções disponíveis no cabeçalho do pacote IP. Através da qual inicia, restaura e adapta os recursos entre o par origem-destino. A marcação das opções no cabeçalho IP, junto às operações, permitem a entrega de serviços adaptáveis em tempo real aos *hosts* móveis. As operações incluem: inicialização do fluxo, restauração do fluxo, gerência do estado suave (*soft-state*), adaptação e notificação de QoS. Uma vez que o fluxo é estabelecido entre a origem e o destino, as notificações de QoS são usadas para informar a origem sobre o progresso da qualidade do pacote entregue no destino. Neste caso, a principal desvantagem é o estabelecimento de rotas para enviar as notificações de QoS, com o conseqüente consumo de recursos:

### 1.3.1.2. QoS no nível de conexão

Para manter a qualidade dos serviços, no nível de conexão, existem outras tendências, como o uso do gerenciamento direto dos recursos [4, 38]. O mecanismo de *Gerência da largura de banda para garantir QoS* [8], tem como princípio gerenciar esse recurso, de forma eficiente, como chave para apoiar a QoS. É usado o conceito de QoS adaptável, no qual a largura de banda da conexão não está fixada em um único valor, mas é determinado dentro de um intervalo  $[b_{min}; b_{max}]$ , visando o aumento do

benefício do canal disponível, enquanto se reduz o número de novas conexões derrubadas. Este mecanismo considera o canal responsável pelas condições de enlace e de controlar a largura de banda alocada para cada conexão, então define duas ações de adaptação: *downgrade* e *upgrade*. O *downgrade* é ativado quando se torna necessário diminuir a largura de banda alocada para uma ou várias conexões sem comprometer a largura mínima necessária. Isso acontece quando: 1. se trata de estabelecer uma nova conexão e acontece um conflito na demanda, então se faz *downgrade* das larguras de bandas conectadas, tratando que se possa estabelecer a nova conexão; 2. as condições de uma conexão ficam muito ruim e o mecanismo de controle de erro requer mais largura de banda (por redundância) para manter a QoS dessa conexão. O *upgrade* pode ser ativado quando a largura de banda adicional fica disponível como resultado de: 1. uma terminação de conexão; 2. saída por *hand-offs*, ou 3. as condições do canal são melhoradas e diminui a necessidade da redundância para o controle do erro da conexão. A adaptação da largura de banda através das ações *downgrade* e *upgrade*, tentará maximizar o benefício das conexões já admitidas enquanto forem satisfeitos os requerimentos de adaptação da conexão específica, aumentando assim, os benefícios do provedor de serviços.

Outra tendência é a comunicação direta entre a aplicação e a rede, na qual a aplicação toma decisões para transmitir dados em função da disponibilidade da rede, dividindo o fluxo da aplicação segundo as condições que a rede dispõe para transmitir [27,54]. O *mecanismo de adaptação rede/aplicação*, é baseado no princípio de transportar o fluxo multimídia sobre redes móveis/sem fio, sobre uma arquitetura de QoS fim-a-fim adaptável [36]. A característica fundamental deste mecanismo é a disponibilidade da aplicação e da rede de se manter atentos à capacidade e requerimento dos outros, isto quer dizer, que as aplicações multimídia necessitam ficar atentas à rede e a rede deve garantir serviços às aplicações. Para obter isto, a aplicação multimídia é apresentada para a rede em forma de uma hierarquia de fluxos escaláveis. Dependendo da disponibilidade dos recursos e dos *throughputs* da rede, um subconjunto desses fluxos é selecionado e transportado para alcançar a melhor qualidade no terminal móvel/sem fio. Isto pode ser feito em múltiplas conexões (com receptores sem fio e cabeados) guiando o caminho para cada receptor que pode ter disponibilidade de recursos fim-a-fim diferentes através da rede.

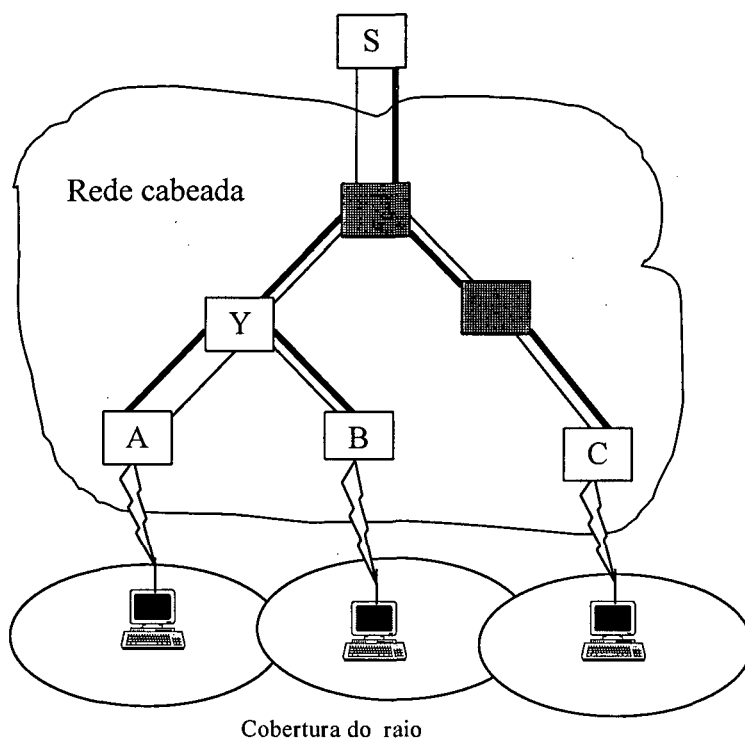


FIGURA 1.8. Visão do sistema de adaptação aplicação/rede

Como é observado na Fig. 1.8., A, B e C são pontos de acesso, e Y é um receptor (roteador habilitado para atender os nós móveis), nesse caso analisa a disponibilidade da rede cabeada e agrupa os subfluxos a serem transmitidos. No nível de adaptação do fluxo multimídia, este pode ser adaptado para satisfazer as diferentes características da rede. O conhecimento *a priori* das características do ambiente projetado é usado no processo de pré-compressão para modificar as características de compressão do fluxo para uma melhor adaptação. Embora o processo de descompressão possa ser também aplicado e combinado com políticas de transmissão apropriadas para se adaptar dinamicamente às possíveis mudanças nas condições. No nível de adaptação da rede, primeiro a aplicação deve ser apresentada à rede em termos de hierarquia de fluxos e camadas, então a função principal da adaptação da rede é prover um escalamento médio baseado nas condições de disponibilidade dos recursos na rede fixa e sem fio. Para o tratamento do *handoff*, como a aplicação é dividida em subfluxo, pode mandar alguns deles para os pontos de acesso vizinhos antes de mudar de célula.



Manter informações sobre os usuários para prever seus movimentos futuros [10,32] é outro mecanismo usado para manter a qualidade do serviço. Um mecanismo de *Predição da mobilidade para garantir QoS adaptável em redes sem fio* é exposto em [7]. Esse mecanismo permite que os procedimentos de reserva e configuração se limitem às regiões da rede onde o usuário conecta-se com maior frequência. É baseado no modelo de mobilidade do usuário e, especificamente, definido para redes de área ampla (WWAN). Como solução prática para o problema é proposto um algoritmo para prever a mobilidade do usuário com a exatidão desejada, através da eleição cuidadosa de um subconjunto de células vizinhas como candidatas potenciais. O algoritmo é definido da seguinte forma: a predição é derivada de uma distribuição de todos os próximos movimentos possíveis. Se a próxima célula prevista não possui uma probabilidade maior que o PCR (Radio Confidencial da Predição), uma ou mais células extras serão adicionadas para o grupo das células, onde os recursos serão reservados e os serviços pré-configurados; esse processo vai continuar até que a soma das probabilidades excedam o PCR. Com a aplicação deste algoritmo, a preparação do sistema para uma conexão vai depender dos requerimentos de serviço do usuário e do modelo de mobilidade. Além disso, podem ser mudados facilmente os recursos reservados numa sessão, só ajustando o valor do PCR. O objetivo de reservar os recursos e pré-configurar os serviços é garantir a QoS para os usuários móveis, ao mesmo tempo que se diminui o custo.

A seguir, será feita a caracterização dos mecanismos descritos através da comparação dos elementos gerais da arquitetura de QoS.

### 1.3.2. Caracterizações dos mecanismos estudados

A caracterização dos diferentes mecanismos é baseada nos elementos gerais da arquitetura de QoS e mostrada na tabela 1.1.

Uma característica comum, para a garantia de QoS nas redes sem fio, é o princípio de adaptabilidade, o qual consiste em acomodar as aplicações e os recursos da rede às condições reais com o objetivo de manter a qualidade de que se necessita.

A caracterização do tráfego é considerada sobre os diferentes acessos ao meio por parte dos mecanismos descritos.

O controle da admissão é o responsável por comparar os recursos que precisam de uma conexão (para manter a QoS) com os recursos disponíveis no sistema. A decisão de aceitar uma nova conexão depende da política de gerência dos recursos e a disponibilidade deles. Uma vez que o processo de admissão é completado satisfatoriamente, os recursos locais são reservados e compromete-se a mantê-lo. A reserva de recursos organiza a alocação dos recursos da rede de acordo com as especificações de QoS do usuário.

A mobilidade representa uma das maiores vantagens das redes sem fio, ao mesmo tempo que exige uma atenção especial. Manter as transmissões quando os nós estão se movimentando é difícil, pior ainda resulta manter boa qualidade na transmissão.

Cada mecanismo tem as suas características próprias e pode ser aplicado em função da rede, faltando apenas estabelecer os parâmetros de QoS que são necessários.

### 1.3.3. Aplicação

A maioria dos mecanismos apresentados são aplicados em redes sem fio infra-estruturada, as quais são mais comuns já que consideram a rede sem fio como uma extensão das redes cabeadas que se interligam através de pontos de acesso. O fato do *hand-off* é um aspecto muito importante a considerar na QoS, e é analisado em quase todos os mecanismos descritos.

INSIGNIA é o único definido para redes *ad hoc*. Como já foi comentado, a garantia de QoS para este tipo de rede é mais complexa, devido as suas características: topologia dinâmica (que mudam rapidamente), largura de banda escassa (com a capacidade de enlace variável) e operações limitadas pela capacidade da bateria [7]. Existem poucos trabalhos relacionados com esse tema, alguns assuntos são discutidos no Projeto Glomo [20] e alguns métodos de roteamento para redes *ad hoc* [48]. Por este motivo, baseando-se nos mecanismos estudados, é feita uma proposta para garantir qualidade do serviço para este tipo de rede, seguindo o princípio de gerenciamento da largura de banda das conexões [46].

Na próxima subseção são descritos as principais motivações que levaram a realizar este trabalho, assim como os objetivos que se pretende atingir.

Tabela 1.1. Caracterização dos mecanismos estudados

	<b>Mobiware</b>	<b>MASCARA</b>	<b>INSIGNIA</b>	<b>Gerência da largura de banda</b>	<b>Adaptação Rede/aplicação</b>	<b>Predição da mobilidade</b>
<b>Mecanismo de adaptação</b>	Através dos objetos CORBA, e a política de adaptação	Através das variáveis tamanho do <i>frame</i> , transmissão, recepção e períodos de contenção	Apoiando-se nas novas opções do IP e da operação de adaptação	Usando as ações tomadas pelo canal para alocar a largura de banda	Através da divisão de fluxos hierárquicos, em dependência da disponibilidade da rede	Baseia-se no modelo de mobilidade do usuário
<b>Caracterização do tráfego</b>	É controlado em cada ponto da rede usando a interface programável	É regulado pelo algoritmo do <i>Scheduler</i>	É estabelecido e controlado através das operações do sistema	Depende da largura de banda disponível para cada aplicação	Os pacotes são pré-comprimidos e transmitidos pela rede, usando diferentes algoritmos	Depende do controle de acesso ao meio definido
<b>Controle de Admissão e Reserva de Recursos</b>	Através dos objetos definidos em cada periférico, o empacotamento do fluxo e o gerenciamento <i>soft-state</i>	Usando as técnicas de contenção e reserva implementadas no <i>Scheduler</i>	Através das marcações realizadas nos pacotes IP e os módulos de Controle de admissão e Controle de acesso ao Meio	Conferindo se existe disponibilidade para a nova conexão, senão orienta ações com vista a conseguí-la.	A camada de rede tenta disponibilizar recursos para a nova conexão e informa às outras aplicações para que diminuam o tamanho dos sub-fluxos se precisar	Reserva recursos nas células de maiores probabilidades para se conectar tem o usuário, a partir do modelo de mobilidade
<b>Mobilidade</b>	Dá tratamento ao <i>hand-off</i> , através de APIs Programáveis	Através das implementações que façam uso do <i>Scheduler</i> descrito	Através das operações de inicialização do fluxo, gerência do <i>soft-state</i> e restauração do fluxo	Uma porção da capacidade de enlace é reservado em cada canal, para os <i>hands-off</i> que possam acontecer	Envia os subfluxos das aplicações aos pontos de acessos vizinhos para evitar pacotes perdidos e demora por causa de <i>hand-off</i>	Usando os modelos e algoritmos de predição da mobilidade do usuário através do seu histórico

#### 1.4. Motivações e objetivos do trabalho

As motivações fundamentais que conduziram ao desenvolvimento deste trabalho são:

- O grande interesse que estão representando as redes *ad hoc* na comunidade científica internacional, devido à sua ampla aplicabilidade;
- Os elementos para garantir a qualidade dos serviços nas redes sem fio, como fator essencial dos novos tipos de aplicações (multimídia, videoconferências, etc.); e
- A pouca quantidade de mecanismos que considerem os parâmetros de QoS nas redes sem fio do tipo *ad hoc*.

Os principais objetivos que se pretendem atingir são:

- Apresentar os conceitos fundamentais relacionados com as redes LAN sem fio e, em específico, as redes de topologias *ad hoc*;
- Caracterizar os diferentes mecanismos de garantia de Qualidade de Serviço para redes sem fio;
- Propor um mecanismo baseado no princípio de gerenciar a largura de banda para garantir QoS em redes sem fio do tipo *ad hoc*;
- Descrever a implementação e uso do simulador desenvolvido para ambientes de redes *ad hoc*;
- Validar o mecanismo de gerência de largura de banda através da criação de diferentes redes sem fio, usando o simulador.

Para alcançar esses objetivos o trabalho é organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1: introduz os conceitos principais relacionados com as redes LAN sem fio, detalhando as características das redes *ad hoc* e caracterizando os principais mecanismos para garantir QoS nas redes sem fio;
- Capítulo 2: propõe o método para garantir QoS em redes de topologia *ad hoc* considerando o princípio de gerência de largura de banda. Também é descrito o simulador usado e a metodologia empregada para a validação;
- Capítulo 3: apresenta em detalhes o simulador implementado. Também são mostrados e discutidos os principais resultados obtidos na validação do método proposto.

Finalmente, são mostradas as conclusões e os trabalhos futuros, assim como as referências bibliográficas.

## 2. MEIOS E MÉTODOS

As redes sem fio/móveis se caracterizam por ser altamente dinâmicas devido às variações no tempo e à mobilidade dos usuários. A chave para garantir a QoS neste tipo de rede é gerenciar a largura de banda eficientemente.

Neste capítulo é proposto um mecanismo para garantir QoS aplicado a redes sem fio *ad hoc*. Também é descrita a ferramenta de simulação desenvolvida, assim como a metodologia empregada para a validação do mecanismo.

### 2.1. Proposta do mecanismo para garantir QoS em redes sem fio *ad hoc* baseado no princípio de gerenciar a largura de banda.

Devido às rápidas flutuações da largura de banda nas redes sem fios, pode-se usar o conceito de QoS adaptável, no qual a largura de banda da conexão não é fixa em um único valor, mas é determinada dentro de um intervalo [ $b_{\text{mín}}$ ;  $b_{\text{máx}}$ ] [8].

A largura de banda mínima  $b_{\text{mín}}$  pode ser considerada como a largura de banda para manter a qualidade no nível mais baixo, e que a conexão do usuário móvel possa se “manter viva”.

Usando o conceito de QoS adaptável, é possível utilizar a largura de banda eficientemente, aumentando assim, a relação custo/benefício do canal disponível, enquanto se reduz o número de novas conexões perdidas.

Nesta seção é apresentada uma ferramenta de QoS adaptável baseada no princípio de “acomodar” a largura de banda entre as diferentes conexões de forma tal que maximize o custo/benefício, considerando as características próprias das redes *ad hoc*. Na próxima subseção são apresentados os critérios pelos quais se considera válido a aplicabilidade deste método para as redes sem fio *ad hoc*. Em seguida é feito a descrição do sistema, mostrando o conceito de aplicação adaptável e o modelo custo/benefício; na outra subseção é detalhado o mecanismo de adaptação da largura de banda e o controle de admissão da conexão, assim como a regra de adaptação.

#### 2.1.1. Aspectos considerados para a aplicação em redes *ad hoc*

O padrão IEEE 802.11, define duas tecnologias de transmissão que usam ondas de rádio sobre a faixa 2.4 GHz: FHSS (Espalhamento do Espectro por Saltos de

Frequência) e DSSS (Espalhamento do Espectro por Seqüência Direta). Devido à forma como os sistemas FH e DS ocupam a faixa, é necessário que compartilhem a mesma entre seus usuários. Alguns sistemas DS, então, são projetados para usarem menos que a faixa disponível, que é dividida em canais. Assim, cada usuário trabalha em um canal, não havendo interferência. Em sistemas FH, a mesma largura de faixa total é usada por diferentes conexões, mas cada conexão usa canais estreitos de 0,5; 1 ou até 2 MHz e seguem seu próprio padrão de saltos em frequência. Assim sendo, cada conexão vai estabelecer um canal de comunicação com uma largura de banda específica, e as redes sem fio *ad hoc* seguiram esse princípio, pelo qual é possível gerenciar esse recurso com vistas a garantir a QoS.

Uma das características das redes *ad hoc* consideradas na definição do mecanismo proposto é não ter uma estruturada determinada (topologia dinâmica), pelo qual cada nodo que faz a conexão, vai ativar o controle de admissão da conexão e, se for preciso, as regras de adaptação. Também é considerado o fato de não estar dividida em células, pelo qual não ocorrerá *hand-off*, senão quando o computador se movimenta e sai da área de abrangência (domínio), a conexão cai e é preciso estabelecer outra rota, através do método de roteamento definido.

Na próxima seção é feita a descrição do sistema.

### 2.1.2. Descrição do sistema

Define-se o “domínio”  $i$  como aquele formado por um grupo de estações associadas para estabelecer comunicação direta (*BBS: Basic Service Set*), os quais terão uma capacidade de enlace  $C_i$ . A unidade de largura de banda de enlace será  $BU$ . Considera-se  $C_{i,j}$  como a conexão  $j$ , estabelecida entre dois nós do domínio  $i$ . E  $S_i$  o conjunto de índices das conexões.

No esquema de gerência de largura de banda adaptável, assume-se um controle de erro, também adaptável, que manipule as condições do canal variante no tempo. Existem vários tipos de controle de erros adaptáveis, entre eles:

- **modulação adaptável:** com a mesma capacidade e largura de banda de transmissão, uma modulação com um comprimento  $M$  pode alcançar uma taxa de transmissão de dados mais alta com pouca quantidade de erro. Dependendo das condições do canal

a modulação pode ser adaptada (por exemplo, adaptação em Wave-LAN entre BPSK- Método de Chaveamento por Deslocamento da Fase Binária e QPSK- Método de Chaveamento por Deslocamento da Fase Quadrada [33]).

- *uso adaptável de códigos de controle de erro*: codificando a informação (ou pacote), usando um código de controle de erro, são juntados os bits redundantes. Dependendo das condições do canal observado, os códigos do controle de erro podem ser usados de forma adaptável [25, 16, 15, 9].

Um sistema pode usar uma das combinações anteriores. Uma característica comum destas técnicas é: quanto melhor forem as condições do canal, mais eficazmente os recursos podem ser usados. Isto quer dizer que uma taxa de transmissão mais alta pode ser alcançada com a mesma largura de banda.

É representada a eficiência do uso da largura de banda de uma conexão como  $r$  ( $\leq 1$ ), onde:

$$b = r \cdot w \quad (1)$$

sendo  $w$  a largura de banda alocada para esta conexão e  $b$  o *throughput* atual (ou taxa). Note-se que  $r$  é uma função que varia no tempo, dependendo da localização da conexão e do seu ambiente. Ela será determinada pelo tipo de controle de erro utilizado.

A soma ( $W_i$ ) das larguras de bandas alocadas para todas as conexões do domínio ( $w_{i,j}$ : largura de banda da conexão  $j$  do domínio  $i$ ) deve estar limitada superiormente por  $C_i$ :

$$W_i = \sum_{j \in S_i} w_{i,j} \leq C \quad (2)$$

A soma ( $B_i$ ) dos *throughputs* de todas as conexões do domínio  $i$  ( $b_{i,j}$ ) é representada por:

$$B_i = \sum_{j \in S_i} b_{i,j} \quad (3)$$

$B_i$  varia no tempo e depende da largura de banda alocada para cada conexão.

A eficiência do uso da largura de banda pode ter diferentes valores discretos, isto é,  $r \in \{r_1 (=r_{min}), r_2, r_3, \dots, r_n (=r_{max})\}$ , limitado só pelo conjunto de modulações e



códigos de controle de erros usados, devido à complexidade computacional resultante que é proporcional ao tamanho do conjunto.

O esquema de controle de erro deve ser suficientemente eficiente para manipular variações ao longo do tempo no canal, por exemplo, resultado do *shadowing* e atenuação do sinal; enquanto que não deveria manipular variações a curto prazo, por exemplo, resultado do *fading* de tempo curto.

Assume-se que cada conexão é especificada num intervalo  $[b_{min}; b_{max}]$ , do *throughput* atual que necessita. Por exemplo, o tráfego multimídia em tempo real pode ser representado em subfluxo hierárquico dependendo das capacidades da rede para ser transportado [36]. Para código de vídeo e áudio, é possível mudar a taxa de saída, ajustando alguns parâmetros de codificação. Além disso, quando uma estrutura de codificação hierárquica é usada, os dados codificados podem ser seletivamente saltados sem degradar a qualidade percebida da informação decodificada.

Uma conexão em tempo não real deve requerer um *throughput* mínimo. Todo o tráfego deste tipo pode ser dirigido de uma forma agregada sem alocação de mais largura de banda por conexão.

Mais especificamente, o *throughput* atual requerido por uma conexão é determinado por um conjunto de valores discretos:  $\mathbf{B} = \{b_1 (= b_{min}), b_2, \dots, b_m (= b_{max})\}$ , dependendo da aplicação. Observa-se que o alcance da largura de banda exigida,  $[w_{min}; w_{max}]$ , (onde  $w_{max(min)} = b_{max(min)}/r$ ) de uma conexão com um intervalo de *throughput* atual  $[b_{min}, b_{max}]$  varia no tempo e depende do valor de  $r$ .

Uma função de *benefício* é escolhida tal que o provedor de serviço ganhe  $F(\mathbf{b})$  unidades de custo/benefício pelo *throughput*,  $\mathbf{b} \in \mathbf{B}$ , que está garantindo para uma conexão/aplicação. A função de benefício  $F$  para uma conexão específica, deve ser uma função arbitrária e não decrescente de  $\mathbf{b}$ , segundo a estimação do esquema adotado.

Dependendo da aplicação, uma conexão vai ter: 1- a duração mínima desejada ( $\Delta t$ ) entre duas adaptações consecutivas, chamadas *intervalo de adaptação mínimo desejado*, e 2- a mudança máxima desejada ( $\Delta b$ ) sobre o *throughput* concedido em um processo de adaptação, chamado *adaptação de throughput máximo desejado*.

Por exemplo, uma conexão de vídeo em tempo real vai precisar de um  $\Delta t$  de alguns segundos e  $\Delta b$  será um número positivo moderadamente maior, tal que não ocorram flutuações drásticas e freqüentes da qualidade do vídeo, enquanto a conexão em tempo não real provavelmente dê a eles valores iguais a zero para garantir maior largura de banda disponível. Pode-se notar que  $\Delta t$  e  $\Delta b$  especificam com que freqüência e quanto o *throughput* atual da conexão pode ser adaptado.

Em resumo, a conexão  $C_{i,j}$  é especificada por um conjunto:  $\{B_{i,j}, F_{i,j}(), \Delta t_{i,j}, \Delta b_{i,j}\}$ . Um problema interessante é como adaptar a largura de banda alocada para maximizar o benefício total com estas restrições de adaptação, quando cada função de benefício de conexão varia no tempo, segundo sua largura de banda alocada. Na próxima subseção é proposto o mecanismo para resolver este problema.

### 2.1.3. Mecanismo de adaptação da largura de banda

No caso das redes sem fios, o canal é o responsável pelas condições do enlace e do controle da largura de banda alocada para cada conexão. Nesta subseção serão tratadas as ações de adaptação iniciadas e orientadas pelo canal, devido às flutuações de carga dos enlaces sem fio.

Há dois tipos de ações de adaptação da largura de banda: *upgrade* e *downgrade*.

A ação *downgrade* é crucial, já que está relacionada com a possibilidade de rejeitar uma nova conexão. Há dois casos em que é invocada uma ação *downgrade*:

- ***chegada de uma conexão***: quando se trata de estabelecer uma nova conexão entre dois nós, o canal tem que conferir se existe largura de banda suficiente para acomodar esta nova chegada, enquanto se garante a largura de banda exigida mínima para cada conexão existente. Se acontece um conflito na demanda da largura de banda, isto é, a soma de largura de banda alocada é maior que a capacidade de enlace, então o canal tentará fazer *downgrade* das larguras de bandas conectadas (incluindo a nova) sem comprometer a largura mínima necessária para cada uma, de forma tal que se possa estabelecer a nova conexão.
- ***mudança na condição do canal***: uma ação de *downgrade* também pode ser ativada quando as condições de uma conexão ficam muito ruins e o mecanismo de controle

de erro requer mais largura de banda (por redundância) para manter a QoS dessa conexão. Se não há mais largura de banda disponível para essa conexão, então uma ação de *downgrade* é invocada.

Por outro lado, uma ação *upgrade* pode ser ativada quando a largura de banda adicional fica disponível como resultado de: 1- uma terminação de conexão, 2- as condições do canal são melhoradas e diminuem a necessidade da redundância para o controle do erro da conexão. Distintas das ações de *downgrade*, orientadas a eventos, as ações de *upgrade* devem ser executadas com mais cuidado, utilizando o intervalo de interadaptação mínimo desejado de cada conexão. Deste modo, pode ser reduzida a oscilação da largura de banda do enlace sem fios com operações *upgrade* e *downgrade* freqüentes, que podem causar *overhead* significativo e afetar a qualidade das transmissões, considerando que as ações de adaptação não são livres, pois elas consomem recursos.

#### 2.1.4. Controle de admissão da conexão

Considera-se  $b_{i,j}(\min)$  e  $b_{i,j}(\max)$  os atuais *throughputs* mínimo e máximo de  $C_{i,j}$ , respectivamente. No processo de controle de admissão confere-se sempre se é possível prover cada conexão com seu *throughput* mínimo.

O teste de admissão para uma nova conexão  $C_{novo}$  no canal  $i$  pode ser representado por:

$$\sum_{j \in S_i} (b_{i,j}(\min) / r'_{i,j}) + b_{novo}(\min) / r_{\min} \leq C_i \quad (4)$$

Onde  $r'$  é a eficiência da utilização da largura de banda no pior dos casos, e está definida como:

$$r'_{i,j} = \begin{cases} r_{i,j}, & \text{se } C_{i,j} \text{ é estacionária} \\ r_{\min}, & \text{se } C_{i,j} \text{ está se movimentando} \end{cases} \quad (5)$$

O valor  $r'$  de uma conexão estacionária é determinado como a eficiência da largura de banda atual, enquanto que a de uma conexão móvel é determinado como o

valor mínimo das eficiências das larguras de banda usadas ( $r_{min}$ ). O uso de  $r'_{i,j}$  em vez de  $r_{i,j}$  se deve ao fato de que uma conexão móvel tem variação no tempo e a conexão poderia ser derrubada quando as condições do canal piorarem. Na admissão de uma nova conexão, assumir-se-á que a estação está em movimento só se a sua eficiência de uso de largura de banda não variar durante um certo período de tempo, então se mudará o seu estado a estacionário.

Mesmo que  $r_{min}$  seja usado para o teste de admissão de cada nova conexão, seu valor  $r$  pode ser determinado pelo esquema de controle de erro atual. Por exemplo  $r_{max}$  (isto é,  $r=r_{max}$ ) no começo da inicialização da conexão, e então ir diminuindo  $r_{max}$  gradualmente de acordo com as condições do canal.

O máximo *throughput*  $b_{novo(max)}$  é provido inicialmente para a nova conexão admitida, então, os parâmetros da conexão específica são definidos como:

$$\Delta t^+_{novo} := \Delta t^-_{novo} := \Delta t_{novo} \quad (6)$$

$$\Delta b^+_{novo} := \Delta b^-_{novo} := \Delta b_{novo} \quad (7)$$

Onde  $\Delta t^+$  ( $\Delta t^-$ ) é o tempo mínimo designado para uma ação *upgrade* (*downgrade*) medido desde a última adaptação, e  $\Delta b^+$  ( $\Delta b^-$ ) é o limite máximo designado para incrementar (decrementar) o *throughput* em cada ação *upgrade* (*downgrade*).

### 2.1.5. Regra de adaptação

As perguntas básicas relativas à adaptação da largura de banda são: 1. Quando adaptar? 2. Quem adaptar? e 3. Quanto adaptar?. A adaptação de largura de banda tentará maximizar o benefício das conexões já admitidas enquanto satisfaça os requerimentos de adaptação da conexão específica.

Para explicar melhor esta regra de adaptação, são definidos dois parâmetros para cada conexão: a tendência a *upgrade*  $\Delta R^+_{i,j}$  e tendência a *downgrade*  $\Delta R^-_{i,j}$  da função de benefício da conexão  $C_{i,j}$ , definido por:

$$\Delta R_{ij}^+ = \begin{cases} 0, & \text{se } l \text{ é o máximo} \\ \frac{F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_{l+1}) - F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_l)}{w_{l+1} - w_l} & \text{em outro caso} \end{cases} \quad (8)$$

$$\Delta R_{ij}^- = \begin{cases} \infty, & \text{se } l=1, \\ \frac{F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_l) - F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_{l-1})}{w_l - w_{l-1}} & \text{em outro caso} \end{cases} \quad (9)$$

Onde  $l$  é o nível da largura de banda atual recebida pela conexão  $C_{i,j}$ . isto é,  $b_{i,j} = b_l$  ou  $l = \text{nível}(C_{i,j})$ .

Quando uma nova conexão é admitida, ou as condições do canal ficam deterioradas, a alocação da largura de banda no canal poderia se tornar maior que a capacidade de enlace:

$$W_i = \sum_{j \in S_i} w_{i,j} > C_i \quad (10)$$

então, a largura de banda alocada por algumas conexões (incluindo a nova conexão) deveria ser reduzida.

O processo de *downgrade* no domínio  $i$  ocorre como é mostrado a seguir:

```

 $\Delta t_{adj} := 0; \Delta b_{adj} := 0;$ 
while ( $W_{a,i} > C(i)$ ) {
  if ( $\Delta t_{adj} = \max_j \Delta t_{i,j}$ )  $\Delta b_{adj} := \Delta b_{adj} + 1(BUs);$ 
  while (not  $\exists k$  s.t.  $\Delta R_{i,k} \neq \infty$ ,  $\tau_{i,k} > \Delta t_{i,k} - \Delta t_{adj}$ , and  $\beta_{i,k} < \Delta b_{i,k}^- + \Delta b_{adj}$ )
     $\Delta t_{adj} := \Delta t_{adj} + 1(sec);$ 
  escolher j com  $\min \Delta R_{i,j}$ ,  $\tau_{i,j} > \Delta t_{i,j} - \Delta t_{adj}$ , and  $\beta_{i,j} < \Delta b_{i,j}^- + \Delta b_{adj};$ 
   $W_{a,i} := W_{a,i} - (w_l - w_{l-1})$ , onde  $l = \text{nível}(C_{i,j});$ 
  if ( $\Delta t_{adj} \neq 0$ )  $\Delta t_{i,j} := \Delta t_{i,j} + \Delta t_{adj};$ 
  else  $\Delta t_{i,j} := \Delta t_{i,j};$ 
  if ( $\Delta b_{adj} \neq 0$ )
    if ( $\Delta b_{i,j}^- > 1(BU)$ )  $\Delta b_{i,j}^- := \Delta b_{i,j}^- - 1(BU);$ 
    else  $\Delta b_{i,j}^- := \Delta b_{i,j}^-;$ 
}

```

Pseudocódigo de um algoritmo para resolver o conflito da demanda da largura de banda entre conexões fazendo *downgrade*

Onde  $\tau_{i,j}$  é o tempo empregado desde a última adaptação da largura de banda de  $C_{i,j}$ , e  $\beta_{i,j}$  é o throughput atual decrementado durante esse *downgrade*. Se sobre  $C_{i,j}$  nunca se fez uma adaptação anterior,  $\tau_{i,j}$  é o valor do tempo desde o início da conexão. Como se pode ver no pseudocódigo, enquanto se reúnem as restrições de adaptação, uma conexão com tendência a *downgrade* mínimo será escolhida e diminuída até que a alocação de largura de banda seja menor ou igual à capacidade de enlace. Manter todas as conexões (ou acomodar uma nova conexão) é mais importante que não violar as restrições de adaptação da conexão. Se uma nova conexão admitida começa uma ação *downgrade*, então seu  $\Delta b^-$  ( $\Delta t$ ) toma o valor  $\infty$  ( $-\infty$ ) para tornar esta adaptação ilimitada a partir de seu *throughput* atual máximo provido inicialmente.

Quando uma conexão  $C_{i,j}$  inicializa uma ação *downgrade* devido à entrada de uma nova conexão ou à deterioração das condições do canal, esta é “penalizada” para que tenha menos chance de operações *downgrade/upgrade* no futuro. Isto reduzirá as flutuações da largura de banda dos enlaces sem fio.

O pseudo algoritmo para “penalizar” a conexão é mostrado a seguir:

```

if ( $C_{ij}$  inicia um downgrade){
     $\Delta t^+_{ij} := \Delta t^+_{ij} + 1(sec)$ ;
    if ( $\Delta b^+_{ij} > 1$ )  $\Delta b^+_{ij} - 1(BU)$ ;
}

```

Pseudocódigo de um processo para penalizar uma conexão  $C_{ij}$  que inicia uma ação *downgrade* no domínio  $i$ .

Uma ação *upgrade* é ativada quando a largura de banda total alocada é menor que a largura de banda não reservada:

$$W_i < C_i - W_i \quad (11)$$

O processo de *upgrade* no domínio  $i$  trabalha como se mostra a seguir:

```

index:=1;
while (index=1 and  $\exists k$  s.t.  $\Delta R^+_{i,k} \neq 0$ ,  $\tau_{i,k} > \Delta t^+_{i,k}$  and  $\beta_{i,k} < \Delta b^+_{i,k}$ ){
    escolher j com  $\max \Delta R^+_{i,j}$ ,  $\tau_{i,j} > \Delta t^+_{i,j}$  and  $\beta_{i,j} < \Delta b^+_{i,j}$ ;
    l:=nível( $C_{i,j}$ );
    if ( $W_{a,i} + (w_{l+1} - w_l) < C(i) - W_{r,i}$ ){
         $W_{a,i} := W_{a,i} + (w_{l+1} - w_l)$ ;
        nível( $C_{i,j}$ ) := nível( $C_{i,j}$ ) + 1;
    }
    else index:=0;
}

```

Pseudocódigo de um algoritmo para alocar largura de banda residual para uma conexão (*upgrade*) no domínio  $i$ .

Basicamente, enquanto se satisfazem suas restrições de adaptação, uma conexão com tendência à *upgrade* máxima é escolhida, e a sua alocação de largura de banda é ampliada em uma quantidade menor que a largura de banda não reservada.

Quando uma ação de adaptação é invocada por um tempo de duração  $T_{adapt}$ , o qual é o intervalo de interadaptação máximo, o processo que se mostra a seguir é iniciado para realocar a largura de banda entre as conexões existentes.

```

index:=1;
while (index=1) {
  escolher j com  $\max \Delta R^+_{i,j}$ ,  $\tau_{i,j} > \Delta t^+_{i,j}$ , and  $\beta_{i,j} < \Delta b^+_{i,j}$ ;
  escolher k com  $\min \Delta R^-_{i,k}$ ,  $\tau_{i,k} > \Delta t^-_{i,k}$ , and  $\beta_{i,k} < \Delta b^-_{i,k}$ ;
   $W'_{a,i} := W'_{a,i} + (w_{l_1+1} - w_{l_1}) - (w_{l_2} - w_{l_2-1})$ , onde  $l_1 = \text{nível}(C_{i,j})$ ;  $l_2 = \text{nível}(C_{i,k})$ ;
  if ( $\Delta R^+_{i,j} > \Delta R^-_{i,k}$  and  $W'_{a,i} \leq C(i) - W_{r,i}$ ) {
     $W_{a,i} := W'_{a,i}$ ;
     $\text{nível}(C_{i,j}) := \text{nível}(C_{i,j}) + 1$ ;
     $\text{nível}(C_{i,k}) := \text{nível}(C_{i,k}) - 1$ ;
  }
  else index:=0;
}

```

Pseudocódigo de um algoritmo para realocar a largura de banda para as conexões no domínio i.

Este processo seleciona as conexões que satisfazem as restrições com a tendência a *upgrade* máximo e *downgrade* mínimo, ampliando e diminuindo a largura de banda alocada, respectivamente, sempre que tenha como resultado um benefício maior. Os estados das conexões, em término das restrições de adaptação, variam com o tempo, exemplo: uma conexão fica disponível para adaptação passando de  $\Delta t^+$  ou  $\Delta t^-$  desde a última adaptação, de modo que o incremento da adaptação agregue benefícios.

Na próxima seção é descrita a ferramenta implementada para a validação do mecanismo, a partir dos elementos aqui descritos.

## 2.2. Ferramenta de simulação utilizada

A ferramenta usada é um software desenvolvido a partir dos critérios analisados no mecanismo proposto. Este gerencia a largura de banda, considerando as necessidades de *throughput* que necessita cada conexão em função do benefício do provedor do canal.



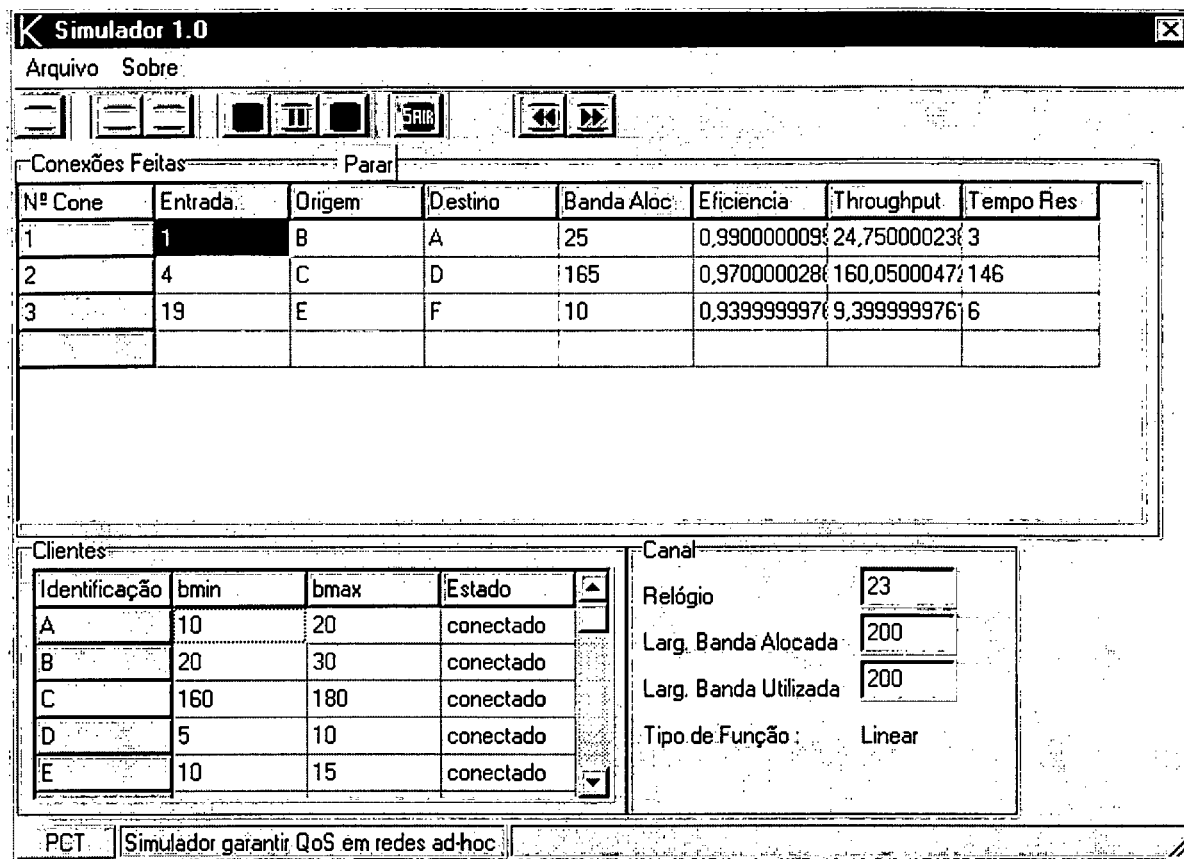


FIGURA 2.1. Janela com uma simulação ocorrendo

Como pode ser apreciado na Fig. 2.1, a tela inicial possui vários botões: Configurar o canal, Adicionar Cliente, Adicionar Conexão, Simular, Pause e Pára. Além de duas grades laterais para a visualização de todos os estados das conexões. Também contem vários dados referentes ao canal que são atualizados instantaneamente de acordo com as mudanças no mesmo.

Como resultado da simulação, são gerados dois tipos de arquivos *logs*: um com os dados dos clientes e outros com os dados das conexões no decorrer do tempo. No primeiro tipo de arquivos são armazenados: o identificador do cliente, o valor do *throughput* mínimo e o valor do *throughput* máximo. No arquivo de *log* das conexões são armazenados: o horário de ocorrência da conexão, o acontecimento (início da conexão, desconexão, *downgrade*, *upgrade*, reajuste e fracasso.), o identificador do cliente de origem, o identificador do destinatário, a largura de banda utilizada, a eficiência do canal,  $\Delta R^+$ ,  $\Delta R^-$ ,  $\Delta t^+$ ,  $\Delta t^-$ ,  $\Delta b^+$ ,  $\Delta b^-$ , tempo total da conexão, tempo do último *downgrade* e tempo do último *upgrade*.

Com os dados obtidos nesses arquivos, a partir das diferentes simulações, são realizadas as análises correspondentes para o estudos das diferentes situações. Mais detalhes sobre a implementação da ferramenta são expostos no epígrafe 3.1.

A seguir é definida a metodologia usada na validação do mecanismo.

### 2.3. Metodologia usada para a validação

No ambiente de simulação os computadores encontram-se numa sala, na qual todos os pontos podem ser alcançados. Semelhante a uma sala de reuniões ou de aulas, onde é estabelecida uma rede *ad hoc* formada pelos computadores portáteis dos empresários ou alunos.

Foram feitas as seguintes considerações no ambiente de simulação:

- Existem 30 computadores na sala, podendo ser estabelecidas até 15 conexões. Este fato baseia-se na existência no mercado de placas de redes sem fio IEEE 802.11, que permitem criar topologias *ad hoc* definindo até 15 canais de transmissão [53].
- O tempo de duração e ativação de cada conexão foi estabelecido a partir de valores aleatórios, pelo qual todas as conexões tem a mesma probabilidade de ocorrer a qualquer momento.
- Formaram-se dois grupos de usuários: (1) com intervalos de *throughput* entre [0,5; 2] e (2) com intervalos de *throughput* entre [0,5; 1]. Considerando o descrito no padrão IEEE 802.11, para transmissões usando as técnicas de FHSS e DSSS.
- A função de benefício foi definida de forma linear ( $F(b) = Xb + Y$ ), onde  $X=1$  e  $Y=0$  (i.e.  $F(b) = b$ ).
- O intervalo de adaptação mínimo desejado ( $\Delta t$ ) igual a 5. E o *throughput* de adaptação máximo desejado ( $\Delta b$ ) igual a 0,5.
- A eficiência do uso da largura de banda das conexões ( $r$ ) foi definida como 0,98.
- O domínio tem uma capacidade de largura de banda ( $C_i$ ) igual a 10 BU.

Foi escolhido um valor alto de eficiência de largura de banda ( $r=0,98$ ), considerando que no interior da sala não devem existir outros equipamentos que provoquem interferências enquanto os computadores estão transmitindo.

Como referência para a comparação foram realizados experimentos na rede *ad hoc* simulada onde não estiveram ativados as ações de adaptabilidade. Definindo o *throughput* de adaptação máximo desejado ( $\Delta b$ ) igual a 0 e o *throughput* mínimo/máximo de cada cliente [ $b_{min}$ ,  $b_{max}$ ], com o mesmo valor  $b_{min}=b_{max}=b$ .

Baseando-se nestas especificações foram realizados 60 experimentos, deles 30 usando o mecanismo de adaptabilidade e os outro 30 sem usar adaptabilidade da largura de banda. As incidências foram armazenados nos arquivos e os dados analisados para a obtenção dos principais resultados.

No próximo capítulo são mostrados os diferentes elementos considerados na implementação da ferramenta. Também são apresentados os resultados da simulações feitas, usando a metodologia e considerações descritas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez realizados os diferentes experimentos no ambiente de rede sem fio *ad hoc*, foram analisados os dados armazenados nos arquivos de *logs*, os quais mostram os resultados que serão expostos neste capítulo.

Primeiro, será detalhada a implementação do simulador. Depois serão mostrados e discutidos os resultados obtidos nas simulações realizadas.

#### 3.1. Implementação do simulador

O sistema é desenvolvido de acordo com o paradigma de Orientação a Objetos, pois se considera uma forma de abstração ideal para o problema em questão.

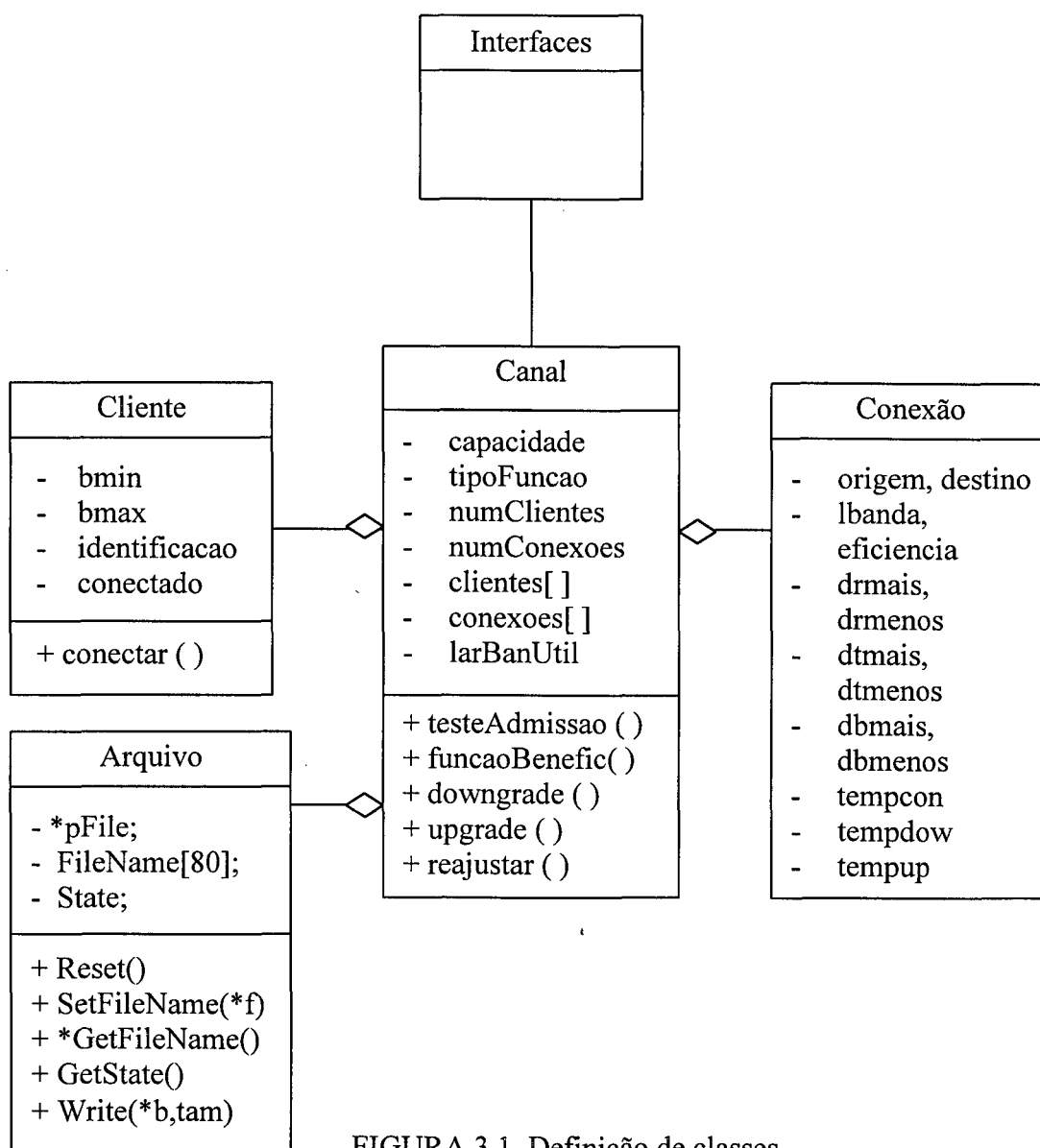


FIGURA 3.1. Definição de classes

Como é mostrado na Fig. 3.1., a especificação das classes do projeto são independentes entre si, cada uma com seus respectivos atributos e comportamentos. Foram abstraídas algumas classes para aumentar a simplicidade e compreensão do mesmo.

A linguagem de programação usada foi o C++ (C++ Builder), pois possui compatibilidade de arquivos com o simulador NS2 (*Network Simulation* versão 2), visando a migração da implementação para esse simulador de rede.

O sistema baseia-se em uma interface inicial onde ocorrerá a simulação.

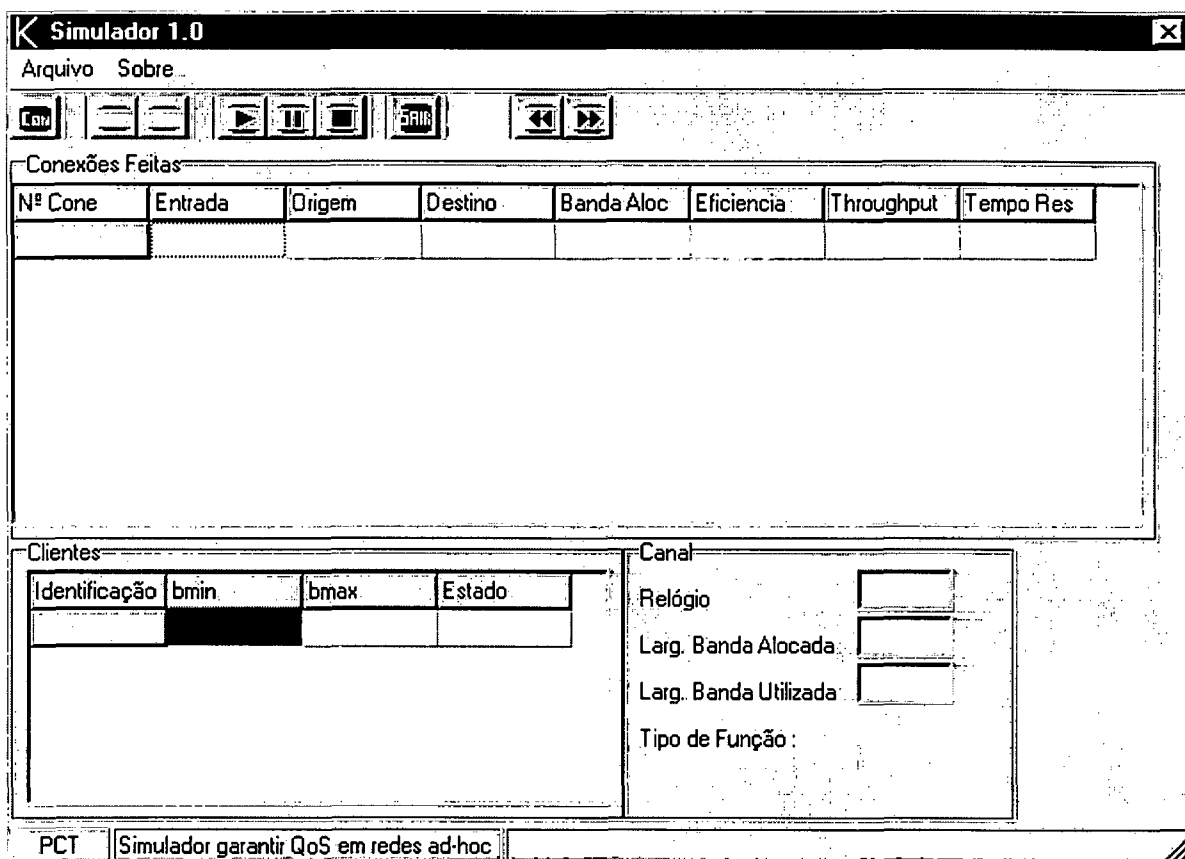


FIGURA 3.2. Tela inicial do simulador.

Como pode ser observado na Fig. 3.2, a janela inclui diferentes botões. Os primeiros são para a entrada de dados: configuração do meio (Fig. 3.3.), adicionar novo cliente (Fig. 3.4.) e adicionar nova conexão (Fig. 3.5.).

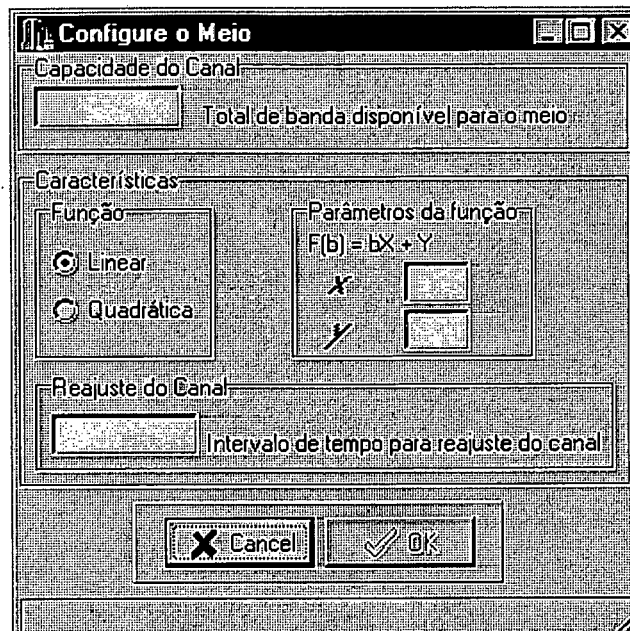


FIGURA 3.3. Tela de Configuração do canal

Como se vê na Fig. 3.3., através dessa tela pode-se entrar com os diferentes valores que permitem definir o ambiente de trabalho da simulação.

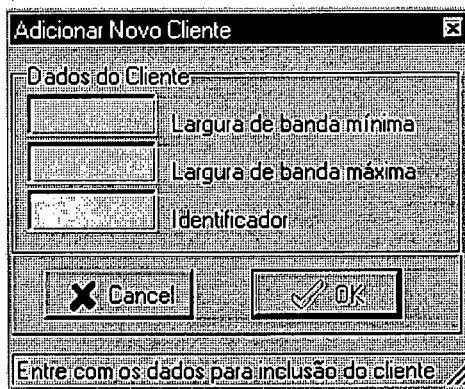


FIGURA 3.4. Tela de entrada de dados dos cliente

Na tela da Fig. 3.4. serão cadastrados os dados correspondentes aos clientes que estarão transmitindo informação dentro do canal. Podem ser incluídos tantos clientes quanto se desejar.

FIGURA 3.5. Tela de entrada de dados das conexões

Na Fig. 3.5. é mostrado o ambiente de definição das conexões, onde se estabelece os clientes originador e destinatário. Assim como, os valores que caracterizam cada conexão.

As outras opções da janela inicial estão relacionados com o processo de simulação:

- Simular: Inicializa a simulação a partir dos dados de entrada;
- Pause: Detém temporariamente a simulação;
- Pára: Interrompe a simulação para inclusão de novos clientes e novas conexões;
- Sair: Fecha e sai do simulador; e
- Botões aumenta/diminui velocidade: Permite aumentar/diminuir o tempo de simulação.

Depois que os clientes são adicionados e as conexões definidas, o botão de início da simulação é liberado. Apertando este botão, inicia-se a simulação. As conexões que foram incluídas ficam esperando seu tempo de entrada para serem consideradas. O ambiente permite visualizar as conexões feitas, a eficiência da largura de banda ( $r$ ), a largura de banda alocada ( $w$ ), o *throughput* atual ( $b$ ), o identificador da origem e destino e o tempo restante para o fim da conexão. Quando necessário são

ativadas as ações de *downgrade* e *upgrade* durante a simulação de acordo com as regras definidas.

Na próxima seção serão apresentados e discutidos os resultados das simulações realizadas para a validação do mecanismo proposto.

### 3.2. Resultados e discussão das simulações

A análise dos dados coletados durante os experimentos mostrou como o mecanismo de adaptação garante os parâmetros de qualidade do serviço (neste caso, o *throughput*).

Durante o processamento dos dados foi calculado a probabilidade de que uma nova conexão seja rejeitada, variando em função da quantidade de conexões já estabelecidas. Os valores foram obtidos tanto para os experimentos realizados no mecanismo adaptável como para o não-adaptável.

Para o cálculo da probabilidade foi usado a seguinte expressão:

$$P_m = \frac{\sum_{n=1}^{Qe} Cr_{n,m}}{Qe} \quad (12)$$

Onde  $P_m$  é a probabilidade de uma nova conexão ser rejeitada quando existem  $m$  conexões estabelecidas,  $m$  varia entre 1..15.

$Qe$  é a quantidade de experimentos realizados os quais foram igual a 30, tanto no mecanismo adaptável como no não-adaptável.

$Cr_{n,m}$  é uma variável discreta que toma valor 0, se a nova conexão pode ser aceita ou 1, se a conexão é rejeitada. O índice  $n$ , varia em função dos experimentos realizados, é dizer, entre 1..30. E o índice  $m$ , varia em função da quantidade de conexões já estabelecidas, na chegada de uma nova conexão, é dizer, entre 1..15.



Através da fórmula foram calculados os diferentes valores, usando os dados armazenados nos arquivos gerados pelo software. Os resultados são mostrados na fig. 3.6.

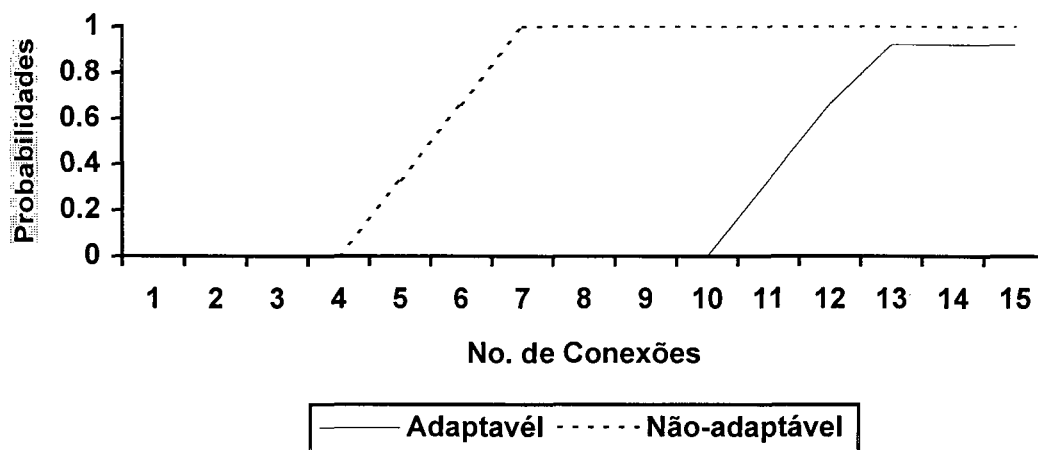


FIGURA 3.6. Probabilidade de uma nova conexão ser rejeitada

Como pode ser visto na Fig. 3.6., no mecanismo adaptável é menor a probabilidade para que alguma conexão seja rejeitada, quando se aumenta a quantidade de conexões no sistema. No caso em que o número de conexões for menor que 10 a probabilidade para que fique alguma conexão bloqueada é 0. No mecanismo não-adaptável, a partir de 4 conexões já começa a aumentar a probabilidade de que as próximas conexões sejam rejeitadas. Isto mostra como um maior número de conexões podem ser estabelecidas quando o mecanismo de adaptação é aplicado.

A largura de banda limitada e o custo das redes sem fio são questões muito importantes na admissão da conexão. Pelo qual outros valores comparados, durante o processamento dos dados, foi o aproveitamento do canal que faz o mecanismo adaptável, em relação ao mecanismo não-adaptável.

Para o cálculo dos valores do aproveitamento foi usada a seguinte fórmula:

$$W_m = \frac{\sum_{n=1}^{Q_e} W_{i_{n,m}}}{Q_e} \quad (13)$$

Onde  $W_m$  é a média da Largura de Banda alocada em cada experimento quando estão estabelecidas  $m$  conexões,  $m$  varia entre 1..15.

$Qe$  é a quantidade de experimentos realizados os quais foram igual a 30, tanto no mecanismo adaptável como no não-adaptável.

$Wi_{n,m}$  é o valor da Largura de banda alocada no experimento  $n$  quando existiam  $m$  conexões estabelecidas. O índice  $n$ , varia em função dos experimentos realizados, é dizer, entre 1..30. E o índice  $m$ , varia em função da quantidade de conexões já estabelecidas, é dizer, entre 1..15.

Os valores obtidos de aplicar a fórmula são representados na figura 3.7.

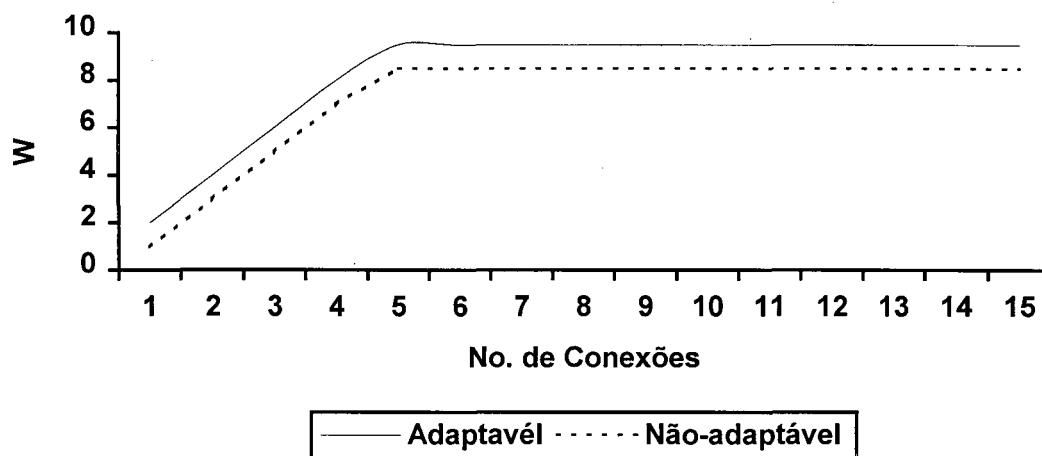


FIGURA 3.7. Alocação da largura de banda (W)

Na Fig. 3.7 é mostrado que, no mecanismo adaptável, para 5 conexões estabelecidas a largura de banda alocada ( $W$ ) chega a 10 BU, usando toda a capacidade do canal. Por outro lado, no caso do mecanismo não-adaptável é usada apenas 9 BU. Portanto, o mecanismo adaptável permite melhor uso do canal, aumentando, dessa forma, os benefícios.

Os resultados obtidos provam que: com a aplicação do mecanismo de gerência da largura de banda para redes sem fio *ad hoc*, maior número de conexões podem ser admitidas e o canal pode ser usado de forma mais eficiente.

#### 4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As redes sem fio são consideradas a quarta revolução da computação, abrindo novas áreas de pesquisas. Elas derivam do desenvolvimento das telecomunicações e da informática, unido à necessidade do homem de estar sempre informado. As redes sem fio são um importante resultado da nova “era da informação”.

As redes sem fio *ad hoc* são a principal tendência dentro da computação móvel e tem diversas aplicações, fundamentalmente em situações onde não existe uma infraestrutura de rede fixa ou a sua implementação não é viável.

Existem várias tendências na garantia da qualidade do serviço em redes sem fio, dirigidas em duas direções: no nível de pacote e no nível de conexão. Na caracterização dos diferentes mecanismos estudados, destacou-se a mobilidade como a propriedade de maior interesse (que é uma das maiores vantagens de usar redes sem fio), e à luz dessa consideração, existe um princípio comum a todos os mecanismos: a utilização da adaptabilidade para manter a QoS.

Cada mecanismo para garantia de qualidade de serviço tem suas próprias características, não sendo justo falar que um é melhor do que o outro, cada um pode ser usado dependendo das situações reais e do nível de QoS que se deseja. A maioria destes mecanismos são aplicados em redes estruturadas, procurando dar solução à perda da qualidade devido ao *hand-off*, assim como a aceitação de novas conexões. Na área das redes *ad hoc*, não existem muitos trabalhos relacionados ao problema de garantir a QoS, este fato motivou a pesquisa na área.

Neste trabalho foi proposto um mecanismo de QoS adaptável sobre o princípio de gerência de largura de banda com o objetivo de garantir qualidade de serviço para as redes sem fio do tipo *ad hoc*. O problema foi apresentado assim como a sua solução, através das ações e dos pseudo-algoritmos que executam essas ações. Foram consideradas características próprias das redes *ad hoc*, como topologia dinâmica e queda da conexão quando os computadores se deslocam.

Para validar a proposta, foi desenvolvido um programa que implementa o mecanismo de gerência de largura de banda e permite definir ambientes de redes sem fio *ad hoc*. Usando o programa foram simuladas várias configurações de redes, as quais estabelecem as conexões entre os computadores aplicando o método de QoS adaptável.

Os resultados obtidos, através dos experimentos realizados, mostram que o mecanismo de QoS adaptável admite fazer maior número de conexões, enquanto utiliza de forma mais eficiente a escassa disponibilidade de largura de banda. Provando dessa forma as vantagens que tem a aplicação do método quando se deseja garantir parâmetros de qualidade de serviço, neste caso o *throughput*.

## TRABALHOS FUTUROS

Adaptar a implementação feita do mecanismo de gerência de largura de banda ao NS2 (*Network Simulator version 2*) para realizar novos experimentos, aproveitando os diferentes ambientes de redes *ad hoc* que permitem definir esse simulador.

Aprofundar em outros assuntos teóricos relacionados com a Qualidade de Serviço e sua influência nas redes sem fio e, em específico, nas redes *ad hoc*.

Melhorar a implementação feita do simulador, incluindo outras opções que permitam criar ambientes mais completos de redes sem fio.

Validar o método proposto em redes que usem a tecnologia *Bluetooth*. Considerando que esta tecnologia é baseada em redes de topologias *ad hoc*, pelo qual o mecanismo pode ser aplicável.

## 5. PUBLICAÇÕES

### Nacionais

- Roche, A.; de Sales, A.B. e Westphall, C.B. “Wireless ou Comunicação sem fio”. Anais da VII Semana da Pesquisa. UFSC. Brasil. Setembro. 1999.
- de Sales, A.B.; Roche, A e Westphall, C.B. “Transmissão de dados em redes de computadores sem fio”. Anais da VII Semana da Pesquisa. UFSC. Brasil. Setembro. 1999.
- Roche, A. e Westphall, C.B. “Caracterização dos mecanismos para garantir qualidade do serviço em redes sem fio”. Anais do V Workshop TMN. XVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Belo Horizonte. Brasil. Maio 2000.
- Roche, A e Westphall, C.B. “Gerência da Largura de Banda para Garantir QoS Adaptável, Visando a sua Utilização em Redes sem fio ad hoc”. Anais do II Workshop de Redes sem fio. XVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Belo Horizonte. Brasil. Maio 2000.
- Roche, A. e Westphall, C.B. “Análises da Gerência de Desempenho de um Roteador que Conecta a Rede de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina com a Rede Nacional de Pesquisa”. Anais do I Simpósio Catarinense de Computação. UNIVALI. Itajai. Brasil. Setembro 2000.

### Internacionais

- Roche, A. e Westphall, C.B. “Gerência de Falhas de um roteador que conecta a RCT-SC com a RNP”. Anais do VI Congresso Internacional de Ingeniería Informática. Buenos Aires, Argentina. Abril 2000.
- Roche, A. and Westphall, C.B. “Quality of Service in Wireless. Mechanism to Guarantee Qos in Ad Hoc Wireless Networks”. Libro de Trabajos del V Evento Internacional de Redes y Telecomunicaciones. 24-27 de Octubre/2000. Habana, Cuba.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANGIN, O.; et. al. **Enabling the Creation, Control and Management of Adaptive Wireless Services in Programmable Mobile Networks**. Center for Telecommunications Research Technical Report submitted for publication, June 1998.
- [2] ANGIN, O.; et. al. **Open Programmable Mobile Networks**. Proc. Eight Intl Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV). England: Cambridge, July 1998.
- [3] BANTZ, D.F. and BANCHOT, F.J. **Wireless LAN Design Alternatives**. IEEE Network Magazine. Vol.8. March/April 1994.
- [4] BRAUN, T. **Internet Protocols for Multimedia Communications Part II: Resource Reservation, Transport, and Application Protocols**. IEEE Multimedia, Oct-Dec 1997.
- [5] BREWER, E; et. al. **A Network Architecture for Heterogeneous Mobile Computing**, IEEE Personal Communications, Oct. 1998.
- [6] CAMPBELL, A.T. **Mobiware: QoS-Aware Middleware for Mobile Multimedia Communications**. In 7th IFIP International Conference on High Performance Networking White Plains, NY, April 1997.
- [7] CHAN, J. and SENEVIRATNE, A. **A Practical User Mobility Prediction Algorithm for Supporting Adaptive QoS in Wireless Networks**. IEEE 1999.
- [8] CHOI, S. **QoS Guarantees in Wireless/Mobile Networks**. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, University of Michigan, 1999.
- [9] CHOI, S. and SHIN, K.G. **Cost-effective adaptive error control using a hybrid of FEC and ARQ in wireless networks**. Technical Report CSE-TR-402-99, University of Michigan, 1999.
- [10] CHUA, K. C. and CHOO, S.Y., **Probabilistic Channel Reservation Scheme for Mobile Pico/Microcellular Networks**, IEEE Communications Letters. Vol 2. No. 7, July 1998.
- [11] CORSON, M. S. **Issues in Supporting Quality of Service in Mobile Ad hoc Networks**, Proc. IFIP Fifth International Workshop on Quality of Service (IWQOS' 97), Columbia University .

- [12] DAS, B., et. al. **Routing in ad-hoc networks using a spine**. IEEE International Conference on Computer Communications and Networks. 1997.
- [13] DERFLER, F.J.Jr and FREED L.: **Como funcionam as redes**. Editora Quark, 1993.
- [14] DUBE, R, et. al. **Signal stability based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks**. IEEE Personal Communications, February 1997.
- [15] ECKHARDT, D.A. and STEENKISTE, P. **Improving wireless LAN performance via adaptive local error control**. Proc IEEE ICNP'98, 1998.
- [16] ELAOU, M. and RAMANATHAN, P. **Adaptive use of error-correcting codes for real-time communication in wireless networks**. Proc. IEEE INFOCOM'98, 1998.
- [17] FERREIRA, A.A. e ROBSON, G. **O Paradigma computacional da Próxima Década**. I Escola de Informática da SBC, Edição Norte, Brasil: Pará, 1999.
- [18] FEUERSTEIN, M.J. and RAPPAPORT, T.S. **Wireless Personal Communications**. Kluwer Academic Publisher, 1993.
- [19] GIBSON, J.D. **The Mobile Communications Handbook**. CRC Press.
- [20] **Glomo Project**. <http://www.darpa.mil/ito/research/glomo/index.html>, Visitada 20 de setembro 2000.
- [21] GOODMAN, D.J. **Wireless Personal Communications Systems**. Addison-Wesley. 1997.
- [22] HAAS, Z.J. and PEARLMAN, M.R. **The zone routing protocol (ZRP) for ad hoc networks**. Internet-draft, August 1998.
- [23] IMIELINSKI, T and KORTH, H.F. **Mobile Computing**. Kluwer Academic Publisher, 1996.
- [24] JIANG, M.; et. al. **Cluster based routing protocol (CBRP) functional specification**. Internet Draft, August 1998.
- [25] JOE, I. **An adaptive hybrid ARQ scheme with concatenated FEC codes wireless ATM**, Proc. ACM/IEEE MobiCom'97. Pp 131- 138. 1997.
- [26] KATZ, R.H. **Adaptation and Mobility in Wireless Information Systems**. IEEE Personal Communications Magazine. Vol 1. No 1. 1994.
- [27] KIM, M.Y. and Song, J. **Multimedia Documents With Elastic Time**, Proc. ACM Multimedia'95. November 1995.

- [28] 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.
- [29] KRISHNA, P. et. al. **A cluster-based approach for routing in *ad hoc* networks**. USENIX Symposium on Location Independent and Mobile Computing. April 1995.
- [30] LEE, S-B. and CAMPBELL, A.T. **INSIGNIA: In-band Signaling Support for QoS in Mobile *Ad hoc* Network**, Proc of 5<sup>th</sup> International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC, 98), Germany: Berlin, October 1998.
- [31] LEE, W.C.Y. **Mobile Communications Design Fundamentals**. John Wiley & Sons, second edition. 1993.
- [32] LIU, T. et. al.. **Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks**, IEEE JAC. Vol. 16 No. 6, August 1998.
- [33] LUCENT TECHNOLOGIES. **IEEE 802.11 WaveLAN PC card – user’s guide**, 1998.
- [34] MILLER, M.J.; et. al. **Satellite Communications: Mobile and Fixed Services**. Kluwer Academic Publisher, third edition, 1993.
- [35] MULLER, N.J. **Wireless Data Networking**. Artech House. 1995.
- [36] NAGHSHINEH, M. and WILLEBEEK-LEMAIR, M. **End-to End QoS Provisioning in Multimedia Wireless/Mobile Networks Using an Adaptive Framework**, IEEE Communications. Vol. 35. No.11, November 1997.
- [37] NICHOLS, K. et. al. **Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers**, RFC 2474, December 1998.
- [38] OLIVEIRA, et. al. **An Adaptive Bandwidth reservation Scheme for High-speed Multimedia Wireless Networks**, IEEE Communications Letters. Vol 2. No. 7, July 1998.
- [39] PAHLAVAN, K. and LEVESQUE, A.H. **Wireless Information Networks**. John Wiley & Sons. 1995.
- [40] PASSAS, N. et al. **MAC Protocol and Traffic Scheduling for Wireless ATM Networks**, accepted for publication, ACM Mobile Networks and Appls. J., special issue on Wireless LANs.



- [41] PASSAS, N. et. al. **Quality-of-Service-Oriented Medium Access Control for Wireless ATM Networks**. IEEE Communications. Vol 35. No. 11. November 1997.
- [42] PERKINS, C. **Mobile IP: Design Principles and Practices**. Addison-Wesley. 1998.
- [43] PERKINS, C. and BHAGWAT, P. **Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers**. ACM SIGCOMM Symposium on Communication, Architectures and Protocols. 1994.
- [44] RAMOS, C. e 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. Brasil: Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense., 25- 28 de maio de 1998.
- [45] RAPPAPORT, T.S. **Wireless Communications: Principles and Practice**. Prentice Hall. 1996.
- [46] ROCHE, A. e WESTPHALL, C.B. **Gerência da Largura de Banda para Garantir Qos Adaptável, Visando a sua Utilização em Redes sem fio *Ad hoc***. Anais do II Workshop de Redes sem Fio, no XVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Brasil: Belo Horizonte. Maio 2000.
- [47] ROCHE, A., et. al. **Wireless ou Comunicação sem fio**. Anais da VII Semana da Pesquisa. UFSC. Setembro 1999.
- [48] ROYER, Elizabeth M. and TOH, CK. **A Review of Current Routing Protocols for *Ad hoc* Mobile Wireless Networks**, IEEE Personal Communications. Vol. 6. No. 2, April 1999.
- [49] TOH, C.K. **A Novel Distributed Routing Protocol to support *ad hoc* Mobile Computing**. Wireless Personal Communications, January, 1997.
- [50] TOH, C.K. **A novel distributed routing protocol to support *ad hoc* mobile computing**. Wireless Personal Communication. January 1997.
- [51] VALADAS, R.T., et. al. **The infrared Physical Layer of the IEEE 802.11 Standar for Wireless local Area Networks**. IEEE Communication. Vol 36, Nr.12, pp 107-112, December, 1998.
- [52] WU, X. et al. **Dynamic Slot Allocation Multiple Access Protocol for Wireless ATM Networks**, Proc. IEEE ICC, Canada: Montreal, June 1997.

- [53] PROXIM. [www.proxim.com](http://www.proxim.com). Página visitada 3 de Novembro 2000.
- [54] YEADON, N. et al. **Filters: QoS Support Mechanism for Multi-peer Communications**, IEEE JSAC. Vol. 14. No. 7, September 1996.
- [55] ZHANG, L.et. al. **RSVP, a New Resource Reservation Protocol**, IEEE Network. September 1993.