

Sérgio Augusto Coelho Bezerra

**Uma Metodologia para Avaliação de Desempenho de
Aplicações Multimídia em Rede Local Sem Fio**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Wagner Meira Júnior

Belo Horizonte

20 de Dezembro de 2001

Para minha esposa Erika Bezerra e
meu filho Sérgio Bezerra Júnior.

Agradecimentos

A Deus pela sua infinita misericórdia.

A minha esposa e a minha sogra Valdomira do Amaral Coelho pelas orações e as responsabilidades assumidas durante o mestrado.

Aos meus pais pelos ensinamentos investidos.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas pelo apoio financeiro.

Ao professor orientador Wagner Meira Júnior pela determinação e sabedoria investida neste trabalho.

Ao professor Antônio Alfredo Loureiro pela co-orientação.

Aos professores da UFMG (Antônio A. F. Loureiro, Alberto Laender, Claudionor Coelho e Nívio Ziviane) e UFAM (Edjar Mota, Edjair Mota e Alberto Nogueira) que pioneiramente desbravaram o Amazonas na disseminação do conhecimento na área de Ciência da Computação em nível de mestrado.

A professora Cristina Duarte Murta e Virgílio A. F. Almeida pelas correções e sugestões.

A todos os colegas da turma de mestrado e do laboratório do Siam da UFMG.

E, finalmente, a todos os administrativos da UFMG/UFAM/CEFET-AM que cooperaram para que eu realizasse este mestrado.

Resumo

Este trabalho apresenta uma metodologia que fornece subsídios para se avaliar o desempenho de aplicações multimídia em Redes Locais Sem Fio.

Para se entender o contexto do trabalho primeiro descrevemos algumas fundamentações teóricas sobre Rede Local Sem Fio (*Wireless Local Area Network* – WLAN) e Aplicações Multimídia.

No que diz respeito à Rede Local Sem Fio, padronizado como 802.11, apresentamos conceitos básicos sobre WLAN, levando o leitor a conhecer os padrões e componentes deste tipo de rede, bem como, suas vantagens e desvantagens, segurança, protocolos, tecnologias de transmissão e as suas arquiteturas.

Quanto as Aplicações Multimídia, concentramos esforços para descrever o seu conceito e funcionamento para que o leitor compreendesse o modelo do tráfego que influenciaria no desempenho da rede. As aplicações multimídia trabalhadas nesta pesquisa foram a telnet, ftp, http, áudio e vídeo.

Como ganho principal deste trabalho apresentamos uma metodologia para simular e avaliar o desempenho de aplicações multimídia em WLAN, considerando a qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS) para tráfegos heterogêneos oriundos destas aplicações.

Para mostrar a aplicação da metodologia realizamos um estudo de caso onde passo a passo ensinamos como usá-la. Além disso, a ferramenta de simulação utilizada foi a **ns** (*Network Simulator*), dada a sua grande usabilidade e aceitação no universo acadêmico.

Palavras-chave:

Rede Local Sem Fio – Aplicações Multimídia – Qualidade de Serviço – ns (*Network Simulator*) – Metodologia para Avaliação de Desempenho.

Abstract

This work presents a methodology that supplies subsidies in order to evaluate the acting of multimedia applications in Wireless Local Area Network.

To understand the context of the work first we described some theoretical fundamentals on Wireless Local Area Network (WLAN) and Multimedia Applications.

In what it concerns the Wireless Local Area Network, standardized as 802.11, we presented basic concepts on WLANs, taking the reader to know the patterns and components of these types of networks, as well as, their advantages and disadvantages, security, protocols, transmission technologies and their architectures.

As the Multimedia Applications, we concentrated efforts to describe its concept and operation so the reader could understand the model of the traffic that would influence in the performance of the network. The multimedia applications worked in this research were the telnet, ftp, http, audio and video.

As main earnings of this work we presented a methodology to simulate and to evaluate the performance of multimedia applications in WLAN, considering the Quality of Service (QoS) for heterogeneous traffics originating from of these applications.

To show the application of the methodology we accomplished a case of study where we teach step by step how to use it. Besides, the tool of simulation used was the ns (Network Simulator), given its great using and acceptance in the academic universe.

Key-words:

Wireless Local Area Network – Multimedia Applications - Quality of Service - ns (Network Simulator) - Methodology of Evaluation of Performance.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 <i>Motivação</i>	2
1.2 <i>Objetivos</i>	3
1.3 <i>Estrutura da Dissertação</i>	3
CAPÍTULO 2.....	4
REDE LOCAL SEM FIO.....	4
2.1 <i>Introdução</i>	4
2.2 <i>O Padrão IEEE 802</i>	5
2.3 <i>O Padrão 802.11 (Redes Locais Sem Fio)</i>	7
2.3.1 <i>Vantagens</i>	7
2.3.2 <i>Desvantagens</i>	7
2.3.3 <i>Segurança</i>	8
2.3.4 <i>Componentes</i>	8
2.3.5 <i>MAC em Redes Sem Fio</i>	9
2.3.6 <i>Tecnologias de Transmissão</i>	9
2.3.7 <i>Arquitetura do IEEE 802.11</i>	12
2.4 <i>Padrões 802.11</i>	17
2.4.1 <i>802.11-a e 802.11-b</i>	17
2.4.2 <i>HiperLan</i>	17
CAPÍTULO 3.....	18
APLICAÇÕES MULTIMÍDIA.....	18
3.1 <i>Introdução</i>	18

3.2 Aplicações Simuladas.....	19
3.2.1 FTP	19
3.2.2 Telnet.....	20
3.3 Geradores de Tráfego	20
3.3.1 HTTP	21
3.3.2 Áudio.....	21
3.3.3 Vídeo	22
CAPÍTULO 4.....	23
METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	23
4.1 Introdução	23
4.2 Estudo do Sistema e Definição dos Objetivos.....	26
4.3 Modelo do Sistema	26
4.4 Métricas de Desempenho	26
4.5 Classes de Tráfego e Critérios de QoS	27
4.6 Parâmetros do Modelo do Sistema	28
4.6.1 Camada Física	29
4.6.2 Protocolo MAC	29
4.6.3 Número de Estações	29
4.6.4 Modelo do Tráfego.....	30
4.6.5 Modelo do Canal	30
4.6.6 Carga de Trabalho	30
4.7 Desenvolvimento do Simulador.....	30
4.8 Estratégia de Execução.....	31
4.9 Execução e Coleta de Dados.....	32
4.10 Análise e Interpretação dos Resultados.....	32
CAPÍTULO 5.....	33
ESTUDO DE CASO: REDE LOCAL SEM FIO	33
5.1 Estudo do Sistema e Definição dos Objetivos.....	33
5.1.1 Arquitetura dos Servidores.....	33
5.1.2 Área de Cobertura da Rede	34
5.2 Modelo do Sistema	34

5.3 Métricas de Desempenho	35
5.4 Aplicações, Classes de Tráfego e Critério de QoS	36
5.5 Parâmetros do Modelo do Sistema	36
5.5.1 Camada Física	36
5.5.2 Protocolo MAC	36
5.5.3 Número de Estações	37
5.5.4 Modelo do Tráfego.....	37
5.5.5 Modelo do Canal	38
5.5.6 Carga de Trabalho	38
5.6 Simulador Multimídia	38
5.7 Estratégia de Execução.....	39
5.7.1 Estimativa das Aplicações.....	39
5.7.2 Estimativa da Rede Local Sem Fio	40
5.7.3 Tratamento Estatístico dos Dados	41
5.8 Execução e Coleta dos Dados.....	44
5.9 Análise e Interpretação dos Resultados.....	46
5.9.1 Aplicações Multimídia	46
5.9.2 Rede Local Sem Fio	55
CAPÍTULO 6.....	64
CONCLUSÕES.....	64
<i>Trabalhos Futuros.....</i>	<i>65</i>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
APÊNDICE.....	71
AMBIENTE DE SIMULAÇÃO.....	71
1 O Simulador	71
2 Softwares	71
3 Hardware	71

Lista de Figuras

Figura 2.1: Funções do IEEE 802.	5
Figura 2.2: Relação entre os padrões OSI e IEEE 802.....	6
Figura 2.3: Tipos de transmissão na camada física.	10
Figura 2.4: Exemplo de um modelo do salto de frequência.	11
Figura 2.5: Rede Ad-hoc.	13
Figura 2.6: Rede sem fio com PA (função de <i>hardware</i>).....	13
Figura 2.7: Rede sem fio com PA (função de <i>software</i>).	14
Figura 2.8: Rede sem fio com múltiplos PA e sem ponto de extensão.	14
Figura 2.9: Rede sem fio com múltiplos PA e com ponto de extensão.....	15
Figura 2.10: Handoff.	15
Figura 2.11: Conexão de redes fixas.	16
Figura 2.12: Conexão de redes fixas com visada direta.	16
Figura 3.1: Aplicações Simuladas.	19
Figura 3.2: Geradores de tráfego.	21
Figura 4.1: Visão gráfica da metodologia.	25
Figura 5.1: Cenário do Modelo do Sistema.....	35
Figura 5.2: Visão geral dos módulos do simulador multimídia.	39
Figura 5.3: Fórmula do tempo de simulação manual para cada aplicação.....	41
Figura 5.4: Pseudocódigo do programa estimador.	41
Figura 5.5: Visão dos dados de entrada e saída do programa estimador.....	42
Figura 5.6: Vazão da Estimativa das Aplicações.	44
Figura 5.7: Percentual da Perda de Pacotes para Estimativa das Aplicações.....	44
Figura 5.8: Fórmula da Vazão.....	45
Figura 5.9: Fórmula do percentual da perda de pacotes.	45
Figura 5.10: Fórmula da Vazão para Estimativa da Rede.	45
Figura 5.11: Fórmula do atraso dos pacotes para Estimativa da Rede.....	46
Figura 5.12: Resultados de simulação da Vazão da aplicação Telnet.....	47
Figura 5.13: Resultados de simulação do Percentual da Perda de Pacotes da aplicação Telnet.	48
Figura 5.14: Resultados de simulação da Vazão da aplicação FTP.	49

Figura 5.15: Resultados de simulação do Percentual da Perda de Pacotes da aplicação FTP.	49
Figura 5.16: Vazão e Percentual da Perda de Pacotes da aplicação HTTP.....	51
Figura 5.17: Vazão e Percentual da Perda de Pacotes da aplicação de Áudio.	52
Figura 5.18: Vazão e Percentual da Perda de Pacotes da aplicação de Vídeo.	54
Figura 5.19: Vazão da aplicação TELNET para WLAN com 1 e 2M de LB.	55
Figura 5.20: Perda de Pacotes (%) da aplicação TELNET para WLAN com 1 e 2M de LB.....	56
Figura 5.21: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação TELNET para WLAN com 1 e 2M de LB.....	56
Figura 5.22: Vazão da aplicação FTP para WLAN com 1 e 2M de LB.....	58
Figura 5.23: Perda de Pacotes (%) da aplicação FTP para WLAN com 1 e 2M de LB.....	58
Figura 5.24: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação FTP para WLAN com 1 e 2M de LB.....	59
Figura 5.25: Vazão da aplicação HTTP para WLAN com 1 e 2M de LB.....	60
Figura 5.26: Perda de Pacotes (%) da aplicação HTTP para WLAN com 1 e 2M de LB.....	61
Figura 5.27: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação HTTP para WLAN com 1 e 2M de LB.....	61
Figura 5.28: Vazão da aplicação de Áudio para WLAN com 1 e 2M de LB.....	62
Figura 5.29: Perda de Pacotes (%) da aplicação de Áudio para WLAN com 1 e 2M de LB.....	62
Figura 5.30: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação de Áudio para WLAN com 1 e 2M de LB.	63

Lista de Tabelas

Tabela 4.1: Métricas de desempenho para redes locais.	27
Tabela 4.2: Classe de tráfegos e QoS [9].	28
Tabela 4.3: Métricas de desempenho para aplicações.	28
Tabela 5.1: Classe de tráfegos e QoS para aplicações multimídia.	36
Tabela 5.2: Modelo do tráfego da rede local sem fio.	37
Tabela 5.3: Parâmetros para simulação da estimativa das aplicações.	40
Tabela 5.4: Parâmetros para simulação da estimativa da rede.	40
Tabela 5.5: Exemplo de um experimento para pacotes recebidos.	43
Tabela 5.6: Valores do intervalo de confiança para os pacotes recebidos.	43
Tabela 5.7: Alguns Valores da Vazão e Perda de Pacotes(%) da aplicação FTP.	49

Capítulo 1

Introdução

A avaliação de desempenho de uma rede de computadores para suportar a demanda de utilização é essencial para sua especificação, desenvolvimento e uso adequado [1]. Várias são as medidas que caracterizam o desempenho de uma rede, entre elas o retardo de transferência, a vazão, a topologia, o meio de interconexão, o protocolo de comunicação, a velocidade de transmissão entre outras.

A contribuição da avaliação de desempenho em redes é de grande valia na área de Ciência da Computação. Ao se fazer tais avaliações, dois fatores importantes devem ser observados: o mecanismo de interconexão e o tráfego. Qualquer estudo destinado ao uso ou à criação de metodologia para se avaliar redes de computadores teria sua relevância reduzida se estes dois fatores não se alterassem ao longo do tempo e entre ambientes de operação. Exemplos de mudanças em termos desses fatores são os avanços crescentes das tecnologias da computação e telecomunicação que possibilitaram o surgimento da comunicação sem fio e das aplicações multimídia, demandando novos estudos sobre avaliação de desempenho.

A comunicação sem fio se refere a todo tipo de conexão efetuada sem cabos físicos como a transmissão de dados via rádio digital, redes locais sem fio que utilizam infravermelho ou frequências de microondas para conexão entre seus nós, sistemas de *paging*¹ e *trunking*² via rádio, telefone celular e outros [3]. Neste contexto, o uso do mecanismo de interconexão em redes locais de computadores através da comunicação sem fio, denominada redes locais sem fio (*Wireless Local Area Networks*, WLAN), exige que novos parâmetros e métricas antes empregados em redes tradicionais sejam reavaliados ou pesquisados.

Várias aplicações atualmente geram intensos tráfegos multimídia, como navegação Web e aplicações de vídeo sob demanda e ao vivo. O suporte à multimídia através de redes sem fio não é apenas para aquisição ou apresentação de mídias, mas também para codificação/decodificação para que transmissões eficientes possam ser realizadas [8]. As aplicações multimídia nestas redes

¹ É um serviço de envio de mensagens por meio de radiofrequência.

² Análogo ao *paging*, com a diferença que o sistema *trunking* existe a comunicação por voz [13].

geralmente são executadas sobre o *User Datagram Protocol* (UDP). Estas aplicações compartilham canais de comunicação com outras aplicações de dados como o telnet, ftp ou a própria WWW, as quais usam o *Transmission Control Protocol* (TCP) como protocolo de transporte. Vale ressaltar que a arquitetura TCP/IP fornece uma excelente plataforma para as redes locais tradicionais com constantes conexões; contudo, o seu uso em WLANs apresenta problemas significativos, como o congestionamento da rede devido a pacotes de negociação e confirmação, restabelecimento da conexão e mobilidade [12][24].

Diferente das aplicações de redes de uma década atrás que geravam apenas tráfego de dados, as aplicações multimídia podem gerar tráfego contendo dados, imagem, áudio ou vídeo. Devido à característica do tráfego e a natureza da transmissão, essas aplicações foram divididas em classes de tráfego [17][27][33][35][42][53], e garantir o seu desempenho ou qualidade de serviço (*Quality-of-service* - QoS) são temas que demandam criteriosas avaliações de desempenho.

Desta forma, podemos definir os diferentes tráfegos gerados pelas aplicações multimídia como tráfegos heterogêneos. Estes tráfegos foram categorizados em duas classes principais, a saber: Classe-I e Classe-II. A Classe-I possui um tráfego em tempo real, onde exige limites no atraso e garantia para vazão, mas é usualmente tolerante a algumas perdas de pacotes com uma certa probabilidade. Voz, vídeo e dados em tempo real (como tráfego aéreo) fazem parte desta classe. A Classe-II possui um tráfego como os serviços de dados convencionais, onde demanda uma transmissão livre de perdas, mas não exige limites de atraso nem garantia de vazão.

Em virtude de novas questões surgirem devido à característica do tráfego e da natureza da transmissão, fazem-se necessários estudos sobre avaliação de desempenho de aplicações multimídia em redes sem fio, levando em consideração a Qualidade de Serviço. Entretanto, para realizarmos estes estudos precisamos criar ou adequar metodologias para atenderem estas novas necessidades.

Este trabalho, através de uma metodologia a qual foi baseada por pesquisas realizadas em [1][12][17][52] sobre avaliação de desempenho, e da QoS em [9][33][35][42], tem por objetivo avaliar o comportamento de uma rede local sem fio para um tráfego gerado a partir de aplicações multimídia.

1.1 Motivação

A grande motivação deste trabalho é estudar a complexidade dos sistemas resultantes da agregação de dispositivos de interconexão sem fio com aplicações multimídia, além do impacto que redes sem fio podem causar em uma sociedade, possibilitando acessibilidade e disseminação de informações com maior eficiência.

Problemas em aberto como transferência dos sinais e limite de energia das baterias, faz com que o estudo por este tema também se torne um assunto bastante motivador. Sem falar no mercado crescente que redes sem fio de computadores vem atingindo.

1.2 Objetivos

As diretrizes deste trabalho foram direcionadas por quatro objetivos principais, a saber:

- Adequar uma metodologia para simular e avaliar/medir o desempenho de aplicações multimídia em rede local sem fio de computadores, levando em consideração a qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*) para tráfegos heterogêneos oriundos de aplicações multimídia.
- Simular uma rede local sem fio contendo um tráfego integrado de dados, áudio e vídeo, oriundo de clientes de ambientes que utilizem aplicações multimídia.
- Medir a vazão agregada da rede produzida por estas aplicações em função dos pacotes descartados, à medida que variarmos os valores do parâmetro de taxa de transmissão e tamanho dos pacotes destas aplicações, a fim de obtermos os melhores valores para estes parâmetros.
- Avaliar o desempenho da rede com relação ao impacto das demandas de conectividade dos usuários.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma. No capítulo 2 é apresentada uma visão geral sobre comunicação sem fio de modo a contextualizá-lo no mundo das redes locais sem fio. No final deste capítulo exemplos deste tipo de redes são apresentados. No capítulo 3, tem-se uma abordagem geral sobre as aplicações multimídia usadas neste trabalho. O capítulo 4 apresenta uma metodologia para simular e avaliar o desempenho de uma rede local sem fio. Um estudo de caso, para a metodologia proposta neste trabalho, de uma rede local sem fio para aplicações multimídia é apresentado no capítulo 5. Apresentamos as conclusões e trabalhos futuros no capítulo 6. E ao fim da dissertação trazemos no apêndice informações sobre documentos, *softwares* e *hardwares* utilizados neste trabalho.

Capítulo 2

Rede Local Sem Fio

Neste capítulo são apresentados e discutidos conceitos básicos sobre redes locais sem fio (*Wireless Local Area Networks* - WLAN), levando o leitor a conhecer os padrões e componentes destes tipos de redes, bem como suas vantagens e desvantagens, segurança, protocolos, tecnologias de transmissão e as suas arquiteturas. Ao final do capítulo são ilustrados algumas topologias e padrões do IEEE 802.11.

2.1 Introdução

Uma Rede Local (*Local Area Network* - LAN) é um conjunto de computadores que compartilham *hardware*, *software* e dados e estão próximos entre si, como no mesmo escritório, prédios ou grupo de prédios. A maioria delas é interconectada por cabeamento físico tal como par trançado, cabo coaxial ou fibra ótica.

Por outro lado, tecnologias como ondas de rádio e infravermelho podem ser utilizadas para fazer a interconexão em uma rede local. Neste contexto temos as Redes Locais Sem Fio (*Wireless LAN* - WLAN).

Redes locais sem fio são sistemas de comunicação de dados flexíveis implementados como uma extensão, ou como uma alternativa às redes locais tradicionais, quando não é possível realizar obras para a passagem de cabos e dutos em edificações, como prédios antigos ou tombados. Além disso, outras vantagens como mobilidade do cliente, simplicidade e rapidez na instalação, flexibilidade na configuração de topologias e escalabilidade na adição de novos clientes pode beneficiar hospitais, eventos temporários, salas de treinamento itinerante, escolas, interligação entre prédios em um mesmo campus e ambiente de escritório sujeito a constantes mudanças [45].

Uma vantagem das redes sem fio é a combinação da conectividade de dados com a mobilidade dos clientes. Assim, estes podem acessar informações compartilhadas em qualquer localização dentro da área de cobertura destas redes e administradores de rede podem gerenciar redes sem instalar ou mudar cabos [16].

Faculdades têm implantado, principalmente dos EUA, redes locais sem fio para possibilitar seus estudantes a fazerem uso de seus computadores portáteis, a fim de realizarem suas tarefas na própria sala de aula ou até mesmo em outros locais distantes dos laboratórios de informática, passando a utilizar estes lugares para outras finalidades.

2.2 O Padrão IEEE 802

Em fevereiro de 1980 foi criado um comitê pela **IEEE** (*Institute for Electrical and Electronic Engineers*) chamado de *IEEE 802 Local and Metropolitan Area Network Committee*. Este comitê publicou uma série de padrões que ficaram conhecidos como IEEE 802.x, e que foram adotados como padrões pela **ANSI** (*American National Standards Institute*), onde posteriormente foram revisados e republicados como padrões internacionais pela ISO, ISO 8802.

Segundo [39], em 1990 foi iniciado o primeiro projeto empreendido pelo IEEE para a especificação de uma rede local sem fio de propósito geral (Industrial, Científico, Médico – ISM), o qual veio a ser denominado 802.11. A demora desta especificação resultou em dois problemas: a interoperabilidade entre o *hardware* de fabricantes diferentes e a limitação na taxa de transferência de dados (oscilando entre 1 a 2 Mbps). O primeiro problema foi resolvido em 1997 quando se concluiu a primeira especificação do 802.11 e todos os fabricantes puderam convergir para um mesmo padrão. Em 1999 o segundo problema foi resolvido com a especificação do 802.11b, que aprimorou alguns detalhes físicos da solução e atinge até 11 Mbps, nivelando-a, portanto, à taxa alcançada pelas soluções com fio (Ethernet – 10Mbps).

No modelo OSI são definidas funções para as suas sete camadas, mas para o IEEE 802, no entanto, são definidas funções apenas para 3 camadas. Onde as MANs (*Metropolitan Area Networks* – redes metropolitanas) com fio e sem fio fazem uso de todas as camadas, enquanto que as LANs (*Local Area Networks* - redes locais) com fio e sem fio apenas usam as duas camadas de nível mais baixo, a física e a de enlace, como ilustrado na figura 2.1.

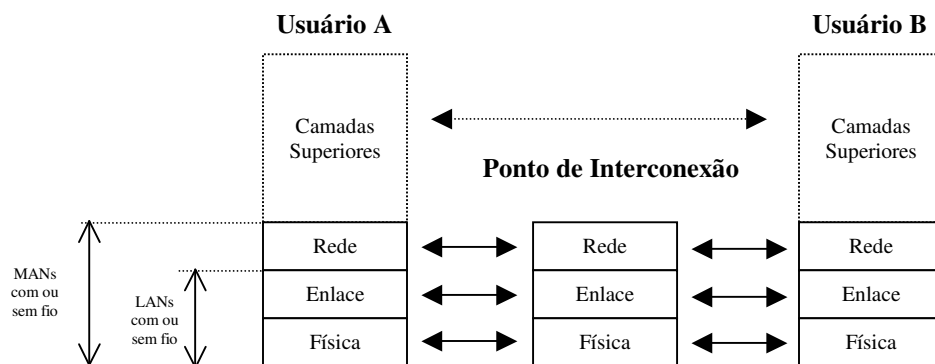


Figura 2.1: Funções do IEEE 802.

Segundo [2] e [12], este modelo de referência elaborado pelo IEEE definiu uma arquitetura de 3 camadas, onde pode ser observada e comparada visualmente com o modelo OSI através da figura 2.2.

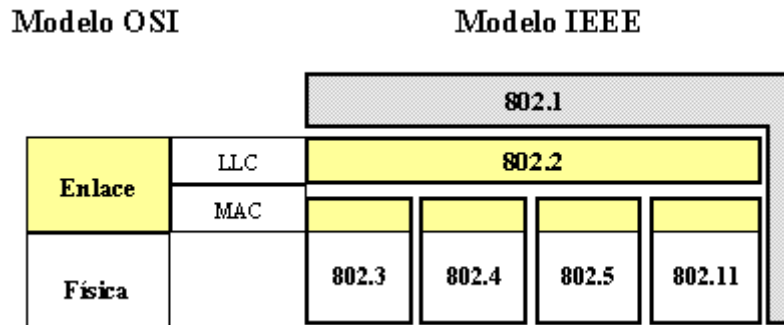


Figura 2.2: Relação entre os padrões OSI e IEEE 802.

Na figura 2.1 foi mostrada a abrangência de cada topologia em nível de funcionalidades em relação às camadas do modelo IEEE 802, onde se observa que as funções de comunicação necessárias em redes locais com ou sem fio referenciam as camadas 1 e 2 do modelo OSI mostrado na figura 2.2. Essas funções são fornecidas pelo nível de enlace do modelo OSI e descritas a seguir.

Uma primeira função seria tornar disponíveis os serviços para entidades através de uma ou mais **SAPs** (*Service Access Points*), pois entidades da camada n implementam serviços usados por entidades da camada $n - 1$ para que duas camadas possam trocar informações. Essa função é desempenhada pela subcamada **LLC** (*Logical Link Control*).

A subcamada **MAC** (*Medium Access Control*) especifica as funções de transmissão e recepção dos dados, além de gerenciar a comunicação no enlace. Essa camada foi deixada à parte para que diferentes topologias de redes locais pudessem ser otimizadas, contudo, mantendo a camada LLC como uma interface unificada entre as entidades.

A camada física do IEEE 802 possui as mesmas funções especificadas no modelo OSI, como: conexões elétricas, sentido do fluxo de dados, codificação e decodificação de sinais, transmissão e recepção de bits.

O padrão IEEE 802 apresentado na figura 2.2 inclui o seguinte:

- 802.1 - Glossário, gerenciamento de rede e inter-redes: Estes documentos, adicionais à visão geral e arquitetura do IEEE 802, delimita o escopo do trabalho do padrão 802.
- 802.2 – **LLC**: Este padrão define a sincronização da camada de enlace e o controle de erro para todas os tipos de 802 LANs.
- 802.3 – **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) como método de acesso e Especificações da Camada Física: Este define os protocolos

Ethernet 10, 100 e 1000 Mbps assíncronos largamente utilizados em par trançado, cabo coaxial e fibra ótica.

- 802.4 – Método de acesso *Token-Passing Bus* e Especificações da Camada Física: rede em barramento utilizando passagem de permissão como método de acesso e que pode ser encaixado em outros sistemas.
- 802.5 – Método de acesso *Token-Passing Ring* e Especificações da Camada Física: Este define um protocolo sincronizado de 4 e 16 Mbps que usa o *token* para o controle de acesso sobre uma topologia *ring* [12].
- 802.11 – **CSMA/CA** (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) e o **Virtual-Carrier Sense** como método de acesso; e FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e Infravermelho como tecnologias para camada física.

2.3 O Padrão 802.11 (Redes Locais Sem Fio)

2.3.1 Vantagens

As redes locais sem fio oferecem algumas vantagens sobre as tradicionais redes fixas, como [16][40]:

- **Mobilidade:** sistemas de redes locais sem fio podem providenciar aos usuários acesso a informação em tempo real em qualquer lugar de suas organizações.
- **Instalação:** instalar uma rede local pode ser simples e rápido, além de eliminar a necessidade de atravessar cabos através de paredes e andares.
- **Flexibilidade:** tecnologia sem fio permite que as redes cheguem onde cabos não podem ir, além de serem configuradas segundo diversas topologias conforme as necessidades.
- **Escalabilidade:** nestas redes pode-se adicionar novos usuários com facilidade.

2.3.2 Desvantagens

Apesar das vantagens oferecidas pelas redes locais sem fio, algumas desvantagens são evidentes, como:

- **Interferência e Confiança:** a interferência de transmissão de rádio é influenciada por diversos fatores. Por exemplo, paredes e pisos tendem diminuir e refletir o sinal, fazendo com que ruídos dificultem mais o sinal a ser demodulado. Se o ambiente não

for estático a qualidade do canal de comunicação pode variar também bastante [43]. A confiança do canal é tipicamente medida por uma média da taxa de bits que são transmitidos com erro (bit error rate – BER) [44]. Em redes sem fio as taxas de erro são de um bit errado para cada 10^5 - 10^6 enquanto redes que operam com fibra ótica transmitem um bit errado para cada 10^{12} - 10^{15} bits transmitidos. Isso representa pelo menos seis ordens de magnitude de diferença [14].

- **Consumo de Energia:** dispositivos sem fio são normalmente portáteis ou móveis, e são tipicamente alimentados por bateria. Então, estes dispositivos devem ser projetados para usar energia de forma eficiente, resultando em telas com modelos “sleep” e de baixa potência. Além disso, os usuários devem adquirir o hábito de manter uma tolerância de desempenho e capacidade destes dispositivos para que funcionem eficazmente [44].

2.3.3 Segurança

Dois métodos de segurança são previstos [45]:

- **Autenticação:** método que consiste na verificação de autorização de cada estação antes de ter acesso à rede.
- **Criptografia:** método através do qual as mensagens são criptografadas utilizando algoritmo RC4 PRNG da RSA Data Security. Este método, denominado WEP (*Wired Equivalent Privacy*), é destinado a prover às redes sem fio o mesmo nível de segurança das redes tradicionais.

Para [39], definitivamente, segurança não é um ponto fraco de uma rede sem fio. As transmissões através das ondas de rádio atuam apenas nas camadas 1 e 2 do OSI, herdando portanto, todas as seguranças implementadas nos protocolos dos níveis superiores, como nas redes com fio. Um exemplo disto é o endereçamento TCP/IP que está nos níveis 3 e 4 e representam uma segurança a mais. Além disso, ainda há o processo de identificação do próprio sistema operacional.

2.3.4 Componentes

A seguir descrevemos alguns elementos de uma rede IEEE 802.11 como fundamento básico do aprendizado a ser explorado no decorrer deste trabalho [45]:

- **BSS (Basic Service Set):** corresponde a uma célula de comunicação sem fio.
- **STA (Stations):** são as estações de trabalho que se comunicam entre si dentro da BSS.

- **NICs** (Network Interface Cards): estas placas devem ser da forma PCMCIA para *notebooks* ou padrão PCI para *desktops*.
- **AP** (Access Point): funciona como uma *bridge* entre a rede sem fio e a rede tradicional. Coordena a comunicação entre as STA dentro da BSS.
- **ESS** (Extended Service Set): consiste de várias células BSS vizinhas que se interceptam e cujos AP estão conectados a uma mesma rede tradicional. Nestas condições uma STA pode se movimentar de um BSS para outro permanecendo conectado à rede. Este processo é denominado Roaming.

2.3.5 MAC em Redes Sem Fio

Para transmitir um quadro, a subcamada MAC (*Medium Access Control*) da camada de enlace, usa dois métodos. No primeiro método, denominado **Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)**, um protocolo baseado na mesma solução usada pelo Ethernet. Com o método CA, a estação que necessita transmitir, primeiro verifica o meio para ver se ele está livre. Se estiver livre, então a estação é autorizada a enviar o quadro. Após o envio, a estação aguarda uma confirmação ACK (acknowledgment) da estação receptora do quadro. Se o ACK for recebido, então a transmissão foi um sucesso, do contrário, ocorrerá uma retransmissão.

No segundo método, definido como **Virtual-Carrier Sense**, é uma forma de minimizar as possibilidades de colisões [47], pois a estação antes de transmitir reserva o meio por um determinado período de tempo através de um pacote RTS (Request to Send) que é confirmado via pacote CTS (Clear to Send), o qual faz com todas as estações da rede atualizem seus NAV(Network Allocation Vector) de forma a reservar o meio à estação solicitante no intervalo de tempo estipulado. A partir deste ponto a estação efetua a transmissão e aguarda uma confirmação (ACK) da estação receptora [16].

2.3.6 Tecnologias de Transmissão

As transmissões por rádio e infravermelho são consideradas as tecnologias para o suporte das LAN sem fio. As três técnicas usadas na camada física são: Espectro Espalhado por Salto de Frequência (*Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS*), Espectro Espalhado por Seqüência Direta (*Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS*) e Infravermelho (*Infrared – IR*) [38]. A figura 2.3 pode resumir estas técnicas usadas pela camada física.

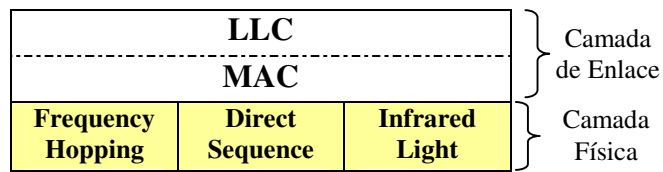


Figura 2.3: Tipos de transmissão na camada física.

Segundo [16], muitos sistemas de redes locais sem fio usam tecnologia **espectro espalhado** (*spread spectrum*), pois é uma frequência de rádio de banda larga desenvolvida pelos militares para uso em sistemas de comunicações seguros e confiáveis para missões críticas. Designada para definir eficiência de largura de banda com confiabilidade, integridade e segurança. O espectro espalhado é uma banda específica que usa o FHSS ou DSSS.

2.3.6.1 Espectro Espalhado por Salto de Frequência (FHSS)

A tecnologia FHSS usa uma carreira de banda estreita que troca frequências em um formato conhecido tanto pelo transmissor quanto pelo receptor. Em outras palavras, transmite um curto conjunto de dados em uma frequência, muda para outra, transmite por mais um período de tempo, muda novamente e assim por diante [16]. O salto de frequência demora em um canal no máximo 400ms e usa 75 canais no mínimo em cada 30s por fase, com taxas de transmissão de 1 ou 2Mbps. Dependendo do país estas regras podem mudar [43]. Através da figura 2.4 podemos perceber estes saltos de frequência, entre 2.4 GHz e 2.483 GHz, ao longo do tempo sobre uma banda de frequência de 2.4 GHz [12].

As características da tecnologia FHSS são[12]:

- Baixo custo.
- Menor consumo de potência.
- Maior tolerância à interferência de sinais.
- Baixo potencial das taxas de dados.
- Alta capacidade agregada quando usa múltiplas camadas físicas.
- Pouco alcance em relação a *direct sequence*, mas um alcance alto em relação ao infravermelho.

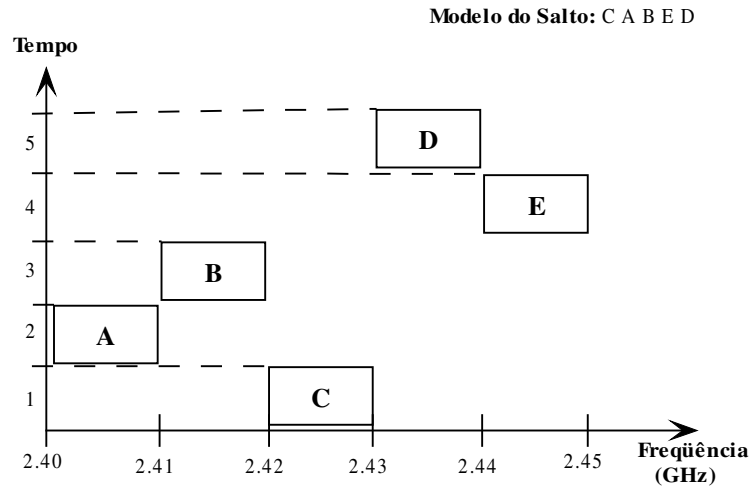


Figura 2.4: Exemplo de um modelo do salto de frequência.

2.3.6.2 Espectro Espalhado em Seqüência Direta (DSSS)

A tecnologia DSSS, em vez da troca de frequência, gera um bit padrão redundante para cada bit a ser transmitido. Este bit é chamado de *chipping code*. Quanto maior a quantidade de *chipping code*, maior a probabilidade do dado original poder ser recuperado, conseqüentemente uma maior largura de banda é requerida. Mesmo que um ou mais bits no *chipping code* sejam danificados durante a transmissão, técnicas estatísticas podem recuperar o dado original sem a necessidade de retransmiti-lo [16].

Por exemplo, vamos supor que os *chipping codes* 11010101 e 00101010 representassem os bits de dados 0 e 1 respectivamente. Se tivéssemos 101 como *stream* de dado a ser transmitido, logo a seqüência de código a ser transmitido seria **001010101101010100101010**.

Assim como o FHSS, o DSSS opera em frequências entre 2.4 a 2.4835GHz e até 14 canais diferentes. A taxa especificada pelo padrão 802.11 é de 1 ou 2Mbps, e até 11Mbps no padrão 802.11.

As características da tecnologia DSSS são [12]:

- Alto custo.
- Alto consumo de potência.
- Alto potencial das taxas de dados.
- Menor capacidade agregada do que *frequency hopping*, quando usa múltiplas camadas físicas.
- Menor número de células de rádio separada geograficamente devido ao número limitado de canais.
- Mais alcance do que *frequency hopping* e infravermelho.

2.3.6.3 Infravermelho (IR)

O infravermelho é a terceira tecnologia usada em redes locais sem fio, no entanto os produtos que a usam têm tido uma degradação nas vendas em relação às de rádio.

A rede local sem fio com infravermelho, em ambiente externo (*outdoor*), utiliza dispositivos (com visada direta) que transmitem e recebem dados em distâncias de no máximo 1,5 Km, com taxas de até 16Mbps, e sua frequência pode atingir até 100 Terahertz. Um exemplo desta tecnologia pode ser vista na figura 2.12. Em ambiente interno (*indoor*) seus dispositivos alcançam normalmente de 10 a 20 metros, dependendo da altura do teto, e suas taxas de transmissão de dados podem ser de 1 ou 2Mbps. Os fabricantes denominam este tipo de transmissão na rede sem fio como *diffused infrared*, pois a comunicação ocorre quando os sinais dos dispositivos de cada estação na rede se interceptam ao apontarem para o teto.

A seguir são listadas algumas características que devem ser consideradas quando se pretender usar infravermelho como tecnologia na camada física [12]:

- Baixo custo.
- Alta tolerância à interferência de sinal de rádio frequência.
- Pouco alcance comparado às tecnologias de espectro espalhado.
- Mais seguras quanto à invasão.
- Necessidade de operar em áreas com tetos (ambientes internos) para atuar como ponto de reflexão.
- Aceita mundialmente sem regulamentação de frequência.

2.3.7 Arquitetura do IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 define o protocolo para dois tipos de arquitetura de rede: Ad-hoc e Cliente/Servidor [12][16][46].

Rede Ad-hoc: uma rede simples onde as comunicações são estabelecidas entre múltiplas estações em uma certa área de cobertura sem o uso de um ponto de acesso ao servidor.

Rede Cliente/Servidor (ou Infra-Estruturada): usa um ponto de acesso para controle da alocação de tempo de transmissão para todas as estações e habilita estações móveis a realizar *roaming* de uma célula a outra. O ponto de acesso é usado para transferir tráfego do rádio móvel para o *backbone* com ou sem fio do cliente/servidor.

A seguir são apresentados alguns exemplos de topologias de Redes Locais Sem Fio [16].

2.3.7.1 Ad-hoc

Na figura 2.5 temos um exemplo de redes *ad-hoc*. Vários computadores cada um equipado com placas de rede *wireless*, onde todos os computadores se comunicam entre si. Os computadores podem compartilhar arquivos e impressoras, por exemplo, mas não podem acessar os recursos de uma rede fixa.



Figura 2.5: Rede Ad-hoc.

2.3.7.2 Com Ponto de Acesso (PA)

Uma rede sem fio pode possuir um ponto de acesso, que funciona como um *hub* das redes com fio. Nesse caso, os computadores da rede sem fio se comunicarão entre si ou com uma rede fixa, permitindo com que os recursos disponíveis na rede possam ser compartilhados, como na figura 2.6.



Figura 2.6: Rede sem fio com PA (função de *hardware*).

Um ponto de acesso pode funcionar como um *hardware* dedicado (figura 2.6), ou como *software* (figura 2.7) sendo executado em um computador equipado com uma placa de rede sem fio (NIC).

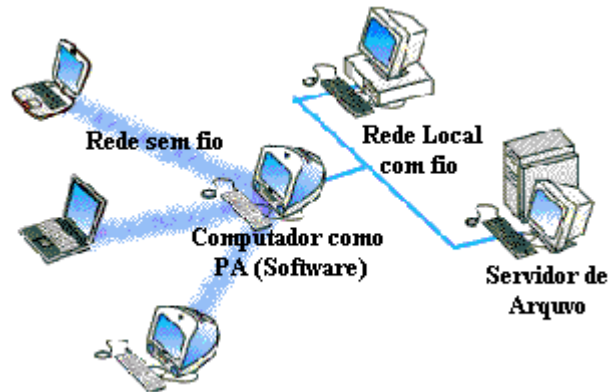


Figura 2.7: Rede sem fio com PA (função de *software*).

2.3.7.3 Com Múltiplos Pontos de Acesso e Pontos de Extensão

Se uma área é muito grande para ser coberta por um único ponto de acesso, então múltiplos pontos de acesso ou pontos de extensão podem ser usados. Pontos de extensão não foram definidos nos padrões das redes sem fio, mas foram desenvolvidos por alguns fabricantes.

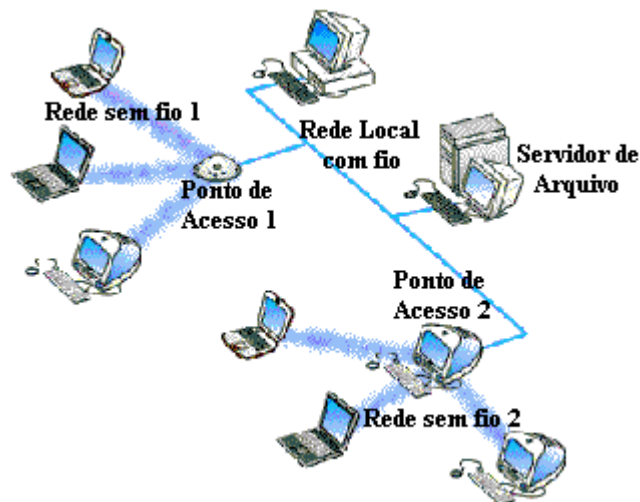


Figura 2.8: Rede sem fio com múltiplos PA e sem ponto de extensão.

A principal diferença entre pontos de acesso (figura 2.8) e pontos de extensão (figura 2.9) está no fato destes não necessitarem de uma rede fixa.



Figura 2.9: Rede sem fio com múltiplos PA e com ponto de extensão.

2.3.7.4 Handoff

O usuário em uma célula (BSS1) estando conectado a rede através de sua STA pode mover-se com o seu equipamento para uma outra célula (BSS2) conforme a figura 2.10, e mesmo assim, permanecer conectado a rede. Este processo de transferência automática de conexão é referenciado como *handover* ou *handoff*, e o usuário, chamado de usuário móvel.

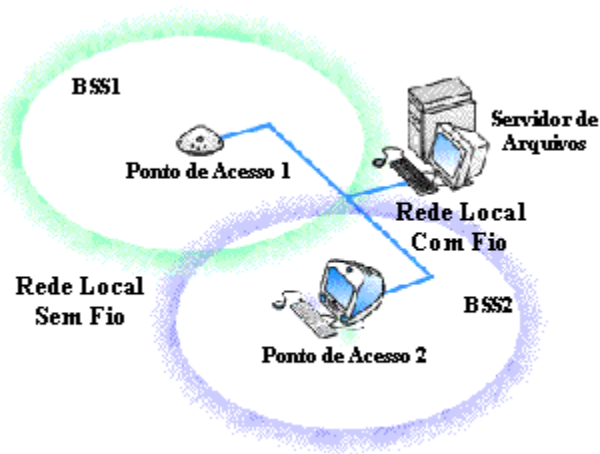


Figura 2.10: Handoff.

2.3.7.5 Conectando Redes Fixas

Na figura 2.11 dois pontos de acesso foram utilizados para conectar a Rede Local 1 com fio até a Rede Local 2 com fio, nesse caso os pontos de acesso devem estar dentro do alcance de comunicação.

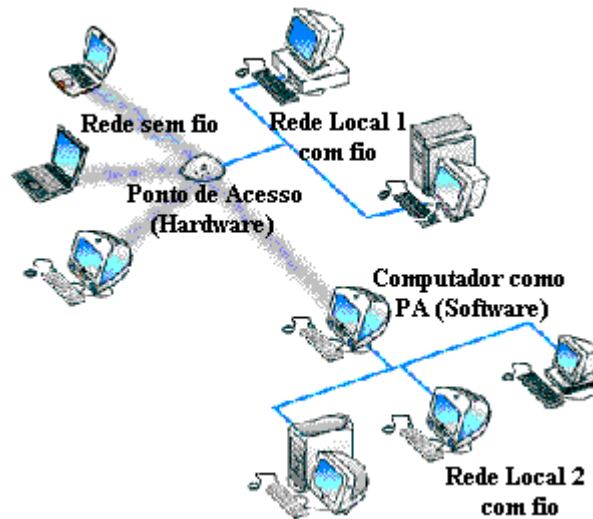


Figura 2.11: Conexão de redes fixas.

Na figura 2.12, temos duas antenas direcionais utilizadas para realizar a comunicação entre as duas redes fixas.

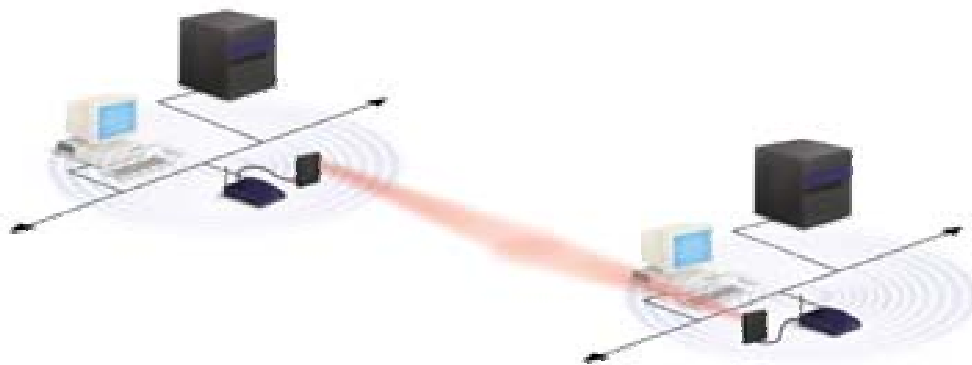


Figura 2.12: Conexão de redes fixas com visada direta.

2.4 Padrões 802.11

2.4.1 802.11-a e 802.11-b

O **802.11-a** é o 802.11 em 5GHz que foi padronizado e lançado em 1999, baseado no OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*). O OFDM é uma das tecnologias da camada física que usa 52 portadoras em um canal de 20MHz, fornecendo taxas de dados 6, 12 e 24Mbps e opcionais de 9, 18, 36, 48 e 54 Mbps [4][43].

O **802.11-b** foi padronizado em 1999 para aprimorar alguns detalhes na camada física sobre a tecnologia DSSS. Este padrão foi produzido com o objetivo de prolongar a vida da banda 2.4GHz, adicionando opções de velocidade de transferência de dados de 5.5 e 11Mbps. Este padrão foi aprovado pelo FCC (*Federal Communication Commission*) e é muito aceito no mercado atualmente.

2.4.2 HiperLan

O HiperLan é um padrão europeu desenvolvido pelo comitê ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Duas frequências distintas são alocadas para este padrão, uma com alcance de 5.15 a 5.25 GHz, com possível extensão até 5.30 GHz, e a outra de 17.1 a 17.3 GHz [46].

Segundo [43], a principal vantagem do HiperLan é que ele trabalha em uma largura de banda dedicada (5.1 – 5.3GHz, alocado apenas na Europa), e portanto não tem incluso o *spread spectrum*. A taxa de transferência é 23.5Mbps, e 5 canais fixos são definidos. O protocolo de acesso ao meio é uma variante do CSMA/CA baseado no tempo de vida e prioridade dos pacotes, e retransmissões em nível de MAC.

Vários outros padrões 802.11 foram especificados para redes locais sem fio, como o **Wireless ATM** (*Wireless Asynchronous Transfer Mode - WATM*) [43][46] e o **Bluetooth** [43][48]. O WATM é uma rede local sem fio ATM com taxa de transferência dos pacotes de 25Mbps e usa o TDMA (*Time Division Multiple Access*) como controle de acesso ao meio. O Bluetooth permite a interconexão de dispositivos eletrônicos através da rede local sem fio, com alcance de 10m e taxa de transferência de até 1Mbps.

Capítulo 3

Aplicações Multimídia

Neste capítulo apresentamos uma descrição das aplicações utilizadas neste trabalho e como são modeladas.

3.1 Introdução

O desenvolvimento crescente das tecnologias de comunicação sem fio está permitindo que clientes de redes locais sem fio (WLANs) sejam beneficiados com serviços multimídia - fornecimento de mídias como textos, imagens, áudio e vídeo.

Várias aplicações atualmente se mostram capazes de executar tráfegos multimídia, como Netscape e aplicações de vídeo. No entanto, o suporte a multimídia através de redes sem fio não é apenas para aquisição ou apresentação de mídias, mas também para codificação/decodificação para que transmissões eficientes possam ser realizadas [8]. As aplicações multimídia nestas redes geralmente são executadas sobre o *User Datagram Protocol* (UDP), contudo aplicações de dados como o telnet ou ftp usam o *Transmission Control Protocol* (TCP) como protocolo de transporte.

Vale ressaltar que a arquitetura TCP/IP fornece uma excelente plataforma às redes locais tradicionais com constantes conexões; contudo, o seu uso em WLANs demonstra problemas significativos, como o congestionamento da rede devido a pacotes de negociação e confirmação, restabelecimento da conexão e mobilidade [12][24].

Na nossa avaliação de redes locais sem fio usamos cinco aplicações, a saber: **telnet**, **ftp**, **http**, **áudio** e **vídeo**. As aplicações telnet, ftp e http foram executadas sobre o protocolo TCP, enquanto que as de áudio e vídeo sobre o UDP. O tamanho de todos os pacotes e a taxa de transmissão da aplicação http, áudio e vídeo foram estimados a partir de estudos realizados neste trabalho.

As aplicações foram simuladas através do **ns** (Network Simulator) versão 2.1b7a [32], que possibilita a representação das aplicações de duas formas: **geradores de tráfego** ou **aplicações simuladas**.

Em sistemas do mundo real, aplicações tipicamente acessam serviços de rede através de **APIs** (*Applications Programming Interface*). A mais popular das APIs é conhecida como *sockets*. No ns, o comportamento dos sockets API é simulado através de um conjunto bem definido de funções API. Estas funções são, portanto, mapeadas para o agente interno de funções [32], como o *agent/UDP* ou *agent/TCP*, e usado tanto pelos geradores de tráfego quanto pelas aplicações simuladas, ilustrado nas figuras 3.1 e 3.2.

3.2 Aplicações Simuladas

Existem dois tipos “aplicações simuladas” no ns, a **ftp** (Application/FTP) e a **telnet** (Application/Telnet), e ambas são executadas sobre o *agent/TCP*, conforme a figura 3.1.

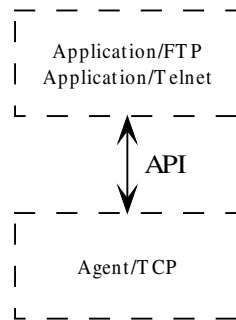


Figura 3.1: Aplicações Simuladas.

3.2.1 FTP

O *File Transfer Protocol* (**FTP**) fornece serviço para cópia de arquivos entre computadores. Ele tem sido usado como a mais comum ferramenta para distribuição de dados e *software*. Cada sessão FTP consiste de múltiplas conexões TCP: uma conexão de controle e uma ou mais conexões de dados. Autenticação, solicitação de arquivos, e outros comandos são enviados via conexão de controle. Cada arquivo é enviado através de sua conexão de dado TCP [35].

O número e tamanho dos arquivos a serem transferidos na aplicação simulada ftp (Application/FTP) são determinados via distribuição *tcplib* (distribuição empírica), mas o tamanho do pacote pode ser alterado na camada de transporte via o *Agente/TCP*.

3.2.2 Telnet

O Telnet é o protocolo padrão da Internet para serviço de *login* remoto executado sobre o TCP/IP [25]. Parte do tráfego gerado por esta aplicação consiste de bytes enviados separadamente (a cada vez que o usuário tecla) em uma direção ao longo de uma conexão TCP [35].

A aplicação simulada telnet (Application/Telnet) possui duas formas para geração de seus pacotes, de acordo com o valor atribuído ao parâmetro *interval* (tempo de intervalo dos pacotes). Se o valor for diferente de zero, então o modelo de tráfego é dado pela distribuição exponencial³. Mas se o valor for zero, o modelo de tráfego será dado pela distribuição tcplib [32].

3.3 Geradores de Tráfego

Os geradores de tráfego do **ns** usados neste trabalho se destinaram a produzir tráfegos **exponenciais** e *Constant Bit-Rate (CBR)*, abstraídos respectivamente a partir de *EXPOO_Traffic* e *CBR_Traffic*, descritos a seguir [32]:

- *EXPOO_Traffic*: são tráfegos gerados conforme uma distribuição Exponencial, onde pacotes são enviados a uma taxa fixa durante os períodos “on”, e durante o período “off” os pacotes não são enviados. Os pacotes têm tamanhos constantes.
- *CBR_Traffic*: são tráfegos gerados a uma taxa determinística, onde os pacotes têm tamanhos constantes.

Os geradores de tráfego construídos no **ns** destinados a geração de tráfego *EXPOO_Traffic* e *CBR_Traffic* são, respectivamente, os objetos *Application/Traffic/Exponential* e *Application/Traffic/CBR*, que podem ser visualizados na figura 3.2. A seguir são descritos os parâmetros de cada gerador de tráfego relevantes em uma simulação.

- **Application/Traffic/Exponential:**

packetSize: tamanho constante do pacote a ser gerado.

burst_time: média do tempo do período “on” em que os pacotes são gerados.

idle_time: média do tempo do período “off” em que os pacotes deixam de ser gerados.

rate: taxa de envio dos pacotes durante o período “on”.

³ A principal característica da distribuição Exponencial, e razão de sua grande aplicabilidade em sistemas de filas é sua falta de memória. Todo fenômeno aleatório descrito por esta distribuição se caracteriza pela total imprevisibilidade, mesmo que se conheça seu passado [62].

- **Application/Traffic/CBR:**

packetSize: tamanho constante do pacote a ser gerado.

rate: taxa de envio dos pacotes.

interval: intervalo entre os pacotes.

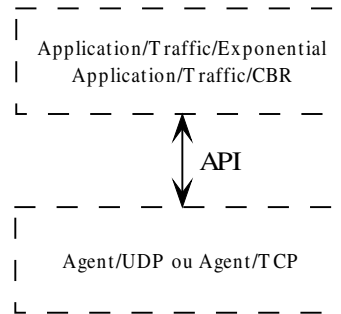


Figura 3.2: Geradores de tráfego.

3.3.1 HTTP

A aplicação *Hypertext Transfer Protocol (http)* é o protocolo usado na World Wide Web, que define a comunicação entre os *browsers* (aplicativos para se “navegar” na Internet, ex. Netscape ou Internet Explorer) do usuário e os servidores Web sobre uma conexão TCP/IP [25]. Ele é um protocolo responsável em solicitar um arquivo quando o usuário abre uma conexão TCP em um servidor WWW; o servidor envia o arquivo, usando uma mesma conexão TCP. A Web usa um modelo em que cada documento (conhecido como página), consiste de um ou mais arquivos a serem transferidos, cada um usando sua conexão TCP particular [35].

O tráfego da aplicação http foi representado neste trabalho através do modelo exponencial (Application/Traffic/Exponential) sobre o protocolo TCP (Agente/TCP).

3.3.2 Áudio

O uso de aplicações de áudio na Internet é algo bastante difundido, principalmente através da música e voz. Representamos o tráfego de áudio através do modelo *Constant Bit-Rate* (Application/Traffic/CBR) executado sobre o protocolo UDP.

O modelo CBR foi utilizado em algumas pesquisas como tráfego de voz [42][61][53]. O modelo exponencial em [17][27][28] também representou tráfegos de voz com o período “on” de 1.0s e “off” de 1.35s.

3.3.3 Vídeo

O vídeo digital comprimido é um dos mais importantes tipos de tráfego constante nos serviços de redes. No entanto, sua carga exige das redes um atraso limitado dos pacotes e um consumo maior da largura de banda. Tanto a transmissão quanto a compressão de vídeo são temas bastante estudados para redes do tipo LAN, Internet e ATM. Atualmente estes temas têm sido enfocados em redes sem fio, em virtude da grande difusão dessa tecnologia, mas ao mesmo tempo se torna um desafio devido à limitação da largura de banda e a alta taxa de bits perdidos durante as transmissões.

Sendo assim, resolvemos incluir a carga de vídeo neste trabalho pela sua grande relevância, e elas foram geradas através de aplicações de vídeo que foram modeladas como distribuições exponenciais (Application/Traffic/Exponential) sobre o protocolo UDP (Agent/UDP).

O modelo exponencial é adequado para representar vídeos pequenos (até 5 minutos), enquanto vídeos longos (maiores que 5 minutos) são modelados como Pareto ou Weibull [57]. O modelo CBR também foi utilizado para representar vídeo em algumas pesquisas [28][42][46][49], bem como o modelo VBR (variable bit rate) [33][49][53][61].

Capítulo 4

Metodologia de Avaliação de Desempenho

Neste capítulo apresentamos uma metodologia para simular e avaliar/medir o desempenho de aplicações multimídia em rede local sem fio de computadores, levando em consideração a qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS) para tráfegos heterogêneos oriundos de aplicações multimídia.

4.1 Introdução

A metodologia proposta neste trabalho é baseada nas pesquisas realizadas em [1][12][17][52] sobre análise de desempenho, e da QoS em [9][33][35][42]. A idéia adicional desta metodologia é dar subsídios para que se possa avaliar o desempenho de uma rede sem fio, levando em consideração a qualidade de serviço das aplicações multimídia. O seu ciclo é composto de 13 etapas, descritas brevemente nesta seção e detalhadas nas seções posteriores, podendo ser visualizadas na figura 4.1.

O ciclo da metodologia se inicia com um estudo do sistema e definição dos objetivos a serem alcançados. Na segunda etapa se define o modelo do sistema, o qual tem como finalidade abstrair as características “essenciais” do sistema em questão. A definição das métricas de desempenho a serem empregadas é tema da terceira etapa. Ainda na etapa 3, os parâmetros que afetam o desempenho da rede devem ser especificados, como a camada física, o tipo de protocolo, o número de estações, os modelos do tráfego e do canal da rede, bem como as cargas de trabalho geradas pelas estações.

Os tráfegos gerados em uma rede a partir de aplicações multimídia são divididos em classes de tráfego (ex. dados, áudio e vídeo), sendo os critérios de qualidade de serviço de cada classe um ponto importante a ser levado em consideração na análise de desempenho. As classes de tráfego e qualidade de serviços das aplicações são temas da quarta etapa.

A parte de programação da metodologia se inicia na quinta etapa quando se desenvolve o simulador. Este conterá as configurações da rede, levando em consideração os parâmetros definidos na terceira etapa. Como entradas do simulador, representando o tráfego da rede definido na quarta etapa, têm-se as cargas que são geradas a partir de aplicações multimídia. Na sexta etapa, depurações e testes do simulador são realizados, a fim de certificar-se do seu pleno funcionamento. Caso algum problema seja detectado ou até mesmo alguma parte do modelo julgada ineficiente, então se realiza a sétima etapa, chamada de refinamento do simulador, para que correções devam ser realizadas. A validação do modelo, que é a oitava etapa, estabelecerá se o modelo é consistente com o sistema real definido, caso contrário uma nona etapa deve ser realizada, a de refinamento do modelo.

Com o sucesso da validação do modelo pode-se então planejar a estratégia de execução da simulação, que é a décima etapa da metodologia. Nesta etapa serão definidos, por exemplo, os valores para os parâmetros tanto da aplicação como da rede, o número de experimentos e amostras necessário para se ter um determinado intervalo de confiança ou o tempo de simulação de cada aplicação. Com o plano da estratégia de execução em mãos, a décima primeira etapa pode ser aplicada, que é a execução do simulador para que se obtenha os dados de saída. A outra parte desta etapa é “como” os dados serão coletados, e independente da solução, os dados geralmente são reunidos em tabelas e gráficos, baseados nas métricas definidas na terceira etapa, a fim de proporcionar uma visão mais consistente das informações a respeito da rede ou da aplicação.

A décima segunda etapa é a análise e interpretação dos resultados, onde as conclusões a respeito dos resultados devem estar baseadas em métodos estatísticos de análise, como por exemplo, o cálculo de intervalo de confiança. E a última etapa, é saber se os resultados são suficientes e satisfatórios para o modelo em questão, caso sejam, a simulação é encerrada. Entretanto, se os resultados forem insuficientes, as etapas de 10 a 12 devem ser executadas novamente, mas se forem insatisfatórios pode ser que todo o ciclo da metodologia deva ser refeito.

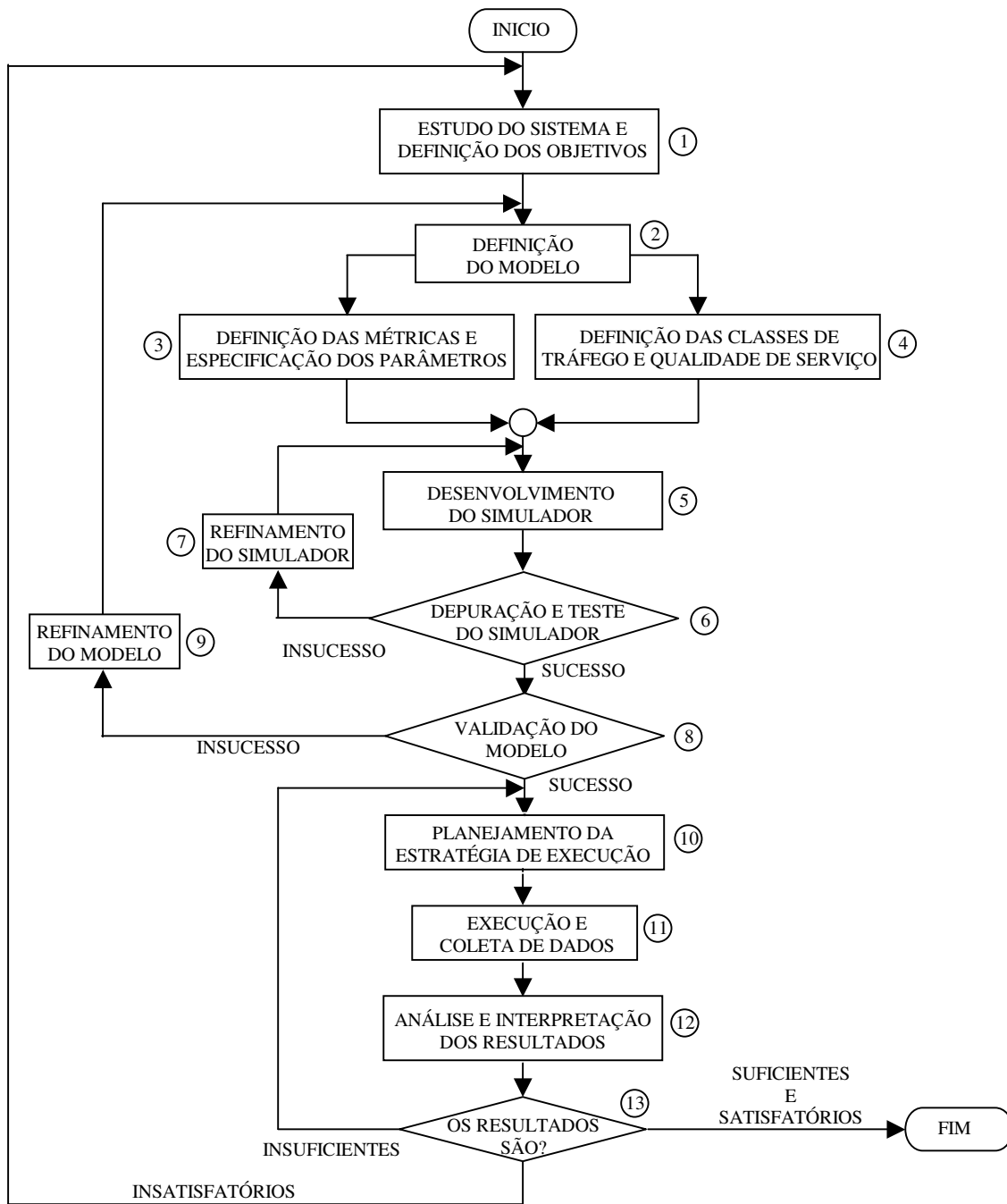


Figura 4.1: Visão gráfica da metodologia.

4.2 Estudo do Sistema e Definição dos Objetivos

Esta etapa inicial da metodologia consiste de um estudo detalhado do sistema para que se tenha uma visão correta do seu funcionamento, devendo ser descritas suas finalidades e limitações. A qualidade de sinal na rede deve ser especificada, podendo ser uniforme em toda a área de demanda ou sofrer variações. Neste último caso, um levantamento real da qualidade do sinal se faz necessário como em [6], ou suposições de variações devem ser adotadas para cada região desta área.

A definição precisa dos objetivos das simulações e avaliações de desempenho a serem alcançados também faz parte desta etapa. Dela dependem todas as outras etapas, por isto, esta fase inicial é uma das mais importantes.

4.3 Modelo do Sistema

Na segunda etapa se define modelo do sistema onde, segundo [1], um modelo é uma abstração do sistema em estudo. Um fundamento básico ao se fazer essa abstração é a de que apenas as características “essenciais” do sistema sejam capturadas, ou seja, o modelo deve descrever o sistema em detalhes suficientes para que a observação do comportamento do modelo possibilite prever ou estimar o comportamento do sistema. As inclusões de outros detalhes “não essenciais” ao modelo podem desfigurar os objetivos estabelecidos.

4.4 Métricas de Desempenho

A terceira etapa, para maior clareza, foi dividida em duas partes, onde a primeira é vista nesta seção e a segunda na seção 4.5.

A definição das métricas a serem utilizadas depende dos objetivos da avaliação de desempenho e da carga da aplicação. Por um lado, o objetivo pode ser exclusivamente avaliar o desempenho da rede. Sendo assim, deve-se definir em que nível se pretende medir o desempenho, por exemplo, se em nível de aplicação [5][7][8][10][17][18][21][22][42][52][56][57], em nível da camada de transporte ou de rede [1][2][5][9][20][23][24][35][50][53][58]. Além destas, outras métricas, no entanto, são destinadas a medir o desempenho dos protocolos de acesso ao meio [1][11][17][19][27]. Na tabela 4.1 apresentamos algumas métricas usadas nas pesquisas referenciadas.

Nível de Análise	Métricas de Desempenho
Aplicação	Média do tempo de uso da aplicação, total do número de arquivos acessados, média do tempo de requisições, tempo de transferência do arquivo, utilização do canal e quantidade de <i>handoffs</i> .
Transporte	Vazão (<i>throughput</i> - taxa de bits transmitidos por segundo), retardo de transmissão médio, retardo de transmissão máximo, tempo de estabelecimento de uma conexão, tempo médio de transporte de dados, tempo de encerramento de uma conexão e taxa de erro de uma conexão.
Rede	Média do atraso dos pacotes (<i>mean delay</i>), vazão (taxa de pacotes transmitidos por segundo), variação do atraso (<i>jitter</i> – é o valor absoluto da diferença entre os tempos de chegada de dois pacotes consecutivos menos os seus tempos de saída), taxa ou probabilidade de descarte de pacotes.
MAC	Média do atraso na fila, média do atraso no acesso ao meio, vazão e média das colisões.

Tabela 4.1: Métricas de desempenho para redes locais.

4.5 Classes de Tráfego e Critérios de QoS

Na quarta etapa se deve definir as classes de tráfego e seus critérios de qualidade de serviço. Os diferentes tráfegos gerados pelas aplicações multimídia são categorizados como tráfegos heterogêneos. Detalhes sobre as classes de tráfego e critérios de QoS, descritos em [9][23][33][53], podem ser observados na tabela 4.2, onde o tráfego heterogêneo foi categorizado em duas classes principais, a saber: Classe-I e Classe-II.

A Classe-I possui um tráfego em tempo real, onde exige limites no atraso e garantia para vazão, mas é usualmente tolerante a algumas perdas de pacotes com uma certa probabilidade. Voz, vídeo e dados em tempo real (como tráfego aéreo) fazem parte desta classe.

A Classe-II possui um tráfego como os serviços de dados convencionais, onde demanda uma transmissão livre de perdas, mas não exige limites de atraso nem garantia de vazão. Esta classe pode ser dividida em duas subclasses: Classe II-A que é sensível ao atraso como FTP, HTTP e login remoto; e Classe II-B que é tolerante ao atraso como *paging* e *e-mail*. Mais ainda, a Classe II-A tem prioridade sobre a Classe II-B.

	Classe I	Classe II
Nome	Real-time	Non-real-time
Exemplos	Voz & Vídeo	Serviço de Dados
Atraso (delay)	Limitado	Sem limite
Vazão (throughput)	Garantido	Sem garantia
Perda (loss)	Tolerância	Tolerância zero

Tabela 4.2: Classe de tráfegos e QoS [9].

As métricas citadas na seção 4.3 foram utilizadas como auxílio à avaliação de redes locais para uma determinada classe de tráfego, no entanto podemos ter métricas para se avaliar o desempenho de classes de tráfego em redes locais, como em [35], que trabalhou com QoS sobre uma camada específica, IP sobre ATM, avaliando o desempenho de cada aplicação através de diferentes métricas, visualizadas na tabela 4.3.

Aplicação	Métrica
telnet	Tempo de conexão Tempo de resposta
FTP	Tempo de transferência do arquivo Tempo de transferência da sessão
HTTP	Tempo de transferência do arquivo Tempo de transferência da página
áudio	Taxa da perda de pacotes Taxa de atraso do pacote
vídeo	Taxa da perda de pacotes

Tabela 4.3: Métricas de desempenho para aplicações.

4.6 Parâmetros do Modelo do Sistema

A seguir apresentamos os parâmetros de sistema que afetam a rede com relação ao desempenho, quando seus valores são alterados, no contexto da nossa metodologia.

4.6.1 Camada Física

De acordo com o problema a ser estudado, a escolha pelo tipo de camada física (FHSS, DSSS ou IR) para se projetar uma rede local sem fio 802.11 é fundamental, pois está diretamente influenciada pelos requisitos das aplicações a serem utilizadas. Para uma descrição particular de tipo de camada física, veja a seção 2.3.6.

As características para cada tipo de camada física são definidas, em geral, por [12]:

- consumo de potência;
- tolerância à interferência do sinal;
- potencial da taxa de transmissão de dados para uma camada física individual;
- capacidade da vazão agregada para múltiplas camadas físicas; e
- alcance do sinal.

4.6.2 Protocolo MAC

Pode-se especificar o protocolo **MAC** (*Medium Access Control*) em pelo menos dois níveis. No primeiro para escolher o protocolo a ser utilizado, como o 802.11, 802.11b, HiperLan, WATM, OpenAir, HomeRF ou Bluetooth.

Em segundo nível se definem os parâmetros do protocolo MAC, como os valores mínimo e máximo da janela de contenção, *short inter-frame space* (SIFS), *distributed IFS* (DIFS), tamanho e *timeout* do ACK (*Acknowledgement*). Caso seja necessário trabalhar com a modelagem de desempenho na subcamada MAC um estudo aprofundado pode ser encontrado em [11][19][26].

4.6.3 Número de Estações

O número de estações na rede é um fator crítico no desempenho. Por isso, estudos de avaliação de desempenho para qualquer tipo de rede devem levar em consideração o número de estações, sendo um ponto fundamental que altera a qualidade de serviço.

Não obstante, o estudo ser em nível de rede ou protocolo, a verificação do seu comportamento quanto à variação do número de usuários conectados deve ser realizada.

4.6.4 Modelo do Tráfego

A especificação do modelo de tráfego deve ser descrita para saber se o fluxo de dados na rede é real (a partir de coleta de dados em uma rede) ou representativo (através dos modelos de distribuição como Poisson ou Exponencial).

Também deve ser especificado o sentido do fluxo, o tamanho e a taxa de entrega dos pacotes. Um estudo sobre modelos de tráfego pode ser encontrado em [11][17][27][28][36][37][54].

4.6.5 Modelo do Canal

Existem dois tipos de modelo de canal que podem ser assumidos como fatores determinantes do desempenho à definição do modelo do canal:

- a) ideal: sem erros durante a transmissão;
- b) *bursty*: com erros durante a transmissão.

Por exemplo, um tráfego de voz é sensível ao atraso, e pode tolerar relativamente um valor de *bit-error-rate* (BER) de 10^{-2} , sem perceber muito a degradação da qualidade. Um BER de 10^{-2} implica que, em média, de 100 bits enviados um foi recebido com erro devido a ruído ou distorção no canal intermediário [29][33]. Este tipo de erro acontece em um canal *bursty*, porque é sujeito a falhas de transmissão, já no canal ideal não acontecem erros, pois se assume que o canal não possui falhas durante a transmissão.

4.6.6 Carga de Trabalho

Na nossa metodologia, a definição da quantidade de carga gerada por cada estação em uma rede é diretamente proporcional à taxa de entrega dos pacotes. Entretanto, as estações podem impor cargas equivalentes a uma rede a partir de uma aplicação, e naturalmente cargas distintas a partir de várias aplicações ou forçando pesos em tráfegos gerados a partir de uma aplicação (como em [17], que atribui os valores 0,0, 0,2, 0,4, 0,6 e 0,8 ao tráfego de voz, tornado a carga de trabalho distinta para o estudo da avaliação de desempenho).

4.7 Desenvolvimento do Simulador

A quinta etapa da metodologia destina-se ao desenvolvimento do simulador, podendo ser de três formas, segundo [1][59]:

- a) através de uma ferramenta de simulação, como por exemplo o NS (Network Simulator) [32], Simula2[5], Smooth, SwiMNet, MobSim++ e GloMoSim [36];
- b) usando bibliotecas de simulação, escritas em linguagens de programação, como as bibliotecas existentes em MobiCS [41] e JSIM [59] escritas em Java;
- c) ou como um programa, escrito especificamente para simular o modelo em questão, por exemplo, serviço de táxi baseado na localização em ambiente de comunicação sem fio [60] .

O desenvolvimento do modelo leva em consideração os parâmetros e as classes de tráfego. Neste contexto, ferramentas de Engenharia de Software e de programação podem ajudar na sua construção, principalmente se a opção **c** for a forma escolhida para o desenvolvimento do simulador. Por outro lado, as ferramentas de simulação podem abreviar consideravelmente o esforço e tempo de desenvolvimento. Apesar destas facilidades, as formas **a** e **b** requerem um conhecimento razoável de seus detalhes exigindo um investimento considerável no seu estudo. A princípio, porém, as ferramentas fornecem tudo que se necessita para o desenvolvimento do simulador, como gerador de números aleatórios, distribuições probabilísticas, criação e manutenção de filas, coletas estatísticas etc. Algumas fazem uso até de ambientes gráficos para facilitar o desenvolvimento [1][59].

A sexta etapa é a depuração e teste do simulador. O objetivo é não apenas verificar se o simulador produz os resultados “corretos”, mas também para certificar que o programa funcionará. Se o simulador for diagnosticado defeituoso, ou até mesmo ineficiente em certos aspectos, então deve ser modificado ou refinado, onde estes procedimentos são realizados na sétima etapa. Após estas modificações, o simulador deve ser depurado e testado, até que funcione corretamente.[1]

A oitava etapa da metodologia é a validação do modelo, e estabelece se este é consistente com o sistema real, operando nas condições definidas. A validação pode ser auxiliada por uma análise prévia das métricas em conformidade com a qualidade de serviço, desde que se tenha experiência com a realidade em estudo. A nona etapa é usada apenas se o modelo não passar no teste de validação. Caso isto ocorra, então ele tem que ser refinado para melhor capturar aspectos do sistema para que corrijam as discrepâncias observadas, sendo necessário repetir as etapas de 2 a 5 para que novamente o modelo possa ser submetido à nona etapa. Após a validação do modelo, a décima etapa que é a de planejamento da estratégia de simulação, que é enfim executada.

4.8 Estratégia de Execução

Geralmente, para um dado modelo, existe um grande número de experimentos possíveis com o simulador. Isto acontece, principalmente, devido às possibilidades de variações nos valores dos parâmetros. Sendo assim, uma seleção dos casos a serem estudados se faz necessária. Este papel de seleção é realizado pela etapa de Estratégia de Execução, e todos os detalhes de execução, além de planejados, têm que estar minuciosamente registrados.

Segundo [1], como números aleatórios são usados na execução, pode ser necessário executar o programa várias vezes, com diferentes conjuntos de números aleatórios, para verificar o comportamento dos intervalos de confiança dos resultados. Talvez uma melhor estratégia seja executar o programa uma só vez e terminar a sua execução apenas quando os intervalos de confiança atingirem um nível desejado.

4.9 Execução e Coleta de Dados

Com o plano de estratégia de execução em mãos, poder-se-á executar a décima primeira etapa da metodologia, que trata das execuções do simulador para que a coleta de dados possa ser realizada. Um novo nível de complexidade surge a partir deste instante, visto que “o que” deveria ter como saída de dados foi especificado no simulador, agora é saber “como” esses dados serão tratados de forma a facilitar a etapa seguinte que é a análise e interpretação dos resultados. Logo, uma solução é fazer com que os dados sejam sumarizados através de médias, tabelas, gráficos, etc.

4.10 Análise e Interpretação dos Resultados

Na décima segunda etapa se tem o objetivo de analisar e interpretar os resultados oriundos da execução do simulador. As conclusões alcançadas devem ser suportadas por métodos estatísticos de análise, como cálculo de médias, desvio padrão, intervalos de confiança entre outros.

O estudo de simulação é finalizado quando na última etapa se verificar que todos os resultados são suficientes e satisfatórios, esta percepção se dará através das conclusões da etapa anterior e de quanto os dados se aproximam da realidade estudada. Contudo, se os resultados forem insuficientes, a estratégia de execução pode ser modificada e o programa re-executado, em busca de justificativas para resultados surpreendentes ou estranhos. No caso, se forem insatisfatórios, pode acontecer que todo o ciclo da metodologia tenha que ser repetido, para um estudo mais cuidadoso e detalhado [1]. Entretanto, não só nesta situação, como também para a primeira vez que esta metodologia for executada, algumas etapas podem ser realizadas em paralelo, por exemplo, a construção do simulador e a estratégia de execução, ou a escolha das classes de tráfego e as métricas que servirão à análise, em conformidade, é claro, com a qualidade de serviço de cada classe.

Capítulo 5

Estudo de Caso: Rede Local Sem Fio

Neste capítulo teremos a oportunidade de mostrar uma aplicação da metodologia para uma rede local sem fio.

5.1 Estudo do Sistema e Definição dos Objetivos

O sistema a ser estudado neste trabalho possui um ambiente contendo clientes que fazem uso de aplicações multimídia através de uma rede local de computadores sem fio.

As diretrizes da simulação e da avaliação de desempenho foram direcionadas por três objetivos principais, a saber:

- Simular uma rede local sem fio contendo um tráfego integrado de dados, áudio e vídeo, oriundo de clientes de ambientes que utilizem aplicações multimídia.
- Medir a vazão agregada da rede produzida por estas aplicações em função dos pacotes descartados, à medida que variarmos os valores do parâmetro de taxa de transmissão e tamanho dos pacotes destas aplicações, a fim de obtermos os melhores valores para estes parâmetros.
- Avaliar o desempenho da rede com relação ao impacto das demandas de conectividade dos usuários.

5.1.1 Arquitetura dos Servidores

Assumimos que o ambiente possui 3 servidores, sendo um de dados, um de áudio e o outro de vídeo. Não foram consideradas neste trabalho as velocidades de processamento, a memória principal ou secundária dos servidores, ou mesmo como trabalha o sistema de armazenamento das mídias e o tráfego gerado pelas estações. Contudo, para efeito de simulação, consideraremos o protocolo

utilizado para comunicação com os clientes, a velocidade de transmissão e o tráfego gerado por cada um dos servidores.

5.1.2 Área de Cobertura da Rede

Os usuários da rede local sem fio poderão ter acesso à rede de qualquer ponto da área de cobertura. Se fosse um ambiente educacional, por exemplo, o acesso poderia ser a partir de uma sala de aula, de um laboratório, auditório ou biblioteca. A área de demanda dos clientes do sistema foi de 400x400m.

O ponto de acesso possui alcance de 250m e qualidade do sinal transmitido foi uniforme em toda a área do sistema.

5.2 Modelo do Sistema

O modelo do sistema do ambiente é do tipo Cliente/Servidor, sendo representado pela rede local sem fio mostrado na figura 5.1. Esta rede é composta de três servidores, sendo um de vídeo, um de áudio e um de dados, que possuem placas de rede *Ethernet* 10/100Mbps e são conectados por meio de cabos de par trançado de categoria 5 a um *switch* de 8 portas de 10/100baseT, e este ao Ponto de Acesso (Access Point - AP), formando assim a parte da rede do tipo Fast-Ethernet.

As estações sem fio são conectadas à rede através de placas de rede, que possuem antenas onidirecionais pelas quais enviam e recebem os dados da rede Fast-Ethernet na forma de sinais de rádio, a um Ponto de Acesso. Este também pode receber e transmitir os sinais no ambiente, em frequência de rádio na faixa de 914MHz com interface de rádio DSSS. O ponto de acesso possui alcance de 250m e localiza-se no centro da área de demanda. Além disso, com mencionado, assumimos que a qualidade do sinal é uniforme em toda esta área.

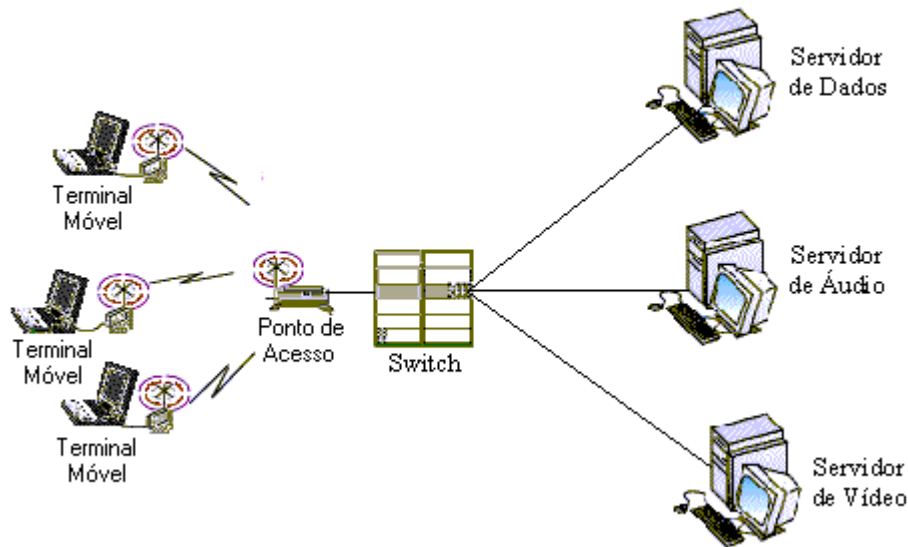


Figura 5.1: Cenário do Modelo do Sistema.

5.3 Métricas de Desempenho

Segundo Tanenbaum [55], a camada de transporte não é o único elemento onde as questões de desempenho têm mais importância. No entanto, em geral, as questões orientadas ao sistema tendem a ser relacionadas a problemas de transporte.

Por falta de um termo mais adequado, utiliza-se normalmente o desajeitado acrônimo **TPDU (Transporte Protocol Data Unit)** para denominar as mensagens enviadas por entidade de transporte a entidade de transporte. Mas é sabido que as TPDU's (intercambiadas pela camada de transporte) estão nos pacotes (intercambiados pela camada de rede). Os pacotes, por sua vez, ficam contidos em quadros (intercambiados pela camada de enlace de dados). Quando quisermos nos referir a TPDU e ao pacote ao mesmo tempo, utilizaremos pacote como termo coletivo.

As medições podem ser realizadas de diversas formas e em diferentes pontos da rede (tanto nos elementos físicos quanto na pilha de protocolos) [55]. Contudo, as métricas mais elementares para se medir o desempenho de uma rede, segundo [9][23][33][53][55], são o atraso dos pacotes, a vazão da transmissão e o percentual da perda dos pacotes. Sendo estes os principais norteadores da qualidade de serviço para as classes de tráfegos e descritos a seguir.

1) **Atraso dos pacotes:** máximo atraso na entrega dos pacotes, medido desde dos transmissores até os receptores;

2) **Vazão da transmissão:** definida como taxa de dados que está sendo efetivamente recebida por todos os receptores por unidade de tempo;

3) **Percentual da perda de pacotes:** é a percentagem da quantidade de pacotes perdidos em todas as conexões.

5.4 Aplicações, Classes de Tráfego e Critério de QoS

Cinco aplicações multimídia foram escolhidas para estudo nesta pesquisa, são elas: telnet, FTP e WWW classificadas na Classe IIA; áudio e vídeo na Classe I. As especificações quanto à qualidade de serviço às aplicações estão representadas na tabela 5.1 baseadas em estudos realizados em [15][17][27][33][34][35][42][44][53].

	Classe I		Classe IIA
Aplicações	Áudio	Vídeo	telnet, FTP e WWW
Atraso (delay)	≤ 100 ms		≤ 1000 ms
Vazão (throughput)	Garantido		Sem garantia
	32-128Kbps	64-256 Kbps	8-64 Kbps
% Perda (loss)	≤ 1%	≤ 0,01%	≤ 0,005%

Tabela 5.1: Classe de tráfegos e QoS para aplicações multimídia.

5.5 Parâmetros do Modelo do Sistema

5.5.1 Camada Física

O tipo de camada física escolhida foi a DSSS. Esta opção deu-se, principalmente, pela necessidade de se ter uma alta taxa de transmissão (devido o tráfego de dados gerado pelas aplicações multimídia) e um maior alcance na área de cobertura. A potência do sinal foi de 0,2818 W através de uma antena onidirecional, gerando um alcance de 250m e uma frequência de 914MHz.

5.5.2 Protocolo MAC

Nesta pesquisa não se teve a pretensão de otimizar ou construir algum protocolo, limitou-se a utilização do protocolo MAC 802.11 com o protocolo de acesso ao meio CSMA/CA. O IEEE 802.11 foi descrito na seção 2.3.5.

5.5.3 Número de Estações

O número de estações na rede local sem fio variou conforme a demanda de conectividade dos usuários acessando os servidores da rede. Sendo assim, os valores determinados para o parâmetro do número de estações acessando a rede através do Ponto de Acesso (*Access Point - AP*) foram 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40 e 50.

5.5.4 Modelo do Tráfego

As aplicações adotadas nesta simulação, descritas na tabela 5.1, estão representadas por modelos de tráfegos especificado na tabela 5.2.

Aplicação	Modelo do Tráfego	On/Off
telnet	Exponencial	-
ftp	Tcplib	-
http	Exponencial	3,3/22,8
áudio	CBR	-
vídeo	Exponencial	0,87/0,46

Tabela 5.2: Modelo do tráfego da rede local sem fio.

Duas classes de tráfego foram investigadas, contendo cinco aplicações no total, são elas: telnet, ftp, http, áudio e vídeo. A aplicação telnet foi representada pelo modelo de tráfego exponencial, e o tempo do intervalo dos pacotes de 1,0s. O modelo de tráfego tcplib representou a aplicação ftp. A taxa de transmissão das aplicações ftp e telnet são inerentes às próprias “aplicações simuladas” do **ns** (veja seção 3.2). Modelos de Poisson [35] e exponencial [11] já foram usados em pesquisas para simular estas aplicações. O modelo de tráfego exponencial foi usado para representar a aplicação http (mas pode-se modelar como Weibull ou Pareto) com período *on* de 3,3s e *off* de 22,8s[11]. Essas três aplicações listadas até o momento, pertencem à classe IIA, e são denominadas neste trabalho como aplicações de dados.

Representamos o tráfego de áudio através do modelo *Constant Bit-Rate* (CBR). O tempo do intervalo entre os pacotes foi de 1.0s. O modelo CBR foi utilizado em algumas pesquisas como tráfego de voz [42][61][53]. Este mesmo tráfego, em outras pesquisas [17][27][28], foi representado pelo modelo exponencial com o período *on* de 1.0s e *off* de 1.35s.

A aplicação de vídeo foi representada através do modelo de tráfego exponencial. Os valores dos períodos *on* e *off* de transmissão dos pacotes foram, respectivamente, 0,87s e 0,46s [57].

5.5.5 Modelo do Canal

O modelo do canal de transmissão de dados foi do tipo *bursty*, assumindo que podem ocorrer erros de 1 a 3% durante a transmissão. A capacidade de transmissão foi de 2Mbps e o atraso de 25 μ s.

5.5.6 Carga de Trabalho

As cargas geradas para cada estação, de acordo com tipo de tráfego, foram equivalentes. Quanto a vazão destas cargas deu-se conforme a taxa de transmissão de cada aplicação.

5.6 Simulador Multimídia

A forma escolhida para desenvolver o simulador multimídia foi através de ferramentas de simulação, sendo implementado através do **ns** (*Network Simulator*) com sua versão 2.1b7a, desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Berkeley e da Universidade da Califórnia do Sul [32][51], mas que também recebe contribuições de pesquisadores em nível mundial.

O simulador multimídia foi composto por três módulos de configuração, a saber:

- a) **o cenário:** contém as posições das unidades sem fio;
- b) **a carga:** representa as aplicações com suas configurações de orientação do tráfego na rede, tamanho e taxa de transmissão dos pacotes, tempo de execução e ainda períodos *on/off*; e
- c) **o simulador:** contém todas as configurações da rede local sem fio.

As questões de mobilidade não foram propostas de trabalho desta pesquisa, visto que a porcentagem de clientes móveis no ambiente modelado era desprezível. Porém, se a mobilidade fosse tratada, as informações como origem, destino e velocidade da unidade móvel, teriam que ser acrescentadas no módulo de cenário.

Após a execução do simulador dois módulos de dados são gerados:

- a) **trace:** contém as informações sobre o tráfego da rede produzido durante a simulação; e
- b) **visual:** é um arquivo a ser usado na ferramenta NAM (*Network Animator*) [32] para observar a simulação graficamente.

Uma visão geral sobre os dados de entrada do simulador e os dados de saída produzidos pode vista na figura 5.2.

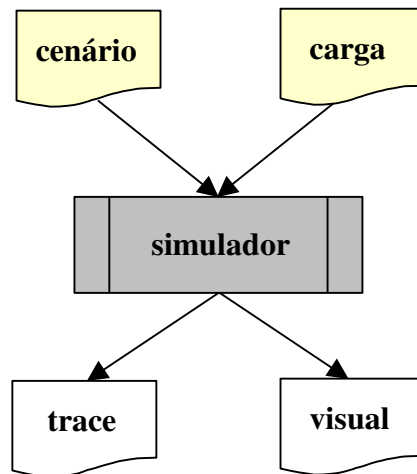


Figura 5.2: Visão geral dos módulos do simulador multimídia.

A depuração e teste do simulador, até o seu completo funcionamento demandou bastante tempo, tornando necessário por diversas vezes a realização do seu refinamento, pois a complexidade para desenvolver um simulador para rede local sem fio na ferramenta **ns** é muito maior do que para redes tradicionais. Além disso, o material existente para simular aquela rede é limitado e superficial.

A validação do modelo ocorreu ao verificarmos que o simulador multimídia desenvolvido, depurado e testado, estava expressando o modelo de sistema proposto neste trabalho para a rede local sem fio (veja seção 5.1 e 5.2).

5.7 Estratégia de Execução

A estratégia de execução teve dois papéis fundamentais. O primeiro para planejar uma forma de obter os melhores valores para os parâmetros taxa de transmissão e tamanho dos pacotes, a serem utilizados nas aplicações da rede. O segundo, para obter dados a respeito da demanda de conectividade de usuários da rede sem fio em função das aplicações utilizadas.

5.7.1 Estimativa das Aplicações

O segundo objetivo desta pesquisa surgiu pelo fato de percebermos que diversas pesquisas, como [17][19][20][23][27][35][42], utilizaram valores diferenciados para a taxa de transmissão e tamanho de pacotes, deixando transparecer para o leitor uma despadronização quanto a estes valores. Com isto, algumas dúvidas em nossa pesquisa foram levantadas, como:

- Que valores adotar para tais parâmetros?

- Será que estes valores são as melhores opções para estes parâmetros?

Para responder tais perguntas, de maneira a observar a vazão agregada da rede produzida pelas aplicações e os seus pacotes descartados, variamos para cada número de clientes na rede, a taxa de transmissão e o tamanho dos pacotes. Os valores para os parâmetros são descritos na tabela 5.3.

Parâmetros	Valores
Clientes	2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40 e 50.
Tamanho dos Pacotes (Bytes)	500, 600, 700, 800, 900, 100, 1100, 1200, 1300, 1400 e 1500.
Taxa (Kbps)	ftp e telnet (implícita), http (8, 16, 32 e 64), áudio (32, 64 e 128) e vídeo (64, 128 e 256).
Tempo (s)	ftp e telnet (240), http (600), áudio (180) e vídeo (240).

Tabela 5.3: Parâmetros para simulação da estimativa das aplicações.

5.7.2 Estimativa da Rede Local Sem Fio

Na estimativa da rede, planejamos uma estratégia de execução a fim de alcançarmos a meta estabelecida para o terceiro objetivo deste estudo de caso, que visou avaliar o desempenho da rede local sem fio com relação ao impacto das demandas de conectividade dos usuários.

Em busca desta meta, estabelecemos que, para cada largura de banda, fosse variado o número de clientes, a fim de observarmos o comportamento da rede para as diversas situações. Os valores dos parâmetros usados para estimativa da rede estão descritos na tabela 5.4. Estes valores foram entradas de dados no programa estimador, que teve como saída os resultados da vazão, o atraso dos pacotes e o percentual de pacotes descartados.

Os valores dos parâmetros tamanho do pacote, taxa de transmissão e tempo de simulação de cada aplicação não sofreram variações, pois o objetivo era de avaliar o desempenho da rede e não da aplicação. Os valores destes parâmetros foram definidos de acordo com estudos realizados neste trabalho que foram os resultados obtidos com o cumprimento do segundo objetivo.

Parâmetros	Valores
Largura de Banda (Mbits)	1 e 2
Clientes	2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30 40 e 50.
Tamanho do Pacote (B)	1500
Taxa (Kbps)	ftp e telnet (implícita), http (32) e áudio (32).
Tempo (s)	180

Tabela 5.4: Parâmetros para simulação da estimativa da rede.

5.7.3 Tratamento Estatístico dos Dados

A estimativa deste estudo começara manualmente e em média gastamos 2 minutos para alterar todos os valores dos parâmetros da tabela 5.3 e realizar a execução da simulação, contudo se repetíssemos 8 vezes este procedimento o tempo demandado por cada aplicação ficaria impraticável, visto que, em média se gastaria 3840 minutos (64 horas), inviabilizando então este tipo de procedimento. A fórmula na figura 5.3 expressa a idéia do tempo de simulação que gastaríamos manualmente por cada aplicação.

$$T_{\text{manual}} = (TI * NC * NTP * NT) * NE$$

Figura 5.3: Fórmula do tempo de simulação manual para cada aplicação

TI: tempo individual de cada simulação (execução e mudança dos valores dos parâmetros)	
NC: número de clientes	NTP: número de tamanho dos pacotes
NT: número de taxas	NE: número de experimentos

Com isso, fomos “estimulados” a fazer um programa, nomeado de **estimador**, para fazer todo o trabalho manual. Ele tem funções conforme figura 5.4 e foi usado para estimativa das aplicações multimídia e da rede local sem fio.

- 1) Ler o módulo **simulador, cenário e carga**.
 - 2) Ler os valores para os parâmetros que serão alterados no módulo **simulador**:
 - a) Largura de Banda (**lb**);
 - b) Número de Clientes (**nc**);
 - 3) Ler os valores para os parâmetros que serão alterados no módulo **carga**:
 - a) velocidade da **taxa** de transmissão da aplicação;
 - b) tamanho dos pacotes (**tp**);
 - c) tempo de processamento da aplicação (**tpa**).
 - 4) Ler o número de experimentos (**ne**) a serem realizados e quantidade de amostras a recolher.
 - 5) Ler a faixa de tempo do intervalo da vazão e do atraso dos pacotes. (apenas estimativa da rede)
 - 6) Criar o módulo de dados **estimativa**
 - Para cada **nc** faça
 - Para cada **taxa** faça
 - Para cada **tp** faça
 - Para cada **tpa** faça
 - Modifica os parâmetros **tp, taxa e tpa** para o módulo **carga**;
 - Executar o **simulador** de acordo com o **ne** e retirar as amostras;
 - Ler o módulo de dados **trace**;
 - Inserir informações no módulo **estimativa** sobre a aplicação (ou a rede);
- Fechar o módulo **estimativa**.

Figura 5.4: Pseudocódigo do programa estimador.

O **estimador** tem como dados de entrada o módulo simulador, carga e cenário, o valor da largura de banda e o número de usuários a serem alterados no módulo do simulador. Os valores dos parâmetros da taxa de transmissão, tamanho do pacote e tempo de processamento da aplicação, que serão alterados no módulo da carga. O número de experimentos que devem ser realizados e a quantidade de amostras que devem ser recolhidas, para que as devidas médias sobre os pacotes recebidos e descartados sejam realizadas. Se a estimativa a ser executada for a da rede local sem fio, então devem ser informados os dados da faixa de tempo do intervalo para as métricas da vazão e do atraso dos pacotes. Os valores para os dados de entrada para estimativa da aplicação podem ser vistos na tabela 5.3.

O dado de saída produzido pelo estimador pode ser uma estimativa sobre aplicação (módulo de dados aplicação) ou da rede local sem fio (módulo de dados rede), ressaltando que todos os dados de saída são resultados agregados de todas as conexões.

O **módulo aplicação** contém informações da métrica vazão e da percentagem de pacotes descartados, quando se varia o tamanho do pacote em relação ao número de clientes na rede. O **módulo rede** contém informações sobre as métricas vazão, atraso dos pacotes e percentagem de pacotes descartados, quando se varia a largura de banda em relação ao número de clientes na rede. Na figura 5.5 temos uma visão geral do programa estimador.

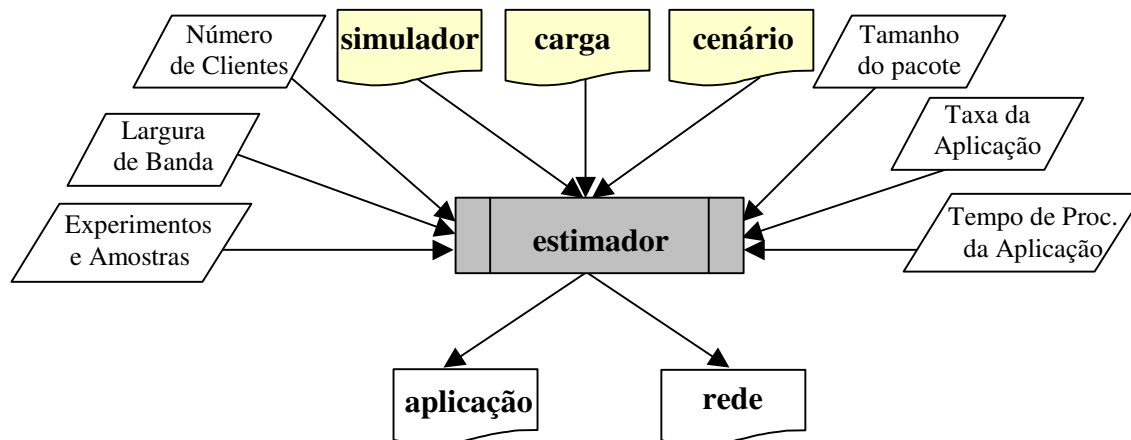


Figura 5.5: Visão dos dados de entrada e saída do programa estimador.

Os intervalos de confiança adotados para todos os experimentos foram de 95%. Na tabela 5.5 temos uma amostra obtida de um experimento para o número de pacotes recebidos pelas estações sem fio. Na tabela 5.6 temos o limite mínimo e máximo do intervalo de confiança para os valores da tabela 5.5.

Num.Exp.	Pacotes Recebidos (pr)
1	918.900
2	930.500
3	925.800
4	924.700
5	928.000
6	914.100
7	919.300
8	915.800
Média	922.138
Variação	35.368.392,86

Tabela 5.5: Exemplo de um experimento para pacotes recebidos.

Desv.Padrão	Interv.Confiança	Lim.Max.	Lim.Min.
5.947,13	131,85	922.269,35	922.005,65

Tabela 5.6: Valores do intervalo de confiança para os pacotes recebidos.

5.8 Execução e Coleta dos Dados

As simulações ocorreram em dois momentos, conforme o Plano de Estratégia de Execução, o primeiro para a Estimativa da Aplicação e o segundo para Estimativa da Rede Local Sem Fio.

Executamos o programa **estimador** para a estimativa da aplicação e ele nos forneceu o módulo de dados **aplicação**. Este continha informações da métrica vazão (figura 5.6) e percentual da perda de pacotes (figura 5.7). Observe que as informações sobre as métricas já estão em um formato de tabela.

Aplicação: áudio		Taxa (Kbps) : 64.000									
TP\STA	2	4	6	8	10	15	20	30	40	50	
500	63,783	63,828	63,885	63,842	63,818	63,827	63,470	42,104	31,686	25,162	
600	63,893	63,860	63,916	63,870	63,843	63,851	63,663	44,852	33,572	26,036	
700	63,835	63,863	63,918	63,875	63,846	63,855	63,871	46,492	34,676	27,584	
800	63,861	63,867	63,923	63,880	63,858	63,867	63,668	47,680	36,261	28,994	
900	63,837	63,830	63,880	63,840	63,816	63,541	63,846	49,883	37,310	29,788	
1000	63,837	63,822	63,881	63,844	63,818	63,831	63,851	51,105	38,008	30,288	
1100	63,869	63,829	63,879	63,836	63,819	63,244	63,082	44,059	32,446	25,439	
1200	63,750	63,809	63,858	63,269	63,780	63,796	63,523	44,638	33,579	26,945	
1300	63,770	63,814	63,867	63,273	63,790	63,804	63,820	45,168	34,322	27,389	
1400	63,794	63,816	63,879	63,837	63,810	63,823	63,425	47,239	34,601	27,716	
1500	63,813	63,778	63,844	63,806	63,776	63,784	63,364	47,877	35,700	28,348	

Figura 5.6: Vazão da Estimativa das Aplicações.

Aplicação: áudio		Taxa (Kbps) : 64.000									
TP\STA	2	4	6	8	10	15	20	30	40	50	
500	0,339	0,269	0,179	0,247	0,285	0,271	0,828	34,212	50,493	60,685	
600	0,208	0,260	0,174	0,245	0,287	0,275	0,569	29,949	47,567	59,336	
700	0,300	0,255	0,170	0,237	0,282	0,269	0,243	27,400	45,843	56,923	
800	0,273	0,264	0,176	0,243	0,278	0,263	0,575	25,542	43,374	54,727	
900	0,255	0,266	0,188	0,250	0,287	0,717	0,241	22,058	41,704	53,462	
1000	0,255	0,278	0,185	0,243	0,285	0,264	0,233	20,148	40,613	52,677	
1100	0,274	0,337	0,259	0,326	0,353	1,250	1,503	17,448	18,943	20,565	
1200	0,390	0,299	0,222	1,142	0,343	0,319	0,746	16,304	16,053	15,798	
1300	0,387	0,318	0,235	1,164	0,356	0,334	0,309	15,334	14,219	14,434	
1400	0,363	0,330	0,231	0,297	0,339	0,317	0,939	11,464	13,533	13,425	
1500	0,292	0,347	0,243	0,304	0,351	0,338	0,993	10,231	10,750	11,413	

Figura 5.7: Percentual da Perda de Pacotes para Estimativa das Aplicações.

Os cálculos das métricas vazão e percentagem da perda de pacotes para a estimativa das aplicações foram dados segundo as fórmulas abaixo.

$$\text{Vazão(bits/s)} = \text{mdr} / \text{tempo}$$

Figura 5.8: Fórmula da Vazão.

Onde:

- **mdr:** média de dados em bits recebidos de todas as conexões.
- **tempo:** tempo da duração (em segundos) para que todas as aplicações sejam finalizadas.

$$\text{perda de pacotes(\%)} = (\text{mpd} / (\text{mpr} + \text{mpd})) * 100$$

Figura 5.9: Fórmula do percentual da perda de pacotes.

Onde:

- **mpd:** média de pacotes descartados de todas as conexões (cálculo em bits).

O programa **estimador** também foi executado para a estimativa da rede, onde a sua saída produziu o modelo de dados **rede**. Este contém as informações da métrica vazão, atraso dos pacotes e percentual da perda de pacotes, todas agrupadas em forma de tabela.

O cálculo da métrica vazão e atraso dos pacotes foi dado segundo as fórmulas abaixo. O cálculo da percentagem da perda de pacotes foi a fórmula da figura 5.9.

$$\text{Vazão} = \text{mpr_int} / \text{tempo_int}$$

Figura 5.10: Fórmula da Vazão para Estimativa da Rede.

Onde:

- **mpr_int:** média de dados em bits recebidos de todas as conexões durante um intervalo de tempo específico.
- **tempo_int:** valor do intervalo de tempo em segundos.


$$\text{Atraso dos pacotes} = tr - te$$

Figura 5.11: Fórmula do atraso dos pacotes para Estimativa da Rede.

Onde:

- **tr:** tempo em que o pacote foi recebido pelo destino.
- **te:** tempo de envio do pacote a partir da origem.

5.9 Análise e Interpretação dos Resultados

Nesta seção, as avaliações realizadas têm dois objetivos específicos, a saber:

1. Avaliar o desempenho de aplicações multimídia em uma rede local sem fio; e
2. Avaliar o desempenho de uma rede local sem fio com relação ao impacto das demandas de conectividades de clientes fazendo uso de aplicações multimídia.

5.9.1 Aplicações Multimídia

Nesta seção, descrevemos a avaliação de desempenho das aplicações multimídia para a rede sem fio proposta neste trabalho, com a intenção de respondermos às perguntas efetuadas na seção 5.7.1, sobre que valores adotar para os parâmetros de tamanho do pacote e taxa de processamento da aplicação.

Todos os gráficos das aplicações apresentados nas seções seguintes possuem resultados que englobam, como métricas, a vazão da transmissão e a percentagem da perda de pacotes. Os parâmetros (número de clientes, tamanho dos pacotes, taxa de transmissão e tempo de processamento) e os seus valores que influenciaram nestes resultados estão especificados na tabela 5.3.

5.9.1.1 Telnet

Os resultados obtidos da aplicação Telnet através das simulações são apresentados nas figuras 5.12 e 5.13, respectivamente, para a Vazão e Perda de Pacotes.

A taxa de processamento da aplicação Telnet é implícita, ou seja, o usuário não tem como alterar a taxa. Se verificarmos a seção 3.2.2, notaremos que o único parâmetro da aplicação Telnet (Application/Telnet) é o *interval* (tempo de intervalo dos pacotes). Sendo assim, a única forma de influenciar nos resultados da vazão da aplicação é através da variação deste parâmetro. Neste trabalho, o *interval* foi sempre 1.0, sendo o modelo de tráfego representado pela distribuição exponencial.

Os resultados da aplicação Telnet foram obtidos exclusivamente a partir da variação do tamanho do pacote. Podemos notar através da figura 5.12 que quanto maior o tamanho do pacote melhor é resultado da vazão, por mais que se ocorra uma escalabilidade na rede.

Conforme a tabela 5.1 os resultados apresentados na figura 5.13 evidenciam que praticamente não ocorreu perda de pacotes sem afetar a qualidade do serviço, exceto quando os pacotes foram de 1000, 1100 e 1200 para um número alto de clientes utilizando a rede, mas mesmo assim estes valores para o Percentual de Perda de Pacotes acima de 0,005% podem ser desconsiderados.

Sendo assim, fica evidente que o pacote com um tamanho de 1500 bytes se alcançará um melhor desempenho quanto à vazão desta aplicação e, ainda assim, livres de erros durante a transmissão dos pacotes para pelo menos 50 clientes conectados.

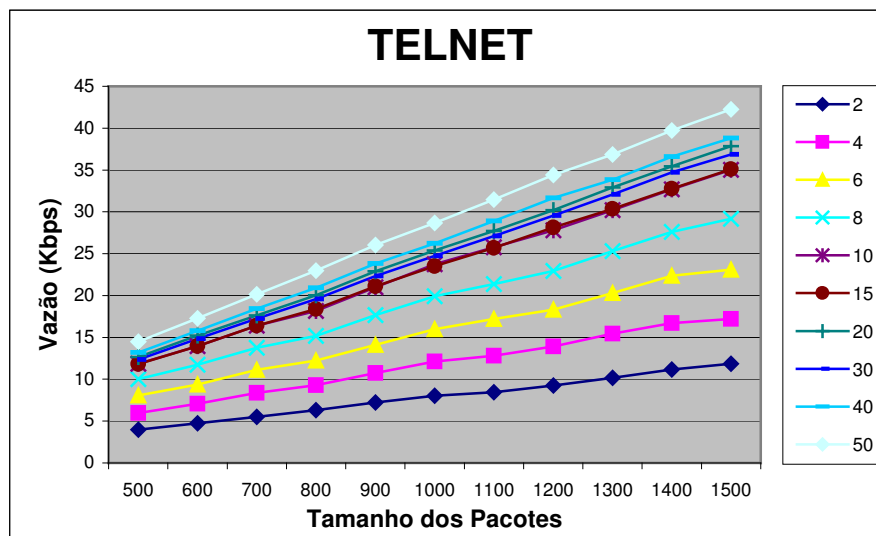


Figura 5.12: Resultados de simulação da Vazão da aplicação Telnet.

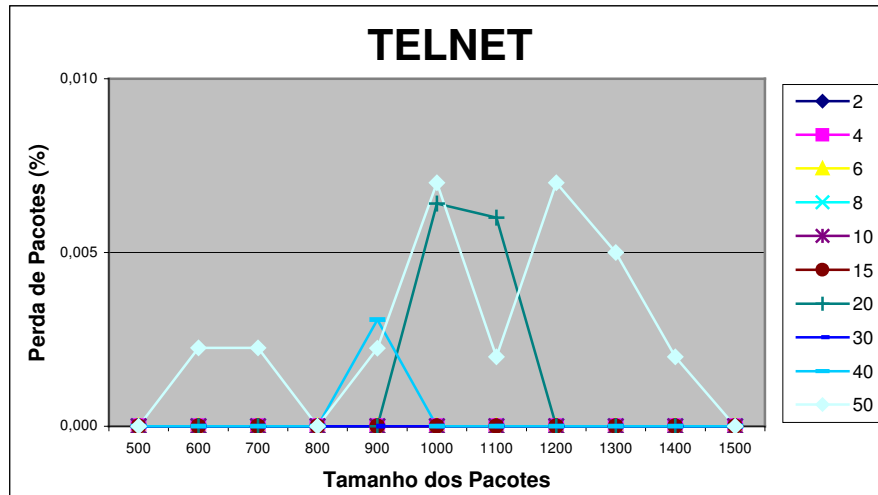


Figura 5.13: Resultados de simulação do Percentual da Perda de Pacotes da aplicação Telnet.

5.9.1.2 FTP

Assim como na aplicação Telnet a taxa de processamento da aplicação Ftp é implícita. Logo os resultados apresentados nas figuras estão em função da variação do tamanho do pacote e do número de clientes conectados em rede.

Pela figura 5.14 podemos notar que o tamanho do pacote tem influência significativa na vazão quando a rede possuir no máximo até 10 clientes conectados. Outro fato importante é a sobrecarga que a aplicação Ftp provoca na rede na intenção de aproveitar ao máximo o canal para completar suas transmissões. Este fato é causado devido à própria natureza da aplicação Ftp que consiste de múltiplas conexões TCP a cada sessão a ser realizada (uma conexão de controle e uma ou mais conexões de dados). E o desempenho da WLAN quanto a vazão é mais comprometido quando a demanda de conectividade de clientes com aplicações Ftp aumenta.

Se levássemos apenas a vazão em consideração durante a avaliação de desempenho de uma rede não notaríamos o grande prejuízo causado por algumas aplicações como a Ftp, por exemplo, que perdem muitos pacotes durante uma transmissão, comprometendo assim sua qualidade de serviço. Por isso, apesar da aplicação Ftp possuir uma alta vazão para os seus dados, observando a figura 5.15 avaliamos que ela é eficiente sem comprometer a qualidade de serviço para apenas dois clientes, visto com esta demanda não ocorreram perdas de pacotes. No entanto, a partir de 4 clientes, conforme a tabela 5.1, a qualidade de serviço é comprometida. Para uma análise mais precisa veja a

tabela 5.7 para avaliar os valores da vazão e da percentagem da perda de pacotes para os valores extremos de tamanho de pacotes (500 e 1500bytes) de acordo com a demanda de clientes.

Através das avaliações de desempenho apresentadas os melhores resultados de vazão aconteceram quando o tamanho do pacote foi de 1500bytes, sendo assim recomendamos que se use este tamanho de pacote. Quanto à taxa de transmissão esta já é inerente da própria aplicação.

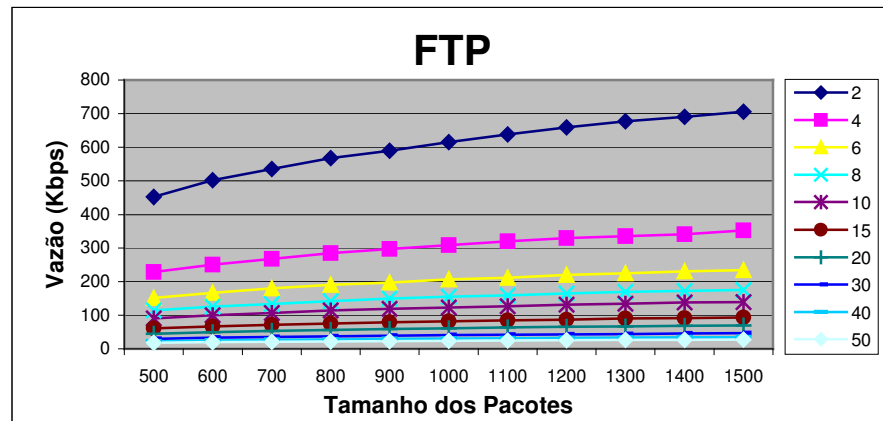


Figura 5.14: Resultados de simulação da Vazão da aplicação FTP.

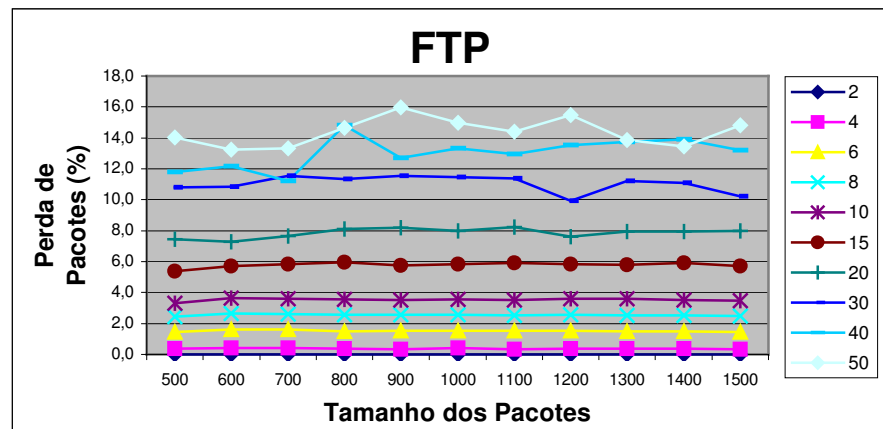


Figura 5.15: Resultados de simulação do Percentual da Perda de Pacotes da aplicação FTP.

Cientes	Tamanho do Pacote	Vazão	Perda de Pacotes (%)
2	500	452	0,000
2	1500	706	0,000
4	500	229	0,371
4	1500	352	0,346
6	500	151	1,433
6	1500	234	1,464

Tabela 5.7: Alguns Valores da Vazão e Perda de Pacotes(%) da aplicação FTP.

5.9.1.3 HTTP

Na figura 5.16 dispomos os gráficos da vazão em paralelo com os gráficos da perda de pacotes(%) para avaliarmos com mais precisão os resultados. A vazão em todos os gráficos alcançou melhores resultados quando se aumentava o tamanho do pacote, desta forma notamos que a aplicação http produziu o melhor desempenho quando o pacote foi de 1500bytes. Contudo, observamos também que as perdas de pacotes ocorriam mais precocemente a partir dos maiores valores de tamanho do pacote. Por exemplo, quando a taxa de processamento da aplicação foi de 8Kbps não ocorreram perdas para os pacotes de 500 a 1200bytes, diferentemente destes pacotes os de 1300 a 1500bytes comprometeram a qualidade de serviço, causando perda dos pacotes. E se formos observar os gráficos para as taxas de 16, 32 e 64Kbps perceberemos um aumento significativo no desempenho da vazão, entretanto devemos estar cientes que estaremos diminuindo o número de clientes conectados a WLAN com qualidade de serviço aceitável, pois as perdas dos pacotes se intensificam com o aumento da demanda de clientes conectados a esta rede usando a aplicação http.

Um ponto polêmico que nos levou a pensar que era um resultado inesperado foi o fato da vazão em todos os gráficos da figura 5.15 ter alcançado valores acima da taxa de processamento da aplicação http. Na verdade, estes valores devem sim ser esperados, pois devemos lembrar que, conforme seção 3.3.1, a Web usa um modelo em que cada documento (conhecido como página), consiste de um ou mais arquivos a serem transferidos, cada um usando uma conexão TCP particular.

Sobre qual taxa de processamento ou tamanho do pacote a ser utilizado isto dependerá do serviço que se queira prestar, não esquecendo, é claro, de sempre levar em consideração a qualidade deste serviço. Por exemplo, se desejássemos prestar um serviço para 10 clientes poderíamos oferecer uma vazão de aproximadamente 100Kbps, desde que, a taxa de processamento da aplicação fosse de 32Kbps e o tamanho do pacote de 1500bytes. Contudo, este número de clientes poderia até dobrar, usando a mesma taxa se o tamanho do pacote fosse de 500bytes, entretanto a vazão oferecida seria entorno de 37Kbps.

Um fato também observado quanto à aplicação http em uma WLAN é que por mais que se aumente a taxa de processamento e se consiga vazões cada vez maiores as perdas de pacotes acontecerão na mesma proporção, prejudicando assim a qualidade de serviço oferecida por redes deste tipo. Isso pode ser visto através das informações passadas pelas figuras com taxa de processamento e percentagem de perda de pacotes iguais a 64Kbps, onde apesar de ser oferecido uma alta vazão a qualidade de serviço fica comprometida em virtude do aumento da taxa e da demanda de clientes conectados.

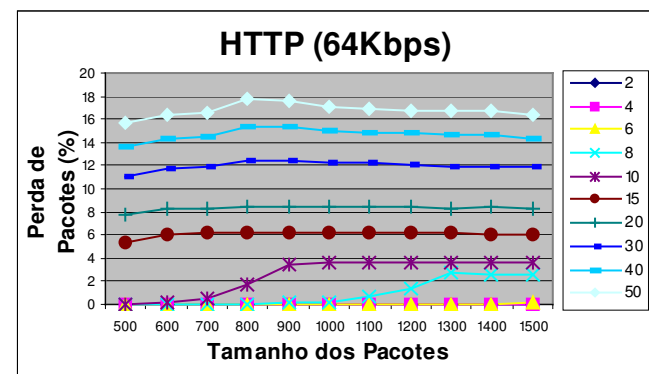
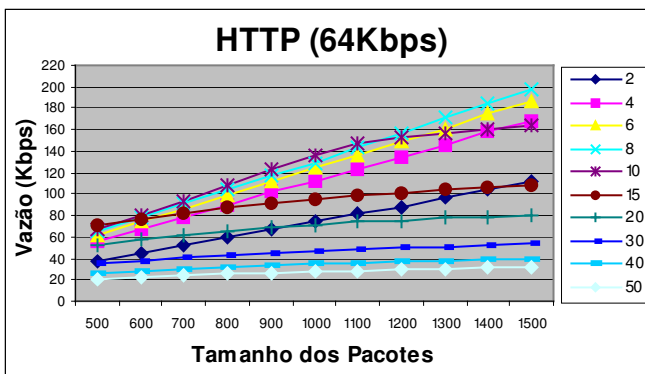
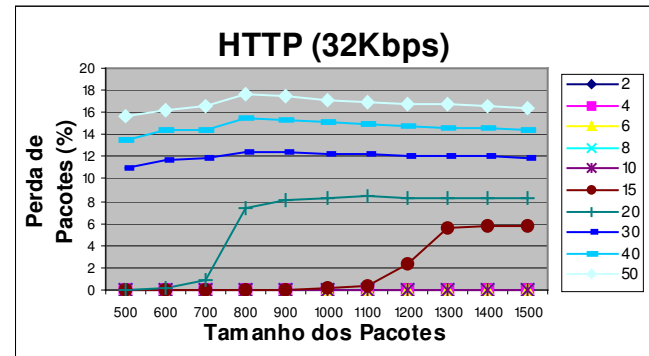
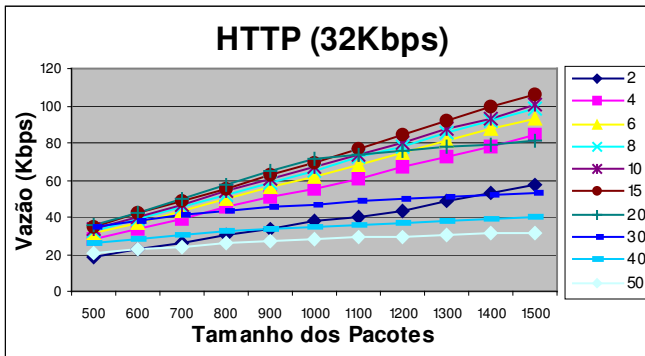
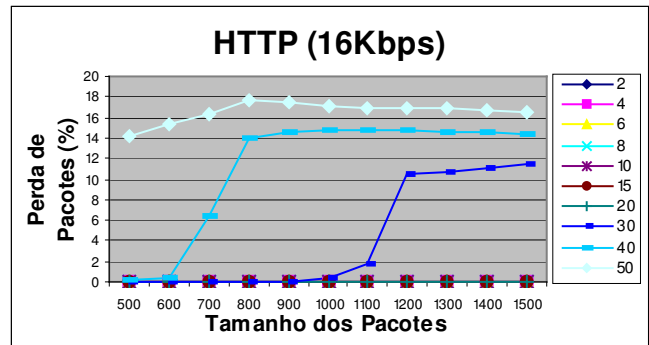
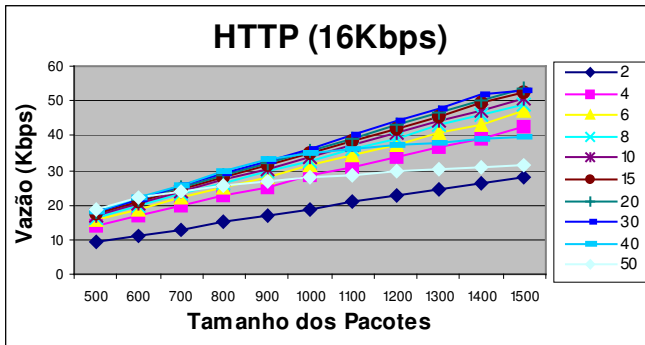
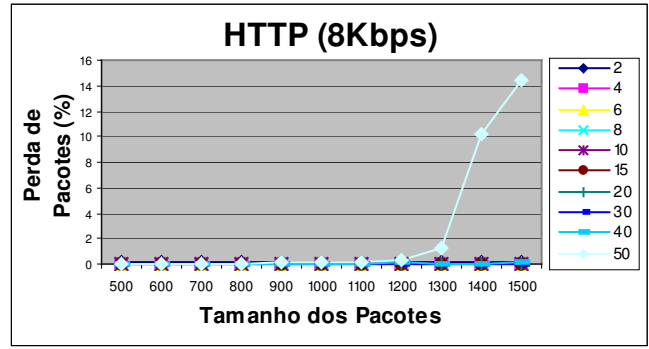
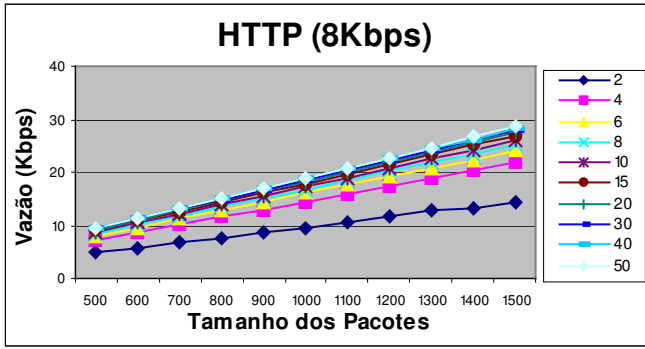


Figura 5.16: Vazão e Percentual da Perda de Pacotes da aplicação HTTP.

5.9.1.4 Áudio

Os resultados de simulação da aplicação de áudio tanto da vazão como da percentagem da perda de pacotes para taxas de processamento de 32, 64 e 128Kbps são apresentados na figura 5.17.

Avaliando os gráficos verificamos que uma WLAN suporta uma vazão aceitável provocada por aplicações de áudio com até 50 clientes conectados, contanto que a taxa de processamento seja de 32Kbps e o tamanho do pacote esteja entre 1100 e 1500bytes, pois pacotes com valores entre 500 e 1000bytes causaram problemas por fornecerem perdas de pacotes acima de 1%, comprometendo assim a qualidade de serviço para aplicações de áudio.

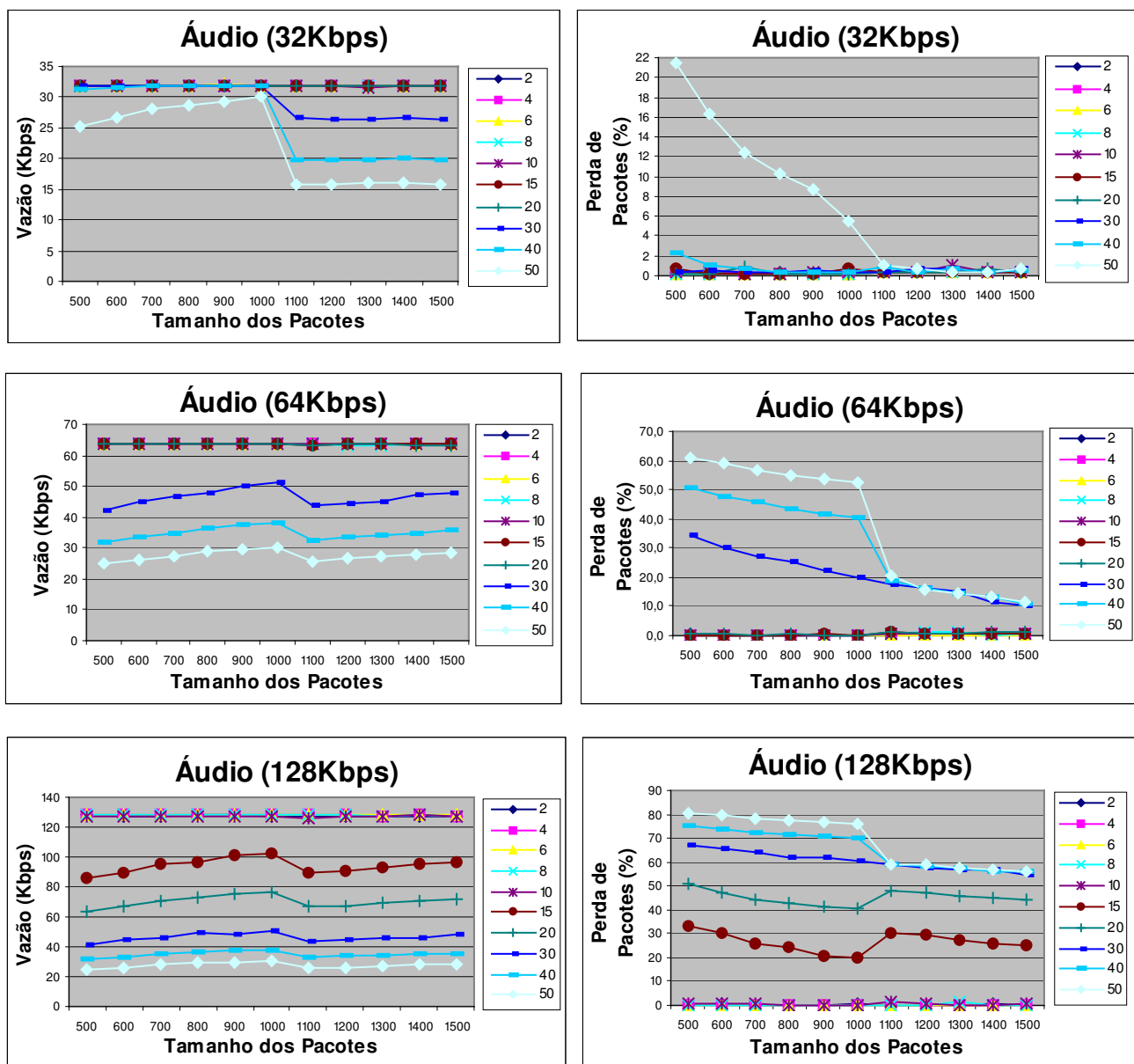


Figura 5.17: Vazão e Percentual da Perda de Pacotes da aplicação de Áudio.

Se quisermos alcançar melhores resultados para a vazão com aplicações de áudio devemos então aumentar o valor da taxa de processamento. Por exemplo, para uma taxa de 64Kbps a WLAN suportou até 20 clientes sem perdas de pacotes e ainda obteve uma vazão praticamente de 64Kbps, ou seja, o mesmo valor da taxa. Já com uma taxa de processamento de 128Kbps a vazão alcançada foi duplicada em relação à taxa anterior, em compensação a rede suportou apenas 10 clientes.

Quanto ao tamanho dos pacotes verificamos que a qualidade de serviço das aplicações de áudio ficou comprometida devido às perdas dos pacotes acontecerem precocemente para pacotes pequenos.

Sendo assim, recomendamos a utilização da taxa de 64Kbps e tamanho do pacote de 1500bytes, pois apesar de diminuir a demanda para em torno de 20 clientes, oferece uma vazão muito aceitável e sem perda de pacotes.

5.9.1.5 Vídeo

Os resultados de simulação da aplicação de vídeo tanto da vazão como da percentagem da perda de pacotes para taxas de processamento de 64, 128 e 256Kbps são apresentados na figura 5.18.

O tamanho do pacote em uma aplicação de vídeo não exerceu praticamente nenhuma influência no desempenho da WLAN, pois os resultados das vazões e percentagem de perdas de pacotes (menores que 5% por exemplo) não sofreram variações significativas quando se variou este parâmetro.

Para todos os gráficos da vazão observamos que os resultados desta métrica foram de aproximadamente 50% da taxa de processamento da aplicação, isto ocorreu toda vez que tínhamos na WLAN uma demanda de clientes que não provocassem uma percentagem de perda de pacotes acima de 5%. Neste contexto os vídeos poderão ser aceitos, mas estarão fora dos padrões de qualidade de serviço estabelecidos, pois todos os resultados alcançados estão acima do limite máximo aceitável da percentagem de perda de pacotes que é de 0,01%. Em [7] e [34] podemos encontrar também relatos da ineficiência de aplicações de vídeo em WLANs.

Sendo assim, baseado nas avaliações de desempenho realizadas com aplicações de vídeo em WLAN optamos pela não realização de simulações com esta aplicação para o segundo objetivo da seção de análise e interpretação dos resultados.

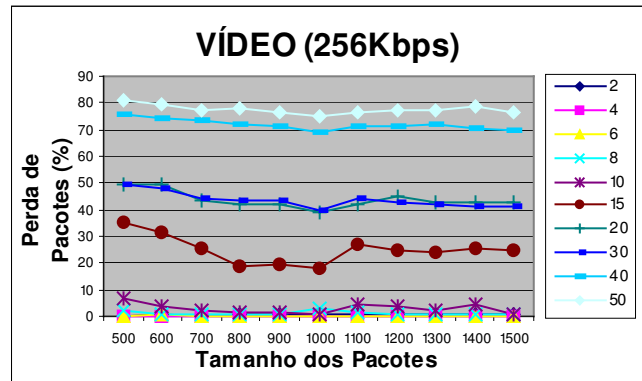
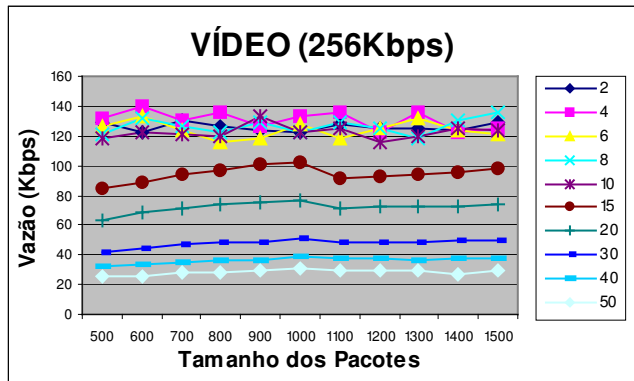
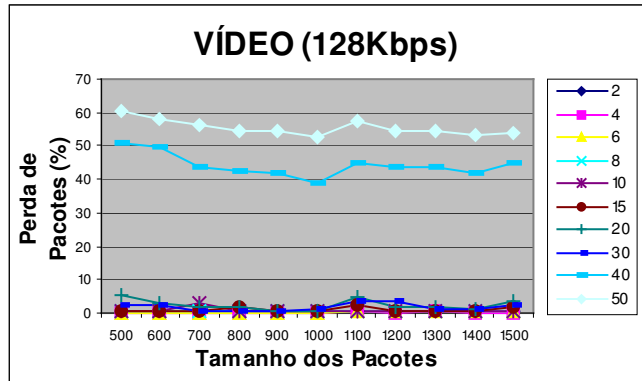
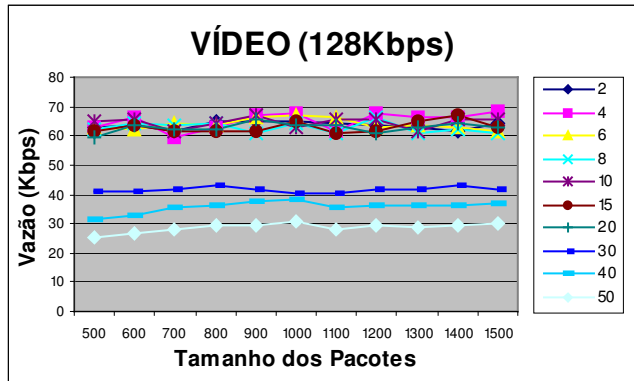
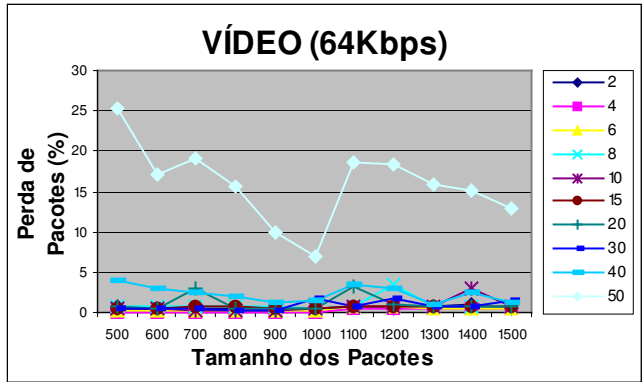
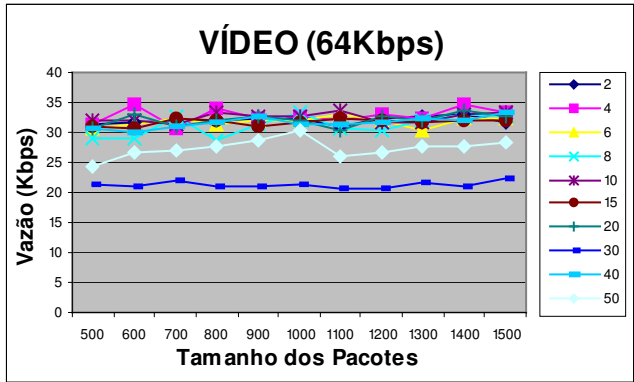


Figura 5.18: Vazão e Percentual da Perda de Pacotes da aplicação de Vídeo.

5.9.2 Rede Local Sem Fio

Nesta seção o objetivo foi analisar o desempenho de uma rede sem fio em relação ao impacto das demandas de conectividade dos clientes através do uso de aplicações multimídia.

A descrição da avaliação, como na seção anterior, foi realizada separadamente por cada aplicação. De acordo com a tabela 5.4, variamos a largura de banda (LB) e o número de clientes, ficando inalterado o tamanho do pacote, a taxa de transmissão e o tempo de simulação de cada aplicação. As métricas de desempenho utilizadas para se avaliar a WLAN foram às definidas na seção 5.3 (vazão, percentual da perda de pacotes e atraso do pacote), sendo estas avaliadas sempre em relação às larguras de bandas (de 1 e 2Mbps) e ao número de clientes (2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40 e 50).

As avaliações de desempenho das WLANs, em todas as seções seguintes, são norteadas através das observações realizadas sobre as vazões causadas pelas aplicações multimídia, levando sempre em consideração o percentual da perda de pacotes. Além dessas duas métricas, o atraso dos pacotes foi uma outra métrica utilizada para avaliarmos o desempenho deste tipo de rede, a fim de verificarmos em que momento os pacotes são descartados. Desta forma, estaremos fornecendo subsídios para que futuras pesquisas possam levar em consideração as informações geradas neste trabalho.

5.9.2.1 Telnet

Avaliando o desempenho das WLANs apresentado na figura 5.19 e na figura 5.20 para, respectivamente, as métricas vazão e percentual da perda de pacotes, verificamos uma total eficiência da WLAN de 2M para aplicações telnet, como já comentado na seção 5.9.1.1. No entanto, a WLAN de 1M apesar de apresentar uma vazão aceitável para todos os clientes, se mostrou ineficiente para uma demanda a partir de 20 clientes conectados, pois a perda de pacotes ultrapassaram o limite máximo de 0,005% , comprometendo portanto o desempenho da rede.

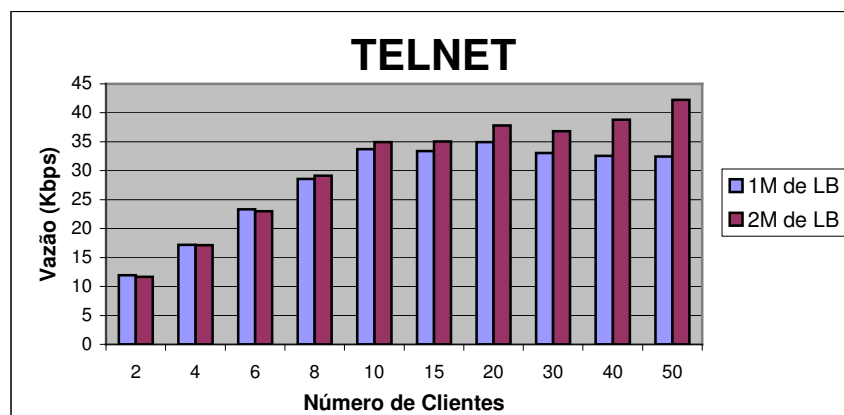


Figura 5.19: Vazão da aplicação TELNET para WLAN com 1 e 2M de LB.

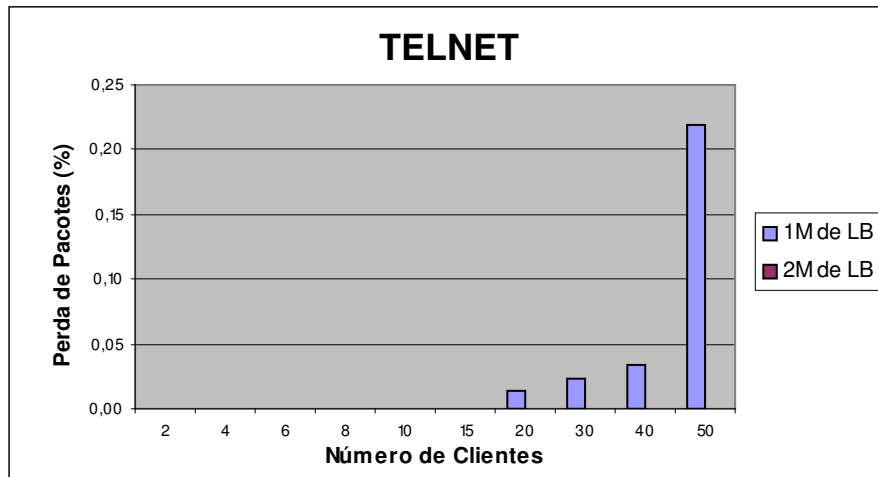


Figura 5.20: Perda de Pacotes (%) da aplicação TELNET para WLAN com 1 e 2M de LB.

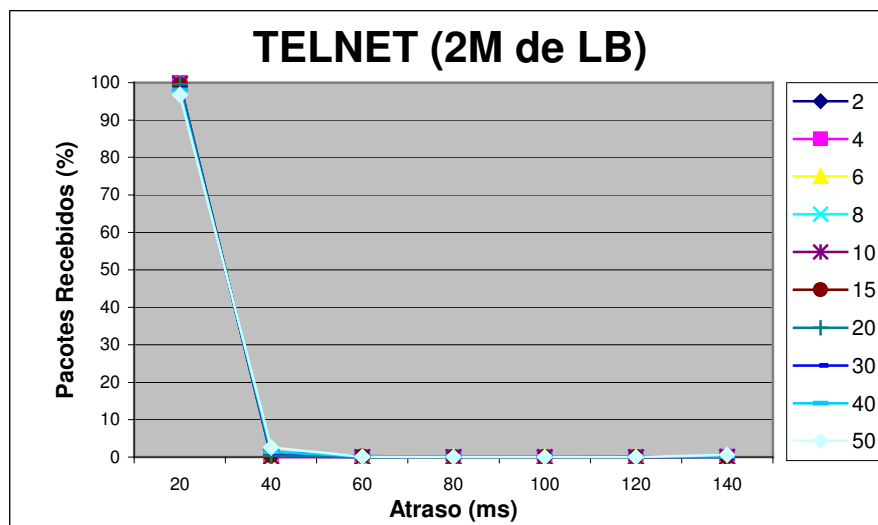
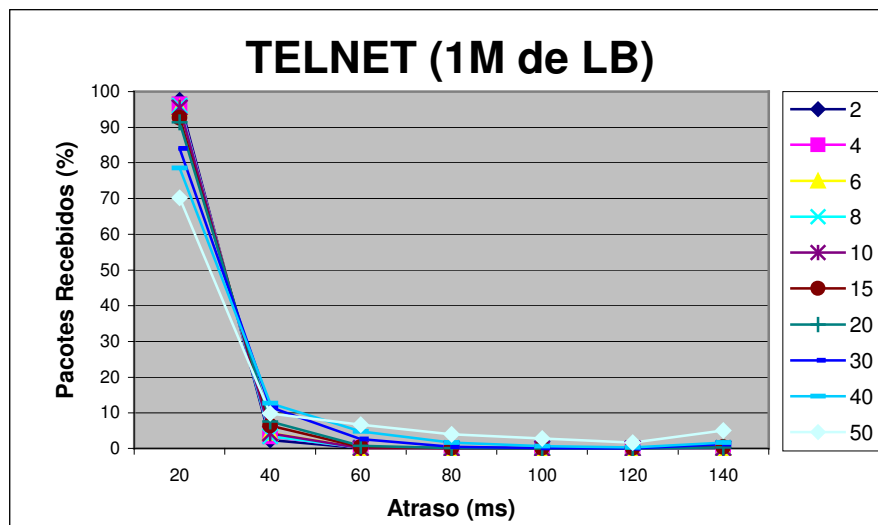


Figura 5.21: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação TELNET para WLAN com 1 e 2M de LB.

Observando os gráficos da figura 5.21 avaliamos que não ocorreram perdas de pacotes para uma demanda de 2 a 15 clientes conectados a WLAN de 1M. Verificamos que essa demanda foi suportada em razão de 99,7% dos pacotes serem recebidos no máximo em 40ms (sendo o restante praticamente recebido em 60ms). No intervalo de 40ms a rede com 20, 30 e 40 clientes receberam, respectivamente, apenas 99%, 95,7% e 91,2% dos pacotes. Desprezando a perda de pacotes, poderíamos considerar que esta rede suportaria até 20 clientes usando aplicações telnet, visto que 99,7% dos pacotes para essa quantidade de clientes foram entregues em 60ms. Na WLAN de 2M percebemos que 99,7% dos pacotes foram recebidos em 20ms e o restante dos pacotes praticamente em 40ms.

Se verificarmos os valores citados na tabela 5.1, notaremos que apesar do atraso máximo aceitável para a aplicação telnet ser de 1000ms, os resultados obtidos neste trabalho mostraram, através das métricas, que a WLAN ofereceu serviços com qualidade quando praticamente todos os pacotes foram entregues em no máximo 60ms.

5.9.2.2 Ftp

Nas figuras 5.22 e 5.23 podemos notar claramente a superioridade da prestação de serviços de uma WLAN de 2M em relação à de 1M quanto à vazão e o percentual da perda de pacotes. Contudo, como descrito na seção 5.9.1.2, as aplicações ftp comprometem a qualidade de serviço em WLAN a partir de uma demanda de conectividade de 4 clientes, podendo ser ratificada através da figura 5.23.

Talvez o leitor esteja pensando o motivo que nos levou a realizar esta simulação para uma demanda de 50 clientes, sabendo que uma WLAN de 2M suporta apenas 2 clientes usando aplicações ftp. O motivo foi de verificarmos um limite máximo para o atraso dos pacotes que influenciassessem no desempenho da rede. Assim, futuros trabalhos iriam realizar estudos com base neste limite.

Através da figura 5.24 podemos perceber que os pacotes recebidos pela WLAN de 1 e 2M possuem sempre um atraso menor ou igual 1000ms, ou seja, o mesmo valor citado na tabela 5.1 para aplicações ftp. Um outro ponto importante a ser destacado é que os pacotes para a WLAN de 1M são sempre recebidos com um atraso muito maior que a WLAN de 2M. Com isso, verificamos também a existência de um número muito alto de pacotes a serem recebidos pela rede de 1M próximo ao limite de 1000ms, o que compromete o desempenho desta rede à medida que mais pacotes são adicionados ao canal. Por isso, como pode ser visto na figura 5.23, temos uma perda muito maior de pacotes na WLAN de 1M, enquanto que na de 2M as perdas são menores porque os pacotes são recebidos com um tempo de atraso muito menor, possibilitando assim o recebimento de pacotes dentro do limite de atraso aceitável.

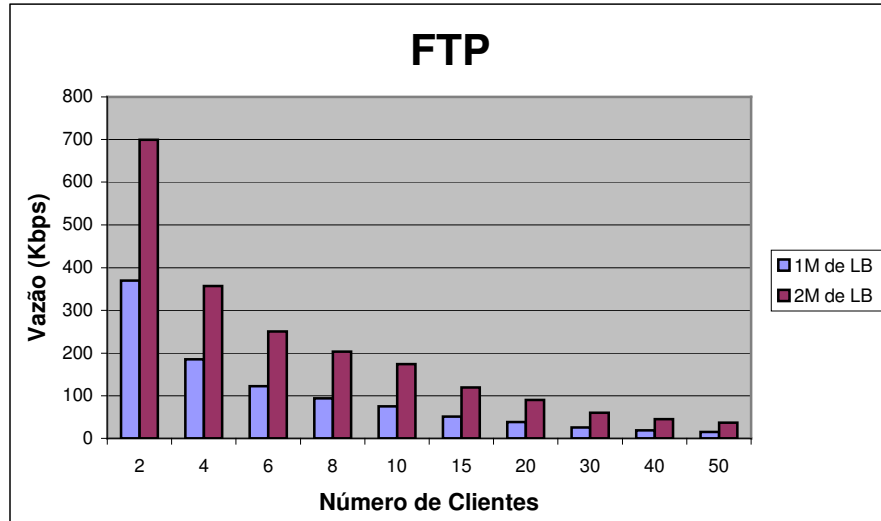


Figura 5.22: Vazão da aplicação FTP para WLAN com 1 e 2M de LB.

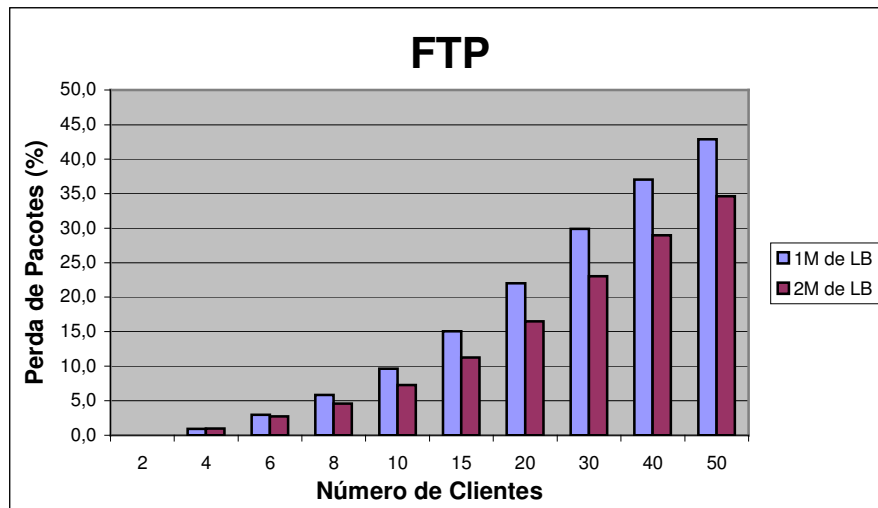


Figura 5.23: Perda de Pacotes (%) da aplicação FTP para WLAN com 1 e 2M de LB.

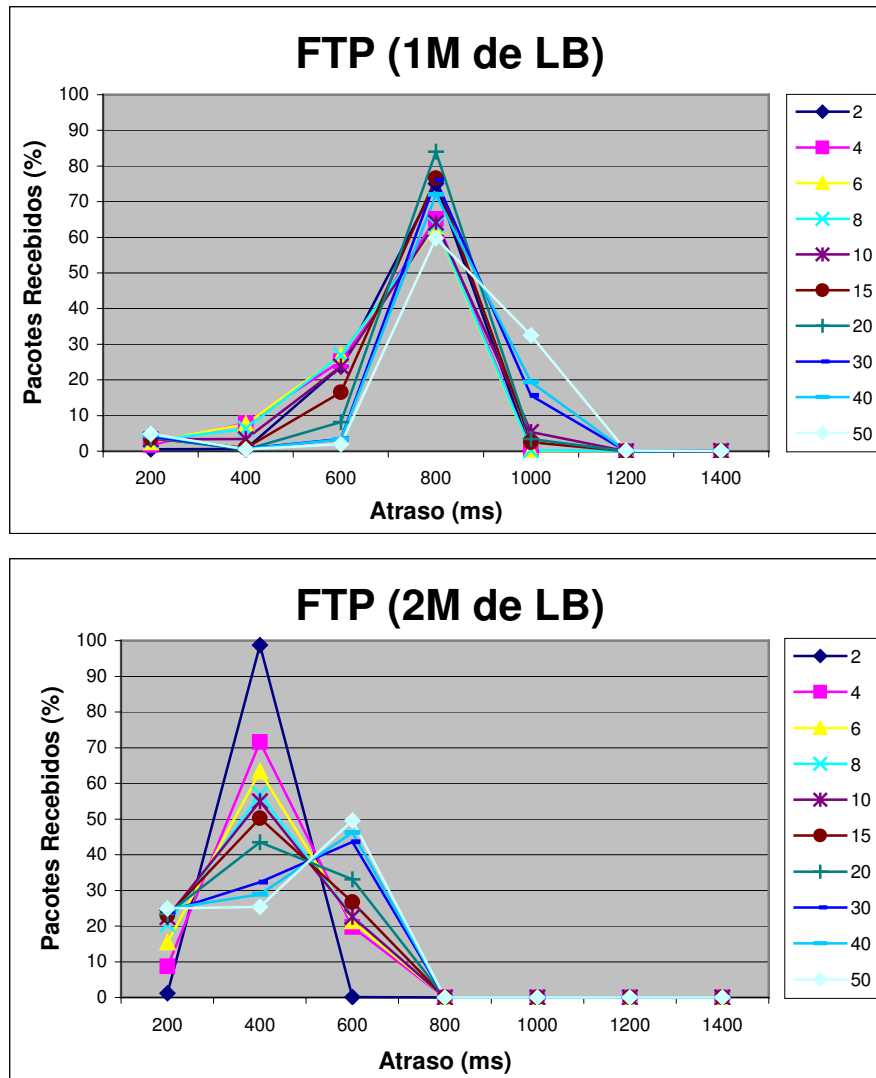


Figura 5.24: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação FTP para WLAN com 1 e 2M de LB.

5.9.2.3 Http

As vazões apresentadas na figura 5.25 são resultados de aplicações http com taxa de processamento de 32Kbps, utilizadas por clientes em WLANs de 1 e 2M bits de largura de banda. Avaliando o desempenho destas duas redes percebemos que as vazões alcançadas pela WLAN de 2M foi muito superior do que a de 1M. Além disso, as vazões da WLAN de 1M foram em média apenas de 10Kbps, o que compromete a qualidade de serviço desta rede para aplicações http.

Para saber de fato qual seria a demanda suportada pelas WLANs avaliamos os resultados da figura 5.26, e notamos que a WLAN de 1M suportou no máximo 4 clientes sem que ocorresse nenhuma perda de pacotes. Já a WLAN de 2M suportou 10 clientes sem perda de pacotes,

começando a apresentar este tipo de problema apenas a partir de 15 clientes conectados na rede, fazendo com que começasse a provocar a queda da vazão com o aumento desta demanda.

Pelas avaliações descritas na seção 5.9.1.3, sobre a aplicação http, já esperávamos os resultados para a WLAN de 2M. Inclusive, poderíamos ter realizado as simulações apenas para 10 clientes, no entanto estávamos interessados em saber se existia alguma relação entre o tempo em que estavam sendo recebidos os pacotes e a perda de pacotes, por isso permanecemos com os clientes variando de 2 a 50.

Então, avaliando os gráficos da figura 5.27 não nos deixou dúvidas que há uma relação entre as métricas de atraso e perda de pacotes. Na WLAN de 1M notamos que praticamente 100% dos pacotes para 2 e 4 clientes foram recebidos nos 40ms, enquanto nesse mesmo intervalo de tempo esta rede entregou menos de 40% dos pacotes para a partir de 6 clientes. Podemos observar que o desempenho da rede ficou comprometido para clientes que receberam a maior parte dos pacotes após 120ms.

A mesma avaliação se aplica a WLAN de 2M, pois se fizermos uma comparação entre os gráficos das figuras 5.26 e 5.27, poderemos notar que não ocorreram perdas de pacotes quando tínhamos de 2 a 10 clientes conectados na rede. Para esse mesmo número de clientes notemos que praticamente não há quase nenhum pacote a ser entregue pela rede após 120ms. Contudo, esta rede quando possuiu uma demanda de 15 a 50 clientes comprometeu o seu desempenho, e se observarmos a métrica de atraso dos pacotes, perceberemos que a maioria dos pacotes foi entregue após 120ms.

Sendo assim, podemos concluir que apesar do limite estabelecido para o atraso, na tabela 5.1, de 1000ms para aplicação http, nossos estudos mostraram que se existirem muitos pacotes a serem entregues após 120ms, o desempenho de uma WLAN fica comprometido, e conseqüentemente a aplicação não oferecerá um serviço com a qualidade exigida para o limite do percentual da perda de pacotes.

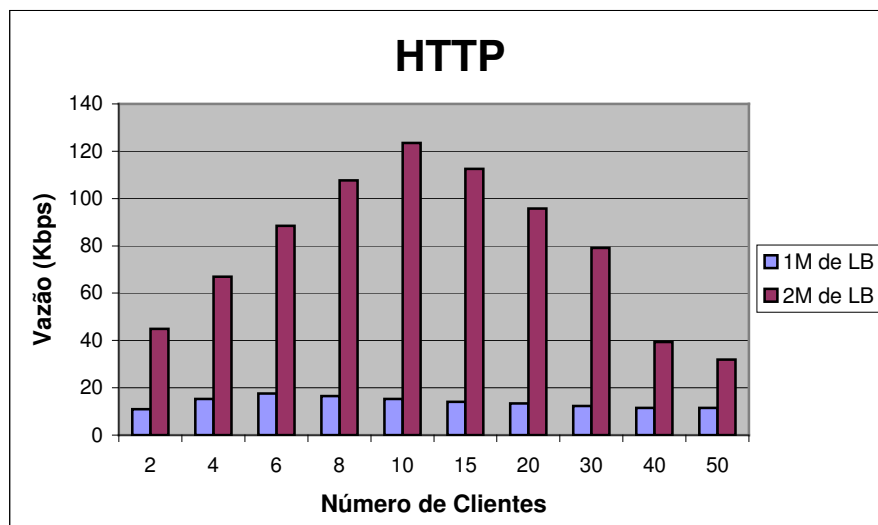


Figura 5.25: Vazão da aplicação HTTP para WLAN com 1 e 2M de LB.

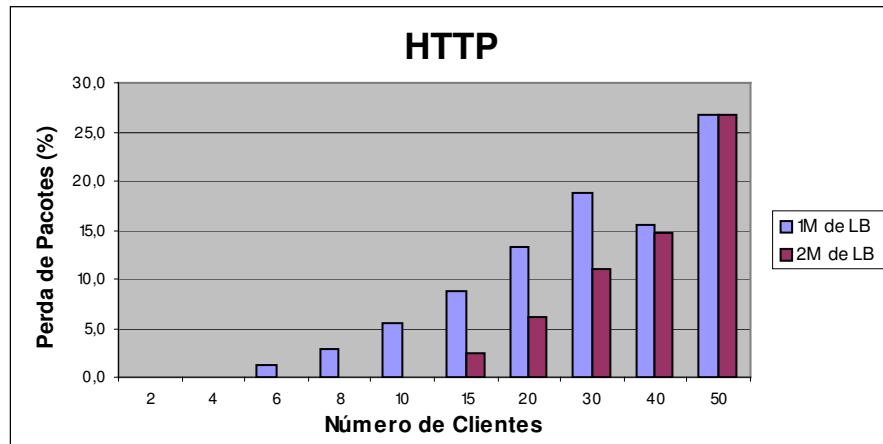


Figura 5.26: Perda de Pacotes (%) da aplicação HTTP para WLAN com 1 e 2M de LB.

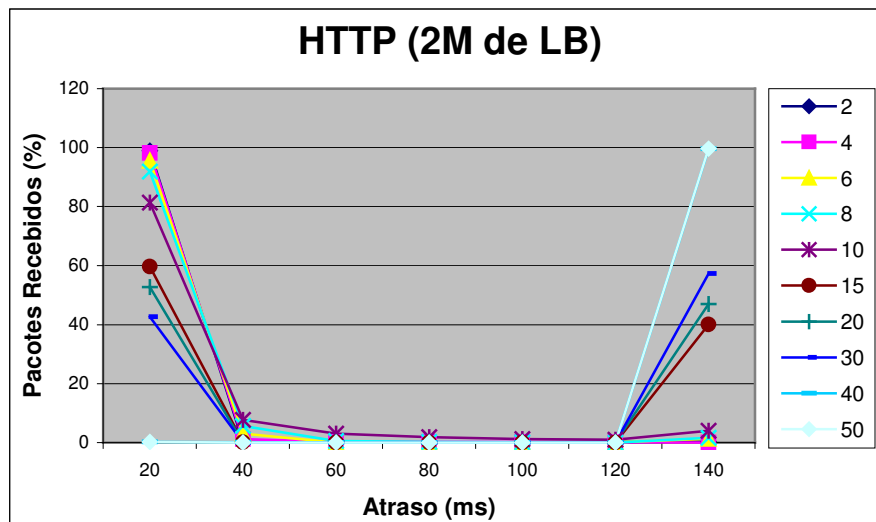
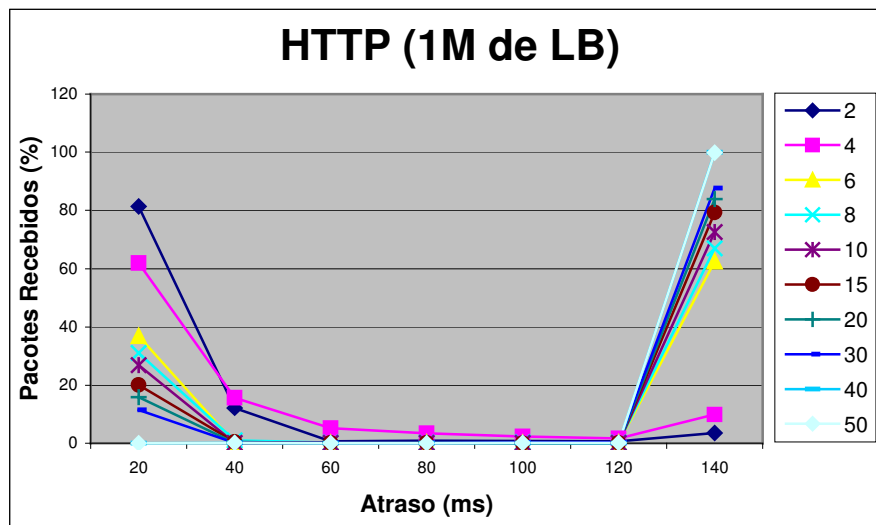


Figura 5.27: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação HTTP para WLAN com 1 e 2M de LB.

5.9.2.4 Áudio

As vazões apresentadas na figura 5.28 são resultados de aplicações de áudio com taxa de processamento de 32Kbps, utilizadas por clientes em WLANs de 1 e 2M bits de largura de banda. Avaliando o desempenho destas duas redes percebemos que as vazões alcançadas pela WLAN de 2M foi muito superior do que a de 1M. Mas mesmo assim, as vazões quando tínhamos até 20 clientes conectados na WLAN de 1M estavam dentro do limite aceitável para a aplicação de áudio. No entanto, a partir de 30 clientes o percentual da perda de pacotes compromete o desempenho desta rede, pois os seus valores estão acima do limite máximo, que é de 1%, para que a aplicação de áudio preste um serviço com qualidade.

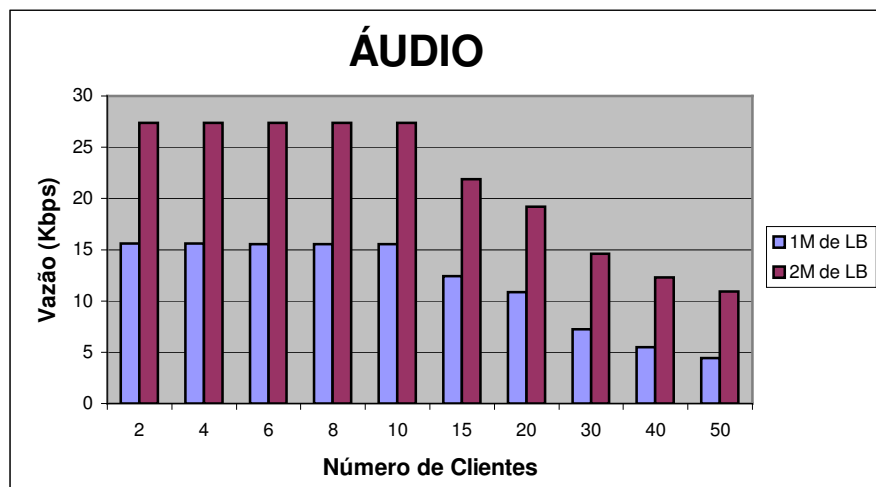


Figura 5.28: Vazão da aplicação de Áudio para WLAN com 1 e 2M de LB.

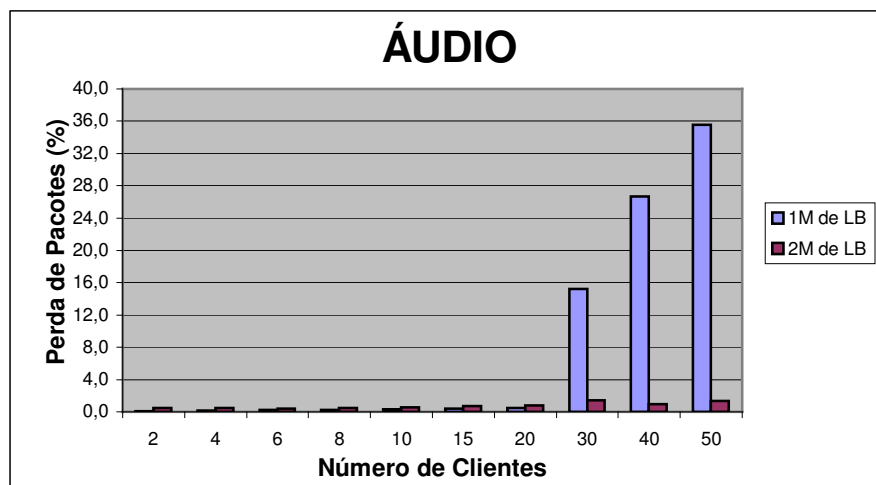


Figura 5.29: Perda de Pacotes (%) da aplicação de Áudio para WLAN com 1 e 2M de LB.

Avaliando os gráficos da figura 5.30 para a WLAN de 1 e 2M, verificamos que quando a rede de 1M entregou mais de 50% dos pacotes após 120ms seu desempenho ficou comprometido, pois houveram perdas de pacotes. Isto se deu pelo fato de termos uma quantidade a partir de 30 clientes conectados na rede. Contudo, apesar de termos um cenário aparentemente normal quando tínhamos na faixa de 8 a 20 clientes para a rede de 1M, e de 15 a 50 clientes na de 2M, observamos os gráficos da figura 5.30 com mais detalhes e percebemos que os usuários destas faixas se irritariam com as transmissões, pois os pacotes foram entregues com um tempo acima do limite máximo estabelecido, que é de 100ms.

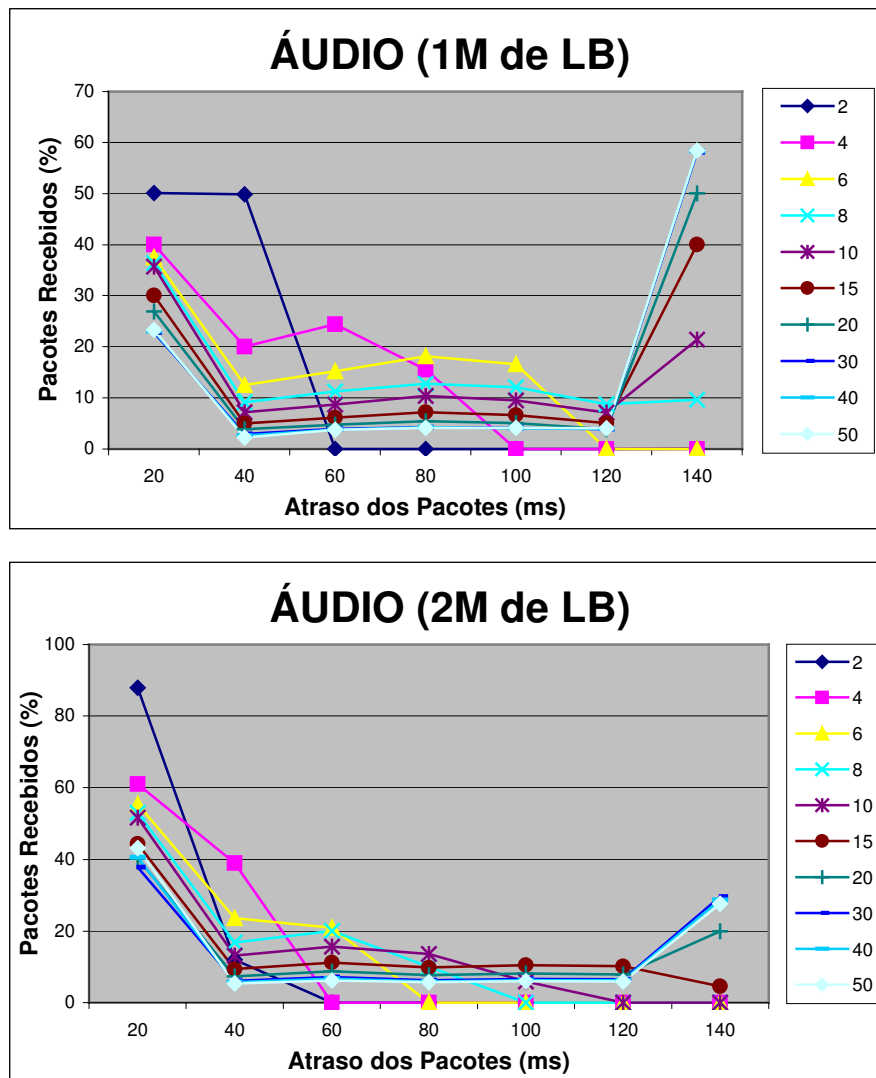


Figura 5.30: Atraso dos Pacotes Recebidos (%) da aplicação de Áudio para WLAN com 1 e 2M de LB.

Capítulo 6

Conclusões

Neste capítulo descrevemos as conclusões obtidas neste trabalho com base nos estudos realizados sobre redes locais sem fio, aplicações multimídia, metodologia de avaliação de desempenho e simulação. Ao final do capítulo apresentamos algumas sugestões para trabalhos futuros.

Dois dos temas estudados são fortemente evidenciados nos dias atuais, redes locais sem fio e aplicações multimídia, foram objetos de estudo de nossa dissertação. Contudo, uma das maiores contribuições deste trabalho foi de ter estabelecido uma metodologia para avaliar o desempenho de aplicações multimídia em uma rede local sem fio, a qual foi baseada nas pesquisas realizadas em [1][12][17][52] sobre avaliação de desempenho e da QoS em [9][33][35][42].

Para validar a metodologia de avaliação de desempenho realizamos um estudo de caso em uma rede local sem fio, onde seus objetivos principais foram:

- Simular uma rede local sem fio contendo um tráfego integrado de dados, áudio e vídeo, oriundo de clientes de ambientes que utilizaram aplicações multimídia.
- Medir a vazão agregada da rede produzida por estas aplicações em função dos pacotes descartados, à medida que variarmos os valores do parâmetro de taxa de transmissão e tamanho dos pacotes destas aplicações, a fim de obtermos os melhores valores para estes parâmetros.
- Avaliar o desempenho da rede com relação ao impacto das demandas de conectividade dos usuários.

Todos os três objetivos propostos no estudo de caso foram alcançados, e seus resultados podem ser observados no capítulo 5.

Através dos estudos realizados conseguimos perceber que existe uma grande falta de padronização quanto ao uso dos modelos de tráfego para se representar uma determinada aplicação (veja seção 5.5.4). Além disso, tem-se a sensação que os próprios valores atribuídos aos parâmetros, como por exemplo, tamanho do pacote e taxa de transmissão, são completamente aleatórios e sem avaliações críticas de desempenho quanto ao uso em experimentos. Por isso, para contornar estas discrepâncias, procuramos nos basear em pesquisas que justificassem de maneira concisa o uso dos modelos de tráfego para as aplicações multimídia. Quanto ao uso dos parâmetros das aplicações, realizamos experimentos para avaliar quais valores contribuiriam para um melhor desempenho de uma rede local sem fio.

Uma outra contribuição deste trabalho foi o investimento realizado sobre quais critérios de qualidade de serviço deveriam ser empregados nas métricas de cada aplicação. Entretanto, faz-se necessário ainda que mais pesquisas sejam realizadas sobre este assunto, principalmente pelos problemas inerentes a redes sem fio, como por exemplo, limitação da largura de banda e taxa de erro.

Quanto a ferramenta de simulação **ns** vale ressaltar a sua grande usabilidade e aceitação no universo acadêmico. Mas ainda sim, novos recursos precisam ser melhorados (modelos de tráfego) ou adicionados (recursos gráficos para criar os simuladores).

Trabalhos Futuros

Com os estudos realizados nesta pesquisa percebemos que novos temas devam ser explorados na área de redes locais sem fio e aplicações multimídia.

Sendo assim, sugerimos como trabalhos futuros que:

1. Aplique esta metodologia para analisar o desempenho de aplicações multimídia em uma rede local sem fio levando em consideração a mobilidade dos usuários e a variação do sinal transmitido;
2. Se faça caracterizações de carga de trabalho real para saber que modelo de distribuição pode representar determinada aplicação multimídia;
3. Desenvolvam-se recursos gráficos ao **ns** para facilitar a construção de simuladores;
4. Aplique esta metodologia em estudos reais para se obter valores de critérios de qualidade de serviço para diversas aplicações multimídia.

Referências Bibliográficas

- [1] MOURA, José Antão B. et al. *Redes locais de computadores: protocolos de alto nível e avaliação de desempenho*. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- [2] SOARES, Luiz F. G.; LEMOS, Guido, COLCHER, Sérgio. *Redes de computadores: das LANs, MANs e WANs às redes ATM*. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- [3] SOUSA, Lindeberg B. de. *Redes de computadores: dados, voz e imagem*. São Paulo: Érica, 1999.
- [4] ENTERASYS NETWORKS. *Wireless Networks: o padrão IEEE 802.11b para redes sem fio*. Disponível em: <<http://www.enterasys.com/br/products/whitepapers/wp-wireless-networks.html>>. Acesso em: out. 2001.
- [5] SILVA, Aloizio P.; MATEUS, G. R. *Análise de Desempenho de Serviços de Dados*. Projeto orientado. Belo Horizonte: Departamento de Ciência da Computação, 2001. Disponível em: <<http://www.dcc.ufmg.br/~aloizio>>. Acesso em: mar. 2001.
- [6] RODRIGUES, Ricardo C.; MATEUS, Geraldo R.; LOUREIRO, Antônio A. F. *On the Design and Capacity Planning of a Wireless Local Area Network*. Belo Horizonte: Department of Computer Science, 2000.
- [7] GOMES, Luciano P. *Análise de desempenho de aplicação de vídeo em uma rede sem fio*. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Departamento de Ciência da Computação, 2000.
- [8] SHORT, Joel; BAGRODIA, Rajive; KLEINROCK, Leonard. *Mobile Wireless Networks System Simulation*. J. C. Baltzer AG, Wireless Networks, n.1, p.451-467, 1995.
- [9] CHOI, Sunghyun; SHIN, Kang G. *A cellular wireless local area network with QoS guarantees for heterogeneous traffic*. Baltzer Science Publishers BV, Mobile Networks and Applications, n.3, p. 89-100, 1998.
- [10] TANG, Diane; BAKER, Mary. *Analysis of a Local-Area Wireless Network*. MOBICOM 2000 Boston MA USA.
- [11] ANASTASI, G.; LENZINI, L. *QoS provided by the IEEE 802.11 wireless LAN to advanced data applications: a simulation analysis*. Baltzer Science Publishers BV, Wireless Networks, n.6, p.99-108, 2000.
- [12] GEIER, Jim. *Wireless LANs: implementing interoperable networks*. United States of America: Macmillan Technical Publishing, 1998.

- [13] COLLIN, S.M.H. *Michaelis: dicionário prático de informática*. Tradução e atualização Regina Borges de Araújo e Antônio Carlos dos Santos. São Paulo: Melhoramento, 1993.
- [14] MATEUS, Geraldo Robson; LOUREIRO, Antônio A. F. *Introdução à Computação Móvel*. 11ª Escola de Computação, Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- [15] FURHT, Borko. *Multimedia Systems: An Overview*. IEEE Multimedia, Florida Atlantic University, n.1, v.1, 1994 (ISSN 1070-986X) Spring.
- [16] ZANETTI, Alberto R.; GONÇALVES, Leando de C.; ARAÚJO, Regina B. *Redes Locais Sem Fio*. Universidade Federal de São Carlos: São Paulo, 2001. Disponível em: <www.dc.ufscar.br/~carvalho/WLAN/index.html>. Acesso em: set. 2001.
- [17] BALDWIN, Rusty O. *Improving the Real-Time Performance of a Wireless Local Area Network*. Tese. Virginia: Virginia Polytechnic Institute, 1999.
- [18] COUTINHO, Mauro M. *Um Modelo de Controle e Mapeamento de QoS Interdomínios*. Dissertação. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2000.
- [19] WEINMILLER, Jost et al. *Performance study of access control in wireless LANs – IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES 10 Hiperlan*. Baltzer Science Publishers BV, Mobile Networks and Applications, n.2, p.55-67, 1997.
- [20] CLEARY, Allan C; PATERAKIS, Michael. *Design and performance evaluation of an RRA scheme for voice-data channel access in outdoor microcellular environments*. Mobile Networks and Applications, n.2, p.31-43, 1997.
- [21] LOTT, Matthias; WALKE, Bernhard. *Performance of a Wireless Ad hoc Networks Supporting ATM*. WoWMoM 99 Scattle WA USA. ACM, 1993.
- [22] DUCHAMP, Dan; REYNOLDS, Neil F. *Measured Performance of a Wireless LAN*. New York: Computer Science Department Columbia University, 1997.
- [23] BURREL, L. et al. *Transmission policies and traffic management in multimedia wireless networks*. Baltzer Science Publishers BV , Wireless Networks, n.3, p.103-112, 1997.
- [24] XYLOMENOS, George; POLYZOS, George C. *TCP e UDP Performance over a Wireless LAN*. Proc. IEEE 18th InfoCom'99, p.439-446, 1999.
- [25] MANASCÉ, Daniel A.; ALMEIDA, Virgílio A. F. *Capacity planning for Web performance: metrics, models, and methods*. Prentice-Hall do USA: NJ, 2002.
- [26] SPRAGINS, John D.; HAMMOND, Joseph; PAWLIKOWSKI, Krzysztof. *Telecommunications: protocols and design*. Addison-Wesley: USA, 1992.
- [27] DYSON, Deborah A.; HAAS, Zygmunt J. *A dynamic packet reservation multiple access scheme for wireless ATM*. Baltzer Science Publishers BV, Mobile Networks and Applications, n. 4, p.87-89 1999.

- [28] QIU, Xiaoxin; LI, Victor O.K.; JU, Ki-Her. *A multiple access scheme for multimedia traffic in wireless ATM*. J.C. Baltzer AG, Science Publishers, Mobile Networks and Applications, n. 1, p.259-272, 1996.
- [29] WESEL, Ellen Kayata. *Wireless Multimedia Communications: Networking Video, Voice, and Data*. Addison Wesley Longman: USA, 1998.
- [30] HAMMOND, Joseph L.; O'REILLY, Peter J.P. *Performance analysis of local computer networks*. Addison-Wesley: USA, 1986.
- [31] ZHANG, Zhi-li. *End-to-end support for statistical quality-of-service guarantees in multimedia networks*. Tese. University of Massachusetts Amherst, 1997.
- [32] UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA. *The ns Manual: formerly ns Notes and Documentation*. California: Kevin Fall e kannan Varadhan, 2000. Disponível em: <www.isi.edu/nsnam> Acesso em: fev. 2001.
- [33] CHOI, Sunghyun; SHIN, Kang G. *An Uplink CDMA System Architecture with Diverse QoS Guarantees for Heterogeneous traffic*. IEEE/ACM Transactions on Networking, n. 5, v. 7, oct. 1999.
- [34] CHANG, Yuan-Chi. *Delay Cognizant Video Coding*. Tese. University of California: Berkeley, 1998.
- [35] MAH, Bruce A. *Quality of Service and Asynchronous Transfer Mode in IP Internetworks*. Tese. Berkeley: Universidade da Califórnia, 1996.
- [36] FROST, Victor; MELAMED, Benjamin. *Traffic Modeling For Telecommunications Networks*. IEEE Communications Magazine, p.70-81, mar. 1994.
- [37] HLAVACS, Helmut; KOTSIS, Gabriele; STEINKELLNER, Christine. *Traffic Source Modeling*. Technical Report No. TR-99101. University of Vienna, 1999.
- [38] ALVES, João B. da Mota; LIMA, Abiel R.; SALES, André B. *Transmissão de dados em redes de computadores sem fio*. Florianópolis: UFSC, 1999.
- [39] SILVA, Fernando R. da. *Redes Sem Fio (Wireless): A Revolução Tecnológica*. PC & CIA, n.2, p.14-19, ago. 2001.
- [40] BLACK, Uyles D. *Mobile and wireless networks*. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.
- [41] ROCHA, Ricardo C. A. da. *Uma arquitetura para simulação flexível de protocolos para computação móvel*. Dissertação. São Paulo: USP, mai. 2001.
- [42] KAMIENSLI, Carlos A; SADOK, Djamel. *Engenharia de Tráfego em uma Rede de Serviços Diferenciados*. SBRC2000: 18º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Anais. p.151-166, 2000.
- [43] TOURRILHES, Jean. *A bit more about the technologies involved*. Palo Alto: HP, ago. 2000.

- [44] CROW, Brian P. et al. *IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks*. IEEE Communications Magazine, p.116-126, sep. 1997.
- [45] MARIANO, Antônio. *Wireless Networks: O padrão IEEE 802.11 para redes sem fio*. Network Designers: a comunidade digital dos profissionais de redes, nov. 2001). Disponível em: <www.networkdesigners.com.br/Artigos/wireless/wireless.html> Acesso em: nov. 2001.
- [46] HYRON, Tae-In. *Wireless ATM Network Medium Access Control with Adaptive Parallel Multiple Substream CDMA Air-interface*. Tese. Blacksburg, Virginia: Instituto Politécnico da Universidade do Estado da Virgínia, jun. 2001.
- [47] KARVE, Anita. *802.11 and Spread Spectrum*. NetworkMagazine.com, p.1-4, 1997.
- [48] ROSA, Hélio Fonseca. *Bluetooth*. Network Designers: a comunidade digital dos profissionais de redes, nov. 2001.
- [49] SANTOS, Daniela Alvin S. dos. *Performance Analysis of a Distributed Video on Demand Service*. Dissertação. Belo Horizonte: UFMG, 2001.
- [50] TOURILHES, Jean. *Packet Frame Grouping: Improving IP multimedia performance over CSMA/CA*. Submitted to ICUPC'98.
- [51] XYLOMENOS, George. *Multi Service Link Layers: An Approach to Enhancing Internet Performance Wireless Links*. Tese. San Diego: University of California, 1999.
- [52] ABEYSUNDARA, Bandula W.; Kamal, Ahmed E. *High-Speed Local Area Networks and Their Performance: A Survey*. ACM Computing Surveys, n.2, v.23, jun. 1991.
- [53] WONG, T.C.; MARK, J. W.; CHUA, K.C. *Delay Jitter Performance of Video Traffic in a Cellular Wireless ATM Network*. WoWMoM 2000 Boston MA USA. ACM, 2000.
- [54] ROBERTAZZI, Thomas G. *Computer Networks and Systems: Queueing Theory and Performance Evaluation*. – 2nd ed. Springer – Verlag: New York, 1994.
- [55] TANENBAUM, Andrew S. *Redes de computadores*. 3^a ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- [56] CHESIRE, Maureen et al. *Measurement, and Analysis of a Streaming-Media Workload*. Proc. 3rd USENIX Symp. San Francisco: On Internet Technologies and Systems, Mar. 2001.
- [57] ALMEIDA, Jussara M.; KRUEGER, J.; EAGER, D.L. et al. *Analysis of Education Media Server Workloads*. Proc. 11th Int'l. Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video. New York: NOSSDAV, jun. 2001.
- [58] MUIR, Andrew; GARCIA-LUNA-ACEVES, J.J. *Supporting Real-Time Multimedia Traffic in a Wireless LAN*. Santa Cruz: University of California, 1997.
- [59] ZHANG, Zhiwei. *A Java-based Simulation and Animation Environment: JSIM's Foundation Library*. Dissertação. Athens: University of Geórgia, 1997.

- [60] SILVA, Aloizio P.; MATEUS, Geraldo R. *Location-based Táxi Service in Wireless Communication Environment*. Dissertação. Belo Horizonte: UFMG, 2001.
- [61] RAYCHAUDHURI, D. *Wireless ATM. An enabling technology for multimedia: a personal communication*. J.C. Baltzer AG, Science Publishers, Wireless Networks 2 (1996) 163-171.
- [62] FREITAS FILHO, Paulo José de. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas*. Florianópolis: Visual Books, 2001.

APÊNDICE

Ambiente de Simulação

1 O Simulador

As simulações da Rede Sem Fio foram realizadas no simulador de rede Network Simulator escrito em C++, que foi projetado pela universidade de Berkeley [32] a ser executado em ambiente Unix, Linux ou Windows.

2 Softwares

- a) **Ferramenta de Simulação: ns** (Network Simulator) com versão 2.1b7a.
- b) **Sistema Operacional:** Linux Suse 7.0 utilizando a interface gráfica do KDE para o desenvolvimento do programa estimador e o Red Hat Linux 7.0 para as simulações.
- c) **C (Compilador gcc do Linux):** para trabalhar com os arquivos de trace gerados pelo simulador, os parâmetros, as métricas e criar interface com o usuário.
- d) **Estimador:** programa que criamos em C para que as modificações dos parâmetros e os cálculos das métricas fossem realizados de forma eficiente, economizando tempo na coleta de dados (veja seção 5.6 e 5.7.3 para mais detalhes das suas funções).
- e) **Microsoft Excel 2000:** como planilha eletrônica para organizar os dados de saída do programa estimador e gerar gráficos sobre as métricas.

3 Hardware

As estações utilizadas na realização das simulações contêm processador Pentium II com 256M de RAM.