



**PUC**  
**CAMPINAS**  
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO-SENSU***

**GILDEVANE APARECIDO FERREIRA**

**AVALIAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE FLUXO  
CONTÍNUO DE VÍDEO EM REDES IP SEM FIO -  
PADRÃO IEEE 802.11B E 802.11G**

**CAMPINAS  
2007**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**GRÃO-CHANCELER**

Dom Bruno Gamberini

**MAGNÍFICO REITOR**

Prof. Pe. Wilson Denadai

**VICE-REITORA**

Profª. Dra. Ângela de Mendonça Engelbrecht

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

Profª. Dra. Vera Engler Cury

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS**

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

**COORDENADOR DO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE REDES DE  
TELECOMUNICAÇÕES**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GESTÃO DE REDES E SERVIÇOS**

Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

**Ficha Catalográfica**  
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e  
Informação – SBI – PUC-Campinas

t384      Ferreira, Gildevane Aparecido.  
F383a      Avaliação de transmissão de fluxo contínuo de vídeo em redes IP sem fio - padrão  
IEEE 802.11b e 802.11g / Gildevane Aparecido Ferreira. - Campinas: PUC-Campinas, 2008.  
p.

Orientador: Mauricio Silveira.  
Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de  
Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.  
Inclui bibliografia.

1. Telecomunicações. 2. Sistemas de comunicação sem fio. 3. Radiofrequência.  
4. Videodigital. 5. Televisão. I. Silveira, Mauricio. II. Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica. III. Título.

22.ed.CDD - t384

GILDEVANE APARECIDO FERREIRA

AVALIAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE FLUXO  
CONTÍNUO DE VÍDEO EM REDES IP SEM FIO -  
PADRÃO IEEE 802.11B E 802.11G

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Gestão e Gerenciamento de Redes de Telecomunicações, ao programa de Pós-Graduação na área de Exatas, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Silveira

PUC-CAMPINAS  
2007



# DEDICATÓRIA

À minha querida e amada esposa Lucilene, pelo incentivo e compreensão.

Aos meus queridos e amados pais Aparecida e Odair (em memória), por todo o incentivo, amor, dedicação e por nunca terem medido esforços para me criar e educar da melhor maneira possível.

Aos meus queridos irmãos Giovane e Gilson que sempre serão os meus grandes e verdadeiros companheiros.

E a todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam e ajudaram.

# AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Maurício Silveira, pelo apoio, incentivo e orientação deste estudo e de todos os outros trabalhos e projetos desenvolvidos ao longo desses dois anos de convivência.

Ao Prof. Dr. Omar Branquinho, por seu incentivo e preocupação em apoiar e orientar todos os alunos do curso de mestrado. Obrigado pelo acesso ao laboratório LPSIRA, onde foram realizados todos os testes em bancada.

À PUC Campinas, por ter me concedido uma bolsa de estudos, mostrando a toda a comunidade que se trata de uma instituição que apóia o desenvolvimento de seus funcionários e colaboradores.

Aos funcionários dos laboratórios, em especial ao Sr. Eduardo Veiga, sempre presente para ajudar no acesso aos recursos do laboratório.

A todos os amigos do mestrado, e em especial aos senhores Alberto Lotito, Fernando Lino, Edizon Basseto e Alessandra Bussolini, pela ajuda e companheirismo no desenrolar dos trabalhos.

A todos, muito obrigado.

# RESUMO

**FERREIRA, Gildevane Aparecido. Avaliação de Transmissão de Fluxo Contínuo de Vídeo em Redes IP sem fio – Padrão IEEE 802.11b e 802.11g. Campinas, 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Gestão e Gerenciamento de Redes de Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2008.**

Análise comparativa do desempenho das redes locais sem fio (WLANs), padrão IEEE 802.11b e 802.11g, na transmissão de fluxo contínuo de vídeo, também conhecido como “*streaming*” de vídeo, simulando características de uma transmissão de vídeo em formato IPTV, com o intuito de identificar qual dos dois padrões tem melhor desempenho na transmissão desse tipo de tráfego.

Esse trabalho foi motivado pela necessidade de implantação da segunda fase do projeto “Exibe” da TV PUC Campinas, que prevê a distribuição da programação do canal universitário, em formato IPTV, através de redes IP sem fio. Para simulação desse sistema de distribuição de vídeo, foram feitas análises das características de distribuição, transmissão e formatos do vídeo transmitido.

As transmissões foram realizadas com o uso de um emulador de Rádio Freqüência que dispõe de dois atenuadores, um controlado por software e outro por uma fonte de tensão. O emulador pode proporcionar um ambiente controlado, onde todas as transmissões puderam ser realizadas utilizando os dois padrões de rede, garantindo uma correta identificação do canal, controle das atenuações e acompanhamento dos fenômenos de propagação.

Termos de Indexação: Fluxo Contínuo de Vídeo, IPTV, Rede Sem Fio, Rádio Freqüência.

## ABSTRACT

**FERREIRA, Gildevane Aparecido. Avaliação de Transmissão de Fluxo Contínuo de Vídeo em Redes IP sem fio – Padrão IEEE 802.11b e 802.11g. Campinas, 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Gestão e Gerenciamento de Redes de Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2008.**

This MSc. thesis presents new results of activities with the development and characterization on RF devices operating on the 2,4 *GHz* channel, which has been done using a flat fast fading emulator. This RF emulator has been developed with the use of electronic circuits between them, and the presence of an attenuator which can be controlled by software and another one controlled by a power supply. The performance and characterization of the emulator has been done with some tests of video streaming links. The essential purpose is to present a simple and efficient approach to implement a testbed emulation of *flat fast fading* that can allow the RF signal to be confined inside a coaxial cable, where there is a controlled ambient whose permits to investigate the performance over all wireless networks. We perform also in this work some comparison to evaluate the behavior of both the 802.11b and 802.11g standards in *flat fast fading* channel through a video transmission and a further analysis of the jitter in many different power levels of the signal by assuming that the emulator has a perfect control of the system.

Index Terms: Streaming, Flat Fast Fading , Wireless, Radio Frequency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Problema do Terminal Escondido.....	18
Figura 02: Problema de Enfraquecimento do Sinal .....	19
Figura 03: Modelo Básico de Referência do IEEE 802.11 .....	24
Figura 04: Esquema de uma rede Ad-Hoc.....	27
Figura 05: Infra-estrutura de rede com pontos de acesso .....	28
Figura 06: Exemplo do crescimento exponencial da CW.....	32
Figura 07: Exemplo do Mecanismo Básico de Acesso .....	34
Figura 08: Exemplo do Mecanismo de Acesso com RTS/CTS.....	35
Figura 09: Transmissão <i>Unicast</i> .....	46
Figura 10: Transmissão Multicast .....	47
Figura 11: Solução Global do VídeoLAN .....	49
Figura 12: Conversões do padrão MPEG .....	50
Figura 13: Sistema de transmissão de vídeo .....	55
Figura 14: Enlaces óticos - PUC Campinas.....	55
Figura 15: Pontos de exibição de IPTV no Campus I .....	56
Figura 16: Pontos de exibição de <i>IPTV</i> no Campus II .....	57
Figura 17: Segmentos de distribuição do vídeo.....	57
Figura 18: Transmissão de uma cirurgia entre hospitais ou para alunos de medicina.....	58
Figura 19: O Emulador de Canal .....	59
Figura 20: Diagrama de Blocos da Bancada de Emulação.....	60
Figura 21: Valores de potência de sinal em Envelopes Máximo e Mínimo no padrão 802.11b .....	61
Figura 22: Valores de potência de sinal em Envelope Mínimo no padrão 802.11g .....	62
Figura 23: Valores de potência de sinal em envelope máximo no padrão 802.11g .....	62
Figura 24: Configuração do software VLC em modo servidor .....	64
Figura 25: Configuração do software VLC em modo cliente .....	64
Figura 26: Captura de tráfego de rede com o uso do WIRESHARK.....	66
Figura 27: Software IPERF para geração de tráfego UDP concorrente em modo servidor.....	66
Figura 28: Software IPERF para geração de tráfego UDP concorrente em modo cliente .....	67
Figura 29: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Jitter.....	68
Figura 30: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Variação da Velocidade.....	69
Figura 31: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Perda de Pacotes ..	69
Figura 32: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Jitter.....	69
Figura 33: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Variação da Velocidade.....	70
Figura 34: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Perda de Pacotes ..	70
Figura 35: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo - Jitter .....	71
Figura 36: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo - Variação da Velocidade.....	71
Figura 37: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo - Perda de Pacotes ..	72

Figura 38: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo – Jitter.....	72
Figura 39: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo – Variação da Velocidade.....	73
Figura 40: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo – Perda de Pacotes .	73
Figura 41: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP Concorrente - Jitter.....	74
Figura 42: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP - Variação da Velocidade .....	74
Figura 43: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP - Perda de Pacotes .....	75
Figura 44: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP concorrente – Jitter.....	75
Figura 45: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP concorrente – Variação da Velocidade.....	76
Figura 46: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Perda de Pacotes .	76
Figura 47: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente- Jitter .....	77
Figura 48: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente- Variação da Velocidade .....	77
Figura 49: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente- Perda de Pacotes.....	78
Figura 50: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente – Jitter.....	78
Figura 51: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente – Variação da Velocidade.....	79
Figura 52: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente – Perda de Pacotes .....	79
Figura 53: Transporte de vídeo com variação da portadora - Jitter .....	80
Figura 54: Transporte de vídeo com variação da portadora - Variação da Velocidade.....	80
Figura 55: Transporte de vídeo com variação da portadora - Perda de Pacotes .....	81
Figura 56: Transporte de vídeo com variação da portadora – Jitter .....	81
Figura 57: Transporte de vídeo com variação da portadora - Variação da Velocidade.....	81
Figura 58: Transporte de vídeo com variação da portadora - Perda de Pacotes .....	82
Figura 59: Transporte de vídeo com variação da portadora e Tráfego UDP concorrente - Jitter .....	83
Figura 60: Transporte de vídeo com variação da portadora e Tráfego UDP concorrente – Variação da Velocidade.....	83
Figura 61: Transporte de vídeo com variação da portadora e Tráfego UDP concorrente – Perda de Pacotes .....	84
Figura 62: Transporte de vídeo com variação da portadora - Jitter .....	84
Figura 63: Transporte de vídeo com variação da portadora - Variação da Velocidade.....	85
Figura 64: Transporte de vídeo com variação da portadora - Perda de Pacotes .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de slot de tempo e da janela de contenção mínima e máxima, para três camadas físicas específicas pelo padrão 802.11.....	28
Tabela 2: Frame da sub-camada física PLCP – DSSS.....	35
Tabela 3: Frame da sub-camada física PLCP – FHSS.....	35
Tabela 4: Frame de dados da sub-camada MAC.....	36
Tabela 5: Frame ACK da sub-camada MAC.....	36
Tabela 6: Frame RTS da sub-camada MAC.....	36
Tabela 7: Frame CTS da sub-camada MAC.....	36
Tabela 8: Formas de transmissão de fluxo contínuo.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	= Access Point
BSS	= Basic Service Set
CODEC	= Coder/Decoder
CSMA/CA	= Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	= Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CTS	= Clear To Send
DCF	= Distributed Coordination System
DIFS	= DCF Inter Frame Space
DSS	= Darwin Streaming Server
DSSS	= Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	= Extended Service Set
IP	= Internet Protocol
IPTV	= Internet Protocol Television
IEEE	= Institute of Eletrical and Eletronic Engineering
IP	= Internet Protocol
LAN	= Local Area Network
LLC	= Logical Link Control
MAC	= Medium Access Control
MP3	= MPEG-1, Layer 3
MPEG	= Moving Pictures Expert Group
MPEG-1	= Moving Pictures Expert Group – Standard 1
MPEG-4	= Moving Pictures Expert Group – Standard 4
NAV	= Network Allocation Vector
PCF	= Point Coordination Function
QoS	= Quality of Service
RTCP	= Real Time Control Protocol
RTP	= Real Time Protocol
RTS	= Request to Send
RTSP	= Real Time Streaming Protocol
SIFS	= Short Inter Frame Space
STA	= Station

TCP = Transmission Control Protocol  
UDP = User Datagram Protocol  
VOD = Video on Demand  
Wi-Fi = Wireless Fidelity  
WLAN = Wireless Local Area Network

# SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1 Contextualização do Problema</b> .....	<b>20</b>
<b>1.2 Motivações e Objetivos</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3 Metodologia de Pesquisa</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4 Organização da Dissertação</b> .....	<b>23</b>
<b>2 - OS MECANISMOS DE ACESSO AO MEIO DO PROTOCOLO 802.11</b> ..	<b>24</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2 Arquitetura</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3 Função de Coordenação / Arquitetura</b> .....	<b>28</b>
<b>2.4 O Mecanismo de Carrier-Sense</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5 Espaços entre Frames</b> .....	<b>29</b>
<b>2.6 Função de Coordenação Distribuída do Protocolo 802.11</b> .....	<b>30</b>
2.6.1 O Esquema de Backoff Exponencial.....	30
2.6.2 O Mecanismo Básico de Acesso ao Meio.....	33
2.6.3 O Mecanismo de Acesso ao Meio com RTS/CTS .....	34
2.6.4 Mecanismo Básico x RTS/CTS.....	35
2.6.5 Fragmentação de MPDUs e Descarte de Pacotes .....	36
<b>2.7 Tipos e Formatos de Frames</b> .....	<b>37</b>
<b>2.8 Limitações na transmissão de fluxo contínuo de vídeo</b> .....	<b>42</b>
2.8.1 Disponibilidade de largura de banda em uma WLAN .....	42
2.8.2 Limitações do fluxo contínuo de vídeo.....	42
<b>3 – O TRANSPORTE DE FLUXO CONTÍNUO DE VÍDEO</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1 Servidor de Fluxo Contínuo de Vídeo</b> .....	<b>47</b>
3.1.1 Servidor “VideoLAN” .....	48
3.1.2 Algoritmos de Compressão .....	49
<b>3.2 Protocolos de comunicação</b> .....	<b>51</b>
3.2.1 Protocolos da camada de Aplicação.....	51
3.2.2 Protocolos da camada de Transporte .....	52
3.2.3 Protocolos sob a camada de Transporte .....	53
<b>3.3 Tecnologia de IPTV</b> .....	<b>53</b>
3.3.1 Fluxo Contínuo de Áudio e Vídeo .....	54
3.3.2 Projeto Exibe – TV PUC Campinas .....	55
<b>3.4 Emulador de Rádio Freqüência</b> .....	<b>58</b>
3.4.1 A Bancada de Emulação .....	59
<b>4 – AVALIAÇÃO DA TRANSMISSÃO DE FLUXO CONTÍNUO DE VÍDEO EM REDES IP SEM FIO - PADRÃO 802.11B E 802.11G</b> .....	<b>63</b>

4.1 As Transmissões de Vídeo.....	63
4.2 Os Cenários de Teste.....	64
4.3 A Análise do Tráfego .....	64
4.4 A Adição de Tráfego Concorrente .....	65
<b>5 – ANÁLISES E RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1 CENÁRIO 1: Transporte de vídeo com Envelope Máximo .....</b>	<b>67</b>
5.1.1 Padrão IEEE 802.11b .....	67
5.1.2 Padrão IEEE 802.11g .....	68
5.1.3 Resultados.....	69
<b>5.2 CENÁRIO 2: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo .....</b>	<b>70</b>
5.2.1 Padrão IEEE 802.11b .....	70
5.2.2 Padrão IEEE 802.11g .....	71
5.2.3 Resultados.....	72
<b>5.3 CENÁRIO 3: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP concorrente.....</b>	<b>73</b>
5.3.1 Padrão IEEE 802.11b .....	73
5.3.2 Padrão IEEE 802.11g .....	74
5.3.3 Resultados.....	75
<b>5.4 CENÁRIO 4: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente.....</b>	<b>76</b>
5.4.1 Padrão IEEE 802.11b .....	76
5.4.2 Padrão IEEE 802.11g .....	77
5.4.3 Resultados.....	78
<b>5.5 CENÁRIO 5: Transporte de vídeo com variação da Portadora..</b>	<b>79</b>
5.5.1 Padrão IEEE 802.11b .....	79
5.5.2 Padrão IEEE 802.11g .....	80
5.5.3 Resultados.....	81
<b>5.6 CENÁRIO 6: Transporte de vídeo com variação da Portadora e Tráfego UDP concorrente.....</b>	<b>82</b>
5.6.1 Padrão IEEE 802.11b .....	82
5.6.2 Padrão IEEE 802.11g .....	83
5.6.3 Resultados.....	84
<b>6 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>85</b>
<b>6.1 Trabalhos Futuros .....</b>	<b>86</b>
<b>6.2 Trabalhos oriundos da Dissertação .....</b>	<b>86</b>
6.2.1 Trabalho Publicado em Congresso Nacional.....	86
6.2.2 Trabalhos Submetidos em Congressos Internacionais.....	87
6.2.3 Trabalho em fase de elaboração para Periódico Internacional.....	87
6.2.4 Outros Trabalhos Publicados em Congresso Internacional.....	87
<b>7 - REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>

# 1 - INTRODUÇÃO

As redes sem fio fornecem um método de conexão simples e de baixo custo. Atualmente esse tipo de rede vem sendo amplamente adotado em muitas companhias, universidades e também em nossas residências, com uma classe de serviços cada vez maior. Os usos mais freqüentes são das aplicações que envolvem a transmissão de dados, mas surgem, a cada dia, novos modelos de redes móveis com aplicações de áudio e vídeo, como VoIP e IPTV. Essas aplicações possuem um nível de tolerância quanto à perda de pacotes, mas são extremamente sensíveis a atrasos. Isto é, se um pacote chegar com algum atraso, ele será descartado. Diferente das transmissões de dados que são mais sensíveis às perdas de pacotes, mas os atrasos não são tão prejudiciais.

As redes sem fio chegaram como uma alternativa aos altos custos de instalação e manutenção das redes com fio tradicionais, que são desenvolvidas para fornecer grandes larguras de banda em uma área geográfica limitada. Idealmente, usuários de redes sem fio necessitarão dos mesmos serviços e capacidades que são comumente utilizados em redes tradicionais. No entanto, para alcançar estes objetivos, desafios e restrições precisam ser superados. (KUROSE; O'HARA, 2003;2001). Tais como:

- **Alocação de freqüência:** O funcionamento de uma rede sem fio requer que todos os usuários operem em uma freqüência comum de banda.
- **Interferências:** Interferências em comunicações sem fio podem ser causadas por transmissões simultâneas (colisões) de duas ou mais fontes compartilhando a mesma banda de freqüência. Uma colisão é tipicamente o resultado de múltiplas estações aguardando a inatividade do canal para, então, ao mesmo tempo, transmitirem seus pacotes de informação. Colisões também são causadas por **Terminais Escondidos**. (KUROSE; O'HARA, 2003;2001). Neste caso, uma estação, acreditando na inatividade do canal, começa a transmitir seu pacote sem detectar a presença de uma transmissão já em andamento. No exemplo da Figura 1, o terminal A se comporta como um terminal escondido para o terminal C e vice-versa. Outro problema que resulta em colisões é o enfraquecimento

do sinal que se propaga através do meio sem fio, devido à presença de obstáculos (ex: um sinal passando por uma parede) no trajeto ou mesmo pela distância entre o transmissor e o receptor. (KUROSE; O'HARA, 2003;2001). Quando dois ou mais terminais estão localizados de modo que suas transmissões não possuam intensidade suficiente para serem detectadas pelos outros terminais, uma colisão pode ocorrer, como representado na Figura 2. Além da interferência das outras estações, um terminal pode sofrer a interferência de equipamentos eletrônicos, como por exemplo um telefone sem fio operando na frequência de 2.4GHz próximo à rede sem fio padrão 802.11b. Neste caso, espera-se que nem a rede nem o telefone funcionem corretamente. Equipamentos como motores e fornos de microondas podem causar ruídos eletromagnéticos, resultando também em interferências no canal.

- **Confiabilidade:** A confiabilidade do canal é geralmente medida através da taxa média de erro de bits (Bit Error Rate - BER). Repetição de requisição de dados (Automatic Repeat Request - ARQ), detecção (Cyclic Redundancy Check – CRC) e correção de erros (Forward Error Correction – FEC) são procedimentos utilizados para aumentar a confiabilidade do processo.

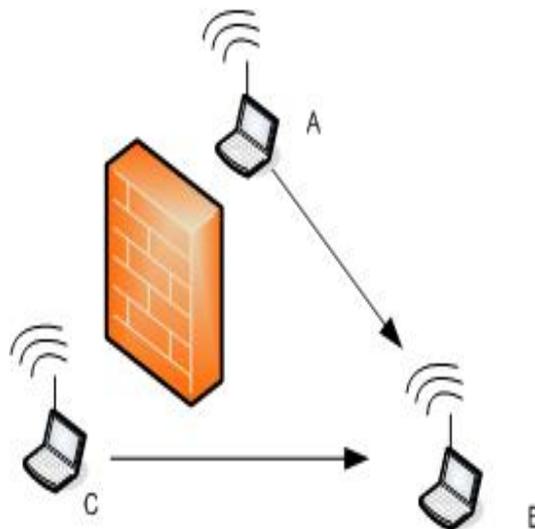


Figura 01: Problema do Terminal Escondido.

- **Propagação Multi-percurso:** A propagação multi-percurso ocorre quando as ondas eletromagnéticas refletem em obstáculos, tomando

caminhos de diferentes comprimentos entre o emissor e o receptor, o que resulta em degradação no sinal recebido. Objetos movendo-se entre o emissor e o receptor durante a transmissão podem causar uma propagação multi-percurso variável no tempo.

- **Segurança:** Como o meio de transmissão é aberto a qualquer um que esteja dentro do raio de alcance do sinal do transmissor, em uma rede sem fio é mais difícil garantir a segurança. Portanto, ela é feita normalmente através de criptografia, o que acarretará no aumento dos custos e na degradação do desempenho.
- **Consumo de Energia:** Os dispositivos sem fio devem ser bastante eficientes em relação ao consumo de energia, uma vez que nem sempre terão disponibilidade fácil de recarga.
- **Mobilidade:** Com a possibilidade de deslocamento do terminal sem fio, o sistema deve garantir a conectividade conciliando o “*handoff*” entre as fronteiras de transmissão e o roteamento do tráfego.
- **Largura de Banda:** A capacidade de uma rede sem fio deve aproximar-se da capacidade de uma rede cabeada. No entanto, isto nem sempre é possível devido às limitações físicas e de banda disponíveis.

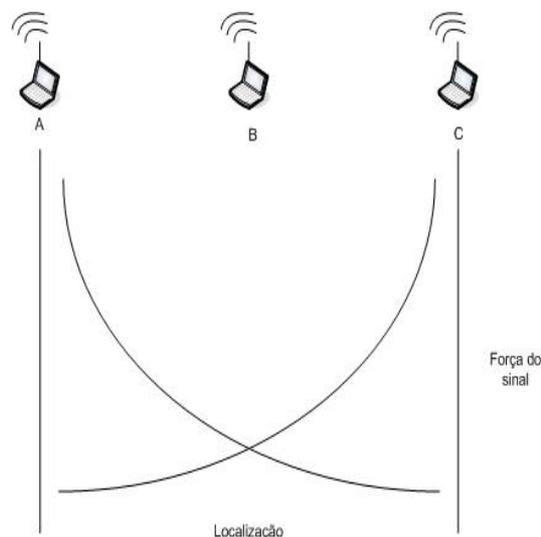


Figura 02: Problema de Enfraquecimento do Sinal.

## 1.1 Contextualização do Problema

Alguns trabalhos foram escritos com o intuito de avaliar o desempenho dos padrões IEEE 802.11, na transmissão de dados multimídia. O trabalho de LOPES propôs uma investigação da transmissão de fluxo contínuo de vídeo, em redes sem fio (WLAN) padrão IEEE 802.11b, usando como clientes dispositivos portáteis como notebooks e PDAs. (LOPES, 2006). Verificou-se que quando a rede encontra-se com pouco uso, a transmissão de vídeo flui normalmente, porém à medida que se insere na rede um tráfego *UDP – User Datagram Protocol* com uma taxa constante, aumenta-se a utilização da rede, a perda de pacotes, e a qualidade do vídeo diminui, aumentando-se as paradas e chegando a interromper a transmissão. Conclui-se que: embora seja possível a transmissão de vídeo, não se pode garantir seu resultado, o qual dependerá das aplicações que estão trafegando pela rede e também do tipo de dispositivo cliente usado para solicitar o vídeo. O trabalho de Sirufo propôs uma Análise de Desempenho de Redes IEEE 802.11b, utilizando mecanismos de segurança. Enquanto o uso das WLAN cresce em ritmo acelerado, inúmeros problemas relacionados à tecnologia de segurança, definida no padrão IEEE 802.11b, têm sido abordados em publicações técnicas, apontando deficiências e vulnerabilidades, através das quais indivíduos não autorizados podem ter acesso às informações disponibilizadas na rede. (SIRUFO, 2005). A precariedade na autenticação, confidencialidade e integridade dos dados dos mecanismos internos do Padrão IEEE 802.11b exige a operação conjunta com o Padrão IEEE 802.1x. Esta combinação possibilita a autenticação e criptografia dos dados de forma mais eficiente e confiável. No entanto, é possível que haja sobrecarga de pacotes, devido à inserção de tráfego extra com a autenticação dos usuários e criptografia das mensagens, podendo ocasionar comprometimento no desempenho da rede. Corrêa propõe um trabalho de avaliação do desempenho de rede sem fio, fazendo uma análise das limitações de largura de banda suportada por uma rede no padrão 802.11b. (CORRÊA, 2004). Nominalmente, o tráfego poderá atingir até 11,0Mbps, embora estudos mostrem que o limite máximo teórico

seria de aproximadamente 7,0Mbps e a prática mostra que o limite é de 6,0Mbps, segundo testes realizados em laboratório.

A transmissão de vídeo é uma das aplicações que além de consumir muita banda da rede, requer que os pacotes de vídeo sejam transmitidos em tempo real, pois caso contrário poderá aparecer problemas na exibição da imagem. A perda ou defeito nos pacotes recebidos ou a chegada após o tempo de exibição pode causar defeitos na transmissão. A motivação da transmissão de vídeo em WLAN é a facilidade que seus usuários possuem de conectar seus dispositivos móveis e ter acesso a conteúdo multimídia, como vídeo sob-demanda, TV interativa, aplicações educacionais, sistema de comunicação (VoIP), etc...

Para que um vídeo seja transmitido com qualidade é necessário que a rede consiga manter um fluxo contínuo na transmissão de dados. Uma questão crucial que vem sendo discutida é que as redes sem fio chegaram como uma alternativa às redes com fio tradicionais, e que idealmente, usuários de redes sem fio necessitarão dos mesmos serviços e capacidades que são comumente utilizados.

## **1.2 Motivações e Objetivos**

A motivação da transmissão de vídeo em redes locais sem fio está na facilidade de seus usuários conectarem seus dispositivos sem fio e ter acesso aos serviços da rede. Para que um vídeo seja transmitido com qualidade é necessário que a rede consiga manter um fluxo contínuo na transmissão de dados, e que o usuário possa ter controle sobre o enlace, podendo pará-lo, reinicializá-lo, fazer o avanço ou retroceder a um ponto qualquer do vídeo.

As redes WLAN nos padrões IEEE 802.11b ou 802.11g não possuem mecanismos que garantam a qualidade de serviço exigida, pois essas redes oferecem um serviço do tipo *Best Effort*, isto é, elas transmitem datagramas da origem até seu destino o mais rápido possível, porém não garantem os requisitos de qualidade de serviço.

Dessa forma, para que transmissões de vídeo sejam possíveis, faz-se necessário o uso de alguns artifícios para minimizar as deficiências providas pela rede, como armazenar os pacotes de dados antes de exibí-los e

deslocar o início da exibição em alguns segundos para que os dados sejam armazenados. Desta forma, mesmo que ocorra algum problema durante a transmissão, o usuário continua assistindo ao vídeo previamente armazenado.

Uma WLAN possui algumas características que precisam ser levadas em consideração durante a transmissão do vídeo, como: a alta taxa de perda de pacotes, diferença nos intervalos entre a chegada de pacotes (*jitter*), baixa taxa de transmissão, quando comparadas às redes cabeadas, e instabilidade, devido às questões de propagação dos sinais.

A TV PUC Campinas desenvolveu um projeto denominado Projeto “Exibe”, apresentado com maiores detalhes no capítulo 3, que prevê a implantação de um sistema de geração e distribuição de fluxo contínuo de vídeo, utilizando tecnologia IPTV, através de um “backbone” de fibras óticas e de redes sem fio. A segunda fase da implantação desse projeto permitirá a distribuição do vídeo através de redes locais sem fio, que possam ser acessadas através de dispositivos móveis espalhados pela Universidade.

Foram feitos alguns testes utilizando redes sem fio – WLAN, padrão 802.11b e 802.11g, mas os resultados não foram satisfatórios. Houve uma queda do sinal da rede que impossibilitou o acesso dos dispositivos.

Esse fato despertou o interesse em desenvolver um estudo que mostrasse o comportamento desses dois padrões de rede na transmissão desse tipo de tráfego.

Para tal, desenvolvemos esse trabalho com o objetivo de apresentar um estudo comparativo, que comprove experimentalmente, qual dos dois padrões citados, tem melhor desempenho na transmissão de tráfego de fluxo contínuo de vídeo em formato MPEG2 – padrão DVD.

### **1.3 Metodologia de Pesquisa**

Este trabalho foi fortemente fundamentado nas pesquisas bibliográficas, e na análise das características do sistema de IPTV, da TV PUC Campinas. Um estudo exaustivo feito por meio de simulações de transmissões de fluxo contínuo de vídeo, no formato MPEG2 - padrão DVD,

mesmo formato utilizado nesse sistema, permitiu visualizar o tema da dissertação.

Na fase inicial, o estudo bibliográfico teve a finalidade de aprofundar os conhecimentos teóricos nas tecnologias envolvidas e na busca da fundamentação do trabalho. Nesta etapa estudamos tecnologias como IPTV, WLAN, formatos dos vídeos, técnicas de compressão, técnicas de transmissão, protocolos de transporte e os dados técnicos específicos da bancada de simulação de RF, onde foram realizados os testes de transmissão de vídeo.

Na segunda fase foi desenvolvida uma metodologia de testes, para a simulação de transmissões de fluxo contínuo de vídeo em formato MPEG2. Para isso, foi utilizado um emulador de canal de RF, onde foram simuladas as condições reais de tráfego de vídeo em formato IPTV em redes sem fio padrão IEEE 802.11b e 802.11g. (GOES, 2006).

Finalmente, tirando como base os resultados obtidos, foram feitas análises sobre o comportamento desses dois padrões de rede, com esse tipo de tráfego, para avaliar qual deles obteve o melhor desempenho.

## **1.4 Organização da Dissertação**

A organização do trabalho está descrita a seguir.

No Capítulo 2 apresentamos os mecanismos de acesso ao meio do protocolo 802.11.

No Capítulo 3 descreveremos o transporte de fluxo contínuo de vídeo, os meios existentes para a distribuição em redes IP, a tecnologia de IPTV presente na PUC Campinas e o Emulador de Rádio Frequência.

No Capítulo 4 veremos a Avaliação da transmissão de fluxo contínuo de vídeo, a metodologia e as tecnologias utilizadas para a montagem da simulação.

No Capítulo 5 mostraremos os resultados das medidas coletadas, como variação da velocidade da rede, atrasos e perdas de pacotes.

No Capítulo 6 teremos a conclusão deste trabalho, bem como os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos.

## 2 - OS MECANISMOS DE ACESSO AO MEIO DO PROTOCOLO 802.11

### 2.1 Introdução

O padrão IEEE 802.11 foi projetado como um sistema de transmissão entre dispositivos usando ondas de radiofrequência ao invés de uma infraestrutura de cabos e provê solução móvel e de custo efetivo, reduzindo significativamente o custo de instalação da rede por usuário. (IEEE, 2001).

Uma WLAN normalmente está associada a uma rede maior, normalmente cabeada, e representa uma forma de usuários conectarem-se à rede sem estarem fisicamente conectados via um cabo, permitindo sua mobilidade no ambiente.

Em 1997, o IEEE liberou o padrão 802.11, o primeiro padrão sancionado internacionalmente para redes locais sem fio com velocidades de transmissão de 1,0 e 2,0 Mbps. O segundo padrão, 802.11a, com velocidade de até 54Mbps, foi aprovado em 1999 e em setembro de 1999 foi aprovada a revisão 802.11b que adiciona as novas velocidades de 5,5 e 11,0Mbps. A arquitetura e características básicas dos serviços oferecidos por esta revisão são definidas no padrão 802.11 original, sendo que as alterações são feitas apenas na camada física e resultaram em maiores taxas de transmissão de dados e uma conectividade mais robusta, sendo que a camada MAC não foi alterada. (O'HARA; GAST, 2001;2002).

O padrão IEEE 802.11 especifica a sub-camada de Controle de Acesso ao Meio (Medium Access Control - MAC) e a Camada Física, que são apresentadas na Figura 3.

Sub-camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)	Camada de Enlace
Sub-camada de Procedimento de Convergência da Camada Física (PLCP)	Camada Física
Sub-camada Dependente do Meio Físico (PMD)	

Figura 03: Modelo Básico de Referência do IEEE 802.11.

- **Sub-camada Dependente do Meio Físico (PMD):** Esta camada lida com as características do meio sem fio e define os métodos de transmissão e recepção através deste meio;
- **Sub-camada do procedimento de convergência do meio físico (PLCP):** Esta camada especifica o método de mapeamento das unidades de dados do protocolo da sub-camada MAC (MPDUs) no formato compatível com a sub-camada PMD.

A sub-camada MAC define o mecanismo de acesso ao meio. A **Função de Coordenação Distribuída** (Distributed Coordination Function - DCF) é o mecanismo fundamental de acesso e baseia-se no protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). A retransmissão de pacotes colididos é feita seguindo as regras de backoff exponencial, que serão analisadas mais adiante. O padrão IEEE 802.11 também define uma função opcional, chamada **Função de Coordenação Centralizada** (Point Coordination Function - PCF), que, diferentemente da DCF, é um esquema MAC centralizado onde um Ponto de Acesso (Access Point - AP) elege, de acordo com suas regras, um terminal wireless para que este possa transmitir seu pacote. As principais características destas duas funções são:

- **DCF:** É um componente obrigatório em todos os produtos compatíveis com o padrão IEEE 802.11 e fornece um serviço do tipo *best effort*. É indicado para transmissão de dados que não são sensíveis ao retardo da rede, por exemplo, e-mail e ftp. Nesta função, os terminais executam este algoritmo distribuído e devem competir entre si para obter acesso ao meio a cada transmissão de pacote (Modo de Contenção - Contention Mode). Este processo tenta garantir um acesso justo ao canal para todas as estações.
- **PCF:** É um serviço opcional e é indicado para transmissão de dados com alta sensibilidade ao retardo da rede e tráfego de alta demanda, por exemplo, áudio e vídeo em tempo real. Neste caso, o AP, que executa este algoritmo centralizado, possui o controle do canal e repassa esse controle aos terminais sem fio no momento

devido (Contention-free Mode). Estas duas funções de coordenação podem também ser utilizadas em conjunto, no caso de transmissão de pacotes de dados de vários tipos.

A popularidade do IEEE 802.11 no mercado é devida, principalmente, ao DCF, uma vez que o PCF, por sua complexidade e ineficiência para transmissão de dados sem requisitos de tempo, é raramente implementado nos produtos atuais. Além disso, o PCF pode causar atrasos e durações imprevisíveis de transmissão. Similarmente ao sucesso da rede Ethernet, o protocolo IEEE 802.11 DCF é freqüentemente utilizado para redes sem fio, muito embora sua forma atual não seja eficiente para aplicações multimídia.

Uma estação pode ter que esperar um tempo arbitrariamente longo para enviar um pacote, o que para aplicações em tempo real, como transmissão de voz e vídeo, é inaceitável. Para minimizar este problema, a versão 802.11e do protocolo foi desenvolvida. No IEEE 802.11e, aprimoramentos na camada MAC estão sendo realizados para melhorar a Qualidade de Serviço (Quality of Service - QoS), através de um CSMA com prioridades e avançadas técnicas de seleção.

## 2.2 Arquitetura

O **Conjunto Básico de Serviço** (Basic Service Set – BSS) é a base da arquitetura IEEE 802.11. Um BSS é definido como um grupo de terminais sob o comando de uma função de coordenação DCF ou PCF. A área geográfica coberta por este BSS é chamada de **Área Básica de Serviço** (Basic Service Area - BSA). Conceitualmente, todas as estações em um BSS podem comunicar-se diretamente entre si. No entanto, degradações no meio de transmissão, devido ao enfraquecimento do sinal ou as interferências entre BSS próximos, podem causar terminais escondidos.

Um BSS pode ser:

- **Uma rede ad-hoc**

Uma rede ad-hoc é formada por um grupo de terminais wireless, dentro de um BSS, com comunicação direta entre si, sem a existência

de um ponto centralizado de controle. Qualquer terminal pode estabelecer uma sessão de comunicação com outro terminal. Um modelo para esta rede pode ser representado como na Figura 4.

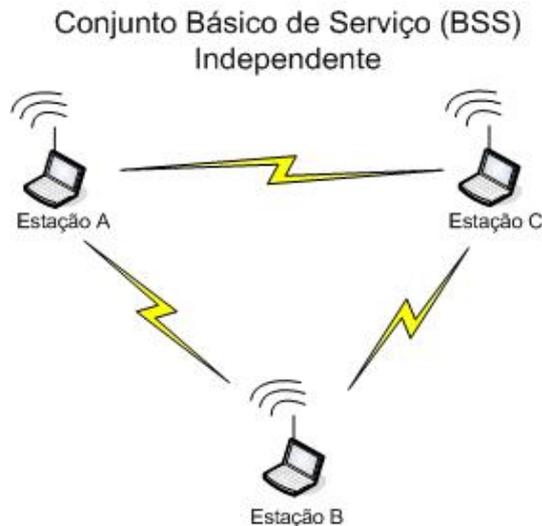


Figura 04: Esquema de uma rede Ad-Hoc

#### ▪ Uma rede com infraestrutura

Redes com infraestrutura têm como objetivo fornecer, aos usuários, serviços específicos e também possíveis extensões de área de cobertura. Este tipo de rede, no padrão IEEE 802.11, é construído utilizando-se um Ponto de Acesso (Access Point- AP). Os AP's conseguem aumentar a área de cobertura sendo pontos de conectividade entre vários BSS, formando então um **Conjunto de Serviço Estendido** (Extended Service Set - ESS). O ESS consiste da integração de múltiplos BSS utilizando-se um **Sistema de Distribuição** (Distribution System - DS). O DS pode ser visualizado, então, como um backbone responsável pelo transporte de pacotes da sub-camada MAC, chamados de MPDU (MAC Protocol Data Units), entre diferentes BSS. Um DS pode ser uma rede de qualquer tipo, sem fio ou não. Um ESS pode também fornecer acesso a uma rede com fio, como a Internet, através de um serviço chamado Portal. O Portal é uma entidade lógica que especifica o ponto de integração entre a rede

IEEE 802.11 e outra rede distinta, e pode ser considerado uma ponte (*bridge*), que, além de estender a área de cobertura, realiza a tradução dos diferentes formatos de quadros (*frames*). Pode representar este tipo de rede na forma apresentada na Figura 5.

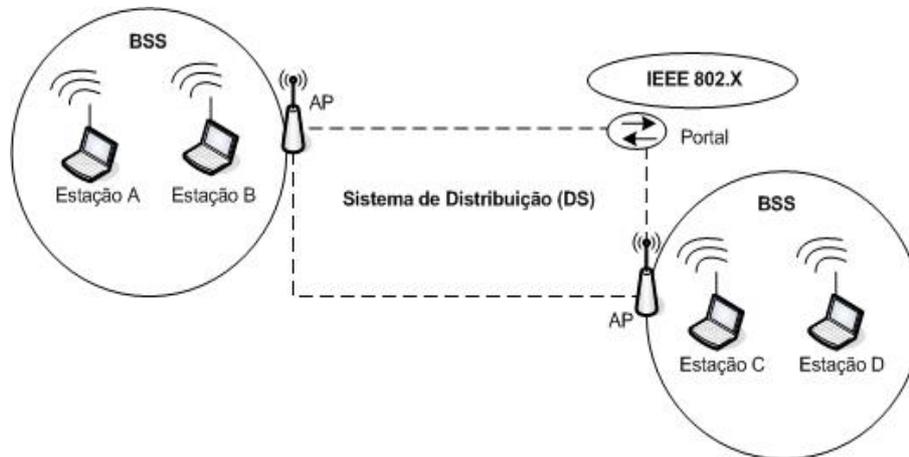


Figura 05: Infra-estrutura de rede com pontos de acesso.

## 2.3 Função de Coordenação / Arquitetura

Todas as estações em um BSS devem suportar a função DCF. Em uma rede adhoc, somente a função DCF é aplicável. Já na rede com infraestrutura, é possível utilizar a função DCF somente ou a função DCF em conjunto com a função PCF, dependendo do tipo de serviço a ser oferecido.

Em uma rede com infraestrutura utilizando o serviço DCF, um terminal sem fio acessa o meio através de sua associação com um AP, que também é responsável por sua autenticação. Uma estação sem fio está associada a apenas um ponto de acesso, mas pode ser autenticada por mais de um AP. Além disso, o AP se comportará como um terminal sem fio comum, ou seja, não possuirá nenhum papel centralizador no DCF e deverá disputar o acesso ao meio com os demais terminais.

## 2.4 O Mecanismo de *Carrier-Sense*

O protocolo IEEE 802.11 dispõe de dois tipos de monitoração de atividade do canal: *carrier-sense* virtual e físico. A função do *carrier-sense* é determinar se o meio de transmissão está ocioso ou não.

No mecanismo de *carrier-sense* físico, monitora-se fisicamente a atividade no canal causada pelos demais terminais. Portanto, este serviço deve ser fornecido pela camada física.

O mecanismo *carrier-sense* virtual deve ser realizado pela sub-camada MAC, atualizando-se o valor do **Vetor de Alocação de Rede** (Network Allocation Vector - NAV). O NAV mantém uma previsão do tráfego futuro no canal baseado nas informações de duração de transmissão que estão contidas nos frames de dados, RTS e CTS. Os frames RTS e CTS são pacotes de controle, enviados antes da troca efetiva dos dados. A função destes frames de controle será discutida nas seções seguintes.

O NAV pode ser considerado como um contador, que decresce até zero com uma taxa uniforme. Quando atinge zero, a indicação do *carrier-sense* virtual é que o meio está ocioso. Enquanto isto não acontece, a indicação é que há transmissão em curso e que, assim, o meio está ocupado. O meio também deve ser considerado ocupado quando a própria estação estiver transmitindo.

Para definir o estado do canal, combina-se, então, os resultados obtidos pelos mecanismos NAV e de *carrier-sense* físico.

## 2.5 Espaços entre Frames

A prioridade no acesso ao meio sem fio é controlada através do uso de **Intervalos de Tempo entre Frames** (Inter-Frame Space - IFS). Os intervalos IFS são períodos obrigatórios de tempo nos quais o canal permanece ocioso. Três IFSs diferentes são definidos, pelo padrão 802.11, para fornecer tais níveis de prioridade e seus valores dependem do tipo de camada física utilizada. Abaixo estão listados os intervalos IFS, do mais curto: maior prioridade, para o mais longo: menor prioridade.

- **Short Inter-Frame Space - SIFS:** Espaço curto entre frames.

Estações que devem esperar um tempo SIFS, possuem prioridade em relação àquelas que devem esperar um tempo DIFS ou PIFS antes de transmitir. O SIFS deve ser utilizado antes da transmissão de frames ACK e CTS. O tempo SIFS é calculado de tal maneira que a estação transmissora seja capaz de alterar seu modo atual de "transmissão" para

"recebimento" e, assim, ser capaz de decodificar o pacote que irá receber em seguida.

- **Point Inter-Frame Space - PIFS:** Espaço PCF entre frames. Deve ser utilizado somente pelas estações que operam sob a função PCF para ganhar prioridade de acesso ao meio.
- **Distributed Inter-Frame Space - DIFS:** Espaço DCF entre frames. Deve ser utilizado pelas estações que operam sob a função DCF para a transmissão de frames de dados e de gerenciamento. Assim, se um ACK e um pacote de dados estão esperando, simultaneamente, pela ociosidade do canal, o ACK será transmitido antes do pacote de dados, pois o primeiro espera por um tempo SIFS que é menor do que o tempo DIFS esperado pelo segundo.

## 2.6 Função de Coordenação Distribuída do Protocolo 802.11

Uma estação, antes de transmitir um novo pacote, deve monitorar a atividade do canal através do mecanismo de carrier-sense. Se o canal permanecer ocioso por um período de tempo igual ao DIFS, a estação transmite o pacote. Caso contrário, se o canal estiver ativo, seja no início da monitoração ou durante a contagem de tempo DIFS, a estação continua monitorando o canal até que o mesmo fique ocioso por um tempo igual à DIFS. Neste momento, a estação gera um intervalo randômico de backoff antes de iniciar a transmissão, tentando, assim, minimizar a probabilidade de colisão com outros pacotes enviados pelas demais estações. Este intervalo gerado é exatamente o recurso *Collision Avoidance* do protocolo. Além disso, para evitar que uma estação se apodere do canal, a mesma deve esperar um tempo randômico de backoff entre duas transmissões consecutivas de novos pacotes, mesmo que o canal permaneça ocioso por um tempo DIFS.

### 2.6.1 O Esquema de Backoff Exponencial

Por razões de eficiência, o DCF utiliza uma escala discreta de tempo de backoff. O tempo imediatamente seguinte a um DIFS é dividido em slots e uma estação só pode transmitir no início de cada slot. O tamanho do slot, representado por  $\sigma$ , deve ser igual ao tempo necessário para que toda e

qualquer estação que detecte a transmissão de um pacote por outra estação. Este tempo dependerá da camada física e influirá nos cálculos do tempo de permuta entre os estados de recebimento e transmissão e do tempo para sinalizar à camada MAC o estado do canal. Sendo assim, uma colisão só poderá ocorrer no caso em que dois ou mais terminais escolham o mesmo slot de tempo para iniciar sua transmissão.

Como mencionamos anteriormente, o DCF adota um esquema de backoff exponencial. A cada transmissão de pacote, o tempo de backoff é escolhido uniformemente no intervalo  $(0, cw-1)$ , onde  $cw$  representa o tamanho da janela de contenção e seu valor depende do número  $i$  de transmissões falhas do pacote em questão.

Na primeira tentativa de transmissão, é atribuído a  $cw$ , o valor  $cw_{min}$ , que corresponde à Janela de Contenção Mínima. Após cada tentativa de transmissão falha,  $cw$  é dobrado (Figura 6), até o valor máximo  $cw_{max}$ , que corresponde à Janela de Contenção Máxima.

Portanto, a equação do Tempo de *Backoff* ( $T$ ) pode ser obtida através de:

$$T = [2^{i+j} * rand()] * \sigma \quad (1)$$

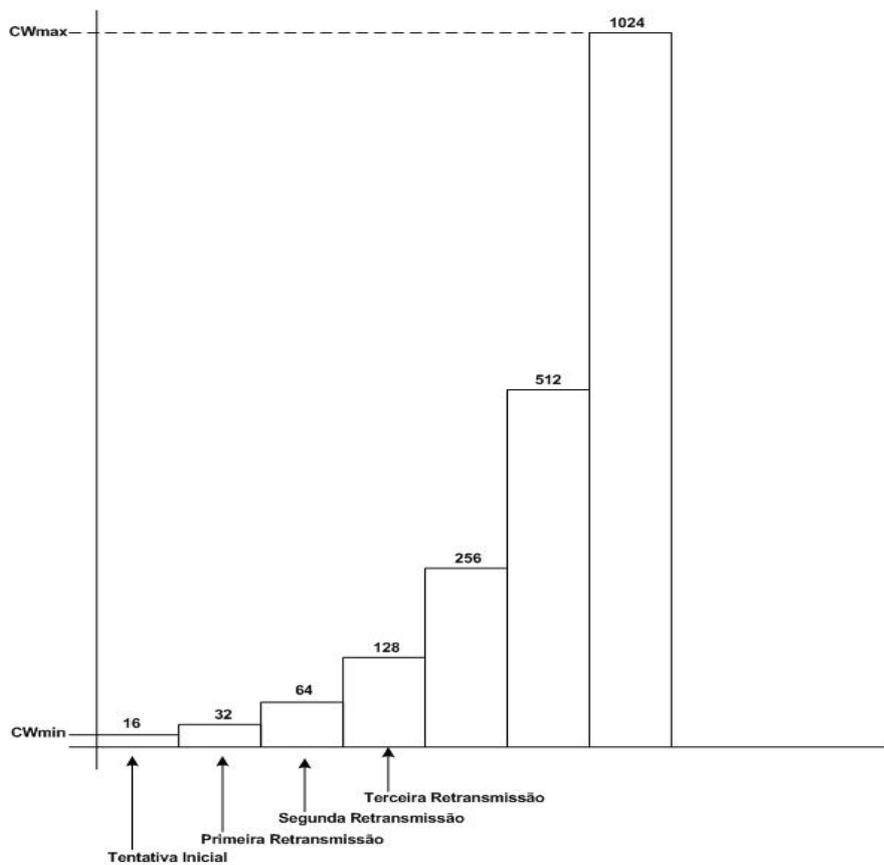
onde:  $\sigma$  é o tamanho do slot, sendo um parâmetro da camada física,  $rand()$  é uma função randômica com distribuição uniforme entre  $[0,1)$ ,  $i$  é o número de tentativas de transmissão de um pacote ( $i \geq 1$ ) e  $j$  um parâmetro, calculado de acordo com o tipo da camada física.

Por exemplo, observando a Tabela 1, que contém os valores de  $cw_{min}$  se utilizarmos a implementação FHSS da camada física, então  $j = 3$ . Se utilizarmos a implementação DSSS, então  $j = 4$ . Os valores atribuídos à variável  $j$  são contabilizados de modo que, quando  $i = 1$ ,

$$2^{i+j} = 2^{1+j} = cw_{min}. \quad (2)$$

Os valores  $CW_{min}$  e  $CW_{max}$  são específicos de cada camada física e na Tabela 1 temos alguns de seus valores. O contador do tempo de backoff é decrementado na medida em que o canal permanece ocioso. Se uma transmissão for detectada, este contador é paralizado, só retomando quando o canal se torna ocioso novamente por um tempo mínimo igual à DIFS.

Quando o contador atingir zero, a estação transmite o pacote. Se esta transmissão for bem sucedida, o valor  $CW$  é reinicializado com o valor  $CW_{min}$ . Caso contrário, acontecerá uma nova tentativa de transmissão deste pacote, tendo  $CW$  o dobro do seu valor anterior.



**Figura 06: Exemplo do crescimento exponencial da CW.**

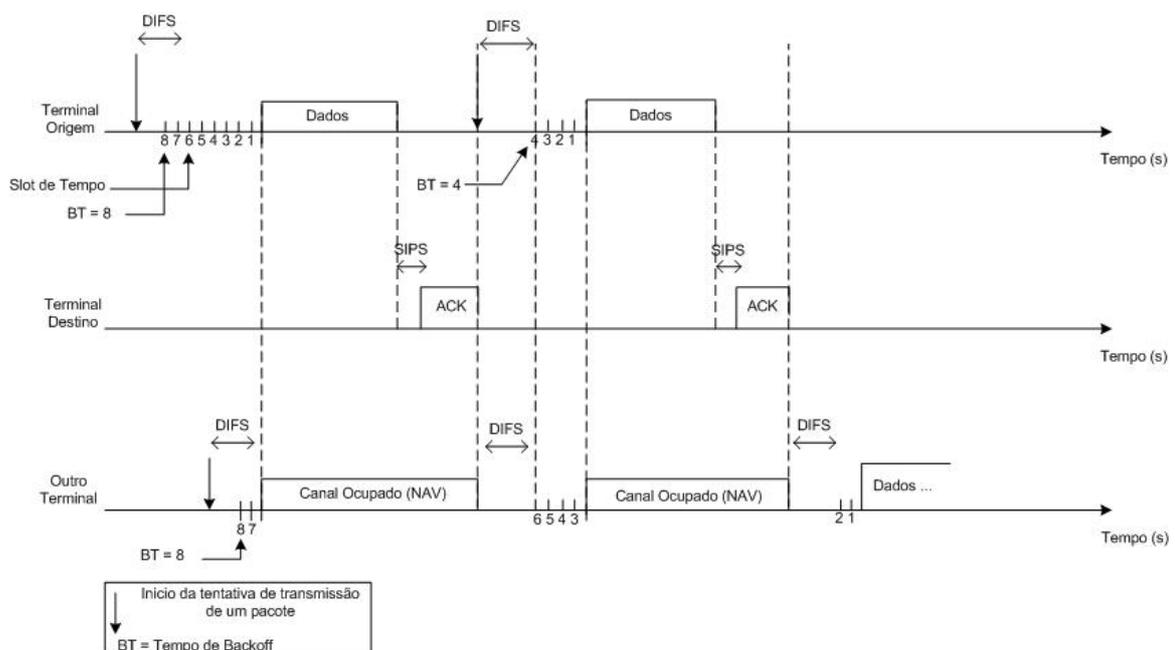
Camada Física	Slot de Tempo ( $\sigma$ )	$CW_{min}$	$CW_{max}$
FHSS	$50\mu s$	16	1024
DSSS	$20\mu s$	32	1024
IR	$8\mu s$	64	1024

**Tabela 1: Valores de slot de tempo e da janela de contenção mínima e máxima, para três camadas físicas específicas pelo padrão 802.11.**

É importante esclarecer que o mecanismo de *backoff* exponencial minimiza, mas não elimina a chance de dois ou mais terminais transmitirem ao mesmo tempo, gerando colisões no canal. Neste protocolo, existem duas técnicas de transmissão de pacotes, as quais serão descritas nas sub-seções abaixo.

### 2.6.2 O Mecanismo Básico de Acesso ao Meio

O Mecanismo Básico de Acesso ao Meio baseia-se na técnica *two-way handshaking*, visualizado na Figura 7. Como o protocolo CSMA/CA não conta com a capacidade das estações transmissoras detectarem uma colisão, pois não conseguem ouvir o canal ao mesmo tempo em que transmitem, quando um pacote é transmitido, a estação receptora deve indicar à estação transmissora o correto recebimento do pacote através do envio de um pacote de confirmação (ACK). Quando o emissor recebe o pacote ACK, ele tem a certeza de que o pacote de dados chegou ao destino corretamente.



**Figura 07: Exemplo do Mecanismo Básico de Acesso.**

O frame ACK deve ser transmitido imediatamente após o recebimento do pacote de dados mais um período de tempo denominado SIFS. Como o SIFS acrescido do retardo de propagação é menor que o DIFS, nenhuma outra estação consegue perceber a inatividade do canal durante um tempo total DIFS sem antes detectar a presença de um pacote ACK trafegando no canal. Se a estação transmissora não receber um ACK dentro de um tempo especificado (*ACK\_Timeout*), ocorrerá um timeout de espera pelo ACK, ou se a estação detectar uma transmissão de um outro pacote no canal que não seja o ACK esperado, a mesma irá reescalonar a transmissão do pacote de acordo com as regras de *backoff*.

É importante lembrar que quando um frame de dados é transmitido, o campo de Duração contido no cabeçalho deste frame é utilizado para informar, a todas as estações do BSS, quanto tempo o meio ficará ocupado. Todas as estações deverão, portanto, ajustar as suas variáveis NAV.

### 2.6.3 O Mecanismo de Acesso ao Meio com RTS/CTS

O Mecanismo de Acesso com RTS/CTS é baseado na técnica do **four-way handshaking**, visualizado na Figura 8, e pode ser utilizado opcionalmente, em uma transmissão de pacote.

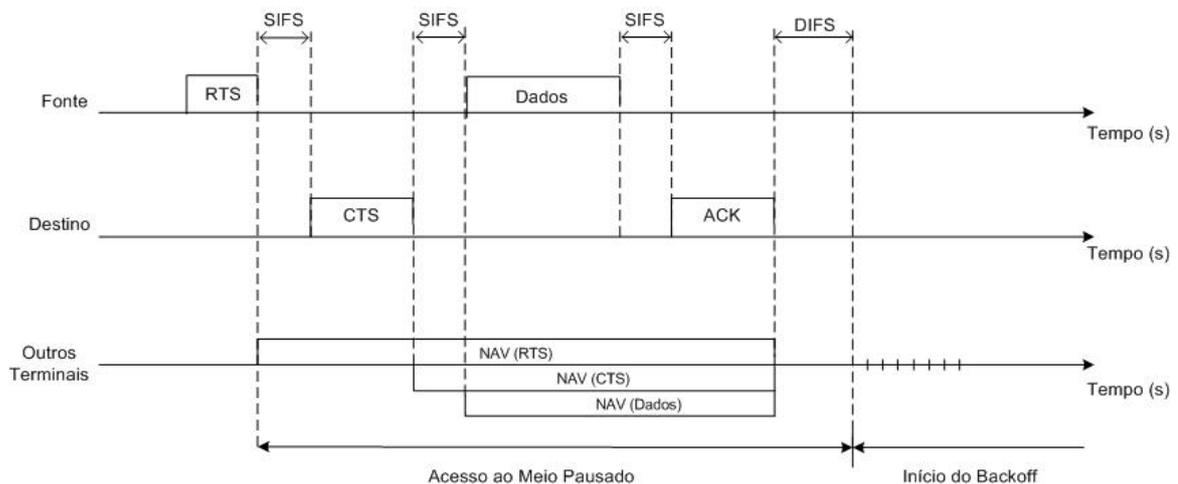


Figura 08: Exemplo do Mecanismo de Acesso com RTS/CTS

Uma estação que deseja transmitir um pacote, espera até que o canal esteja ocioso por um tempo DIFS, seguindo as regras de backoff explicadas anteriormente e, então, ao invés de transmitir o pacote de dados, primeiramente transmite um frame curto especial chamado RTS (Request To Send). Quando a estação receptora recebe um frame RTS, a mesma deve responder, após um tempo SIFS, com um frame CTS (Clear To Send). A estação transmissora pode, então, enviar seu pacote de dados, somente se o frame CTS for corretamente recebido.

Os frames de dados, RTS e CTS carregam informações sobre o tamanho do pacote a ser transmitido. Esta informação pode ser lida por qualquer outra estação ouvinte, que está apta assim, para atualizar seus **Vetores de Alocação de Rede** (Network Allocation Vectors - NAV), que contêm informações sobre o período de tempo no qual o canal permanecerá ocupado.

Portanto, quando uma estação, que está escondida da estação transmissora ou da receptora, detectar um frame CTS ou um frame RTS, respectivamente, ela pode perfeitamente atrasar suas transmissões, evitando colisões e utilização inútil do canal. Ou seja, os pacotes RTS/CTS solucionam o problema de colisões nos pacotes de dados quando existem terminais escondidos e diminuem a possibilidade de ocorrência de colisões.

#### **2.6.4 Mecanismo Básico x RTS/CTS**

As estações podem escolher nunca utilizar o RTS/CTS, utilizar o RTS/CTS somente quando o MSDU exceder o valor do *RTS\_Threshold*, que é um parâmetro configurável, ou sempre utilizar o RTS/CTS.

O mecanismo RTS/CTS é eficiente, em termos de desempenho de sistema, quando o protocolo lida com pacotes grandes, pois reduz o tamanho dos frames envolvidos na colisão. Ou seja, utilizando o mecanismo RTS/CTS, as colisões ocorrem somente nos frames RTS e não nos pacotes de dados, cujos tamanhos são, normalmente, maiores, e são precocemente detectadas pelas estações de transmissão devido ao não recebimento do frame CTS.

Em contrapartida, a utilização de frames RTS/CTS nem sempre é interessante. Nos casos em que o acesso ao meio não for tão intenso ou se o

tamanho dos dados a serem transmitidos forem relativamente pequenos em comparação ao tamanho dos frames de controle, um delay adicional será imposto devido ao overhead causado por estes frames de controle. Além disso, haverá desperdício na utilização do canal, pois trafegarão informações que não serão úteis.

### **2.6.5 Fragmentação de MPDUs e Descarte de Pacotes**

Grandes frames de dados (MSDUs) a serem transmitidos devem ser fragmentados para aumentar a confiabilidade do canal durante suas transmissões. Sabemos que, em um meio sem fio, a probabilidade de um pacote ser corrompido é proporcional ao seu tamanho e, neste caso, seja este corrompimento causado por colisão ou por problemas de interferência no canal, quanto menor o pacote, menor overhead ele causará em sua retransmissão.

Para determinar quando realizar a fragmentação, os MPDUs são comparados ao parâmetro FT: *Fragmentation\_Threshold*. Se o tamanho do MPDU exceder o valor deste parâmetro, então o MSDU será dividido em múltiplos fragmentos. Os MPDUs fragmentados possuirão o tamanho do parâmetro FT, com exceção do último MPDU, que possuirá tamanho variável, mas sempre menor que o valor deste parâmetro.

Quando um MSDU é fragmentado, todos os fragmentos são transmitidos sequencialmente. A cada transmissão de fragmento, a estação receptora deve enviar um ACK ao emissor, após esperar por um tempo SIFS, sinalizando o correto recebimento do MPDU. Ao receber este ACK, a estação transmissora espera também por um tempo SIFS antes de enviar o próximo fragmento.

É importante ressaltar que o canal só é liberado quando o MSDU é completamente e corretamente transmitido e recebido, ou quando a estação transmissora, por algum motivo, não receber o ACK correspondente ao fragmento enviado. Quando um ACK não é recebido, a estação transmissora paraliza a transmissão do MSDU e tenta ganhar novamente o acesso de transmissão do canal, através da espera do tempo DIFS e de todo o processo de backoff. Após ganhar este acesso, a estação recomeça a transmissão a

partir do último fragmento não confirmado. A variável *Retry\_Limit* é responsável por limitar o número de tentativas de retransmissão.

Ao superar este número, todo o pacote é descartado e o valor da janela de contenção *cw* é reconfigurado para *cw<sub>min</sub>*. De fato, esta variável pode assumir dois valores distintos, nos seguintes casos:

- *Short\_Retry\_Limit*: É utilizado quando o tamanho do MSDU for menor que o *RTS\_Threshold*;
- *Long\_Retry\_Limit*: É utilizado quando o tamanho do MSDU for maior ou igual ao *RTS\_Threshold*.

## 2.7 Tipos e Formatos de Frames

O IEEE 802.11 suporta três tipos diferentes de frames:

- Frames de Gerenciamento: Estes tipos de frames são utilizados para associações, desassociações e autenticações de terminais sem fio com o AP.

O padrão 802.11 requer que o AP envie, periodicamente, pacotes de sinalização contendo seu endereço MAC e seu *Service Set Identifier* - SSID. As estações sem fio, sabendo que os APs estão enviando tais pacotes, examinam os 11 canais disponíveis, a procura de quaisquer beacons enviados por APs próximos. Através das informações recebidas e utilizando o protocolo de associação do 802.11, o terminal wireless escolhe um AP para se associar. Para completar este procedimento, o terminal deverá também autenticar-se com o AP. Se tudo correr sem problemas, o terminal sem fio fará parte da sub-rede do AP, recebendo um endereço IP apropriado.

- Frames de Controle: Estes tipos de frames são utilizados para controlar o acesso ao meio, através de pacotes de confirmação de recebimento (*Acknowledgment* – ACK), de pacotes de requisição (*Request to Send* - RTS) e liberação (*Clear to Send* - CTS) de transferência de dados.
- Frames de Dados: Estes tipos de frames são utilizados para a transmissão de dados no canal.

Os *frames* da camada física – PLCP, do protocolo 802.11, dependem do tipo da camada física utilizada isto é, DSSS, FHSS, DFIR, etc). Exemplificando, na Tabela 2 encontra-se o formato do frame para a DSSS e na Tabela 3 encontra-se o formato do frame para a FHSS. Já os frames das Tabelas 4, 5, 6 e 7 correspondem aos frames da subcamada MAC.

Preâmbulo (18 octetos)	PLCP Header (6 octetos)	MAC Frame (4 a 8191 octetos)
------------------------	-------------------------	------------------------------

**Tabela 2: Frame da sub-camada física PLCP – DSSS.**

Preâmbulo (12 octetos)	PLCP Header (4 octetos)	MAC Frame (1 a 4095 octetos)
------------------------	-------------------------	------------------------------

**Tabela 3: Frame da sub-camada física PLCP – FHSS.**

MAC Header (30 octetos)	Frame de Dados (0 a 2312 octetos)	CRC (4 octetos)
-------------------------	-----------------------------------	-----------------

**Tabela 4: Frame de dados da sub-camada MAC.**

ACK MAC Header (10 octetos)	CRC (4 octetos)
-----------------------------	-----------------

**Tabela 5: Frame ACK da sub-camada MAC.**

RTS MAC Header (16 octetos)	CRC (4 octetos)
-----------------------------	-----------------

**Tabela 6: Frame RTS da sub-camada MAC.**

CTS MAC Header (10 octetos)	CRC (4 octetos)
-----------------------------	-----------------

**Tabela 7: Frame CTS da sub-camada MAC.**

Os 32 bits de Checagem de Redundância Cíclica (Cyclic Redundancy Check – CRC) são utilizados para a detecção de erros nos pacotes. De acordo com este método, com probabilidade igual a 1, detecta-se rajadas de erros menores ou iguais a 33 bits. Os demais erros, sob condições apropriadas, são detectados com probabilidade 0,99999999977.

O cabeçalho MAC é formado pelos seguintes campos:

- **Controle do Frame (2 octetos):** Este frame é formado pelos seguintes campos:
  - **Versão do Protocolo (2 bits):** Este campo é utilizado para o reconhecimento da versão do protocolo;
  - **Tipo (2 bits):** Este campo define o tipo do frame, ou seja, se é um frame de controle, de gerenciamento ou de dados;
  - **Subtipo (4 bits):** Este campo define o subtipo do frame. Por exemplo, se o tipo do frame for controle, seu subtipo pode ser CTS, RTS, ACK, etc;
  - **ToDS (1 bit):** Este campo possui o valor 1 quando o frame é destinado ao AP, para que este encaminhe o pacote ao Sistema Distribuído (Distributed System - DS), ou seja, para fora do BSS;
  - **FromDS (1bit):** Este campo possui o valor 1 quando sua origem é o DS;
  - **Mais Fragmentos (1bit):** Este campo possui valor 1 quando existem mais fragmentos subseqüentes pertencentes a este frame;
  - **Retransmissão (1 bit):** Este campo possui valor 1 indicando que esta é uma retransmissão do fragmento anterior. Este campo será utilizado pelo terminal receptor para detectar duplicidade de transmissões devido a perda de pacotes ACK;

- **Gerenciamento de Energia (1 bit):** Este campo indica o modo de gerenciamento de energia da estação após a transmissão do frame corrente;
  - **Mais Dados (1 bit):** Este campo é utilizado pelo AP para informar que existem mais pacotes armazenados que serão destinados para a estação receptora;
  - **WEP (1bit):** Este campo indica se os dados do frame foram codificados de acordo com o algoritmo WEP4;
  - **Ordem (1 bit):** Este campo é um campo especial e indica que o frame está sendo enviado utilizando-se a Classe Estrita de Serviço (Strictly-Ordered);
- **Duração (2 octetos):** Este campo contém o tempo, em microssegundos, que o canal deve ser alocado para a transmissão da unidade de dados do protocolo MAC (MPDU), ou seja, contém o campo necessário para a atualização do vetor NAV-Network Allocation Vector;
  - **Endereço 1 (6 octetos):** Este campo contém o endereço da estação wireless destino dentro do BSS. Caso o campo ToDS possua o valor 1, então este campo possuirá o endereço do AP;
  - **Endereço 2 (6 octetos):** Este campo contém o endereço da estação que transmitiu o pacote. Caso o campo FromDS possua o valor 1, então este campo possuirá o endereço do AP;
  - **Endereço 3 (6 octetos):** Caso o campo ToDS possua o valor 1, então este campo possuirá o endereço do terminal de destino original (fora do BSS). Caso o campo FromDS possua o valor 1, então este campo possuirá o endereço do terminal fonte original (fora do BSS);
  - **Endereço 4 (6 octetos):** Este campo é usado no caso especial quando FromDS possuir o valor 1 e o ToDS também possuir o valor 1, ou seja, no caso em que um frame está sendo transmitido de um AP

para outro. Assim, os campos de origem e destino originais deverão ser armazenados;

- **Controle de Seqüência (2 octetos):** Este campo é utilizado para representar a ordem de diferentes fragmentos que pertencem ao mesmo frame e para reconhecimento de pacotes duplicados. Este campo consiste de dois sub-campos. O primeiro é o Sequence Number, utilizado para definir o número do frame. O segundo é o Fragment Number, utilizado para definir o número do fragmento do frame.

O cabeçalho RTS é formado pelos seguintes campos:

- **Controle do Frame (2 octetos):** Idêntico ao do MAC Header;
- **Duração (2 octetos):** É o tempo, em micro-segundos, necessário para a transmissão do próximo frame de dados, mais um frame CTS, mais um frame ACK e mais 3 intervalos SIFS;
- **RA (6 octetos):** Este campo contém o endereço da estação que receberá o pacote RTS;
- **TA (6 octetos):** Este campo contém o endereço da estação que está transmitindo o RTS.

O cabeçalho CTS é formado pelos seguintes campos:

- **Controle do Frame (2 octetos):** Idêntico ao do MAC Header;
- **Duração (2 octetos):** É o tempo, em micro-segundos, necessário para a transmissão do próximo frame de dados, mais um frame ACK e mais 2 intervalos SIFS;
- **RA (6 octetos):** Este campo contém o endereço da estação que receberá o pacote CTS.

O cabeçalho ACK é formado pelos seguintes campos:

- **Controle do Frame (2 octetos):** Idêntico ao do MAC Header;
- **Duração (2 octetos):** Este campo só é utilizado quando o processo de transmissão envolve fragmentação. Caso contrário, possuirá valor 0.
- **RA (6 octetos):** Este campo contém o endereço da estação que receberá o pacote ACK.

## **2.8 Limitações na transmissão de fluxo contínuo de vídeo**

A execução de aplicações multimídia em uma rede IEEE 802.11b requer garantias de Qualidade de Serviço, como limitações das perdas de pacotes e taxas constantes de transmissão, mas estas não são providas pelo padrão. (Wi-Fi Certified for WMM, 2004). As redes WLAN possuem características como: variação na largura de banda oferecida, atrasos fim a fim e erros na transmissão de pacotes. (Wi-Fi Alliance, 2004).

Todas as aplicações são executadas com a mesma chance de transmitir seus dados. Esta condição é inadequada para aplicações multimídia, pois estas são sensíveis à latência e a redução da largura de banda disponível. As transmissões de vídeo sobre redes sem fio nas condições atuais não são favoráveis.

### **2.8.1 Disponibilidade de largura de banda em uma WLAN**

Uma das limitações é a máxima largura de banda suportada por uma rede sem fio padrão 802.11b. (GAST, 2002). Nominalmente, ela poderá atingir até 11 (*Mbps*), embora estudos mostrem que o limite máximo teórico seria de aproximadamente 7 (*Mbps*). (HANDLEY, 1998). A prática mostra que 6 (*Mbps*) é o limite, segundo testes realizados em laboratório. (CORRÊA, 2004).

### **2.8.2 Limitações do fluxo contínuo de vídeo**

Quanto maior for a qualidade exigida de um vídeo, maior será seu tamanho e conseqüentemente maior será a largura de banda necessária para sua transmissão pela rede.

Um vídeo deve ser codificado visando atender uma determinada audiência, que é definida pela largura de banda que o usuário dispõe.

Um servidor de fluxo contínuo de vídeo transmite um arquivo de vídeo armazenado segundo os parâmetros que ele foi codificado. Caso o usuário solicite o recebimento de um vídeo codificado a uma taxa maior que a suportada por sua conexão ou a rede não esteja conseguindo fornecer a taxa requerida pelo vídeo, o fluxo de transmissão poderá ser interrompido pelo esvaziamento do *buffer*, quando ocorrerá a parada na exibição do vídeo até que o buffer esteja cheio o suficiente para retomar a transmissão. Esse comportamento traz interrupções que incomodam o usuário.

Há um contraste entre a exigência de banda do fluxo contínuo de vídeo e a limitada largura de banda oferecida pela WLAN.

Como a largura de banda é limitada, em torno de 6,0Mbps, o número de usuários solicitando fluxo contínuo de vídeo deverá ser controlado para que o aumento do número de solicitações não degrade a rede. Outra possibilidade é a limitação da taxa de codificação do vídeo transmitido por fluxo. O aumento do número de usuários em uma rede sem fio faz aumentar ainda mais a disputa pelo acesso ao meio o que poderá tornar a transmissão ainda mais lenta. A falta de priorização para pacotes de dados multimídia também contribui para dificuldade na distribuição de vídeo por fluxo contínuo, principalmente quando houver a transferência de grande volume de dados, como o *download* de arquivo em paralelo a transmissão do fluxo contínuo. Os pacotes de dados multimídia, que possuem limitações nos atrasos irão disputar com pacotes de dados a transmissão pela rede sem fio.

### **3 – O TRANSPORTE DE FLUXO CONTÍNUO DE VÍDEO**

O transporte de fluxo contínuo de vídeo, também conhecido como “*streaming de vídeo*” é o transporte de arquivos de áudio e vídeo ou outro tipo de conteúdo multimídia, através da rede. Esse processo tem início na divisão do arquivo em pacotes de dados, que são transmitidos seqüencialmente e processados à medida que chegam ao dispositivo de destino, não sendo necessário aguardar a transferência completa do arquivo para que ele seja usado. O vídeo é armazenado em *buffers* em seu destino final, portanto, não

é armazenado em memória secundária, impedindo uma re-exibição, garantindo a preservação dos direitos autorais.

A transmissão de um fluxo contínuo de vídeo envolve a existência de um servidor de mídia, uma rede, por onde os dados serão transmitidos e um dispositivo cliente usando uma aplicação de *media player*.

Uma rede multimídia é capaz de transmitir fluxo contínuo de áudio e vídeo, vídeo conferência, voz sobre IP (VoIP) e outras aplicações de tempo real que possuem restrições de sincronização e temporização (*timing*) e devem ser reproduzidas de forma contínua e sem interrupções para que o usuário tenha uma experiência agradável e que não gerem desconforto visual ao usuário.

Aplicações multimídia são muito sensíveis ao atraso e também a variação do atraso (*jitter*), embora tolerem eventuais perdas de pacotes (*loss tolerant*) que podem ser compensadas, sem oferecer grandes alterações na qualidade do produto final. (TANENBAUM; KUROSE, 2003).

A perda de pacotes implica na redução da qualidade do vídeo, pois partes da imagem codificada são perdidas e a exibição apresentará defeitos na imagem. Portanto, mesmo sendo admissível, esta deve ser evitada.

Esta característica é diferente da transmissão de dados, onde perdas não são toleradas, mas pequenos atrasos são permitidos. (TANENBAUM; KUROSE, 2003).

Aplicações multimídia são sensíveis à variação do atraso de chegada dos pacotes de dados, isto é: aqueles recebidos após um determinado tempo são descartados, pois são inúteis; e ainda mais sensível à sua variação no tempo. Portanto, elas têm dificuldades para serem transportadas em redes que oferecem serviços do tipo melhor esforço (*best effort*), que não garantem tempos máximos de atrasos e *jitter*, e nenhum outro tipo de garantia na Qualidade dos Serviços.

Tipicamente, estas aplicações possuem requisitos bem definidos de largura de banda, limites máximos de atraso e perda de pacotes de dados. (WU D, 2001).

As aplicações multimídia podem ser classificadas de acordo com o: fluxo contínuo de áudio e vídeo armazenados, também conhecido como distribuição de vídeo sobre demanda (VOD). Podemos citar a transmissão de um vídeo clipe disponível na Internet, fluxo de áudio e vídeo transmitidos ao vivo, tal como a transmissão de uma apresentação em tempo real e fluxo contínuo de áudio e vídeo interativo em tempo real, representado por aplicações de áudio e vídeo conferência (VoIP). (KUROSE, 2003).

Um arquivo de vídeo armazenado poderá ser transferido ao dispositivo cliente através de seu *download* completo ou através de uma transmissão de fluxo contínuo.

Ao fazer um *download*, o usuário precisa receber o arquivo de vídeo completo e só depois poderá iniciar sua reprodução. Contudo, o tempo necessário para baixar o vídeo antes de começar reproduzi-lo é normalmente longo, sujeito a problemas durante a transferência, ocupa um espaço relevante no dispositivo cliente que muitas vezes torna-se inaceitável. A vantagem é a garantia de exibição contínua do vídeo de acordo com os parâmetros de qualidade que ele foi codificado e suas desvantagens são o tempo necessário para o recebimento do arquivo completo, o espaço necessário para armazenar o vídeo transmitido e a impossibilidade da transmissão de eventos ao vivo. Utilizando-se a transmissão por fluxo contínuo, o vídeo não precisa ser completamente baixado para iniciar sua reprodução, sendo exibidos à medida que os pacotes são recebidos e processados. Esta solução é dependente do comportamento da rede, pois se os dados chegarem mais rápido do que eles devem ser reproduzidos, eles deverão ser armazenados em um buffer ou descartados; e se eles não chegarem até o momento de sua exibição eles serão descartados e a visualização da imagem será afetada.

A transmissão de fluxo contínuo de vídeo armazenado pode ser feita de forma interativa ou não interativa. No modo interativo, o usuário pode controlar a reprodução do fluxo contínuo com funções semelhante aos controles utilizados em um tocador de DVD, com operações de início e interrupção da reprodução, avanço e retrocesso em modo normal ou rápido.

No modo não-interativo o usuário não tem controle sob a transmissão, não podendo, por exemplo, interrompê-la e depois continuá-la.

Quanto à forma de transmissão, um fluxo contínuo poderá ser distribuído nos modos: *unicast* onde uma conexão é estabelecida para cada cliente, *multicast* sendo uma conexão compartilhada entre um grupo de clientes e *broadcast* quando uma conexão é compartilhada por todos os clientes da rede. A Figura 9 apresenta uma transmissão *unicast* onde cada cliente estabelece uma conexão direta com o servidor. (WU D, 2001).

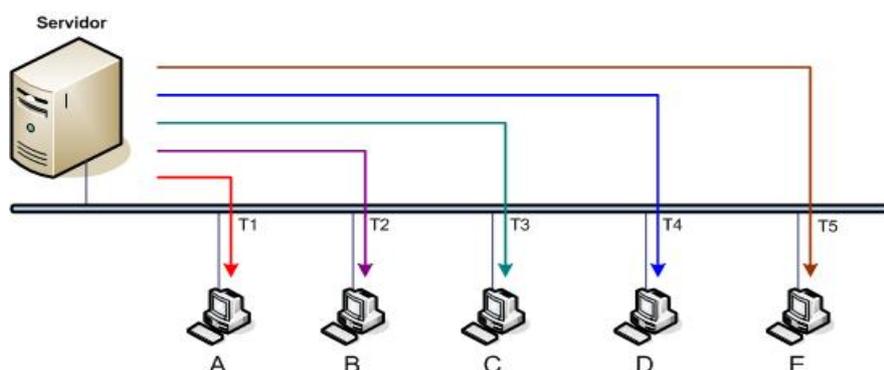


Figura 09: Transmissão *Unicast*

A transmissão *multicast*, apresentada na Figura 10, utiliza uma única conexão compartilhada entre os clientes que estabelecem conexões num endereço onde um único pacote é transmitido e distribuído a cada cliente do grupo. Embora esta técnica reduza o congestionamento da rede, pois um único pacote é transmitido a todas as estações do grupo, ela requer uma infra-estrutura de rede que suporte este tipo de transmissão, que envolve uso de roteadores mais sofisticados e caros.

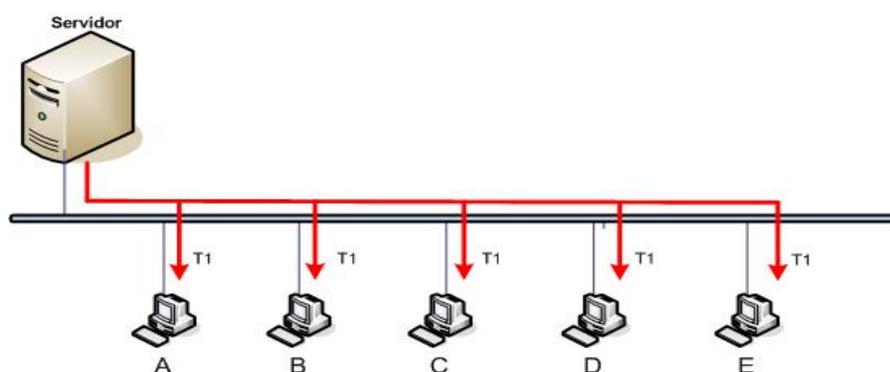


Figura 10: Transmissão *Multicast*

A Tabela 8 sintetiza as vantagens e desvantagens das formas de transmissão de fluxo contínuo apresentadas.

Formas de Transmissão	Vantagens	Desvantagens
Unicast	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conexão individual;</li> <li>2. Transmissão solicitada pelo usuário;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alto nível de tráfego na rede;</li> </ol>
Multicast	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Redução do tráfego na rede;</li> <li>2. Transmissão para um grupo de estações simultaneamente;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Criação de grupos de multicast em toda a infra-estrutura da rede;</li> <li>2. Normalmente não é suportado pela Internet;</li> <li>3. Transmissão em horários programados;</li> </ol>
Broadcast	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transmissão para todos os nós da rede;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transmissão em horários programados;</li> <li>2. Todas as estações da recebem a transmissão;</li> </ol>

**Tabela 8: Formas de transmissão de fluxo contínuo.**

### 3.1 Servidor de Fluxo Contínuo de Vídeo

Um servidor de fluxo contínuo de vídeo é utilizado para transmitir arquivos contendo dados multimídia, dividindo-os em pacotes que são enviados de forma contínua quando solicitado por um *media player* executado em uma estação cliente.

A fim de oferecer uma boa qualidade de serviço de fluxo contínuo é necessário que o servidor possa processar os pacotes de dados multimídia, obtidos dos arquivos codificados, de acordo com as características de codificação e também suportar o controle interativo de transmissão, através de comandos solicitados pelo usuário, como iniciar a reprodução do vídeo, pará-la, reinicializá-la, fazer o avanço e retrocesso rápido buscando um ponto específico do arquivo.

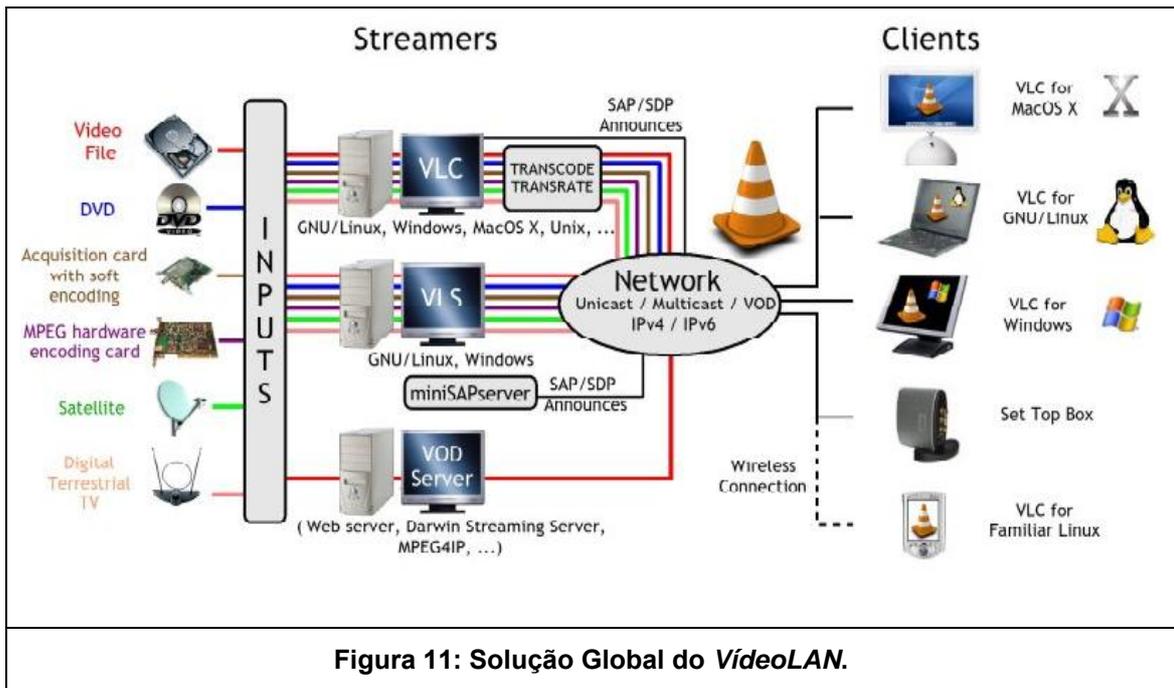
### 3.1.1 Servidor “VideoLAN”

O “VideoLAN” é uma solução completa para fluxo contínuo de vídeo desenvolvido por estudantes e programadores da “Ecole Centrale Paris” e por toda a comunidade Internacional, sob a “GNU General Public License” (GPL). O “VideoLAN” é destinado a transporte de fluxo contínuo de vídeo em formato MPEG em redes de grande largura de banda.

Toda a solução “VideoLAN” inclui:

- Servidor “VideoLAN” (VLS): pode fazer fluxo contínuo de arquivos de vídeo em formato MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, DVDs, canais digitais de satélite, canais digitais terrestres de televisão e vídeos ao vivo em rede (nos modos *unicast* ou *multicast*).
- Cliente “VideoLAN” (VLC): também pode ser utilizado como servidor de fluxo contínuo de arquivos de vídeo em formato *MPEG-1*, *MPEG-2*, *MPEG-4*, *DVDs* e vídeos ao vivo em rede (nos modos *unicast* ou *multicast*). Ou pode ser usado como cliente, para receber, decodificar e mostrar fluxo contínuo de vídeo em formato “MPEG” sob muitos sistemas operacionais.

A Figura 11 apresenta uma ilustração da solução completa do “VideoLAN”. (VIDEOLAN, 2007).



### 3.1.2 Algoritmos de Compressão

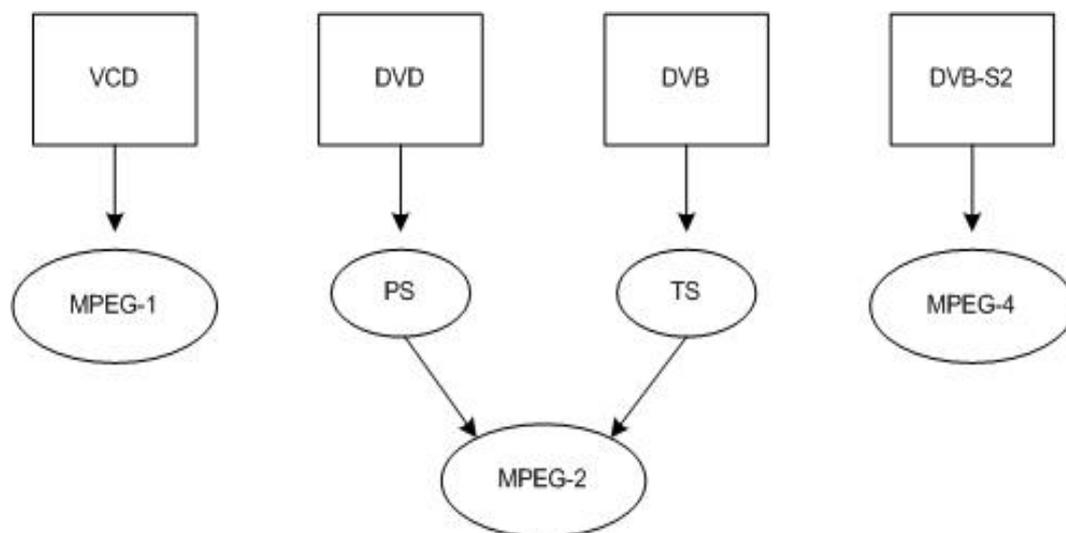
Para compreender completamente a solução “VideoLAN”, deve-se entender a diferença entre um *codec* e um *container format*.

- Um “*codec*” é um algoritmo de compressão, utilizado para reduzir o tamanho de um fluxo de vídeo. Existem *codecs* para áudio e vídeo. MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, Vorbis, DivX, etc...
- Um “*container format*” contém um ou vários fluxos de vídeos já codificados por um codec. Neste formato, existem fluxos de áudio e vídeo. AVI, Ogg, MOV, ASF, etc...

A decodificação de um fluxo de vídeo é dividida em várias etapas, a primeira delas é a demultiplexação. Isto significa que o “*container format*” é lido, para que sejam separados o áudio, o vídeo, e as legendas; pois eles serão tratados por decodificadores específicos, que farão o processamento matemático para a decodificação do fluxo.

Quando executamos um vídeo em formato “MPEG” de um DVD, por exemplo, o fluxo “MPEG” é geralmente composto de vários fluxos chamados:

Fluxos Elementares (*Elementary Streams - ES*); há um fluxo para o vídeo, um para o áudio e outro para as legendas. Esses diferentes fluxos são misturados em um único Fluxo de Programa (*Program Stream - PS*). Os arquivos “.VOB”, que podem ser encontrados nos DVDs, são arquivos MPEG-PS. Este formato PS não é adaptado para fluxo contínuo de vídeo através de uma rede. Para o fluxo contínuo de vídeo MPEG, através de canais de comunicação, foi desenvolvido o chamado “*Transport Stream - TS*”.



**Figura 12: Conversões do padrão MPEG.**

O Grupo de Especialistas de Imagens em Movimento (*Moving Picture Experts Group – MPEG*) tem um trabalho voltado ao desenvolvimento de padrões de codificação para áudio e vídeo. (TEKTRONIX, 2007).

O MPEG padronizou os seguintes formatos de compressão e padrões subordinados:

- MPEG1: Primeiro padrão de compressão de áudio e vídeo. Mais tarde utilizado para o padrão Video CD e inclui o popular formato de compressão de áudio – MP3.
- MPEG2: Padrão de transporte de áudio e vídeo para televisão com qualidade broadcast. Usado para transmissões pelo ar, tais como: televisão digital ATSC, DVB e ISDB, serviços de TV Digital por satélite,

sinais digitais de televisão a cabo, e com ligeiras modificações, temos o .VOB (Video Object) arquivos que transportam imagens em DVDs.

- MPEG3: Originalmente desenvolvido para o padrão *High Definition TV* - HDTV, mas descontinuado quando se definiu que o MPEG-2 (com extensões) era suficiente para o HDTV. (Não pode ser confundido com o MP3, que é o MPEG-1 - *Layer 3*.)
- MPEG-4: Expansão do MPEG-1 para suportar objetos de vídeo/áudio, conteúdo 3D e baixas taxas de codificação.
- MPEG-4 Part 2 (ou Perfil Simples avançado) e o MPEG-4 Part 10 (ou Codificação de Vídeo Avançada ou H.264). MPEG-4 Part 10 pode ser usado para *HD DVD* e discos *Blu-ray*.
- MPEG-7: Um padrão de descrição de conteúdo multimídia.
- MPEG-21: Padrão MPEG que descreve uma estrutura multimídia.

Além disso, mais recentemente, o MPEG iniciou os seguintes processos de padronização:

- MPEG-A: Formato de aplicação multimídia.
- MPEG-B: Tecnologias de sistema MPEG.
- MPEG-C: Tecnologias de vídeo MPEG.
- MPEG-D: Tecnologias de áudio MPEG.
- MPEG-E: Middleware Multimídia.

## 3.2 Protocolos de comunicação

A transmissão em fluxo contínuo envolve uma transmissão do tipo cliente/servidor feita por meio de protocolos de comunicação envolvendo várias camadas.

### 3.2.1 Protocolos da camada de Aplicação

O Protocolo de Fluxo de Vídeo de Tempo Real (*Real-Time Streaming Protocol - RTSP*) é um protocolo de controle da transmissão do *streaming* de

vídeo usado entre o cliente e o servidor que usa TCP para transporte de mensagens de controle e UDP (ou TCP) para transporte de dados. (POSTEL, 1980). É um protocolo chamado de “*out-of-band*”, pois há uma separação no envio de mensagens de controle, feita por uma porta de comunicação e os dados, em outra porta (*in-band*). O RTSP não determina o formato da estrutura do pacote de dados transportado, o tipo mais usado é o Protocolo de Transporte de Tempo Real (*Real-Time Transport Protocol - RTP*). (NETSTUMBLER, 2007).

### 3.2.2 Protocolos da camada de Transporte

A função dos protocolos de transporte é fazer a comunicação fim a fim entre duas estações de rede. Os dois principais protocolos dessa camada são o UDP e TCP. Ambos são transportados sob o protocolo de rede Internet Protocol (IP).

O **UDP** é um protocolo sem conexão e sem garantia de entrega dos pacotes de dados ao destino. Ele não implementa controles de fluxo e congestionamento, sendo por isso mais rápido que o TCP e mais indicado para transmissão de áudio e vídeo em tempo real. Ele também é um protocolo mais enxuto e apresenta um cabeçalho menor que o TCP. Cabe a aplicação determinar quais ações serão tomadas quando houver perda de pacotes e altas taxas de transmissão. Uma desvantagem do uso do UDP é que ele não garante a entrega de dados. (POSTEL, 1980).

O **TCP** é um protocolo orientado a conexão, que utiliza retransmissões para recuperação de pacotes perdidos, provendo uma transmissão confiável fim-a-fim. Possui mecanismos de controle de fluxo e de congestionamento que previne o transbordamento do buffer de recebimento. As retransmissões de pacotes feitas pelo TCP podem gerar atrasos, que são muitas vezes inaceitáveis por aplicações multimídia de tempo real, pois estas possuem severos requisitos de atrasos. (POSTEL, 1981).

### 3.2.3 Protocolos sob a camada de Transporte

Para auxiliar a detecção de pacotes perdidos ou fora de seqüência, o RTP foi desenvolvido para complementar a camada inferior dos protocolos de transporte.

O RTP é um protocolo para transporte de dados usado pelo servidor para enviar pacotes de dados ao cliente. Ele não garante o QoS ou entrega segura, porém oferece funções de suporte ao *streaming* de vídeo como *time-stamping* (marcação do tempo que o pacote foi gerado), numeração seqüencial de pacotes, identificação do tipo do formato dos dados transportados e a identificação da sessão. (KUROSE, 2003). Ele poderá ser encapsulado tanto no TCP quanto no UDP. O RTCP é um protocolo de controle usado em conjunto com o RTP que provê os serviços de monitoramento da qualidade dos dados entregues por meio de relatórios enviados pelos nós origem e destino, um mecanismo de identificação dos participantes da sessão e o controle da distribuição das informações de acordo com o número de participantes da sessão. (KUROSE, 2003).

### 3.3 Tecnologia de IPTV

Televisão através do Protocolo da Internet (*Internet Protocol Television – IPTV*) é a designação dada para a transmissão de vídeo em uma Rede IP. Esta transmissão é feita por meio de um Fluxo Contínuo de Vídeo, na qual uma estação envia um pedido para um servidor que divide o vídeo original em pequenos pacotes que serão enviados por meio da rede para a estação requisitante. Conteúdos multimídia (áudio/vídeo) são executados por um cliente poucos segundos depois do pedido ter sido feito ao servidor. Esta técnica conhecida como Fluxo Contínuo de Vídeo, permite a execução do vídeo, sem necessariamente executar o arquivo de vídeo na estação cliente, o que poderá resultar em grandes atrasos.

Outra característica do Fluxo Contínuo de Vídeo é o armazenamento temporário de alguns pacotes recebidos por um cliente antes do “*media player*” iniciar a execução do vídeo. Esta característica é chamada de buffer de fluxo contínuo. Compressões de áudio e vídeo possuem uma importante aproximação quando falamos de processos de Fluxo Contínuo de Vídeo,

porque estes recursos, sem compressão, geram arquivos grandes, que necessitam de grande largura de banda para envio pela rede. Uma imagem com 625 linhas requer uma taxa de 216 Mbps para apresentar luminosidade. Para limitar a largura de banda do canal, é clara a necessidade de compressão dessa grande taxa de bits.

### 3.3.1 Fluxo Contínuo de Áudio e Vídeo

Transporte de vídeo através de uma rede de um emissor para um receptor, com a intenção de visualização é freqüentemente chamado de Fluxo Contínuo de Vídeo (*Video Streaming*).

Três diferentes tipos de fluxo contínuo de vídeo podem ser identificados:

1. Fluxo contínuo, áudio e vídeo armazenados

O cliente solicita a qualquer momento arquivos de áudio e vídeo comprimidos que estão armazenados nos servidores.

Ex. Fluxo Contínuo de Vídeo (Streaming de Vídeo).

2. Fluxo contínuo de áudio e vídeo ao vivo

Semelhante à transmissão tradicional de rádio e televisão, exceto que a transmissão é realizada pela Internet.

3. Áudio e vídeo interativos em tempo real

*VoIP*

Videoconferência

Em comunicações de vídeo que exigem entrega em tempo real, como em uma videoconferência, o alvo é o atraso de chegada do vídeo fim a fim, que é chamado de efeito de latência. A variação da latência é chamada de *jitter*.

A Figura 13 mostra um sistema de comunicação de fluxo contínuo de uma seqüência de vídeo sobre um canal para um receptor, onde o T em cada bloco indica a latência introduzida em cada estágio. A latência total para o sistema de comunicação pode ser definida na forma:

$$T = T_E + T_T + T_C + T_R + T_D \quad (3)$$

Uma aplicação de vídeo conferência deve demandar um tempo  $T$ , abaixo de 400 ms ou preferencialmente abaixo de 150ms.

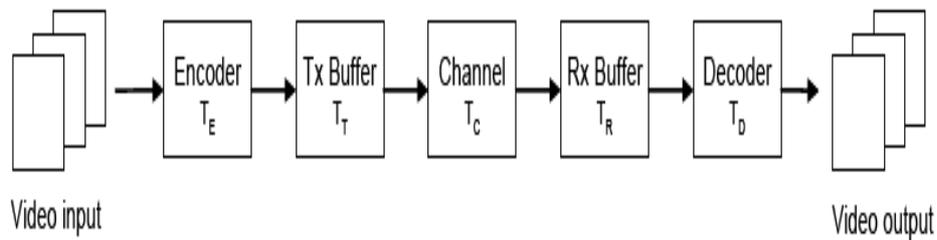


Figura 13: Sistema de transmissão de vídeo.

### 3.3.2 Projeto Exibe – TV PUC Campinas

O projeto Exibe da TV PUC Campinas consiste da implantação de um sistema de geração e distribuição de fluxo contínuo de vídeo, utilizando tecnologia *IPTV*, através de um “backbone” de fibras óticas e de redes sem fio, em seu ambiente interno ou através da Internet.

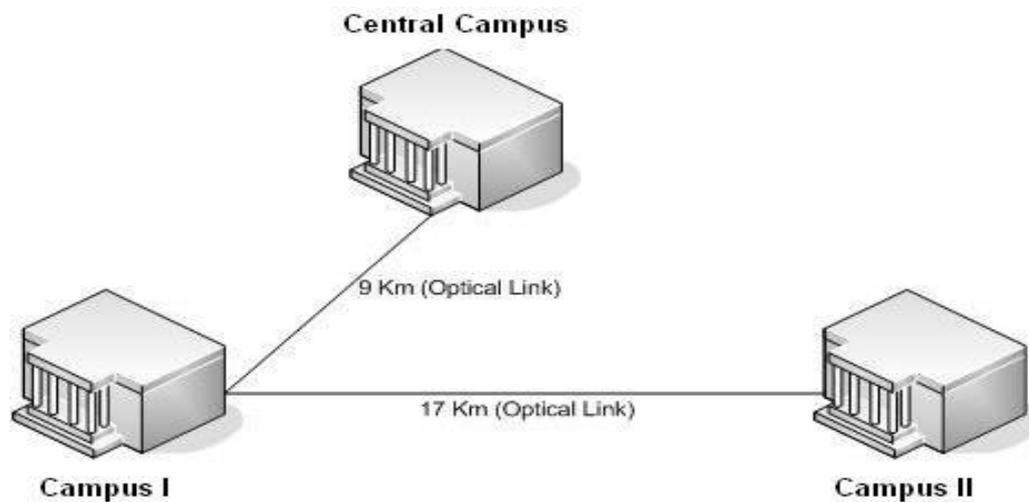


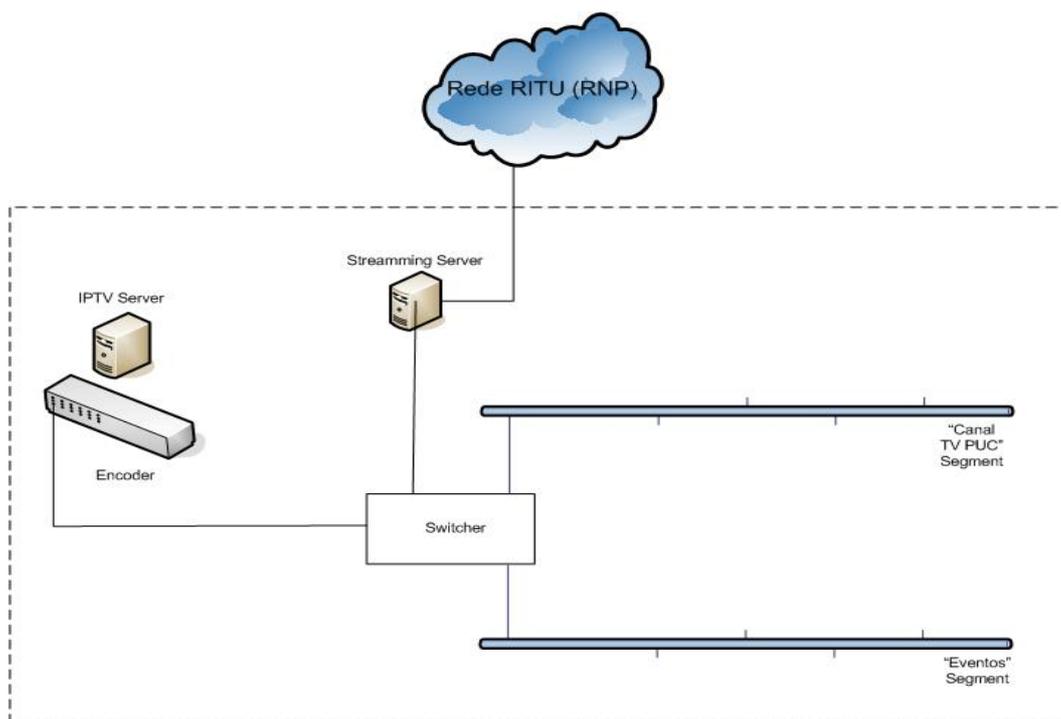
Figura 14: Enlaces óticos - PUC Campinas





### Campus II

Figura 16: Pontos de exibição de IPTV no Campus II.



Laboratório de Produção de Conteúdo - TV PUC

Figura 17: Segmentos de Distribuição do Vídeo.

O objetivo da PUC Campinas é encorajar a geração de programação de TV, com forte colaboração de alunos e professores, de todos os cursos,

com o desenvolvimento de pesquisa e projetos educacionais, através de uma grande classe de aplicações emergentes desta tecnologia.



**Figura 18: Transmissão de uma cirurgia entre hospitais ou para alunos de medicina.**

A segunda fase da implantação do Projeto Exibe prevê a distribuição do vídeo através de redes locais sem fio, que pudessem ser acessadas através de dispositivos móveis espalhados pela Universidade.

### **3.4 Emulador de Rádio Frequência**

A análise e caracterização do funcionamento de uma rede sem fio eficiente pode ser testada, se criarmos um ambiente experimental em laboratório, onde seja possível fazer uma completa identificação do canal e dos fenômenos de propagação. O controle desses fenômenos deve ser requisito básico para se ter condições de investigar o desempenho dessas redes.

O desempenho de uma rede sem fio está fortemente condicionado às condições de propagação. Para operar principalmente em ambientes internos, é muito importante executar testes de transmissão nessas condições com diversos tipos de aplicações e serviços, como VoIP e IPTV. Embora, seja extremamente difícil analisar transmissões feitas diretamente no ar.

Respeitando todos esses requisitos e imposições técnicas, o laboratório LPSIRA da PUC-Campinas, desenvolveu um projeto que teve como objetivo a criação de um eficiente emulador de canal de rádio frequência. Nele um sinal de RF pode ser confinado em um cabo coaxial, criando um ambiente controlado, permitindo a investigação das características de uma rede sem fio, através de testes experimentais. (GOES, 2006).

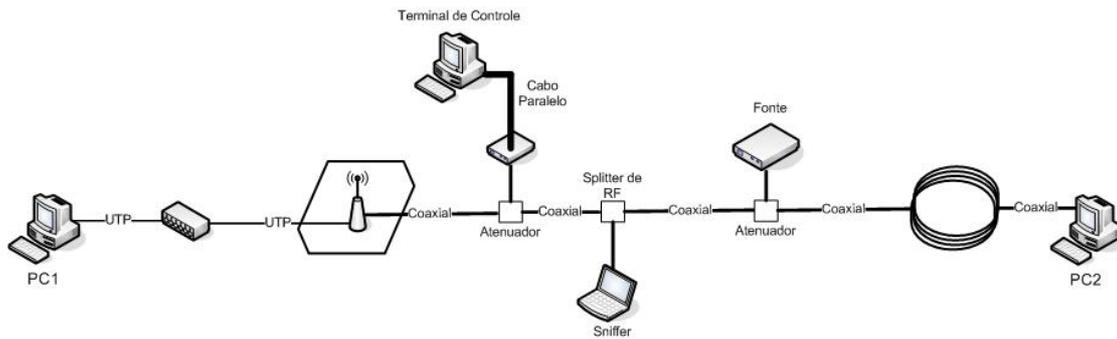
É importante ressaltar a importância de dois elementos essenciais dessa arquitetura: uma chave atenuadora regulada por um conversor digital/analógico, que pode ser controlado por sinais enviados por meio da porta paralela de um computador pessoal (PC) e um atenuador variável de rádio frequência com controle de voltagem manual.

### **3.4.1 A Bancada de Emulação**

A Figura 19 apresenta a estrutura da Bancada de Emulação, onde um conversor digital/analógico, ligado à porta paralela de uma máquina: Terminal de Controle, que transmite uma seqüência de bits que corresponde a um nível de tensão. Esses valores são reproduzidos, gerando sinais alternados que emulam efeitos de distorção e atenuação na transmissão.

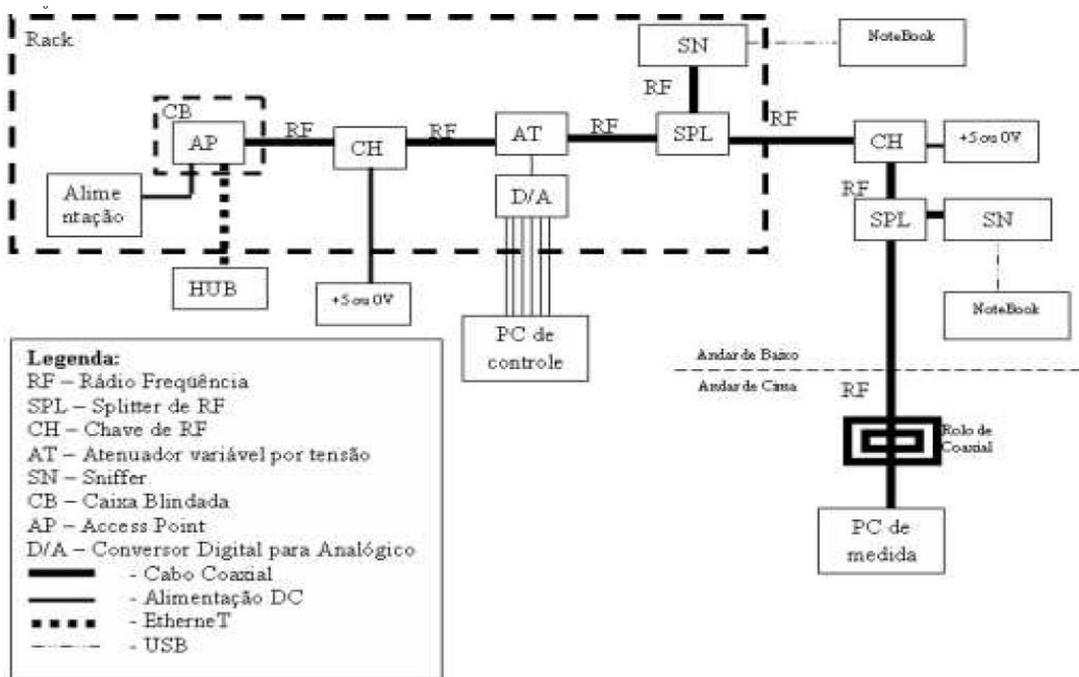
Por meio de um cartão de rede sem fio, o computador PC1 está conectado ao Ponto de Acesso (*Access Point* - AP), que se encontra heméricamente confinado em uma caixa blindada, que tem seu sinal irradiado/transmitido por meio de um cabo coaxial. O atenuador atua no envelope desses sinais de RF que serão recebidos pela outra máquina (PC2). (GOES, 2006).

Neste emulador, os fenômenos de propagação encontrados em transmissões realizadas em ambientes internos podem ser emulados; como por exemplo o *Flat Fast Fading*. Esse fenômeno pôde ser analisado, por meio de medidas coletadas em ambiente real, que representam uma distribuição de Weibull, com valor particular para o “*fator de forma*” igual a 2, sendo também caracterizada como uma distribuição de Rayleigh. (BUSSOLINI, 2007).



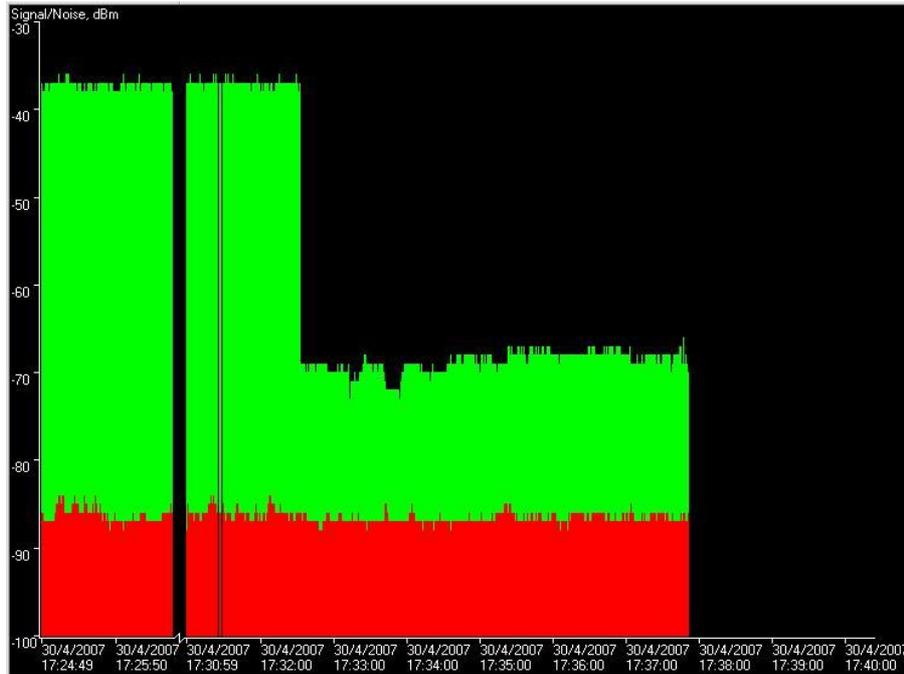
**Figura 19: O Emulador de RF**

A Figura 20 apresenta o projeto da bancada de emulação de sinais de rádio frequência. (FERREIRA, 2007).

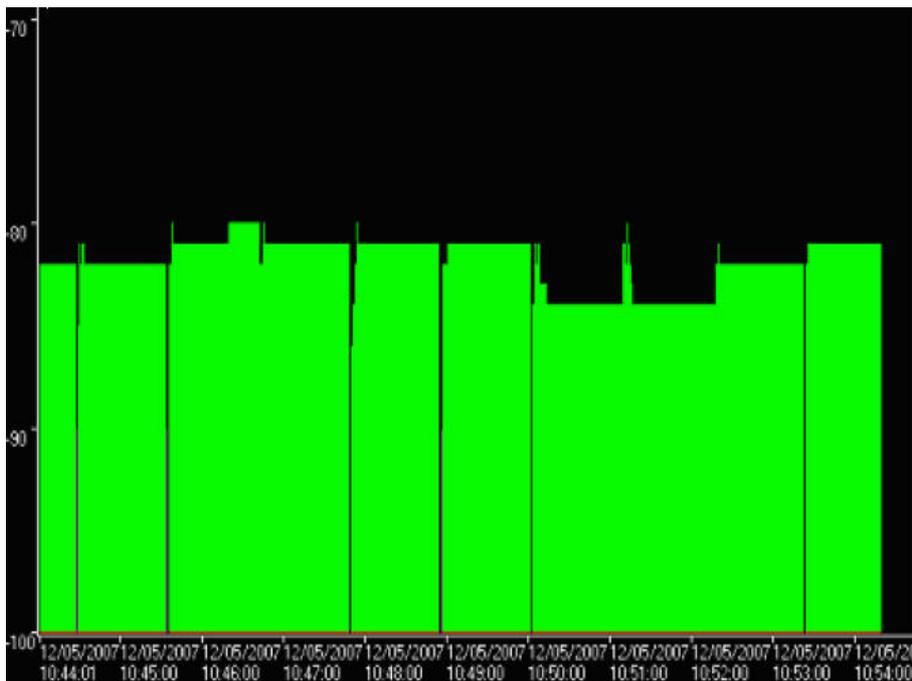


**Figura 20: Diagrama de Blocos da Bancada de Emulação.**

Com a ação dos atenuadores é possível variar a potência do sinal em uma faixa na qual podemos interromper a transmissão de vídeo de uma máquina para outra.



**Figura 21: Valores de potência de sinal em Envelopes Máximo e Mínimo no padrão 802.11b.**

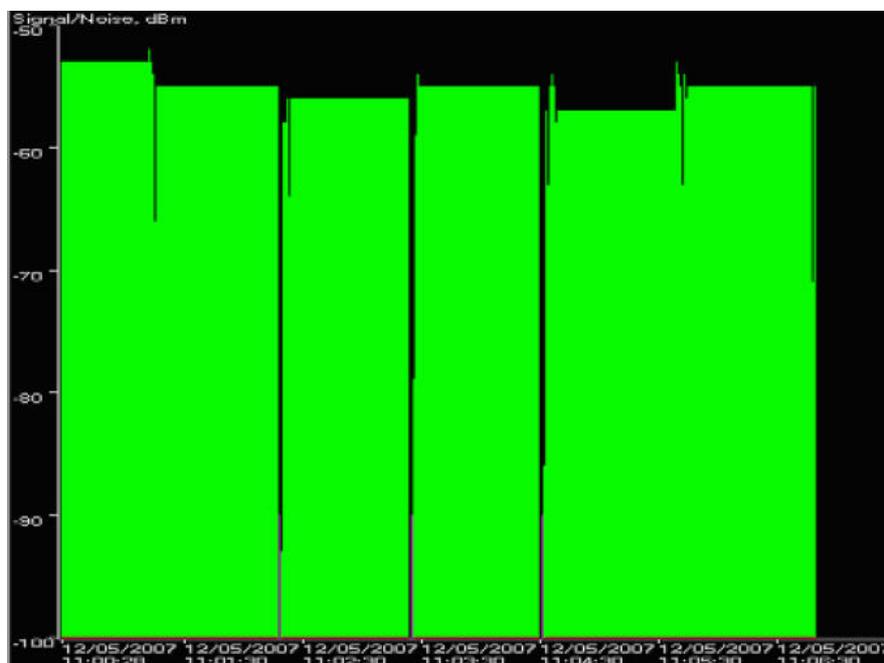


**Figura 22: Valores de potência de sinal em Envelope Mínimo no padrão 802.11g.**

Para a simulação dos cenários estudados nesse trabalho, ficou decidido que o sinal deveria ser configurado para um valor de envelope máximo que permitisse a transmissão de vídeo entre as estações sem

interrupções. Essa decisão deixou evidente que a configuração em envelope mínimo teria uma transmissão de vídeo deteriorada pelas condições do sinal.

Os valores de potência com a configuração em envelope máximo e mínimo utilizados nas transmissões, para os padrões 802.11b e 802.11g, são apresentados nas Figuras 21, 22 e 23.



**Figura 23: Valores de potência de sinal em envelope máximo no padrão 802.11g.**

Como a bancada de emulação transmite o sinal de RF irradiado pelo AP através de um cabo coaxial, esse sinal tem a tendência de sofrer naturalmente um número pequeno de atenuações, e é exatamente nesse ponto que entram os atenuadores que causarão perturbações no sinal de maneira controlada. Além da atenuação causada pelos atenuadores, existe também uma atenuação causada pelo comprimento do cabo coaxial, que possui um comprimento de aproximadamente 100 metros.

## 4 – AVALIAÇÃO DA TRANSMISSÃO DE FLUXO CONTÍNUO DE VÍDEO EM REDES IP SEM FIO - PADRÃO 802.11B E 802.11G

Neste capítulo serão descritos os cenários de testes, metodologias e ferramentas utilizadas na avaliação da transmissão de fluxo contínuo de vídeo em redes sem fio padrão 802.11b e 802.11g, utilizando a Bancada de Emulação. Essa avaliação foi desenvolvida através da medição da taxa de perda de pacotes, atraso e variação da velocidade da rede.

### 4.1 As Transmissões de Vídeo

As transmissões foram realizadas com o software “VideoLAN – VLC” que é destinado a transporte de fluxo contínuo de vídeo em formato MPEG em redes de grande largura de banda, conforme descrito no Capítulo 3.

O fluxo contínuo de vídeo foi transmitido entre as máquinas PC1 e PC2, sendo uma configurada em modo cliente e outra em modo servidor, conforme exemplificado nas figuras 24 e 25.

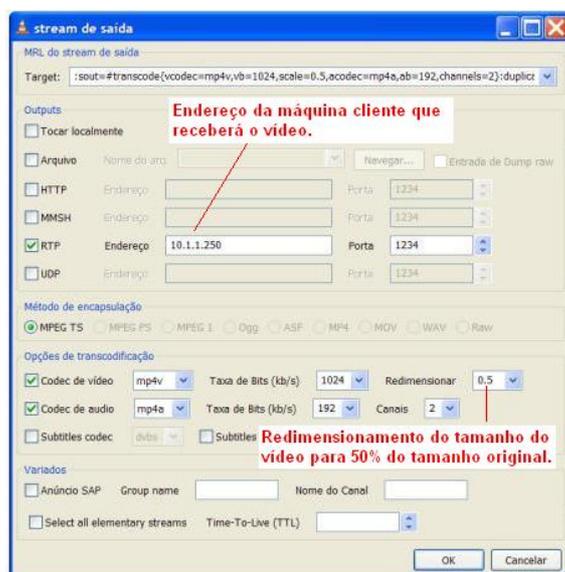


Figura 24: Configuração do software VLC em modo servidor

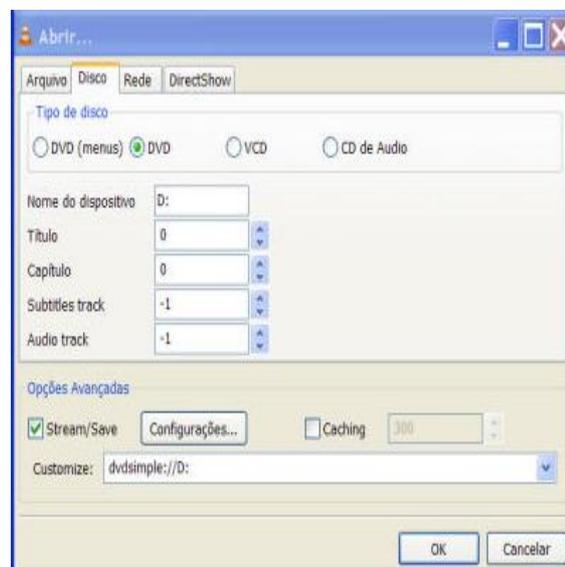


Figura 25: Configuração do software VLC em modo cliente

## 4.2 Os Cenários de Teste

Foram propostos seis cenários de testes sendo estes repetidos para cada tecnologia de rede e variação do canal com o intuito de avaliar qual rede tem melhor comportamento em uma transmissão de vídeo.

Nesses cenários é feita a distribuição de fluxo contínuo de vídeo de um servidor para o cliente e as condições controladas são: variação do nível da portadora com e sem a existência de tráfego UDP concorrente.

1. Transporte de vídeo com Envelope Máximo;
2. Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP concorrente;
3. Transporte de vídeo com Envelope Mínimo;
4. Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente;
5. Transporte de vídeo com variação da portadora;
6. Transmissão de vídeo com variação da portadora e Tráfego UDP concorrente;

## 4.3 A Análise do Tráfego

A análise das medidas foi realizada através do software *Wireshark*, que é um analisador de protocolos, utilizado para pesquisa e investigação de problemas, análises, desenvolvimento de softwares e protocolos. (WIRESHARK, 2007).

As capturas de tráfego com as informações necessárias para a análise foram coletadas utilizando intervalos de aproximadamente dois minutos de transmissão. Esse tempo resultou em um total aproximado de 12600 medidas para cada um dos cenários. Essas medidas foram coletadas com o uso de uma máquina introduzida na rede através de um splitter de RF conectado ao cabo coaxial, simulando uma captura de tráfego de rede através de um sniffer: *Wireshark*, em uma rede sem fio pelo ar. (TAYLOR, 2001).

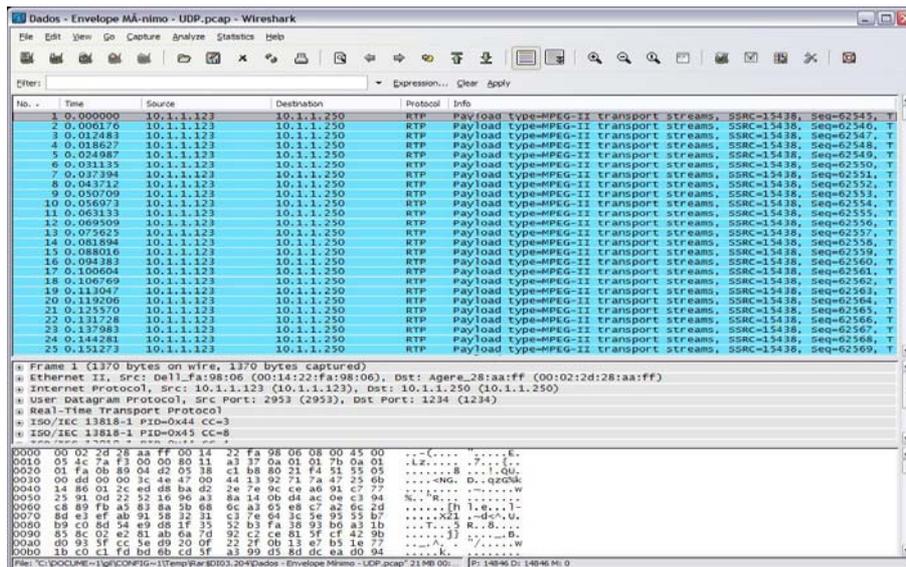


Figura 26: Captura de tráfego de rede com o uso do *Wireshark*.

#### 4.4 A Adição de Tráfego Concorrente

Além da transmissão de fluxo contínuo de vídeo, foi adicionado um tráfego UDP concorrente para verificarmos o comportamento dos dois padrões em estudo.

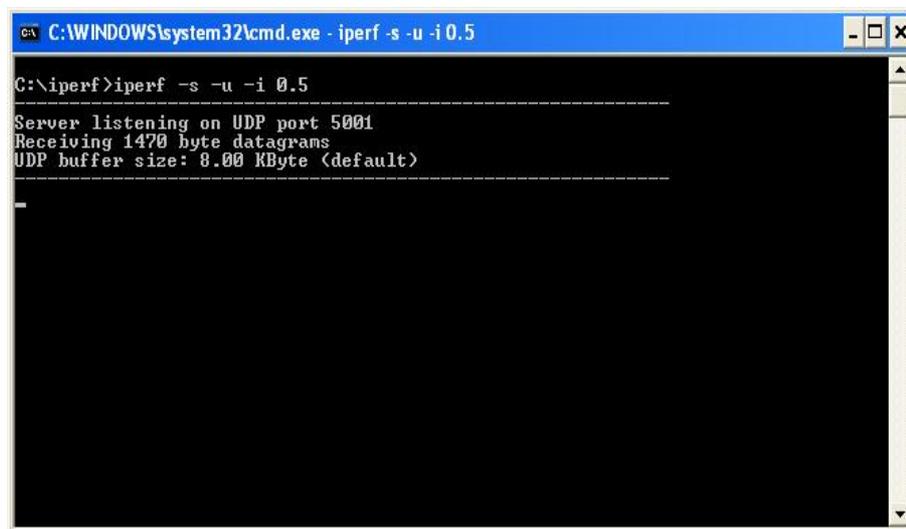
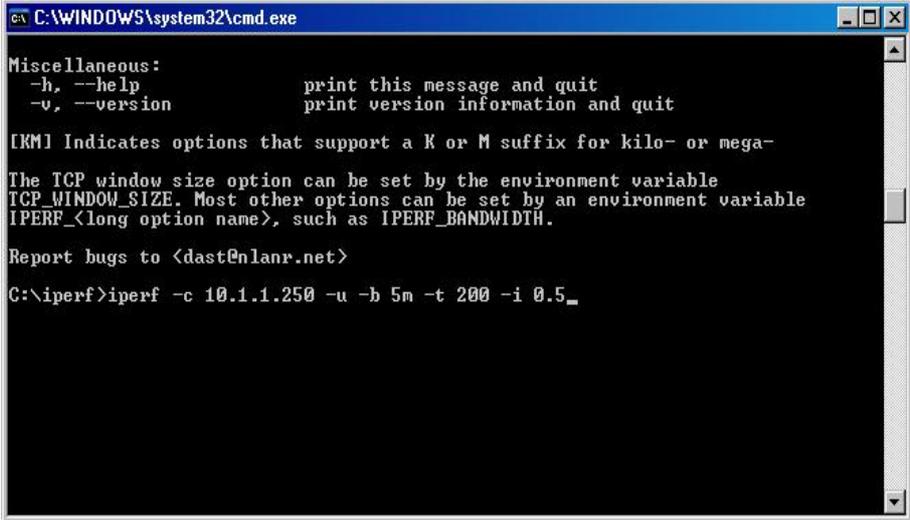


Figura 27: Software *IPERF* para geração de tráfego UDP concorrente em modo servidor.

Para tal utilizamos uma ferramenta de medida de desempenho de rede chamada *Iperf*. Esta ferramenta permite ao usuário configurar

diversos parâmetros que podem ser utilizados para um teste de rede. (TIRUMALA, 2006).



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

Miscellaneous:
-h, --help           print this message and quit
-v, --version       print version information and quit

[KM] Indicates options that support a K or M suffix for kilo- or mega-

The TCP window size option can be set by the environment variable
TCP_WINDOW_SIZE. Most other options can be set by an environment variable
IPERF_<long option name>, such as IPERF_BANDWIDTH.

Report bugs to <dast@nlanr.net>

C:\iperf>iperf -c 10.1.1.250 -u -b 5m -t 200 -i 0.5_
```

Figura 28: Software IPERF para geração de tráfego UDP concorrente em modo cliente.

## 5 – ANÁLISES E RESULTADOS

O objetivo desse capítulo é mostrar o comportamento da transmissão de fluxos contínuos de vídeo nas redes sem fio em estudo. Para cada um dos cenários propostos, foram realizados testes, cujos resultados são mostrados em gráficos de atraso (*jitter*), variação de velocidade e perda de pacotes.

Analisaremos a seguir as características das transmissões de fluxo contínuo de vídeo, para os padrões de rede sem fio 802.11b e 802.11g.

### 5.1 CENÁRIO 1: Transporte de vídeo com Envelope Máximo

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede sem fio com o sinal da portadora máximo, e toda a banda disponível para a transmissão do fluxo contínuo de vídeo.

#### 5.1.1 Padrão IEEE 802.11b

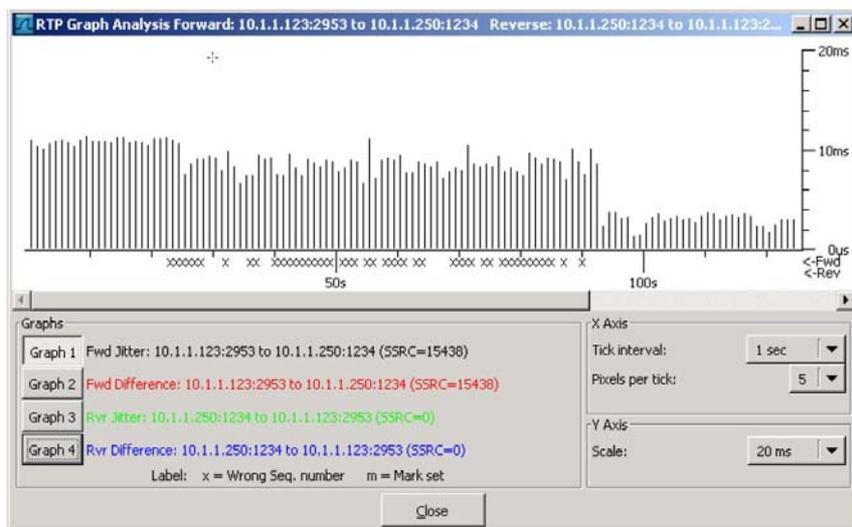


Figura 29: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Jitter

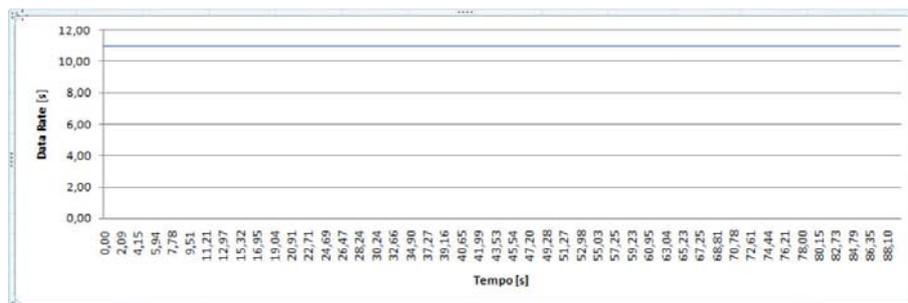


Figura 30: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Variação da Velocidade.

Essa situação ilustra o que acontece com o vídeo quando o sinal é transmitido sem concorrência, e o receptor se situa na zona próxima a fonte do sinal.

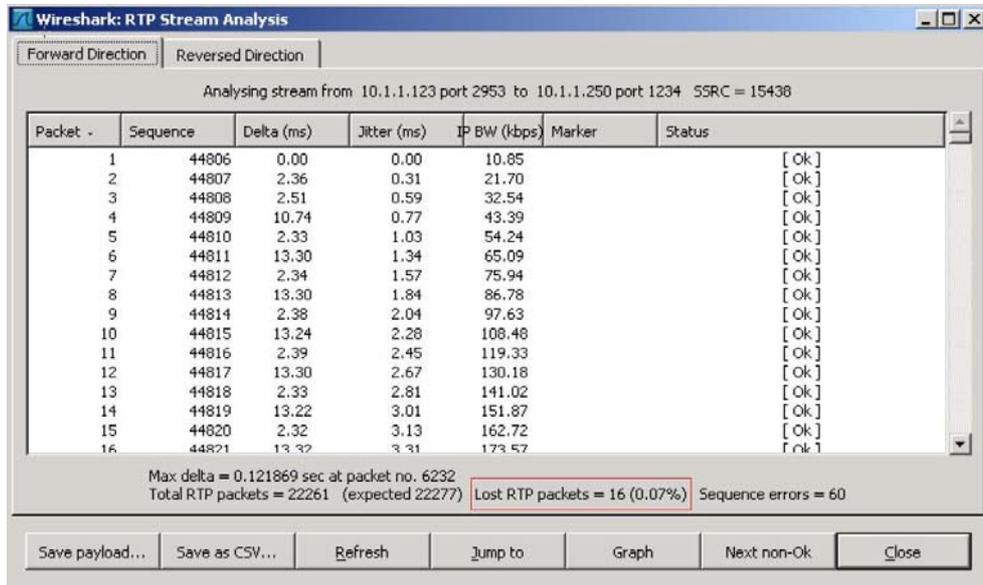


Figura 31: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Perda de Pacotes.

### 5.1.2 Padrão IEEE 802.11g

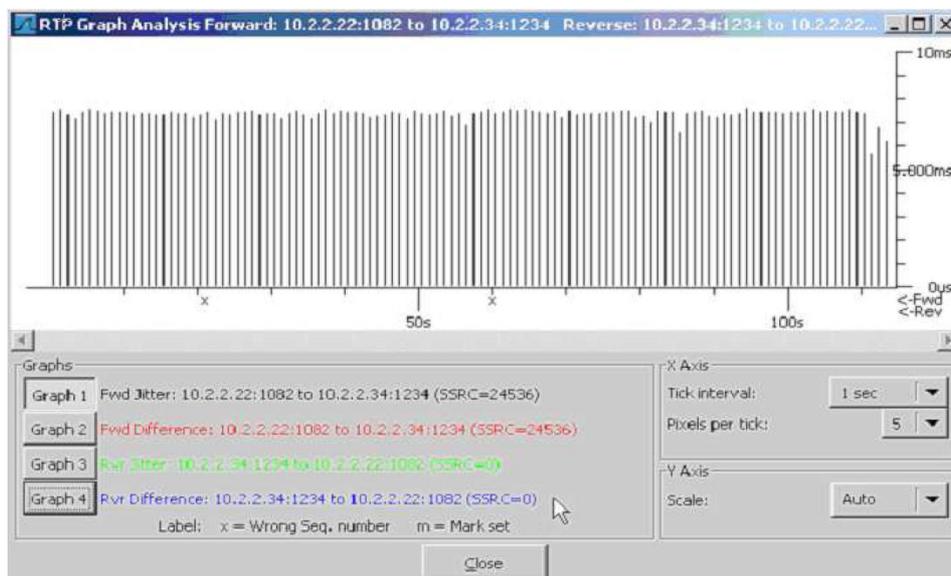


Figura 32: Transporte de vídeo com Envelope Máximo – Jitter.

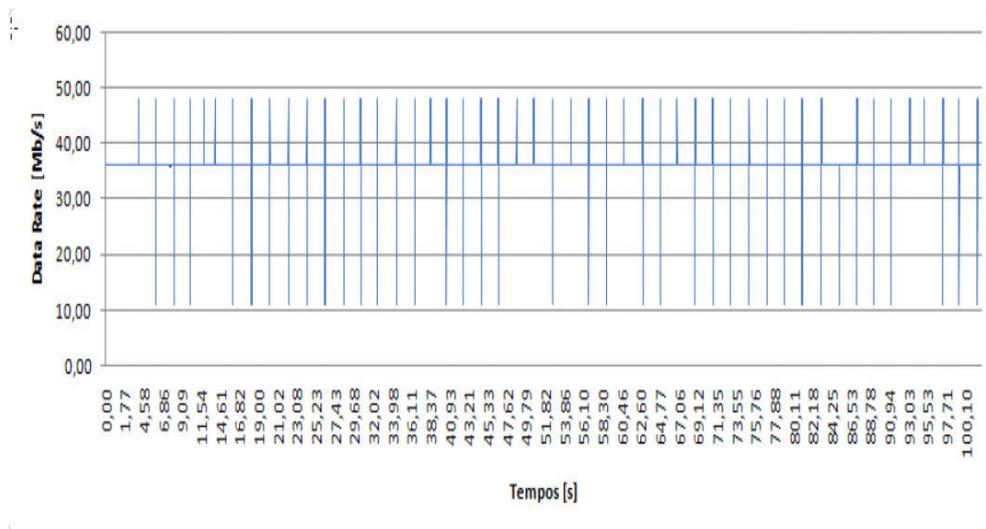


Figura 33: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Variação da Velocidade.

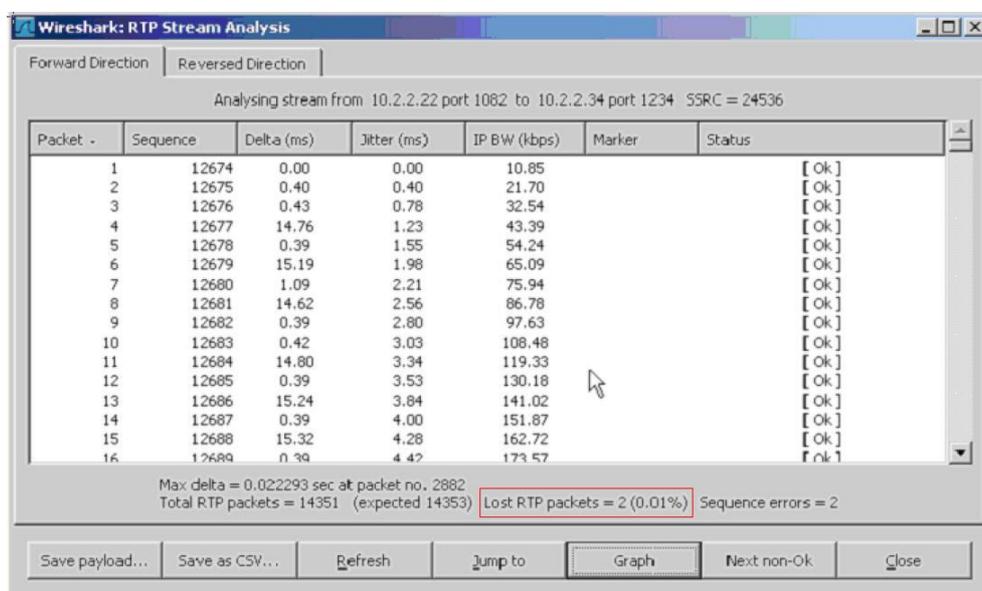


Figura 34: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Perda de Pacotes.

### 5.1.3 Resultados

Nesse cenário os dois padrões terão um comportamento parecido nos aspectos relacionados à perda de pacotes, jitter e variação da velocidade.

## 5.2 CENÁRIO 2: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede sem fio com o sinal da portadora assumindo o valor mínimo, porém, a banda toda está disponível para a transmissão do fluxo contínuo de vídeo. Essa situação ilustra o que acontece com o vídeo quando o sinal é transmitido, sem concorrência, e o receptor se situa na zona próxima ao fim do alcance do sinal.

### 5.2.1 Padrão IEEE 802.11b

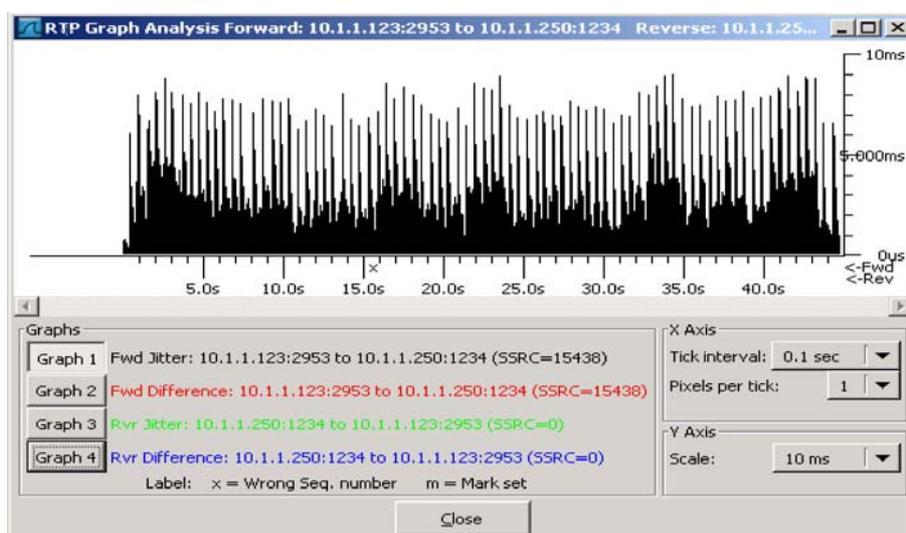


Figura 35: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo – Jitter.

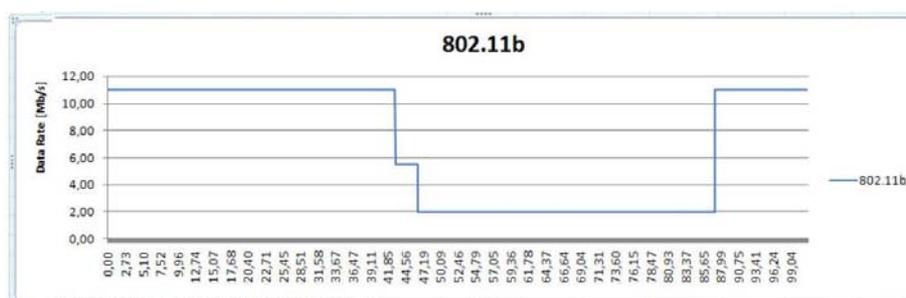


Figura 36: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo - Variação da Velocidade.

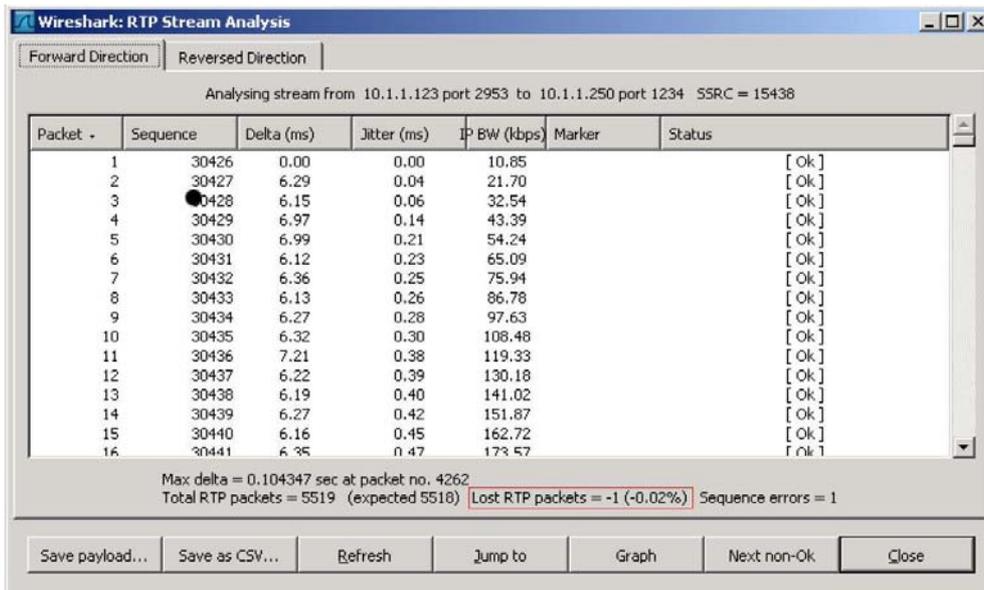


Figura 37: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo - Perda de Pacotes.

## 5.2.2 Padrão IEEE 802.11g



Figura 38: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo – Jitter;

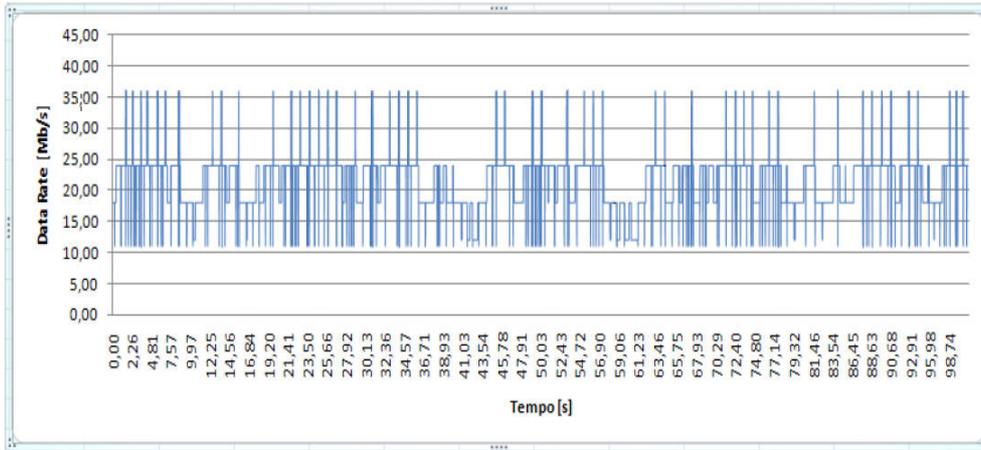


Figura 39: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo – Variação da Velocidade.

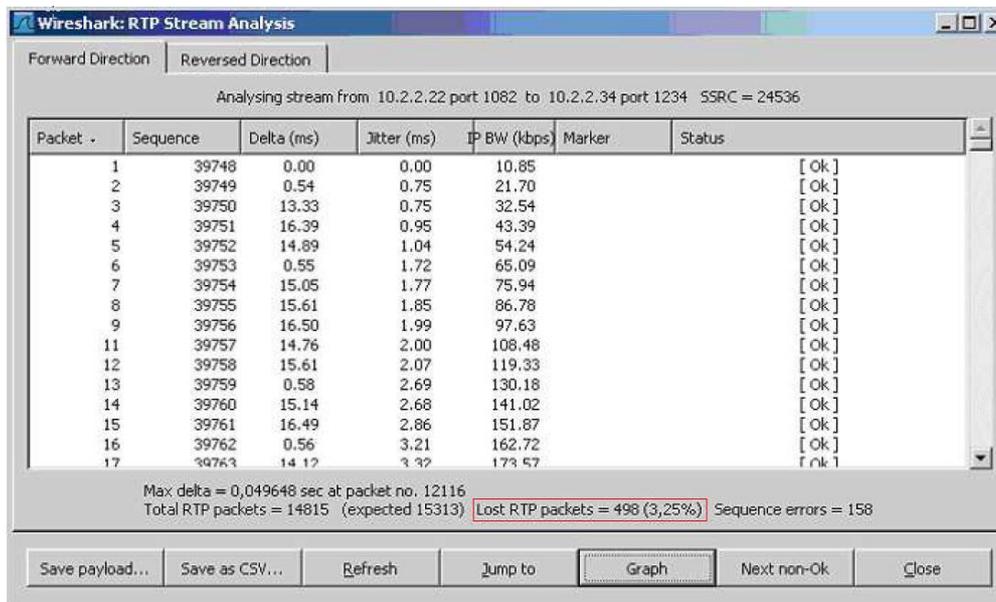


Figura 40: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo – Perda de Pacotes.

### 5.2.3 Resultados

Neste cenário o padrão 802.11b teve uma redução drástica na velocidade da rede e uma variação do atraso um pouco maior, mas continuou com uma taxa pequena de pacotes perdidos.

Por outro lado, o padrão 802.11g teve como destaque o aumento da taxa de pacotes perdidos, mas a transmissão seguiu com intensa busca por recuperação da velocidade e pequena variação do jitter.

### 5.3 CENÁRIO 3: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP concorrente

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede sem fio com o sinal da portadora máximo, e a banda está compartilhada com um tráfego concorrente. Utilizando a ferramenta IPERF, a largura de banda de cada rede foi ocupada em 50% com o tráfego concorrente. (NETSTUMBLER, 2007). Essa situação ilustra o que acontece com o vídeo quando o sinal é transmitido, possui concorrência, e o receptor se situa na zona próxima a fonte do sinal.

#### 5.3.1 Padrão IEEE 802.11b

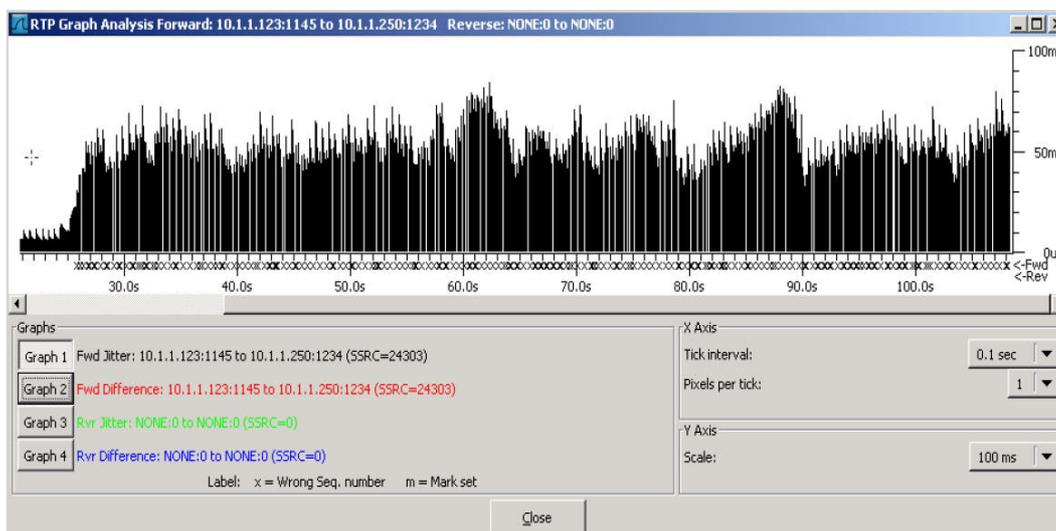


Figura 41: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP Concorrente – Jitter.

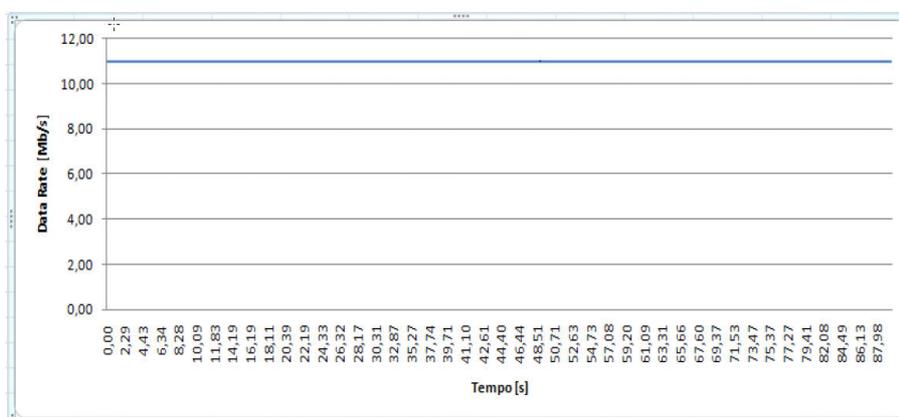


Figura 42: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP - Variação da Velocidade.

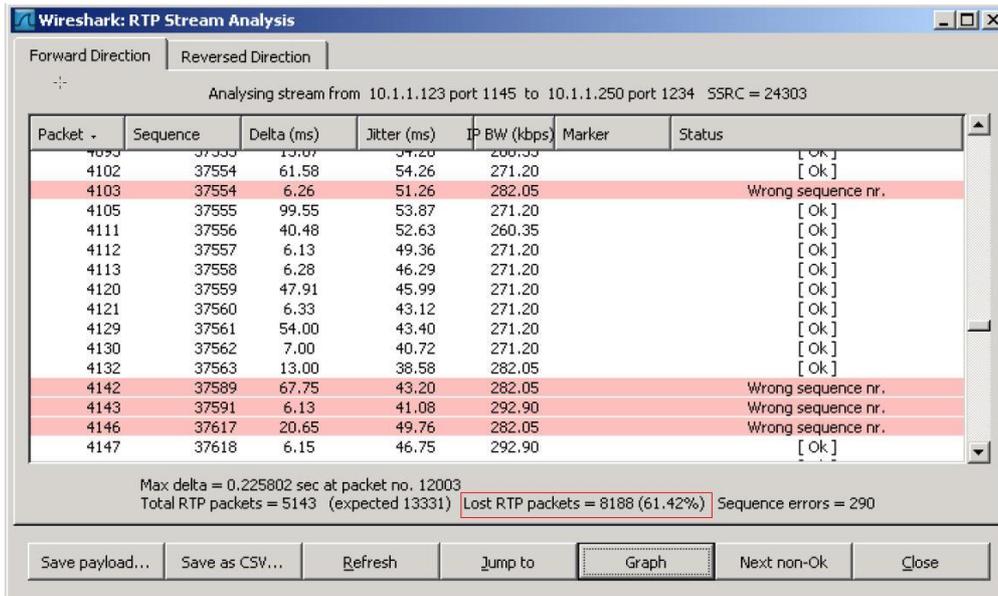


Figura 43: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP - Perda de Pacotes.

### 5.3.2 Padrão IEEE 802.11g

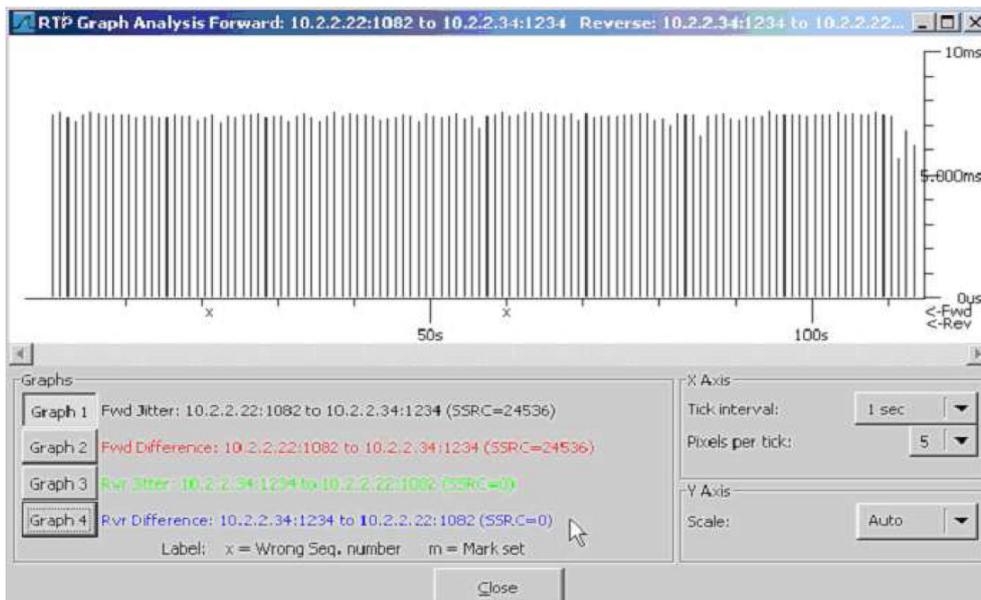


Figura 44: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP concorrente - Jitter.

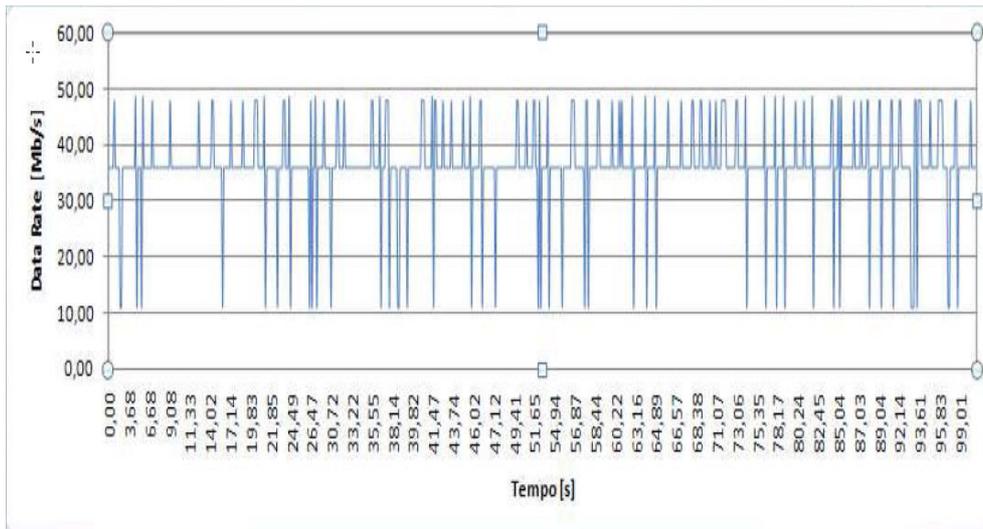


Figura 45: Transporte de vídeo com Envelope Máximo e Tráfego UDP concorrente – Variação da Velocidade.

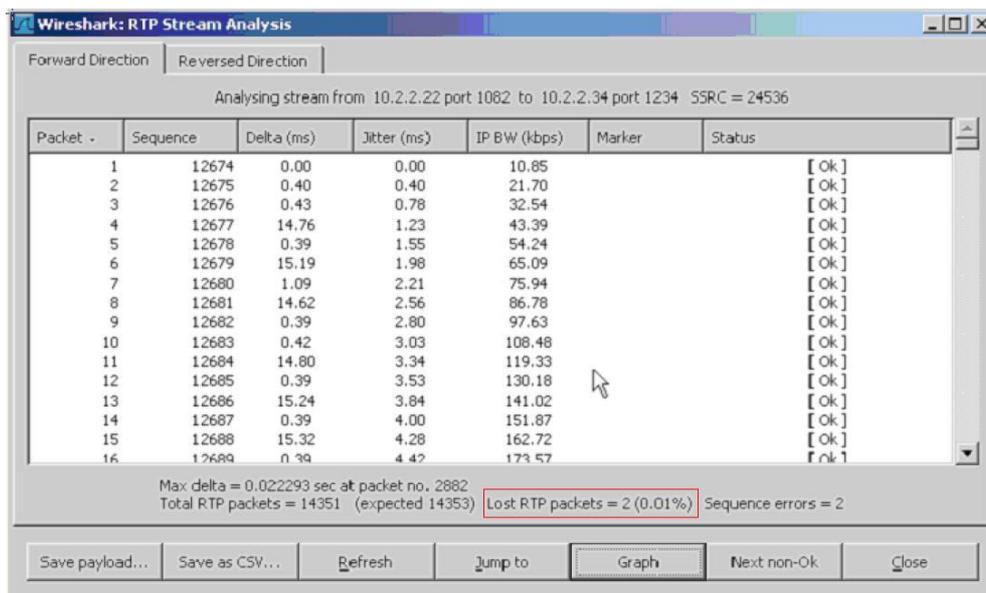


Figura 46: Transporte de vídeo com Envelope Máximo - Perda de Pacotes.

### 5.3.3 Resultados

O comportamento do padrão 802.11g foi muito superior ao padrão 802.11b que apresentou valores maiores de jitter e uma grande quantidade de pacotes perdidos, tendo sido estimado o percentual de perdas em: 61,42%.

## 5.4 CENÁRIO 4: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede *wireless* com o sinal da portadora mínimo, e a banda está compartilhada com um tráfego concorrente. Utilizando a ferramenta IPERF, a largura de banda de cada rede foi ocupada em 50% com o tráfego concorrente. (NETSTUMBLER, 2007).

### 5.4.1 Padrão IEEE 802.11b

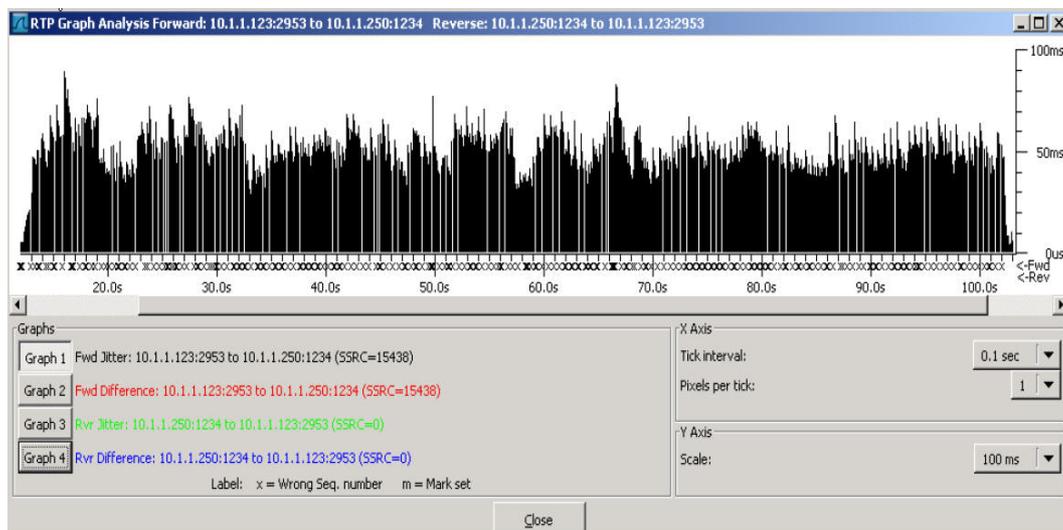


Figura 47: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente-Jitter.

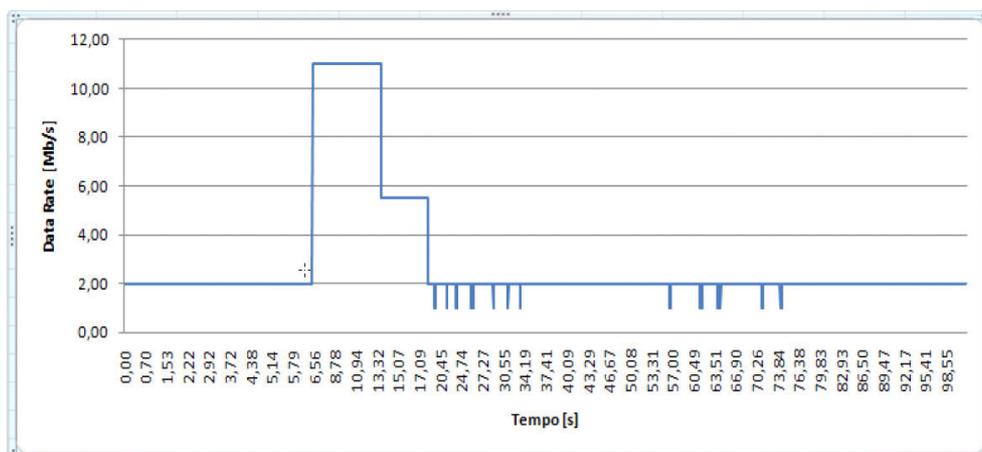


Figura 48: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente-Variação da Velocidade.

Essa situação ilustra o que acontece com o vídeo quando o sinal é transmitido, possui concorrência e o receptor se situa na zona próxima ao fim do alcance do sinal.

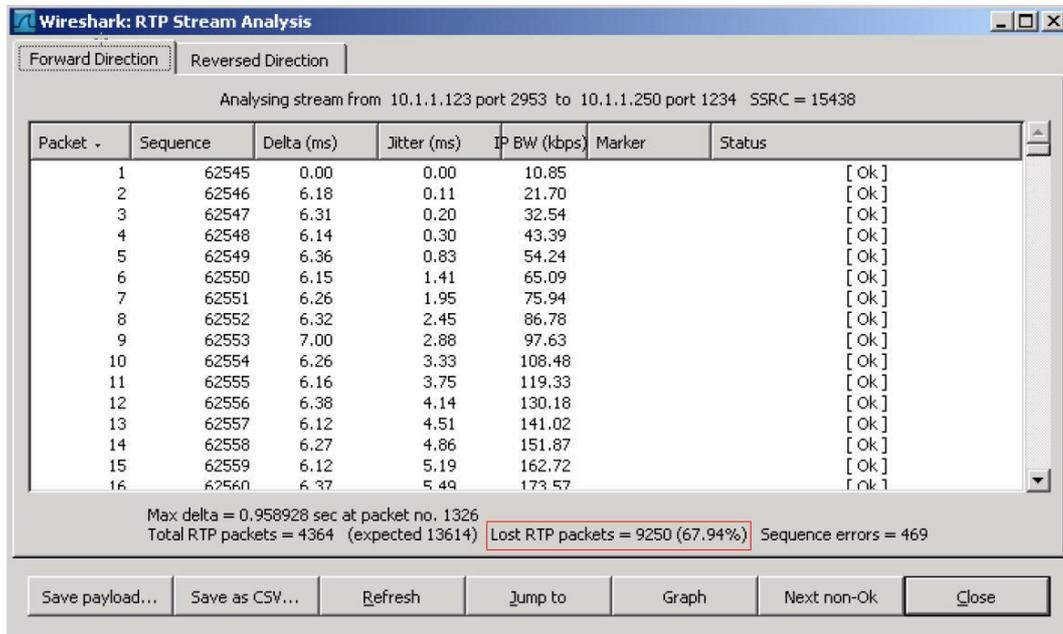


Figura 49: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente-Perda de Pacotes.

### 5.4.2 Padrão IEEE 802.11g

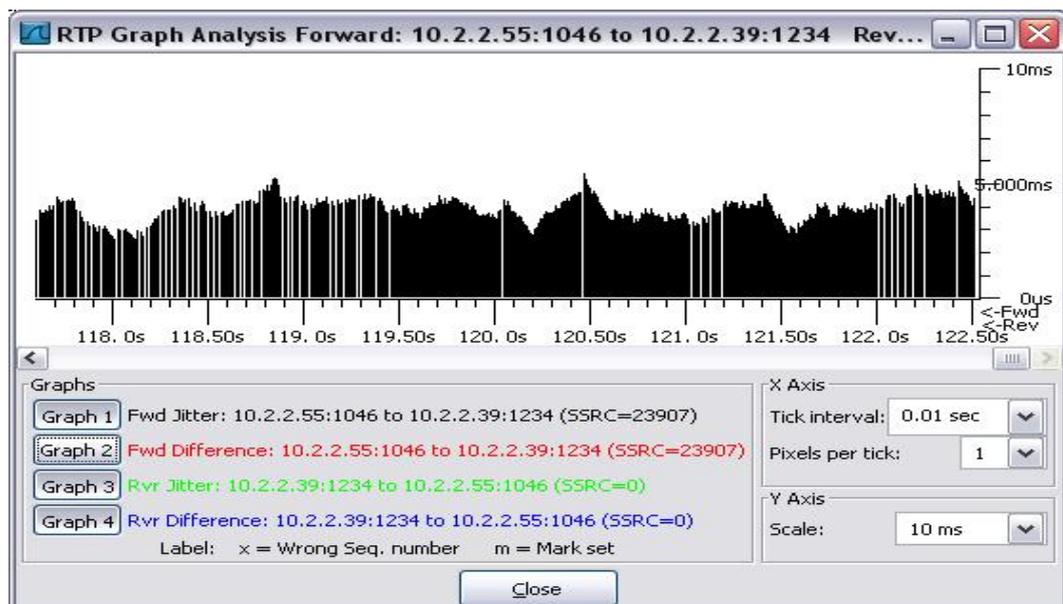
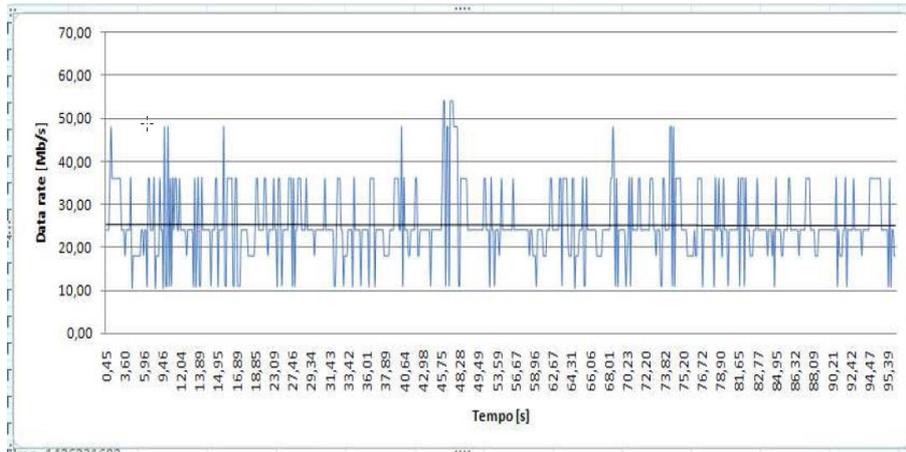
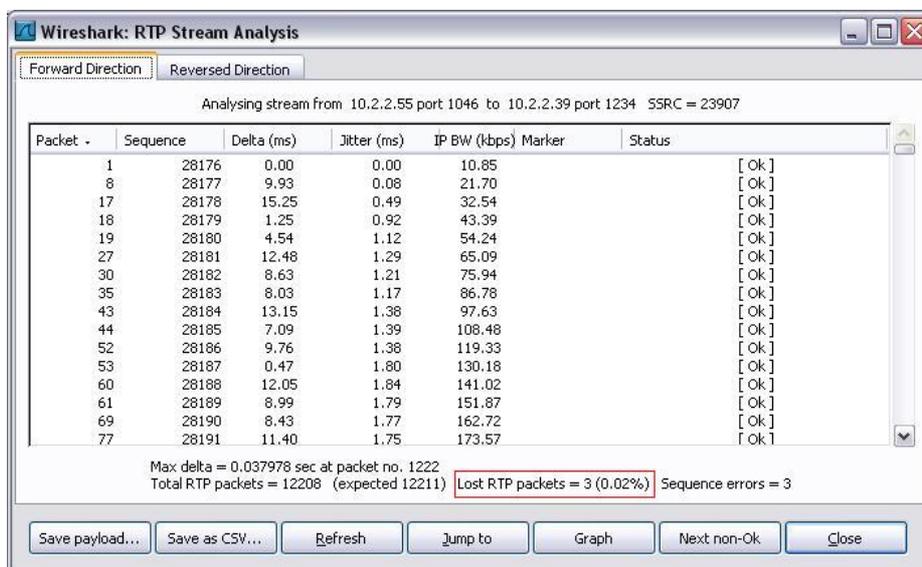


Figura 50: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente – Jitter



**Figura 51: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente – Variação da Velocidade.**



**Figura 52: Transporte de vídeo com Envelope Mínimo e Tráfego UDP concorrente – Perda de Pacotes.**

### 5.4.3 Resultados

Podemos destacar novamente a superioridade do comportamento do padrão 802.11g com uma pequena diminuição nos valores da velocidade e um aumento do jitter. O padrão 802.11b apresentou valores maiores de jitter, a velocidade chegou a 1.0 (Mbps) em determinados momentos e a taxa de pacotes perdidos chegou a 67,94%.

## 5.5 CENÁRIO 5: Transporte de vídeo com variação da Portadora

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede sem fio com o sinal da portadora variando conforme uma distribuição de Rayleigh, sem tráfego concorrente. Essa situação ilustra o que acontece com o vídeo quando o receptor é móvel em relação à fonte, porém, a banda é dedicada para a transmissão do fluxo contínuo de vídeo.

### 5.5.1 Padrão IEEE 802.11b

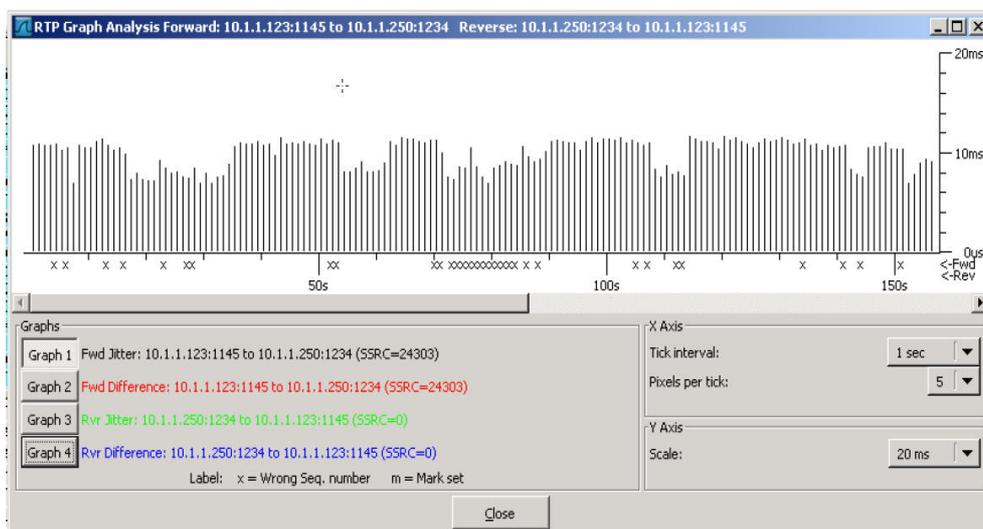


Figura 53: Transporte de vídeo com variação da portadora – Jitter.

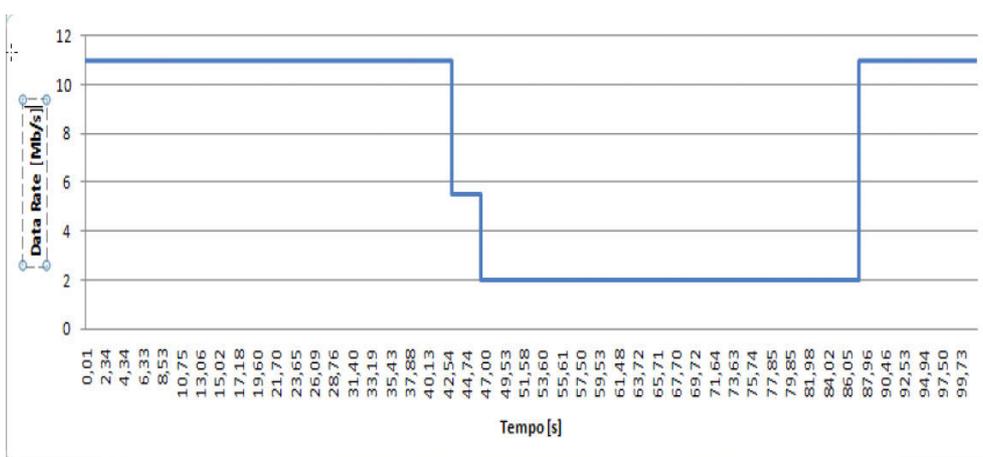


Figura 54: Transporte de vídeo com variação da portadora - Variação da Velocidade.

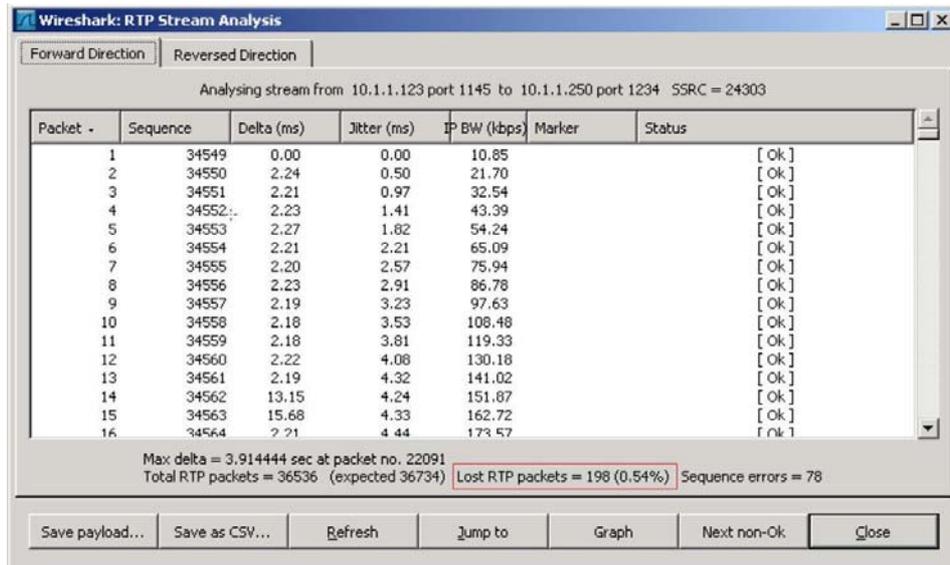


Figura 55: Transporte de vídeo com variação da portadora - Perda de Pacotes.

## 5.5.2 Padrão IEEE 802.11g

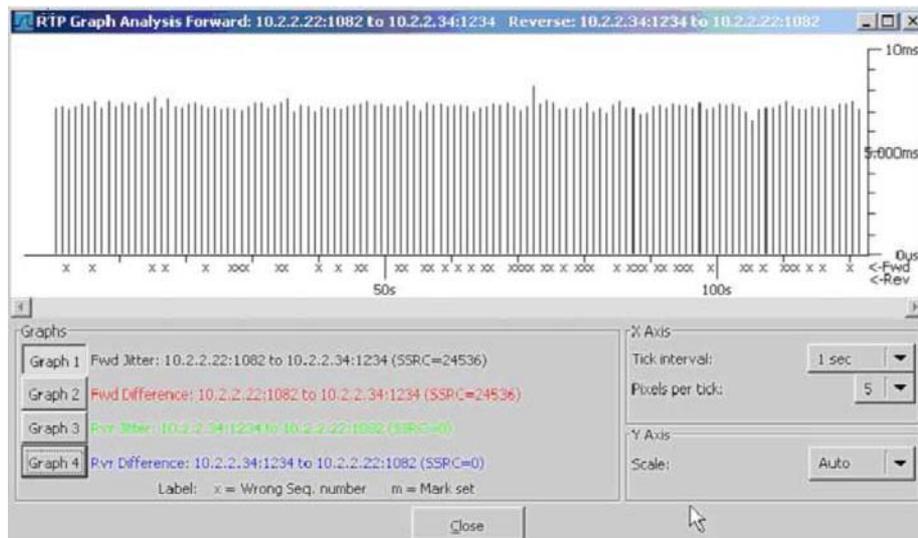


Figura 56: Transporte de vídeo com variação da portadora – Jitter.

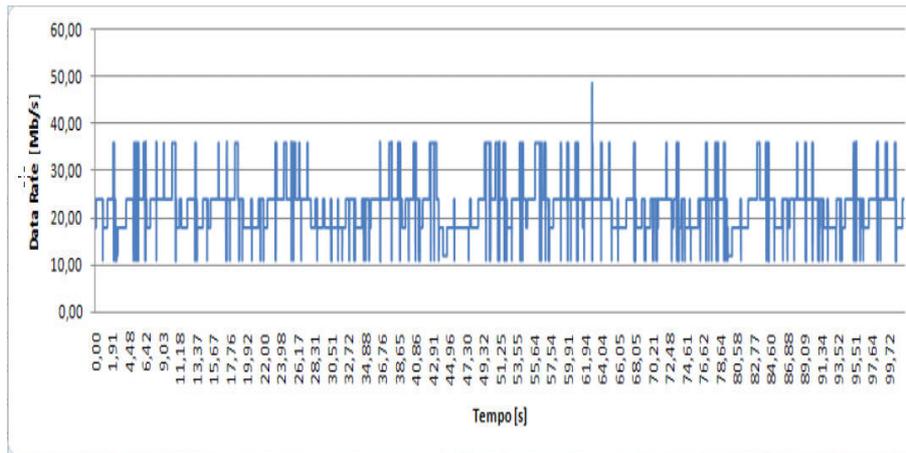


Figura 57: Transporte de vídeo com variação da portadora - Variação da Velocidade.

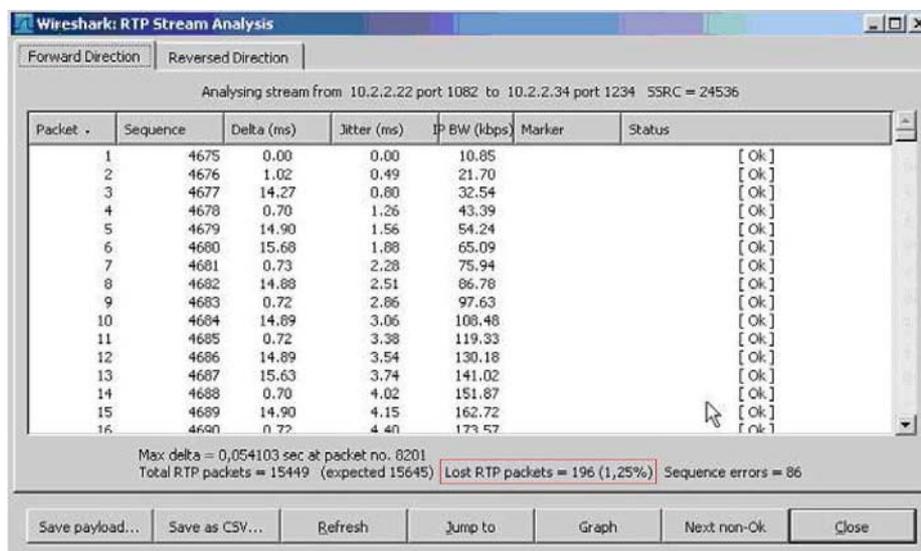


Figura 58: Transporte de vídeo com variação da portadora - Perda de Pacotes.

### 5.5.3 Resultados

Destacamos neste cenário um maior equilíbrio entre os dois padrões e assinalamos apenas o aspecto de variação da velocidade. O padrão 802.11b reduz a velocidade da rede de 11 para 2.0 (Mbps) mediante às variações do sinal da portadora não se recuperando ao longo da transmissão.

## 5.6 CENÁRIO 6: Transporte de vídeo com variação da Portadora e Tráfego UDP concorrente

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede sem fio com o sinal da portadora variando conforme uma distribuição de *Rayleigh*, com tráfego concorrente. Essa situação ilustra o que acontece com vídeo quando o receptor é móvel em relação à fonte, e a banda não é dedicada para a transmissão do fluxo contínuo de vídeo.

### 5.6.1 Padrão IEEE 802.11b

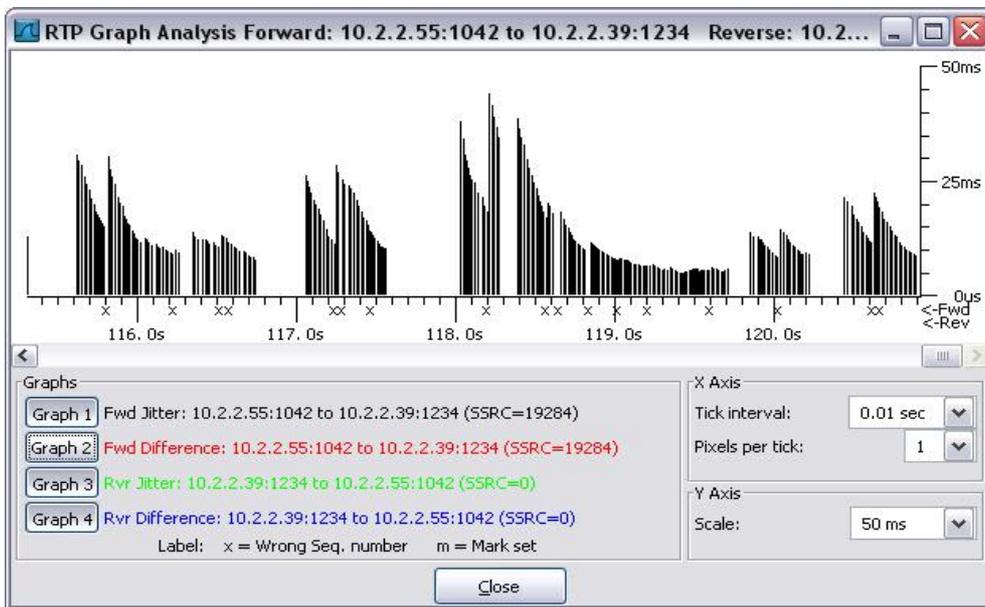


Figura 59: Transporte de vídeo com variação da portadora e Tráfego UDP concorrente - Jitter.

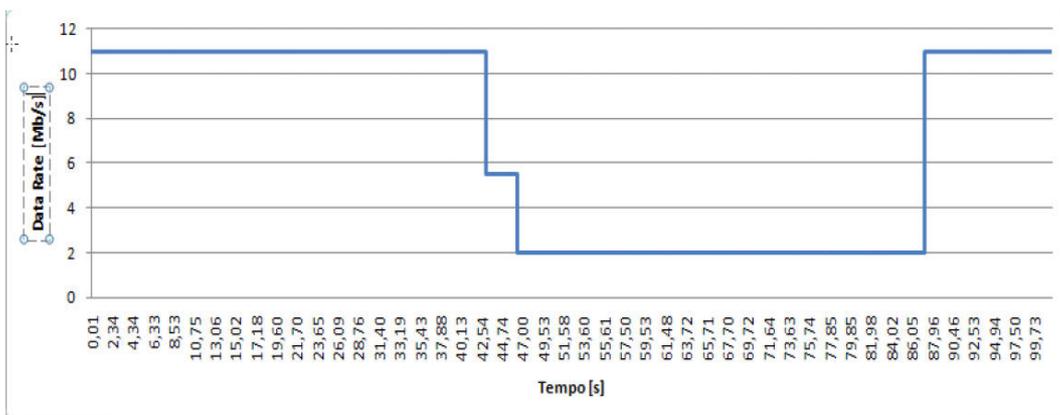


Figura 60: Transporte de vídeo com variação da portadora e Tráfego UDP concorrente - Variação da Velocidade.

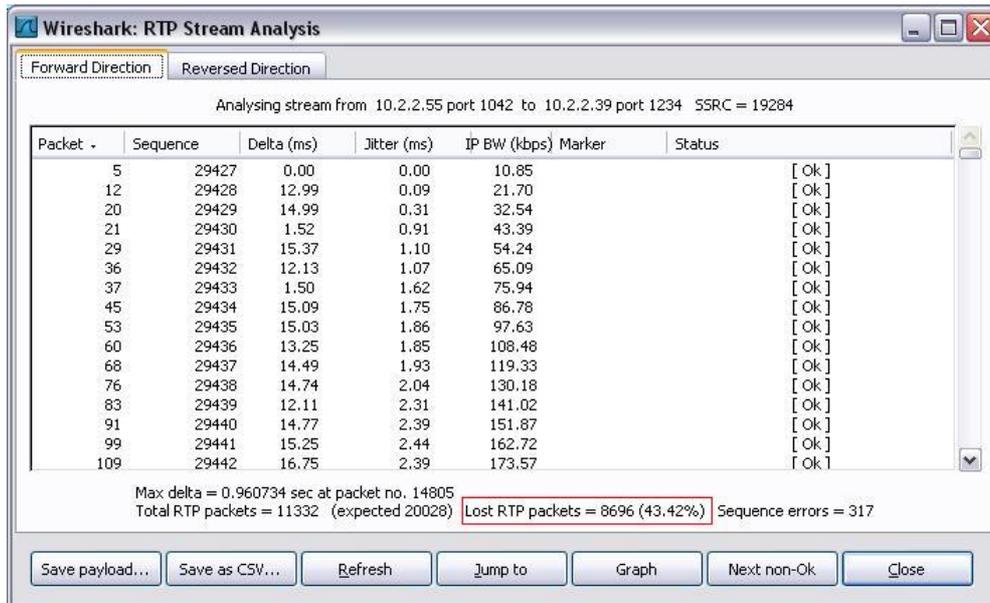


Figura 61: Transporte de vídeo com variação da portadora e Tráfego UDP concorrente – Perda de Pacotes.

### 5.6.2 Padrão IEEE 802.11g

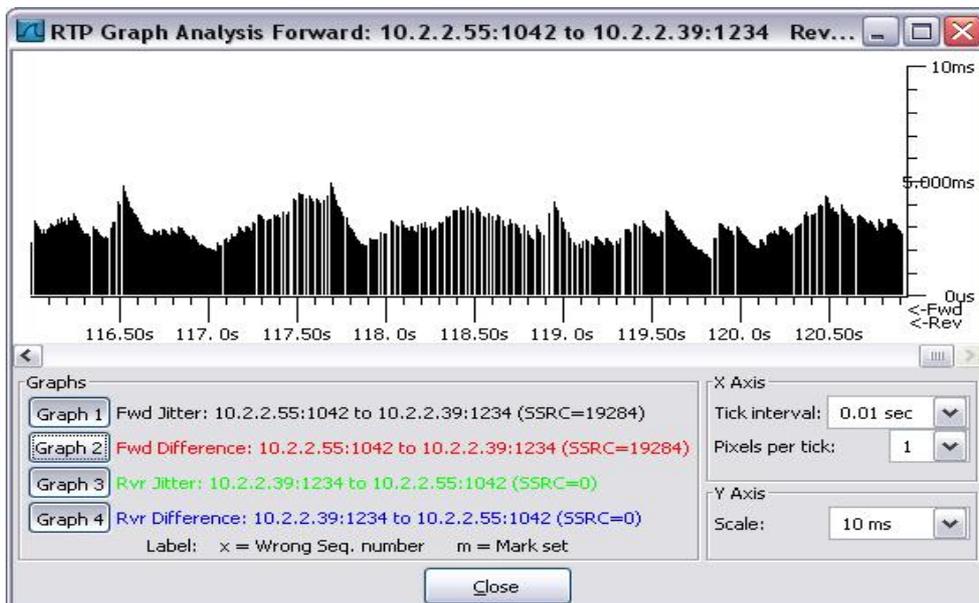


Figura 62: Transporte de vídeo com variação da portadora - Jitter.

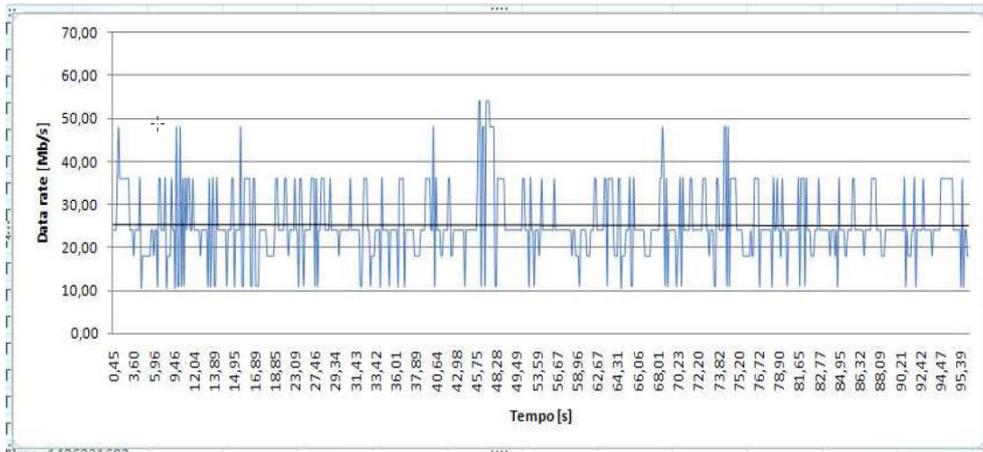


Figura 63: Transporte de vídeo com variação da portadora - Variação da Velocidade.

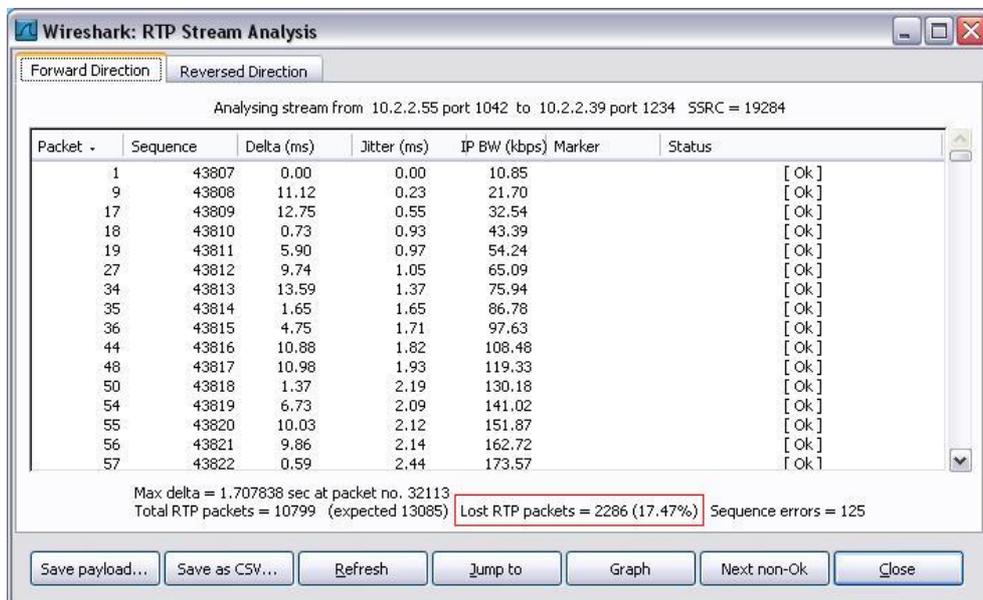


Figura 64: Transporte de vídeo com variação da portadora - Perda de Pacotes.

### 5.6.3 Resultados

Neste cenário o padrão 802.11b teve redução na velocidade da rede de 11 para 2 (Mbps), altos níveis de jitter e perda de pacotes em torno de 43,42%.

Por outro lado, o padrão 802.11g teve taxa de pacotes perdidos de 17,47%, a transmissão seguiu com intensa busca por recuperação da velocidade e altos valores de jitter.

## 6 – CONCLUSÃO

A utilização das redes sem fio para a transmissão de conteúdos multimídia já é um fato consumado, portanto, cabe aos pesquisadores e desenvolvedores a criação de mecanismos relacionados ao aumento da capacidade de transmissão, fatores de compressão e qualidade dos vídeos.

O objetivo do trabalho foi propor uma metodologia para análise comparativa do desempenho dos padrões de rede sem fio IEEE 802.11b e 802.11g, no transporte de fluxo contínuo de vídeo em formato DVD – MPEG2.

Na análise dos cenários propostos diversos resultados foram obtidos:

O primeiro item verificado foi o aspecto relacionado à variação da velocidade de transmissão, causado por oscilações de potencia e tráfego intenso.

A rede 802.11g apresentou-se um pouco mais eficiente que a rede 802.11b em todas as medidas propostas, o que pode ter sido gerado por esse comportamento em reação à variação da velocidade:

- No padrão 802.11b houve redução drástica de velocidade sem recuperação durante a transmissão;
- No padrão 802.11g houve oscilação de velocidade com constantes tentativas de recuperação durante a transmissão;

O que pode ser utilizado como justificativa de uma possível não utilização desse tipo de rede sem fio para a transmissão de fluxo contínuo de vídeo, com o formato DVD.

Pode-se constatar que o padrão 802.11g apresentou maior quantidade de pacotes perdidos, mas isso não foi tão impactante para o tipo de tráfego utilizado.

Só houve proximidade de comportamento entre eles na situação em que o sinal estava na potencia máxima calibrada e não havia tráfego concorrente na rede.

Havia uma suspeita de que as redes 802.11b fossem mais robustas e teriam melhor desempenho, em transmissões com o receptor em movimento.

Isso não foi confirmado, pois nesta situação com o tráfego concorrente nenhuma das redes conseguiu transmitir o vídeo de maneira satisfatória, ou seja, com fluxo contínuo e sem interrupções.

Conclui-se então que a rede 802.11g apresenta melhor capacidade de transmissão de conteúdos multimídia do que a 802.11b, não apenas por ter uma velocidade de transmissão superior de 54Mbps em relação ao padrão 802.11b que pode chegar a 11Mbps, mas sim por outras características de sua arquitetura como no aspecto relacionado à recuperação de velocidade.

## **6.1 Trabalhos Futuros**

Como foi mencionado anteriormente uma das motivações para o desenvolvimento desse trabalho, foram os resultados preliminares dos testes para a implantação da segunda fase do Projeto Exibe. Neles as redes sem fio, padrão 802.11b e 802.11g não mostraram resultados satisfatórios.

Esse sistema de IPTV utiliza o método de distribuição *Multicast*, e isso também precisa ser avaliado. Todos os testes realizados consideraram transmissões em modo *Unicast*, com alguns fatores complicadores como a distância do receptor em relação ao ponto de acesso e às atenuações variáveis no sinal transmitido.

A quantidade de tráfego gerada por uma transmissão *Multicast* está diretamente relacionada à quantidade de elementos do grupo de estações que receberão a transmissão.

Esse é um fator importante que poderia gerar novos testes, que completariam a análise de desempenho desses dois padrões estudados.

## **6.2 Trabalhos oriundos da Dissertação**

### **6.2.1 Trabalho Publicado em Congresso Nacional**

**FERREIRA, G. A., BASSETO, E. E., SILVEIRA, M., REGGIANI, N.;**  
“Analysis of IPTV at heterogeneous networks 802.11b and 802.11g”,  
SIPM2007, Passo Fundo, RS, Brazil.

### **6.2.2 Trabalhos Submetidos em Congressos Internacionais**

**FERREIRA, G. A., BASSETO, E. E., SILVEIRA, M., BRANQUINHO, O. C.;** “Development and Characterization of RF Devices operating at 2.4 GHz with the Analysis of Video Streaming for WLAN Networks”, IEEE RFIC 2008, Atlanta, GA, USA.

**FERREIRA, G. A., BASSETO, E. E., SILVEIRA, M., BRANQUINHO, O. C.;** “An Efficient Wireless IPTV Analysis for Heterogeneous Networks Operating at both 802.11b and 802.11g Standards ”, IEEE APS URSI 2008, San Diego, CA, USA.

**FERREIRA, G. A., BASSETO, E. E., SILVEIRA, M., CARVALHO, J. C.;** “An innovative hardware architecture for a video streaming distribution with an integration of an optical fiber backbone and a wireless network ”, IEEE APS URSI 2008, San Diego, CA, USA.

### **6.2.3 Trabalho em fase de elaboração para Periódico Internacional**

**FERREIRA, G. A., BASSETO, E. E., SILVEIRA, M., BRANQUINHO, O. C.;** “An original analysis of Video Streaming distribution with the development and characterization of RF Devices operating at 2.4 GHz for for WLAN Networks”, IEEE Revista Latin\_America, Brazil e USA.

**FERREIRA, G. A., BASSETO, E. E., SILVEIRA, M., BRANQUINHO, O. C.;** “A full complete analysis of heterogeneous networks operating at both 802.11b and 802.11g standards with the Wireless IPTV technologies, Journal of Circuits, System and Computers, Italy.

### **6.2.4 Outros Trabalhos Publicados em Congresso Internacional**

**LOTITO, A., LINO, F., FERREIRA, G. A., SILVEIRA, M.,** “A New Approach On Using Dijkstra Algorithm in Multiple Protocols Networks”, IEEE IWT 2007, Santa Rita do Sapucaí, MG, BRASIL.

## 7 - REFERÊNCIAS

- KUROSE**, J. F., **ROSS** K. W. Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet, Pearson Educations Inc.; 2003.
- O'HARA**, B., The IEEE 802.11 handbook: a designers companion; 2001.
- LOPES**, M. C., Transmissão de vídeo em redes sem fio padrão IEEE 802.11b, Monografia de Mestrado Profissional. Instituto de Computação, Unicamp, 2006.
- SIRUFO**, S. H. "Análise de Desempenho de Redes IEEE 802.11b Utilizando Mecanismos de Segurança", 2005.
- GOES**, A., **BRANQUINHO**, O. C., **REGGIANI**, Norma. "Emulação de Flat Fading para Teste de Redes WLAN em 2,4 GHz", MOMAG2006.
- Wireless Local Area Networks and 802.11 Standard** – March 31, 2001.
- GAST**, M. 802.11® Wireless Networks: The Definitive Guide, April 2002.
- Wi-Fi Certified for WMM** – Support for Multimedia Applications with Quality of Service in Wi-Fi Networks – Wi-Fi Alliance – September 1, 2004. Available from: <http://www.wi-fi.org>.
- SCHULZRINNE**, H., "Real Time Streaming Protocol (RTSP)", RFC 2326, April 1998.
- Wi-Fi Alliance**, <http://www.wi-fi.org>.
- HANDLEY**, M. and **JACOBSON**, V. "SDP: Session Description Protocol", RFC 2327, April 1998.
- CORRÊA**, C. E. Avaliação de desempenho de rede sem fio 802.11b. Monografia de Mestrado Profissional. Instituto de Computação, Unicamp; 2004.
- TANENBAUM**, A. S. Computer Networks, Prentice Hall PTR, Saddle River, 2003; 4<sup>th</sup> Ed.
- WU D**, H. Y. T., **ZHU**, W. Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001. v.11. n.3.
- POSTEL**, J., "User Datagram Protocol ", STD 5, RFC 768, August 1980.
- POSTEL**, J., "Transmission Control Protocol", STD 7, RFC 793, September 1981.

**NETSTUMBLER.** 2007. <http://www.netstumbler.com/>. [Online] 2007.

**ETHEREAL.** <http://www.ethereal.com/>. [On-line] 2007.

**ETHEREAL.** Display Filter Reference: Real Data Transport.  
<http://www.ethereal.com/docs/dfref/r/rdt.html>

**WIKI ETHEREAL.** <http://wiki.ethereal.com/RDT>

**WIRESHARK,** Gerald Combs, <http://www.wireshark.org/>. [Online] 2007.

**TAYLOR,** J. DVD Demystified. Segunda Edição. Nova Iorque : McGraw-Hill, 2001. 0-07-138944-X.

**TIRUMALA,** A., **QIN,** F.; **DUNGAN,** J; **FERGUSON,** J; **GIBBS,** K. IPERF Version 1.7.0, March 2003, <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.

**FERREIRA,** G. A., Basseto, E. E., Silveira, M., Reggiane, N.; "Analysis of IPTV at heterogeneous networks 802.11b and 802.11g", SIPM 2007, Passo Fundo, RS, Brazil.

**SCHULZRINNE,** H., **CASNER** , S., **FREDERICK,** R., **JACOBSON,** V. "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications ", RFC 3550, July 2003.

**SCHULZRINNE,** H., **CASNER** , S., **FREDERICK,** R., **JACOBSON,** V. "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC 3550, July 2003.

**SCHULZRINNE,** H., **CASNER,** S. "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", RFC 3551, July 2003.

**HANDLEY,** M., "SAP - Session Announcement Protocol", RFC 2974, October 2000.

**VIDEOLAN,** <http://www.videolan.org/doc/vls-user-guide/en/ch01.html>. [Online] 2007.

**BUSSOLINI,** A., **BRANQUINHO,** O. C., **LINO,** F. "VoWiFi Avaliação de VoIP utilizando Weibull para Emulação do Canal". SBrT 2007.

**IEEE.** 2007. IEEE Development Online. IEEE 802 STANDARDS. [Online] IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2007, <http://www.ieee802.org/11/>.

**DARVIN** - Manual de Documentação - Darwin Streaming Server <http://developer.apple.com/darwin/projects/streaming>.

**WIKIPEDIA FOUNDATION,** Inc. 2007. Wikipedia. Charge-coupled device, [http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled\\_device](http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device).

- RAPPAPORT**, T. S., "Wireless Communications, Principles and Practice", New Jersey: Prentice-Hall, 1996. P.69 -138.
- TEKTRONIX**, A Guide to MPEG Fundamentals and Protocol Analysis. [Online] 2007.  
[http://www.tektronix.co.jp/Products/Measurement\\_Prod/App\\_notes/GuideToMPEGF\\_25W\\_11419\\_0.pdf](http://www.tektronix.co.jp/Products/Measurement_Prod/App_notes/GuideToMPEGF_25W_11419_0.pdf).
- ITU-R BT.601**. 1997. Recommendation BT601, Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios. S.I., ITU-R, 1997.
- ITU-R BT.656-4**. 1998. Recommendation BT.656-4, Interfaces for Digital Component Video Signals In 525-Line and 625-Line Television System Operating At The 4:2:2 Level of Recommendation, ITU-R Bt.6011 (Part A). 1998.
- ITU-R BT500-10**. 2002. Methodology for the Subjective Assessment of Quality for Television Pictures, Geneva: ITU-R Rec. BT. 500-10, 2002.
- ITU-T G.107**. 1998. ITU-T Recommendation G.107. s.l., International Telecommunication Union, 1998.
- CHEN**, S. Y. e **GHEORGHITA**, G. 2006. Digital Multimedia Perception and Design. London : Idea Group Inc, 2006. ISBN 1-59140-862-8.
- DAPENG**, W. U., et al. 2001, Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions, IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, March, 2001, Vol. 11, No. 3.
- DYSON**, F. 2001. THE REALITY CLUB. Edge. [Online] Edge Foundation Inc., 2001, [http://www.edge.org/3rd\\_culture/dyson\\_ad/dyson\\_ad\\_index.html](http://www.edge.org/3rd_culture/dyson_ad/dyson_ad_index.html).
- ELY**, S. R. 1996. MPEG VIDEO CODING: A basic tutorial introduction. BBC Research and Development Report,  
<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1996-03.pdf>.
- ISO/IEC JTC1/SC29 (JPEG/JBIG) COMMITTEE**. 2007. The JPEG committee home page. *The JPEG committee home page*. [Online] Elysium Ltd, 2007, <http://www.jpeg.org/>.
- FARREL**, A. A Internet e seus Protocolos – Uma Análise Comparativa. CAMPUS, 2005.