



PUC
CAMPINAS
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

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

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*

EDIZON EDUARDO BASSETO JUNIOR

**MÉTRICA PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DE
VÍDEO TRANSMITIDO EM REDES SEM FIO**

**PUC CAMPINAS
2007**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

GRÃO-CHANCELER

Dom Bruno Gamberini

MAGNÍFICO REITOR

Prof. Pe. Wilson Denadai

VICE-REITORA

Prof^a. Dra. Ângela de Mendonça Engelbrecht

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Prof^a. 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. Orandi Mina Falsarella

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

t621.3845 Basseto, Edizon Eduardo Junior
B319m Métrica para análise da qualidade de vídeo transmitidos em redes sem fio / Edizon
Eduardo Basseto Junior. – Campinas: PUC-Campinas, 2007.
78p.

Orientador: Omar Carvalho Branquinho
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências
Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui anexos e bibliografia.

1. Sistemas de comunicação sem fio, 2. Processamento de sinais. 3. Sistema métrico.
4. Câmaras de vídeo. 5. DVDs. 6. Rayleigh, Ondas de. I. Branquinho, Omar Carvalho
II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais
e de tecnologias. Pós Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

20.ed.CDD – t621.3845

EDIZON EDUARDO BASSETO JUNIOR

**MÉTRICA PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DE
VÍDEO TRANSMITIDO EM REDES SEM FIO**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-Graduação na área de concentração Gestão de Redes e Serviços, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

PUC CAMPINAS

2007

“Algo é só impossível até que alguém duvide e acabe provando o contrário.”

Albert Einstein
(1879-1955)

RESUMO

BASSETO, Edizon Eduardo Junior. *Métrica para análise da qualidade de vídeo transmitido em redes sem fio*. 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2007.

O objetivo deste trabalho é propor uma métrica de qualidade para vídeos transmitidos em redes sem fio. As redes sem fio são um meio de transmissão muito degenerativo devido à sua instabilidade, o que afeta um vídeo transmitido. A presente proposta soma à opinião dos espectadores um parâmetro técnico da rede, conhecido por *jitter*, e a taxa de dados do vídeo transmitido. Para os estudos realizados, um vídeo foi transmitido através de uma bancada de emulação de rádio frequência (RF) que simula a transmissão das redes sem fios (WLAN) padrões IEEE 802.11b e 802.11g. Os experimentos foram realizados a partir do *streaming* de um DVD, com características conhecidas, de um servidor para uma estação, através da bancada que confina o sinal transmitido de maneira controlada em um cabo coaxial. Tendo-se essa possibilidade de controlar o nível do sinal da portadora, foram estudadas doze situações. Para cada um dos padrões IEEE foram realizadas medidas com a transmissão de vídeo e um nível máximo de sinal, outra com o nível mínimo e uma situação que tem o nível de sinal caracterizado por uma distribuição de Rayleigh. Para essas mesmas condições de sinal foi estudada a transmissão do vídeo mais um tráfego UDP concorrente. Os resultados confirmam a atuação do *jitter* na degeneração do vídeo recebido, justificando sua utilização na métrica proposta. Os resultados demonstram também que existe uma pequena vantagem das redes 802.11g na transmissão do *streaming*, porém nenhuma das redes demonstrou um desempenho satisfatório na presença de tráfego UDP transmitido concorrentemente. Na proposta também é desenvolvido um questionário com a finalidade de analisar subjetivamente o *streaming*, gerando uma equação que pode ser aplicada à escala MOS, podendo assim definir numericamente a qualidade de vídeo transmitido.

Palavras-Chave: *Streaming* de vídeo, qualidade de vídeo, rede sem fio, métrica de qualidade de vídeo.

ABSTRACT

BASSETO, Edizon Eduardo Junior. *Metrics to analyze the quality of videos transmitted through wireless networks*. 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2007.

The goal of this work is to propose a metric to analyze the quality of videos transmitted through wireless networks. A wireless network is a degenerative means to transmit data given its huge instability, which affects transmitted videos. The present proposal adds a technical network parameter, known as jitter, to clients' opinion. For these studies a video was streamed through a RF emulation testbed, which can emulate the IEEE wireless networks (WLAN) 802.11b and 802.11g standards. The experiments were done by streaming a DVD, with known characteristics, from a server to a workstation, passing through the testbed. This is capable to concentrate, in a controlled way, the wireless signal into a coaxial cable. With the possibility to control the signal level of the carrier, twelve scenarios were developed and studied: video transmissions with maximum and minimum signal levels, and also with the signal level characterized as Rayleigh distribution, were done for each of the two IEEE standards measures. Under the same signal conditions, I analyzed the video streaming with UDP traffic sent together. The results confirm the action of jitter in the degeneration of the received video, which justifies the use of jitter in the proposed metric. The results also show that the 802.11g networks work a little better than 802.11b for video streaming, but none of them showed a good performance when the UDP traffic was sent together. A questionnaire has also been developed, with the purpose of analyzing the streaming subjectively. Those two factors (jitter and subjective analysis) result in an equation that can be applied to a MOS scale making it possible to numerically define the quality of the video transmission.

Key-Words: Video streaming, video quality, wireless network, metrics for video quality

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ÁREA DISPONÍVEL DOS PADRÕES NTSC E PAL	22
FIGURA 2. DISPOSITIVOS DE UM <i>STREAMING</i> PONTO A PONTO (DAPENG, ET AL., 2001).	33
FIGURA 3. PROTOCOLO PARA <i>STREAMING</i> MULTIMÍDIA.	33
FIGURA 4. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DA BANCADA DE TESTES.....	38
FIGURA 5. DIAGRAMA DETALHADO DA BANCADA DE TESTES.	38
FIGURA 6. CARACTERÍSTICAS DO VÍDEO ANALISADO	39
FIGURA 7. SOLUÇÃO DE <i>STREAMING</i> VIDEO LAN.	41
FIGURA 8. ARQUITETURA DA REDE UTILIZADA.	43
FIGURA 9. REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA UTILIZADA PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS.	47
FIGURA 10. IMAGEM NO MAIOR <i>JITTER</i> APONTADA NO GRÁFICO 4.	50
FIGURA 11. IMAGEM NA PRIMEIRA VARIAÇÃO DE <i>JITTER</i> APONTADA NO GRÁFICO 5.....	51
FIGURA 12. SELEÇÃO DE IMAGENS AFETADAS PELO <i>JITTER</i>	54
FIGURA 13. IMAGEM RETIRADA DA REGIÃO DE MAIOR <i>JITTER</i> DO GRÁFICO 14.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO VÍDEO ANALÓGICO.....	19
TABELA 2. TAXA DE DADOS DOS VÍDEOS PADRONIZADOS PELA (ITU-R BT.601, 1997).....	25
TABELA 3. PARÂMETROS QUE ALTERAM A TAXA DE DADOS.	26
TABELA 4. PERFIS E NÍVEIS MPEG-2 (TOPIC, 2002 P. 408).....	29
TABELA 5. RESUMO DOS VALORES - POTÊNCIA MÁXIMA	49
TABELA 6. RESUMO DOS VALORES – POTÊNCIA MÁXIMA COM TRÁFEGO CONCORRENTE.....	51
TABELA 7. RESUMO DOS VALORES POTÊNCIA MÍNIMA.	53
TABELA 8. RESUMO DOS VALORES POTÊNCIA MÍNIMA COM TRÁFEGO CONCORRENTE.....	55
TABELA 9. RESUMO DOS VALORES - POTÊNCIA ALEATÓRIA.	57
TABELA 10. RESUMO DOS VALORES - POTÊNCIA ALEATÓRIA COM TRÁFEGO CONCORRENTE.....	58
TABELA 11. RESUMO DAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CENÁRIOS DE TESTE.	59
TABELA 12. DESCRIÇÃO DA ESCALA MOS	62

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. NÍVEL MÁXIMO DE POTÊNCIA DA PORTADORA.	48
GRÁFICO 2. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11B, POTÊNCIA MÁXIMA.	48
GRÁFICO 3. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11G, POTÊNCIA MÁXIMA.	49
GRÁFICO 4. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11B, POTÊNCIA MÁXIMA E TRÁFEGO UDP CONCORRENTE ...	50
GRÁFICO 5. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11G, POTÊNCIA MÁXIMA E TRÁFEGO UDP CONCORRENTE ...	50
GRÁFICO 6. NÍVEL MÍNIMO DE POTÊNCIA DA PORTADORA.	52
GRÁFICO 7. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11B, POTÊNCIA MÍNIMA.	52
GRÁFICO 8. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11G, POTÊNCIA MÍNIMA.	53
GRÁFICO 9. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11B, POTÊNCIA MÍNIMA COM TRÁFEGO CONCORRENTE.	54
GRÁFICO 10. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11G, POTÊNCIA MÍNIMA COM TRÁFEGO CONCORRENTE.	54
GRÁFICO 11. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11B, POTÊNCIA ALEATÓRIA.	56
GRÁFICO 12. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11G, POTÊNCIA ALEATÓRIA.	56
GRÁFICO 13. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11B, POTÊNCIA ALEATÓRIA COM TRÁFEGO CONCORRENTE.	57
GRÁFICO 14. <i>JITTER</i> NO PADRÃO 802.11G, POTÊNCIA ALEATÓRIA COM TRÁFEGO CONCORRENTE	57

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1. VALOR DO QUESTIONÁRIO SUBJETIVO.....	67
EQUAÇÃO 2. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	68
EQUAÇÃO 3. ADEQUAÇÃO DO CV AO MOS	68
EQUAÇÃO 4. ADEQUAÇÃO DA TAXA DE DADOS AO MOS.....	69
EQUAÇÃO 5. PROPOSTA SIMPLIFICADA DE MÉTRICA.....	69
EQUAÇÃO 6. PROPOSTA DE MÉTRICA PARA QUALIDADE DE VÍDEO.	69
EQUAÇÃO 7. EXEMPLO DE MÉTRICA PARA VÍDEO COM QUALIDADE MÁXIMA.	70
EQUAÇÃO 8. EXEMPLO DE MÉTRICA PARA VÍDEO COM QUALIDADE MÍNIMA.	70
EQUAÇÃO 9. EXEMPLO DE MÉTRICA PARA VÍDEO COM QUALIDADE AVALIADA DE MANEIRA ALEATÓRIA.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	=	<i>Access Point</i>
BER	=	<i>Bit Error Rate</i>
CCD	=	<i>Charge-Coupled Device</i>
CIE	=	<i>Comissão Internacional Eletrotécnica</i>
CV	=	<i>Coeficiente De Variação</i>
DSCQS	=	<i>Double Stimulus Continuous Quality Scale</i>
DSCS	=	<i>Double Stimulus Comparison Scale</i>
DVB	=	<i>Digital Video Broadcast</i>
DVD	=	<i>Digital Video Disc</i>
FCC	=	<i>Federal Communications Com-Mission</i>
FPS	=	<i>Frames Per Second</i>
FR	=	<i>Full-Reference Video Assessment</i>
GNU	=	<i>General Public License</i>
IAR	=	<i>Image Aspect Ratio</i>
IP	=	<i>Internet Protocol</i>
JPEG	=	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
Mbps	=	<i>Mega Bits Por Segundo</i>
MOS	=	<i>Mean Opinion Score</i>
MPEG	=	<i>Moving Picture Experts Group</i>
NR	=	<i>Non Reference Video Assessment</i>
NTSC	=	<i>National Television System Committee</i>
PAL	=	<i>Phase Alternation Line</i>
PC	=	<i>Personal Computer</i>
PDA	=	<i>Personal Digital Assistants</i>
QoS	=	<i>Quality Of Service</i>
QPS	=	<i>Quadros Por Segundo</i>
RF	=	<i>Rádio frequência</i>
RGB	=	<i>Red, Green, Blue – As Três Cores Primárias</i>
RR	=	<i>Reduced-Reference Video Assessment</i>
RTP	=	<i>Real-Time Protocol</i>
RTSP	=	<i>Real-Time Stream Protocol</i>
SECAM	=	<i>Sequentiel Couleur Avec Mémoire ou Sequential Color With Memory</i>
SNR	=	<i>Signal to Noise Rate</i>
SSCQE	=	<i>Single Stimulus Continuous Quality Evaluation.</i>

TCP = *Transmission Control Protocol*
TI = Tecnologia Da Informação
UDP = *User Datagram Protocol*
VD = Vídeo Digital
WLAN = *Wireless Local Area Network*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	VÍDEO: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E PADRÕES	16
2.1	Vídeo Analógico	16
2.1.1	Sistema de cores	17
2.1.2	Leitura e reprodução de vídeo	17
2.1.3	Padrões do sistema analógico de televisão em cores	18
2.2	Vídeo Digital	20
2.2.1	ITU-R BT.601 <i>Digital Video</i>	21
2.2.2	Sistema de cor	22
2.2.3	Taxa de dados	24
2.2.4	Compressão de vídeo	25
2.2.5	O padrão MPEG (<i>Moving Picture Experts Group</i>)	27
3	DISTRIBUIÇÃO DE VIDEO DIGITAL	30
3.1	Digital Video Disc	30
3.2	Streaming de Vídeo	31
3.2.1	Protocolos para <i>streaming</i> de vídeo	33
3.2.2	Servidor de <i>streaming</i>	34
3.3	Distribuição por redes IP sem fio	35
4	DESENVOLVIMENTO DOS EXPERIMENTOS	37
4.1	Bancada de emulação de redes sem fio	37
4.2	Escolha do vídeo para transmissão	38
4.3	O servidor de stream	40
4.4	Escolha da distribuição de Rayleigh	41
4.5	Arquitetura da rede	42
4.6	Cenários de testes	43
4.6.1	Cenário um: sem tráfego concorrente e potência da portadora máxima	44
4.6.2	Cenário dois: com tráfego concorrente e potência da portadora máxima	44
4.6.3	Cenário três: sem tráfego concorrente e potência da portadora mínima	44

4.6.4	Cenário quatro: com tráfego concorrente e potência da portadora mínima.....	44
4.6.5	Cenário cinco: sem tráfego concorrente e potência da portadora variando	45
4.6.6	Cenário seis: com tráfego concorrente e potência da portadora variando	45
5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES.....	45
5.1	Portadora com potência máxima	48
5.1.1	<i>Streaming</i> sem tráfego UDP concorrente	48
5.1.2	<i>Streaming</i> com tráfego UDP concorrente	50
5.2	Portadora com potência mínima	52
5.2.1	<i>Streaming</i> sem tráfego UDP concorrente	52
5.2.2	<i>Streaming</i> com tráfego UDP concorrente	54
5.3	Portadora com potência variando conforme distribuição de Rayleigh ...	55
5.3.1	<i>Streaming</i> sem tráfego UDP concorrente	55
5.3.2	<i>Streaming</i> com tráfego UDP concorrente	57
5.4	Resumo das considerações	59
6	QUALIDADE DE VÍDEO E PROPOSTA DE MÉTRICA PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
6.1	Expectativas de qualidade.....	60
6.2	<i>Mean opinion score</i>.....	61
6.3	Métodos para análise objetiva da qualidade de um vídeo	62
6.3.1	O método de análise sem referência (NR).....	63
6.4	Proposta de métrica para análise dos resultados	63
6.4.1	Proposta de questionário subjetivo	65
6.4.2	Análise do <i>jitter</i>	67
6.4.3	Taxa de dados.....	68
6.4.4	Métrica para análise da qualidade do vídeo transmitido	69
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	72
8	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A busca por mobilidade promoveu o estudo e a descoberta de diversos aparelhos que possibilitam a comunicação sem fio. Muitos desses aparelhos são amplamente utilizados nos dias de hoje, como, por exemplo, os aparelhos celulares. A utilização e a demanda por transmissões multimídia têm crescido, e, ao mesmo tempo, novos métodos computacionais têm permitido a melhora da compressão de dados e a transmissão de conteúdos em tempo real, como o vídeo, por exemplo. Esse tipo de dados tem como particularidade a necessidade da reprodução contínua. Porém, se o meio pelo qual eles são transmitidos introduz ruídos ou efeitos que possam causar atraso na transmissão, então este passa a condenar a reprodução de tais conteúdos.

Na década de 90 ocorreu o crescimento da *internet*, e junto com ela veio a expansão das redes das empresas de telecomunicações e a melhoria de diversos protocolos de comunicações, entre eles o protocolo IP. Atualmente, o protocolo IP é um dos mais utilizados pelas redes de comunicação de dados e computadores. Nas redes de comunicação sem fio, também ocorre a adoção do IP como protocolo. Este é utilizado nos padrões para redes locais IEEE 802.11, também conhecidas como *Wi-Fi*, estudadas neste trabalho. As redes *Wireless Local Area Network* (WLAN), como são chamadas, fornecem um método de conexão simples e de baixo custo; elas têm sido amplamente adotadas em empresas, escolas e até mesmo em residências. A grande utilização desse padrão fez com que a indústria de dispositivos eletrônicos o promovesse a item integrado aos dispositivos de computação móvel como os PDAs, *notebooks*, e celulares. A isenção da necessidade de meio físico para transmissão faz dessa rede uma cotada ferramenta na distribuição de conteúdos em lugares de difícil acesso ou em locais sem a estrutura necessária para uma rede cabeada. No caso do *Wi-Fi*, existem os padrões 802.11a, 802.11b e 802.11g, que definem a velocidade da transmissão de dados e a frequência da portadora. A 802.11a pode alcançar velocidade de até 54 Mbps (108 Mbps são alcançados por fabricantes que não seguem as normas IEEE) e opera a

uma frequência de 5 GHz. A 802.11b pode alcançar velocidade de 11 Mbps, padronizada pelo IEEE, e até 22 Mbps no caso de alguns fabricantes não padronizados, operando a uma frequência de 2.4 GHz. Finalmente, a 802.11g é compatível com os dispositivos da rede 802.11b, oferece velocidade de 54 Mbps e também funciona dentro de uma frequência de 2,4 GHz (IEEE, 2007).

Os usos mais freqüentes das redes *Wi-Fi* envolvem a transferência de dados, porém as novas demandas dos usuários abrangem aplicações sensíveis a atrasos, como voz e vídeo. Ao contrário das transmissões de dados, que são sensíveis às perdas de pacotes mas não aos atrasos, as aplicações de voz e vídeo toleram algumas perdas, mas são altamente sensíveis a atrasos. Se um pacote dessas aplicações chega com atraso superior a um dado limite ele é inutilizado. Outro problema da transmissão de vídeos é o volume de dados a ser enviado entre estações. Para resolver esse problema, existem métodos de compressão que são aplicados ao vídeo original, mas a qualidade subjetiva para os usuários finais pode colocar em cheque a capacidade de transmissão de vídeo através de uma rede sem fio, mesmo quando o vídeo for comprimido, uma vez que os parâmetros que aumentam a qualidade também crescem a necessidade de largura de banda. Além da compressão de dados de um vídeo, existe a necessidade da quebra do resultado da compressão em pequenos pacotes capazes de serem transmitidos pelos protocolos de rede; essa técnica é conhecida como *streaming* de vídeo.

O objetivo desse trabalho é propor uma métrica capaz de representar numericamente a qualidade de um vídeo transmitido, levando em consideração o ponto de vista de um usuário e os parâmetros técnicos da rede. Após estudo da literatura, o parâmetro *jitter* foi escolhido para compor, junto com uma análise subjetiva, a equação que resulta num número situado no intervalo de 0 a 5 da escala MOS de qualidade. Os experimentos realizados também trouxeram como resultado a comparação do comportamento das redes 11g e 11b quando analisados somente os parâmetros das redes. Os resultados comprovaram que as redes 11g, além de melhor taxa de dados teóricos, geram menores influências de *jitter* sobre um vídeo transmitido.

Após o estudo da bibliografia e a execução dos experimentos, foi possível propor uma métrica capaz de analisar subjetivamente a qualidade de um vídeo

transmitido, em termos do parâmetro *jitter* e da taxa de dados. Para a análise subjetiva foi proposto também um questionário que deve ser aplicado aos espectadores do vídeo transmitido. Apesar de toda fundamentação e coerência, não é escopo deste trabalho aplicar a métrica proposta, sendo considerada como resultado final a proposta.

O trabalho está dividido em sete capítulos. O segundo e terceiro capítulos contêm fundamentação teórica, sendo que o capítulo 2 apresenta as características do sinal de vídeo necessárias para a geração de um *streaming*, e o capítulo 3 traz as definições necessárias para a transmissão deste. O capítulo 4 descreve a maneira como foram realizados os procedimentos e os cenários de teste. Já o capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nas experiências, juntamente com comentários para cada uma delas. O capítulo 6 traz a proposta de uma métrica para análise dos resultados. Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e propostas de novos trabalhos. As referências utilizadas encontram-se após as considerações.

2 VÍDEO: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E PADRÕES

Para explicar o processo de *streaming* de um vídeo, faz-se necessária uma explicação acerca das características de um vídeo digital. Para tal, torna-se também intrínseca a necessidade de uma explicação, mesmo que simples, sobre o sinal de vídeo ainda analógico. Este capítulo apresenta as principais características e uma breve explicação sobre vídeos analógicos e digitais, e os padrões MPEG definidos pelo comitê JPEG (THE ISO/IEC JTC1/SC29 (JPEG/JBIG) COMMITTEE, 2007) para compressão de vídeos digitais. O porquê de esses padrões MPEG terem sido escolhidos será abordado no item 2.2.5, ainda neste capítulo.

2.1 VÍDEO ANALÓGICO

A nossa visão e audição são na verdade percepções de nossos órgãos às variações de luz e às vibrações de moléculas de ar. Conseguimos visualizar devido à capacidade das retinas de perceber a variação de intensidade da luz, e conseguimos ouvir porque nossos ouvidos são capazes de captar variações de pressão entre moléculas de ar. Segundo (TOPIC, 2002) para recriar um som e/ou uma imagem no tempo (vídeo), basta retirar medidas da intensidade da luz e da pressão do ar suficientemente rápido¹, transmitir as medidas através de um caminho para um reproduzidor e recriá-los de acordo com os dados recebidos. Logo, em sistemas de reprodução analógicos, há uma troca de dados contínua entre o sensor e o reproduzidor. Maiores detalhes sobre as afirmações feitas podem ser encontrados em (WANG, et al., 2001) onde, no capítulo 1, seção 2, é feita uma modelagem matemática do sinal de vídeo, tema que não será abordado neste trabalho. Ainda segundo ele, um sinal de vídeo é definido como uma seqüência de imagens de duas dimensões projetadas de cenas dinâmicas de três dimensões, ou seja, é como se o vídeo fosse composto por uma seqüência no tempo de fotos tiradas de uma

¹ Suficientemente rápido é um valor definido pelos padrões de criação de sinal de vídeo NTSC, PAL e SECAM definidos a seguir neste capítulo.

determinada cena com movimento. A informação de que um vídeo é uma seqüência de imagens remete ao entendimento de um parâmetro sempre discutido para os vídeos: a quantidade de quadros por segundo (do inglês: *frames per second*). Será visto adiante que esse parâmetro faz parte de uma série de outros parâmetros que definem a banda necessária para a transmissão de um vídeo.

2.1.1 Sistema de cores

Ambos os autores citados no parágrafo anterior definem vídeo como o método pelo qual se consegue capturar a variação da intensidade de luz. Em vista disso, torna-se necessário explicar como transformar as ondas eletromagnéticas perceptíveis ao olho humano em uma grandeza capaz de ser armazenada. Segundo (HALLIDAY, et al., 1980), Thomas Young foi o primeiro, com sua demonstração de efeitos de interferências feita em 1801, a medir os comprimentos de onda luz. Com isso, o próprio Thomas Young, em 1802, propôs a teoria tricromática da visão, segundo a qual o olho humano tem a capacidade de captar somente três cores primárias: o vermelho, o verde e o azul (RGB) (YOUNG, 1802). Essa teoria foi depois comprovada pelas experiências sobre cores percebidas por Maxwell, em meados de 1850 (MAXWELL, 1859). Cabe então ao cérebro produzir a sensação das cores para os seres humanos, e isso é feito com a ajuda de dois parâmetros: a luminância, que diz respeito à parte preta e branca do sinal de vídeo, representando o contraste e o brilho da imagem, e a crominância, parte do sinal de vídeo responsável pelas informações das cores. Os parâmetros da crominância são o da tonalidade, que, como diz o nome, especifica o tom da cor, e o da saturação, parte que define quão pura é a cor. As cores podem ser então representadas numericamente segundo a quantidade de cores primárias utilizadas, como afirmado na teoria de mistura de cores tricromáticas iniciada por Young, ou por meio da quantidade de cor determinada pelo comprimento de onda dominante (valores da cromaticidade) (WANG, et al., 2001).

2.1.2 Leitura e reprodução de vídeo

Com as explicações dadas já se pode entender que, quando um vídeo é armazenado, os valores numéricos das cores de qualquer ponto nos quadros deste

devem corresponder aos mesmos valores de luz emitida ou refletida desses mesmos pontos na cena observada. Cada quadro corresponde a uma imagem de duas dimensões registradas da cena dinâmica de três dimensões que está sendo gravada/reproduzida. Segundo (WANG, et al., 2001) as cenas são capturadas ou reproduzidas utilizando-se a inserção/leitura de quadros e linhas, ambos espaçados por um determinado tempo definido pelos padrões do sistema analógico de televisão em cores, conforme explicado a seguir. A leitura de linhas pode variar por duas técnicas: a leitura contínua e completa da imagem linha a linha (imagem progressiva), e a leitura separada das linhas pares e ímpares (imagem entrelaçada). A quantidade de quadros lida em um segundo é um dos parâmetros mais importantes para determinar a qualidade do vídeo. O fator quantidade de linhas será importante para entender a quantidade de *pixels* contidos em uma linha quando o tópico sobre largura de banda do vídeo digital (VD) for abordado. Para concluir o raciocínio sobre a quantidade de *pixels* ainda é necessário explicar o IAR (do inglês *Image Aspect Ratio*). O IAR é a largura da imagem dividida pela sua altura. Os padrões de IAR domésticos utilizados atualmente são 16:9 e 4:3 (JACK, 2005).

2.1.3 Padrões do sistema analógico de televisão em cores

Os sistemas analógicos de televisão em cores possuem três padronizações de sinal de vídeo globais. São eles: o PAL, o NTSC e o SECAM. As características desses padrões influem diretamente na largura de banda necessária para transmissão dos sinais de vídeo. Por isso, torna-se necessária uma explicação, mesmo que breve, sobre os mesmos. Maiores detalhes sobre os três padrões podem ser vistos em (JACK, 2005). O padrão NTSC surgiu em 1953, quando o primeiro sistema para televisão colorida foi desenvolvido nos EUA, com aprovação do FCC; esse padrão definiu que os sinais de vídeo deviam ser compatíveis com os monocromáticos até então existentes. Logo, o vídeo deveria ser capaz de ser transmitido em um canal de largura de banda de 6 MHz. Essa largura de banda só foi alcançada devido à multiplexação e à modulação de informações das cores. O padrão NTSC define que cada quadro de imagem deve ter 525 linhas, a leitura das linhas deve ser feita com frequência de 15,75 Hz, e um campo deve ser amostrado na frequência de 59,94 Hz. Os padrões PAL e SECAM surgiram na Europa e convencionaram que a imagem deveria ter 625 linhas, com as leituras das linhas

sendo feitas com frequência de 15,625 Hz, e um campo deve ser amostrado na frequência de 50 Hz. Como esses padrões utilizam a técnica de leitura de linhas entrelaçadas, eles reproduzem ou gravam uma imagem fazendo duas leituras da cena tridimensional. Essa leitura dupla define um campo. Com isso, a frequência de amostragem acima citada é equivalente a 30 e 25 quadros por segundo, respectivamente. Maiores detalhes sobre as técnicas de leitura de linhas podem ser vistos em (WANG, et al., 2001), (TOPIC, 2002) e (JACK, 2005)

Em comum, esses três padrões adotaram o IAR 4:3 e um padrão de cor diferente do RGB anteriormente descrito. Para as transmissões de vídeos para televisores coloridos, é utilizado o sistema de cores YUV, sendo que nesse o componente Y, a já descrita luminância, corresponde à informação branca e preta do vídeo, e os componentes U e V são responsáveis pela parte cromática, representando as informações das cores. O contexto histórico em que a padronização ocorreu deve ser levado em consideração, assim como o fato de que era possível, com essa configuração, que os aparelhos televisores já existentes preto-branco continuassem a receber o sinal da imagem colorida e separassem somente o componente Y a fim de reproduzir a imagem recebida. Essa informação é relevante, dado que a padronização de vídeo digital proposta pelo (ITU-R BT.601, 1997) sugere a utilização de um padrão de cores derivado do YUV. É válido observar que, opcionalmente, o padrão NTSC pode utilizar o sistema de cores YIQ (JACK, 2005).

Para encerrar essa seção, existe abaixo uma tabela com as principais características de um vídeo analógico, salientando principalmente aquelas que fazem parte das características de um vídeo digital e que irão servir mais tarde para se explicar a grande largura de banda requerida por um vídeo digital.

<i>Característica</i>	<i>Descrição</i>
Quadros por segundo	Quantidade de imagens estáticas que são armazenadas em um segundo formando a sensação de movimento.
Sistema de Cores	Define como a cor de uma imagem é representada matematicamente
Linhas/Quadro	Quantidade de linhas lidas em cada quadro da imagem
IAR	Proporção entre a largura e a altura da imagem.

Tabela 1. Características principais do vídeo analógico.

2.2 VÍDEO DIGITAL

O vídeo digital pode ser definido como o sinal de vídeo representado por números binários que descrevem a crominância e a luminância, parâmetros já discutidos na seção anterior, de um determinado ponto de uma tela.

O questionamento sobre a natureza (o mundo em que vivemos) ser analógica ou digital tem sido exaustivo nos últimos tempos, como se pode ver numa simples pesquisa na *internet* pelo termo “*digital versus analogic*” (DYSON, 2001). Neste trabalho não cabe esse tipo de discussão, mas foi explicado na seção anterior que o vídeo é uma informação captada da variação de intensidade da luz, o que remete a um mundo analógico. A digitalização é a transformação dessas variações em uma seqüência de bits organizada de tal maneira que dispositivos que trabalhem com a lógica computacional sejam capazes de processar o que foi armazenado. A grande vantagem dessa digitalização é a flexibilidade no tratamento dos dados. Pode-se tomar como exemplo o transporte, pois, uma vez armazenado, o dado pode ser transportado sem perdas ou inserção de ruídos entre diversas mídias. Tem-se ainda a facilidade de tratamento numérico, através do processamento digital de sinais, para um vídeo e/ou áudio capturados. Utilizando os mesmos termos que o autor (WANG, et al., 2001), o vídeo digital (VD) nada mais é do que a representação em bits de imagens de duas dimensões retiradas de cenas dinâmicas de três dimensões.

Além da transformação de sinais analógicos para bits, o VD também traz um novo conceito de amostra que é representada por um vídeo. No vídeo analógico, a cena lida é convertida em uma imagem através da leitura dos pontos de cor em uma linha, pontos estes expressos pelo sistema de cor adotado. No mundo digital, cada ponto lido é chamado de pixel, que é uma forma abstrata não definida que representa a menor divisão que uma imagem digital pode ter. Um quadro é formado, então, por uma seqüência finita de vetores 2D de *pixels*. (JACK, 2005)(WANG, et al., 2001).

Um VD pode ser obtido de duas maneiras diferentes: ou é feita uma digitalização do vídeo analógico, ou o vídeo é gravado por câmeras que possuem sensores *Charge Coupled Device* (CCD) capazes de gerar automaticamente bits ao

invés de um sinal analógico. Segundo (SCHNEIDER, 2007) um CCD pode ser descrito da seguinte maneira:

“CCD é a abreviatura do termo *Charge Coupled Device*, que significa Dispositivo de Carga Acoplado, a que denomina a tecnologia básica de operação do sensor. Uma imagem é projetada por uma lente em um *array* de capacitores, fazendo cada capacitor acumular uma carga elétrica proporcional à intensidade de luz naquele local. Um *array* unidimensional, usado em *scanners*, captura uma única fatia da imagem, enquanto um *array* bidimensional, usado em vídeo e câmeras, captura a imagem inteira ou uma porção retangular dela. Uma vez que o *array* foi exposto à imagem, um circuito de controle faz cada capacitor transferir sua carga a seus capacitores vizinhos. O último capacitor do *array* transfere sua carga para um amplificador que converte a carga em tensão. Repetindo esse processo, o circuito de controle converte o conteúdo inteiro do *array* em uma tensão variável que é amostrada, digitalizada e armazenada em memória.”

(SCHNEIDER, 2007)

Segundo (WANG, et al., 2001) o VD pode ser definido pela taxa de quadros, o número de linhas e o número de leituras por linha. A digitalização acrescenta aos parâmetros do vídeo analógico a necessidade de se transformar as cores em bits. Assim, temos o parâmetro bits/pixel, ou seja, a quantidade de bits necessários para se representar a cor de um pixel; tem-se também o surgimento do parâmetro que diz a taxa de dados, que é determinada pela quantidade de bits necessária por segundo para se representar o vídeo.

2.2.1 ITU-R BT.601 *Digital Video*

Os autores (WANG, et al., 2001), (TOPIC, 2002) e (JACK, 2005) afirmam que as recomendações ITU-R BT.601 servem como o ponto inicial do desenvolvimento do vídeo digital. Segundo (JACK, 2005) a *European Broadcasting Union (EBU)* começou as pesquisas para um padrão de vídeo digital, uma vez que existe uma grande dificuldade na conversão e na troca de materiais entre os padrões PAL e SECAM. A necessidade da EBU era então promover um padrão de vídeo que suportasse os dois padrões existentes, e, em parceria com a Sociedade dos Engenheiros de Imagens Dinâmicas e Televisão (do inglês: *Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE)*), surgiu o desenvolvimento de uma

plataforma universal para a reprodução de vídeos, incluindo também o NTSC. Após uma série de demonstrações e testes a fim de provar a qualidade do padrão desenvolvido, os principais parâmetros da conversão digital, da temporização e dos filtros desse padrão foram incorporados às recomendações BT.601 (ITU-R BT.601, 1997).

As recomendações propõem que a codificação do sinal analógico deva ser feita em uma velocidade de amostragem de 13,5 MHz. Na dedução 1.5.2, (WANG, et al., 2001) mostra que com essa taxa de amostragem e com o aspecto 4:3 é possível conseguir uma leitura respectiva ao NTSC e ao PAL de 858 e 864 pontos por linha. Porém, a recomendação feita na (ITU-R BT.601, 1997) fixa esse valor em 720 pontos/linha a fim de manter a compatibilidade entre os padrões. Já que o número de *pixels* por linha é fixo, cada aparelho deve ter a capacidade de adaptar o formato do pixel (ver definição na seção anterior) de modo que a imagem seja reproduzida no formato adequado. Na Figura 1 podem ser vistas as áreas dos dois padrões e as respectivas quantidades de linhas e *pixels* por linha.

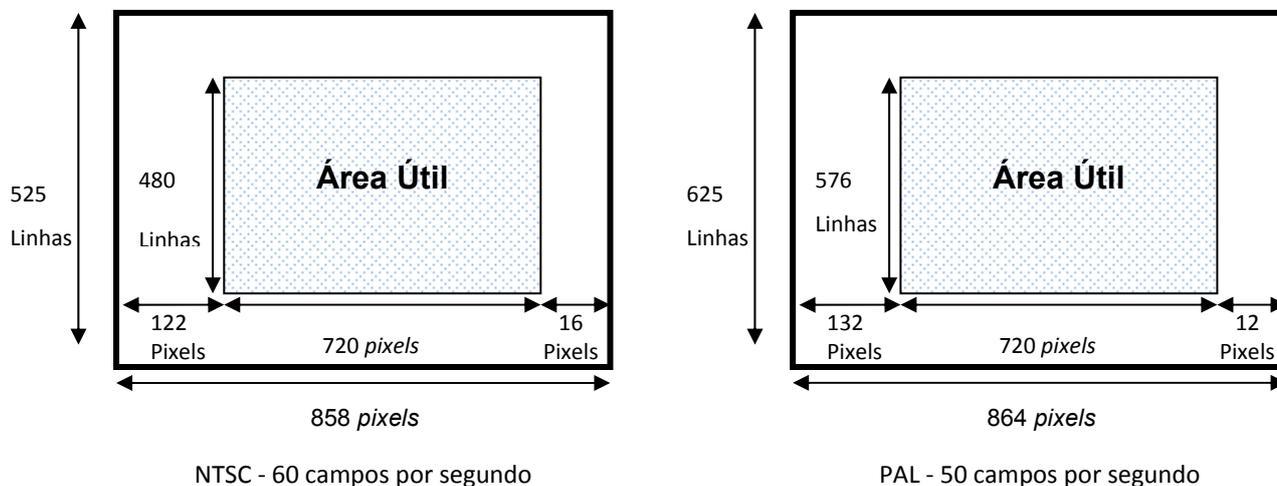


Figura 1. Área disponível dos padrões NTSC e PAL

2.2.2 Sistema de cor

Além do número de linhas e da quantidade de *pixels* por linha, a recomendação BT.601 também especifica o sistema de cor a ser adotado. Como já explicado, os padrões de transmissão para televisão em cores utiliza o sistema de cor YUV. Para os vídeos digitais é padronizada a utilização do padrão YCbCr, que é

derivado do YUV (JACK, 2005). Segundo o autor, o YCbCr é uma versão escalar e compensada do sistema YUV.

Os parâmetros de luminância e crominância seguem a seqüência do padrão YUV, ou seja, Y corresponde à luminância e Cb/Cr à crominância; cada um pode ser representado por 8 bits, porém Y pode ter valor nominal de 16 a 235, enquanto Cb e Cr podem ter o valor nominal de 16 a 240. Essa diferença nominal ocorre por dois motivos: evitar possíveis erros de *over* e *underflow*, que podem ocorrer na conversão binária, e limitar a quantidade de cores obtidas a um número de cores igual ao do sistema RGB (ITU-R BT.601, 1997). Porém, aplicações profissionais necessitam de maior fidelidade às cores, e, sendo assim, a representação nominal para alguns dispositivos pode ser de 10 bits.

Existem quatro formatos definidos a fim de se codificar os parâmetros YCbCr. São eles: 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1 e 4:2:0. O formato 4:4:4 é o formato utilizado em aplicações que necessitam de alta resolução. Neste formato, a codificação do pixel traz para cada pixel valores de Y, Cb e Cr separados. Como explicado anteriormente, cada parâmetro é codificado com 8 bits, podendo-se chegar a 10. Nota-se que no formato 4:4:4 são necessários 24 ou 30 bits para se formar a cor de um pixel. No formato 4:2:2, todos os *pixels* tem o valor de Y convertidos, porém somente são lidos os valores de Cb e Cr a cada dois *pixels*. Neste caso, são necessários 16 ou 19 bits para representar a média de bits necessária para o grupo de 4Y. Já no formato 4:1:1, que é o formato definido para utilização em situações em que a banda utilizada é crítica, temos que para cada 4 Y um valor de Cb e Cr é lido, ou seja, 12 ou 15 bits representam a média de bits necessária para o grupo de 4Y. Por último, temos o formato 4:2:0, que, segundo (TAYLOR, 2001), é o formato utilizado nos discos de DVD. Este é o mais complexo de todos, uma vez que os outros formatos somente variam a análise dos valores de cores na horizontal. O formato 4:2:0 faz a análise dos valores de Cb e Cr tanto na horizontal quanto na vertical, e nele também é analisado um valor de Cb e Cr para cada 4 valores de Y, sendo a quantidade de bits necessária igual ao do formato 4:1:1.

2.2.3 Taxa de dados

A taxa de dados é o parâmetro do vídeo digital que informa a quantidade de dados processados por segundo. Analisar-se-á nesta seção qual a taxa de dados de cada um dos padrões estabelecidos pela recomendação (ITU-R BT.601, 1997). Para tal, uma última informação se faz necessária: os valores do parâmetro quadro por segundo não foram alterados pela recomendação. Assim, para o padrão NTSC tem-se a taxa de 59,94 (60) campos entrelaçados por segundo, ou seja, 30 quadros por segundo, e para o padrão PAL e SECAM tem-se 50 campos entrelaçados por segundo, remetendo a 25 quadros por segundo. O cálculo para a obtenção da taxa de dados é obtido da seguinte maneira:

$$\text{Taxa de Dados} = \frac{\text{Pixels}}{\text{Linha}} * \frac{\text{linhas}}{\text{quadro}} * \frac{\text{quadros}}{\text{segundo}} * \frac{^2\text{Bits}(YCbCr)}{\text{Pixel}} \left[\frac{\text{Bits}}{\text{Segundo}} \right]$$

A taxa de dados dos vídeos definidos pela recomendação (ITU-R BT.601, 1997) é resumida na tabela Tabela 2.

Padrão-Formato de cor	Pixels/Linha	Linhas	QPS	Bits YCbCr	Taxa de Dados [Mbps]
NTSC-4:4:4 Área Total	858	525	30	24	324
NTSC-4:4:4 Área útil	720	480	30	24	249
NTSC-4:2:2 Área Total	858	525	30	16	216
NTSC-4:2:2 Área útil	720	480	30	16	166
NTSC-4:1:1 Área Total	858	525	30	12	162
NTSC-4:1:1 Área útil	720	480	30	12	124
NTSC-4:2:0 Área Total	858	525	30	12	162
NTSC-4:2:0 Área útil	720	480	30	12	124
PAL-4:4:4 Área Total	864	625	25	24	324
PAL-4:4:4 Área útil	720	576	25	24	249
PAL-4:2:2 Área Total	864	625	25	16	216
PAL-4:2:2 Área útil	720	576	25	16	166

² Bits YCbCr é a quantidade de Bits necessários para expressar uma determinada cor utilizando o sistema de cor YCbCr.

PAL-4:1:1 Área Total	864	625	25	12	162
PAL-4:1:1 Área útil	720	576	25	12	124
PAL-4:2:0 Área Total	864	625	25	12	162
PAL-4:2:0 Área útil	720	576	25	12	124

Tabela 2. Taxa de dados dos vídeos padronizados pela (ITU-R BT.601, 1997)

2.2.4 Compressão de vídeo

Conforme explicado na seção 2.2.3 um vídeo sem nenhuma compressão necessita de uma grande quantidade de espaço para ser armazenado e também de uma grande largura de banda para ser transmitido. Vale lembrar que não foi acrescido na tabela de taxa de dados o áudio que certamente aumentaria os valores já altos desse parâmetro. Torna-se então evidente que a compressão, tanto do vídeo como do áudio, é de vital importância para a manipulação dos vídeos digitais.

De maneira geral, a compressão pode ser definida como a eliminação de dados redundantes. A forma como a detecção da redundância é feita é o que muda entre os diversos algoritmos desenvolvidos para esse fim. Segundo (SADKA, 2002), para se obter um método de compressão eficiente, é necessário um algoritmo de alta capacidade e baixa complexidade, uma vez que os sinais de vídeo sem compressão por si só já necessitam de alto poder de processamento. A escolha de um método de compressão depende da disponibilidade da largura de banda onde será reproduzido o vídeo e do nível de qualidade desejado.

Alguns modelos de compressão de dados utilizam as limitações dos órgãos sensoriais dos espectadores. Com isso, nem tudo o que é captado é transformado em dados, simplesmente são descartadas as informações captadas que estejam fora do espectro de onda visível ao olho e audível ao ouvido humano. Existem dois tipos de compressão:

- Compressão sem perdas: onde todos os dados da informação após compressão são recebidos e decodificados pelo receptor gerando sinais sem nenhuma perda em relação à fonte;

- Compressão com perda: apesar de alterar o sinal recebido em relação ao emitido, explora o fato de que para um desejado serviço a qualidade está suficientemente aceitável para o usuário e que, mesmo apesar de falhas grosseiras acontecerem na recepção, o sinal pode ser considerado aceitável. Logo, a percepção de bom ou ruim depende do contexto onde o sinal está sendo transmitido e do usuário.

A partir das explicações de toda a seção 2.2, é possível construir uma tabela que informa quais parâmetros do VD são suscetíveis à ação dos algoritmos de compressão. A Tabela 3 traz uma possível relação dos parâmetros que podem ser alterados provocando uma diminuição da taxa de dados, antes mesmo da aplicação de um algoritmo de verificação de redundância e/ou de filtros passa alta/passa baixa retirando a parte não percebida pelos olhos e ouvidos do usuário.

É importante salientar esses parâmetros, pois a distribuição de *streaming*³ feita durante o experimento deste trabalho não utilizou um algoritmo de compressão além do MPG2 já existente no vídeo original, um DVD, mas mesmo assim verificou-se a necessidade de alterar parâmetros para que o *streaming* “se adaptasse” à largura de banda do canal utilizado. O parâmetro alterado foi o par pixel por linha, linha por quadro, que fora reduzido em seu tamanho pela metade, gerando assim uma menor taxa de dados. No capítulo 4, item 4.8 o procedimento será explicado com maiores detalhes.

Parâmetro	Possível ação para compressão do dado.
Taxa de Quadros	Diminuir a quantidade de quadros lidos em um segundo.
Formatação do sistema de Cor	Diminuir a quantidade de bits necessários para representar uma cor
Pixel por linha	Diminuir a quantidade de <i>pixels</i> em uma linha Alterar a forma do pixel, alterando sua interação com o pixel vizinho.
Linha por quadro	Alterar a quantidade de linhas em cada quadro.

Tabela 3. Parâmetros que alteram a taxa de dados.

³ O termo *streaming* será detalhado em um capítulo específico.

Não faz parte do escopo desse trabalho analisar em detalhes os algoritmos de compressão. Para maiores detalhes consultar as referências (SADKA, 2002) e (JACK, 2005 pp. 389-463).

2.2.5 O padrão MPEG (*Moving Picture Experts Group*)

Segundo (WANG, et al., 2001), a necessidade de padronizações internacionais fez com que em 1906 fosse criada a Comissão Internacional Eletrotécnica⁴, com o intuito de preparar e publicar padrões mundiais para todas as tecnologias elétricas e eletrônicas emergentes. Ainda segundo o autor, o CIE atualmente é responsável por padronizar os dispositivos conhecidos como “*receivers*”, componente responsável pelo processamento de áudio e vídeo nos sistemas de *home-theater*. Em 1942, surgiu a Organização Internacional de Padronização⁵ (OIP), com o intuito de facilitar e unificar os padrões mundiais para a indústria.

Essa informação é relevante para o trabalho porque todas as atividades ligadas a computação e a TI fazem parte da *Joint ISO/IEC Technical Committee 1* (JTC 1). Destes comitês técnicos deriva o subcomitê 29, responsável por trabalhos relacionados à digitalização de áudio, imagem, multimídia e hipermídia. Nesse subcomitê estão os grupos de trabalho conhecidos como o *Joint Picture Experts Group (JPEG)* e o *Moving Picture Experts Groups (MPEG)*.

A compressão de imagens dinâmicas se fundamentou no padrão JPEG, que foi definido para imagens estáticas. A redução conseguida pelo JPEG nas imagens estáticas chega a uma taxa de compressão entre 10:1 e 50:1 (TOPIC, 2002). Tentou-se alcançar essa taxa de compressão em vídeos aplicando os algoritmos de compressão JPEG em cada quadro do sinal. Esse primórdio do MPEG é conhecido como *Motion-JPEG*, ou, M-JPEG.

⁴ Do inglês: *International Electrotechnical Commission (IEC)*.

⁵ Do inglês: *International Organization for Standardization (ISO)*.

Em 1998 foi criado o grupo de trabalho MPEG com o objetivo de especificar um sistema para compressão e descompressão de áudio e vídeo. Nessa data, a busca do grupo era por um padrão capaz de permitir que um vídeo fosse armazenado em um CD-ROM a uma taxa de dados constante de 1,5 Mbps. Para tal largura de banda, foi especificada resolução horizontal de 360 *pixels* e vertical de 240 *pixels* para NTSC e 288 *pixels* para PAL/SECAM, mantendo-se as já conhecidas taxas de quadro por segundo. Surgiu então o MPEG-1, que atingia o seu objetivo inicial mas não supria as necessidades profissionais de qualidade. Então foi especificado o MPEG-2, padrão capaz de suportar as recomendações (ITU-R BT.601, 1997) e hoje adotado de forma unânime nos modelos de distribuição da TV Digital (TOPIC, 2002).

O padrão MPEG é um conjunto de ferramentas capaz de alterar diversos parâmetros a fim de se obter diferentes taxas de dados. Com isso, milhares de combinações são possíveis, tornando-se impossível definir qual ferramenta (algoritmo) utilizar para atingir um determinado objetivo. Assim, a fim de tornar prática a busca pela ferramenta correta, o padrão MPEG2 é dividido em perfis, que por sua vez são divididos em níveis que descrevem a gama de parâmetros modificados para um perfil.

Um perfil é um subconjunto da sintaxe de *bit stream* utilizado pelo MPEG-2 dividindo o algoritmo utilizado em seis complexidades. Os níveis restringem os parâmetros do DV que podem ser modificados, dada a complexidade do algoritmo escolhido. A Tabela 4 traz de forma simplificada a complexidade de cada perfil e os parâmetros de cada nível. Para maiores detalhes sobre o processamento do MPEG-2, recorrer a (TOPIC, 2002 pp. 406-429), (JACK, 2005) e (WANG, et al., 2001 pp. 449-460). Os nomes do perfil e do nível foram mantidos em inglês para melhor compatibilidade com a literatura.

Perfil	Formato de Cor	Parâmetros	Nível			
			<i>Low</i>	<i>Main</i> (ITU 601)	<i>High</i> (HD,4:3)	<i>High</i> (HD,16:9)
Simple	4:2:0	Tamanho da Imagem:		720x576		
		Frequência da Imagem:		30		
		Taxa de Dados:		15		

Main	4:2:0	Tamanho da Imagem:	325x288	720x576	1440x1152	1920x1152
		Frequência da Imagem:	30	30	60	60
		Taxa de Dados (Mbps):	4	15	100	80
SNR	4:2:0	Tamanho da Imagem:	325x288	720x576		
		Frequência da Imagem:	30	30		
		Taxa de Dados (Mbps):	4	15		
Spatial	4:2:0	Tamanho da Imagem:			720x576	
		Frequência da Imagem:			30	
		Taxa de Dados (Mbps):			15	
High	4:2:2	Tamanho da Imagem:		720x576	1440x1152	1920x1152
		Frequência da Imagem:		30	60	60
		Taxa de Dados (Mbps):		20	80	100
Studio	4:2:2	Tamanho da Imagem:		720x608		
		Frequência da Imagem:		30		
		Taxa de Dados (Mbps):		50		

Tabela 4. Perfis e Níveis MPEG-2 (TOPIC, 2002 p. 408)

3 DISTRIBUIÇÃO DE VIDEO DIGITAL

Como o vídeo digital, após convertido e codificado, é uma seqüência tratada e armazenada de bits, pode-se usufruir de toda a flexibilidade das mídias digitais para sua distribuição. Isso quer dizer que é possível copiar, reproduzir e transportar os vídeos em qualquer computador ou dispositivo capaz de processar a informação armazenada, sempre contando com uma cópia idêntica à original. São diversas as mídias digitais disponíveis hoje, como *pen drives*, discos rígidos, dispositivos de armazenamento óticos (DVD/CD). O meio de distribuição de mídias digitais que mais tem crescido é todo aquele que utiliza uma rede de comunicação de dados e permite ao usuário mobilidade e conectividade, como, por exemplo, as redes locais, regionais e metropolitanas, as redes *Wi-Fi* e as redes de dispositivos celulares formadas companhias telefônicas (LIMA, 2005) (KUROSE, et al., 2003).

Para mostrar essa complexidade, o autor (TOPIC, 2002) desenvolve um exemplo em cima de um sinal MPEG2 que tem como finalidade chegar a um espectador em sua casa. Para tal finalidade, esse sinal pode ser enviado ao usuário através do ar, como é feito no sistema de televisão atual, no sistema via satélite conhecido por *Digital Video Broadcast*. O mesmo sinal pode ser transformado em pacotes TCP/IP e enviado ao mesmo usuário através de um modem a cabo usando o protocolo de transporte para hipermídia (HTTP). Outra opção seria enviar pacotes TCP/IP através de uma rede IP, ou então utilizar-se do sistema DVD. Enfim, as possibilidades são inúmeras, uma vez que tudo o que se faz é transportar dados binários.

Neste capítulo há uma lista com todas as mídias e meios de distribuição envolvidos nos testes realizados para este trabalho. Maiores detalhes serão dedicados a um meio de distribuição específico: o *streaming* de vídeo, que é o objeto de estudo da pesquisa realizada.

3.1 DIGITAL VIDEO DISC

O DVD é uma mídia capaz de armazenar unidades e até dezenas de Gigabytes. Para tirar proveito dessa capacidade, o consórcio responsável pelo

desenvolvimento da tecnologia optou pela compressão MPEG2 como padrão a ser seguido. O perfil e nível da compressão MPEG2 é o conjunto *Main Profile/Main Level* descritos na seção 2.2.5. A taxa de 15 Mbps definida para esse conjunto não é somente para o vídeo, mas para todo o conteúdo da mídia, incluindo trilhas de áudio, legendas, menus, outros pequenos vídeos, etc.. Uma característica importante dessa tecnologia é que ela permite o uso de taxas de dados variáveis, ou seja, para cenas com menor complexidade a taxa de dados é mais baixa, permitindo que cenas mais complexas sejam codificadas com mais detalhes e taxas de dados maiores, mantendo a média da taxa de dados constante (TAYLOR, 2001). Durante os testes realizados, um DVD serviu como fonte de dados para o servidor de *streaming*.

3.2 STREAMING DE VÍDEO

Como já discutido no início deste capítulo, a mídia digital tem como características a flexibilidade e a capacidade de chegar ao usuário por diversos meios. Com isso, ela vem sendo cada vez mais explorada, não só por grandes corporações mas também por usuários individuais que querem, por exemplo, enviar uma foto a um amigo, conversar com outras pessoas, ou simplesmente ler o jornal.

Novas formas de utilização da rede de dados são descobertas a cada dia. A partir daí nascem novas formas de mídia digital que trazem um dinamismo impossível de ser distribuído com o antigo sistema de *broadcast* de informações, que limitava as opções de escolha do cliente. Por outro lado, a mídia digital pode ser distribuída através de diversos meios capazes de absorver esse dinamismo.

O autor (TOPIC, 2002) lista alguns meios de acesso que utilizam TCP/IP a fim de mostrar essa diversidade. Segundo ele, a mídia digital pode ser transmitida através da *internet*, através do uso de meios físicos como cabos telefônicos e redes de TV a cabo, e pode ser distribuída pelo sinal de distribuição da TV digital, ou então por redes ADSL para telefones celulares. Ela pode, ainda, se beneficiar da alta largura de banda das fibras ópticas, ou ser distribuída em redes *Ethernet*, ou por satélites, ou até mesmo por redes sem fio WLAN, e, por que não, por redes pessoais de pequeno alcance que utilizam tecnologia *IR (infrared)* ou *Bluetooth*.

Devido a essa grande quantidade de meios de distribuição, a necessidade criada pelos usuários de transmissão de vídeos em tempo real cresceu. Com isso, surgiu a necessidade de quebrar os dados multimídias em pequenos pacotes para distribuí-los pelas redes. Essa quebra de grandes volumes de dados em pacotes pequenos capazes de trafegar pela *internet* é chamada de *streaming*, e cada pequeno pacote é um *stream*. Conteúdos multimídias (áudio/vídeo) são reproduzidos por um cliente poucos segundos após terem sido requisitados ao servidor, permitindo a reprodução de arquivos sem a necessidade de se carregar todo o arquivo do servidor (KUROSE, et al., 2003) e, segundo (LOPES, 2006), o *streaming* pode ser definido como segue:

Streaming é uma forma de transmissão de arquivos de mídia, como áudio e vídeo ou outro tipo de conteúdo multimídia, através da divisão do arquivo em pacotes de dados que são transmitidos seqüencialmente e processados à medida que chegam ao dispositivo destino, não sendo necessário aguardar a transferência completa do arquivo para que ele seja usado.

(LOPES, 2006)

Outra característica do *streaming* é o armazenamento temporário de alguns pacotes recebidos pelo cliente antes da reprodução do arquivo multimídia, técnica conhecida como *streaming buffer*, que gera uma latência no dado recebido, mas que serve também para evitar problemas com o processamento multitarefa das *threads* de renderização de vídeo (TOPIC, 2002).

Nos testes realizados foi utilizada a técnica de *streaming unicast*. (KUROSE, et al., 2003) define *unicast* como a operação que envolve somente um receptor e um transmissor; já (JACK, 2005) afirma que são três as técnicas de distribuição mais utilizadas no *streaming* de conteúdos multimídias: o *unicast* já explicado, o *multicast*, onde um transmissor envia dados para um grupo definido de receptores, e o *broadcast*, onde um transmissor envia dados para qualquer receptor que deseje receber o sinal. Ainda segundo o autor, o *multicast* surgiu da crescente demanda de usuários por esse tipo de serviço.

De acordo com (DAPENG, et al., 2001), o *streaming* ponto a ponto (*unicast*) pode ser caracterizado como a figura a seguir:

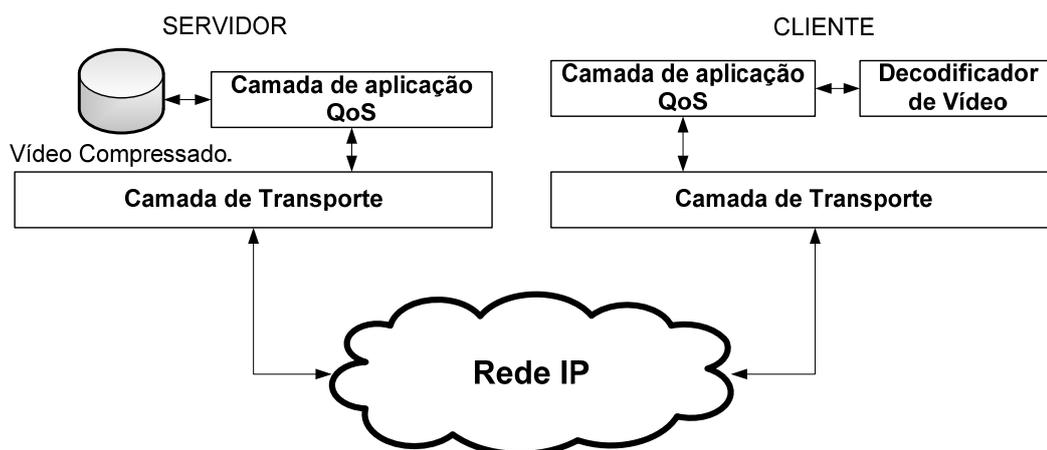


Figura 2. Dispositivos de um *streaming* ponto a ponto (DAPENG, et al., 2001).

3.2.1 Protocolos para *streaming* de vídeo

Como já discutido, após a solicitação de um cliente, o servidor de *streaming* envia o arquivo multimídia para ele através de um *socket*. Neste momento ambos os *sockets* TCP e UDP são utilizados. O encapsulamento dos pequenos pacotes gerados é feito pelo protocolo RTP (*Real-time protocol*). Quando o usuário começa a receber os dados solicitados após segundos de *buffer*, o conteúdo começa a ser reproduzido. Neste momento, os aplicativos fornecem opções de interatividade como parar temporariamente ou retroceder o conteúdo. O protocolo responsável por trafegar as informações dessa interatividade é o protocolo de sessão RTSP (*Real-time stream protocol*). O protocolo de camada de rede utilizado é o IP. A figura 3 mostra a organização desses protocolos.

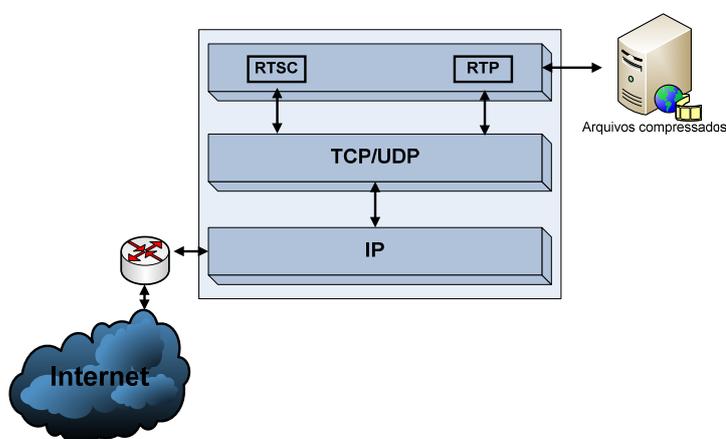


Figura 3. Protocolo para *streaming* multimídia.

Os protocolos UDP e TCP fornecem funcionalidades básicas de transporte, de multiplexação e de controle de erro. Na funcionalidade de multiplexação, o TCP é capaz de multiplexar *streams* de diferentes *threads* rodando na mesma máquina com o mesmo IP. No controle de erro, tanto TCP quanto UDP aplicam a técnica de *checksum* para detectar um erro – caso um único erro seja detectado, o pacote é descartado. A diferença é que o TCP tenta realizar a retransmissão do pacote perdido, ao passo que o UDP não o faz. O TCP também utiliza um controle de fluxo capaz de adaptar a taxa de transmissão de acordo com a situação da rede a ser transmitida. Porém, isso introduz um atraso no pacote trafegado, o que não é aceitável para aplicações de *streaming* de vídeo. Por isso o UDP é geralmente empregado como protocolo para esses *streamings*, e, como este não garante a entrega dos pacotes, cabe à camada superior essa detecção (WANG, et al., 2001).

Em (KUROSE, et al., 2003 p. 541), o autor afirma que, ao usar o conjunto UDP/IP, as aplicações de *streaming* de vídeo ficam suscetíveis aos problemas da técnica de melhor esforço aplicado pelo IP. São eles: perda de pacotes, atraso ponto a ponto e *jitter* entre os pacotes. Esses erros, somados às condições do canal pelo qual se transmite o *stream*, podem inviabilizar a reprodução do conteúdo enviado.

3.2.2 Servidor de *streaming*

O servidor é um *hardware* ou *software* responsável por transformar um conteúdo em um *stream* e distribuí-lo por uma rede através de protocolos especificados. No caso de uma grande rede de serviço de *streaming*, a correta especificação da densidade de servidores e suas capacidades de processamento são de vital importância no sucesso do funcionamento do serviço prestado.

Adicionalmente, os servidores de *streaming* também devem ser capazes de suportar a interatividade similar à de um vídeo cassete para operações como parada, parada temporária, avanço rápido e retrocesso rápido. Esse suporte a interatividade deve ser feito de modo sincronizado com o dispositivo cliente.

Para este trabalho, a estrutura utilizada foi de apenas um cliente e um servidor. Como a estrutura não seria exigida com a reprodução simultânea de vários

vídeos, um *hardware* especial não se fez necessário. Sendo assim, optou-se por usar um PC com um *software* capaz de gerar os *streams*.

Algumas opções de servidores de *streaming* são: Helix Universal Server, da Helix Community (RealNetworks, 2008) com apoio da RealNetworks, o QuickTime *Streaming* Server e o Darwin *Streaming* Server, da Apple (Apple, 2007), o Windows Media Encoder (Microsoft Corporation, 2008), da Microsoft, e o VideoLAN Player da VideoLAN (VIDEOLAN, 2006).

A opção pelo *software* de distribuição da VideoLAN (VIDEOLAN, 2006) será explicada no desenvolvimento do experimento.

3.3 DISTRIBUIÇÃO POR REDES IP SEM FIO

Conforme visto no capítulo introdutório, o constante crescimento da utilização de redes de comunicação de dados sem fio faz surgir a possibilidade da transmissão *streaming* por estas. Porém, o comportamento do canal de transmissão torna-se instável e imprevisível, dadas as infinitas possibilidades de mobilidade do receptor e a alta gama de fatores ambientais que afetam diretamente a largura de banda e a taxa de erros na transmissão de dados por esse canal. De acordo com (WANG, et al., 2001), as principais dificuldades da distribuição em redes sem fio são:

- **Variação da largura de banda:** segundo o autor, quatro fatores influenciam na largura de banda do canal. O primeiro fator é a diminuição do *throughput* devido aos efeitos de *multipath fading*, interferência entre canais e perturbações por ruídos. O segundo é a variação que ocorre devido à variação da distância entre o receptor e a fonte. O terceiro fator é uma possível mudança do cliente entre diferentes redes. Caso isso ocorra, a largura de banda pode ser diminuída drasticamente. E por último existe a possibilidade de não haver disponibilidade de um determinado provedor para a solicitação de todos os clientes.
- **Alta taxa de erro:** a taxa de erro de bits (do inglês *bit error rate*) (BER) é muito alta nas redes sem fio se comparada às das redes feitas com

cabos de par trançados, devido à suscetibilidade muito maior do canal a interferências externas. Ainda segundo o autor, esse alto BER prejudica muito a qualidade dos vídeos transmitidos.

- **Jitter:** As aplicações em tempo real possuem algumas particularidades. Entre elas está a criticidade em relação a atrasos. No caso específico da distribuição de vídeos, pacotes até podem ser perdidos sem afetar a qualidade da imagem, pois eles representam alguns poucos quadros dessa imagem. Como visto na sessão anterior, é intrínseco ao protocolo IP a inserção de *jitter* nos pacotes transmitidos. O *jitter* é uma variação estatística do retardo na entrega de dados em uma rede, ou seja, pode ser definido como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados, ou como a variação do atraso na entrega de pacotes entre a fonte e o destino. Normalmente, os receptores buscam amenizar esse problema com a criação dos já comentados *buffers* no início da recepção. Contudo, se a rede estiver apresentando uma variação muito grande nos tempos de atraso dos pacotes, o *buffer* poderá não ser suficiente para manter a reprodução do vídeo.

4 DESENVOLVIMENTO DOS EXPERIMENTOS

4.1 BANCADA DE EMULAÇÃO DE REDES SEM FIO

As redes sem fio apresentam uma característica particular, que é o fato de ter seu desempenho fortemente afetado pelas condições de propagação do sinal que transmite os dados. Como essas redes foram concebidas para operar em ambientes internos, é muito importante que todos os serviços delas solicitados possam ser medidos também nessas condições. Entretanto, desenvolver testes e medidas para estes serviços se torna extremamente difícil, já que a distribuição de dados é feita diretamente pelo ar. Com essa dificuldade, uma bancada de emulação de canal, que reproduz o fenômeno de *fast fading*, foi utilizada nas retiradas de medidas (GOES, et al., 2006). A Figura 4 mostra um diagrama simplificado da bancada. Maiores detalhes podem ser vistos na Figura 5. O controle da bancada é feito por um computador pessoal através de uma porta paralela que envia uma seqüência de bits para o conversor analógico/digital. Este, por sua vez, os converte a uma tensão, correspondendo a um nível de potência para o atenuador que simula efeitos de distorção e atenuação na rede. Um computador conectado ao *switch* envia dados a um AP que está confinado hermeticamente em uma caixa selada. Tal caixa transmite os sinais de RF através de um cabo coaxial. Assim, todo sinal irradiado pelo AP é concentrado nesse cabo e transmitido ao PC2. Nesta bancada, os fenômenos encontrados em ambientes *in-door* podem ser simulados, sendo o principal deles o *flat fast fading*. Com isso foi possível conseguir realizar medidas com os pacotes do *streaming* do vídeo que estava sendo transmitido. Outro elemento foi adicionado à bancada para tornar possível a medida da velocidade de envio dos pacotes transmitidos: uma placa *wireless*, conectada a um *spliter* e configurada em modo promíscuo, a fim de poder coletar dados de todos os pacotes que por ela passavam. Essa placa foi inserida entre a caixa selada e o cabo coaxial.

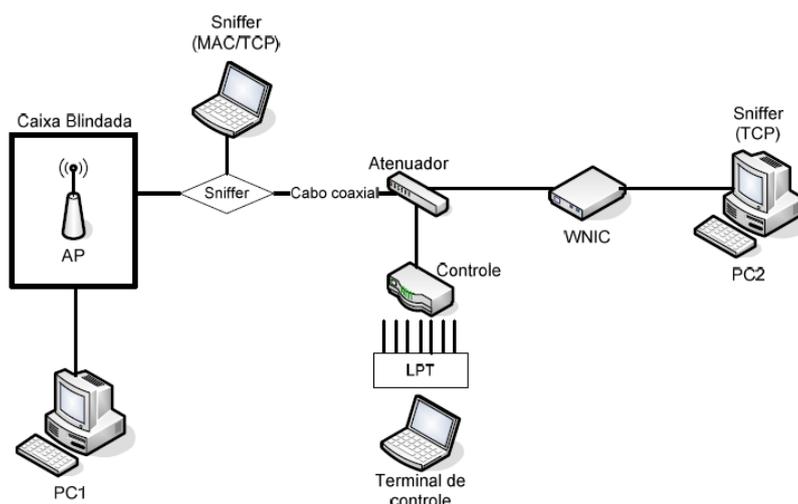


Figura 4. Diagrama simplificado da bancada de testes.

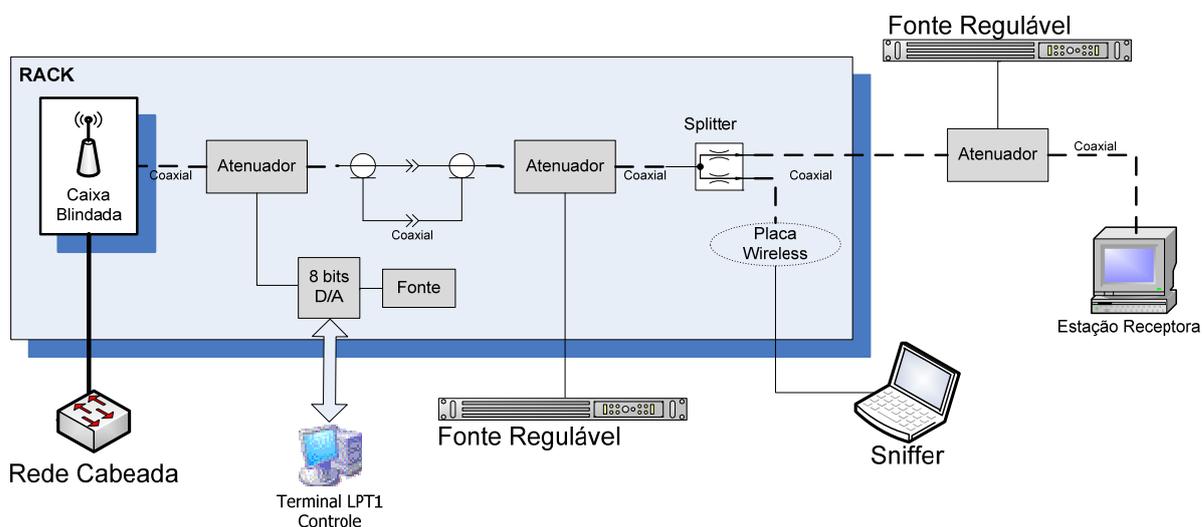


Figura 5. Diagrama detalhado da bancada de testes.

4.2 ESCOLHA DO VÍDEO PARA TRANSMISSÃO

Segundo (LUGMAYR, et al., 2004) os três grandes consórcios de padronização da TV Digital: DVB, ATSC-DASE e ISDB-BML possuem como característica comum adotar o MPEG2 para padrão de compressão do vídeo. Como esse é o padrão comum de *broadcast* para a televisão digital, sugere-se analisar o mesmo padrão para a transmissão sem fio em redes IP. No Brasil, o padrão de *broadcast* adotado é o MPEG-4 (H.264). Entretanto, para *streaming* de vídeo padrão também é adotado o MPEG-2. Como já visto na seção 3.1, o conjunto perfil/nível de

compressão utilizado nos vídeos DVD pode chegar a 15 Mbps, o que não foi possível transmitir através da rede 802.11b mesmo nas condições mais favoráveis. Assim, optou-se pela redução do número de linhas e *pixels* horizontais de vídeo, usando um tamanho de 352x288. A partir da seção 2.2.5, percebe-se que, mantendo o padrão de cores 4:2:0, essa resolução remete ao conjunto perfil/nível *main profile/low level*. Este tem como característica uma taxa de dados que pode chegar a 4 Mbps. Com essa configuração foi possível transmitir o vídeo em qualquer situação.

Nos testes realizados foi escolhido um DVD qualquer. Utilizando-se um *software* de análise de taxa de dados, tornou-se possível analisar tecnicamente a característica do vídeo que era transmitido, ou seja, analisar os parâmetros do VD, como taxa de dados e resolução. A escolha do *software* não é discutida, uma vez que as informações são retiradas de comparações dos perfis do padrão de compressão MPEG2 já estudados, ou seja, os dados não sofrem influência da leitura realizada deles. O *software BitRate Viewer* (VIEWER, BITRATE, 2000) foi utilizado para retirar as informações da compressão do vídeo utilizado, e as características principais podem ser vistas na Figura 6. O vídeo possui uma taxa de dados média de 9,8 Mbits/seg, o que a principio está abaixo do perfil *main profile/main level*, mas não se pode esquecer que esse valor da taxa de dados é do vídeo e não do áudio ou dos dados adicionais contidos na mídia.

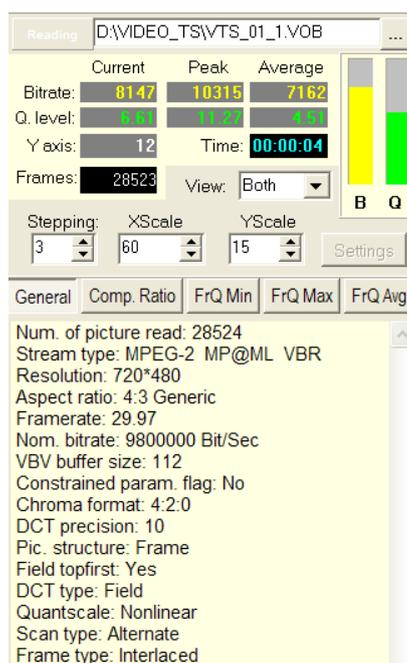


Figura 6. Características do vídeo analisado

4.3 O SERVIDOR DE STREAM

Na seção 3.2.2 é explicado que um servidor de *streaming* pode ser um *software* ou um *hardware*, responsável por gerar e distribuir um sinal de vídeo. Neste trabalho existe a necessidade de um servidor que seja capaz de distribuir um sinal de DVD através de uma rede que possua alta instabilidade e seja altamente heterogênea.

Como o desenvolvimento dos testes não se baseou na estrutura de um cliente e de um servidor, não há a necessidade de *hardwares* específicos para o *streaming*. Sendo assim, optou-se pela utilização de um PC com um *software* como servidor. Com essas características, definiu-se que a opção do servidor seria um *software* aderente ao GNU, o que permite que o *software* seja utilizado sem limitações e também em diversas plataformas.

Em (LOPES, 2006), um estudo é feito sobre os servidores *Helix Universal Server*, *Darwin Streaming Server* e *Windows Media Encoder*. Os dois primeiros são aderentes ao GNU e possuem a capacidade de transmissão em diversas plataformas, porém não suportam o padrão MPEG-2. Já o programa da Microsoft necessita que o Windows seja registrado para que se possa utilizá-lo, sendo descartado no primeiro requisito: ser aderente ao GNU.

Definidas as necessidades, analisando o estudo feito em (LOPES, 2006) e o trabalho desenvolvido pelo grupo de estudos VideoLan (VIDEOLAN, 2006) o *software* servidor escolhido foi o VLC, um programa desenvolvido pelo grupo de estudos VideoLan.

O VLC tem como diferença em relação aos outros servidores estudados em (LOPES, 2006) a sua distribuição gratuita e capacidade de gerar *stream* a partir de diversas fontes. O VLC é capaz de gerar *stream* de fontes MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 e DivX, DVDs, canais digitais de satélites, canais digitais de televisão terrestre e distribuí-lo através de redes IPv4 ou IPv6 de maneira *uni* ou *multicast* sobre diversas plataformas de sistemas operacionais, uma vez que segue a política GNU (VIDEOLAN, 2006).

O projeto VideoLAN é oriundo de um grupo de estudantes franceses que permite a contribuição de programadores do mundo todo e tem como proposta uma solução completa e sem custos de distribuição de vídeo, como pode ser visto na Figura 7. Para este trabalho foi utilizado o *software* VLC versão 0.8.6a.

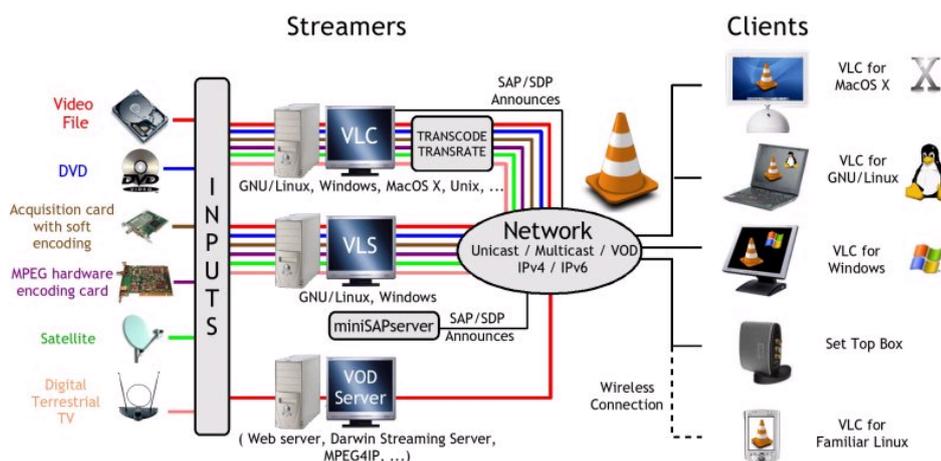


Figura 7. Solução de *streaming* VideoLAN.

O VLC permite também a configuração de um *buffer* de dados recebidos, que foi utilizado com o valor de 5 segundos, ou seja, o vídeo só começa a ser visualizado após 5 segundos de armazenamento de dados recebidos. Esse valor é importante, pois, quanto maior o *buffer*, menor a percepção dos problemas inseridos pelo meio de transmissão. O valor de 5 segundos foi utilizado por ser o menor valor possível da ferramenta. Para mostrar totalmente a influência do meio sobre o vídeo transmitido, o ideal é não utilizar o *buffer*, mas todos os servidores estudados não permitem retirar essa configuração.

4.4 ESCOLHA DA DISTRIBUIÇÃO DE RAYLEIGH

Com a possibilidade de controle do sinal descrita no item 4.1, tem-se a oportunidade de simular uma variação do sinal da portadora conforme distribuições conhecidas, desde que a distribuição esteja contida no intervalo de 0 a 255, já que existe o limite de oito bits da porta paralela que faz o controle da bancada.

A distribuição de Rayleigh é uma distribuição particular da distribuição de Weibull. Segundo (LAW, et al., 2000 p. 334), se uma distribuição de Weibull(α, β)

tiver $\alpha = 2$, então pode-se considerar essa distribuição como uma distribuição de Rayleigh em função de Beta, Rayleigh(β).

A distribuição de Rayleigh pode ser obtida através de $\sqrt{(y^2 + z^2)}$ desde que y e z sejam duas distribuições normais independentes. Se as duas distribuições tiverem média zero e variância β^2 então podemos dizer que Rayleigh($\sqrt{2}\beta$) = $\sqrt{(y^2 + z^2)}$. Logo, da função original de Rayleigh, que é em função do desvio padrão (σ), temos que $\beta = \frac{\sigma}{\sqrt{2}}$.

Segundo (BRANQUINHO, et al., 2007) um estudo foi realizado sobre a utilização de Weibull na caracterização de uma pessoa em movimento, e os resultados mostraram que para $\alpha = 2$, tem-se $\beta = 1,3$, valores que caracterizam uma distribuição de Rayleigh e são aceitos como fatores que caracterizam uma pessoa se movimentando pela área estudada pelos autores.

Com estas informações, decidiu-se pela utilização de Rayleigh como forma de caracterizar os cenários onde há a necessidade de demonstração de mobilidade, a fim de simular o movimento de uma pessoa com um dispositivo móvel em um determinado ambiente.

4.5 ARQUITETURA DA REDE

Para os testes realizados, foi proposta uma rede formada por uma parte cabeada e outra formada pelo sinal sem fio confinado e um cabo coaxial. Na parte cabeada, um servidor de *streaming* ligado a um *switch* se comunica com a bancada, também conectada a esse *switch*. A portadora do sinal é controlada através da entrada paralela da bancada. A estação reprodutora recebe o sinal *wireless* através do cabo coaxial em uma placa receptora *wireless* adaptada. Um *sniffer* é conectado a um *splitter* logo na saída do AP da bancada a fim de capturar todos os pacotes que saem pelo cabo coaxial. Esta informação não foi utilizada para as análises deste trabalho. A mesma arquitetura foi utilizada para o envio do *stream* do servidor para a estação e dos pacotes de tráfego concorrente da estação para o servidor. A Figura 8 representa graficamente a arquitetura utilizada.

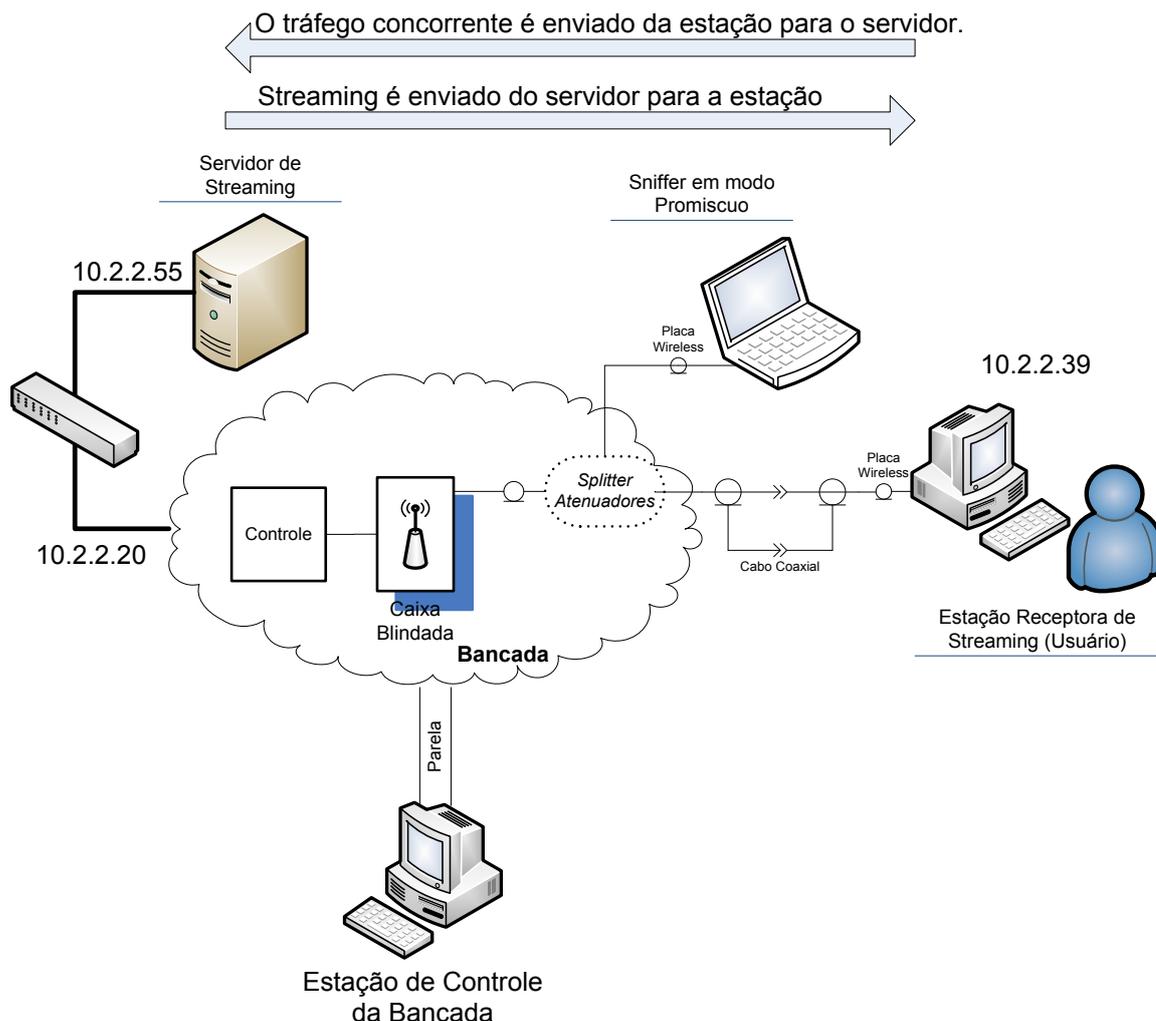


Figura 8. Arquitetura da rede utilizada.

4.6 CENÁRIOS DE TESTES

Foram propostos seis cenários de testes, sendo estes repetidos para cada tecnologia de rede e variação do canal, com o intuito de avaliar a perda e o *jitter* dos pacotes transmitidos, e com isso conseguir verificar qual rede se comporta melhor com a transmissão de vídeo. O fator crítico para a transmissão de multimídia é o *jitter*, sendo tolerada certa taxa de perda de pacotes, mas não a variação do *jitter* (KUROSE, et al., 2003).

Em todos os cenários é feita a distribuição do *streaming* de um servidor para o cliente, e as condições controladas são: a existência de tráfego UDP concorrente e o nível SNR da portadora. A escolha da variação da portadora foi feita com base no

fator qualidade do sinal em relação a um espectador: sinal quando usuário próximo do AP, sinal quando usuário afastado do AP, e sinal simulando a variação de posição do usuário.

4.6.1 Cenário um: sem tráfego concorrente e potência da portadora máxima

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede sem fio com o sinal da portadora máximo, e a banda toda está disponível para a transmissão do *streaming*. Essa situação ilustra o que acontece com o vídeo quando o sinal é transmitido, sem concorrência, e o receptor se situa na zona próxima à fonte do sinal.

4.6.2 Cenário dois: com tráfego concorrente e potência da portadora máxima

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede *wireless* com o sinal da portadora máximo, e a banda está compartilhada com um tráfego concorrente. Utilizando a ferramenta IPERF (TIRUMALA, et al., 2003), a largura de banda de cada rede foi ocupada em 50% com o tráfego concorrente. Essa situação ilustra o que acontece com o vídeo quando o sinal é transmitido, possui concorrência, e o receptor se situa na zona próxima à fonte do sinal.

4.6.3 Cenário três: sem tráfego concorrente e potência da portadora mínima

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede sem fio com o sinal da portadora mínimo, porém com toda a banda disponível para a transmissão do *streaming*. 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.

4.6.4 Cenário quatro: com tráfego concorrente e potência da portadora mínima

Neste cenário temos o vídeo sendo transmitido através da rede *wireless* com o sinal da portadora mínimo, e a banda está sendo compartilhada com um tráfego

concorrente. Utilizando a ferramenta IPERF (TIRUMALA, et al., 2003), a largura de banda de cada rede foi ocupada em 50% com o tráfego concorrente. 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.

4.6.5 Cenário cinco: sem tráfego concorrente e potência da portadora variando

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 com a banda dedicada à transmissão do *streaming*.

4.6.6 Cenário seis: com tráfego concorrente e potência da portadora variando

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 o vídeo quando o receptor é móvel em relação à fonte, e a banda não está dedicada à transmissão do *streaming*.

5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES

Nesta seção serão mostrados gráficos de *jitter* gerados a partir das informações capturadas nos pacotes RTP que chegaram à estação cliente. Com o gráfico gerado ao fim de cada cenário de teste, um comentário da percepção visual do vídeo transmitido será feito, e, caso haja uma perturbação significativa na imagem transmitida, esta imagem também será mostrada. A imagem selecionada para ser mostrada está sempre relacionada a uma variação do *jitter* mostrada pelos gráficos. Como será explicado no item 6, a percepção de qualidade é subjetiva e relativa a diversos fatores. Sendo assim, essa análise da imagem deteriorada não tem por objetivo verificar a qualidade do vídeo, mas a ação do *jitter* sobre uma imagem transmitida. Uma tabela de resumo também é utilizada junto com os

comentários de forma a auxiliar o entendimento dos gráficos. Para análise do *jitter*, depois de algumas medidas percebeu-se que, nas configurações suscetíveis à ação do *jitter*, os pacotes sempre sofriam a influência deste, antes mesmo de um minuto de transmissão ocorrer. Como este fato foi percebido, e os arquivos gerados pela ferramenta *Wireshark* (WIRESHARK, 1998) para captura dos pacotes passavam rapidamente da casa de centenas de megabytes pela quantidade de dados armazenados, o que dificulta o tratamento e análise desses dados, optou-se pela distribuição dos vídeos em um intervalo de 2 minutos.

No início de cada cenário de teste é mostrada uma figura retirada da ferramenta *NetStumbler* (NETSTUMBLER, 2007), que mostra a relação Sinal/Ruído (dBm) da portadora configurada para os testes, com exceção do cenário que utiliza a distribuição de Rayleigh e tem a relação sinal/ruído variando conforme determina o controle da banca de testes; neste caso cabe salientar que a variação ocasionada pela distribuição apresenta como limites exatamente os valores de potência do sinal máximo e mínimo, uma vez que não houve mudanças na calibração do *hardware* da bancada de testes. Como pode ser visto nas figuras, existe uma excursão de -30 dBm entre o mínimo e o máximo.

Com a atuação dos atenuadores da bancada é possível variar a intensidade do sinal a ponto de interromper a comunicação entre a estação cliente e o servidor, mas essa possibilidade não foi utilizada na determinação da potência mínima/máxima pelo fato de não se conseguir transmitir vídeo entre as estações também. Para poder determinar o menor valor de potência, optou-se pela atenuação, de maneira que o vídeo ficasse no limiar entre ser ou não reproduzido na estação cliente no caso do menor envelope na menor largura de banda teórica, ou seja, na rede 802.11b. Recorrendo mais uma vez ao item 6, definiu-se que o limiar para ser ou não transmitido é: a seqüência de imagens/áudio enviada deveria ser capaz de ser reproduzida de forma que as imagens/áudio recebidas não possuíssem intervalos perceptíveis aos olhos e aos ouvidos.

Os vídeos e as planilhas utilizadas para o desenvolvimento podem ser obtidos no CD-ROM anexado a este trabalho.

A Figura 9 mostra uma representação da disposição das informações contidas neste capítulo, com o intuito de facilitar o entendimento.

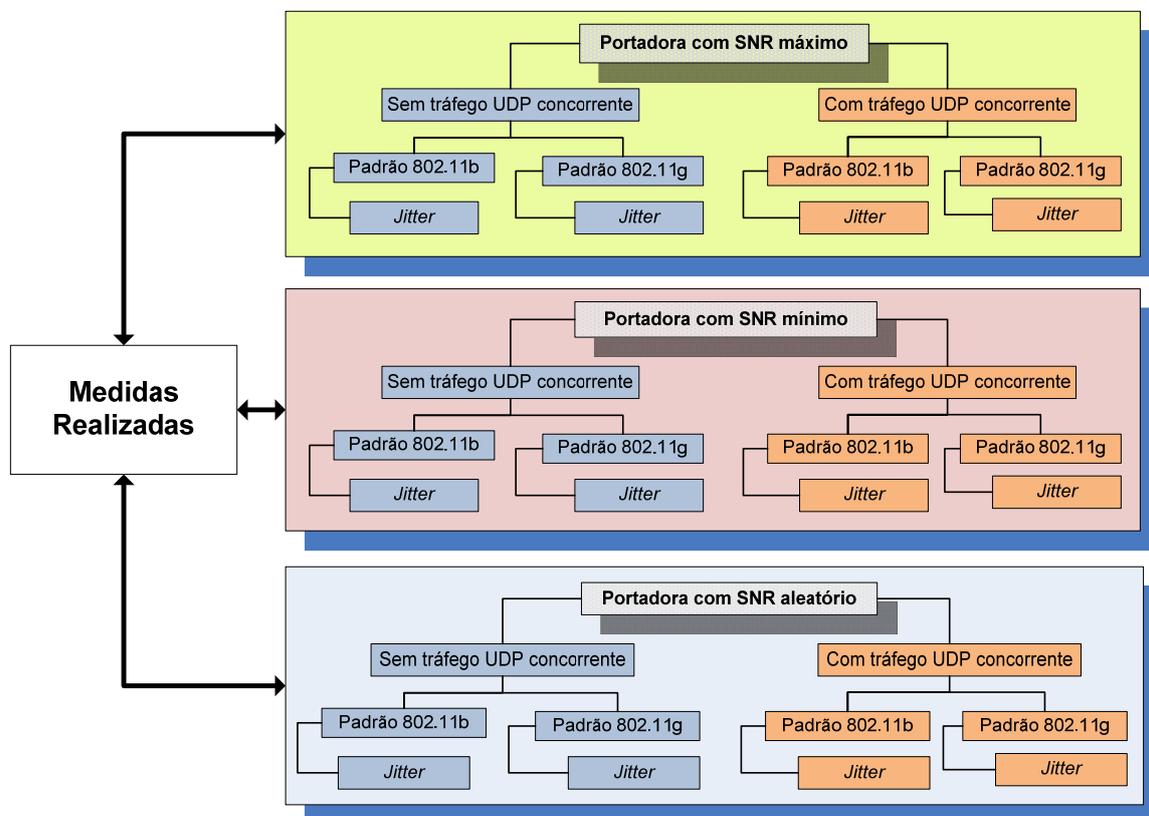


Figura 9. Representação da estrutura utilizada para análise dos resultados.

5.1 PORTADORA COM POTÊNCIA MÁXIMA

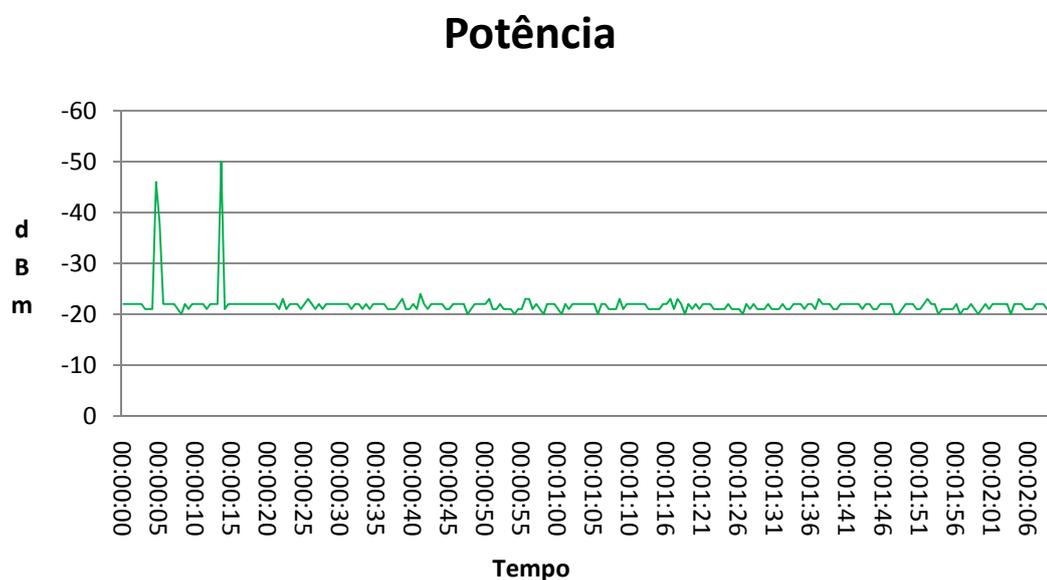


Gráfico 1. Nível máximo de potência da portadora.

5.1.1 Streaming sem tráfego UDP concorrente

5.1.1.1 Padrão 802.11b

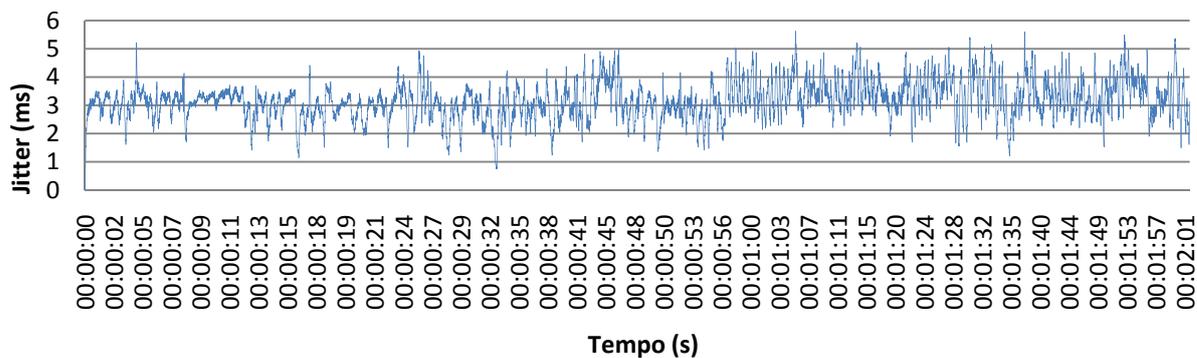


Gráfico 2. Jitter no padrão 802.11b, potência máxima.

5.1.1.2 Padrão 802.11g

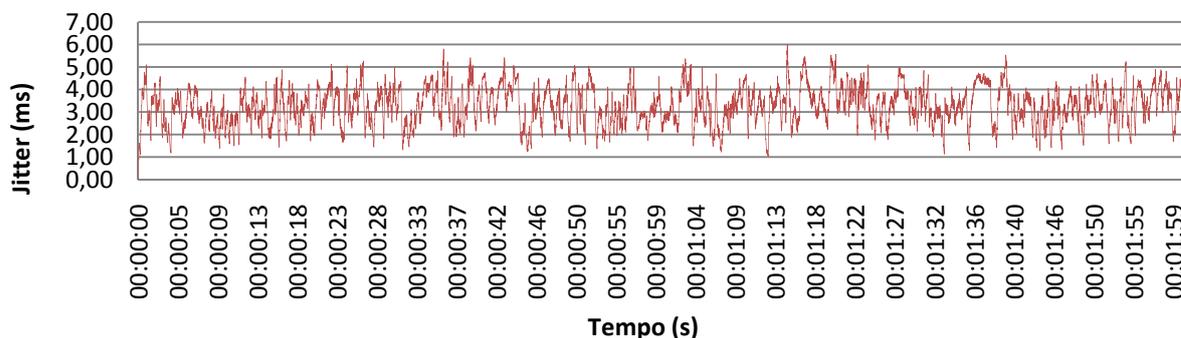


Gráfico 3. *Jitter* no padrão 802.11g, potência máxima.

5.1.1.3 Considerações do cenário

Com esta configuração não houve qualquer problema visual ou de audição perceptível com nenhum dos vídeos, ou seja, com um canal desocupado e um bom sinal as duas redes se comportam de igual maneira. Nota-se a existência de *jitter*, mas, como analisado no item 3.3, existem implementações de *buffers* que amenizam esse efeito. A tabela 5 traz um resumo dos valores para esse cenário.

	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lidos	11641	11881
Pacotes RTP Esperados	11641	11881
Pacotes Perdidos	0	0
Erros de seqüência	0	0
<i>Jitter</i> Mínimo	0	0,26
<i>Jitter</i> Máximo	5,63	6
<i>Jitter</i> Médio	2,815	2,87

Tabela 5. Resumo dos valores - Potência Máxima

5.1.2 Streaming com tráfego UDP concorrente

5.1.2.1 Padrão 802.11b

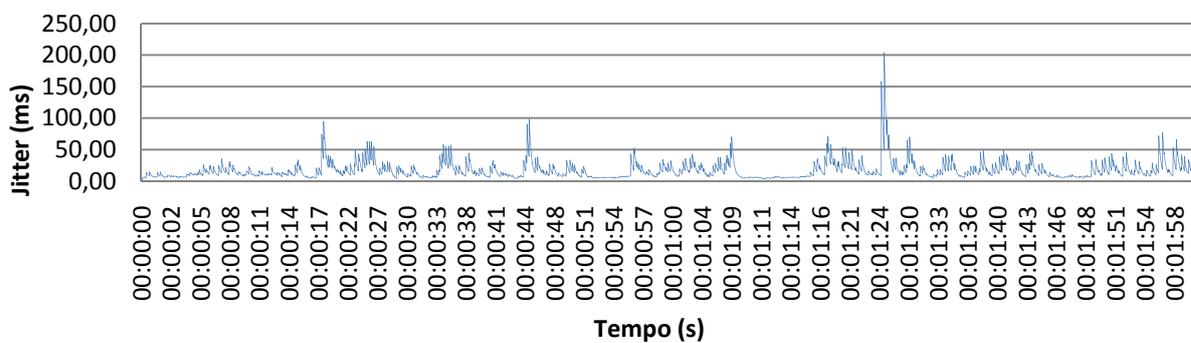


Gráfico 4. *Jitter* no padrão 802.11b, potência máxima e tráfego UDP concorrente



Figura 10. Imagem no maior *jitter* apontada no Gráfico 4.

5.1.2.2 Padrão 802.11g

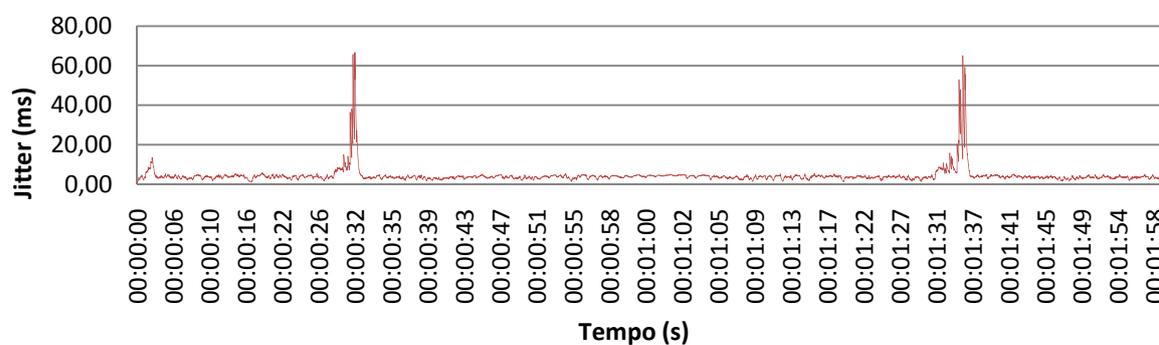


Gráfico 5. *Jitter* no padrão 802.11g, potência máxima e tráfego UDP concorrente



Figura 11. Imagem na primeira variação de *jitter* apontada no Gráfico 5

5.1.2.3 Considerações do cenário

A Tabela 6 mostra um resumo da situação dos pacotes RTP e do *jitter* durante o *streaming* do vídeo. Os números comprovam a sensação visual de que o padrão 11g se comporta melhor que o 11b nesta situação. Durante a reprodução do vídeo gravado, percebe-se que o *streaming* feito através da 11b gera constantes paradas e perdas de sincronismo entre a imagem e o áudio; já a 11g possui alguns defeitos, como observado na Figura 11, mas tem reprodução constante e sem perda de sincronismo. A Figura 10 mostra que a grande variação de *jitter* ocorrida por volta do instante 1 minuto e 24 segundos acabou por deteriorar a imagem toda, tornando impossível o entendimento da mesma.

	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lidos	7175	12766
Pacotes RTP Esperados	11479	13141
Pacotes Perdidos	4304 (37,49%)	375 (2,85%)
Erros de seqüência	263	22
<i>Jitter</i> Mínimo	0	0
<i>Jitter</i> Máximo	203,69	66,75
<i>Jitter</i> Médio	101,845	33,375

Tabela 6. Resumo dos valores – potência máxima com tráfego concorrente.

5.2 PORTADORA COM POTÊNCIA MÍNIMA

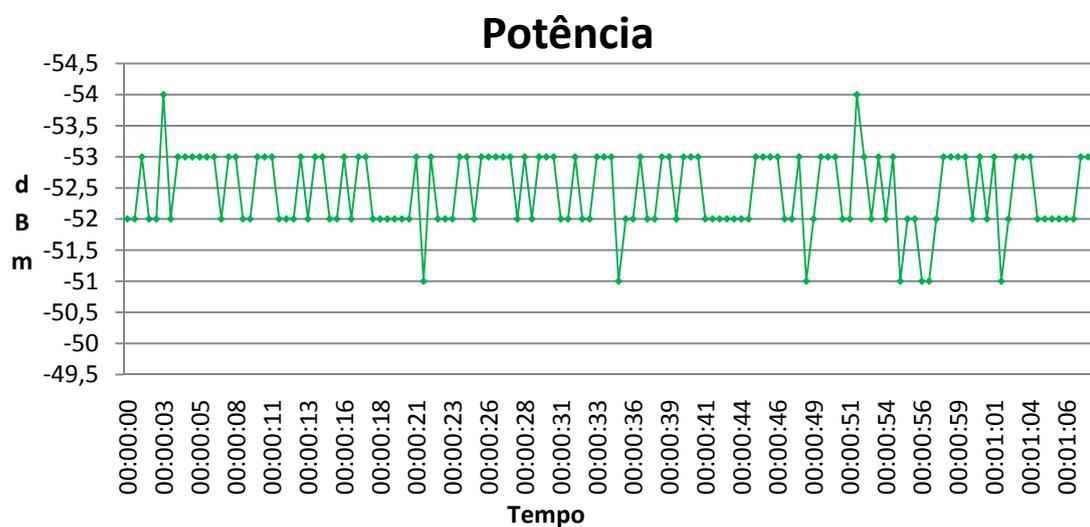


Gráfico 6. Nível mínimo de potência da portadora.

5.2.1 Streaming sem tráfego UDP concorrente

5.2.1.1 Padrão 802.11b

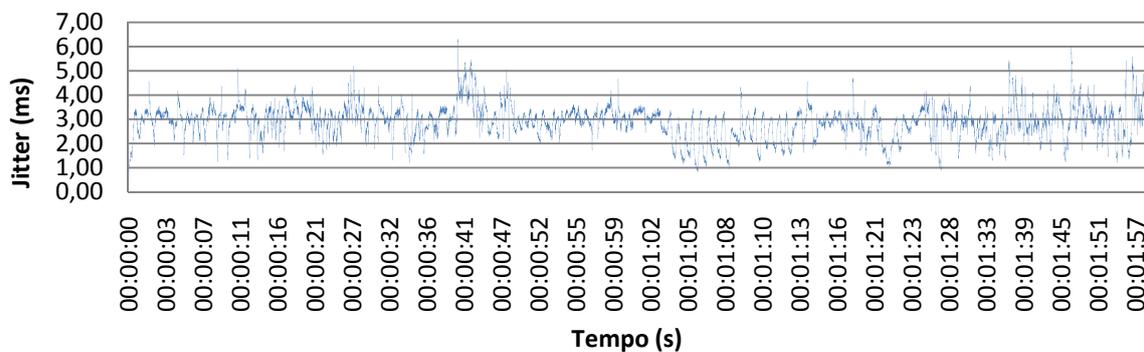


Gráfico 7. Jitter no padrão 802.11b, potência mínima.

5.2.1.2 Padrão 802.11g

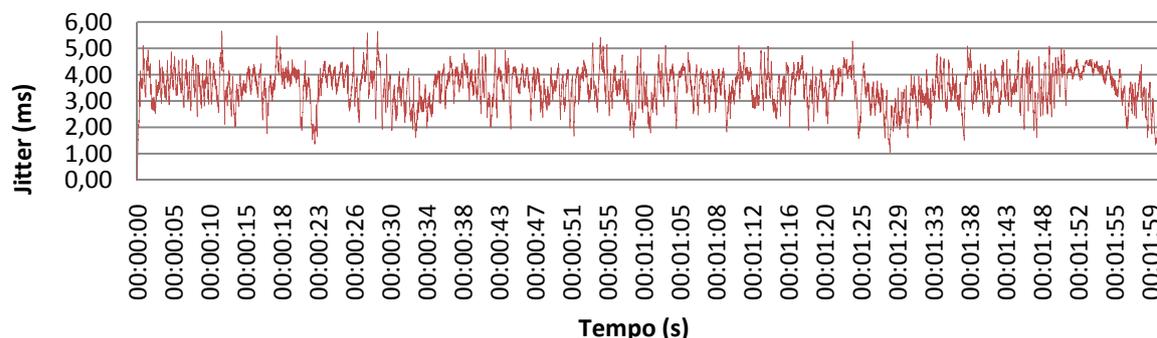


Gráfico 8. Jitter no padrão 802.11g, potência mínima.

5.2.1.3 Considerações do cenário

Como previsto no momento de calibração, os vídeos nesse cenário foram reproduzidos pela estação cliente. Porém, como a rede 802.11b foi utilizada no momento de determinação do valor potência mínima, o vídeo se mostra mais instável, com esporádicos intervalos. Dada a instabilidade do canal de transmissão, isso já era esperado, porém na rede 802.11g esse comportamento não aconteceu, ou seja, o vídeo foi recebido sem os mesmos atrasos percebidos na 11b. Isso mostra que a rede 802.11g se comporta melhor também em situações em que a potência do sinal é menor. Recorrendo-se a tabela de resumo de valores, esse comportamento tão diferente não pode ser observado – por isso, é importante, mais uma vez, relembrar as explicações sobre análise subjetiva, encontradas no item 6.

	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lidos	16526	12814
Pacotes RTP Esperados	16526	12814
Pacotes Perdidos	0	0
Erros de seqüência	0	0
Jitter Mínimo	0	0
Jitter Máximo	6,33	5,66
Jitter Médio	3,165	2,83

Tabela 7. Resumo dos valores potência mínima.

5.2.2 Streaming com tráfego UDP concorrente

5.2.2.1 Padrão 802.11b

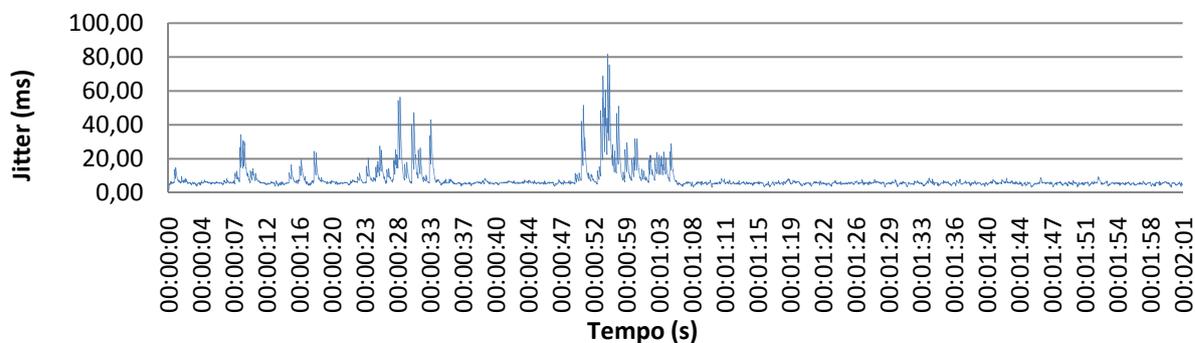


Gráfico 9. Jitter no padrão 802.11b, potência mínima com tráfego concorrente.

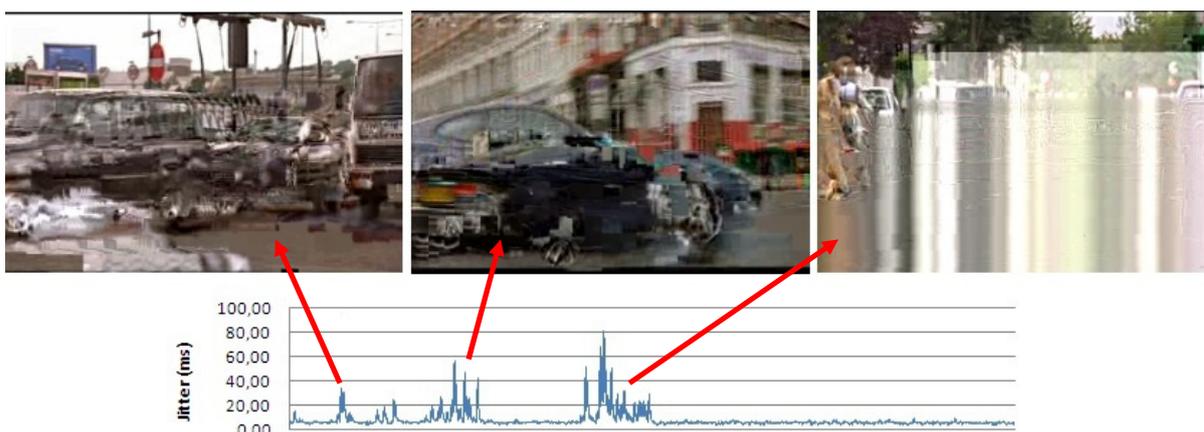


Figura 12. Seleção de imagens afetadas pelo jitter.

5.2.2.2 Padrão 802.11g

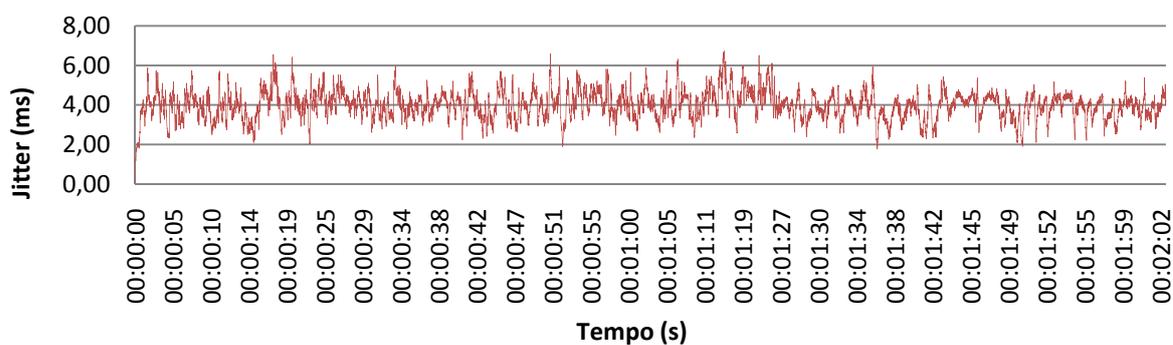


Gráfico 10. Jitter no padrão 802.11g, potência mínima com tráfego concorrente.

5.2.2.3 Considerações do cenário

Com a adição de tráfego concorrente, a diferença entre a transmissão pela 11b e 11g analisada no item anterior se mostrou ainda maior. Novamente, o vídeo transmitido pela 11g não sofreu qualquer atraso na recepção, enquanto que a Figura 12 mostra o que aconteceu com a maioria das imagens recebidas pela 11b nos intervalos de transmissão onde ocorreu *jitter*. A figura 12 mostra uma imagem coletada para cada um dos três intervalos de ocorrência do fenômeno, sendo que no último intervalo o *jitter* foi maior – assim, a imagem foi a mais degradada. Mais uma vez, essa avaliação mostra que a rede 802.11g consegue se sair (neste caso específico, muito) melhor com uma baixa potência de sinal.

	802.11b		802.11g	
Pacotes RTP Lidos	10851		12208	
Pacotes RTP Esperados	12069		12211	
Pacotes Perdidos	1218	-10,09%	3	-0,02%
Erros de seqüência	123		3	
<i>Jitter</i> Mínimo	0,36		0,08	
<i>Jitter</i> Máximo	81,77		6,73	
<i>Jitter</i> Médio	40,705		3,325	

Tabela 8. Resumo dos valores potência mínima com tráfego concorrente.

5.3 PORTADORA COM POTÊNCIA VARIANDO CONFORME DISTRIBUIÇÃO DE RAYLEIGH

5.3.1 *Streaming* sem tráfego UDP concorrente

5.3.1.1 Padrão 802.11b

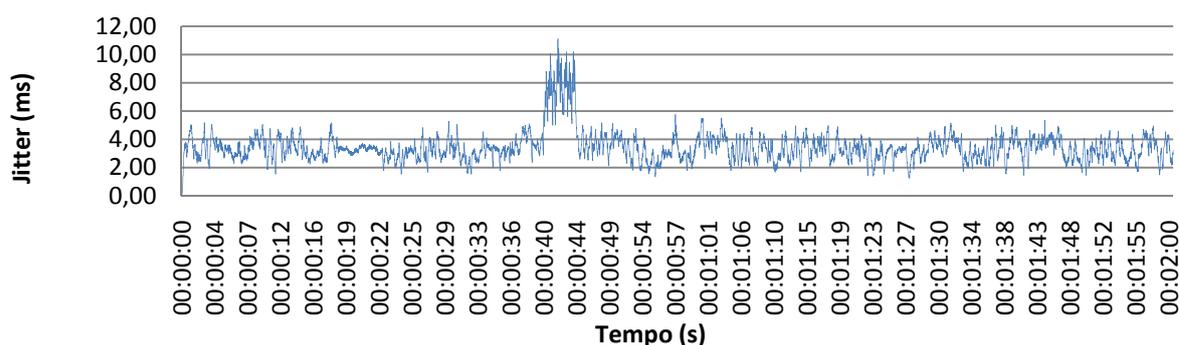


Gráfico 11. *Jitter* no padrão 802.11b, potência aleatória⁶

5.3.1.2 Padrão 802.11g

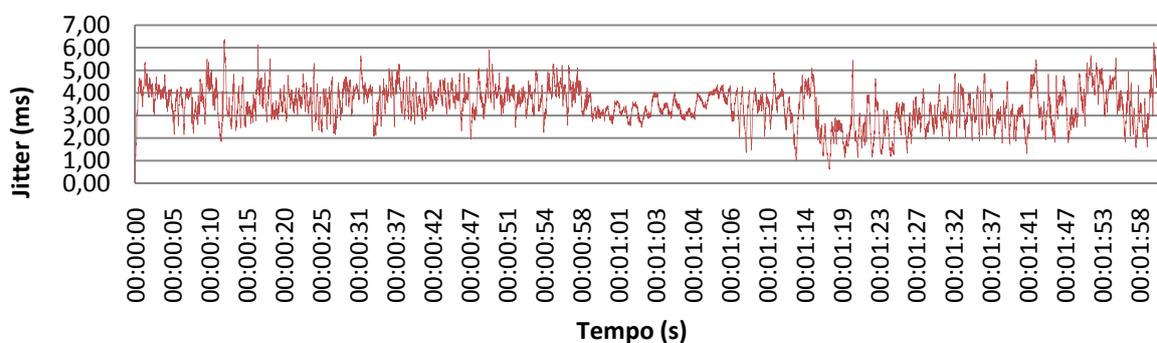


Gráfico 12. *Jitter* no padrão 802.11g, potência aleatória.

5.3.1.3 Considerações do cenário

Neste cenário não houve nenhum atraso perceptível no vídeo recebido para nenhuma das redes. Isso mostra condição de igualdade no caso de a mobilidade dos usuários seguir uma distribuição de Rayleigh. Apesar do Gráfico 11 mostrar a existência de atrasos, verifica-se pela escala que esta não foi maior do que cinco milissegundos, o que foi facilmente corrigido pelo *buffer* de recepção.

	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lido	10552	12468
Pacotes RTP Esperados	10552	12468
Pacotes Perdidos	0	0

⁶ O termo “aleatório” utilizado nesta seção se refere a números retirados da distribuição de Rayleigh utilizada neste trabalho.

Erros de seqüência	0	0
Jitter Mínimo	0	0
Jitter Máximo	11,12	6,5
Jitter Médio	5,56	3,25

Tabela 9. Resumo dos valores - potência aleatória.

5.3.2 Streaming com tráfego UDP concorrente

5.3.2.1 Padrão 802.11b

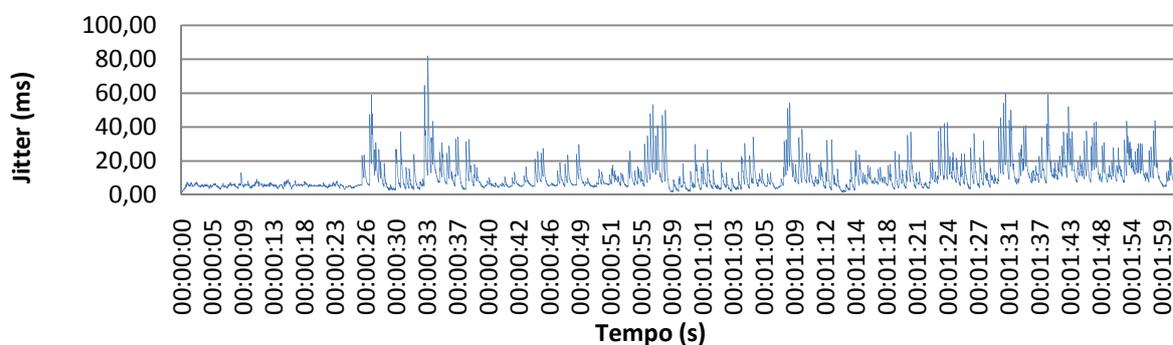


Gráfico 13. Jitter no padrão 802.11b, potência aleatória⁷ com tráfego concorrente.

5.3.2.2 Padrão 802.11g

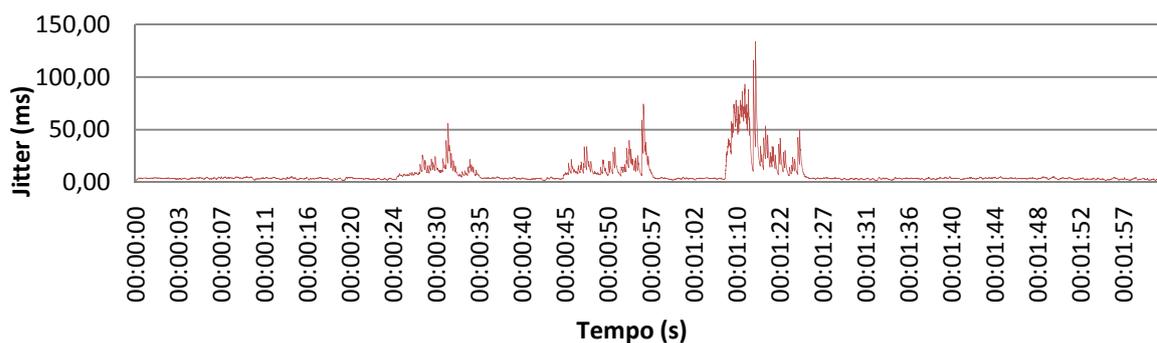


Gráfico 14. Jitter no padrão 802.11g, potência aleatória com tráfego concorrente

⁷ O termo “aleatório” utilizado nesta seção se refere a números retirados da distribuição de Rayleigh utilizada neste trabalho.

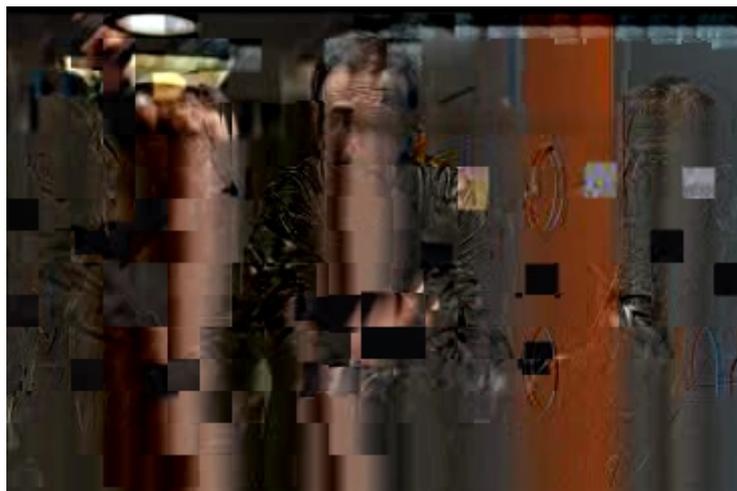


Figura 13. Imagem retirada da região de maior *jitter* do Gráfico 14.

5.3.2.3 Considerações do cenário

Nestas condições, ambas as redes se mostraram não satisfatórias para o *streaming* de vídeo, mas a 802.11g novamente se saiu melhor. O Gráfico 13 mostra bem o que aconteceu com o vídeo recebido através da 11b, ou seja, o vídeo não consegue ser reproduzido continuamente em praticamente nenhum momento. Já pela 11g, o vídeo consegue ser reproduzido apesar dos picos de variação de *jitter* em que vídeo fica deteriorado, como mostra a Figura 13.

	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lidos	11332	10799
Pacotes RTP Esperados	20028	13085
Pacotes Perdidos	8696 (43,42%)	2286 (17,47%)
Erros de seqüência	317	125
<i>Jitter</i> Mínimo	0	0,23
<i>Jitter</i> Máximo	81,99	134,03
<i>Jitter</i> Médio	40,995	66,9

Tabela 10. Resumo dos valores - potência aleatória com tráfego concorrente

5.4 RESUMO DAS CONSIDERAÇÕES

Nesta seção são apresentadas todas as tabelas de considerações de cada cenário.

	Portadora com potência máxima			
	<i>Sem tráfego UDP</i>		<i>Com tráfego UDP</i>	
	802.11b	802.11g	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lidos	11641	11881	7175	12766
Pacotes RTP Esperados	11641	11881	11479	13141
Pacotes Perdidos	0 0	0 0	4304 -37,49%	375 -2,85%
Erros de seqüência	0	0	263	22
<i>Jitter</i> Mínimo	0	0,26	0	0
<i>Jitter</i> Máximo	5,63	6	203,69	66,75
<i>Jitter</i> Médio	2,815	2,87	101,845	33,375

	Portadora com potência mínima			
	<i>Sem tráfego UDP</i>		<i>Com tráfego UDP</i>	
	802.11b	802.11g	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lidos	16526	12814	10851	12208
Pacotes RTP Esperados	16526	12814	12069	12211
Pacotes Perdidos	0 0	0 0	1218 -10,09%	3 -0,02%
Erros de seqüência	0	0	123	3
<i>Jitter</i> Mínimo	0	0	0,36	0,08
<i>Jitter</i> Máximo	6,33	5,66	81,77	6,73
<i>Jitter</i> Médio	3,165	2,83	40,705	3,325

	Portadora com potência variando conforme distribuição de Rayleigh			
	<i>Sem tráfego UDP</i>		<i>Com tráfego UDP</i>	
	802.11b	802.11g	802.11b	802.11g
Pacotes RTP Lido	10552	12468	11332	10799
Pacotes RTP Esperados	10552	12468	20028	13085
Pacotes Perdidos	0	0	8696 -43,42%	2286 -17,47%
Erros de seqüência	0	0	317	125
<i>Jitter</i> Mínimo	0	0	0	0,23
<i>Jitter</i> Máximo	11,12	6,5	81,99	134,03
<i>Jitter</i> Médio	5,56	3,25	40,995	66,9

Tabela 11. Resumo das considerações sobre os cenários de teste.

6 QUALIDADE DE VÍDEO E PROPOSTA DE MÉTRICA PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como já explicado, existem diversos parâmetros que podem ser estudados e/ou alterados na busca de uma boa qualidade de vídeo, porém torna-se difícil definir padrões de análise de conteúdos pelo fato de que o espectador desse vídeo será sempre um usuário desconhecido e diversificado. Para o caso do teste da qualidade de vídeo, é válido o jargão “o que é bom para um, não é para outro”.

Muitos estudos foram e ainda estão sendo realizados nessa área, como em (WU, et al., 2005). O autor afirma ainda que, para os vídeos analógicos, existiam métodos clássicos muito confiáveis de análises que não são compatíveis com o vídeo digital, abrindo oportunidade para o desenvolvimento de novas metodologias de teste.

Existem duas maneiras de analisar a qualidade de um vídeo: uma com análise matemática aplicada à onda ou ao dado gerado na captura do vídeo, e outro totalmente subjetivo, no qual o vídeo é submetido à análise de diversos usuários. Em ambas as maneiras é muito difícil expressar com exatidão numérica a qualidade, pois até mesmo na maneira matemática deve-se fazer uma comparação dos resultados dos cálculos com o que o usuário deseja. Pode-se dizer que a busca pela análise da qualidade do vídeo transmitido em redes de comunicação de dados se confunde com o conceito de QoS para um serviço multimídia de distribuição de vídeo. Entretanto, métodos tradicionais de análise do QoS das redes, focados unicamente em parâmetros técnicos como *jitter*, atraso e perda de pacotes, podem não representar, para o usuário que deseja receber o serviço de transmissão de vídeo, parâmetros da qualidade do vídeo, uma vez que esses parâmetros representam parâmetros pontuais de impacto. (CHEN, et al., 2006).

6.1 EXPECTATIVAS DE QUALIDADE

Para os espectadores, o termo qualidade pode ter diferentes significados, por isso em (WU, et al., 2005) é feito um estudo sobre o que deve ser considerado quando se deseja entender a satisfação de um usuário ao assistir um vídeo. De

acordo com esse estudo, tem-se em (CHEN, et al., 2006) a verificação de que os usuários tendem a qualificar um vídeo como ‘sem qualidade’ quando existe falta de sincronismo entre o áudio/vídeo e quando há uma grande perda de quadros causando a impressão de “paradas” na visualização. Em (WANG, et al., 2001), define-se que, para avaliar a expectativa de um espectador, deve-se analisar:

- Expectativas e interesses individuais: com esta investigação deve-se considerar a expectativa do usuário para o serviço desejado ou por onde será transmitido o serviço, uma vez que, por exemplo, a expectativa de qualidade de um espectador de cinema é diferente da expectativa de um espectador que esteja assistindo o mesmo vídeo em um celular.
- Características da tela onde está sendo reproduzido o vídeo. Segundo o autor, as diferenças de brilho, contraste, reprodução de cores e tempo de resposta, somados ao tamanho e resolução, influenciam na percepção de qualidade.
- O sincronismo entre o áudio e o vídeo, principalmente no sincronismo entre a fala e o movimento labial. Segundo estudos do autor, atraso com mais de 100ms são considerados indesejáveis.

6.2 *MEAN OPINION SCORE*

Uma maneira de transformar em números a expectativa de um usuário foi definida em (ITU-T G.107, 1998), criando-se o conceito de *MOS (Mean Opinion Score)* para graduar a qualidade de voz transmitida em redes telefônicas em uma escala de 0 a 5, sendo 5 o melhor nível e 0 desconectado. Este mesmo conceito pode ser aplicado à transmissão de vídeo, considerando as características de cada serviço. A escala de qualidade MOS se resume como segue:

5	Melhor
4	Alta
3	Média
2	Baixa
1	Pobre
0	Desconectado

Tabela 12. Descrição da escala MOS

Segundo (WU, et al., 2005) o MOS também é utilizado para a qualificação de vídeos, sendo mais eficiente em análises subjetivas.

6.3 MÉTODOS PARA ANÁLISE OBJETIVA DA QUALIDADE DE UM VÍDEO

Na literatura existem diversos estudos sobre como comparar um vídeo transformado com o original, sempre na busca da análise da fidelidade do vídeo transformado. Entende-se 'vídeo transformado' como um vídeo que foi transmitido por algum meio degradante ou que passou por algum processo de compressão. É crescente na literatura também o número de pesquisas relativas à utilização de modelos matemáticos do sistema de visão humano, tentando assim transformar a análise subjetiva em um método automático e objetivo (CHEN, et al., 2006), (WU, et al., 2005), (WATSON, et al., 2001), (WANG, et al., 2003).

As métricas objetivas de qualidade podem ser classificadas em três métodos de avaliação definidos pela presença ou não do vídeo original como referência para comparação. Quando existe a possibilidade de comparação integral entre o vídeo transformado e o de referência, é possível utilizar o método de comparação de referência completa (do inglês *full - reference (FR)*). Entretanto, nem sempre é possível a comparação do vídeo transformado com o original, principalmente em distribuição por redes de comunicação de dados, tornando-se necessária a utilização do método cego ou sem referência (do inglês *non reference (NR)*). Por último, existe um método de avaliação que não compara as imagens do vídeo original, mas sim um conjunto de características que são comparadas com as do vídeo transformado. Essas características são enviadas junto com o vídeo transformado, possibilitando assim que a avaliação seja feita quando o vídeo for reproduzido; este método é conhecido como referência reduzida (do inglês *reduced reference (RR)*) (WANG, et al., 2003).

6.3.1 O método de análise sem referência (NR)

Devido à dificuldade de se obter resultados no método NR, é necessária a utilização de filosofias para a análise dos vídeos. Segundo (WANG, et al., 2003), uma possível filosofia é a de que toda imagem e vídeo são perfeitos a menos que distorcidos na recepção, no processamento ou na aquisição.

Como já visto, a análise de experimentos subjetivos é muito complicada por causa do aspecto humano observado, porém existem métodos específicos para as análises subjetivas, que tentam unificar os resultados obtidos. Em (WOLF, et al., 2003), três métodos são comparados. São eles: *double stimulus continuous quality scale* (DSCQS), *Double stimulus comparison scale* (DSCS) e *single stimulus continuous quality evaluation* (SSCQE).

Os três métodos analisados foram adotados como recomendação pelo ITU em (ITU-R BT500-10, 2002), e os resultados também podem ser classificados em uma escala MOS. Cada um dos métodos apresenta vantagens e desvantagens. O método DSCQS tende a ser menos sensível ao contexto, ao passo que o método SSCQE é melhor para analisar o contexto da transmissão. Contudo, esta técnica não tem a apuração relativa ao vídeo que os métodos DSCQS possuem (WOLF, et al., 2003).

6.4 PROPOSTA DE MÉTRICA PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como as redes sem fio possuem largura de banda restrita, instabilidade e alta mobilidade, o método FR não se adapta às condições dos testes realizados neste trabalho. O método RR tampouco é considerado adequado, pois a transmissão concorrente de dados com o *streaming* demonstrou, pelos resultados experimentais, que existe um aumento significativo de perturbação no comportamento da rede. Com isso, a proposta de métricas para análise dos resultados obtidos se baseará no método NR. O método NR analisa somente o vídeo recebido. Com isso, é possível analisar a qualidade considerando um sistema de transmissão e uma compressão específica. A grande dificuldade fica por conta da avaliação subjetiva feita por um espectador sem uma referência.

Os resultados experimentais mostram que existe uma relação pontual entre o *streaming* recebido e a variação de *jitter* do meio de transmissão utilizado. Não é possível somente com esta informação determinar se o vídeo recebido tem ou não uma boa qualidade, dentro dos limites do serviço de distribuição em redes sem fio. Somado aos resultados experimentais, a literatura mostra que, quanto maior a qualidade desejada, maior a taxa de dados necessária para armazenamento e transmissão (vide item 2.2.5). Mais uma vez, somente esses dois parâmetros não são suficientes para determinar a qualidade de vídeo recebido, pois não existe uma comparação entre o sinal original e o recebido. Faz-se necessária a inclusão, como já explicado anteriormente, de uma análise sem referência, através de uma pesquisa com os espectadores do vídeo recebido.

A utilização do MOS é feita na análise subjetiva e no resultado final, levando sempre em consideração a filosofia adotada em (WANG, et al., 2003), citada na seção 6.3.1. O autor sugere que toda imagem e vídeo são perfeitos a menos que distorcidos na recepção, no processamento ou aquisição; assim, o vídeo que recebe a nota cinco na escala MOS é aquele que não apresenta qualquer tipo de distorção. Já o outro extremo, o valor zero, é dado àqueles vídeos que não conseguem ser recebidos.

A proposta é que se utilizem três parâmetros em uma equação que defina a qualidade do vídeo recebido. Um questionário englobando as expectativas do usuário, descritas na seção 6.1, resulta no parâmetro de análise subjetiva. Outro parâmetro é resultante das análises práticas feitas: a variação *jitter* da rede durante o período de transmissão do *streaming*. E por último o terceiro parâmetro proposto é a taxa de dados do vídeo transmitido, pois, quanto maior essa taxa, maior a qualidade teórica, como pode se observar na seção 2.2. Os três parâmetros devem resultar em um valor de 0 a 5, conforme a classificação MOS, sendo que o vídeo que receber a nota 5 terá maior qualidade e o vídeo que receber nota 0 não terá transmissão entre as duas estações.

Também é proposto que a análise subjetiva tenha um peso maior no resultado, uma vez que a percepção de qualidade do usuário que está demandando o serviço é que determina se o serviço está aceitável ou não. Com os estudos realizados, a percepção do usuário se mostrou relevante e o mais importante dos

parâmetros na análise da qualidade. Por isso, sugere-se que 70% do valor MOS deva advir da visualização do usuário. Os outros 30% são advindos dos parâmetros técnicos. Estes valores podem ser alterados em função do tipo de teste e do nível de refinamento da equação MOS.

6.4.1 Proposta de questionário subjetivo

O espectador deve responder cada questão com um número no intervalo de 00 a 50, a fim de classificar a melhor resposta para a pergunta. Os valores em dezenas são propostos a fim de garantir a confiabilidade do valor em unidade obtido no resultado final. São três as áreas de perguntas a serem feitas: expectativas e interesses individuais, características da tela, sincronismos. Em cima destas considerações propõem-se as seguintes perguntas:

- 1- Como você analisa seu conhecimento do meio utilizado para transmissão do vídeo?
(00 a 10) - Especialista
(10 a 20) - Muito Bom
(20 a 30) - Pleno
(30 a 40) - Algum
(40 a 50) - Nenhum

R:\

- 2- Como você classifica a qualidade do vídeo transmitido dentro de suas expectativas?
(00 a 10) - Péssimo
(10 a 20) - Ruim
(20 a 30) - Bom
(30 a 40) - Muito Bom
(40 a 50) - Excelente

R:\

- 3- O tamanho do vídeo está adequado ao tamanho da tela onde está sendo reproduzido?
(00 a 10) - Péssimo
(10 a 20) - Ruim
(20 a 30) - Bom
(30 a 40) - Muito Bom
(40 a 50) - Excelente

R:\

4- Como se apresentam as cores do vídeo?

- (00 a 10) - Péssimo
- (10 a 20) - Ruim
- (20 a 30) - Bom
- (30 a 40) - Muito Bom
- (40 a 50) - Excelente

R:\

5- Como você classifica a seqüência de cenas do vídeo?

- (00 a 10) - Péssimo
- (10 a 20) - Ruim
- (20 a 30) - Bom
- (30 a 40) - Muito Bom
- (40 a 50) - Excelente

R:\

6- Como você classifica o sincronismo entre o áudio e o vídeo?

- (00 a 10) - Péssimo
- (10 a 20) - Ruim
- (20 a 30) - Bom
- (30 a 40) - Muito Bom
- (40 a 50) - Excelente

R:\

As perguntas 1,2 tratam das expectativas e interesses individuais, com uma consideração a ser feita sobre a pergunta um: quanto maior o conhecimento do espectador sobre o meio de transmissão utilizado, menor a expectativa de qualidade para com o vídeo; logo, esse resultado foi considerado como poluidor do resultado geral, pois, sabendo dessas condições, a expectativa de qualidade esperada pelo espectador com essa característica é muito inferior à de um espectador sem conhecimento algum do meio (CHEN, et al., 2006 p. 207). As perguntas 3 e 4 tratam das características da tela e as perguntas 5 e 6 do sincronismo.

O resultado da pesquisa pode ser obtido pela média aritmética dos resultados, uma vez que não há dispersão de resultados nesse momento, e para manter a escala MOS de 1 a 5 assume-se que todas as questões têm o mesmo

peso. A resposta MOS = 0 não é considerada por 0 significar que as estações estão desconectadas, não sendo possível realizar o teste.

O resultado do questionário pode ser representado por:

$$Valor\ questionário = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{4 \cdot R_i - 4 \cdot v_{min}}{v_{max} - v_{min}} + 1 \right)}{N}$$

Equação 1. Valor do Questionário Subjetivo

No qual:

N = número de perguntas do questionário

R = valor atribuído a resposta

Vmax = valor máximo das notas.

Vmin = valor mínimo das notas.

O termo $\frac{4 \cdot R_i - 4 \cdot v_{min}}{v_{max} - v_{min}} + 1$ permite que qualquer valor de resposta seja atribuído às perguntas, mas a resposta do questionário sempre ficará entre 1 e 5. Esse termo é resultado da equação de reta que os pontos (1,Vmin) e (5,Vmax) formam:

$$\begin{cases} 1 = v_{min} \cdot a + b \\ 5 = v_{max} \cdot a + b \end{cases} \therefore y = \frac{4 \cdot x - 4 \cdot v_{min}}{\Delta v} + 1$$

6.4.2 Análise do *jitter*

Conforme visto na seção 3.3, o impacto na transmissão de dados multimídias através das redes ocorre quando se tem uma grande variação de atrasos, o *jitter*. Os resultados obtidos através da captura de pacotes transmitidos tornam possível analisar estatisticamente os valores de variância, desvio padrão e média para o *jitter* em cada um dos cenários de testes. Com a utilização de uma ferramenta de análise estatística, torna-se fácil a obtenção desses resultados. Uma vez obtidos tais resultados, torna-se possível calcular o coeficiente de variação (CV), que é uma medida de dispersão adimensional utilizada para comparação entre diferentes distribuições. Com o resultado do coeficiente de variação é possível demonstrar se o *jitter* foi grande, com o valor mais próximo de 100%, ou pequeno, com o valor mais próximo de 0%. O CV pode ser calculado como segue:

$$cv = \frac{\sigma}{\mu} * 100$$

Equação 2. Coeficiente de variação

No qual:

σ = desvio padrão

μ = média

Colocando em prática os valores obtidos do CV, entende-se que para CV=100 o MOS deve ser 1 e para CV = 0 o MOS deve ser 5. MOS = 0 é descartado por que 0 indica que o vídeo não foi transmitido entre as estações.

Admitindo uma relação linear entre a escala MOS e o CV, e com os pontos (100,1) e (0,5) é possível definir uma equação que acomode os resultados esperados, sendo a seguinte equação:

$$y = ax + b$$

$$\begin{cases} 1 = -100a + b \\ 5 = -000a + b \end{cases} \therefore y = -0,04(cv) + 5$$

Equação 3. Adequação do CV ao MOS

6.4.3 Taxa de dados

Na seção 2.2 são explicados todos os parâmetros necessários para a captura e armazenamento de um vídeo digital. Esses fatores combinados resultam em um maior ou menor volume de dados, a taxa de dados, e, quanto maior a taxa, melhor a qualidade. Para o padrão MPEG-2, utilizado neste trabalho, existe a definição de perfis que estipulam a taxa de dados mínima e máxima para uma determinada combinação de parâmetros (vide seção 2.2.5).

Como a taxa de dados impacta diretamente a qualidade do vídeo, propõe-se utilizá-la como o terceiro parâmetro da equação que define a qualidade de vídeo *streaming*. Os valores máximo e mínimo propostos na definição dos perfis MPEG-2 são 100 Mbps e 4 Mbps, respectivamente. Mais uma vez assumindo uma relação

linear entre esses valores e a escala MOS, é possível definir uma equação que acomode esses valores na escala, como segue.

$$y = ax + b$$

$$\begin{cases} 1 = 004a + b \\ 5 = 100a + b \end{cases} \therefore y = \frac{4 * (\text{Taxa de dados}) + 80}{96}$$

Equação 4. Adequação da taxa de dados ao MOS

Na equação não foi utilizado o valor 0 da escala MOS, pois ele significa originalmente a não existência de transmissão de dados, e na definição dos perfis MPEG-2 a taxa de 4Mbps é aceita como a taxa de pior qualidade; portanto, essa taxa se adapta à escala no valor 1.

6.4.4 Métrica para análise da qualidade do vídeo transmitido

Com as considerações anteriores, basta somar os valores obtidos das três equações para se obter um valor em uma escala de 0 a 5 para a qualidade do vídeo transmitido. Assim

$$MOS = \text{Valor questionário} * \alpha + \text{parâmetros técnicos} * \beta$$

Equação 5. Proposta simplificada de métrica.

Na qual α e β representam o peso dado a cada parâmetro da equação. Como sugerido no começo deste capítulo, o valor do questionário pode significar 70% da equação e os parâmetros técnicos 30%, assim $\alpha = 0,7$ e $\beta = 0,3$. De maneira genérica $0 \leq \alpha + \beta \leq 1$. Como os parâmetros técnicos possuem o mesmo peso no resultado final, e ambos podem ter notas de 0 a 5, deve-se dividir o resultado da soma das duas notas por 2. Substituindo as equações propostas:

$$MOS = \left(\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{4 \cdot R_i - 4 \cdot v_{min}}{v_{max} - v_{min}} + 1 \right)}{N} \right) \cdot \alpha + \left(\frac{(-0,04(cv) + 5) + \frac{4 * (\text{Taxa de dados}) + 80}{96}}{2} \right) * \beta$$

Equação 6. Proposta de métrica para qualidade de vídeo.

Esta equação considera o comportamento do meio no qual está sendo transmitido um *streaming*, além da sensação de qualidade de um usuário e da taxa dos dados. Isso a torna diferente das equações vistas na literatura, por trazer a sensação perceptiva do usuário e por tornar possível classificar um vídeo como feito com a transmissão de voz. Porém, ela traz a dificuldade de se fazer medições automáticas. O resultado desta equação é aplicado à escala citada na seção 6.2.

Para ilustrar o funcionamento da equação, podemos testar os limites de nível do MOS e um valor aleatório. Em todos os exemplos será mantida a avaliação subjetiva com um peso de 70% e o questionário proposto, ou seja, seis perguntas com valor máximo de 50 e mínimo de 0.

Para um questionário que teve somente respostas 50, com uma variação de atraso 0 e taxa de dados de 100 Mbps, temos:

$$MOS = \left(\frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{4 * 50 - 4 * 0}{50 - 0} + 1 \right)}{6} \right) * 0,7 + \left(\frac{(-0,04(0) + 5) + \frac{4 * (100) + 80}{96}}{2} \right) * 0,3$$

$$MOS = 5 * 0,7 + \left(\frac{5 + 5}{2} \right) * 0,3 = 5$$

Equação 7. Exemplo de métrica para vídeo com qualidade máxima.

Para um questionário que teve somente respostas 0, com a variação de atraso 100 e taxa de dados de 4 Mbps a equação resulta em:

$$MOS = \left(\frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{4 * 0 - 4 * 0}{0 - 0} + 1 \right)}{6} \right) * 0,7 + \left(\frac{(-0,04(100) + 5) + \frac{4 * (4) + 80}{96}}{2} \right) * 0,3$$

$$MOS = 1 * 0,7 + \left(\frac{1 + 1}{2} \right) * 0,3 = 1$$

Equação 8. Exemplo de métrica para vídeo com qualidade mínima.

Para um questionário que teve respostas 20, 30, 40, 10, 40 e 15 respectivamente, com variação de atraso média de 20 e taxa de dados de 18 Mbps:

$$MOS = \left(\frac{\left(\frac{4 * 20 - 4 * 0}{0 - 0} + 1 \right) + \left(\frac{4 * 30 - 4 * 0}{0 - 0} + 1 \right) + \left(\frac{4 * 40 - 4 * 0}{0 - 0} + 1 \right) + \left(\frac{4 * 10 - 4 * 0}{0 - 0} + 1 \right) + \left(\frac{4 * 40 - 4 * 0}{0 - 0} + 1 \right) + \left(\frac{4 * 15 - 4 * 0}{0 - 0} + 1 \right)}{6} \right) * 0,7$$

$$+ \left(\frac{(-0,04(20) + 5) + \frac{4 * (18) + 80}{96}}{2} \right) * 0,3$$

$$MOS = \frac{2,6 + 3,4 + 4,2 + 1,8 + 4,2 + 2,2}{6} * 0,7 + \frac{3,2 + 1,5834}{2} * 0,3$$

$$MOS = \frac{18,2000}{6} * 0,7 + \frac{4,7834}{2} * 0,3 = 3,582$$

Equação 9. Exemplo de métrica para vídeo com qualidade avaliada de maneira aleatória.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A geração de um vídeo digital por si só já traz formas de diminuir o volume de dados necessário para a representação binária deste. Com a crescente demanda por mobilidade e o crescimento da distribuição dos VD, torna-se necessária a utilização das redes sem fio para a transmissão desses conteúdos multimídias. Entretanto, as redes sem fio possuem uma capacidade limitada para a transmissão de dados e, assim, torna-se necessário especificar parâmetros de qualidade do vídeo transmitido considerando essas limitações do meio de transmissão.

O objetivo do trabalho é propor uma métrica para análise da qualidade de um vídeo transmitido por redes sem fio, capaz de levar em consideração as características do meio e os parâmetros do VD. Com os estudos realizados, também foi possível verificar se um vídeo com qualidade definida pelo conjunto perfil/nível (*main profile/main level*), o padrão utilizado nos discos de DVD, pode ser transmitido igualmente pelas redes 802.11g/b.

Na análise das situações foram obtidos diversos resultados. O fato de as redes sem fio conseguirem transmitir o *stream* de vídeo, mesmo que com qualidade inferior à de um DVD, já pode ser considerado um resultado. A adoção de novos algoritmos de compressão em trabalhos futuros pode comprovar que as redes sem fio podem ser capazes até mesmo de transmitir vídeos com qualidades consideradas boas por muitos usuários.

O primeiro item prático verificado foi a incapacidade da rede 802.11b de transmitir os vídeos no perfil/nível escolhido inicialmente, o que pode ser, em contraste com a afirmação anterior, utilizado como justificativa de uma possível não utilização do padrão *Wi-Fi* para transmissão de *streaming* no qual o vídeo possui a qualidade DVD como requisito. Para dar continuidade às experiências, optou-se pelo perfil *main profile/low level*, permitindo assim que ambas as redes conseguissem enviar o *streaming*. A rede 802.11g se mostrou muito mais competente que a rede 802.11b em todas as medidas propostas. Só houve proximidade de comportamento entre eles na situação em que o sinal estava na potência máxima calibrada e não havia tráfego concorrente na rede. A consideração inicial de que a rede 802.11b seria melhor para a transmissão durante a movimentação de um usuário não foi

confirmada, sendo que nesta situação com o tráfego concorrente nenhuma das redes conseguiu transmitir o vídeo. A outra consideração de que ambas as redes conseguissem transmitir o vídeo em condições de canal sem tráfego concorrente tampouco se confirmou, já que a rede 802.11b não foi capaz de transmitir o vídeo continuamente no caso de menor sinal. Porém, ela se comportou tão bem quanto a 802.11g nas situações de sinal máximo e nas medidas feitas com o sinal variando conforme a distribuição de Rayleigh.

Conclui-se então que a rede 802.11g realmente tem uma melhor capacidade para transmissão de conteúdos multimídia do que a 802.11b.

Com essas análises práticas, ficou evidente a necessidade de se considerar o grau de percepção de um espectador para a determinação da qualidade do vídeo recebido. Assim, foi possível a proposição de uma equação que refletisse os parâmetros estudados mais a percepção do usuário, conseguindo atingir o objetivo inicial de proposta de métrica para análise da qualidade de um vídeo transmitido em redes sem fio.

Neste trabalho verificou-se o comportamento das redes Wi-Fi, padrões 802.11b e 802.11g, considerando um vídeo com parâmetros fixos e variando os níveis de sinal da portadora. A fim de refinar a equação proposta, como novos trabalhos podem ser feitos estudos sobre o comportamento desses padrões, fixando-se os parâmetros das redes e variando as taxas de dados dos vídeos, verificando assim a capacidade máxima do canal de transmissão. Podem-se também empregar novos algoritmos de compressão no momento da geração dos *streamings*, variando os parâmetros de qualidade e verificando se mesmo com altas taxas de dados a compressão consegue atuar e permitir que os vídeos sejam transmitidos pelo canal com largura restrita.

Após o refinamento da equação, novos trabalhos podem utilizá-la para verificar sua eficácia e então passar a utilizá-la em estudos que analisem diferentes padrões de redes sem fio. Tais análises podem resultar em um estudo muito útil a tomadas de decisão sobre qual tecnologia de redes implementar na tentativa de levar conteúdos multimídias a regiões que enfrentam dificuldades na implantação de uma rede cabeada.

8 REFERÊNCIAS

APPLE Streaming Server. Developer Connection. Disponível em <<http://developer.apple.com/opensource/server/streaming/index.html>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2008.

BRANQUINHO, OMAR C. et al. Weibull Distribution in WLAN Channel Emulation for VoIP evaluation. In: Euro American Conference on Telematics and Information Systems, 2007, Faro. EATIS 07 ACM-DL Proceedings, 2007. *Referências adicionais: Classificação do evento:* Internacional; Portugal/Português; *Meio de divulgação:* Digital; ISSN/ISBN: 9781595935984.

CHEN, SHERRY Y.; GHEORGHITA, GHINEA. *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*, Flórida, Vol. 11, No. 3, 2001.

DYSON, FREEMAN. The Reality Club. Disponível em <http://www.edge.org/3rd_culture/dyson_ad/dyson_ad_index.html>. Acesso em: 16 de novembro de 2007.

ELY, S. R. MPEG VIDEO CODING:A basic tutorial introduction. *BBC Research and Development Report*. Disponível em <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1996-03.pdf>>. Acesso em: 10 de Setembro de 2007.

GOES, ADRIANO; BRANQUINHO, OMAR C.; REGGIANE, NORMA. Emulação de Flat Fading para Teste de Redes WLAN em 2,4 GHz. In: Momag, 2006, Belo Horizonte. *Anais...* Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

HALLIDAY, DAVID; RESNICK, ROBERT. *Física*. [trad.] Luiz Moysés ADIR. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A., 1980. Vol. 4.

IEEE. 2007. IEEE Development Online. *IEEE 802 STANDARDS*. Disponível em <<http://www.ieee802.org/11/>>. Acesso em: 19 de novembro de 2007.

ITU-R BT.601. *Recommendatiop BT601, Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios*. s.l. : ITU-R, 1997.

ITU-R BT.656-4. *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. *Methodology for the Subjective Assessment of Quality for Television Pictures.* Geneva : ITU-R Rec. BT. 500-10, 2002.

ITU-T G.107. *ITU-T Recommendation G.107.* s.l. : International Telecommunication Union, 1998.

JACK, KEITH. *Video Demystified - A Handbook for the Digital Engineer.* Oxford : Elsevier, 2005. ISBN: 0-7506-7822-4.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet.* Second Edition. Amherst : Addison Wesley, 2003. pp. 523-537.

LAW, AVERILL M.; KELTON, DAVID. *Simulation Modeling and Analysis.* s.l. : McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2000.

LIMA, WALTER TEIXEIRA. A Tribuna de Santos e Diário do Grande ABC: a vanguarda do conteúdo jornalístico na web. *Grupo de Trabalho da História da Mídia Digital.* Novo Hamburgo : s.n., 2005.

LOPES, MAURO CÉSAR. Transmissão de vídeo em redes sem fio padrão IEEE 802.11b. *Trabalho Final de Mestrado Profissional.* Campinas : Unicamp, 2006.

LUGMAYR, ARTUR; NIIRANEN, SAMULI; SEPPO, KALLI. *Digital Interactive TV and Metadata: Future broadcast multimedia.* Nova York : Springer-Verlag, 2004. ISBN 0-387-20843-7.

MAXWELL, JAMES CLERK. On the Theory of Compound Colours, and the Relations of the Colours of the Spectrum. *Proceedings of the Royal Society of London (1854-1905).* 1859, Vol. 10, pp. 404-409.

MICROSOFT CORPORATION. Windows Media Encoder. *Windows Media Worldwide.* Disponível em <<http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/9series/encoder/default.aspx>>. Acessado em: 16 de fevereiro de 2008.

NETSTUMBLER NetStumbler.com. Disponível em < <http://www.netstumbler.com/>. > Acesso em: 10 de novembro de 2006

RealNetworks. Helix Community. Disponível em < <https://protocol.helixcommunity.org>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2008.

SADKA, ABDUL H. *Compressed Video Communications*. Guildford : John Wiley & Sons, Ltd, 2002. ISBN 0 470 84312 8.

SCHNEIDER, MARCOS ROBERTO. Sistema de Segurança e Proteção baseado em Visão Computacional. *Dissertação de Mestrado*. Curitiba : Universidade Tecnológica Federal do Paraná., 2007.

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

TEKTRONIX. 2000. A Guide to MPEG Fundamentals and Protocol Analysis. [Online] 2000. Disponível em <http://www.tektronix.co.jp/Products/Measurement_Prod/App_notes/GuideToMPEGF_25W_11419_0.pdf>. Acesso em: 10 de Setembro de 2007.

THE ISO/IEC JTC1/SC29 (JPEG/JBIG) COMMITTEE. The JPEG committee home page. *The JPEG committee home page*. Disponível em <<http://www.jpeg.org/>> Acessado em: 15 de 11 de 2007.

TIRUMALA, AJAY. ET AL. *The Board of Trustees of the University of Illinois. IPerf Versão 1.7.0*. Disponível em < <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>>. Acesso em: 17 de Setembro de 2007.

TOPIC, MICHAEL. *Streaming Media Demystified*. Nova Iorque : McGraw-Hill TELECOM, 2002. ISBN: 0-07-140962-9.

VIDEOLAN. The VideoLAN Project. Disponível em < <http://www.videolan.org/project/>>. Acesso em 16 de agosto de 2006.

VIEWER, BITRATE. 2000. Bitrate Viewer. Disponível em < <http://www.tecoltd.com/bitratev.htm>> Acesso em: 17 de Setembro de 2007.

WANG, ZHOU; SHEIK, HAMID R.; BOVIK, ALAN C. Objective Video Quality Assessment. [A. do livro] B. FURHT e O. MARQURE. *The Handbook of Video Databases: Design and Applications*. Texas : CRC Press, 2003.

WANG, YAO; OSTERMANN, JÖRN; ZHANG, YA-QUIN. *Video Processing and Communications.* [ed.] Alan V. OPPENHEIN. s.l.: Prentice Hall, 2001. Signal Processing Series. ISBN 0-13-017547-1.

WATSON, ANDREW B.; HU, JAMES; MCGOWAN III, JOHN F. *DVQ: A digital video quality metric based on human vision.* Washington : Journal of Electronic Imaging, SPIE, 2001. Vol. 10.

WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia. *Charge-coupled device.* Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device>. Acesso em 10 de Novembro de 2007.

WIRESHARK. *Wireshark: what is on your network?* Disponível em <<http://www.wireshark.org/>>. Acesso em: 17 de 11 de 2007.

WOLF, S.; PINSON, M. *Comparing subjective video quality testing methodologies.* Lugano : SPIE, 2003.

WU, H. R.; RAO, K. R. 2005. *Digital Video Image Quality and Perceptual Coding.* New York : CRC Press, 2005. p. 640. ISBN-10: 0824727770.

YOUNG, THOMAS. On the theory of light and colours. *Philosophical transactions of the Royal Society of London.* 1802, Vols. 92 - 1802, pp. 12-48.

