

Transmissão de vídeo em redes sem fio padrão IEEE 802.11b

Mauro César Lopes

TRABALHO FINAL DE MESTRADO PROFISSIONAL

**Instituto de Computação
Universidade Estadual de Campinas**

Transmissão de vídeo em redes sem fio padrão IEEE 802.11b

Mauro César Lopes
Fevereiro/2006

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nelson Luis Saldanha da Fonseca (Orientador)
(IC-UNICAMP)

Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho (Co-Orientador)
(CEATEC-PUC Campinas)

Prof. Dr. Sérgio Donizetti Zorzo
(DC-UFSCAR)

Prof. Dr. Edmundo Roberto Mauro Madeira
(IC-UNICAMP)

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP**
Bibliotecária: Miriam Cristina Alves – CRB8a / 5094

Lopes, Mauro César

L881t Transmissão de vídeo em redes sem fio padrão IEEE
802.11b / Mauro César Lopes -- Campinas, [S.P. :s.n.], 2006.

Orientador: Nelson Luis Saldanha da Fonseca; Omar Carvalho
Branquinho

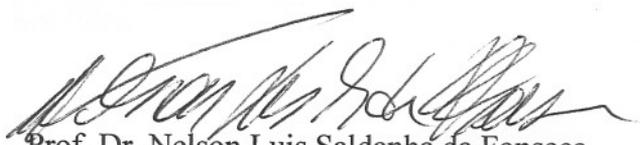
Trabalho final (mestrado profissional) - Universidade Estadual
de Campinas, Instituto de Computação.

1. Sistema de comunicação sem fio. 2. Redes locais de
comunicação. 3. Redes de computação. 4. Multimídia (Computação).
I. Fonseca, Nelson Luis Saldanha da. II. Branquinho, Omar Carvalho.
III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Computação. IV.
Título.

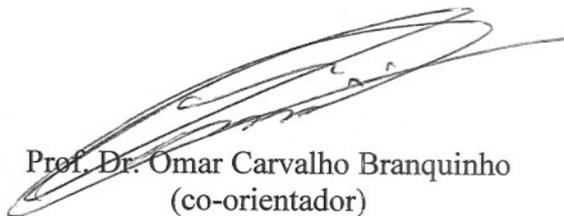
**Transmissão de vídeo em redes sem fio padrão IEEE
802.11b**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho Final devidamente corrigida e defendida por Mauro César Lopes e aprovada pela Banca Examinadora.

Campinas, 20 de fevereiro de 2006.



Prof. Dr. Nelson Luis Saldanha da Fonseca
Instituto de Computação UNICAMP
(Orientador)



Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho
(co-orientador)

Trabalho Final apresentado ao Instituto de Computação, UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Computação na área de Redes de Computadores.

200823624

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho Final Escrito defendido e aprovado em 20 de fevereiro de 2006, pela Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores:



Prof. Dr. Edmundo Roberto Mauro Madeira
IC - UNICAMP



Prof. Sérgio Donizetti Zorzo
DC - UFSCar



Prof. Dr. Nelson Luis Saldanha da Fonseca
IC - UNICAMP

© Mauro César Lopes, 2006
Todos os direitos reservados

Dedicatória

À Daniele, que soube compreender a importância deste trabalho para minha formação.

Aos meus pais, que proporcionaram a oportunidade para que eu pudesse me dedicar exclusivamente aos estudos.

A Deus, que me iluminou nessa trajetória, e em todos os momentos de minha vida.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Nelson Fonseca, pela orientação deste estudo.

Ao Prof. Dr. Omar Branquinho, meu grande incentivador. Obrigado pela disponibilidade e pela confiança no desenvolvimento deste trabalho.

À Motorola, pela ajuda financeira e pelo incentivo em ter em seu quadro de funcionários pessoas preocupadas com a pesquisa e desenvolvimento.

Aos colegas, em especial ao Airton, que compartilharam comigo os vários passos dessa pesquisa, sempre me incentivando.

Aos funcionários do Instituto de Computação (IC), que com simpatia e compreensão ajudaram-me no dia a dia e no uso dos laboratórios 305 e 320.

A todos, muito obrigado.

Sumário

Lista de Tabelas	xviii
Lista de Figuras.....	xix
Lista de Gráficos.....	xx
Acrônimos.....	xxi
Resumo	xxiv
Abstract.....	xxvi
1 – Introdução	1
2 – Transmissão de vídeo.....	3
2.1 Servidor de Streaming.....	8
2.1.1 Helix Universal Server.....	8
2.1.2 Protocolos de comunicação.....	9
2.2 Streaming de vídeo armazenado	12
2.3 Compressão de vídeo	17
2.3.1 Conceitos básicos de compressão e codificação	17
2.3.2 Codec para compressão de vídeo	19
2.4 Conclusão.....	22
3 – Redes Locais sem Fio padrão IEEE 802.11	23
3.1 Arquitetura das redes padrão IEEE 802.11	24
3.1.1 Topologia	24
3.1.2 Componentes.....	27
3.2 Camada Física.....	28
3.3 Camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)	30
3.3.1 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD).....	30
3.3.2 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA).....	31
3.3.3 O problema da “estação escondida”	33
3.3.4 Reconhecimentos da camada MAC	34
3.3.5 Algoritmo estendido de backoff.....	35
3.4 Limitações na transmissão de streaming de vídeo	36

3.4.1 Disponibilidade de largura de banda em uma WLAN.....	36
3.4.2 Limitações do <i>streaming</i> de vídeo	37
3.4.3 Dispositivos móveis de acesso à rede	38
4 – Avaliação da transmissão de <i>streaming</i> de vídeo em redes padrão 802.11b	40
4.1 Cenários de Teste	40
4.2 Preparação dos vídeos para transmissão	42
4.2.1 Detalhamento da preparação e execução do experimento	43
4.2.2 Vídeos codificados.....	48
4.3 Arquitetura da Rede	49
4.3.1 Configuração de Hardware e Software	52
5 – Resultados e análises.....	54
5.1 Cenário 1 - Transmissão de vídeo em condições ideais	54
5.1.1 Transmissão de vídeos QCIF codificado a 15 fps	54
5.1.2 Transmissão de vídeo QCIF a 10 fps.....	56
5.1.3 Transmissão do vídeo QCIF – 15 fps – taxa de transmissão/recepção de 1 Mbps	57
5.1.4 Transmissão do vídeo CIF – 15 fps – taxa de transmissão/recepção de 1 Mbps.	59
5.1.5 Transmissão do vídeo QCIF – 15 fps – Cliente com TurboPlay desabilitado.....	59
5.1.6 Transmissão do vídeo QCIF – 15 fps – PDA como cliente.....	60
5.2 Cenário 2 - Transmissão de vídeo na presença de tráfego UDP constante.....	63
5.2.1 Transmissão de vídeos CIF codificado a 15 fps e taxa de dados 100 kbps concorrente ao tráfego UDP constante	63
5.2.2 Transmissão de vídeos CIF codificado a 15 fps e taxa de dados de 450 kbps concorrente ao tráfego UDP constante	67
5.3 Cenário 3 - Transmissão de dois vídeos e sem a presença de qualquer outro tráfego	71
5.3.1 Transmissão do vídeo QCIF - 15 fps - taxa de dados de 225 kbps ao PDA e C610	72
5.3.2 Transmissão do vídeos QCIF - 15 fps - taxa de dados de 450 kbps as estações C610 e A1100	74

5.4 Cenário 4 - Transmissão de dois vídeos na presença de tráfego UDP constante....	77
5.4.1 Transmissão do vídeo QCIF - 15 fps - taxa de dados de 450 kbps - as estações PDA e C610 com a presença de tráfego UDP constante.	77
5.4.2 Resultado da captura das telas do vídeo.....	82
6 – Conclusão.....	85
Referências.....	88

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Formas de transmissão de streaming	7
Tabela 2 - Formatos de arquivos suportados pelo Helix Universal Server	9
Tabela 3 - Alocação de espectro global em 2,4GHz.....	29
Tabela 4 - Comparação em Desktops, Notebooks e PDAs.....	39
Tabela 5 - Configuração dos Cenários de Teste	42
Tabela 6 - Características dos vídeos codificados	48
Tabela 7 - Papéis das estações durante os testes.....	51
Tabela 8 - Configuração dos Hardwares usados nos testes	52
Tabela 9 – Configuração dos Softwares usadas nos testes	53
Tabela 10 - Endereços IPs associados a cada interface de rede.....	53
Tabela 11 - Transmissão de pacotes de dados – vídeo QCIF – 15 fps	56
Tabela 12 - Transmissão de pacotes de dados -- vídeo QCIF – 10 fps	56
Tabela 13 - Transmissão de pacotes de dados – vídeo QCIF – 15 fps - cliente configurado a 1 Mbps.....	59
Tabela 14 - Transmissão de pacotes de dados	68
Tabela 15 - Transmissão de pacotes de dados UDP	69
Tabela 16 – Estatísticas da transmissão de pacotes durante a transmissão do vídeo	76
Tabela 17 – Pacotes Perdidos durante a transmissão do vídeo	79
Tabela 18 - Throughput da rede sem fio durante a transmissão dos vídeos e do tráfego UDP.....	82
Tabela 19 - Captura de telas durante a transmissão do vídeo com tráfego UDP de 4 Mbps.	84

Lista de Figuras

Figura 1- Transmissão <i>Unicast</i> [6]	5
Figura 2 - Transmissão <i>Multicast</i> [6].....	6
Figura 3 - Media player comunicando-se diretamente com o servidor web [4]	13
Figura 4 - Transmissão entre um streaming server e um media player [4].....	14
Figura 5 - Buffer do cliente sendo preenchido a taxa $x(t)$ e consumido a taxa d [4]	16
Figura 6 - Uso de <i>codecs</i> para codificação e decodificação de vídeo.....	19
Figura 7 - Padrão 802.11 focando nas duas camadas mais baixas do modelo ISO-OSI.....	24
Figura 8 - Rede Ad Hoc.....	25
Figura 9 - Rede de Infra-estrutura	26
Figura 10 - Topologias BSS e ESS do padrão IEEE 802.11	27
Figura 11 - Funcionamento do uso do RTS / CTS	34
Figura 12 – Esquema de execução dos testes	45
Figura 13 - Arquitetura da Rede	50

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Largura de banda usada durante transmissão de vídeo QCIF – 15 fps.....	55
Gráfico 2 - Largura de banda usada durante transmissão de vídeo QCIF – 15 fps.....	58
Gráfico 3 - Largura de banda usada durante transmissão de vídeo com TurboPlay ligado/desligado.....	60
Gráfico 4 - Largura de banda usada pela rede sem fio durante transmissão de vídeo ao PDA.....	61
Gráfico 5 - Relação entre o número de pacotes transmitidos downstream e upstream no PDA.....	62
Gráfico 6 – Utilização da rede sem fio durante a transmissão do vídeo codificado a 100 kbps	64
Gráfico 7 - Número de pacotes transmitidos, perdidos e recebidos.....	65
Gráfico 8 - Porcentagem de pacotes transferidos downstream e upstream.....	66
Gráfico 9 – Utilização da rede sem fio com transmissão de vídeo e tráfego UDP constante	67
Gráfico 10 – Número de pacotes transmitidos perdidos e reenviados.	68
Gráfico 11 - Porcentagem de pacotes RDT e UDP transmitidos down e upstream.....	70
Gráfico 12 - <i>Throughput</i> da rede sem fio com a variação da taxa de transmissão de pacotes UDP	71
Gráfico 13 - Utilização da rede sem fio durante a transmissão dos vídeos QCIF – 15 fps – 225 kbps	73
Gráfico 14 – Utilização da rede sem fio durante a transmissão de dois vídeos	75
Gráfico 15 - Utilização da rede sem fio durante a transmissão de vídeos com tráfego UDP constante	78
Gráfico 16 - Percentual de pacotes de dados	79
Gráfico 17 - Percentual de Datagramas perdidos	80
Gráfico 18 - Porcentagem de pacotes transmitidos na rede sem fio	81

Acrônimos

.asf	Advanced <i>Streaming</i> Format
.au	Formato de áudio
.avi	AVI file format – áudio/video interleave
.mov	Arquivos do QuickTime
.png	Portable Network Graphics
.rm	Arquivo RealMedia
.rmvb	Arquivo RealMedia codificado em taxa de bits variáveis
.rp	Real Pix
.rt	Real Text
.swf	Arquivos do Flash
.wma	Windows Media Audio
.wav	Wave file
.wmv	Windows Media Video
ACK	Acknowledgement
AIFF	Audio Interchange File Format
AP	Access Point
BSS	Basic Service Set
CBR	Constant Bit Rate
CODEC	Coder/Decoder
CPU	Control Process Unit
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CTS	Clear To Send
DCF	Distributed Coordination System
DIFS	DCF Inter Frame Space
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum

FPS	Frames per second
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical.
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MIME	Multipurpose Internet Mail Extension
MMS	Microsoft Media Service
MPEG	Moving Pictures Expert Group
MPEG-1	Moving Pictures Expert Group – Standard 1
MPEG-4	Moving Pictures Expert Group – Standard 4
NAV	Network Allocation Vector
OFDM	Orthogonal Frequency Spread Spectrum
OSI	Open System Interconnection
PCF	Point Coordination Function
PCI	Peripheral Component Interconnect
PDA	Personal Digital Assistant
PHY	Physical
QoS	Quality of Service
RDT	RealNetworks Data Transport
RTP	Real Time Protocol
RTS	Request To Send
RTSP	Real Time <i>Streaming</i> Protocol
SIFS	Short Inter Frame Space
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol

UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
USB	Universal Serial Bus
VBR	Variable Bit Rate
VOD	Video on Demand
VoIP	Voice over IP
WAV	Wave
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WMA	Windows Media Audio
WMM	Wi-Fi Multimedia

Resumo

O objetivo deste estudo é investigar a transmissão de *streaming* de vídeos, em redes sem fio (WLAN), padrão IEEE 802.11b, usando-se como clientes dispositivos portáteis notebooks e PDAs. Foram feitos experimentos a partir da transmissão de vídeos armazenados em um servidor de *streaming* aos dispositivos e avaliado o desempenho desse tipo de serviço. Verificou-se que quando a rede encontra-se com pouco uso, a transmissão de vídeo flui normalmente, porém à medida que se insere na rede um tráfego UDP com uma taxa constante, aumenta-se a utilização da rede e a perda de pacotes, e a qualidade do vídeo diminui, aumentando-se as paradas e chegando a interromper-se a transmissão do vídeo. Conclui-se que embora seja possível a transmissão de vídeo, não se pode garantir seu resultado, o qual dependerá das aplicações que estão usando a rede e também do tipo de dispositivo cliente usado para solicitar o vídeo. São necessários mecanismos que permitam garantir a qualidade de serviço exigida pela aplicação para obtermos melhores resultados.

Abstract

The aim of this study is to investigate the video streaming transmission in wireless networks (WLAN) standard IEEE 802.11b, by using as clients portable devices notebooks and PDAs. Some experiments were made by the video transmission stored in a streaming server to the device and the performance has been checked.

I would have been seen that when the networks have been exposed to small effort the video transmission can flow regularly. Although when a transport is inserted in the net in a regular tax, the net using is increased as well as the packages loss and video quality decreases. The stops get increased and there is an interruption in video transmission. Although it is possible the video transmission its result cannot be assured, which will depend on the applications to which are in the net as well as the kind of client-device used to request the video. Many devices are necessary to assure the service quality demanded to the application in order to get better results.

1 – Introdução

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

Para que um vídeo seja transmitido com qualidade é necessário que a rede consiga manter um fluxo de transmissão de dados contínuo, e que o usuário possa ter controle sobre a transmissão, podendo pará-la, reinicializá-la, fazer o avanço ou retroceder a um ponto qualquer do vídeo [1].

Uma WLAN padrão 802.11b não possui nenhum mecanismo que garanta a qualidade de serviço exigido, pois ela é uma rede que apenas oferece um serviço do tipo *Best Effort*, isto é, essas redes transmitem datagramas da origem até seu destino o mais rápido possível, porém não garantem qualidade de serviços.

Dessa forma, para que transmissões de vídeo sejam possíveis é necessário o uso de alguns mecanismos para minimizar as deficiências providas pela rede, como armazenar os pacotes de dados antes de exibi-los e deslocar o início da exibição em alguns segundos para que os dados sejam armazenados e assim, mesmo que haja algum problema durante a transmissão, o usuário possa continuar assistindo ao vídeo obtendo dados previamente armazenados.

Uma WLAN padrão 802.11b possui algumas características que precisam ser levadas em consideração durante a transmissão do vídeo, como: a alta taxa de perda de pacotes, a diferença nos intervalos entre a chegada de pacotes (*jitter*), baixa taxa de transmissão quando comparadas às redes cabeadas e instabilidade devido às questões de propagação dos sinais.

Notebooks e PDAs são dispositivos portáteis e transportáveis que apresentam características distintas, sendo os primeiros mais próximos aos *desktops*. Suas telas possuem tamanhos e resoluções diferentes. O poder de processamento, tamanho, peso e capacidade de memória também são distintos, porém ambos podem acessar uma rede sem fio padrão IEEE 802.11b.

O objetivo desse trabalho é investigar, através de experimentos, a extensão das limitações da transmissão assíncrona de um *streaming* de vídeo em uma rede sem fio (WLAN) padrão IEEE 802.11b.

O trabalho está dividido em seis capítulos. O Capítulo 2 introduz as características de um arquivo de vídeo digitalizado, os conceitos básicos de compressão e codificação, o funcionamento de um servidor de *streaming*, e como se dá a transmissão de um vídeo armazenado. O Capítulo 3 descreve a arquitetura de uma rede local sem fio (WLAN), seus modos de operação, o funcionamento de suas camadas físicas e de acesso ao meio, e também suas limitações. O Capítulo 4 descreve a avaliação da transmissão de *streaming* de vídeo em WLAN, os cenários de testes, a arquitetura da rede de testes e o procedimento para realização dos experimentos. O Capítulo 5 estuda os resultados das medições e seus significados. O Capítulo 6 deriva as conclusões obtidas e faz-se sugestões de novas pesquisas. Em seguida, são apresentadas as referências usadas no trabalho.

2 – Transmissão de vídeo

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 sequencialmente e processados à medida que chegam ao dispositivo-destino, não sendo necessário aguardar a transferência completa do arquivo para que ele seja usado. Outra característica é que o vídeo é armazenado em *buffers* que são consumidos pelo dispositivo-destino, não sendo armazenado em memória secundária para posterior reexibição e, assim, facilitando questões como preservação dos direitos autorais [2,3].

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

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

Aplicações multimídia são muito sensíveis ao atraso (*delay*) e também a variação do atraso (*jitter*), embora tolerem eventuais perdas de pacotes (*loss tolerant*) que podem ser compensadas, sem oferecer grandes alterações na qualidade do produto final [2, 3].

A perda de pacotes implica na redução da qualidade do vídeo, pois partes da imagem codificada são perdidas e a exibição apresentará defeitos na imagem. Portanto, mesmo sendo admissível deve ser evitada [2,3].

Esta característica é diferente da transmissão de dados, em que perdas não são toleradas, mas pequenos atrasos são permitidos [4].

Aplicações multimídia são sensíveis ao atraso na chegada dos pacotes de dados (pacotes recebidos após um determinado tempo são descartados, pois são inúteis) e ainda mais sensível a sua variação no tempo (*jitter*). Portanto, elas têm dificuldades para ser transportadas em redes que oferecem serviços do tipo *best effort* (melhor esforço), que

não garantem tempos máximos de atrasos e *jitter*, e nenhum outro tipo de garantia da Qualidade dos Serviços (QoS).

Tipicamente, essas aplicações possuem requisitos bem definidos de largura de banda, limites máximos de atraso e perda de pacotes de dados [5].

As aplicações multimídia podem ser classificadas em: *streaming* de áudio e vídeo armazenados – também conhecido como distribuição de vídeo sobre demanda (VOD), por exemplo: assistir a um vídeo clipe disponível na Internet; *streaming* de áudio e vídeo transmitidos ao vivo, exemplo: a transmissão de uma apresentação em tempo real; e *streaming* de áudio e vídeo interativo em tempo real, representado por aplicações de áudio e vídeo-conferência, VoIP [4].

Um arquivo de vídeo armazenado (*stored vídeo*) poderá ser transferido ao dispositivo-cliente através de seu *download* completo ou através de uma transmissão por *streaming*.

Ao fazer um *download*, o usuário precisa receber o arquivo de vídeo completo e só depois poderá iniciar sua reprodução¹. Contudo, o tempo necessário para baixar o vídeo antes de começar reproduzi-lo é normalmente longo, sujeito a problemas durante a transferência, ocupa um espaço relevante no dispositivo-cliente que muitas vezes torna-se inaceitável. A vantagem é a garantia de exibição contínua do vídeo de acordo com os parâmetros de qualidade em que ele foi codificado e suas desvantagens são o tempo necessário para o recebimento do arquivo completo, o espaço necessário para armazenar o vídeo transmitido e a impossibilidade da transmissão de eventos ao vivo. Utilizando-se a transmissão por *streaming*, o vídeo não precisa ser completamente baixado para iniciar sua reprodução, sendo exibido à medida que os pacotes são recebidos e processados. Esta solução é dependente do comportamento da rede, pois se os dados chegarem mais rápidos que eles devem ser reproduzidos, eles deverão ser armazenado em um buffer ou descartados e se eles não chegarem até o momento de sua exibição eles serão descartados e a visualização da imagem será afetada.

¹ Há forma de transmissão onde o vídeo é exibido à medida em que chega ao media player, normalmente com uso do protocolo HTTP, mas este caso não se caracteriza como streaming porque o vídeo é armazenado no cliente.

A transmissão de *streaming* de vídeo armazenado pode ser feita de forma interativa ou não-interativa. No modo interativo, o usuário pode controlar a reprodução do *streaming* com funções semelhante aos controles utilizados em um tocador de DVD, com operações de início e interrupção da reprodução, avanço e retrocesso em modo normal ou rápido. No modo não-interativo o usuário não tem controle sob a transmissão, não podendo, por exemplo, interrompê-la e depois continuá-la.

Quanto à forma de transmissão, um *streaming* poderá ser distribuído nos modos: *unicast* onde uma conexão é estabelecida para cada cliente, *multicast* sendo uma conexão compartilhada entre um grupo de clientes e *broadcast* quando uma conexão é compartilhada por todos os clientes da rede. A Figura 1 apresenta uma transmissão *unicast* onde cada cliente estabelece uma conexão direta com o servidor.

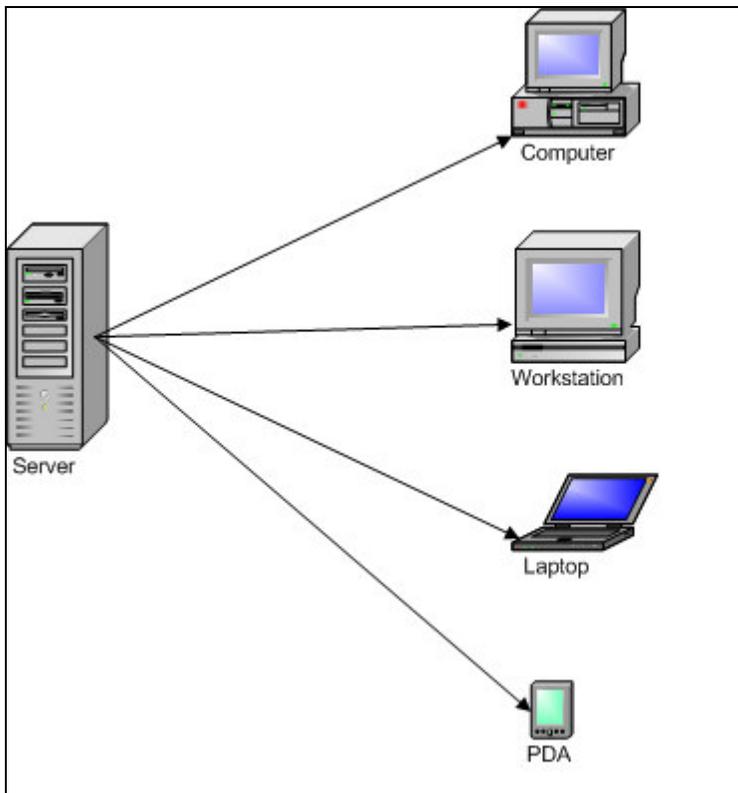


Figura 1- Transmissão *Unicast* [6]

A transmissão *multicast*, mostrada na Figura 2, utiliza uma única conexão compartilhada entre os clientes que estabelecem conexões num endereço onde um único pacote é transmitido e distribuído a cada cliente do grupo. Embora esta técnica reduza o congestionamento da rede, pois um único pacote é transmitido a todas as estações do grupo, ela requer uma infra-estrutura de rede que suporte este tipo de transmissão, que envolve uso de roteadores mais sofisticados e caros.

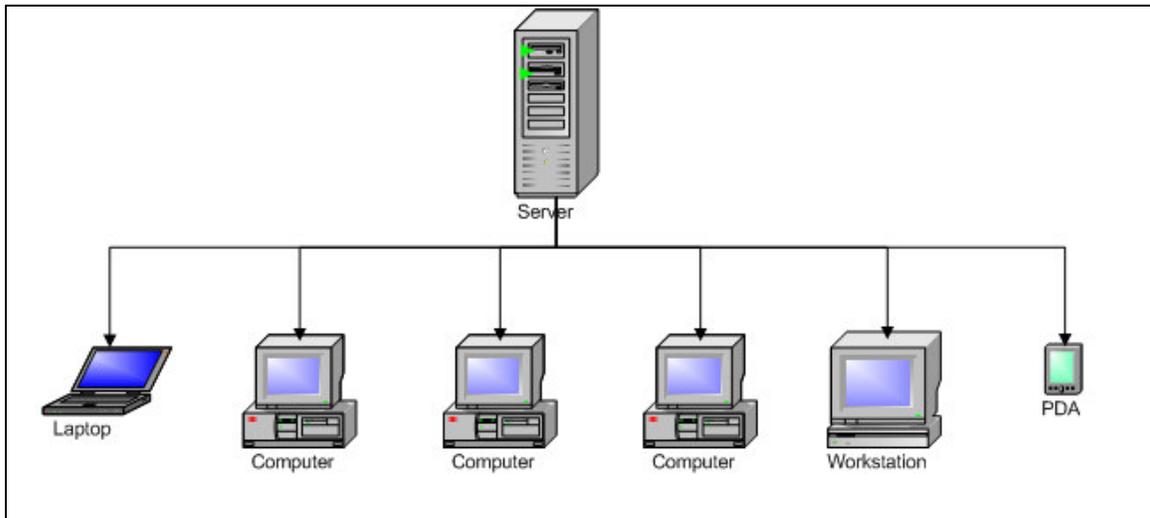


Figura 2 - Transmissão Multicast [6]

A Tabela 1 sintetiza as vantagens e desvantagens das formas de transmissão de *streaming* apresentadas.

Tabela 1 - Formas de transmissão de streaming

Formas de Transmissão	Vantagens	Desvantagens
Unicast	<ul style="list-style-type: none">• conexão é criada individualmente• o usuário solicita transmissão quando necessário.	<ul style="list-style-type: none">• gera um maior tráfego de dados pela rede.
Multicast	<ul style="list-style-type: none">• reduz o congestionamento da rede• pacotes de dados são transmitidos a um grupo de estações simultaneamente.	<ul style="list-style-type: none">• necessidade de infra-estrutura diferenciada para o suporte• normalmente não é suportado pela Internet.• transmissão feita em horários programados
Broadcast	<ul style="list-style-type: none">• todos os clientes da rede recebem a transmissão.	<ul style="list-style-type: none">• transmissão feita em horários programados• todas as estações da rede recebem a transmissão.

2.1 Servidor de Streaming

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

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

Algumas opções de servidores de *streaming* são: Helix Universal Server, da e Helix Community [7] com apoio da RealNetworks [8], QuickTime Streaming Server e Darwin Streaming Server, da Apple [9] e o Windows Media Encoder , da Microsoft [10].

2.1.1 Helix Universal Server

É um servidor de mídia que permite a entrega, gerenciamento e distribuição de conteúdo armazenado em mídia digital. Ele possui suporte a múltiplas plataformas de hardware, suporte a protocolos padrões, extensibilidade, projetado para suportar qualquer tipo de mídia através de *plugins*, suporte a múltiplos formatos de arquivos e tipos de dados.

O Helix Universal Server suporta os protocolos Real Time Streaming Protocol (RTSP) [11], Session Description Protocol (SDP) [12], Real-Time Transport Protocol (RTP) [13,14], RealNetworks Data Protocol (RDT) [15,16,17], Session Announcement Protocol (SAP) [18], Microsoft Media Service (MMS) [6], Transmission Control Protocol (TCP) [19] e User Datagram Protocol (UDP) [20] .

Ele suporta tanto a transmissão de vídeos armazenados, previamente codificados, solicitados sob demanda quanto a transmissão de eventos transmitidos ao vivo. Os formatos de arquivos suportados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Formatos de arquivos suportados pelo Helix Universal Server

Produtores	Formatos e extensões dos arquivos
RealNetworks	RealAudio (.rm), RealVideo (.rm,.rmvb), RealPix (.rp), RealText (.rt)
Macromedia	Flash (.swf)
Microsoft	Windows Media (.asf, .wma, .wmv)
Apple	QuickTime (.mov)
Baseado nos padrões:	MPEG-1 – extensões: mpa, mpg, mpeg, mpv, mps, m2v, m1v e mpe MPEG-4 – extensão: mp4 MP3 – formato de áudio do MPEG-1
Outros formatos:	AU (.au), AIFF (.aif, .ief), WAV (.wav)

Ele permite a transmissão a dispositivos equipados com RealOne Player, Windows Media Player, QuickTime Player e MPEG Player, entre outros.

A configuração e monitoramento do servidor são feitos pelo Helix Administrator, uma ferramenta gráfica com interface em HTML. Embora possa distribuir vários tipos de conteúdo, ele não é capaz de gerá-los. Para geração dos arquivos codificados é usado o RealProducer [21].

2.1.2 Protocolos de comunicação

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

Protocolos da camada de Aplicação

Na camada de aplicação uma opção é o uso do protocolo **HyperText Transport Protocol (HTTP)**, que é o protocolo básico de uso na Internet, sendo transportado pelo protocolo TCP usado na porta 80. Sua utilização é obrigatória quando o arquivo de vídeo está armazenado em um servidor Web. Suas vantagens vão além da possibilidade de passar por *firewalls*, sendo um protocolo que garante a entrega de pacotes de dados ao cliente. Suas desvantagens são o controle do fluxo e o congestionamento da transmissão que podem atrasar a entrega de pacotes e a falta de controle de operações simples como a busca de uma determinada posição dentro de um arquivo de vídeo.

O **Real-Time Streaming Protocol (RTSP)** é um protocolo de controle da transmissão do *streaming* de vídeo usado entre o cliente e o servidor [11] que usa TCP para transporte de mensagens de controle e UDP (ou TCP) para transporte de dados. É um protocolo chamado de “*out-of-band*”, pois há uma separação no envio de mensagens de controle, feita por uma porta de comunicação (*out-of-band*) e os dados, em outra porta (*in-band*). O RTSP não determina o formato da estrutura do pacote de dados transportado, sendo que dois tipos usados são o Real-Time Transport Protocol (RTP) [13] e o RealNetworks Data Transport (RDT).

A Microsoft usa o protocolo **Microsoft Media Service (MMS)** para transferência de dados através de *multicast*. Este protocolo poderá ser transportado tanto sob UDP quanto pelo TCP. Se o cliente Windows Media Player não conseguir negociar uma boa conexão usando MMS sob UDP, ele tentará usar MMS sob TCP. Se esta forma ainda falhar, ele irá fazer a conexão usando o protocolo HTTP sob TCP, porém essa solução não é tão indicada quanto a primeira.

O Helix Universal Server usa o MMS quando transmitindo ao Windows Media Player.

Protocolos da camada de Transporte

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

O **UDP** [19] é um protocolo sem conexão e sem garantia de entrega dos pacotes de dados ao destino. Ele não implementa controles de fluxo e congestionamento, sendo por isso mais rápido que o TCP e mais indicado para transmissão de áudio e vídeo em tempo real. Ele também é um protocolo mais enxuto e apresenta um cabeçalho menor que o TCP. Cabe à aplicação determinar quais ações serão tomadas quando houver perda de pacotes e altas taxas de transmissão. Uma desvantagem do uso do UDP é que ele não garante a entrega de dados.

O **TCP** [20] é um protocolo orientado à conexão, que utiliza retransmissões para recuperação de pacotes perdidos, provendo uma transmissão confiável fim-a-fim. Possui mecanismos de controle de fluxo e de congestionamento que previne o transbordamento do buffer de recebimento. As retransmissões de pacotes feitas pelo TCP podem gerar atrasos, que são muitas vezes inaceitáveis por aplicações multimídia de tempo real, pois estas possuem severos requisitos de atrasos.

Protocolos usados sob a camada de transporte para prover informações adicionais para o tráfego de dados multimídia

O **Realtime Transport Protocol (RTP)** [22] é um protocolo encapsulado na camada de transporte usado pelo servidor para enviar pacotes de dados ao cliente. Ele não garante o QoS ou entrega segura, porém oferece funções de suporte ao *streaming* de vídeo como *time-stamping* (marcação do tempo que o pacote foi gerado), numeração seqüencial de pacotes, identificação do tipo do formato dos dados transportados e a identificação da sessão. Ele poderá ser encapsulado tanto no TCP quanto no UDP. O **RTCP** [22] é um protocolo de controle usado em conjunto com o RTP que provê os serviços de monitoramento da qualidade dos dados entregues por meio de relatórios

enviados pelos nós-origem e destino, um mecanismo de identificação dos participantes da sessão e o controle da distribuição das informações de acordo com o número de participantes da sessão.

O RealNetworks Data Transport (RDT) [15] é um protocolo que é encapsulado pela camada de transporte, proprietário da RealNetworks, usado para transmissão de fluxos de dados multimídia. Ele é o formato padrão de empacotamento de dados usado pelo Helix Universal Server. O RDT desempenha um papel semelhante ao RTP, porém suporta a transmissão de arquivos RealMedia codificados a várias taxas de dados onde apenas a taxa mais apropriada é transmitida ao cliente, de acordo com as características de sua conexão. Essa é uma tecnologia proprietária da RealNetworks chamada SureStream.

2.2 Streaming de vídeo armazenado

Há basicamente duas soluções existentes para a transmissão de um vídeo armazenado em um servidor a um media player. A primeira solução é armazenar o vídeo em um servidor Web e a segunda é armazenar em servidor de streaming, dedicado à transmissão de mídia, que é mais apropriado, pois traz possibilidades de uso de outros protocolos, além do HTTP, para transmissão de vídeo.

A Figura 3 mostra a solução usando uma conexão direta entre o *media player* e o servidor Web. Esta solução é tipicamente implementada através do uso de um *metafile*, que é um arquivo que possui informações sobre como o *media player* deverá conectar-se ao servidor Web. Dessa forma, não é necessário aguardar o recebimento do arquivo todo antes de começar a exibição do arquivo. Assim, o cliente seleciona um *link* para o *metafile* que está armazenado no servidor Web. O *metafile* descreve informações sobre o arquivo de vídeo, permitindo que o navegador inicie um *media player* apropriado, o qual estabelece uma conexão HTTP direta com o servidor Web que envia os pacotes de dados exibidos pelo *media player*. A desvantagem desse método é a obrigatoriedade do uso do protocolo HTTP que é o padrão nos servidores Web.

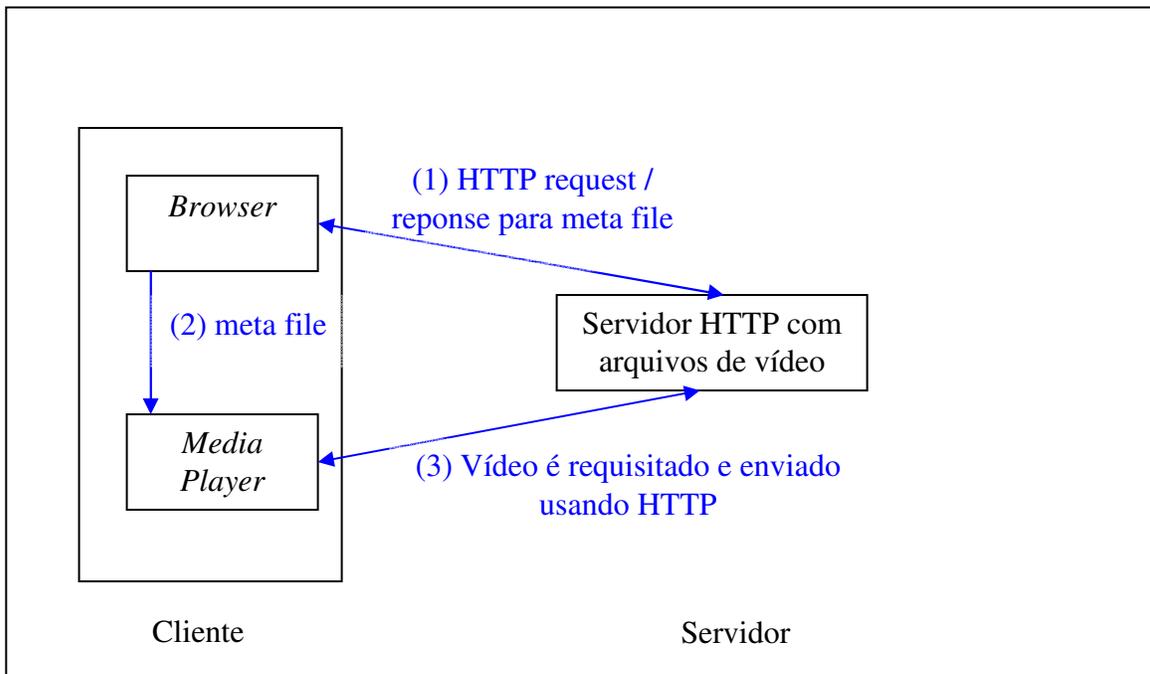


Figura 3 - Media player comunicando-se diretamente com o servidor web [4]

Uma outra forma de receber um arquivo de vídeo é através da sua solicitação direta a um servidor de *streaming* ao invés de um servidor Web. Como o servidor *streaming* suporta outros protocolos de aplicação, além do HTTP, o *media player* não é restrito a ele e pode usar outros protocolos para controle e recebimento de *streaming* de vídeo. O uso do protocolo de aplicação RTSP, ao invés do HTTP, permite que os dados sejam enviados sob UDP [19] ao invés de TCP [20].

Esta arquitetura normalmente envolve a utilização de dois servidores, como pode ser visto na Figura 4. O servidor HTTP contém um arquivo de descrição que informa ao *media player* como se conectar ao servidor de *streaming*. O servidor HTTP poderá ser eliminado caso o vídeo seja solicitado diretamente ao servidor de *streaming*.

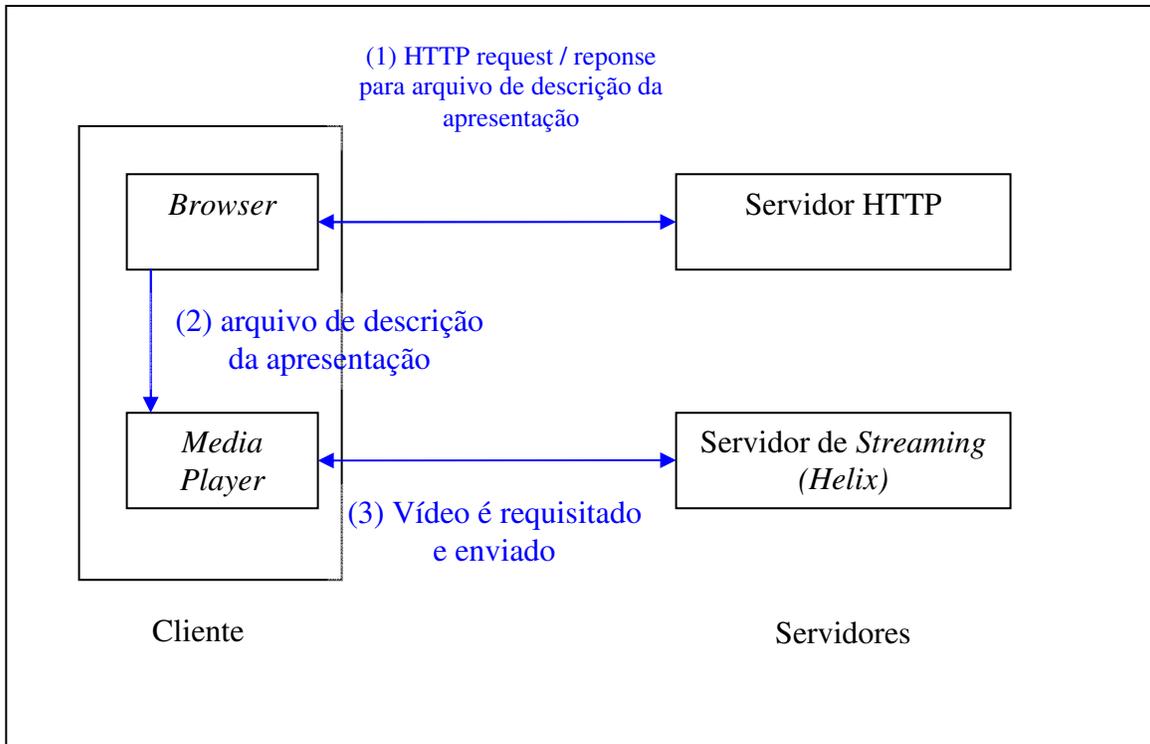


Figura 4 - Transmissão entre um streaming server e um media player [4]

Várias opções podem ser usadas para transmitir dados multimídia entre o servidor de *streaming* e o *media player*.

Uma primeira opção é selecionar no navegador o *link* para o arquivo que retorne o *metafile* que depois de transferido ao *media player*, abra uma conexão ao servidor de *streaming* usando o protocolo RTSP sob UDP. O *media player* guarda os pacotes de dados recebidos durante alguns segundos, tipicamente de dois a cinco, em um *buffer*, a fim de minimizar o efeito do *jitter* induzido pela rede (*network-induced jitter*), conforme mostrado na Figura 5. O cliente preenche o *buffer* durante o número de segundos previamente configurados e passa a consumir os dados do buffer que é preenchido a uma taxa de transmissão igual a $x(t)$ e consumido a uma taxa d .

O vídeo será exibido sem interrupções caso $x(t)$ mantenha-se aproximadamente igual a d . Se $x(t)$ mantiver-se menor que d por um período, o *buffer* poderá esvaziar e haverá necessidade de interromper a exibição do vídeo e aguardar o preenchimento do *buffer* antes de continuar a exibição.

Uma segunda opção, semelhante à primeira, é solicitar ao servidor de *streaming* que envie os pacotes de dados o mais rápido possível e armazenar os dados no buffer até que seja atingido um limite máximo de armazenamento. A exibição do vídeo é iniciada assim que alguns segundos do vídeo estiverem armazenados, conforme mostrado na Figura 5. O *buffer* é preenchido a uma taxa $x(t)$ que poderá ser muito maior que d , dependendo do tamanho do *buffer* disponível.

Caso o tamanho do *buffer* seja suficientemente grande para armazenar todo o vídeo, não haverá mais necessidade de preocupação com o estado de uso da rede, pois todo vídeo já estará armazenado no *buffer*. Se o buffer for pequeno, a qualidade da exibição do vídeo irá depender necessariamente de $x(t)$ manter um valor próximo a d , pois caso contrário, o *buffer* poderá esvaziar e o media player irá parar a exibição aguardando que o buffer seja preenchido novamente antes de continuar a exibição do vídeo.

Numa terceira opção, os pacotes são enviados usando-se o protocolo TCP ao invés do UDP, eliminando-se a perda de pacotes, mas trazendo as deficiências do protocolo TCP. O servidor envia o arquivo de mídia em uma *conexão* TCP tão rápido quanto possível, usando a largura de banda necessária e colocando o arquivo codificado no *buffer* do *media player*. O valor de $x(t)$ irá variar com o tempo em função do controle de congestionamento e controle de fluxo do TCP. O controle de congestionamento do TCP poderá reduzir $x(t)$ para menos que d por um longo período. Neste caso, há a possibilidade do buffer esvaziar-se e introduzir interrupções indesejáveis durante a reprodução do vídeo. O comportamento de $x(t)$ também será dependente do tamanho do *buffer* do cliente. Se ele for grande o suficiente para guardar o arquivo inteiro de vídeo, possivelmente em uma memória secundária, então o protocolo TCP irá usar toda a banda disponível no momento da conexão de tal forma que $x(t)$ poderá ser muito maior que d . Se $x(t)$ tornar-se muito maior que d durante um longo período de tempo, uma grande parte da mídia já estará armazenada no *buffer* do cliente e subseqüentes faltas de dados para consumo do cliente serão pouco prováveis.

Por outro lado, se o buffer do cliente for pequeno, então $x(t)$ irá variar em torno da taxa de consumo d e o risco do buffer esvaziar e interromper a transmissão tem maior probabilidade neste caso.

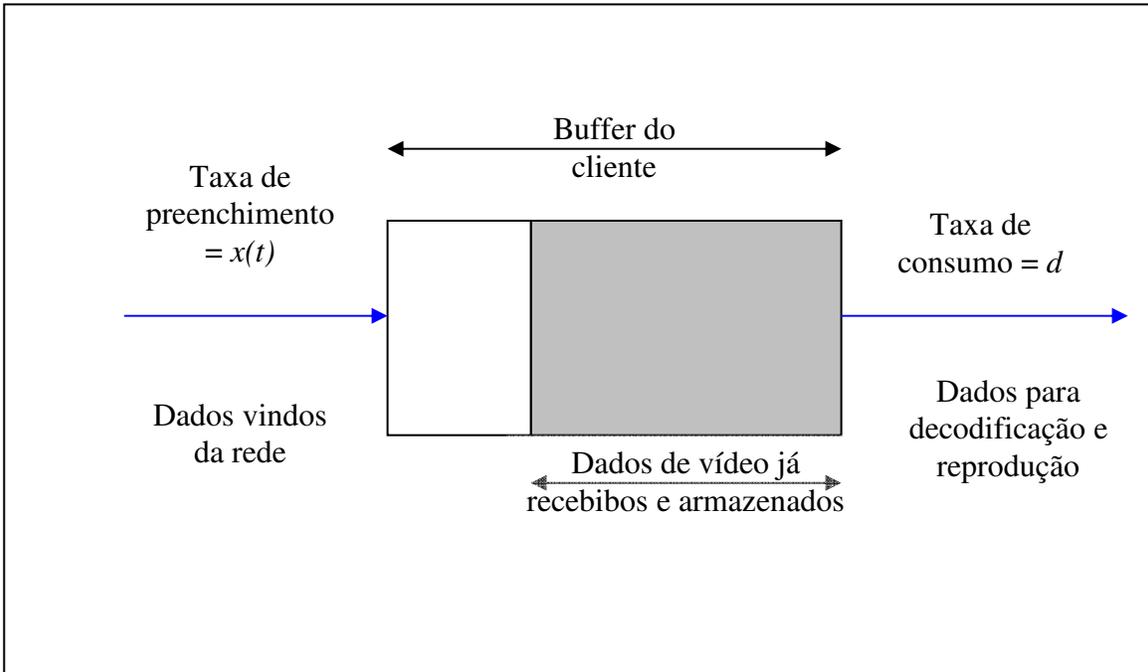


Figura 5 - Buffer do cliente sendo preenchido a taxa $x(t)$ e consumido a taxa d [4]

2.3 Compressão de vídeo

O processo de digitalização de áudio e vídeo gera arquivos extensos. Para diminuir a quantidade de informação que será transmitida ou armazenada usa-se um processo de codificação que comprime a mídia digital para que ocupe menos espaço e seja armazenada e/ou transmitida através de uma rede de comunicação de dados.

Os vídeos devem ser comprimidos e codificados e serem armazenados em um servidor de mídia para que possam ser transmitidos por *streaming*.

2.3.1 Conceitos básicos de compressão e codificação

A compressão digital busca eliminar as redundâncias existentes nas imagens, codificando os dados em representações mais compactas, ou mesmo, eliminando partes consideradas menos importantes [1]. As redundâncias são classificadas em espacial, quando os *pixels* (abreviação de *picture elements*) de um quadro possuem alta correlação, ou temporal quando há alta correlação entre os quadros consecutivos. A compressão espacial consiste na redução da redundância, estatística e subjetiva, existente em um único quadro, independente de outros quadros. A compressão temporal consiste na redução da redundância existente entre quadros sucessivos [23].

A compressão poderá ser simétrica, onde a fase de compressão terá a mesma duração da fase de descompressão, ou assimétrica, onde há diferenças no esforço necessário para as fases de compressão (maior esforço) e descompressão (menor esforço), permitindo que os dispositivos-cliente decodifiquem mais rapidamente o vídeo. O uso da compressão assimétrica em dispositivos com pouco poder de processamento é mais indicado [1].

A compressão também poderá ser feita usando-se uma taxa de bits constante ou variável. Constant Bit Rate (CBR) é um tipo de codificação onde todas as partes do vídeo são codificadas usando a mesma taxa de bits. Esse tipo de codificação é mais comum e recomendado para transmissão por meio de *streaming*, principalmente, para codificações com taxas menores que 350 kbps [21]. Variable Bit Rate (VBR) é um tipo de codificação

que permite que diferentes pedaços de um vídeo sejam codificados usando diferentes taxas de bits, mesmo que o vídeo seja transmitido a taxas constante (a taxa de bits varia dependendo da complexidade dos dados que estão sendo codificados). A codificação a taxas variáveis normalmente proporciona melhor qualidade na exibição do vídeo, porém gera arquivos de dados maiores que, conseqüentemente, precisarão de uma maior largura de banda.

Os métodos de compressão podem ser classificados quanto a perdas de dados. Numa compressão sem perdas (*lossless*) há um processo de reorganização da informação de forma mais concisa, não havendo eliminação de dados, sendo a imagem decodificada idêntica a original. A compressão feita com perdas (*lossy*) elimina partes consideradas menos importantes da imagem, e desta forma a imagem decodificada é semelhante a imagem original, porém traz perdas que geralmente são imperceptíveis ao olho humano [24].

Os métodos de compressão podem ser implementados exclusivamente por software, por hardware, ou por uma associação de software e hardware. A compressão baseada em hardware alivia o trabalho da CPU dos computadores, obtendo maior rapidez e poder de processamento.

Além da compressão, uma outra forma de reduzir o tamanho de um vídeo é diminuindo a taxa de atualização de seus quadros e / ou reduzindo suas dimensões.

Um vídeo codificado para distribuição em *streaming* deverá levar em consideração a taxa de transmissão de dados (*data rate*) desejada, dimensões do quadro e taxa de atualização dos quadros por unidade de tempo (*frame rate*).

Quanto maior for a taxa de atualização dos quadros por unidade de tempo, maior será a suavidade na mudança de quadros, o tamanho do arquivo de dados, a largura de banda para transmissão e o poder de processamento exigido do dispositivo-destino para decodificação das imagens. A taxa ideal é 30 quadros por segundo (fps). A taxa de 15 fps é recomendada quando há limitações na largura de banda disponível para transmissão ou quando há necessidade de diminuição do espaço de armazenamento. Embora a transmissão a 15 fps seja metade do limite da percepção humana, ela ainda permite uma boa visualização pelos usuários. Abaixo de 15 fps temos a impressão de que o vídeo está

andando aos “pulos” e a medida que essa taxa é reduzida, maior será a sensação de que estamos assistindo apenas a mudanças de slides [21,25].

2.3.2 Codec para compressão de vídeo

A compressão de vídeo é feita através da aplicação de um algoritmo de compressão de dados, considerando a qualidade de saída desejada e a largura de banda disponível para transmissão. A Figura 6 mostra o diagrama que ilustra o processo de codificação / decodificação do vídeo.

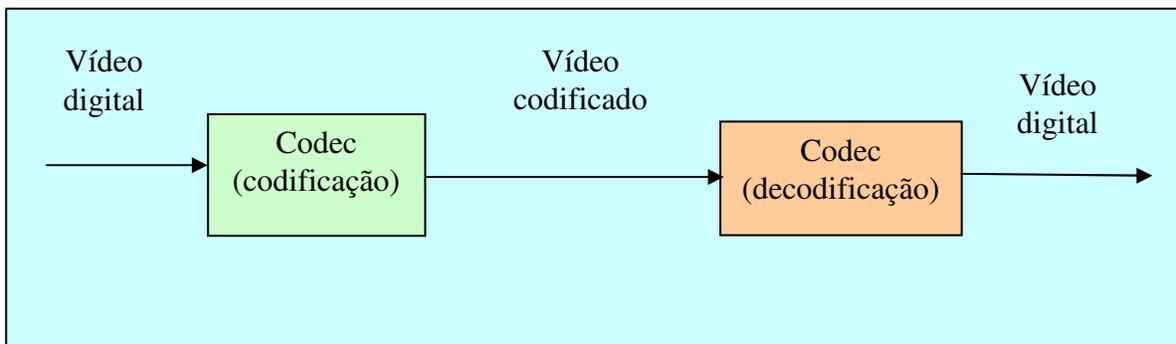


Figura 6 - Uso de *codecs* para codificação e decodificação de vídeo

Antes do conteúdo do vídeo ser reproduzido no destino, ocorre sua descompressão e decodificação. Estes algoritmos que fazem a compressão e descompressão dos dados são chamados de *codecs*. Eles reduzem o tamanho final do vídeo proporcionando uma diminuição no espaço requerido de armazenamento e também o uso de uma menor largura de banda durante a transmissão do vídeo.

Os *codecs* RealVideo, criados pela RealNetworks [8], são compostos do RealVideo 8, RealVideo 9 e RealVideo 10.

O *codec* RealVideo 8 é compatível com o RealPlayer 8. Sua codificação é mais rápida se comparada às versões mais novas (RealVideo 9 e RealVideo 10), porém a qualidade do vídeo codificado não é tão boa. O RealVideo 8 requer menos recursos da estação onde o RealPlayer é executado, sendo seu uso apropriado para dispositivos com menor poder de processamento, como os encontrados em dispositivos móveis.

O RealVideo 9 apresenta melhores taxas de compressão e melhorias na qualidade visual do vídeo codificado em relação ao RealVideo 8, sendo suportado pelo RealOne Player e versões mais novas.

O RealVideo 10 produz uma taxa de bits 30% menor que seu antecessor, RealVideo 9, mantendo a mesma qualidade. Ele oferece melhorias na qualidade visual sobre o RealVideo 9 e RealVideo 8, especialmente com cenas de ações rápidas e textos. O RealVideo 10 executa uma análise mais complexa dos dados de vídeo que os *codecs* anteriores e desta forma a codificação é mais demorada, podendo levar mais de duas vezes o tempo necessário requerido para codificação com o RealVideo 9.

RealVideo 10 é compatível com o RealOne Player e versões mais novas. A reprodução de conteúdo codificado com o RealVideo 10 consome a mesma quantidade de recursos de sistema que a reprodução usando o RealVideo 9. Os clientes não notam qualquer diminuição de performance quando reproduzindo um clipe codificado com o RealVideo 10 se comparado ao RealVideo 9.

O RealVideo 10 é um codificador de movimentação compensada, híbrido, que emprega tecnologia patenteada pela RealNetworks. Possui as seguintes características: modelo de movimentação altamente preciso, métodos proprietários de predição espacial de *pixel*, estágio de análise e síntese residual de multi-resolução, codificação da entropia adaptativa ao contexto, algoritmos de codificação otimizados para distorção de taxa, codificação em dois passos.

Muitos *codecs* empregam algoritmos baseados em blocos para fazer a compressão e descompressão de vídeo, como o MPEG, por exemplo. Esses algoritmos processam vários *pixels* de vídeo em blocos. À medida que se aumenta a taxa de compressão, esses algoritmos tendem a representar os blocos de maneira cada vez mais simples. Quando algoritmos baseados em blocos são usados, fortes descontinuidades, também chamadas de *block edges*, podem tornar-se evidentes.

RealVideo 10 evita o *blockness* através do uso de algoritmos que são mais precisos na compressão do vídeo e não são necessários processamentos posteriores no decodificador.

O RealVideo provê alta qualidade de vídeo a partir do original. O vídeo codificado é disponível tanto para *streaming* quanto para *download*. É possível codificar um clipe usando múltiplas taxas de bits, por exemplo, 225 kbps e 450 kbps, e armazená-lo em um único arquivo que será armazenado no servidor de *streaming*. Essa tecnologia, chamada SureStream, permite que quando o usuário solicite a transmissão do clipe, ele receba automaticamente o fluxo codificado que esteja mais adequando a sua conexão com a rede [21].

Uma outra tecnologia usada pelo RealVideo é chamada TurboPlay. Esta tecnologia monitora a velocidade de conexão durante a transmissão do vídeo a fim de prover uma reprodução o mais rápido possível. Ela permite que um vídeo seja transmitido a uma taxa de três a quatro vezes maior que a taxa original que o vídeo foi codificado, desde que haja banda suficiente [8].

Os arquivos codificados pelos *codecs* RealMedia possuem as extensões .rm, para vídeos codificados a taxas de bits constante e .rmvb para taxas de bits variáveis.

Os arquivos podem ser usados em múltiplos ambientes, como Windows, Linux, Mac OS, e Symbian.

Para o recebimento de um *streaming* de vídeo utiliza-se uma aplicação cliente denominada *media player*, que exerce as funções de decodificação dos dados segundo o *codec* utilizado, minimiza os efeitos do *jitter*, isto é, da variação do atraso entre pacotes recebidos durante uma mesma transmissão, permitindo que a imagem não apresente “saltos”, correção de erros e exibição do vídeo controlando a interface com usuário [2,3]. RealPlayer [8], Windows Media Player [10] e QuickTime [9] são exemplos de *players* mais comumente usados.

É importante ressaltar que o vídeo transmitido por *streaming* não é armazenado pelo *media player* no dispositivo-cliente. Isso permite que dispositivos móveis como Personal Digital Assistant (PDA), reproduzam vídeos que não poderiam ser armazenado em sua memória. Uma outra questão relacionada ao vídeo não ser armazenados no dispositivo-destino é a questão de direitos autorais (*Digital Rights Management (DRM)*) [2].

2.4 Conclusão

Nesse capítulo tratou-se de vários aspectos intrínsecos da transmissão de vídeo, como a questão do tamanho de um vídeo e as técnicas básicas para que ele seja codificado, reduzindo seu tamanho e assim possa ser armazenado localmente ou transmitido através de uma rede. Mostrou-se também que a transmissão do vídeo exige algumas características da rede como uma transmissão a uma taxa constante de acordo com a sua taxa de codificação. Os media players exercem um papel importante na decodificação e exibição do vídeo, procurando eliminar o *jitter* entre a chegada dos pacotes e também controlando interativamente a transmissão da mídia.

3 – Redes Locais sem Fio padrão IEEE 802.11

Uma Rede Local sem Fio (Wireless Local Area Network (WLAN)) é um tipo de rede local que usa ondas de rádio de alta frequência ao invés de fios (cabos) para comunicação e transmissão de dados. É um sistema de comunicação de dados flexível, implementada como uma extensão ou como uma alternativa para as redes cabeadas [26].

Um HotSpot público é uma conexão de rede sem fio disponível aos usuários equipados com dispositivos de acesso a rede, como PDAs, notebooks, telefones celulares ou jogos de mão, configurados com interface sem fio compatíveis, que podem conectar-se a Internet ou a uma Intranet e usar os serviços providos pela rede como enviar e receber emails, baixar arquivos, conectar-se à Intranet de sua empresa, sem a necessidade de conexões com fios.

O padrão IEEE 802.11 [26] foi projetado como um sistema de transmissão entre dispositivos usando ondas de radiofrequência ao invés de infra-estrutura de cabos e provê solução móvel e de custo efetivo, reduzindo significativamente o custo de instalação da rede por usuário.

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

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

O padrão 802.11 cobre apenas as camadas 1 (Física) e 2 (Enlace) da pilha de protocolos [27], como pode ser visto na Figura 7.

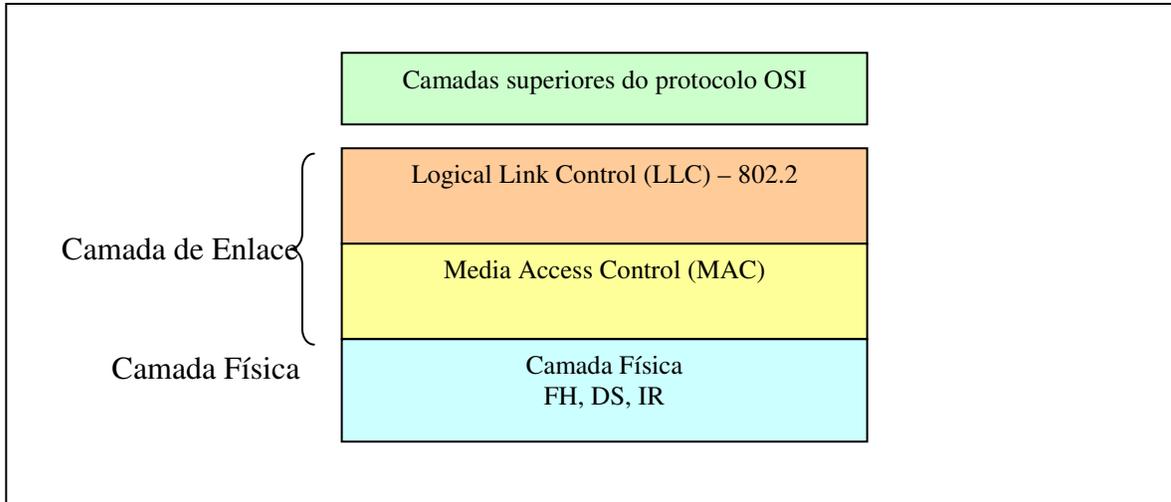


Figura 7 - Padrão 802.11 focando nas duas camadas mais baixas do modelo ISO-OSI

A camada física também se subdivide nos componentes PLDP (*Physical Layer Convergence Procedure*), que mapeia os quadros MAC no meio, e PMD (*Physical Medium Dependent*), responsável pela transmissão dos quadros.

3.1 Arquitetura das redes padrão IEEE 802.11

3.1.1 Topologia

O padrão IEEE 802.11 suporta três topologias básicas para WLAN: *Independent Basic Service Set (IBSS)*, *Basic Service Set (BSS)* e *Extended Service Set (ESS)* e define dois modos de operação: *ad hoc* (IBSS) e infraestruturado (BSS e ESS). Uma configuração *ad hoc* (Figura 8) é análoga a uma rede ponto a ponto onde todas as estações conversam entre si formando uma topologia *full-mesh* ou *partial mesh*. Geralmente, uma implementação *ad hoc* cobre uma área limitada e não são conectadas a outras redes.

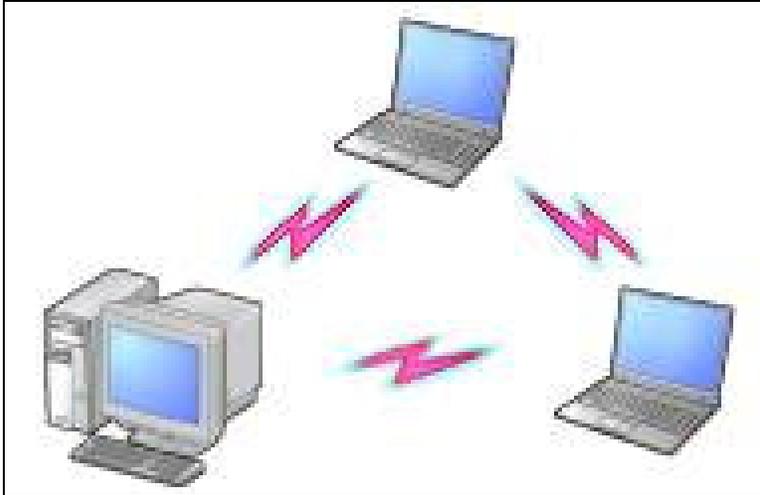


Figura 8 - Rede Ad Hoc

Usando o modo de infra-estrutura, a rede sem fio consiste de pelo menos um ponto de acesso (Access Point (AP)) e a um conjunto de estações sem fio. Esta configuração é chamada Basic Service Set (BSS). Como a maioria das WLANs requerem acesso aos serviços disponíveis em uma rede cabeada, elas operaram em modo infraestruturado e confiam no ponto de acesso que age como o servidor lógico para uma WLAN. A comunicação entre duas estações (A) e (B), realmente flui de (A) para o (AP) e do (AP) para (B). O AP é necessário para fazer a função de ponte e conectar múltiplas WLANs e as células WLAN a redes locais cabeadas (Figura 9)

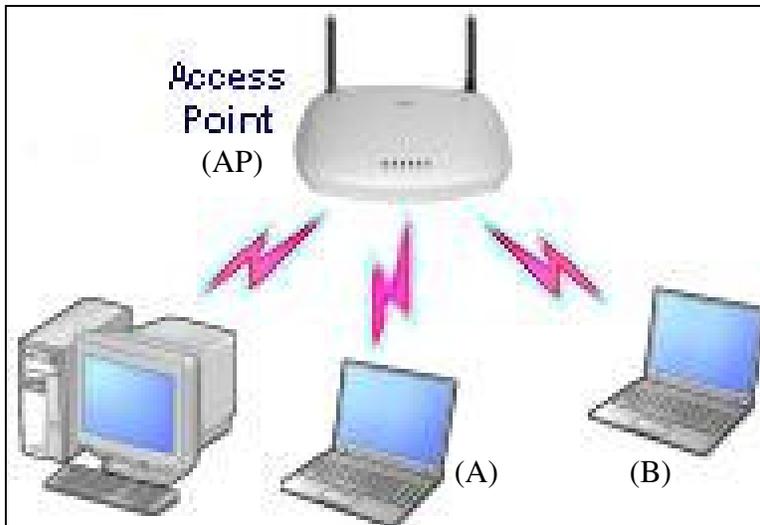


Figura 9 - Rede de Infra-estrutura

Um *Extended Service Set* (ESS) é um conjunto de dois ou mais BSSs formando uma única subrede. A configuração ESS consiste de múltiplas células BSS ligadas por *backbones* cabeados ou sem fio, formando o sistema de distribuição (Distribution System (DS)).

O padrão 802.11 suporta a configuração ESS onde há o reaproveitamento do mesmo canal em múltiplas células, e usam canais diferentes para aumentar o *throughput* agregado.

A Figura 10 mostra as topologias BSS e ESS.

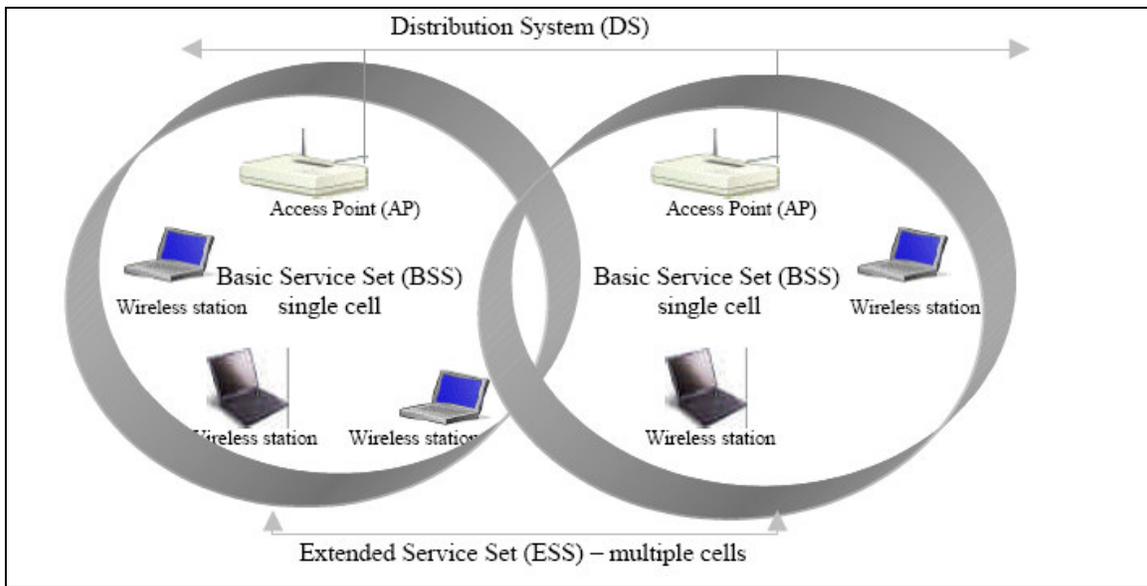


Figura 10 - Topologias BSS e ESS do padrão IEEE 802.11

3.1.2 Componentes

O padrão 802.11 define dois “tipos” de equipamentos: a estação sem fio, que normalmente é uma estação equipada com uma interface de rede sem fio, e um ponto de acesso (AP), que age como uma ponte entre as redes cabeadas e sem fio. Um ponto de acesso geralmente consiste de um rádio, uma interface de acesso à rede cabeada (geralmente padrão 802.3), e um software de ponte que implementa o padrão de ponte 802.1d. O ponto de acesso age como uma estação base para rede sem fio, agregando o acesso das estações sem fio à rede cabeada. Estações sem fio podem utilizar cartões de interface de rede padrão 802.11 nos formatos PC Card, PCI, USB ou ISA, ou soluções embutidas em outros dispositivos (como telefones baseados no padrão 802.11).

Uma WLAN 802.11 é baseada em uma arquitetura de células. Cada célula (BSS) é conectada a uma estação base (AP). Todos os APs são conectados ao sistema de distribuição (DS), que é similar a um *backbone*, geralmente, Ethernet ou sem fio. Todos os componentes mencionados aparecem como um sistema 802 para as camadas superiores do modelo de referência OSI e são conhecidas como ESS.

O padrão 802.11 não restringe a composição do sistema de distribuição. Portanto ele pode ser compatível com o padrão 802 ou seguir outro padrão. Se quadros de dados precisam ser transmitidos de ou para uma rede local que não seja padrão IEEE 802.11, esses quadros entram e saem através de um ponto lógico chamado portal, como definido no padrão 802.11. O portal provê integração lógica entre a rede local cabeada e a rede local 802.11. Quando um sistema de distribuição é construído com componentes do tipo 802 (tal como o Ethernet 802.3), então o portal e o ponto de acesso são o mesmo, funcionando como uma ponte de tradução (*translation bridge*).

O padrão 802.11 define o sistema de distribuição como um elemento que interconecta BSS com o ESS via pontos de acesso. O sistema de distribuição suporta os tipos de mobilidade do padrão 802.11 provendo os serviços lógicos necessários para endereçar o mapeamento endereço-destino e integração sem costuras (*seamless*) de múltiplos BSSs.

Um ponto de acesso é uma estação endereçável, provendo uma interface ao sistema de distribuição para estações localizadas dentro de vários BSSs. As redes IBSS e ESS são transparentes à camada *Logical Link Control* (LLC)

3.2 Camada Física

IEEE 802.11

Na camada física (PHY), o padrão IEEE 802.11 define três técnicas para transmissão no meio físico: *Infrared* (IR), *Frequency Hopping* (FH) e *Direct Sequence* (DS). Enquanto a técnica IR opera em banda básica, as outras duas técnicas são baseadas em rádio e operam na faixa de frequência de 2,4 GHz que pode ser usada sem necessidades de licenças pelo usuário final, desde que operada à baixa potência de transmissão (até 100 mW). Para que os dispositivos sem fio possam interoperar, eles têm que estar em conformidade com o mesmo padrão físico. Todas as três técnicas suportam taxas de dados de 1 e 2 Mbps.

IEEE 802.11b

Usa a técnica de *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), que além de manter as velocidades compatíveis ao padrão 802.11 original, acrescenta duas novas velocidades de transmissão a 5,5 e 11 Mbps. Ela também opera na faixa de banda ISM de 2,4GHz que tem alocação mundial para operação sem licença. A alocação do espectro de frequência de 2,4GHz pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Alocação de espectro global em 2,4GHz

Região	Espectro Alocado
Estados Unidos	2,4000 a 2,4835 GHz
Europa	2,0000 a 2,4835 GHz
Japão	2,4710 a 2,4970 GHz
França	2,4465 a 2,4835 GHz
Espanha	2,4450 a 2,4750 GHz

IEEE 802.11g

Usa a técnica de *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), atingindo velocidade nominal de até 54 Mbps. Usa a mesma faixa de frequência de 2,4 GHz usada no padrão 802.11b, podendo interoperar com ele. Na verdade, essa é uma opção prevista no padrão que normalmente todos os fabricantes implementam. Essa especificação foi aprovada em setembro de 2005.

IEEE 802.11a

Foi projetado para operar na faixa de frequência de 5 GHz, chamada *Unlicensed National Information Infrastructure* (UNII), que oferece uma largura de banda de 300MHz de um espectro relativamente livre de interferências. O padrão 802.11a também usa a técnica *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) que é supostamente mais eficiente para ambientes entre internos.

Os 300MHz são divididos da seguinte forma: 200 MHz na faixa de 5.150 a 5.350 MHz e 100 MHz na faixa de 5.725 a 5.825 MHz.

Uma vantagem do padrão 802.11a sobre o 802.11b é que o primeiro opera na frequência de 5,4 GHz que provê a vantagem de desempenho das frequências mais altas. Uma desvantagem é que a frequência e energia radiada são inversamente proporcionais à distância, então a mudança de 2,4 GHz para 5,0 GHz traz como consequência um menor alcance e / ou maiores requisitos de potência.

O espectro de 5,4 GHz é dividido em três segmentos de frequência não contíguos: UNII-1 (faixa de 5,2 GHz), UNII-2 (faixa de 5,7 GHz) e UNII-3 (faixa de 5,8 GHz) e todos apresentam limites de potência máxima.

Uma outra vantagem reside na técnica de codificação empregada, isto é, OFDM ao invés do padrão DDSS usado no padrão 802.11b. O OFDM é uma tecnologia já provada e provê alta eficiência espectral, protege contra interferência de RF e reduz distorção *multipath* o que é útil quando há canais *multipath* dentro do ambiente de distribuição.

3.3 Camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)

A transmissão sem fio é feita por ondas eletromagnéticas num meio compartilhado. Dessa forma é necessário o uso de um mecanismo que permita que apenas uma estação esteja transmitindo ao meio ao mesmo tempo. O mecanismo básico de acesso ao meio no padrão 802.11 é “ouvir antes de transmitir”. Como nem todas as estações sem fio são visíveis uma às outras dentro de uma célula, a detecção de estações transmitindo fica dificultada e outra forma de detecção de colisões deve ser empregadas em uma rede sem fio.

3.3.1 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)

O mecanismo de controle de acesso ao meio provido pelo método CSMA/CD é efetivo num ambiente de rede cabeado, permitindo velocidades de 10 (T-base), 100 (Fast-Ethernet) e 1.000 (Gigabit-Ethernet) Mbps. Contudo, este mecanismo permite conflitos

internos (colisões) e suporta o mecanismo de *backoff* exponencial, reduzindo o *throughput* em um ambiente muito competitivo com um alto número de usuários ativos. Níveis de colisão na faixa de 30 a 40%, e até menos, podem causar uma degradação muito significativa no desempenho geral dos usuários ativos. Por outro lado, o algoritmo de *backoff* pode adiar a transmissão de dados em até 367 ms em uma rede 10 Mbps. Portanto, o mecanismo CSMA/CD cria uma disciplina oportunística para acessar o meio comum e fazer do tempo de resposta um valor mais previsível sabendo que terá que ser esperado um tempo “não pior que” alguns milissegundos.

3.3.2 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)

A idéia de evitar colisões em redes sem fio é negociar a troca de dados antes que uma colisão ocorra ou evitar que um usuário que não esteja ativo adie sua transmissão por um tempo. A primeira abordagem provê mecanismos adicionais para reduzir o atraso devido a colisões, permitindo-as apenas na fase de negociação e então provendo uma transmissão livre de colisões durante a transferência de dados. A segunda abordagem é baseada em procedimentos de *handshaking*, *timeslots* ou técnicas de *polling*. Ambas as abordagens lidam com as colisões em algum momento, com estações ativas que estejam adjacentes ou longe umas das outras. Contudo, o método CSMA/CD não pode ser implementado para WLAN por duas razões. Primeiro, no CSMA/CD, cada estação deve ser capaz de “ouvir” umas as outras e em WLAN isso não pode ser garantido por causa do problema da “estação escondida” onde uma estação “ouve” o AP, mas não “ouve” as outras estações presentes na mesma célula. Segundo, não é possível transmitir e receber no mesmo canal usando um único rádio *transceiver*, a menos que seja usado um rádio bidirecional, o que encareceria significativamente o preço da solução.

Mecanismos para evitar colisões são mais relacionados aos tipos de redes determinísticas fazendo o tempo de resposta previsível. O sistema é estável em condições de sobrecarga e suporta tráfego com características de rajadas. A contrapartida do mecanismo mais previsível de evitar colisão para o tempo de resposta é a velocidade, em

que 1; 2; 5,5 e 11 Mbps são tipicamente devido às fortes restrições de tempo e sobrecarga do cabeçalho do quadro. Contudo, o cabeçalho do quadro provê os formatos de quadros para suportar o mecanismo de acesso.

O CSMA/CA, padrão para 802.11, define na camada MAC dois diferentes métodos de acesso: o *Distributed Coordination Function* (DCF) e o *Point Coordination Function* (PCF), cuja implementação é opcional, e seria mais apropriado a implementação de serviços com requisitos críticos de atrasos, como transmissão de voz ou vídeo. No PCF, um único AP controla o acesso ao meio e o ponto coordenador reside no AP. Se um BSS estiver com o PCF habilitado, o tempo é dividido entre o sistema em modo PCF e DCF, usando o compartilhamento de tempo com um coordenador central. Durante os períodos quando o sistema está em modo PCF, o AP irá perguntar a cada estação se há dados para transmitir e após um dado tempo irá mover para próxima estação, provendo garantia de um tempo máximo de latência. Devido a essa abordagem, o PCF provê baixo atraso de transferência, essencialmente excluindo a possibilidade de controle de colisão. Uma estação somente poderá transmitir e responder se for questionada pelo AP. Usando esse acesso de mais alta prioridade, o AP requisita as estações para transmissão de dados.

Uma limitação do PCF é sua escalabilidade devido ao fato de um único AP ter o controle de acesso ao meio e ter que questionar todas as estações se há algo a transmitir, o que pode ser ineficiente para redes à medida que aumenta o número de usuários. O PCF é especialmente utilizado para dados assíncronos, aplicações de voz, dados e vídeo e permite que mecanismos livres de contenção ou não coexistam alternando-se entre períodos de contenção e livres de contenção sob o controle do PCF. O NAV (*Network Allocation Vector*) é usado para prevenir disputa de tráfego até que a última transferência PCF “resete” a função usando “Reset NAV” no último quadro CF_END do AP.

O *Distributed Coordination Function* (DCF) no 802.11 é baseado no mecanismo CSMA/CA. Uma estação que deseja transmitir “sente” primeiro o meio. Se ele estiver ocupado, a estação “adia” sua transmissão para mais tarde, mas se o meio estiver livre, ela aguarda por pelo menos um tempo de *Distributed Inter Frame Space* (DIFS), fazendo sua transmissão. A estação-destino verifica o CRC do pacote recebido e envia um pacote

de reconhecimento (ACK). A estação receptora indica à estação transmissora que nenhuma colisão foi detectada. Se o transmissor não receber o ACK, então ele retransmitirá o último fragmento.

Nesta classe de protocolos oportunistas, a questão central é “como lidar com possíveis colisões”. No padrão Ethernet (802.3), a estação transmissora reconhece a colisão e vai para fase de retransmissão baseado no algoritmo exponencial randômico de *backoff*.

3.3.3 O problema da “estação escondida”

O efeito da “estação escondida” é uma situação típica de uma WLAN onde estações não são capazes de “ouvir” umas as outras, mas “ouvem” o AP.

A existência de uma “estação escondida” poderá causar colisão em qualquer estágio do processo de transmissão-recepção. Para reduzir a probabilidade de duas estações colidirem, o padrão define um mecanismo de *Virtual Carrier Sense* (Detecção da Portadora Virtual) onde uma estação esperando para transmitir um pacote irá primeiramente transmitir um pequeno pacote de controle chamado *Request to Send* (RTS) que inclui dados da origem, destino e duração da próxima transação (o pacote e o respectivo reconhecimento (ACK)). Se o meio estiver livre, a estação destino responde com um pacote de controle chamado *Clear To Send* (CTS) que inclui a mesma informação de duração. Todas as estações recebendo o RTS ou CTS atualizam seu indicador de *Virtual Carrier Sense*, chamado de *Network Allocation Vector* (NAV), com a duração solicitada e usa esta informação juntamente com a do o *Physical Carrier Sense* (detecção da portadora física) quando for “sentir” o meio antes de transmitir. O mecanismo reduz a probabilidade de colisão na área do receptor por uma estação que está “escondida” do transmissor para a pequena duração da transmissão do RTS porque a estação “ouve” o CTS e “reserva” o meio como ocupado até o final da transmissão.

A informação da duração no RTS também protege a área do transmissor de colisões durante o ACK potencialmente causado por estações que estão fora da faixa da estação de reconhecimento. Devido ao pequeno tamanho dos quadros RTS e CTS, o

método reduz a sobrecarga gerada pelas colisões. Se o pacote é significativamente maior que o RTS, os pacotes poderão ser transmitidos sem a transação RTS/CTS. A estação controla o processo por meio da configuração do *RTS Threshold*. A estação transmissora A envia um pedido de RTS ao AP requisitando a reserva de uma quantidade fixa de tempo necessária para transmissão do quadro de um determinado tamanho. Quando o meio estiver disponível, o AP transmite a mensagem CTS que todas as estações podem “ouvir” e A tem a quantidade de tempo requisitada. Veja Figura 11.

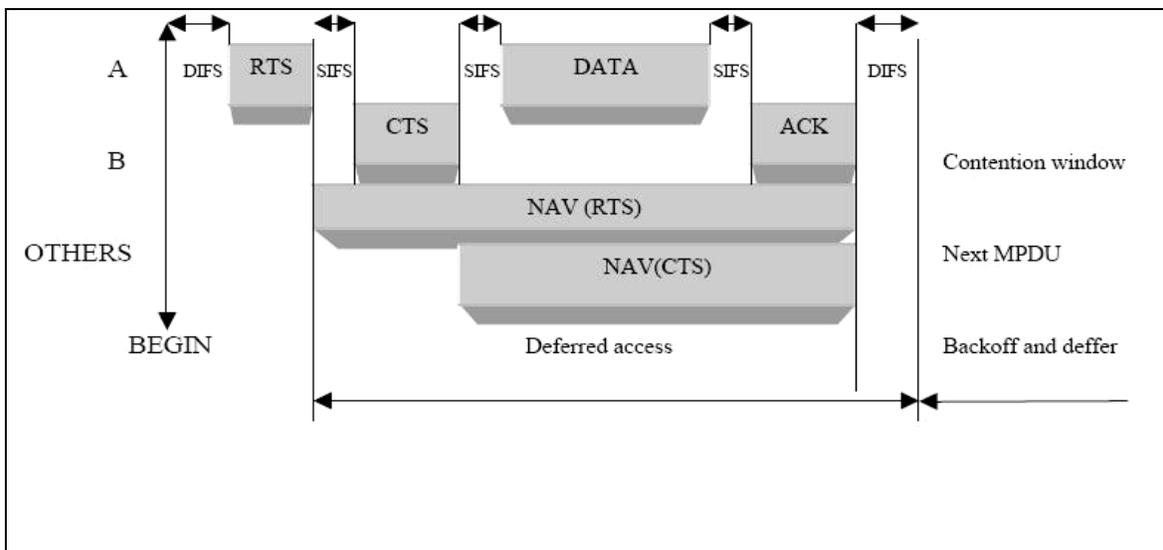


Figura 11 - Funcionamento do uso do RTS / CTS

O *RTS Threshold* aumenta a largura de banda disponível eliminando o tráfego RTS/CTS reduzindo o volume de dados transmitidos. O mecanismo RTS/CTS pode ser desligado através da configuração do *RTS Threshold* com seu valor máximo.

3.3.4 Reconhecimentos da camada MAC

Os pacotes Ethernet típicos possuem tamanho de várias centenas de bytes, sendo o tamanho máximo igual a 1.518 bytes. É melhor usar pacotes menores em ambientes de redes locais sem fio pelas seguintes razões:

- Devido à alta taxa de erros de bits (BER) do *link* de rádio, a probabilidade de um pacote ser corrompido aumenta com o tamanho do pacote.
- No caso de corrupção dos pacotes, quanto menor o pacote, menor será a sobrecarga da retransmissão.
- Em um FHSS, o meio é interrompido periodicamente (por 20 ms) para *hopping*, então quanto menor o pacote, menor será a chance da retransmissão ser adiada.

Como não faz sentido a introdução de um protocolo que lide apenas com pacotes pequenos, pois há grande *overhead*, um mecanismo simples de fragmentação e remontagem é adicionado à camada MAC. O mecanismo é um algoritmo do tipo *Send-and-Wait*, onde a estação transmissora não pode transmitir um novo fragmento enquanto uma das seguintes condições não forem preenchidas: receber um ACK para o fragmento enviado, ou descartar o quadro como um todo dado que o fragmento já foi retransmitido várias outras vezes sem sucesso. O padrão permite que a estação transmita para um endereço diferente entre retransmissões de um dado segmento. Esse comportamento é útil quando o AP possui vários pacotes para diferentes destinos e um deles não responde.

3.3.5 Algoritmo estendido de backoff

Backoff é um método usado para resolver a contenção entre diferentes estações aguardando o acesso ao meio. Este método requer que cada estação escolha um número aleatório (n) entre 0 e um dado número (por exemplo, no padrão 802.3 é usado o número 16), e pondere este número X *slot times*. O *slot time* é definido como o tempo que a estação será sempre capaz de determinar se outra estação está acessando ao meio no começo do *slot* anterior. Isso reduz a probabilidade de colisão à metade. Cada estação “ouve” a rede e a primeira estação que terminar a contagem de seu número de *slots* de tempo começa a transmissão. Se qualquer outra estação “ouvir” a primeira estação “transmitindo”, ela pára a contagem de seu temporizador. Quando a rede estiver livre

novamente, ela recomeça sua contagem. Em adição ao algoritmo básico de *backoff*, o padrão 802.11 adiciona um temporizador de *backoff* que garante a justiça entre as estações disputando o meio. Cada estação inicia um temporizador randômico de *backoff* quando esperando pela janela de contenção. Este temporizador é decrementado até zero enquanto aguardando na janela de contenção. Cada estação obtém um novo temporizador randômico quando quer transmitir. Esse temporizador não é reinicializado até que a estação tenha transmitido. O padrão 802.11 define um algoritmo exponencial de *backoff* que deve ser executado nos seguintes casos: quando a estação “ouve” o meio antes da primeira transmissão do pacote e o meio está ocupado; após cada retransmissão; e após uma transmissão bem sucedida. O único caso quando este mecanismo não é usado é quando a estação decide transmitir um novo pacote e o meio está livre por um período de tempo maior que DIFS.

3.4 Limitações na transmissão de streaming de vídeo

A execução de aplicações multimídia em uma rede IEEE 802.11b requer garantias de Qualidade de Serviço, como limitações das perdas de pacotes e taxas constantes de transmissão [28], mas estas não são providas pelo padrão. WLANs possuem características como: variação na largura de banda oferecida, atrasos fim a fim e erros na transmissão de pacotes [29].

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

3.4.1 Disponibilidade de largura de banda em uma WLAN

Uma das limitações é a máxima largura de banda suportada por uma rede sem fio padrão 802.11b [27]. Nominalmente, ela poderá atingir até 11 Mbps, embora estudos

mostrem que o limite máximo teórico seria de aproximadamente 7 Mbps [30]. A prática mostra que 6 Mbps é o limite, segundo testes realizados em laboratório [31].

3.4.2 Limitações do *streaming* de vídeo

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

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

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

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

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

3.4.3 Dispositivos móveis de acesso à rede

PDA's, notebooks e tablet PCs, equipados com interface de rede sem fio padrão 802.11, são os dispositivos mais apropriados por pessoas em trânsito e serão os dispositivos mais usados para conectar-se a WLANs. Embora transmitam usando o mesmo meio de transmissão, esses equipamentos possuem diferentes sistemas operacionais, capacidade de memória, tamanhos de tela, poder de processamento, restrições quanto ao consumo de baterias, mecanismos de entrada de dados e outros.

PDA's são dispositivos móveis que permitem manter informações pessoais, executar aplicações, jogos, ouvir músicas e vídeos. Dado seu tamanho reduzido, são candidatos ideais para serem usados como clientes de redes sem fio. Porém, eles apresentam limitações.

A maioria dos PDA's possuem uma velocidade de processamento variando de 200 MHz a 624 MHz. Sua capacidade de memória RAM (interna) varia normalmente de 32 a 128MB, sendo possível sua expansão através de cartões adicionais de memória. Quanto mais memória houver, maior poderá ser o tamanho do buffer alocado para recepção de pacotes multimídia. As telas apresentam dimensões reduzidas com resoluções típicas de 320x240, 160x160 e 320x320 pontos. São dispositivos alimentados principalmente por baterias. Eles podem vir equipados com interface de rede padrão IEEE 802.11b embutida. Os equipamentos que não possuem esta interface poderão acrescentá-la externamente caso o dispositivo tenha *slots* de expansão. PDA's normalmente não contam com disco rígido para armazenamento. Algumas opções de PDA's que usam o sistema operacional Pocket PCs e que suportam o uso de interfaces sem fio poderão ser vistas em [32].

Notebooks apresentam telas maiores, com resolução mínima de 1024x780 pontos. Eles apresentam poucas restrições quanto à disponibilidade de memória (RAM) e armazenamento em discos rígidos. A variedade de processadores existentes permite a escolha da velocidade de processamento adequada à exibição de vídeos. Eles podem vir com interfaces de rede sem fio embutidas ou possibilitam a adição de uma através de placas PCMCIA, mini PCI ou interfaces USB.

A Tabela 4 apresenta as principais diferenças entre os dispositivos usados como cliente de vídeo:

Tabela 4 - Comparação em Desktops, Notebooks e PDAs

Característica	Desktop	Notebook	PDA
Sistema operacional	Windows 2000 / Windows XP	Windows 2000 / Windows XP	Windows Mobile 2003 / Pocket 2002
Memória RAM (interna)	128; 256; 512 MBytes	128; 256; 512 MBytes	16; 32; 64; 128 Mbytes
Memória (externa)	---	---	CompactFlash (CF) Secure Digital (SD) Memory Stick Multimedia Card (MMC)
Interface de rede sem fio (conectividade sem fio)	802.11a 802.11b 802.11g	802.11a 802.11b 802.11g	802.11b 802.11g
Método de entrada de dados	Teclado / Mouse	Teclado / Mouse	Caneta <i>stylus</i> Teclado Teclado virtual
Tipo de tela	Colorida	Colorida	Colorida / Monocromática
Resolução da tela	1024x768 1280x1024 1600x1200	1024x768 1280x1024 1400x1600	320x240 320x320 640x480
Bateria	Não Aplicável	Recarregável	Recarregável
Mobilidade	Ausente	Presente	Presente
Velocidade de processamento	3,3 GHz	3,3 GHz	XScale ARM family 200 a 624 MHz
Expansões	Slots PCI FireWire USB	Slots PC Card FireWire DocStation	Slots de expansão CompactFlash e SD USB
Build-in 802.11b	--- ²	X	X
Sincronização com desktop / notebook	Não Aplicável	Não Aplicável	USB / Serial via <i>cradle</i> ou cabo

² Algumas placas mais modernas contam com interfaces internas padrão IEEE 802.11b/g.

4 – Avaliação da transmissão de *streaming* de vídeo em redes padrão 802.11b

Neste capítulo são descritos os cenários de testes, metodologia e ferramentas usadas para avaliação da transmissão de *streaming* de vídeo em uma WLAN.

Essa avaliação será feita através da medição da taxa de uso da rede e também da perda de pacotes de dados durante a transmissão de vídeos. A visualização da imagem também será avaliada, buscando obter informações qualitativas e também quantitativas sobre a imagem. Interrupção, exibição parcial do vídeo entre outros defeitos serão coletados.

O uso da rede é medido através de um analisador de rede, do *log* de acesso do servidor de *streaming*, informações coletadas no *media player* e também pelo Iperf [33], que transmite pacotes de dados à taxa constante entre duas estações, uma atuando como cliente, que envia os pacotes e outra como servidor, recebendo os pacotes e gerando dados sobre perda de pacotes e jitter durante a transmissão [33].

Os testes serão realizados através do uso de dispositivos móveis, como PDAs e Notebooks que solicitarão ao servidor de *streaming* a transmissão de um vídeo.

A arquitetura de rede proposta está na Figura 13.

O servidor de *streaming* estará conectado a rede cabeada. O ponto de acesso será a ligação entre os dispositivos móveis e a rede sem fio.

4.1 Cenários de Teste

Foram propostos quatro cenários de teste com objetivo de analisar a perda de pacotes e a largura de banda usada durante a transmissão de vídeo na arquitetura de rede proposta.

Cenário 1 (C1): Transmissão de vídeo em condições ideais

Esse cenário demonstra o que é intrínseco à transmissão de vídeo em uma rede 802.11b, mostrando um ambiente de transmissão em condições ideais, onde o único tráfego gerado é decorrência da transmissão do vídeo. Este cenário levanta as características da transmissão de um *streaming* de vídeo na rede e permite avaliar suas limitações.

Cenário 2 (C2): Transmissão de vídeo na presença de tráfego UDP constante

Nesse cenário, cada medida é composta de duas sessões de transmissão, sendo uma de vídeo e a outra de tráfego de dados UDP gerados a uma taxa de transmissão constante. O objetivo desse cenário é avaliar as limitações da rede sem fio à medida que se aumenta o tráfego. O que acontecerá ao vídeo ? Há alguma influência da forma como o vídeo foi codificado nas perdas de pacotes e uso da rede ? Nas duas sessões, uma estação localiza-se no segmento cabeado da rede e outra na rede sem fio, com objetivo de aumentar o tráfego da rede sem fio, e a contenção do meio de transmissão compartilhado. Os resultados obtidos nesse cenário serão contrastados com os do Cenário 1, em que é feita a transmissão de vídeo em condições “ideais” (sem a presença de outras transmissões concorrentes).

Cenário 3 (C3): Transmissões de duas sessões de vídeo concorrentes

Nesse cenário, cada medida é composta de duas sessões de transmissão de um mesmo vídeo, com um intervalo de 30s entre uma sessão e outra. A introdução de um tempo entre uma transmissão e outra visa avaliar o comportamento do vídeo sozinho na rede e após a introdução de um novo vídeo. No início da primeira sessão, o vídeo tem toda banda de rede a sua disposição e, com a entrada do segundo vídeo, há um período onde as duas transmissões disputam o mesmo meio, o que dobra a exigência de uso de banda. Após o término de uma sessão, a outra também terá toda rede disponível até seu

término. O objetivo desse cenário é mostrar como se comporta a rede sem fio com a presença de duas transmissões que geram tráfego de mesma natureza

Cenário 4 (C4): Transmissão de duas sessões de vídeo e uma sessão de dados constante UDP

Esse cenário combina as características dos Cenários 2 e 3. Uma medida é caracterizada por três sessões: duas de vídeo e uma de dados UDP. A transmissão de dados UDP é feita conforme o Cenário 2 e a transmissão dos vídeos é feita de acordo com o Cenário 3. Esse cenário de testes é o que mais exige da rede. O objetivo desse cenário é verificar qual o tráfego UDP máximo suportado para que a transmissão de vídeo não se interrompa.

A Tabela 5 resume os cenários de teste.

Tabela 5 - Configuração dos Cenários de Teste

Características dos Cenários	C1	C2	C3	C4
Houve transmissão de vídeo simultânea? (s/n)	Não	Não	Sim	Sim
Houve transmissão de tráfego UDP simultânea? (s/n)	Não	Sim	Não	Sim
Número de transmissões	1	2	2	3

4.2 Preparação dos vídeos para transmissão

Para realização dos testes, escolheu-se um vídeo que foi criado a partir de uma seqüência de teste disponibilizado pelo VQEG (Vídeo Quality Expert Group) [34], sendo usado para testes de *codecs* de vídeo. Inicialmente todos os 220 quadros foram juntados criando-se um arquivo de vídeo formato AVI sem compressão. O vídeo original, de apenas 10s, teve a seqüência de seus quadros invertida e criou-se um novo vídeo. Esses dois vídeos foram adicionados e criou-se um novo vídeo onde há continuidade da transmissão. Esse novo vídeo obtido, de 20s, foi repetido seis vezes, gerando um vídeo de 120s sem compressão. A partir desse vídeo foram criados outros vídeos codificados

usando-se o codec RealVideo 10 (RV10) usando-se o RealProducer Plus. Os vídeos foram codificados com as seguintes características:

- Quatro taxas de codificação de bits: 34 kbps, 100 kbps, 225 kbps e 450 kbps, usando-se duas passagens, sendo a primeira para análise do vídeo e a segunda para sua codificação.
- Duas taxas de atualização de quadros (15 fps e 34 fps [35]) a fim de atender todos os dispositivos (alguns PDAs não suportam uma taxa de atualização de 15 fps).
- Dois tamanhos de quadros: 176x144 (QCIF) e 352x288 (CIF)³
- Complexidade da codificação (*encoding complexity*): *High* (alta) A complexidade de codificação define o grau de dificuldade da codificação do vídeo.

A escolha desse vídeo foi em função da existência constante de movimentos e seu nível de detalhes, o que contribui para percepção de problemas na imagem durante a transmissão do vídeo.

Quanto maior for a taxa de codificação do vídeo maior será seu tamanho final e conseqüentemente maior será a largura de banda necessária para sua transmissão.

A relação detalhada dos vídeos codificados poderá ser vista na Tabela 6.

4.2.1 Detalhamento da preparação e execução do experimento

Os vídeos codificados são armazenados no servidor de *streaming*. Um navegador é usado para acesso a uma página HTML com *links* para os arquivos de vídeo, facilitando a solicitação feita pelo cliente. O navegador estabelece uma conexão HTTP ao servidor que responde com informações necessárias para iniciar o *media player* que estabelece

³ As resoluções CIF e QCIF foram usadas pelos padrões de compressão H.261 e H.263 para sistemas de vídeo conferência e vídeo fone, que usavam hardwares dedicados, e acabaram estabelecendo padrões para programas codificadores que também mantiveram esse formato.

uma sessão usando o protocolo RTSP com o servidor de *streaming* e passa a exibir o vídeo, em tempo real, à medida que os pacotes de dados chegam.

O Ethereal monitora o envio de pacotes de dados na rede sem fio.

A versão do RealOne Player usado nos *desktops* e *notebooks* permite colher dados estatísticos durante a transmissão, contabilizando o número de pacotes transmitidos, recebidos, perdidos, atrasados, retransmitidos e recuperados durante o recebimento do *streaming* de vídeo.

A Figura 12 mostra os passos necessários para realização dos testes.

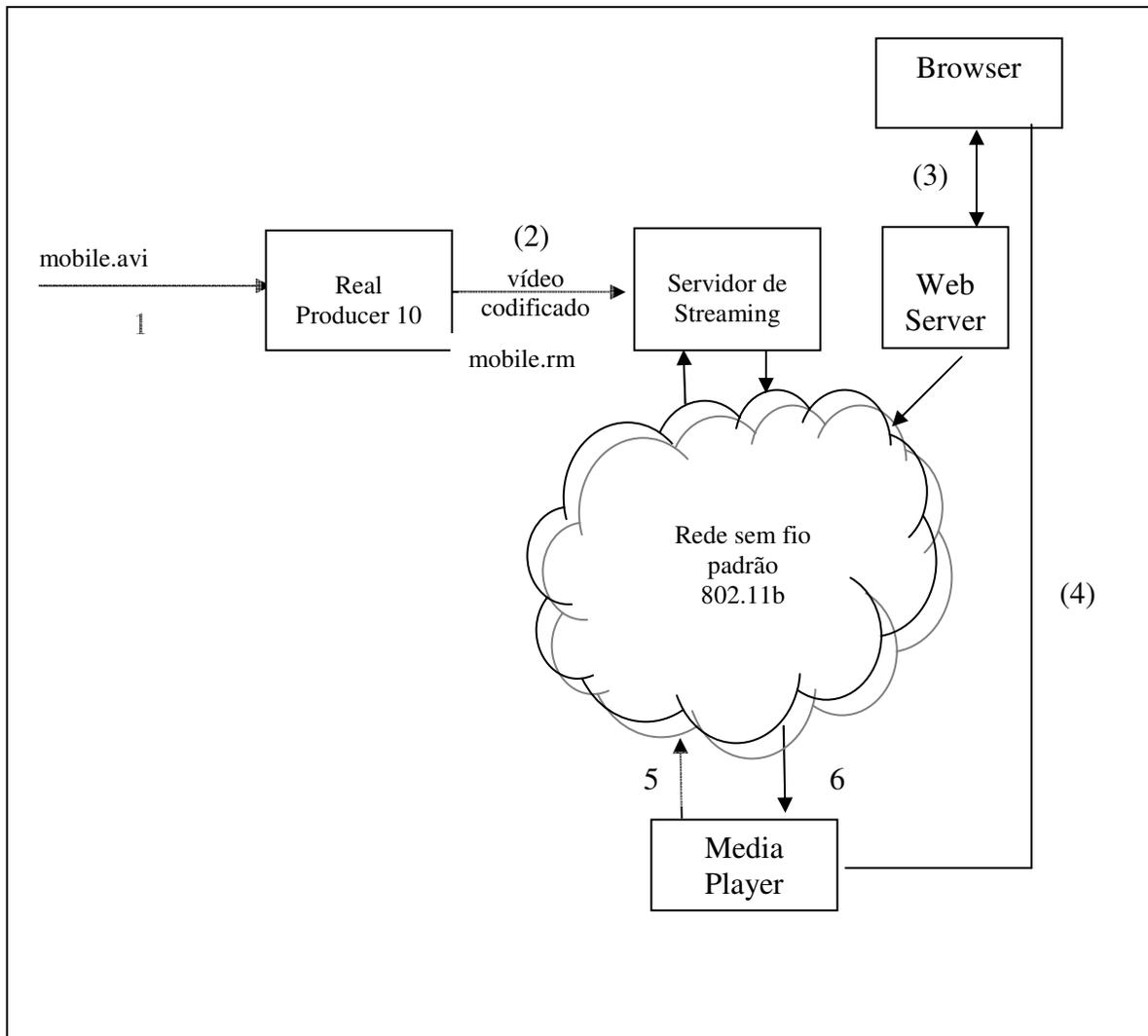


Figura 12 – Esquema de execução dos testes

Para execução dos testes propostos, o vídeo padrão (1) é codificado pelo RealProducer 10 gerando os vídeos codificados (2) segundo as taxas de codificação, taxas de atualização de quadros e tempo máximo de latência para início da reprodução. Os vídeos codificados são armazenados no servidor de *streaming*.

O vídeo sob teste (3) é solicitado pelo *brower* ao servidor HTTP que retorna uma mensagem de resposta (4) que o *Browser* utiliza para lançar o *Media Player* que solicita uma transmissão por *streaming* do vídeo armazenado no servidor através do estabelecimento de uma conexão RTSP (5) e passa a receber (6) o vídeo que é decodificado e exibido pelo *Media Player*.

O experimento é feito através da transmissão de vídeos sob uma rede sem fio padrão IEEE 802.11b gerando uma medida. Uma medida é caracterizada por uma ou mais transmissões, sendo pelo menos uma de vídeo. A transmissão de tráfego de dados UDP constante está presente nos cenários 2 e 4. Cada sessão de transmissão é estabelecida entre uma estação origem e destino. Os vídeos estão armazenados em uma estação desempenhando o papel de servidor de *streaming*. Cada medida é realizada a partir dos cenários de testes definidos. A estação que solicita a transmissão de *streaming* de vídeo poderá ser um notebook, PDA ou um desktop (computador de mesa). Os computadores de mesa bem com os notebooks executam uma versão completa do RealPlayer enquanto o PDA executa uma versão reduzida do RealPlayer que implementa apenas um sub-conjunto das funcionalidades existentes na configuração completa. O *media player* terá os parâmetros TurboPlay e tamanho do buffer alterados para realização dos cenários de teste. Cada estação possui uma ou mais interfaces de rede sem fio, que terão sua taxa de transmissão/recepção alterada durante as medidas. Uma medida poderá ocorrer durante a transmissão de uma transmissão constante de dados UDP a uma taxa configurável, variando de 1 a 4 Mbps. Os resultados das medidas serão obtidos através do log de transmissão gerado pelo servidor de *streaming*, dados coletados da tela de estatísticas do media player e de dados coletados pelo do Ethereal, que monitorará a transmissão de cada medida.

Para execução de cada medida, serão realizados os seguintes passos:

- Preparar as estações envolvidas no teste

- Configuração da taxa de transmissão/recepção das interfaces de rede
- Configuração do TurboPlay e do tamanho do buffer do RealPlayer
- Preparação das estações envolvidas na transmissão e recepção do tráfego de dados UDP (alteração da taxa de transmissão do Iperf cliente; preparar a estação executando o Iperf servidor para entrar em modo de espera e habilitar a geração dos logs e gráficos), se a medida pedir.
- Preparar o Ethereal para monitorar a próxima medida.

Após esta preparação, o teste é iniciado segundo os passos:

- Iniciar o Ethereal
- Iniciar a transmissão do tráfego UDP (Cenários 2 e 4)
- Iniciar a transmissão da primeira sessão de vídeo
- Iniciar a transmissão da segunda sessão de vídeo (Cenários 3 e 4)

Após todas as transmissões terminarem, finaliza-se a captura de pacotes no Ethereal e gravam-se os arquivos de logs. Anota-se, manualmente, os dados estatísticos obtidos *pelo media player*. Gravam-se também os arquivos de log gerados pelo Iperf cliente e servidor (Cenários 2 e 4)

As medidas são identificadas pelo nome mXXX, onde XXX é um número seqüencial iniciado em 001. Um teste é composto por uma ou mais medidas onde há alteração de alguma característica de transmissão.

4.2.2 Vídeos codificados

Tabela 6 - Características dos vídeos codificados

Vídeo	Tamanho do arquivo (Bytes)	Duração do Vídeo (s)	Taxa de codificação (kbps)	Tamanho do quadro	Taxa de atualização de quadros (fps)
V01	534.876	119,9	34	352x288	10
V02	535.134	120,0	34	352x288	15
V03	1.536.306	120,1	100	352x288	10
V04	1.573.246	120,1	100	352x288	15
V05	3.427.195	120,1	225	352x288	10
V06	3.430.669	119,9	225	352x288	15
V07	6.827.191	120,1	450	352x288	10
V08	6.829.097	120,0	450	352x288	15
V09	528.316	120,0	34	176x144	10
V10	529.518	120,0	34	176x144	15
V11	1.528.606	120,0	100	176x144	10
V12	1.535.793	120,0	100	176x144	15
V13	3.418.984	120,0	225	176x144	10
V14	3.416.494	119,9	225	176x144	10
V15	6.817.701	120,0	450	176x144	10
V16	6.810.595	120,0	450	176x144	15

4.3 Arquitetura da Rede

Para realização dos testes foi proposta uma rede formada por um segmento cabeado ligado a uma rede sem fio infraestruturada por meio de um ponto de acesso. O segmento cabeado seguiu o padrão Ethernet de 100 Mbps, onde se localiza o servidor de *streaming*. O ponto de acesso (*Access Point*) faz a ligação a uma rede local sem fio padrão IEEE 802.11b onde os dispositivos móveis equipados com interfaces de rede sem fio solicitam a transmissão de um *streaming* de vídeo. A escolha do padrão 802.11b foi em função de seu uso e disponibilização em acesso público, em lugares como aeroportos, restaurantes, cafés, universidades e outros. A Figura 13 mostra a arquitetura da rede.

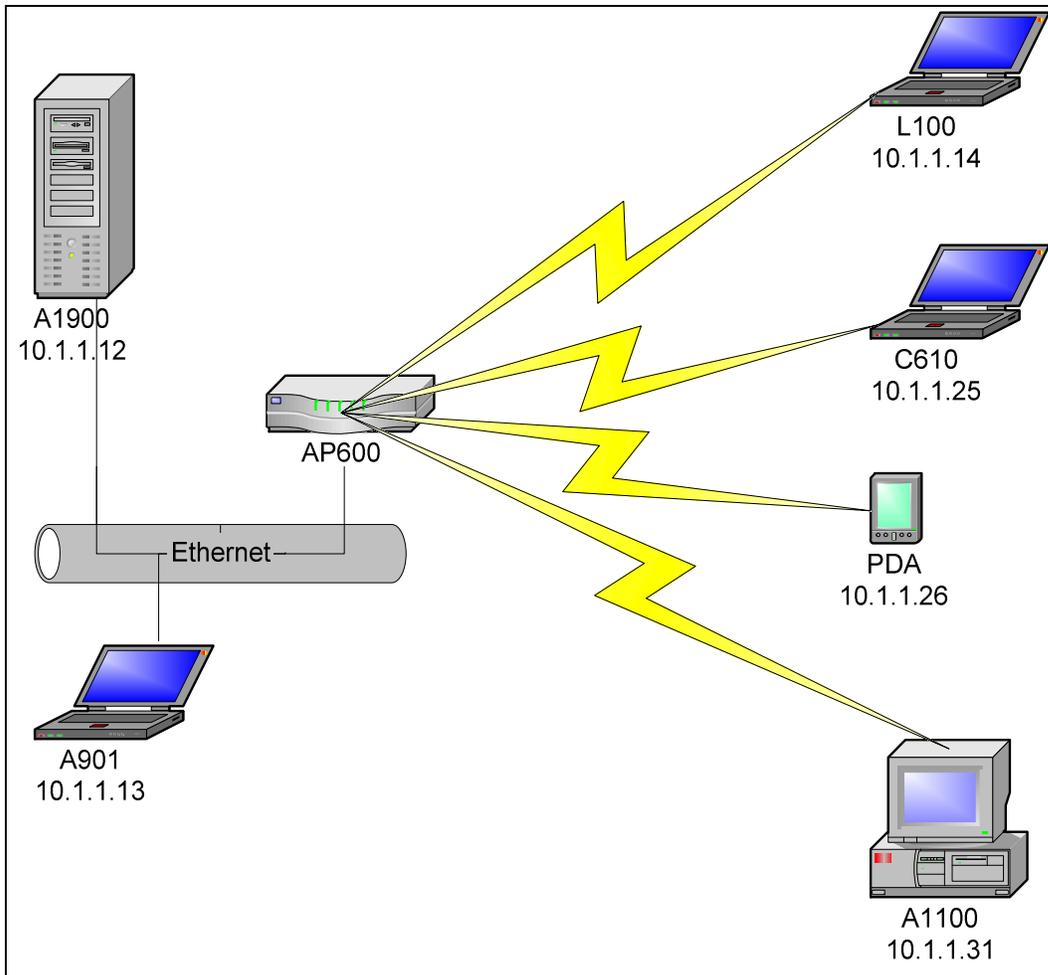


Figura 13 - Arquitetura da Rede

Cada estação desempenhou um ou mais papéis na rede. O resumo dos papéis desempenhados é visto na Tabela 7.

Os endereços IP assumidos podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 7 - Papéis das estações durante os testes

A1900 (desktop)	Servir vídeos através do servidor de <i>streaming</i> Helix Universal Server. Esta estação está conectada à rede Ethernet de 100 Mbps.
A1100 (desktop)	Responsável pelo recebimento de pacotes de dados UDP, usando o Iperf no modo servidor e também pela reprodução de <i>streaming</i> de vídeo.
L100 (notebook)	Responsável pela captura de todos os pacotes transmitidos na rede sem fio através do Ethereal.
A901 (notebook)	Responsável pela geração de tráfego de dados UDP segundo uma taxa constante. Executa Iperf no modo cliente.
C610 (notebook)	Responsável pela recepção do vídeo
iPAQ (PDA)	Requisita reprodução de <i>streaming</i> de vídeo.

A descrição detalhada da configuração dos equipamentos pode ser vista na Tabela 8.

O servidor de *streaming* Helix Universal Server foi usado nos testes, pois ele é capaz de servir arquivos codificados em vários formatos, inclusive com o *codec* RealVideo 10 que é um formato aceito tanto em PCs e *notebooks* quanto em PDAs através do uso do RealOne Player.

O servidor HTTP Apache Server foi usado para hospedar uma página HTML com *links* para os arquivos de vídeos localizados no servidor de *streaming*, sem nenhuma outra funcionalidade.

Para criação de um tráfego UDP constante entre duas estações foi usado o Iperf [33]. A estação conectada no segmento cabeado operou no modo cliente (transmite pacotes) e a outra, conectada à rede sem fio, operando no modo servidor (recebendo pacotes de dados) e colhendo dados estatísticos.

O Ethereal permite a captura de pacotes transmitidos na rede sem fio e sua posterior análise [36].

4.3.1 Configuração de Hardware e Software

Hardware usado nos experimentos:

As seguintes estações foram usadas nos experimentos (Tabela 8).

Tabela 8 - Configuração dos Hardwares usados nos testes

Estação	Tipo	Processador	Memória (MB)	Sistema Operacional
A1100	Desktop	AMD Athlon 1,1 GHz	512	Windows XP Professional
A1900	Desktop	AMD AthlonXP 1,9 GHz	512	Windows 2000
A901	Desknote	Celeron 1.1 GHz	256	Windows XP Professional
L100	Notebook	Intel Celeron D 2,4 GHz	256	Windows XP Professional
C610	Notebook	Intel Pentium 3 1 GHz	256	Windows XP Professional
PDA	PDA	Intel 200 MHz	32	PocketPC 2002

Outros equipamentos:

Interfaces de rede:

- Adaptador PCCARD para rede sem fio padrão 802.11b - modelo WL110 - Compaq
- Adaptador USB sem fio padrão 802.11b - modelo MA101 – marca Netgear

Ponto de Acesso:

- Access Point modelo AP-600, versão v2.1.1 da Proxim [37]

Hub/Switch:

- Hub Encore de 8 portas 10/100 Mbps

Softwares usados nos experimentos

Os softwares abaixo mostrados na Tabela 9 foram usados nos experimentos.

Tabela 9 – Configuração dos Softwares usadas nos testes

Função	Software Utilizado	Versão
Servidor de <i>Streaming</i>	Helix DNA Server – Helix Community	10.1.1.67
Servidor HTTP	Apache Web Server – Apache	2.0.51
Gerador de Tráfego	Iperf	1.7.1
Media Player	RealPlayer	10.0.5
	RealOne Player for Pocket PC	2.0.0.28
Codificação de Mídia	Real Producer Plus	10
Analizador de transmissão de dados	Ethereal	0.10.12

A Tabela 10 mostra os endereços IP associados a cada uma das interfaces de rede das estações.

Tabela 10 - Endereços IPs associados a cada interface de rede

Nome da Estação	IP Cabo	IP Wireless 1 (Compaq)	IP Wireless 2 (Netgear)
iPAQ	---	10.1.1.26	---
MR814	10.1.1.1	---	---
A1100	---	10.1.1.21	10.1.1.31
A1900	10.1.1.12	---	---
A901	10.1.1.13	10.1.1.23	10.1.1.33
L100	10.1.1.14	---	---
C610	---	10.1.1.25	10.1.1.35
AP600	10.1.1.249	---	---

Cada estação possuía uma ou mais interfaces de rede com seu respectivo endereço IP. A máscara de rede foi definida como 255.255.255.0, sendo o endereço de rede 10.1.1 e o endereço de estação de 2 a 254. A dezena do número da estação representa a interface de rede usada e a unidade representa a estação. Por exemplo, a estação C610 possui os endereços 25 e 35, com a dezena 20 representando o endereço da interface sem fio Compaq e 30 o endereço da interface de rede Netgear. A unidade 5 representa a estação C610 assim como 3 indica a estação A901.

5 – Resultados e análises

O objetivo desse capítulo é mostrar o comportamento da transmissão de vídeos em uma rede local sem fio padrão IEEE 802.11b. Para cada um dos cenários propostos, foram realizados testes, cujos resultados são mostrados em gráficos de uso da largura de banda da rede sem fio e tabelas com o número de pacotes transmitidos, recebidos e perdidos. Todos os testes foram realizados com nível de sinal de transmissão considerado forte, pois todos os equipamentos localizavam-se num raio de dois metros do ponto de acesso e não havia nenhum obstáculo colocado propositalmente que poderia atrapalhar à propagação do sinal.

5.1 Cenário 1 - Transmissão de vídeo em condições ideais

Os testes desse cenário demonstram o comportamento da rede 802.11b quando há apenas um vídeo sendo transmitido na rede, isoladamente. Os vídeos foram transmitidos à estação C610 (10.1.1.25) exceto nos últimas quatro medidas, que usaram o PDA (10.1.1.26) como cliente.

5.1.1 Transmissão de vídeos QCIF codificado a 15 fps

O Gráfico 1 mostra o resultado da transmissão de um conjunto de vídeos codificados a 34 kbps, 100 kbps, 225 kbps e 450 kbps, tamanho de quadro 176x144 (QCIF), atualizado a 15 fps. O TurboPlay estava habilitado e a placa de rede sem fio configurada para taxa de transmissão/recepção a 11 Mbps no dispositivo-cliente.

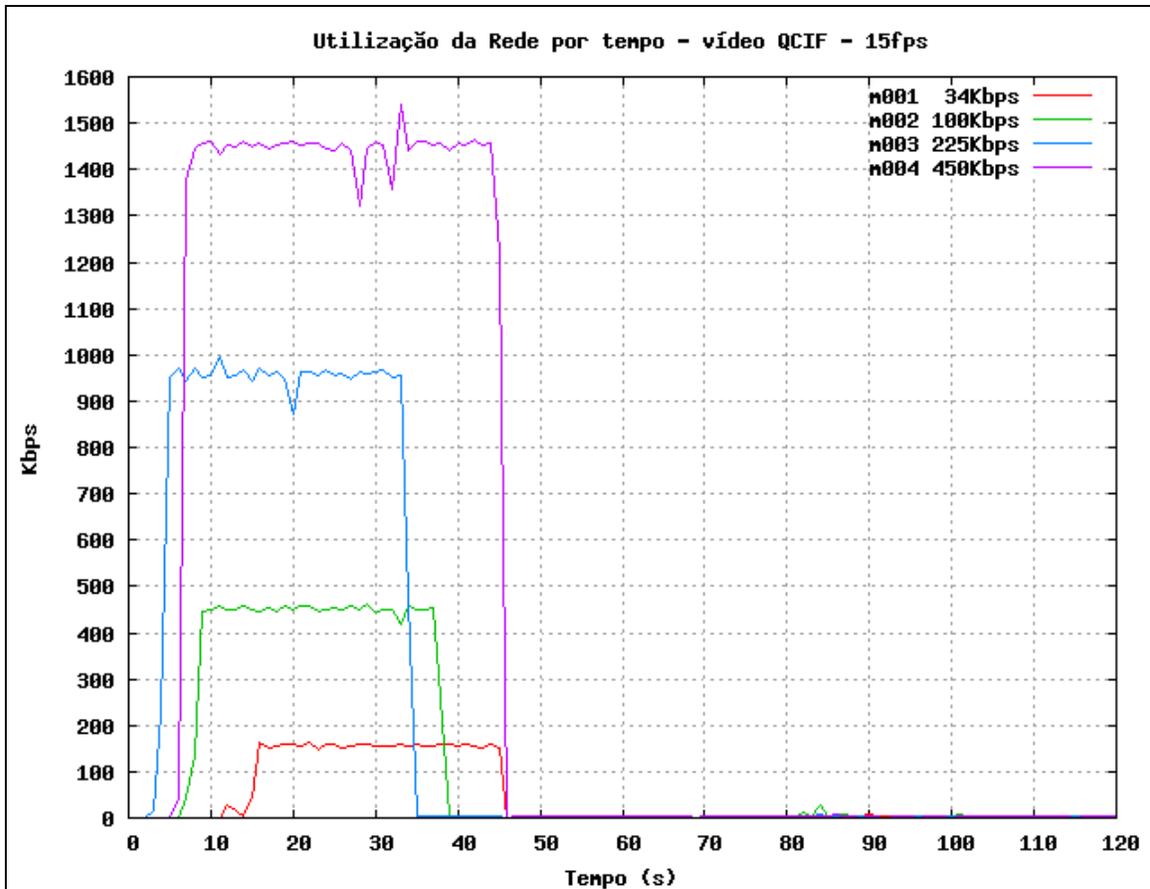


Gráfico 1 - Largura de banda usada durante transmissão de vídeo QCIF – 15 fps

No gráfico pode-se ver que a largura de banda usada pela transmissão de cada vídeo foi aproximadamente quatro vezes a taxa de codificação original dos vídeos nos três primeiros vídeos e de três vezes maior para o quarto vídeo. Esse comportamento deu-se em função do TurboPlay habilitado e da existência de banda suficiente para transmissão segundo essas taxas. O vídeo foi transmitido a taxas de 136 kbps, 400 kbps, 900 kbps e 1.389 kbps.

Pode-se ver na Tabela 11 o número de pacotes enviados, recebidos e perdidos. Não houve perdas de pacotes.

Tabela 11 - Transmissão de pacotes de dados – vídeo QCIF – 15 fps

Medida	Pacotes Enviados	Pacotes Recebidos	Pacotes Perdidos
001	1.302	1.302	0
009	3.566	3.566	0
003	3.960	3.960	0
004	5.845	5.845	0

A análise dos resultados mostra também que aproximadamente 99% do volume da transmissão é feito no sentido de descida (*downstream*), porém há um equilíbrio entre a porcentagem do número de pacotes transmitidos na descida e na subida (*upstream*). Os pacotes transmitidos na subida são de reconhecimento da chegada dos pacotes de vídeo. É gerado aproximadamente um pacote com dados estatísticos a cada segundo.

5.1.2 Transmissão de vídeo QCIF a 10 fps

As medidas realizadas apresentaram resultados semelhantes aos obtidos no item anterior. O número de pacotes transmitidos foi menor em função da redução do tamanho do arquivo codificado. O número de pacotes enviados, recebidos e perdidos podem ser vistos na Tabela 12. A redução da taxa de atualização de quadros por segundo, trouxe uma redução da taxa de quadros na ordem de 1/3 (15 fps para 10 fps), porém o efeito na redução do número de pacotes foi menor, mostrando que a redução da taxa de atualização de quadros não traz uma redução no número de pacotes na mesma proporção.

Tabela 12 - Transmissão de pacotes de dados -- vídeo QCIF – 10 fps

Medida	Pacotes enviados	Pacotes Recebidos	Pacotes Perdidos
005	1.252	1.252	0
006	3.041	3.041	0
007	3.999	3.987	4
008	3.414	3.341	0

Na medida m008, a transmissão não chegou ao final, sendo interrompida pelo servidor de *streaming*, o que explica porque essa medida apresentou um número menor de pacotes enviados se comparado à medida m007.

A redução do número de quadros por segundo na codificação dos vídeos usado durante esses testes trouxe como consequência a redução do número de pacotes transmitidos, porém houve piora da qualidade da imagem (menor suavidade na transição entre os quadros pela redução da taxa de atualização do vídeo).

5.1.3 Transmissão do vídeo QCIF – 15 fps – taxa de transmissão/recepção de 1 Mbps

As medidas seguintes foram realizadas com os mesmos vídeos usados no item 5.1.1, porém a taxa de transmissão/recepção da placa de rede sem fio do notebook foi configurada para 1 Mbps ao invés de 11 Mbps. O objetivo foi avaliar as consequências de uma redução na taxa de transmissão/recepção da placa de rede sem fio na exibição do vídeo.

A utilização da rede foi semelhante aos primeiros testes, exceto na transmissão do vídeo codificado a 450 kbps, que iniciou solicitando ao servidor uma largura de banda de 1.389,6 kbps e não conseguiu manter essa taxa, solicitando uma redução da largura de banda para 458,325 kbps no tempo 34,6s. Isso ocorreu porque o cliente solicitou uma taxa de transmissão maior que a placa de rede sem fio podia fornecer, devido à configuração forçada a 1 Mbps.

Nesse caso, podemos ver no Gráfico 2 o comportamento da transmissão dos vídeos e comparar com os resultados mostrados no Gráfico 1.

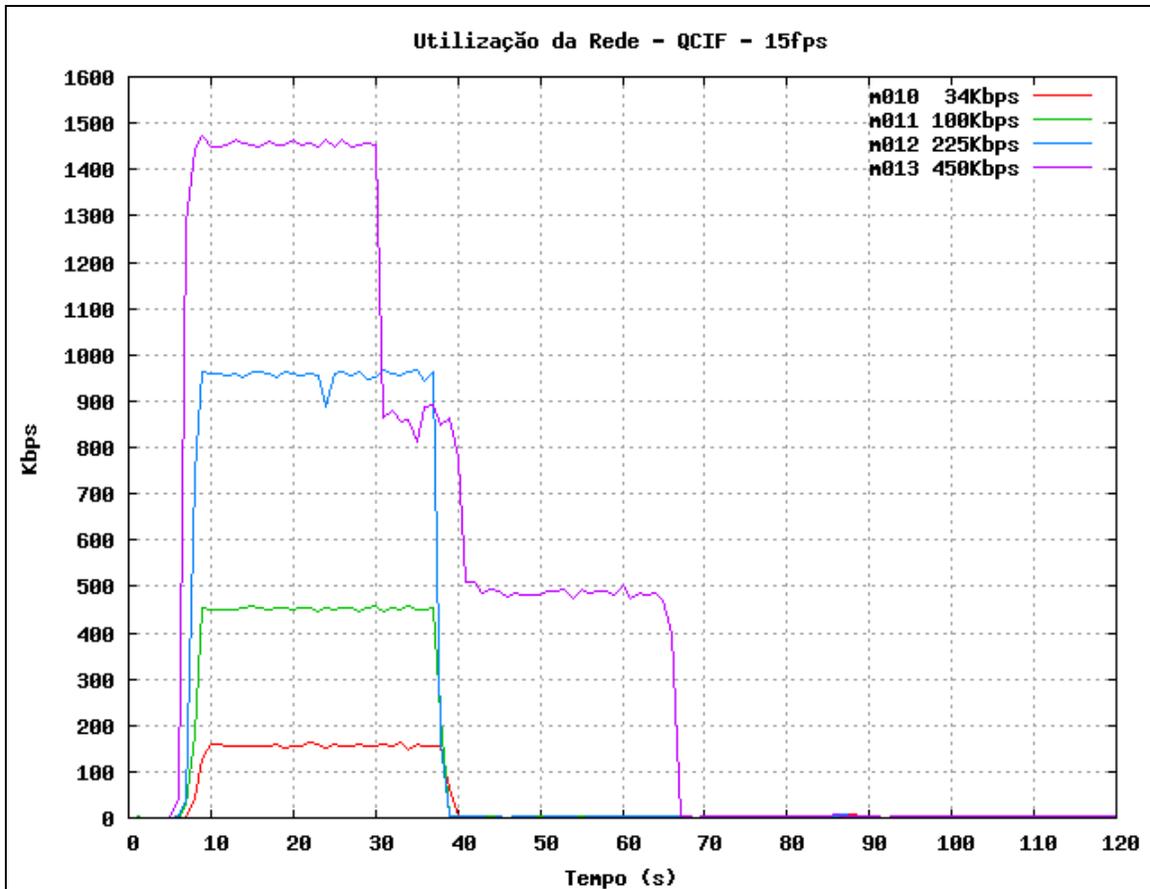


Gráfico 2 - Largura de banda usada durante transmissão de vídeo QCIF – 15 fps

Percebe-se também que o tempo de uso da rede para o teste m013 foi maior que o tempo usado pela medida m004 (68s e 45s, respectivamente).

Esse resultado demonstra a limitação imposta pela configuração da placa de rede sem fio em uma baixa taxa de transmissão/recepção. Esse problema poderia ocorrer em situações onde o usuário configurasse inadvertidamente a taxa de transmissão/recepção da placa ou um usuário afastado do ponto de acesso onde o sinal é mais fraco, forçado à redução da taxa de transmissão/recepção.

A Tabela 13 mostra a perda de pacotes durante a transmissão.

Tabela 13 - Transmissão de pacotes de dados – vídeo QCIF – 15 fps - cliente configurado a 1 Mbps

Medida	Pacotes enviados	Pacotes recebidos	Pacotes perdidos
010	1.304	1.301	1
011	3.566	3.566	0
012	3.975	3.975	0
013	6.092	5.680	165

Houve uma perda de 2,70% dos pacotes enviados na medida m013. Embora haja a perda, o vídeo transmitiu sem problemas ao usuário.

5.1.4 Transmissão do vídeo CIF – 15 fps – taxa de transmissão/recepção de 1 Mbps

Os testes tiveram resultados semelhantes aos obtidos no item 5.1.3. Esse resultado mostrou que reduzir o tamanho do quadro não altera o resultado final. Então nessas condições seria interessante o uso de quadros com tamanhos maiores. Porém, resultados diferentes são esperados caso os vídeos fossem transmitidos a um PDA, pois com uma menor capacidade de processamento, eles poderiam não ser capazes de decodificar e exibir um vídeo com essas características, principalmente os vídeos codificados com taxas maiores.

5.1.5 Transmissão do vídeo QCIF – 15 fps – Cliente com TurboPlay desabilitado

Desabilitando o TurboPlay nas medidas m026 a m029, os resultados da transmissão dos vídeos V10, V12, V14 e V16 mostram um comportamento diferente para o uso da largura de banda da rede, se comparado ao TurboPlay habilitado.

O Gráfico 3 mostra os diferentes comportamentos:

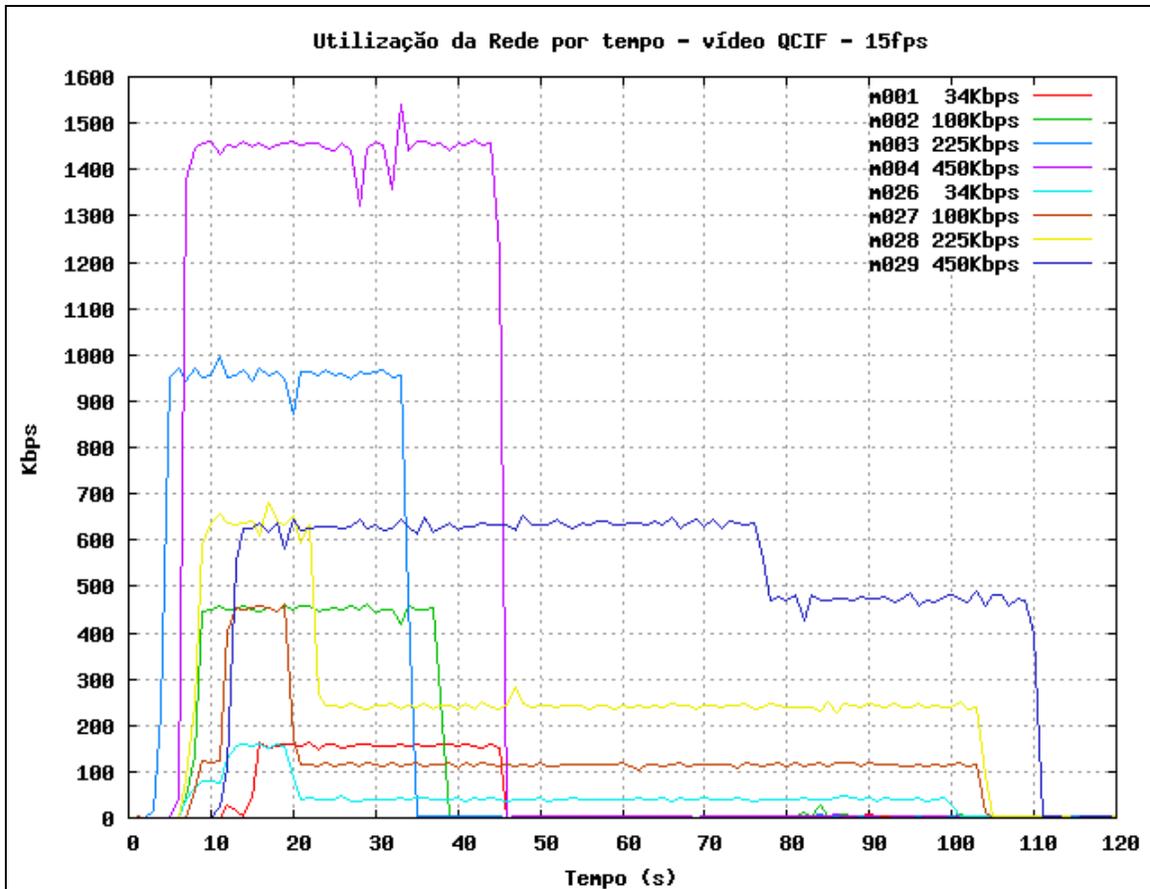


Gráfico 3 - Largura de banda usada durante transmissão de vídeo com TurboPlay ligado/desligado

Com o TurboPlay desabilitado, a largura de banda utilizada permanece mais próxima à taxa que o vídeo foi codificado usando menos recursos do dispositivo destino que solicitou o vídeo, o que é bom para uso em PDAs.

5.1.6 Transmissão do vídeo QCIF – 15 fps – PDA como cliente

Alterando-se o dispositivo-cliente para um PDA, obteve-se uma taxa de utilização da rede vista no Gráfico 4.

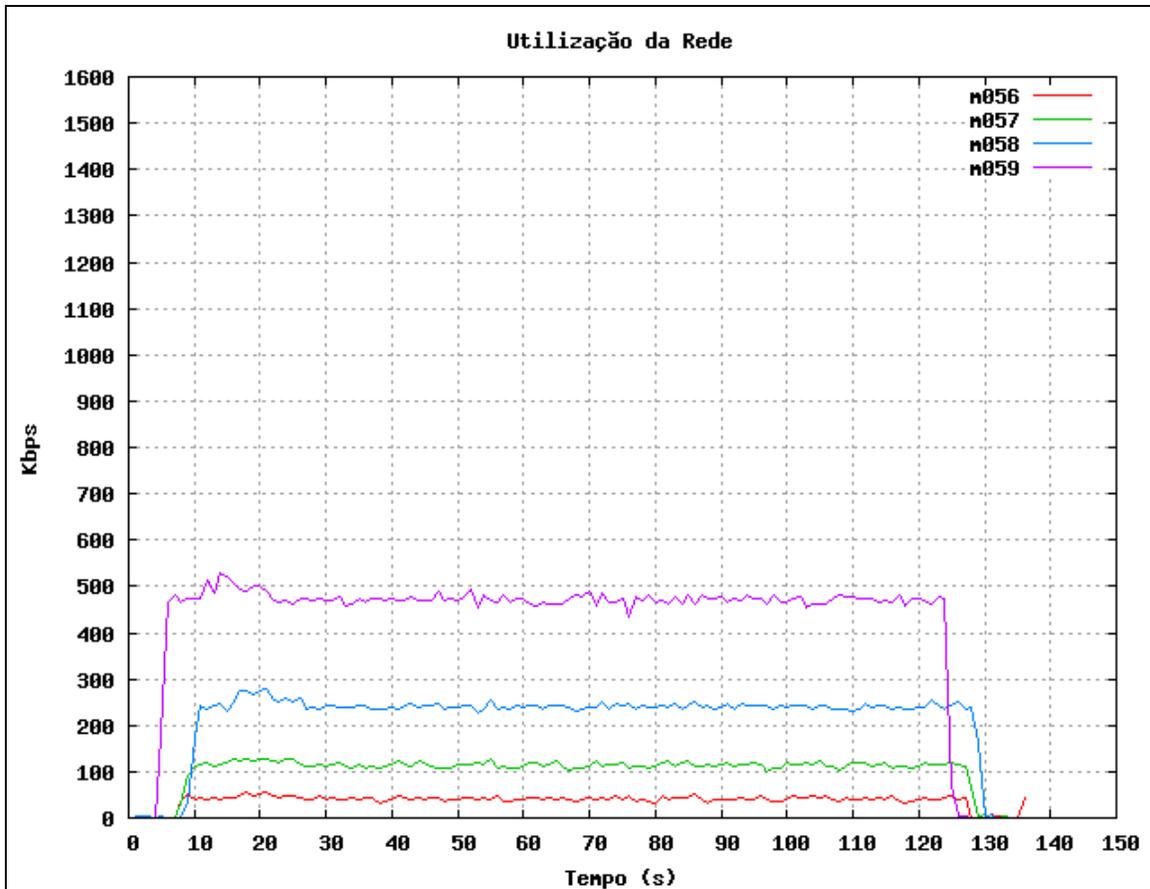


Gráfico 4 - Largura de banda usada pela rede sem fio durante transmissão de vídeo ao PDA

A versão do RealOne player usado nos PDAs não possui o recurso TurboPlay. Portanto, os vídeos serão transmitidos segundo as características de codificação.

Na transmissão dos vídeos para PDAs foi possível observar que o uso dos recursos de rede utilizados são muito próximos às taxas que o vídeo foi codificado. Percebe-se também que o tempo necessário para transmissão do vídeo é aproximadamente 120s, que é a duração real do vídeo codificado. Uma limitação apresentada pelo software executado no PDA é a falta de dados estatísticos a respeito da transmissão, impossibilitando obter informações referentes aos números de pacotes transmitidos, recebidos e perdidos. Observa-se nos arquivos de testes do Ethereal que não é gerada nenhuma solicitação de retransmissão de pacotes, isto é, o media player executado no PDA não implementa (ou não possui recursos) para solicitar a retransmissão.

A comparação dos resultados desse teste com os testes em 5.1.1 (Gráfico 1) e 5.1.3 (Gráfico 3) mostram que o PDA utiliza os recursos de rede por mais tempo. Isso é devido à menor capacidade de processamento e memória para antecipar o recebimento de pacotes e armazená-los em buffers internos.

A análise dos resultados mostra também que aproximadamente 99% do volume da transmissão é feita no sentido de descida, porém houve uma pequena variação entre a porcentagem do número de pacotes transmitidos na descida e na subida. A participação foi de aproximadamente 46,45% (descida) e 53,5% (subida) (Gráfico 5). Além dos pacotes de subida serem de confirmação, há também o envio de um pacote RTSP do tipo SET_PARAMETER solicitando a alteração da largura de banda que o servidor de *streaming* deverá enviar os dados. Esses pacotes são transmitidos em intervalos de 5s (aproximadamente). É importante notar que esse comportamento apenas ocorre nas transmissões feitas aos PDAs.

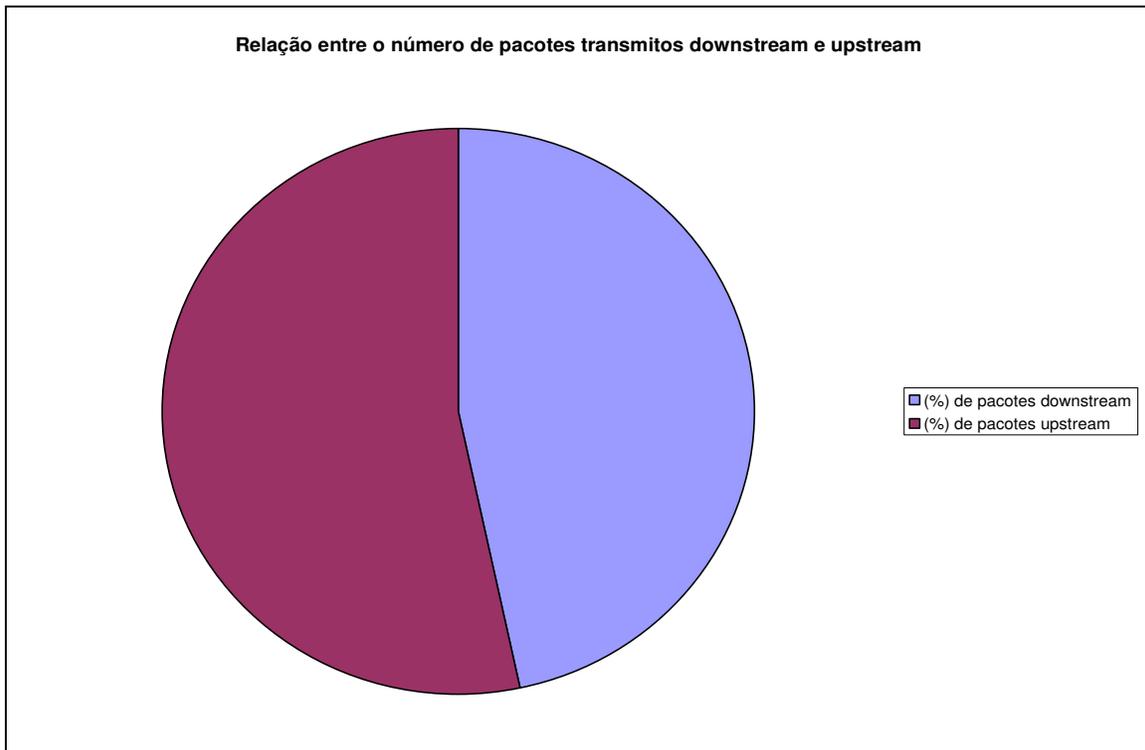


Gráfico 5 - Relação entre o número de pacotes transmitidos downstream e upstream no PDA

Concluindo, a transmissão de vídeos em redes 802.11b apresenta uma qualidade satisfatória em condições ideais, porém estas são pouco prováveis de ser encontradas em rede sem fio, principalmente de uso público. Ao aumentar o tráfego de dados na rede sem fio poderemos ter outros comportamentos quanto ao uso da rede e a perda de pacotes transmitidos, trazendo como consequência uma piora na imagem do vídeo.

5.2 Cenário 2 - Transmissão de vídeo na presença de tráfego UDP constante

Os testes desse cenário demonstram o comportamento da transmissão de vídeo na presença de um tráfego UDP contínuo com taxa constante (CBR). Nesses testes, haverá disputa para uso do meio de transmissão entre a estação sem fio que recebe o vídeo e a estação sem fio que recebe os pacotes UDP. Esta é uma situação mais próxima do uso esperado de uma rede, com a presença de outros tipos de tráfego simultâneos, como a transmissão de voz sobre IP.

5.2.1 Transmissão de vídeos CIF codificado a 15 fps e taxa de dados 100 kbps concorrente ao tráfego UDP constante

O Gráfico 6 mostra o resultado da transmissão de um vídeo codificado a 100 kbps, tamanho de quadro 352x288 (CIF) com 15 fps, TurboPlay desabilitado e placa de rede sem fio configurada para taxa de transmissão/recepção a 11 Mbps. As transmissões de vídeo foram feitas à estação C610 (10.1.1.25) e a cada medida aumentava-se a taxa de transmissão de dados. O gráfico exhibe a utilização da rede como um todo, incluindo-se o tráfego gerado pela transmissão de vídeo e o tráfego constante de pacotes UDP.

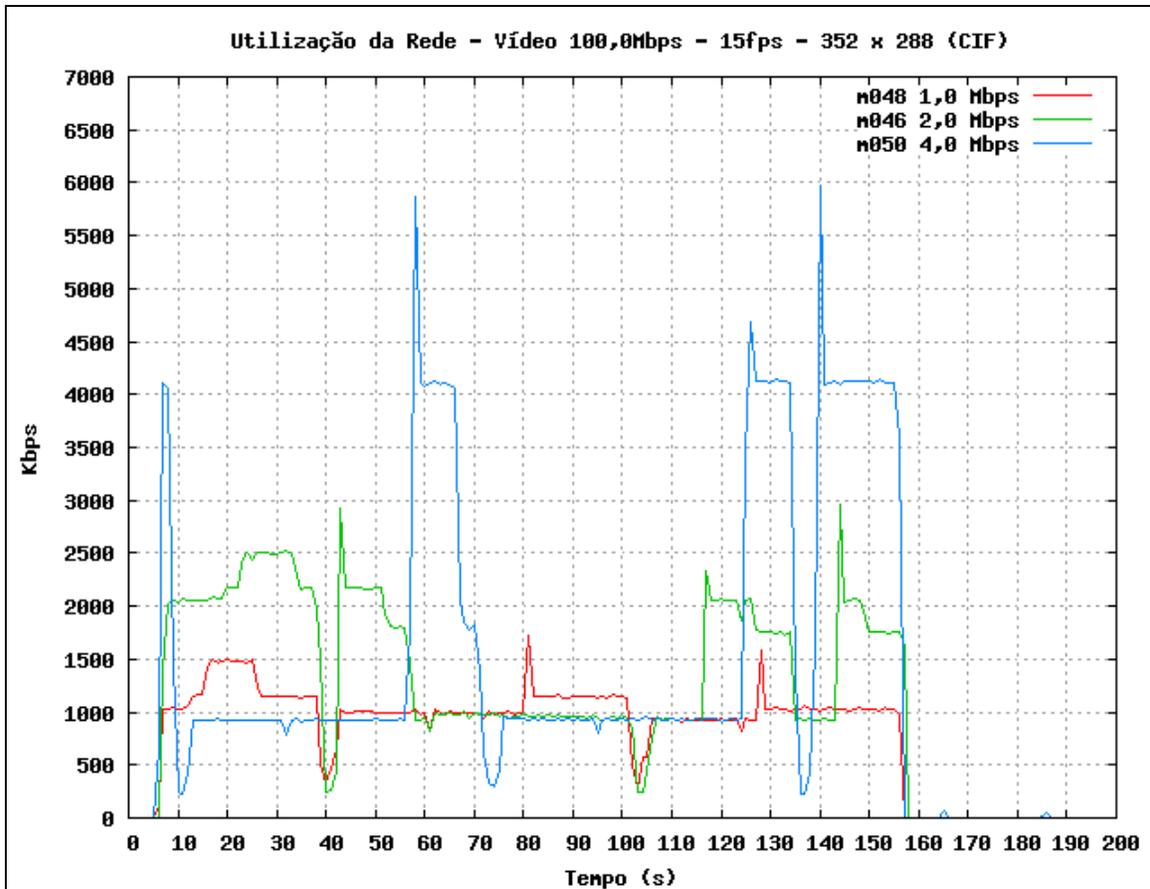


Gráfico 6 – Utilização da rede sem fio durante a transmissão do vídeo codificado a 100 kbps

No gráfico verifica-se que a transmissão do vídeo durante a transmissão de dados UDP a 1 Mbps ficou praticamente constante. À medida que se aumenta a taxa de transmissão de dados UDP para 2 Mbps e 4 Mbps, a utilização da rede não foi tão constante, aparecendo “picos” ou “saltos”, sendo mais evidente durante a transmissão de dados a 4 Mbps.

Os dados mostram que houve um aumento da perda de pacotes de dados à medida que a taxa de transmissão UDP aumenta, conforme pode ser visto no Gráfico 7.

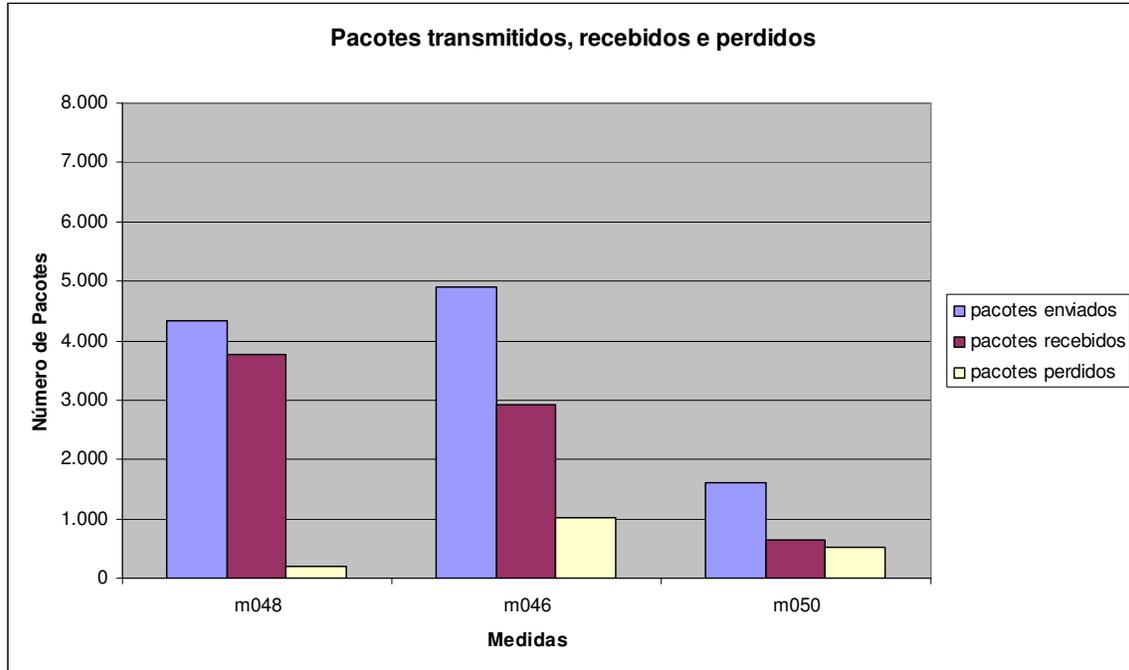


Gráfico 7 - Número de pacotes transmitidos, perdidos e recebidos.

A medida m050, com uma transmissão de dados UDP a 4 Mbps, teve vários problemas. O tempo de transmissão do vídeo foi de 145 segundos, porém no período de 79,760s a 102,350s (medidos pelo Ethereal – arquivo m050.cap) não houve transmissão de pacotes RDT transportando dados do vídeo, apenas a troca de alguns pacotes do tipo RDT (RTT-REQUEST) e RDT (RTT-RESPONSE) trocados entre as estações C610 (10.1.1.25) e A1900 (10.1.1.12). Após o término da transmissão de dados UDP (em 155,887s) houve um retorno da transmissão de vídeo. Essa razão explica a pequena quantidade de pacotes de vídeo recebidos.

A análise dos dados mostrou que o número de bytes transferidos na descida é aproximadamente 99,7% do volume de dados transmitidos pela rede. A porcentagem de pacotes transferidos na descida foi de 64,35% enquanto a de subida foi de 35,65%. Embora mostre uma assimetria entre o número de pacotes envolvidos na transmissão, se considerarmos que a porcentagem dos pacotes referentes à transmissão foi de 26,32% e a porcentagem de dados UDP foi de 38,04%, vemos que cada transmissão individual ficou com aproximadamente 1/3 dos pacotes transmitidos, conforme pode ser visto no Gráfico 8. A porcentagem de pacotes de subida a estação 10.1.1.13 foi de apenas 2,39% dos

pacotes e ela tende a ser ainda menor, visto que, normalmente apenas um pacote UDP é transmitido entre a estação Iperf Servidora e Iperf Cliente (uma mensagem com dados estatísticos sobre a transmissão é enviada do servidor ao cliente ao término de uma transmissão).

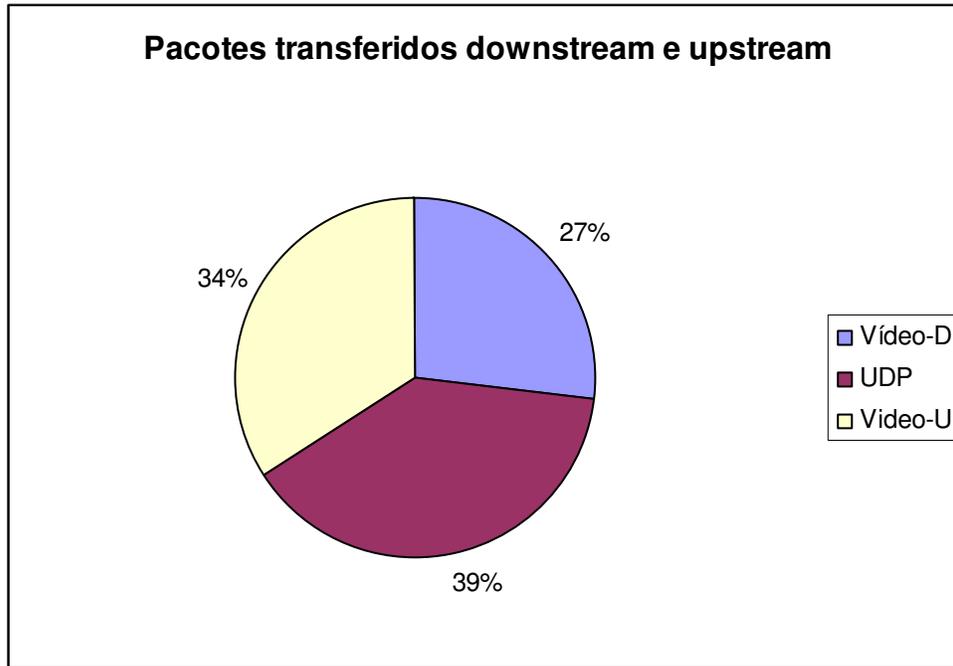


Gráfico 8 - Porcentagem de pacotes transferidos downstream e upstream

Este resultado mostra que o uso da rede sem fio é compartilhado de maneira aproximadamente justa entre as transmissões e que os pacotes RDT enviados ao media player, os pacotes UDP e os pacotes RDT de confirmação, gerados pelo media player têm aproximadamente a mesma prioridade de transmissão. Isso traz como consequência um menor *throughput* gerado pela rede, pois os pacotes de confirmação gerados pelo protocolo RDT, usados no *media player*, transmitem poucos bytes de dados, porém têm a mesma probabilidade de transmitir que os outros pacotes que transportam a maioria dos dados.

5.2.2 Transmissão de vídeos CIF codificado a 15 fps e taxa de dados de 450 kbps concorrente ao tráfego UDP constante

Nas medidas abaixo, foram feitas novas medidas usando-se o vídeo V8, codificado a 450 kbps ao invés do V4, codificado a 100 kbps. As outras características do vídeo foram mantidas.

O resultado da utilização da largura de banda pode ser vista no Gráfico 9

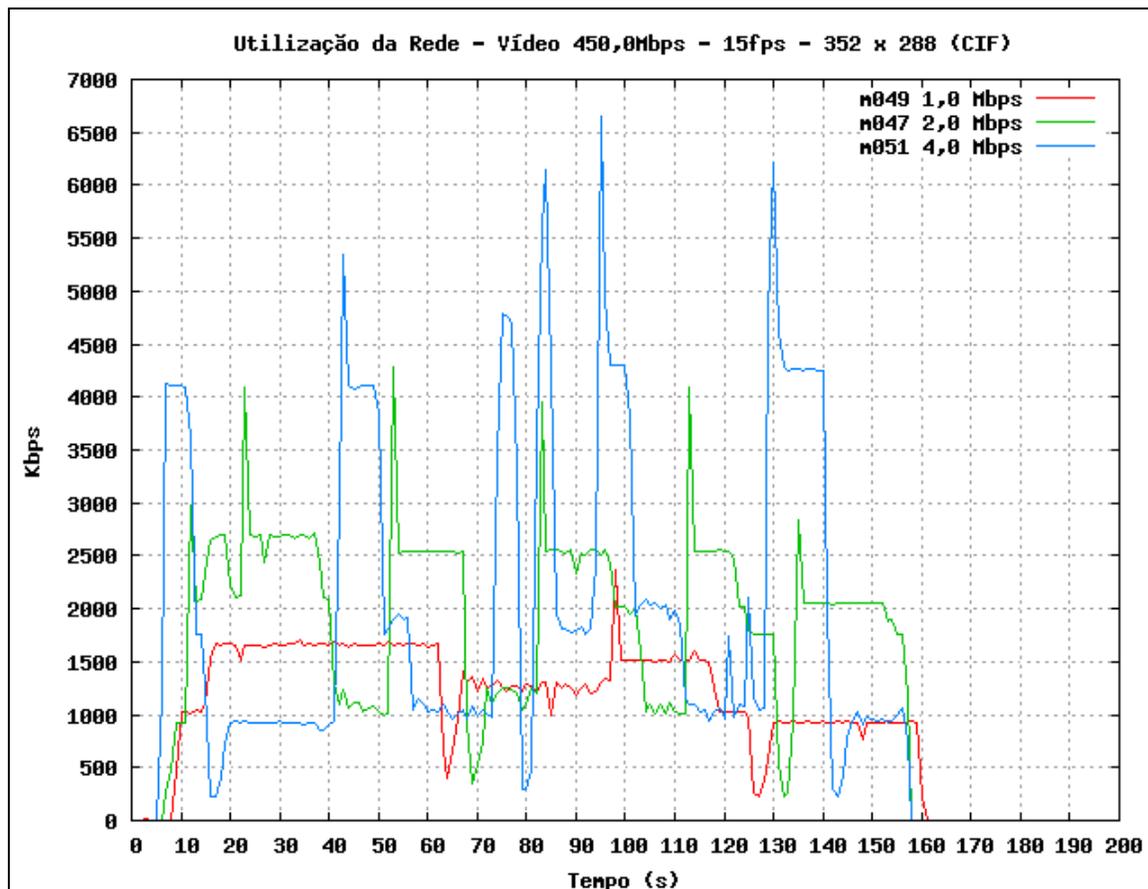


Gráfico 9 – Utilização da rede sem fio com transmissão de vídeo e tráfego UDP constante

A utilização da rede também variou no decorrer do tempo, mesmo durante a transmissão do de dados a 1 Mbps. Quanto maior for a taxa constante de transmissão de dados UDP, maior é a variação do uso da rede.

A perda de pacotes nesse caso pode ser vista no Gráfico 10.

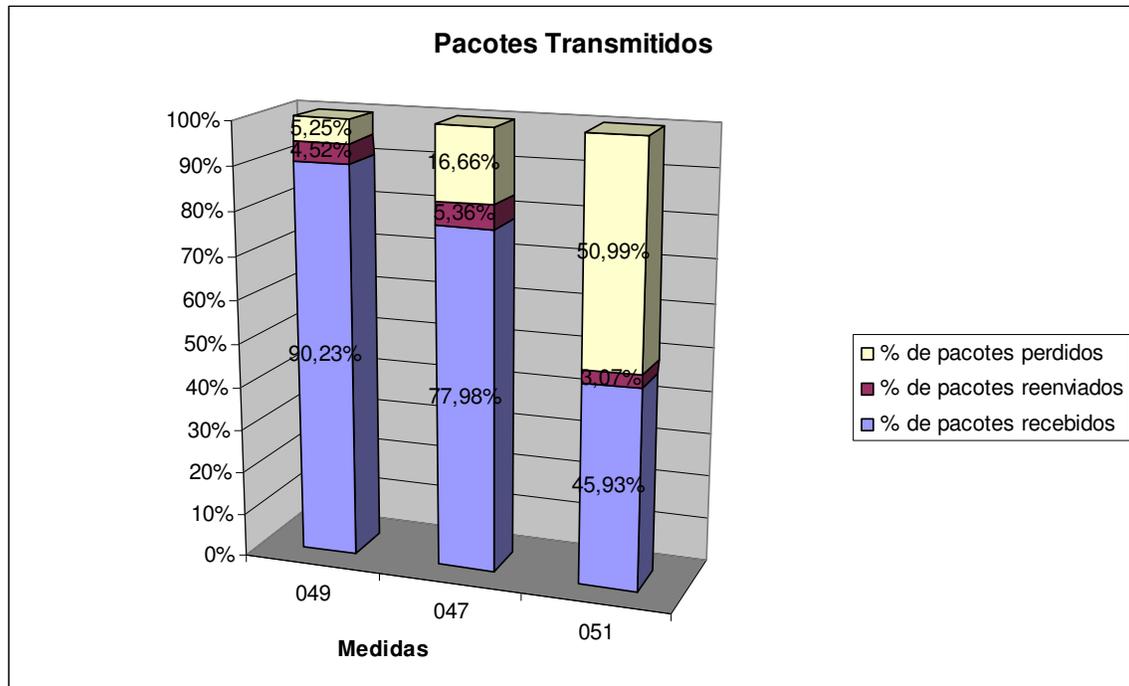


Gráfico 10 – Número de pacotes transmitidos perdidos e reenviados.

Pode-se ver um aumento da porcentagem do número de pacotes perdidos à medida que se aumenta a taxa de transmissão de dados.

A Tabela 14 consolida os resultados das transmissões.

Tabela 14 - Transmissão de pacotes de dados

Medida	Nº de pacotes recebidos	Nº de pacotes perdidos	Nº total de pacotes	Nº de pacotes reenviados	Nº de pacotes enviados pelo servidor	% de pacotes recebidos	% de pacotes reenviados	% de pacotes perdidos
048	3.755	201	3.956	210	4.322	89,61%	5,31%	5,08%
049	6.103	338	6.441	291	6.995	90,23%	4,52%	5,25%
046	2.930	1.026	3.956	230	4.903	68,25%	5,81%	25,94%
047	5.368	1.073	6.441	345	7.582	77,98%	5,36%	16,66%
050	654	511	1.165	91	1.614	48,33%	7,81%	43,86%
051	3.157	3.285	6.442	198	7.409	45,93%	3,07%	50,99%

À medida que a taxa constante de pacotes de dados UDP aumenta, maior é a porcentagem de pacotes perdidos, o que é um comportamento esperado. Porém a perda de

pacotes de dados cresce de uma forma exponencial. Para uma mesma taxa de transmissão de dados, a alteração da taxa de codificação dos vídeos (de 100 kbps para 450 kbps) também influi na taxa de pacotes perdidos, porém essa influência é menor que a gerada pela alteração da taxa de transmissão de dados. Percebe-se também que a porcentagem de pacotes reenviados permanece praticamente constante à medida que se aumenta a taxa de transmissão de dados. Se levarmos em consideração apenas a variação da taxa de codificação, a variação é ainda menor (veja medidas 46 e 47, por exemplo).

A Tabela 15 mostra os resultados obtidos durante a transmissão do tráfego UDP gerado entre as estações Iperf Cliente (10.1.1.13) e Iperf Servidor (10.1.1.31) durante a transmissão do vídeo. A estação 10.1.1.13 está localizada no segmento cabeado da rede e a estação 10.1.1.31 está conectada à rede através de uma placa de rede sem fio configurada à taxa de transmissão/recepção de 11 Mbps.

Tabela 15 - Transmissão de pacotes de dados UDP

Medida	Taxa UDP (Mbps)	Taxa Média Obtida (kbps)	Jitter (ms)	Número de Pacotes perdidos	Número de Pacotes transmitidos	(%) de pacotes perdidos
049	1	895,00	4,51	1.298	12.756	10,18%
047	2	1.607,00	5,30	5.165	25.503	20,25%
051	4	1.837,00	8,80	27.475	50.987	53,89%

Podemos perceber que à medida que a taxa de dados UDP aumenta, o mesmo também ocorre às medidas de *jitter*, número de pacotes perdidos e transmitidos, bem como à porcentagem do número de pacotes perdidos.

O mesmo comportamento ocorreu durante a transmissão dos vídeos. Isso mostra que não há nenhum tipo de privilégio (ou priorização) para o tráfego de dados multimídia. Percebe-se também que a perda de pacotes de dados UDP foi maior que a perda de pacotes de vídeo. Isso é devido ao fato do *media player* solicitar a retransmissão de pacotes perdidos ao servidor de *streaming*. O mesmo não ocorre com a transmissão feita pelo de dados UDP feitas pelo Iperf.

A análise dos dados mostrou que o número de bytes transferidos na descida é aproximadamente 99,7% do volume de dados transmitidos pela rede. A porcentagem de pacotes transferidos na descida foi em média 64% enquanto a de subida foi de 34%. Embora mostre uma assimetria entre o número de pacotes envolvidos na transmissão, se considerarmos a porcentagem de contribuição de cada sessão dos pacotes transmitidos temos uma média de 27,58% para os pacotes de vídeo, 36,41% para os pacotes UDP e 35,05% para os pacotes RDT de confirmação. O Gráfico 11 mostra uma distribuição praticamente igual ao número de pacotes enviados e recebidos de cada estação.

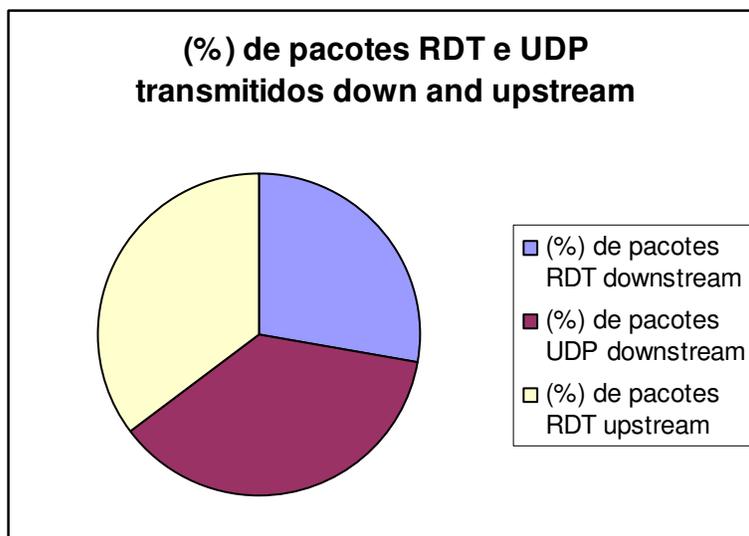


Gráfico 11 - Porcentagem de pacotes RDT e UDP transmitidos down e upstream

O Gráfico 12 mostra a porcentagem média do *throughput* obtido nas transmissões sob tráfego UDP constante.

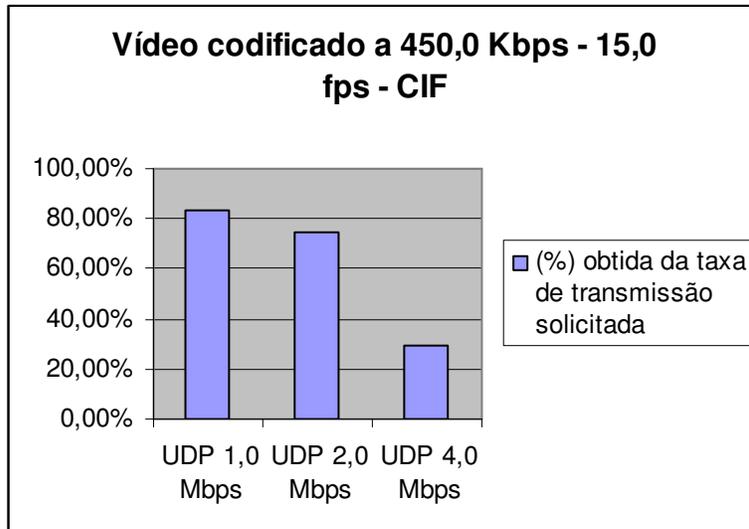


Gráfico 12 - *Throughput* da rede sem fio com a variação da taxa de transmissão de pacotes UDP

À medida que se aumenta a taxa de transmissão UDP, menor é o *throughput* obtido da rede sem fio.

5.3 Cenário 3 - Transmissão de dois vídeos e sem a presença de qualquer outro tráfego

Os testes desse cenário demonstram os efeitos na utilização da banda na rede sem fio quando uma nova transmissão de vídeo é solicitada e já existe outra transmissão de vídeo em andamento. Nesse caso, teremos três períodos distintos, onde em um primeiro período (t1) há apenas uma sessão do vídeo em transmissão; no período (t2), há duas sessões de vídeo em transmissão, concorrendo pelo mesmo meio de transmissão, e no período (t3), onde há apenas uma sessão sendo transmitida.

5.3.1 Transmissão do vídeo QCIF - 15 fps - taxa de dados de 225 kbps ao PDA e C610

A primeira sessão de vídeo é transmitida ao PDA (10.1.1.26), usando placa de rede sem fio Compaq configurada com taxa de transmissão/recepção de 11 Mbps. O *media player* executado no PDA usava sua configuração padrão.

A segunda sessão de vídeo é transmitida ao notebook C610 (10.1.1.35), usando a placa de rede sem fio Netgear que é configurada a 1 Mbps, 2 Mbps, 5,5 Mbps e 11 Mbps a cada medida. O *media player* está configurado com TurboPlay habilitado, usando o tamanho de *buffer* de 30 segundos.

O vídeo V14, codificado a 225 kbps, 15 fps e tamanho de quadro QCIF, foi usado durante esse teste.

A utilização da rede durante os testes pode ser vista no Gráfico 13.

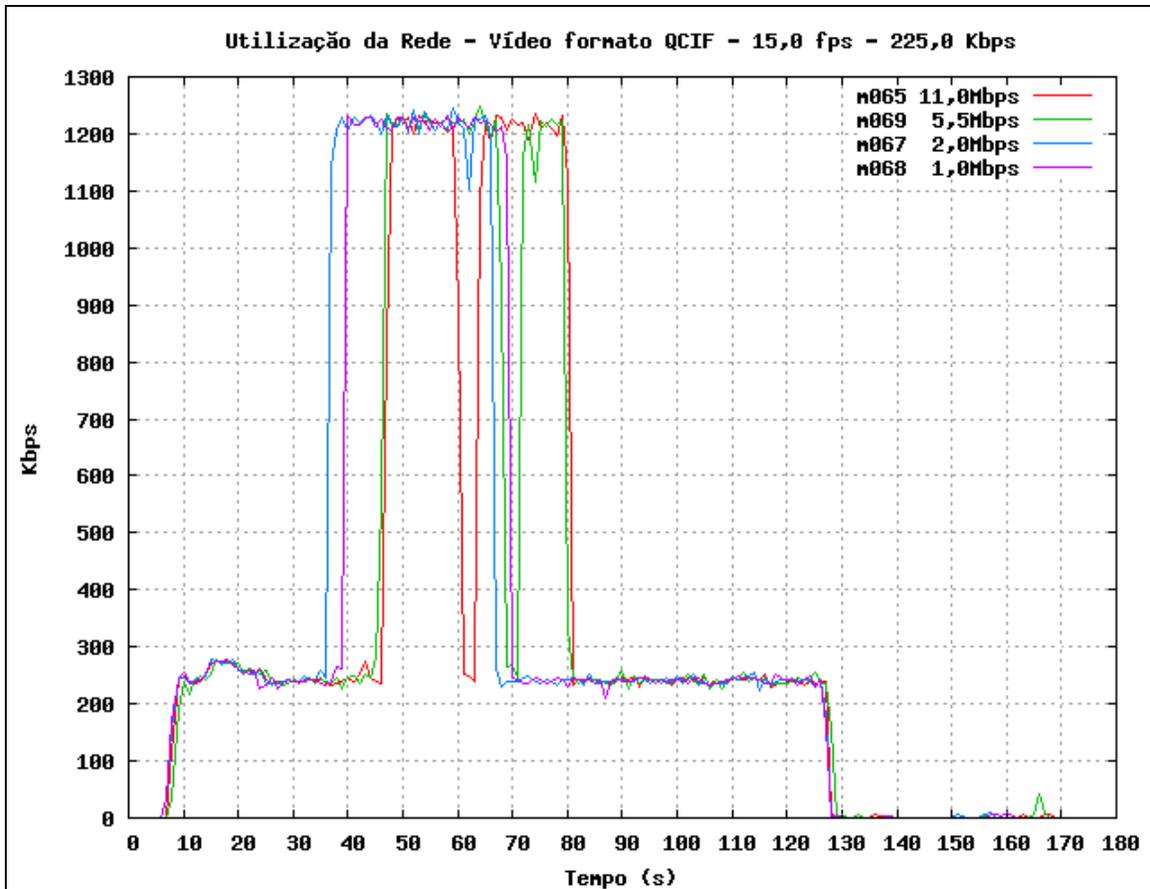


Gráfico 13 - Utilização da rede sem fio durante a transmissão dos vídeos QCIF – 15 fps – 225 kbps

O gráfico mostra nos primeiros 40 segundos uma utilização praticamente constante próxima à taxa de codificação do vídeo. Entre 40 e 90 segundos, percebe-se o uso do TurboPlay a 900 kbps e um comportamento diferente da utilização da rede, com uso aproximado de 1,2 Mbps (veja o comportamento de uma transmissão isolada sem uso do TurboPlay no Gráfico 1). Após 90s, percebe-se que a primeira sessão do vídeo continua sendo transmitida, mantendo-se o comportamento e a utilização da rede de acordo com a taxa de codificação do vídeo até o final da transmissão. É importante notar que a segunda transmissão ocorreu totalmente “dentro” da transmissão, feita ao PDA. Esse comportamento ocorre devido ao uso do TurboPlay que solicita que o servidor transmita os pacotes de vídeo a uma taxa maior que a taxa normal de codificação, tornando a transmissão mais rápida e também transmitindo menos pacotes.

As medidas realizadas nesse teste não apresentaram perda de pacotes de vídeo, sendo possível assistir aos vídeos de forma satisfatória.

Percebe-se que a alteração da taxa de transmissão/recepção da placa de rede sem fio da estação C610 (10.1.1.35) durante as medidas do teste não trouxe influências significativas ao comportamento da transmissão.

Nesse teste é interessante notar que foram transmitidos, do servidor de *streaming* ao cliente media player, 150 pacotes do primeiro vídeo e 51 do segundo vídeo (o vídeo transmitido foi o mesmo). Esse fato se deve ao TurboPlay estar ligado no media player que solicitou o segundo vídeo. O número médio de pacotes RDT de reconhecimento foi de 171,8 para o primeiro vídeo e 42,75 para o segundo vídeo. O percentual de pacotes enviados pelo cliente foi em média 2% maior que o recebido. Esse fato é relacionado ao PDA transmitir em intervalos de 5s uma solicitação RTSP para alteração da largura de banda do envio de pacotes de vídeo.

5.3.2 Transmissão do vídeos QCIF - 15 fps - taxa de dados de 450 kbps as estações C610 e A1100

Nesse teste há transmissão de vídeo para as estações C610 (10.1.1.35) e A1100 (10.1.1.31).

A primeira sessão de vídeo é transmitida ao notebook C610 (10.1.1.35), usando placa de rede sem fio Netgear configurada a 11 Mbps.

A segunda sessão de vídeo é transmitida ao desktop A1100, usando a placa de rede sem fio Netgear que é configurada para transmitir/receber a 1 Mbps; 2 Mbps; 5,5 Mbps e 11 Mbps a cada medida.

O cliente media player das duas estações está configurado com o recurso TurboPlay desabilitado e o tamanho do buffer configurado em 30s.

O vídeo V16, codificado a 225 kbps, 15 fps e tamanho de quadro QCIF, foi usado durante esse teste.

A utilização da rede durante os testes pode ser vista no Gráfico 14.

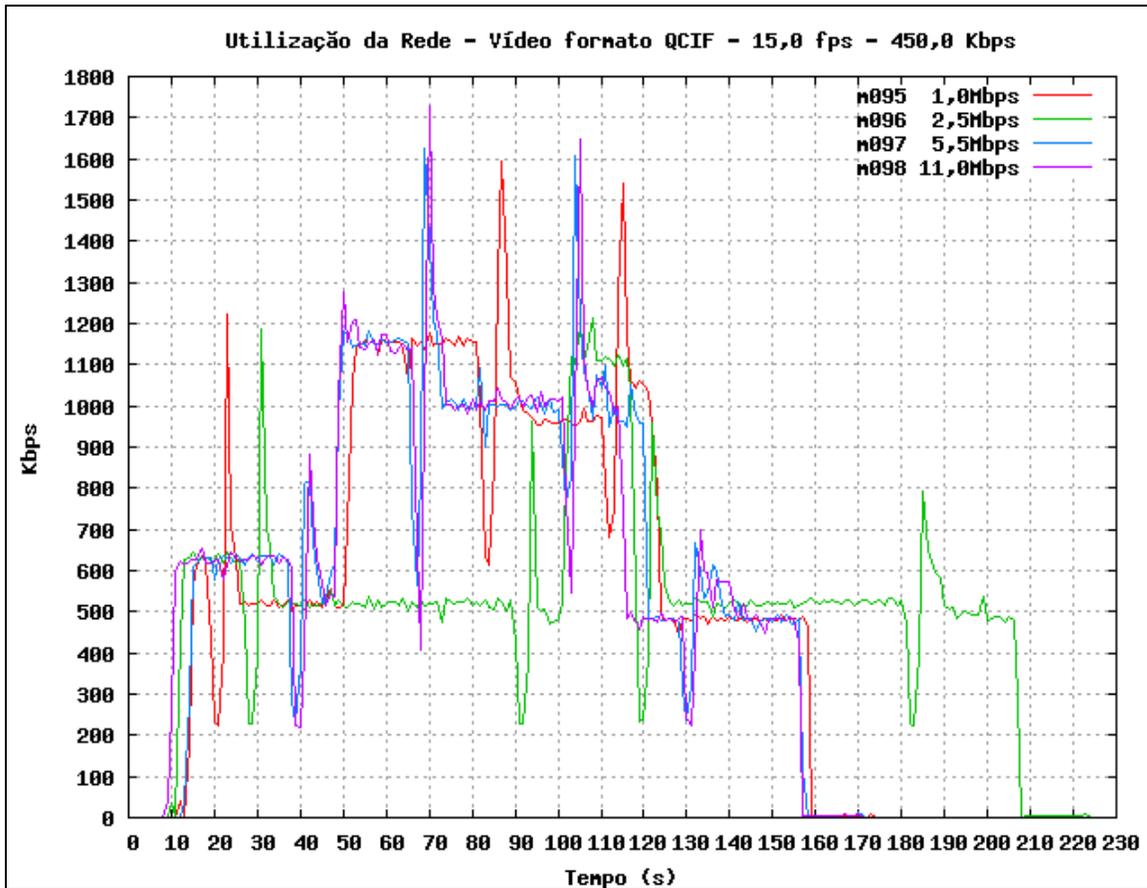


Gráfico 14 – Utilização da rede sem fio durante a transmissão de dois vídeos

Pelo gráfico, percebe-se que as transmissões iniciavam-se de forma constante com utilização em torno de 500 kbps. Quando se iniciou a transmissão da segunda sessão de vídeo, a utilização da rede ficou próxima a 1 Mbps.

A medida m096 apresentou uma utilização de rede por mais tempo. Dados coletados mostram que a segunda sessão iniciou-se em 100s enquanto as outras iniciaram por volta de 48s. Por isso, a diferença dessa medida.

As outras transmissões ocorreram conforme esperado. A mudança da taxa de transferência/recepção de dados da placa de rede sem fio usada na estação A1100 não apresentaram comportamentos muito diferentes na utilização da banda da rede sem fio

A análise de perda de pacotes durante os testes pode ser vista na Tabela 16.

Tabela 16 – Estatísticas da transmissão de pacotes durante a transmissão do vídeo

Medida	IP	Nº de pacotes recebidos	Nº de pacotes perdidos	Nº total de pacotes	Nº de pacotes reenviados	Nº de pacotes enviados pelo servidor	% de pacotes recebidos	% de pacotes reenviados	% de pacotes perdidos
095	10.1.1.35	5.505	340	5.845	99	5.964	92,49%	1,69%	5.82%
095	10.1.1.31	5.705	140	5.845	110	5.998	95,72%	1,88%	2.40%
096	10.1.1.35	5.501	344	5.845	34	5.917	93,53%	0,58%	5.89%
096	10.1.1.31	5.547	298	5.845	81	5.945	93,52%	1,39%	5.10%
097	10.1.1.35	5.530	315	5.845	131	6.057	92,37%	2,24%	5.39%
097	10.1.1.31	5.529	316	5.845	105	5.983	92,80%	1,80%	5.41%
098	10.1.1.35	5.501	344	5.845	120	6.028	92,06%	2,05%	5.89%
098	10.1.1.31	5.535	310	5.845	123	6.003	92,59%	2,10%	5.30%

A tabela mostra que a perda de pacotes foi praticamente constante. Apenas a medida m095 para IP 10.1.1.31 apresentou uma menor perda comparada aos outros.

O uso de duas estações usando as versões completas do *media player* permitiu obter dados estatísticos para as duas sessões de vídeo a cada medida.

Nesse teste é interessante notar que foram transmitidos, do servidor de *streaming* ao cliente *media player*, uma média de 131,25 pacotes pelo primeiro vídeo e 133,75 pelo segundo vídeo. O número de pacotes RDT de reconhecimento foi em média 127,8 para o primeiro vídeo e 132 para o segundo vídeo.

Este cenário mostra um comportamento bem próximo ao Cenário 1, onde havia apenas uma única transmissão de vídeo. A maior utilização da rede trouxe como consequência uma maior perda de pacotes e piora na qualidade do vídeo exibido.

Ainda podemos constatar que a presença de tráfego UDP constante à transmissão de vídeo, vista nas medidas do Cenário 2, tem uma maior influência na perda de pacotes (compare os dados apresentados nas tabelas 11 e 12).

5.4 Cenário 4 - Transmissão de dois vídeos na presença de tráfego UDP constante

5.4.1 Transmissão do vídeo QCIF - 15 fps - taxa de dados de 450 kbps - as estações PDA e C610 com a presença de tráfego UDP constante.

Nesse teste há transmissão de uma sessão de vídeo para a estação C610 (10.1.1.35) e outra para o PDA (10.1.1.26) e uma transmissão de tráfego constante UDP entre as estações Iperf Cliente (10.1.1.13) e Iperf Servidor (10.1.1.31).

A primeira sessão de vídeo é transmitida ao notebook C610 (10.1.1.35), que usa a placa de rede sem fio Netgear configurada a 11 Mbps. O *media player* estava configurado com TurboPlay desabilitado e com tamanho de *buffer* de 30s.

A segunda sessão de vídeo é transmitida ao PDA (10.1.1.26), que usa a placa de rede sem fio Compaq configurada a 11 Mbps. O *media player* estava configurado com uma taxa de transmissão em 2 Mbps.

O vídeo V16, codificado a 450 kbps, 15 fps e tamanho de quadro QCIF, foi usado durante esse teste.

A utilização da rede durante as medidas pode ser vista no Gráfico 15.

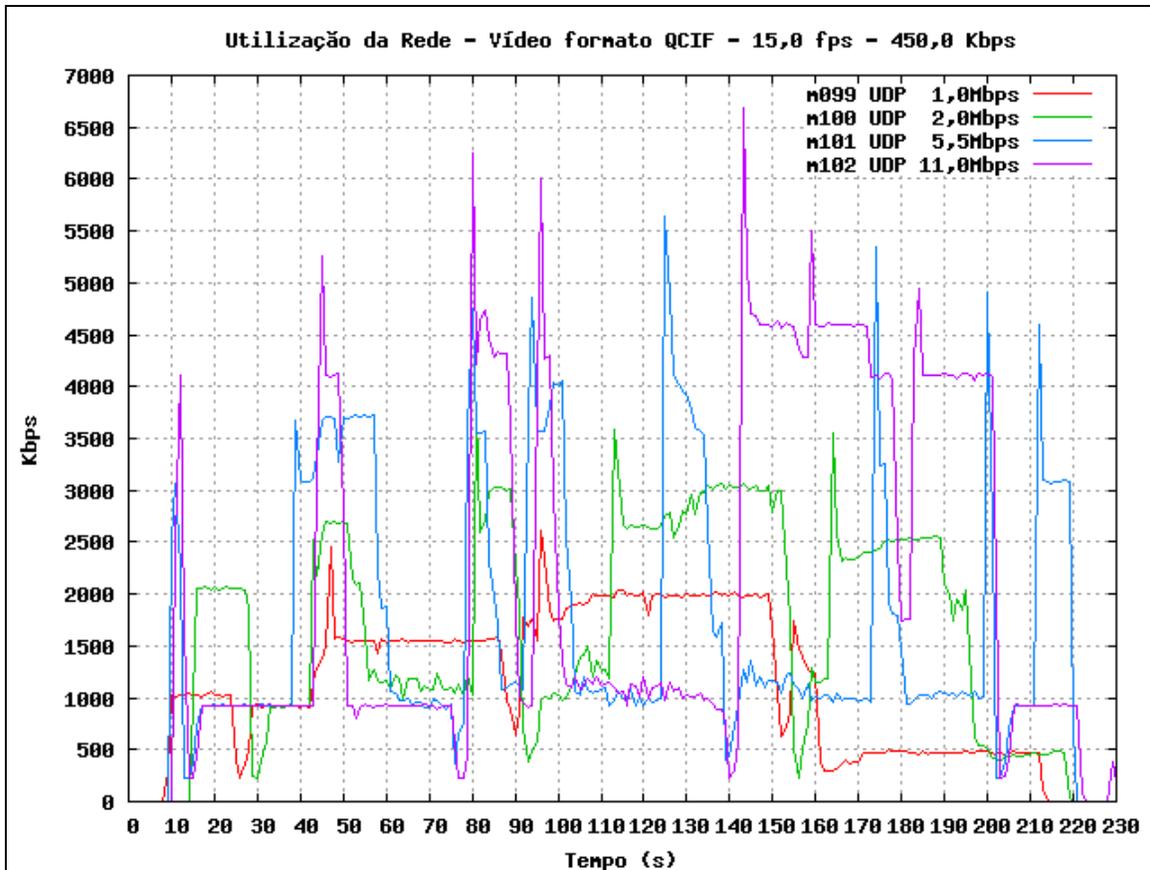


Gráfico 15 - Utilização da rede sem fio durante a transmissão de vídeos com tráfego UDP constante

O Gráfico 16 mostra a porcentagem de perda de pacotes durante as transmissões de vídeo.

A Tabela 17 exhibe os detalhes sobre a perda de pacotes.

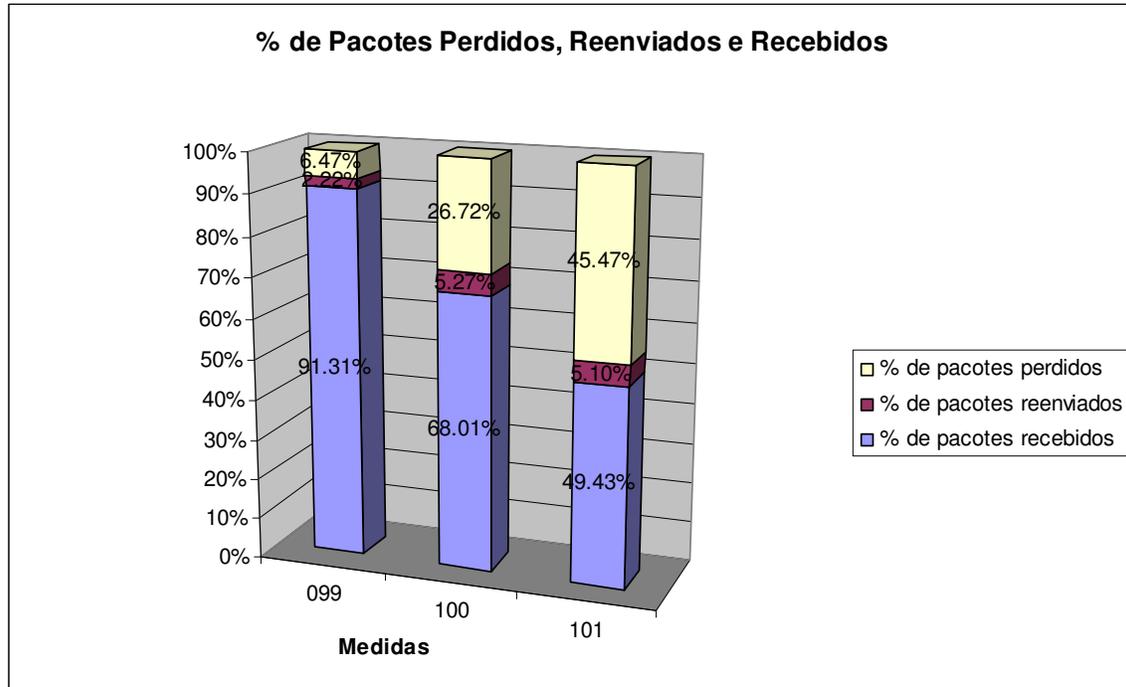


Gráfico 16 - Percentual de pacotes de dados

Observa-se um aumento da porcentagem de pacotes perdidos à medida que se aumenta a taxa de transmissão de dados. A medida m102 nem chegou a seu final. Ela foi interrompida aos 29s. Por isso, ela mostra um número de pacotes menor que as outras transmissões. A porcentagem de pacotes reenviados é aproximadamente de 5%, que também foi encontrado nos testes do Cenário 2.

Tabela 17 – Pacotes Perdidos durante a transmissão do vídeo

Medida	Nº de pacotes recebidos	Nº de pacotes perdidos	Nº total de pacotes	Nº de pacotes reenviados	Nº de pacotes enviados pelo servidor	% de pacotes recebidos	% de pacotes reenviados	% de pacotes perdidos
099	5.467	378	5.845	130	6.037	91,31%	2,22%	6,47%
100	4.283	1.562	5.845	308	6.962	68,01%	5,27%	26,72%
101	3.187	2.658	5.845	298	7.623	49,43%	5,10%	45,47%
102	1.452	0	1.452	0	1.452	1000%	0,00%	0,00%

Com relação à transmissão de dados, observa-se no Gráfico 17, que as perdas de pacotes de dados (UDP) são maiores que a perda observada durante as sessões de vídeo (pacotes UDP).

Isso se deve à retransmissão de pacotes de dados proporcionada pela aplicação *media player*, solicitando a retransmissão de pacotes perdidos. Durante a transmissão de pacotes dados UDP não há retransmissões.

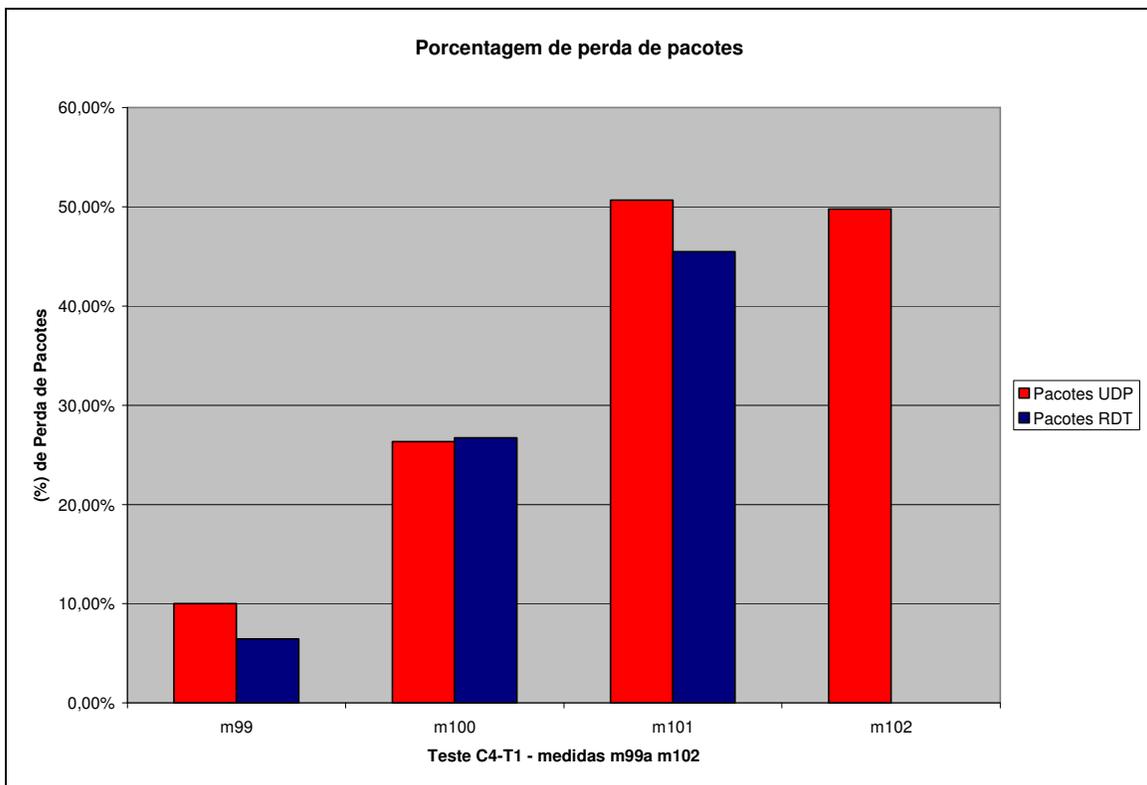


Gráfico 17 - Percentual de Datagramas perdidos

À medida que se aumenta a taxa de transmissão de dados, diminui-se a utilização da rede durante a transmissão da primeira e da segunda sessão de vídeo. O tráfego UDP medido aumenta. A segunda sessão foi mais prejudicada, principalmente nas medidas m101 e m102.

Quanto ao uso da rede feita pelo protocolo UDP, embora a taxa de transmissão dobrasse a cada teste, o volume de dados transmitidos aumentou 44% (m99 para m100), 2,39% (m100 para m101) e 25,90% (m101 para m102).

Nesse teste o número médio de pacotes transmitidos entre o servidor de *streaming* e o C610 é de 131 na descida e de 140 na subida. O número médio de pacotes transmitidos entre o Iperf Cliente e o Iperf Servidor é de 183 na descida. O Iperf Servidor transmite apenas um pacote de subida, contendo dados estatísticos sobre a transmissão UDP e este único pacote pode ser descartado dos cálculos. O número total de pacotes transmitidos na rede sem fio é de 765 pacotes.

O Gráfico 18 mostra o percentual de pacotes transmitidos na rede sem fio.

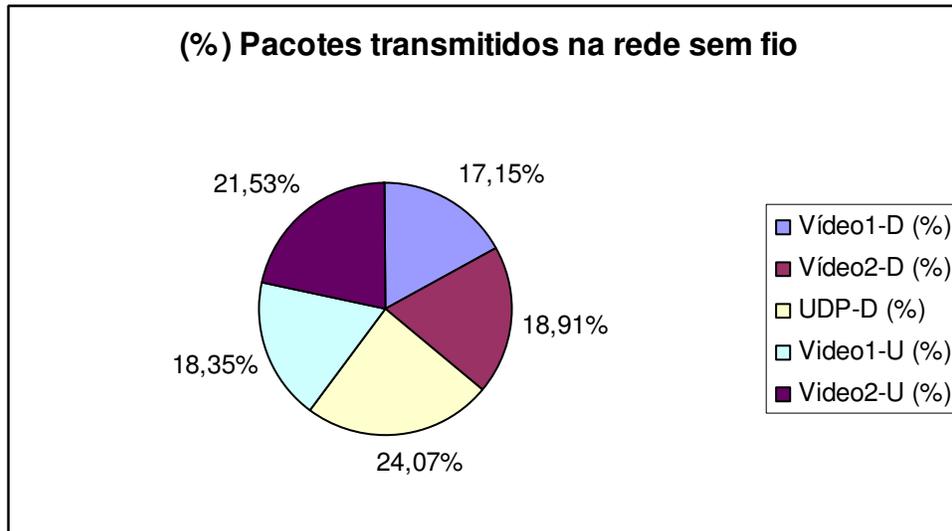


Gráfico 18 - Percentagem de pacotes transmitidos na rede sem fio

Esses resultados mostram que a transmissão dos pacotes é distribuída aproximadamente igual entre as transmissões do servidor de *streaming* \leftrightarrow C610, servidor de *streaming* \leftrightarrow PDA e as estações Iperf Cliente \leftrightarrow Iperf Servidor. Como temos três transmissões, sendo uma UDP, que transmite pacotes apenas no sentido de descida, há cinco possibilidades de transmissões acontecendo na rede sem fio: servidor \rightarrow C610, C610 \rightarrow servidor, servidor \rightarrow PDA, PDA \rightarrow servidor ou Iperf Cliente \rightarrow Iperf Servidor.

Esse comportamento causa queda no *throughput* da rede sem fio. No teste acima, é solicitada a transmissão de dois vídeos codificados a 450 kbps e uma transmissão UDP

com taxa variando de 1 Mbps a 4 Mbps. A Tabela 18 mostra os resultados de throughput obtidos.

Tabela 18 - Throughput da rede sem fio durante a transmissão dos vídeos e do tráfego UDP

Taxa de transmissão UDP (kbps)	Taxa de dados (kbps) - C610	Taxa de dados (kbps) - PDA	Taxa Total Solicitada (kbps)	Throughput medido na rede (kbps)	(%) Obtida da taxa de transmissão Solicitada
1.000	450	450	1.900,0	1.172,29	61,70%
2.000	450	450	2.900,0	1.653,03	57,00%
3.000	450	450	3.900,0	1.684,87	43,20%
4.000	450	450	4.900,0	2.057,17	41,98%

À medida que se aumenta a taxa de transmissão UDP, diminui-se a eficiência da rede sem fio. Mas esta consequência está mais relacionada à disputa pelo uso do meio de transmissão do que com o aumento da taxa propriamente dita.

Como a transmissão de *streaming* faz o reconhecimento dos pacotes recebidos, embora eles representem pouco no volume de dados transmitidos (muitas vezes 0,3% do volume), ela acaba contribuindo para a deteriorização do rendimento da rede, pois mesmos sendo pacotes pequenos, eles entram na disputa para transmitir na rede sem fio.

Esse problema é decorrente do mecanismo de controle de acesso ao meio (MAC) da rede 802.11 que usa o CSMA/CA, onde qualquer estação possui a mesma probabilidade de usar o meio de transmissão, independente do volume de dados ou outros critérios de priorização.

5.4.2 Resultado da captura das telas do vídeo

A Tabela 19 mostra uma seqüência de telas capturadas no notebook C610 (10.1.1.35) durante o teste, onde havia uma transmissão UDP à taxa de dados constante de 4 Mbps e foi transmitido o vídeo codificado a 450 kbps, 15 fps e tamanho de quadro QCIF (176x144) ao notebook C610 (10.1.1.35) e ao PDA (10.1.1.26) (medida m102).

Cada tela foi capturada com um intervalo de 5s entre cada amostragem. É visível o efeito causado pela perda de pacotes durante a transmissão do vídeo.

Tabela 19 - Captura de telas durante a transmissão do vídeo com tráfego UDP de 4 Mbps.

<p>26/8/2005 08:27:56</p> 	<p>26/8/2005 08:28:02</p> 	<p>26/8/2005 08:28:07</p> 
<p>26/8/2005 08:28:12</p> 	<p>26/8/2005 08:28:17</p> 	<p>26/8/2005 08:28:22</p> 
<p>26/8/2005 08:28:27</p> 	<p>26/8/2005 08:28:32</p> 	<p>26/8/2005 08:28:37</p> 
<p>26/8/2005 08:28:42</p> 	<p>26/8/2005 08:28:47</p> 	<p>26/8/2005 08:28:52</p> 

6 – Conclusão

A disponibilidade de dados multimídia na Internet aumenta o interesse dos usuários em usar seus dispositivos portáteis e transportáveis como PDAs e notebooks para o acesso a esse tipo de conteúdo em qualquer lugar. O uso de redes Wi-Fi, termo usado para designar as redes sem fio 802.11b, facilita a conexão dos dispositivos, mas apresenta limitações como largura de banda disponível, que é bem menor que a oferecida por redes cabeadas e a qualidade dos serviços oferecidos.

A falta de elementos que garantam a qualidade de serviço ainda é um problema na transmissão de dados multimídia através da rede, principalmente nas WLANs, dadas as suas características, principalmente de controle de acesso ao meio (MAC) que usa CSMA/CA. A transmissão de *streaming* de vídeo envolve o uso de protocolos que fornecem informações sobre o andamento da transmissão, como o reconhecimento de pacotes recebido e o pedido de reenvio de pacotes perdidos. À medida que isso acontece, acaba aumentando a disputa para o acesso ao meio de transmissão o que acaba tornando a rede ainda mais lenta e diminuindo o *throughput* fornecido.

Dados multimídia precisam ser transmitidos em um fluxo contínuo, sendo as interrupções indesejáveis. É preferível o uso de uma menor largura de banda que se mantenha constante durante o tempo a uma maior que se mantenha irregular, sofrendo interrupções durante a transmissão do vídeo.

Perdas e atrasos no recebimento dos pacotes de dados degradam a qualidade final do vídeo recebido, chegando a inviabilizar o uso da rede para esse tipo de transmissão.

A falta de priorização na transmissão de dados multimídia, que são altamente dependentes do tempo, piora ainda mais a qualidade dos dados recebidos.

Os experimentos realizados mostraram que à medida que se aumenta o uso da rede, com a introdução de tráfego UDP constante, ocorre uma maior perda de pacotes de dados, como era de se esperar, comprometendo a qualidade do *streaming* de vídeo transmitido. Mas o maior problema acaba sendo a própria transmissão do *streaming*, pois cada nova transmissão de vídeo acaba introduzindo a necessidade de envio de pacotes do servidor ao cliente, que contém os dados de vídeo e do cliente ao servidor, para fazer o

reconhecimento dos pacotes recebidos. Embora o tráfego gerado (em número de bytes) pelos pacotes de reconhecimento seja pequeno, a transmissão do pacote acaba sendo custosa à rede sem fio, pois ele disputa com as outras transmissões o meio e ele carrega poucos bytes de cada vez. O que acaba acontecendo é que de tempos em tempos o canal é utilizado para transmitir um pequeno número de bytes desperdiçando a banda de transmissão existente e resultando em um menor *throughput* da rede sem fio. Embora a rede possa oferecer aproximadamente uma banda de 6 Mbps, ela acaba não conseguindo dar esse *throughput* quando há transmissão de *streaming* de vídeo concorrente.

O fato acima faz pensar se realmente vale a pena ao cliente confirmar ao servidor os pacotes de vídeo recebidos e solicitar o reenvio de pacotes perdidos, quando operando em uma WLAN, pois os experimentos mostram que esse tipo de confirmação contribui para a degradação do *throughput* da rede sem fio

Verificaram-se também diferenças no comportamento dos clientes usados para o recebimento do *streaming* de vídeo.

Os PDAs, por terem menor poder de processamento e capacidade de memória, não implementam mecanismos que acelerem o recebimento dos dados, como é feito no TurboPlay, por exemplo, que diminua o número de pacotes transmitidos. Eles enviam um número ainda maior de pacotes solicitando alterações na taxa de transmissão do servidor de *streaming* ao cliente. Por isso, o uso de PDAs recebendo *streaming* tornam o rendimento da rede sem fio ainda pior.

A falta de priorização dos pacotes que transportam dados multimídia foi observada, principalmente, durante as sessões de vídeo transmitidas quando a rede estava com sua utilização elevada, pois houve um aumento da perda de pacotes e uma queda na qualidade do vídeo transmitido.

O IEEE aprovou no mês de Setembro de 2005 o padrão 802.11e [38], que será responsável pela introdução da Qualidade de Serviço (QoS) em WLANs, estabelecendo a classificação e priorização na transmissão de pacotes.

A Wi-Fi Alliance [39], desenvolveu a certificação *Wi-Fi Multimedia* (WMM), que oferece a certificação de um subconjunto da especificação 802.11e, que irá melhorar

a experiência do usuário na utilização de aplicações de voz, áudio e vídeo, através da priorização do tráfego multimídia em WLANs.

Neste trabalho avaliou-se uma WLAN padrão IEEE 802.11b, que é o padrão mais difundido nesse momento, porém, trabalhos futuros podem ser feitos usando-se os padrões 802.11a e 802.11g e também com os novos equipamentos que implementam a especificação IEEE 802.11e. A introdução da priorização de pacotes trará uma melhor experiência do usuário durante a transmissão do *streaming* de vídeo, resultando em uma maior previsibilidade do comportamento da rede sem fio.

Referências

- [1] Tanenbaum AS. *Computer Networks*. 4ª edition. Saddle River: Prentice Hall PTR; 2003.
- [2] Stolarz, Damien. *Mastering Internet Video: A Guide o Streaming and On-Demand Video*. Pearson Education, Inc.; 2005
- [3] Dashti, A. E et all. *Streaming Media Server Design*. Pretentice Hall IMSC Press Multimedia Series, 2003.
- [4] Kurose JF, Ross KW. *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*. Pearson Educations, Inc.; 2003.
- [5] Wu D, Hou YT, Zhu W. *Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions*. IEEE Transactions on circuits and Systems for Video Technology. 2001; 11 (3).
- [6] Manual do Darwin Streaming Server. Available from:
<http://developer.apple.com/darwin/projects/streaming>
- [7] Helix Community <http://helixcommunity.org>
- [8] RealNetworks. <http://www.realnetworks.com>
- [9] Apple. <http://www.apple.com>
- [10] Microsoft. <http://www.microsoft.com>
- [11] Schulzrinne, H., "Real Time Streaming Protocol (RTSP)", RFC 2326, April 1998.
- [12] Handley, M. and V. Jacobson, "SDP: Session Description Protocol", RFC 2327, April 1998.
- [13] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R. and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC 3550, July 2003.
- [14] Schulzrinne, H. and S. Casner, "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", RFC 3551, July 2003.
- [15] Helix Community. <http://protocol.helixcommunity.org>
- [16] *Ethereal: Display Filter Reference: Real Data Transport*
<http://www.ethereal.com/docs/dfref/r/rdt.html>
- [17] Wiki Ethereal <http://wiki.ethereal.com/RDT>

- [18] Handley, M., "SAP - Session Announcement Protocol", RFC 2974, October 2000.
- [19] Postel, J., "User Protocol Datagram", STD 5, RFC 768, August 1980.
- [20] Postel, J., "Transmission Control Protocol", STD 7, RFC 793, September 1981.
- [21] Real Produce 10. Available from:
<http://service.real.com/help/library/guides/RealProducer10/producer.htm>
- [22] Schulzrinne H, Casner S, Frederick R, Jacobson V. "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications ", RFC 3550, July 2003.
- [23] TV Digital Tutorial – Inatel.
<http://www.inatel.br/posgraduacao/tvdigital/downloads.cfm>
- [24] Velho J, Nigro M. Vídeo e Áudio Digital no Macintosh. São Paulo: Editora Bookmarks; 2002.
- [26] Wireless Local Area Networks and 802.11 Standard – March 31, 2001
- [27] McFarland B, Wong M. The Family Dynamics of 802.11. ACM Queue. 2003; 1: 28 – 38.
- [28] Wi-Fi Certified for WMM – Support for Multimedia Applications with Quality of Service in Wi-Fi Networks – Wi-Fi Alliance – September 1, 2004. Available from:
<http://www.wi-fi.org>
- [29] Takahata K, Uchida N, Shibata, Y. QoS Control for Real Time Video Stream over Hybrid Network by Wired and Wireless LANs. Proceedings of the 17 th International Conference on Advanced Information Networking and Applications; 2003.
- [30] Jun J, Peddabachagari P, Sichitiu M. Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications. Department of Electrical and Computer Engineering. North Carolina State University.
- [31] Corrêa CE. Avaliação de desempenho de rede sem fio 802.11b. Monografia de Mestrado Profissional. Campinas: Instituto de Computação, Unicamp; 2004.
- [32] <http://www.microsoft.com/windowsmobile/devices/pocketpc/ppc/americas.msp>
- [33] Tirumala, A; Qin, F; Dungan, J; Ferguson, J; Gibbs, K. IPERF Version 1.7.0 – March 2003 - <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
- [34] Video Quality Expert Groups (VQEG) <http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/>

[35] Sorenson Squeeze 4, Compression Suite User Guide, SorensonMedia, p.105.

Available from: <http://www.sorenson.com>

[36] Ethereal. <http://www.ethereal.com/>

[37] Proxim Wireless Networks. <http://www.proxim.com>

[38] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://www.ieee.org>

[39] Wi-Fi Alliance. <http://www.wi-fi.org>