AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
DE REDES SEM FIO 802.11b

CLAUDEMIR EMERSON CORRÊA

TRABALHO FINAL DE MESTRADO PROFISSIONAL

Instituto de Computação
Universidade Estadual de Campinas

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REDES SEM FIO 802.11b

Claudemir Emerson Corrêa

Dezembro 2004

Banca Examinadora:

- **Prof. Dr. Nelson L. S. da Fonseca (Orientador)**
  Instituto de Computação – UNICAMP
- **Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub**
  Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – UNICAMP
- **Prof. Dr. Ricardo Dahab**
  Instituto de Computação – UNICAMP

UNIDADE BC
Nº CHAMADA T/UNICAMP C817a
EX
TOMBO BC/ 66707
PROC. 16-123-06
C ☐ D ☒
PREÇO 11,00
DATA 12/01/06
Nº CPD
Leilo - id 374429

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP

Correa, Claudemir Emerson

C817a Avaliação de desempenho de redes sem fio 802.11b / Claudemir Emerson Correa -- Campinas, [S.P. :s.n.], 2004.

Orientadores : Nelson Luis Saldanha da Fonseca; Omar Carvalho Branquinho

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

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

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REDES SEM FIO 802.11b

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho Final devidamente corrigida e defendida por Claudemir Emerson Corrêa e aprovada pela Banca Examinadora.

Campinas, 22 de Dezembro de 2004.

Prof. Dr. Nelson Luis Saldanha da Fonseca
(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 Engenharia de Computação.

SC1696

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho Final Escrito defendido e aprovado em 22 de dezembro de 2004, pela Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores:

Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub
FEEC- UNICAMP

Prof. Dr. Ricardo Dahab
IC - UNICAMP

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

Claudemir Emerson Corrêa, 2004

© Todos os direitos reservados.

RESUMO:

As redes locais sem fio (WLANs) têm crescido muito ultimamente com a popularidade do padrão 802.11. Diferentemente das redes cabeadas, as WLANs têm algumas características específicas da tecnologia sem fio e utilizam configurações de parâmetros que afetam o desempenho e a interoperabilidade.

Este trabalho avalia as redes locais em fio 802.11b, com arquiteturas *Fat* e arquiteturas *Thin*. Apresentam-se resultados de medidas de desempenho, nos quais os Pontos de Acesso (APs) testados foram submetidos a tráfego UDP, tendo sido testado o tráfego no sentido AP para estação sem fio. Foram avaliadas situações de taxa máxima fornecida, comportamento com saturação de tráfego e comportamento com estação em condição desfavorável. Mostra-se a superioridade de desempenho na arquitetura *Thin* em relação às arquiteturas *Fat*. Justifica-se o desempenho considerando uma priorização de tráfego em função da relação sinal-ruído.

ABSTRACT:

Wireless Local Area Networks (WLANs) have grown a lot with the popularity of the 802.11 standard. WLAN is different than network wired, it has some specific features from wireless technology and use parameters to configure that affect performance and interoperability.

This assignment evaluate WLANs 802.11b, with Fat architectures and Thin architecture. It presents results of performance measures, tested Access Point (APs) were submitted to UDP traffic. The traffic flowed from AP to wireless station. The assignment evaluated situations to supplied maximum rate, behavior with traffic saturation and behavior with station in degraded rate. It show the good performance with Thin architecture regarding Fat architectures. It justify the performance result considering a traffic priorization for signal-noise ratio.

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha esposa Andrea e minha filha Yasmin.

Agradecimentos

Agradeço a DEUS pela oportunidade de realizar este trabalho.

À minha esposa Andrea e minha filha Yasmin que me incentivaram bastante neste trabalho. O carinho e o amor delas foram essenciais.

Aos meus orientadores Nelson e Omar pelo apoio, paciência, atenção, sugestões, amizade e orientação fornecida durante a realização deste trabalho.

ÍNDICE

1. **INTRODUÇÃO** 1

2. **REDES LOCAIS SEM FIO – PADRÃO 802.11** 3

2.1. Redes Locais sem Fio 3

2.2. Configurações 5

2.2.1. Topologia 5

2.2.2. Componentes 7

2.2.3. Arquiteturas de APs 8

2.3. Camada de Protocolos 9

2.3.1. Camada Física 11

2.3.2. Subcamada MAC 13

2.4. Serviços 19

2.5. Categorias de Redes *Wireless* 22

2.5.1. Residencial 22

2.5.2. Corporativa 22

2.5.3. Pública 23

2.6. Família 802.11 24

2.6.1. IEEE802.11b 25

2.6.2. IEEE802.11a 26

2.6.3. IEEE802.11g 26

2.6.4. Comparativo 802.11a, 802.11b e 802.11g 27

2.7. Conclusões Parciais 29

3. **FATORES DE INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DA WLAN** 31

3.1. Propagação de Sinais 31

3.1.1. Propagação de RF em Espaço Livre 34

3.1.2. Reflexão 35

3.1.3. Difração 36

3.1.4. Espalhamento 37

3.2. Antenas 38

3.3. Cobertura 40

3.4. Interferências por RF 41

3.5. Tráfego de Dados 43

3.6. Mobilidade 45

3.7. Desempenho – DCF 47

3.8. Conclusões Parciais 50
4. AVALIAÇÃO DE WLAN 51
4.1. Desempenho de Redes 51
4.1.1. Taxa Máxima Fornecida 52
4.1.2. Operação na Região de Saturação 53
4.1.3. Desempenho da Rede com EW Desfavorável 54
4.2. Software para Medições e Geração de Tráfego em WLANs 55
4.2.1. IPERF 56
4.2.2. UDP 58
4.2.3. RTP 58
4.3. Conclusões Parciais 59
5. RESULTADOS E ANÁLISES 61
5.1. APs de Arquitetura *Fat* 61
5.1.1. Taxa Máxima Fornecida por APs *Fat* 61
5.1.2. Comportamento na Região de Saturação – APs *Fat* 64
5.1.3. Taxa com EW Desfavorável – APs *Fat* 71
5.2. AP de Arquitetura *Thin* 74
5.2.1. Taxa Máxima Fornecida pelos APs 75
5.2.2. Comportamento na Região de Saturação – AP *Thin* 76
5.2.3. Taxa com EW Desfavorável – AP *Thin* 77
5.3 Conclusões Parciais 85
6. CONCLUSÕES 87
7.1. Trabalhos Futuros 89
LISTA DE ABREVIAÇÕES 91
APÊNDICE 95
Anexo A – Linha de comando IPERF 95
Anexo B – Exemplos de dados IPERF 96
Anexo C – Figuras de Comportamento na Região de Saturação 97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 103

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A rede WLAN (*Wireless Local Area Network*), na sua forma infra-estruturada, é composta por um ponto de acesso (*Access Point* - AP) e estações *wireless* (EW), que compartilham temporalmente a mesma banda. O AP provê uma área de cobertura similar ao que acontece em sistemas celulares. O padrão 802.11 [1] é o mais empregado em redes WLAN.

Atualmente, as duas arquiteturas de AP mais difundidas são: *Fat* e *Thin*. Na arquitetura *Fat* todas as funcionalidades de segurança, gerenciamento e controle estão localizados no AP. Na arquitetura *Thin* existe uma centralização das funções de controle e gerência. No AP são implementadas basicamente as funções de interface aérea.

A motivação em verificar a anomalia da WLAN em [2] originou os estudos para este trabalho. Diferentemente de [2], que verificou o comportamento de uma WLAN com AP de arquitetura *Fat* e com taxas de transmissão na EW sendo configurada, este trabalho avalia o comportamento para as arquiteturas de APs *Fat* e *Thin*. Para a EW transmitir com taxas degradadas, optou-se em posicionar a EW de modo que fatores como distância e interferências, influenciassem nas taxas atingidas entre EW e AP.

O objetivo deste trabalho é avaliar estas duas arquiteturas e verificar os seguintes pontos: taxa máxima fornecida, condição de saturação e desempenho com EW em condição desfavorável. Foram observadas as vantagens da arquitetura *Thin* com centralização das funcionalidades da MAC (*Medium Access Control*) no dispositivo central denominado WS (*Wireless Switch*).

O primeiro conjunto de testes avaliou a taxa máxima fornecida pelo AP. Esta taxa efetiva foi bem menor do que a taxa na camada física. O segundo conjunto de testes avaliou o comportamento da rede quando a taxa máxima fornecida foi excedida. Foram encontradas oscilações nas taxas fornecidas pelas arquiteturas *Fat* e *Thin* com o aumento da taxa solicitada. Observou-se instabilidades quando a taxa máxima fornecida foi ultrapassada. No último conjunto de testes, foi avaliado o desempenho da rede quando existia uma EW em condição desfavorável, ou seja, com taxa de transmissão variando em função de baixa relação sinal-ruído. Esta condição foi explorada em [2],

demonstrando uma anomalia na MAC, com a degradação de desempenho quando existia a estação em condição desfavorável, prejudicando o desempenho de toda a rede. No presente trabalho, foi avaliado que esta anomalia de fato existe, porém somente para a arquitetura *Fat*. Para a arquitetura *Thin* avaliada foi encontrada uma estabilidade nos resultados, não tendo sido encontrada a anomalia mencionada em [2].

O presente trabalho está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 descreve o padrão IEEE 802.11 através de suas camadas, arquiteturas, topologias e componentes. São mostrados os cenários de utilização da WLAN e finalmente a família 802.11. As redes 802.11a , 802.11b e 802.11g são descritas. O Capítulo 3 mostra fatores que influenciam a comunicação em uma WLAN, tais como propagação dos sinais, a cobertura, a interferência, a mobilidade, o tráfego e concluindo com a análise sobre a taxa de transmissão alcançada na MAC. O Capítulo 4 descreve parâmetros que avaliam o desempenho de uma WLAN e software de medições para obter estes parâmetros. O Capítulo 5 demonstra os comportamentos da WLAN 802.11b avaliada em laboratório. São derivadas condições de operação para estas redes onde são observados os comportamentos de APs de mesma arquitetura e APs que empregam arquiteturas diferentes. O Capítulo 6 mostra uma análise sobre o desempenho da WLAN com as arquiteturas *Fat* e *Thin*, mediante os dados obtidos no capítulo anterior. No Capítulo 7, são derivadas as conclusões sobre os estudos realizados e vislumbrado um horizonte para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REDES LOCAIS SEM FIO – PADRÃO 802.11

As WLANs atingem hoje capacidades comparadas às das redes cabeadas 10Base-T [3]. Existem diversas razões que motivam a expansão do uso deste tipo de rede, tais como:

- As limitações na infra-estrutura para instalação de cabos, gerando alto custo;
- A flexibilidade para se conectar , verificada nas redes sem fio;
- A mobilidade oferecida;
- O acesso à rede em pontos abertos como por exemplo, fora da empresa ou da casa.

As redes sem fio ou redes *wireless* serão descritas, considerando-se: topologia, serviços, camadas, ambientes de uso e especificações do IEEE para as famílias de WLANs 802.11.

2.1. Redes Locais sem Fio

Com o avanço da tecnologia sem fio, o IEEE (*Institute of Eletrical and Electronics Engineers*) criou um grupo de estudo para a elaboração de padrões às WLAN. O grupo criado pelo IEEE surgiu em 1990, denominado de 802.11, tendo como objetivo desenvolver uma camada de Enlace (*Medium Access Control* – MAC) e uma camada Física (*Physical Layer* - PHY). A partir daí, várias propostas foram publicadas e revisadas.

Em 1997, após sete anos de trabalho, o IEEE publicou o 802.11 [4] , o primeiro padrão para redes locais sem fio (WLAN). O padrão 802.11 especifica uma arquitetura para as WLAN que suportam uma taxa de transferência de dados de 1Mbps com suporte opcional para 2Mbps. Mesmo com o aumento desta taxa para 2Mbps, as WLAN não atendiam a necessidade de taxa de transmissão em alguns casos. Com isso, em setembro de 1999 o IEEE publicou o padrão 802.11b [5], um suplemento ao padrão original 802.11, na qual adicionou mais duas novas taxas de transmissão: de 5,5Mbps e 11Mbps. A 802.11b trouxe aos usuários de WLAN disponibilidade de taxas de transmissão

similares a *Ethernet*. Avanços nas técnicas de transmissão de sinais de RF (*radio frequency*) permitiram as WLAN, chegarem à taxa de transmissão de 54Mbps, no padrão 802.11a [6] e no padrão 802.11g [7].

O padrão 802.11 define uma MAC e define uma camada Física. A Figura 1 ilustra a pilha de protocolos focada pelo padrão 802.11. As transmissões realizadas em RF suportam estações sem fio fixas ou móveis dentro da área de atuação da rede. Outra especificação do padrão IEEE 802.11 é suportar dois diferentes métodos para a MAC: um método para tráfego assíncrono e outro para tráfego com retardo limitado (*time bounded*). Os métodos de função coordenada distribuída (*Distributed Coordination Function* – DCF) e de função coordenada pontual (*Point Coordination Function* – PCF) suportam estes dois tipos de tráfegos [4].

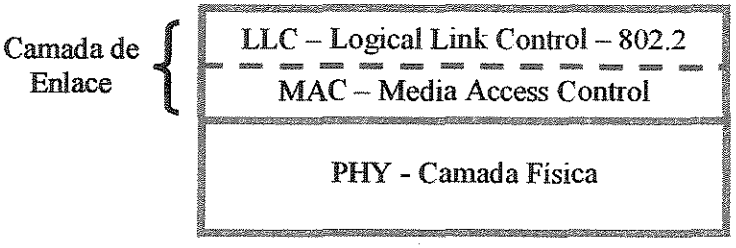


Fig.1 – Pilha de Protocolos focada pela 802.11

O método de função coordenada distribuída (DCF) foi desenvolvido para transporte assíncrono de dados, onde todos os usuários com dados têm a chance de acessar a rede e a decisão de transmitir é tomada individualmente pelas estações [4]. No método de função coordenada pontual (PCF) a decisão de quando transmitir é centralizada no AP [1].

2.2. Configurações

As configurações para 802.11 consideram as topologias, componentes e arquiteturas *Fat* e *Thin* encontradas no AP. As topologias descrevem configurações físicas possíveis da rede *wireless* e a estrutura organizacional formada com esta configuração. Os componentes são descritos quanto à funcionalidade e característica do mesmo perante a rede. Dado que este trabalho aborda WLAN infra-estruturada, são verificadas as arquiteturas dos APs, atualmente denominadas *Fat* e *Thin*.

2.2.1. Topologia

A 802.11 suporta três topologias básicas: a IBSS (*Independent Basic Service Set*), o BSS (*Basic Service Set*) e o ESS (*Extended Service Set*) [8].

A 802.11 define dois modos: *Ad hoc* e infra-estruturado. O modo infra-estruturado formado por uma rede *wireless* que através do AP conecta-se a uma rede cabeada um grupo de estações *wireless*. Esta configuração é conhecida por BSS [8] e está ilustrada na Figura 2. O modo infra-estruturado é utilizado nos testes realizados neste trabalho.

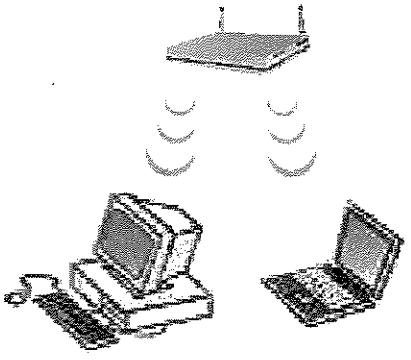


Figura 2 – BSS em Modo Infra-estrutura

O modo *Ad hoc* é dado por uma configuração ponto à ponto (*peer-to-peer*) entre estações *wireless*. A estação *wireless* comunica-se diretamente com a outra, formando assim uma IBSS [3], como na Figura 3. O modo de operação *Ad hoc* é ilustrado, mas não experimentado no trabalho.

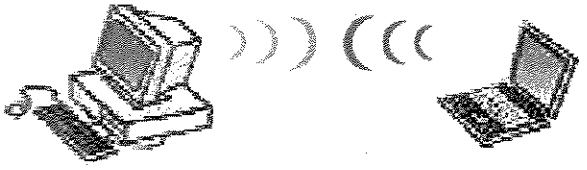


Figura 3 – Modo Ad Hoc

A comunicação entre dois ou mais APs através de uma rede cabeada utiliza a função de ponte (*Bridge*) dos APs e permite assim, a BSS compartilhar os serviços de uma DS (*Distribution System*), como impressoras, servidores de arquivos e o uso à Internet. Uma ESS é um grupo de duas ou mais BSSs formando uma sub-rede, conforme ilustra a Figura 4. A configuração ESS consiste de múltiplas células de BSS que podem ser acessadas por *backbones* cabeados ou sem fio [8].

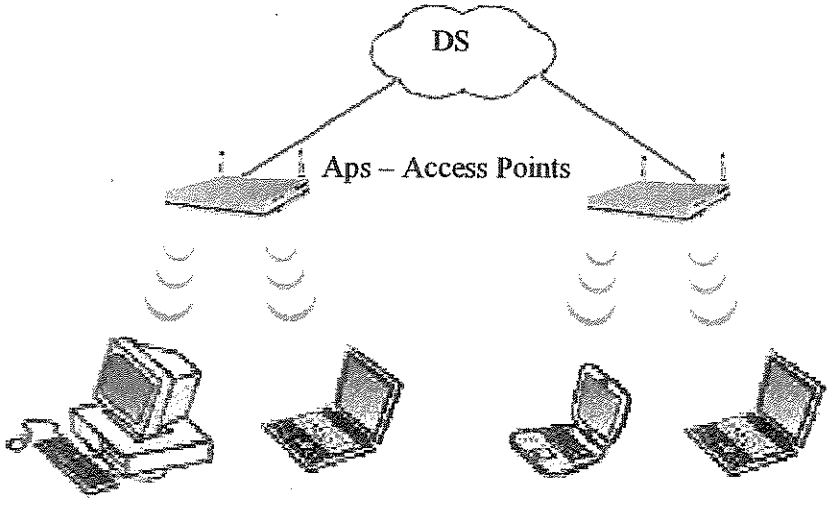


Figura 4 – ESS com duas BSS

2.2.2. Componentes

Uma WLAN tem componentes análogos às redes cabeadas *Ethernet*. A alteração ocorre onde as interfaces cabeadas dão lugar à interface aérea. Além do cartão de rede (placa de rede) outros dispositivos similares na rede cabeada fazem parte das redes *wireless*. Os dispositivos mais comuns em uma WLAN são:

- **Pontos de acesso (AP – *Access Point*)**

O ponto de acesso é um dispositivo que liga uma rede *wireless* à uma LAN cabeada (*Ethernet*). O AP cria uma cobertura efetiva de uma rede sem fio possuindo características de segurança e gerenciamento de rede. Redes *wireless* de dois ou três PCs geralmente não necessitam de AP [8]. Em geral, o AP possui uma porta *Ethernet*, ao qual pode ser conectado um *hub* ou *switch* de modo a permitir a criação de uma rede mista. O AP é análogo a uma estação-base na rede de comunicação celular [4]. Os APs podem ser classificados quanto à sua arquitetura: *Fat* ou *Thin*. Estas arquiteturas são descritas a seguir.

- **Cartões PC Card**

Um cartão PC *wireless* (NIC – *Network Interface Card*) permite que usuários de laptops e PDAs conectem-se a rede *wireless* através de um AP ou ainda se comuniquem com outro computador em modo *Ad hoc* [3].

- ***Wireless Switches***

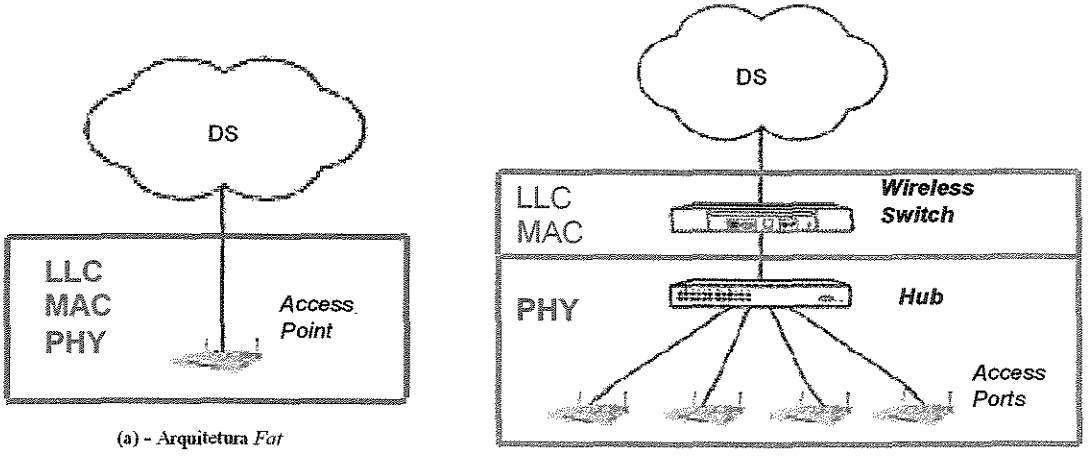
O *switch* é um equipamento que funciona como uma matriz de comutação, criando conexões entre todos os segmentos de redes locais conectados a ele. Portanto ele segmenta as redes, isolando o tráfego e evitando colisões de dados. O *switch* atua na subcamada MAC e utiliza o endereço MAC para formar tabelas dinâmicas das estações em cada segmento e cria caminhos virtuais entre estes segmentos.

Em redes *wireless*, os *switches* conectam APs e em alguns casos de arquiteturas de APs (*Fat* ou *Thin*) recebem atribuições de gerenciamento e segurança da rede.

2.2.3. Arquiteturas de APs

Para a rede infra-estruturada existem atualmente duas arquiteturas: *Fat* e *Thin*. Na arquitetura tradicional, conhecida por *Fat*, o AP concentra todas as funções implementadas no padrão 802.11 e outras funções de inteligência da rede, tais como: segurança, gerenciamento e desempenho. Não existe, portanto, um elemento central de gerência e controle dos APs. Os *switches* utilizados no DS (*Distribution System*) na arquitetura *Fat* não possuem qualquer função de comunicação entre APs [9].

Já na arquitetura *Thin* existe uma distribuição das funções com um elemento de gerência e controle central. No AP, concentram-se as funções básicas da 802.11, principalmente de interface aérea. As demais funções são providas por um elemento central, tais como: autenticação, autorização e segurança. A rede *Thin* avaliada neste trabalho possui uma característica adicional, que é a divisão da camada PHY e de Enlace. Neste caso a MAC passa a ser também centralizada [10]. A Figura 5 mostra esta arquitetura.



(a) - Arquitetura *Fat*

(b) - Arquitetura *Thin* com MAC centralizada - Symbol

Fig. 5 – Arquiteturas *Fat* e *Thin*

Para diferenciar o AP tradicional deste elemento que implementa somente a camada PHY, este é denominado *Access Port* (APo).

2.3. Camada de Protocolos

O padrão 802.11 define especificações para redes *wireless* (WLAN), que provê conectividade entre estações *wireless* locais e redes cabeadas. Assim como outros padrões da família 802 (802.3 – *Ethernet* e 802.5 – *Token Ring*), a 802.11 define uma camada Física (PHY) e uma subcamada da camada de Enlace. Os protocolos das camadas Física e MAC diferem-se em relação aos demais da família 802. A rede integra-se através da subcamada LLC, que está logo acima da MAC na pilha de protocolo. A Figura 6 ilustra como a 802.11 e a 802.3 (*Ethernet*) podem ser integradas via subcamada LLC. A arquitetura lógica da 802.11 é aplicada em toda estação *wireless*, que consiste da subcamada MAC e uma camada Física.

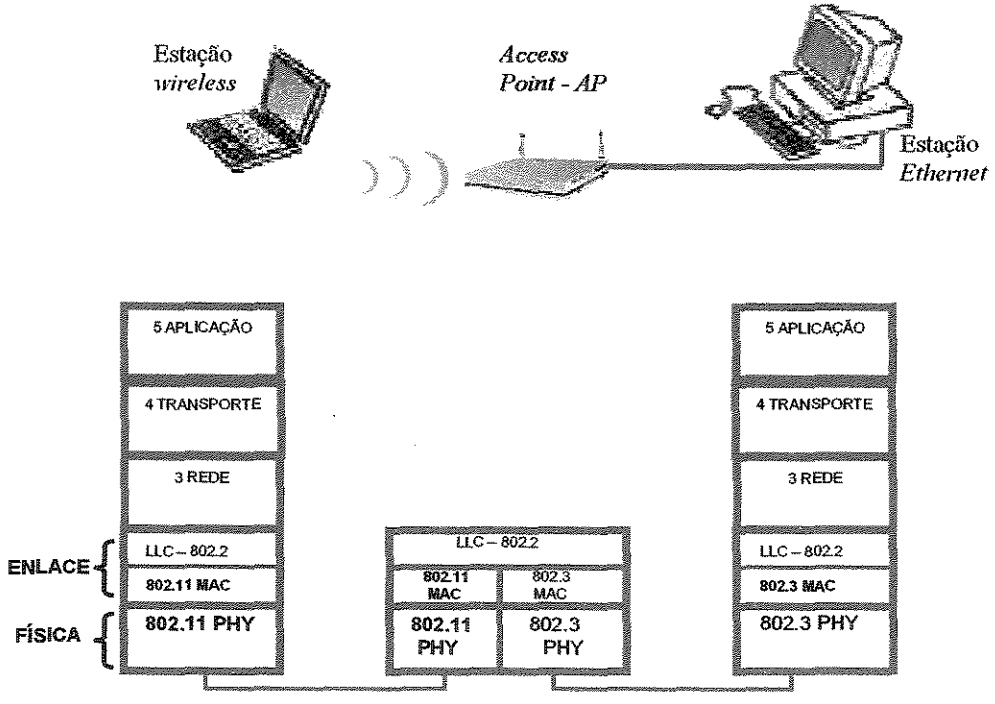


Fig. 6 – Integração 802.11 c/ 802.3

A 802.11 mostra a pilha de protocolo enfatizando a separação do sistema em duas grandes partes que são: a MAC da camada de Enlace e a PHY. As camadas têm a intenção de corresponder às camadas da ISO/IEC [1]. As camadas e subcamadas são mostradas na Figura 7.

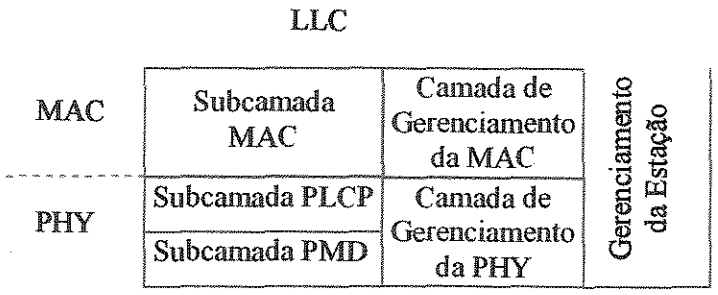


Figura 7 – Modelo IEEE802.11 em Subcamadas

A subcamada LLC é responsável pela interface com as camadas superiores e com outras camadas do IEEE 802 (*Logical Link Control* – LLC) [1].

A subcamada MAC é responsável pelo mecanismo de alocação de canal, pelo endereçamento do PDU (*Protocol Data Unit*), formação do quadro, verificação de erros, fragmentação e montagem novamente [4]. A Camada de Gerenciamento do Nível MAC (MAC *Layer Management Entity*) tem funções de sincronização (encontra e mantém a conexão com a WLAN), gerenciamento de energia (*sleeping* sem perda de qualquer mensagem), *roaming*, MAC MIB (*Management Information Base*) gerenciamento básico.

A subcamada PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*) permite a MAC operar com dependência mínima na subcamada PMD (*Physical Medium Dependent*) e tem a função de prover um mecanismo para transferência de MPDUs (*MAC Protocol Data Unit*) entre duas ou mais estações sobre a subcamada PMD [1], provê o CCA (*Clear Channel Assesment - carrier sense*). A subcamada PMD modula e codifica sinais utilizados na comunicação.

A camada Gerenciamento do Nível Físico (PHY *Layer Management*) é responsável pela modulação de canais e a PHY MIB. O Gerenciamento da Estação (*Station Management*) interage com o gerenciamento MAC e PHY [1].

A interação entre as subcamadas é importante para o processo de *fallback*, que permite a alteração nas taxas de transmissão. Para isso a camada Física é capaz de aceitar uma taxa nominal e dinamicamente detectar a taxa de transmissão dos dados, informando a MAC. Os fatores que influenciam o desempenho da rede *wireless* serão tratados no Capítulo 3.

2.3.1. Camada Física

O padrão 802.11 define duas técnicas de transmissão: o infravermelho e o RF. A transmissão por RF utiliza técnicas de espalhamento de espectro, tais como: o espalhamento de espectro por salto em freqüências (*Frequency Hopping Spread Spectrum* - FHSS) ou espalhamento de espectro por seqüência direta (*Direct Sequence Spread Spectrum* - DSSS) ou ainda a Multiplexação por Divisão de Freqüência Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – OFDM). Todas as camadas físicas do 802.11 incluem a provisão de um sinal de avaliação de canal livre (*Clear Channel Assessment signal* - CCA) que é utilizado pela camada MAC para indicar se o meio está livre. A modulação utilizada determina a eficiência da potência utilizada, a sensibilidade e as taxas de transmissão que podem ser alcançadas.

Neste trabalho somente considera-se o DSSS, que utiliza a banda ISM de 2,4 GHz. A taxa básica de 1 Mbps é gerada através de uma modulação diferencial binária por chaveamento de fase (*Differential Binary Phase Shift Keying* - DBPSK) e a taxa de 2 Mbps usa uma modulação diferencial quaternária por chaveamento de fase (*Differential Quadrature Phase Shift Keying* - DQPSK) [1]. O espalhamento é feito através da divisão da banda disponível em 11 sub-canais (cada um com 11 MHz) e do espalhamento de cada símbolo de dados, usando uma seqüência de Barker de 11 chips/symbol. A Tabela I ilustra as modulações, códigos e símbolos aplicados na transmissão da 802.11b para atingir a taxa de transmissão na camada física. A largura de um canal DSSS é de 20 MHz, ou seja, no máximo três canais não sobrepostos podem ser usados.

Tabela I
Especificações da Camada PHY – 802.11b [8]

Taxa de Transmissão	Modulação	Código	Taxa por Símbolo	Bits/ Símbolo
1 Mbps	DBPSK	11 (Baker)	1 MSps	1
2 Mbps	DQPSK	11 (Baker)	1 MSps	2
5,5 Mbps	DQPSK	8 (CCK)	1,375 MSps	4
11 Mbps	DQPSK	8 (CCK)	1,375 MSps	8

Os padrões 802.11a [6], 802.11b [11] e 802.11g [7] alteram a camada física do 802.11 para proverem taxas de transmissão mais altas. O padrão 802.11b [5] especifica taxas de transmissão mais altas na banda de 2,4 GHz, através da alteração de alguns pontos da norma básica 802.11. O padrão 802.11a [6] utiliza a banda de 5 GHz para poder prover taxas de até 54Mbps e o padrão 802.11g provê 54Mbps na banda de 2,4GHz. Ambos complementam a norma básica 802.11 em alguns pontos e a camada física utiliza uma multiplexação por divisão ortogonal em freqüência (OFDM).

O OFDM transmite sinais múltiplos simultaneamente em cima de um único caminho de transmissão. Cada sinal é enviado dentro de uma única faixa de freqüência (portadora), o qual é modulada pelos dados que nela trafegam. Esses dados podem incluir voz, fluxo de dados e vídeos [12]. O OFDM utiliza modulação QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) e um processamento digital, distribuindo os dados em cima de portadoras múltiplas, distanciadas entre freqüências precisas. O espalhamento provê a ortogonalidade, que impede demodulação por freqüências diferentes, dado que cada portadora é identificada exclusivamente. São eliminadas faixas de guarda e aumenta-se a eficiência do uso de espectro de freqüência.

Um importante aspecto da camada Física é seu sistema de modulação, pois ele irá determinar a taxa de transmissão. A Tabela II apresenta as modulações utilizadas em cada uma das especificações da família 802.11 para PHY e as taxas de transmissão alcançadas .

Tabela II
Modulações da PHY

Especificação	Modulação	Taxa de Transmissão na PHY
802.11 / 802.11b / 802.11g	DBPSK	1 Mbps
802.11 / 802.11b / 802.11g	DQPSK	2 Mbps
802.11b / 802.11g	DQPSK	5.5 Mbps
802.11a/ 802.11g	OFDM	6 Mbps
802.11a/ 802.11g	OFDM	9 Mbps
802.11b / 802.11g	DQPSK	11 Mbps
802.11a/ 802.11g	OFDM	12 Mbps
802.11a/ 802.11g	OFDM	18 Mbps
802.11a/ 802.11g	OFDM	24 Mbps
802.11a/ 802.11g	OFDM	36 Mbps
802.11a/ 802.11g	OFDM	48 Mbps
802.11a / 802.11g	OFDM	54 Mbps

2.3.2. Subcamada MAC

A subcamada MAC do 802.11 suporta dois métodos de acesso ao meio e estes podem operar exclusivamente em modo de contenção, controlando através de um *polling* (sinal de controle) todas as estações para conter o acesso para o canal por cada pacote transmitido. O meio pode também alternar entre o modo de contenção, conhecido como período de contenção (*Contention Period* – CP) e período livre de contenção (*Contention Free Period* – CFP). Durante o CFP, o uso do meio é controlado pela AP (*Access Point*), eliminando a necessidade de estações competirem pelo acesso ao canal [4].

O IEEE 802.11 possui três tipos de quadros:

- Quadros de gerenciamento - são usados para associação e desassociação de estações com a AP, temporização, sincronização, autenticação e desautenticação;
- Quadros de Controle – são usados por reconhecimento durante o CP e final do CFP;
- Quadros de dados – são usados para transmissão de dados durante o CP e CFP. Podem ser combinados com *poolling* e reconhecimentos durante o CFP.

O formato do quadro padrão IEEE 802.11 é ilustrado pela Figura 8. Verifica-se que o campo "*frame body*" tem comprimento variado, dada à encriptação/decriptação, se o protocolo WEP (*Wired Equivalent Privacy*) é implementado ou não [4].

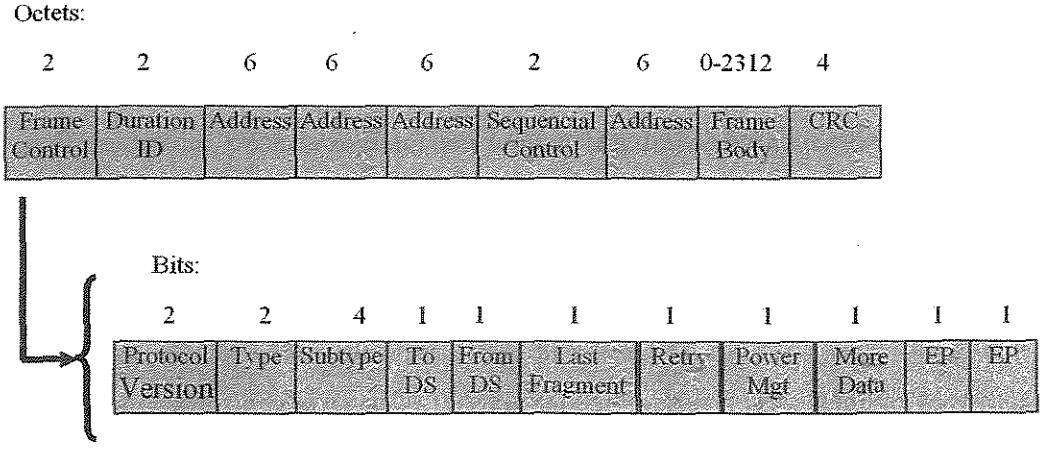


Figura 8 – Formato do Quadro Padrão IEEE 802.11

A arquitetura da MAC é ilustrada pela Figura 9, onde DCF suporta serviços de contenção.

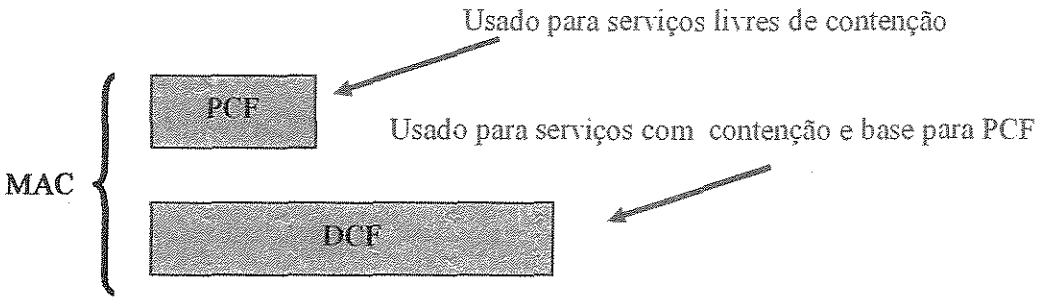


Figura 9 – Arquitetura MAC

A camada MAC define dois tipos de funções de acesso ao meio: a função de coordenação distribuída (*Distributed Coordination Function* - DCF) e a função de coordenação pontual (*Point Coordination Function* - PCF).

- **A Função de Coordenação Distribuída – DCF**

O DCF, mecanismo básico de acesso ao meio no 802.11, é de modo simples, um acesso múltiplo com detecção de portadora evitando colisões (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* - CSMA/CA) com reconhecimento positivo, ou seja, utiliza ACK. Embora o método de acesso CSMA/CD (CSMA com detecção de colisão) seja utilizado nas redes IEEE 802.3, ele não é adequado às redes 802.11, pois nesse caso a detecção de colisões é muito difícil, por assumir que todas as estações ouvem as outras e ocorre a utilização do mesmo canal para transmissão de TX e RX.

Existem dois tipos de DCF no padrão: o baseado em CSMA/CA (obrigatório) e outro (opcional) que utiliza pedidos e permissões para transmitir dados (*Request To Send* – RTS e *Clear To Send* - CTS), que é utilizado em situações de estação escondida. As estações escondidas afetam o desempenho das WLANs, pois uma estação não pode "ouvir " a outra, mas ambas podem "ouvir" o AP. O desempenho é prejudicado devido a colisões que podem ocorrer a qualquer estágio de uma transmissão, TX ou RX. E para reduzir a probabilidade de colisões a 802.11 define o mecanismo de verificação de portadora virtual (*Virtual Carrier Sense Mechanism*), que utiliza o RTS e o CTS. O funcionamento básico do DCF é ilustrado pela Figura 10.

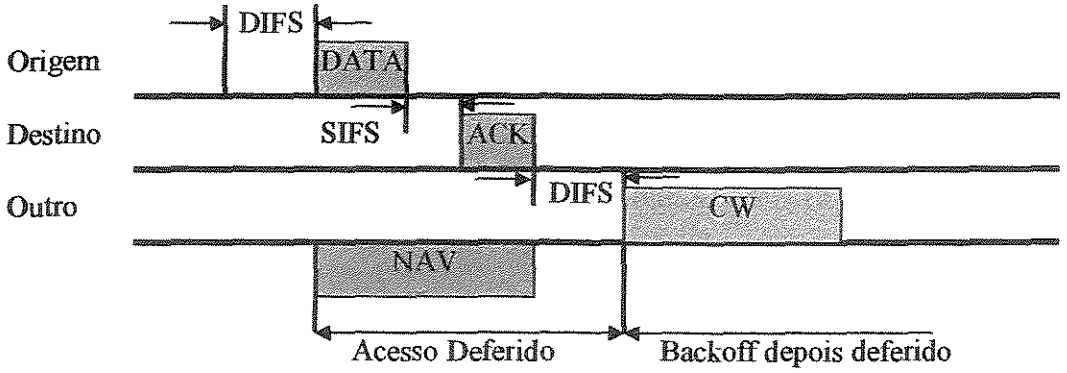


Figura 10 – Funcionamento básico do DCF

Quando uma estação deseja transmitir algum quadro, ela "ouve" o meio (detecta ou não a portadora). Caso o meio esteja livre após um determinado tempo, chamado espaço distribuído entre quadros (*Distributed Interframe Space* - DIFS), a estação transmite. Caso contrário, a transmissão é adiada e se inicia um processo de *backoff*, no qual a estação escolhe um tempo aleatório uniformemente distribuído entre zero e o tamanho da janela de contenção (CW), evitando assim colisões e criando um temporizador de *backoff*. Esse método é conhecido como *backoff* exponencial binário. Este temporizador é decrementado periodicamente quando o meio está livre por mais de DIFS segundos, ou seja, não há nenhuma estação transmitindo. O período de decréscimo é dado pelo tempo de *slot*, que corresponde ao atraso máximo de ida e volta dentro de um BSS. O temporizador é parado quando alguma transmissão é detectada no meio. Quando o temporizador expira, a estação envia o seu quadro. A estação receptora usa o método de verificação cíclica (CRC) para detectar erros e caso o pacote pareça estar correto, envia um pacote de reconhecimento (ACK). Esse ACK é enviado após um tempo, chamado SIFS (*Short Interframe Space*) após o recebimento do quadro anterior. Por definição, SIFS é menor que DIFS, ou seja, a estação receptora ouve o meio por SIFS para enviar o ACK (Figura 10). Caso a estação transmissora não receba o ACK, ela deduz que houve uma colisão, escalona uma retransmissão e entra no processo de *backoff*. Para reduzir a probabilidade de colisões, a janela de contenção começa com um valor mínimo igual a 31 [11] dado por *CWmin* e a cada transmissão mal sucedida a janela de contenção aumenta para uma próxima potência de 2 menos 1, até que seja atingido um valor máximo predefinido de 1023 [11] chamado *CWmax*. Os valores de *CWmin* e *CWmax* diferem em cada padrão. Caso um número máximo de transmissões seja alcançado (sete), o pacote é descartado. Para evitar a captura do meio, caso a

estação transmissora tenha mais algum pacote a transmitir, ela entra na fase de *backoff*. A Figura 11 ilustra a lógica utilizada pela MAC para transmissão de um quadro.

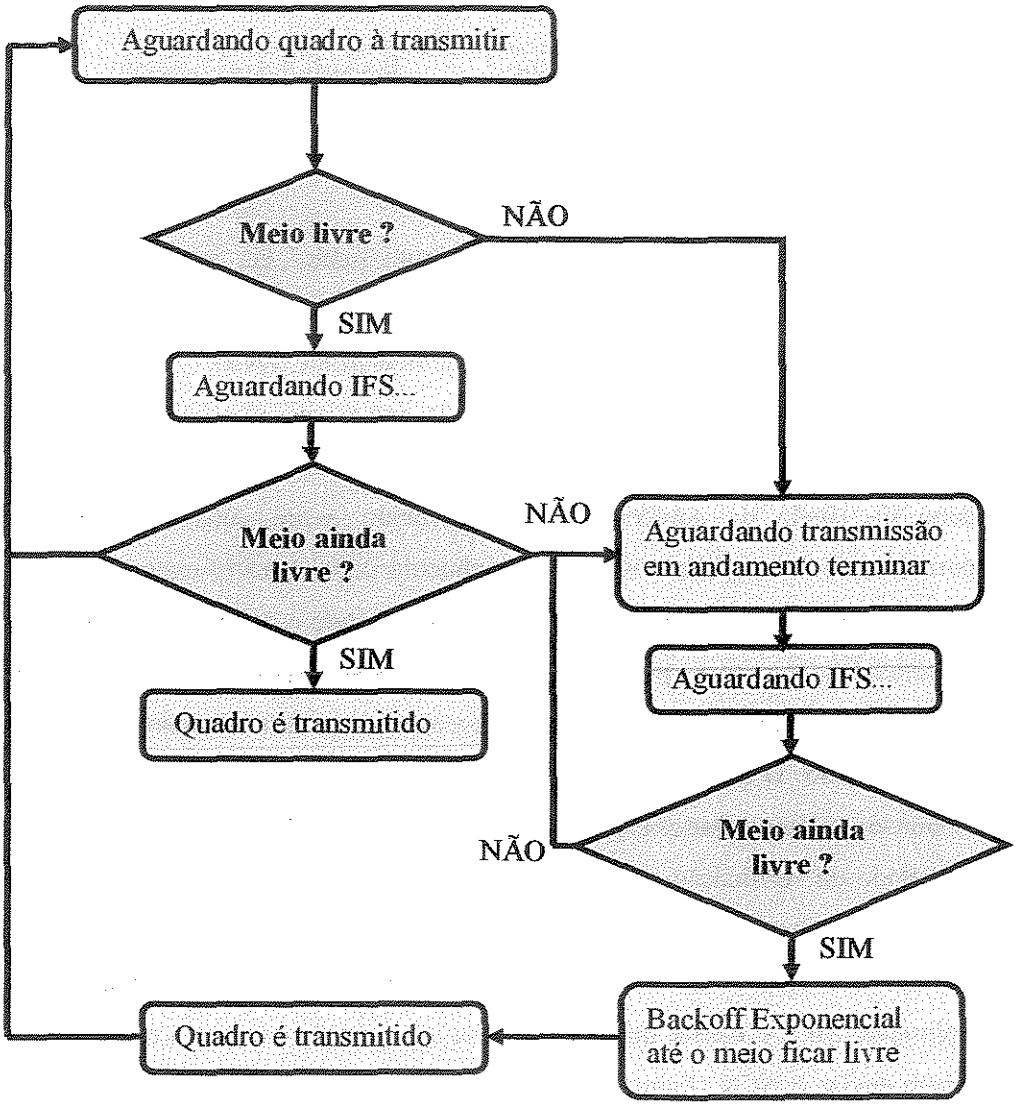


Fig .11 – Lógica da MAC

O segundo tipo de DCF, ilustrado na Figura 12, inclui pacotes RTS e CTS para evitar problemas gerados por estações "escondidas".

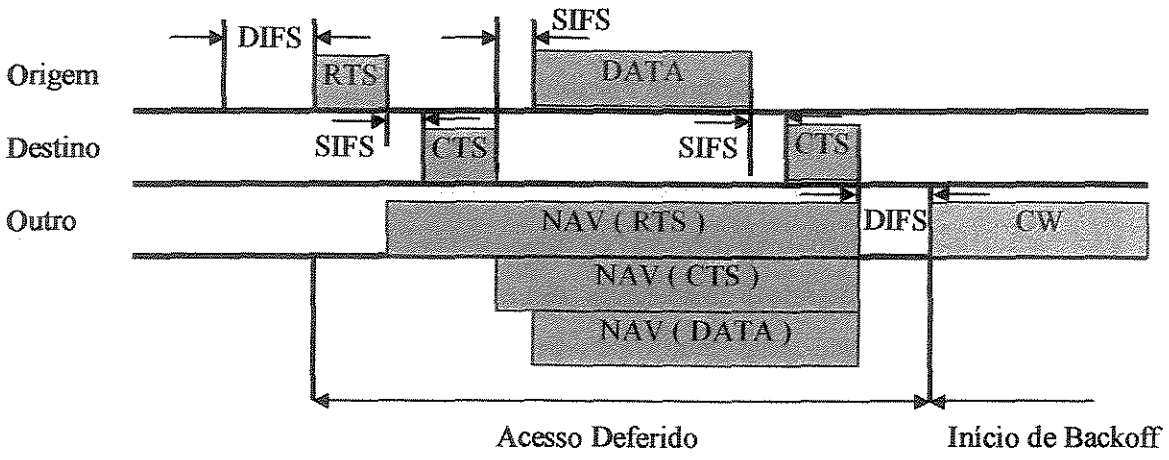


Figura 12 – Funcionamento do DCF com RTS e CTS

Nesse tipo de DCF, a detecção de portadora pode ser feita através de mecanismos da camada Física (CCA - *Clear Channel Assesment*) e virtual. O mecanismo de detecção virtual usa uma distribuição de informação de reserva do meio através da troca de quadros RTS e CTS antes do envio do dado. Os pacotes RTS e CTS contêm informações a respeito do nó de destino e de um tempo relativo ao envio do pacote de dados e de seu respectivo ACK. O uso de RTS e CTS é controlado pela estação através de um limiar de RTS (*RTSthreshold*), através do qual uma estação pode não usar o RTS e o CTS. Pode sempre utilizá-los ou ainda usá-los somente na transmissão de quadros maiores que o tamanho pré-determinado. Uma estação envia um RTS (após sentir o meio livre por pelo menos DIFS segundos) ao receptor antes da transmissão de um quadro para reservar o meio, tal como ilustra a Figura 12. A colisão de um quadro RTS de 20 *bytes* é menos severa e menos provável que uma colisão de quadros de dados que podem ter até 2346 *bytes*. O receptor responde com um CTS, após o meio estar livre por SIFS segundos, caso esteja pronto para receber. Todas as estações que ouvirem o RTS, o CTS, ou ambos, irão utilizar a informação da duração relativa ao pacote de dados para atualizar o vetor de alocação de rede (*Network Allocation Vector* - NAV), que é utilizado para uma detecção virtual da portadora (Figura 12). Essa informação indica o período de tempo pelo qual uma transmissão não é iniciada pela estação, não importando se o CCA indique que o meio está livre. Desse modo, qualquer estação escondida poderá adiar a sua transmissão para evitar colisões. Ao receber o CTS e esperar o meio estar livre por SIFS segundos (Figura 12), o transmissor inicia o envio

do quadro, como no DCF básico. Caso não receba o CTS, o transmissor entra na fase de *backoff* e retransmite o RTS.

- **A Função de Coordenação Pontual – PCF**

Outro tipo de acesso da camada MAC do 802.11 é o PCF. Apesar da implementação do DCF ser obrigatória pelo padrão, esse não é o caso do PCF. No modo PCF, um único ponto controla o acesso ao meio, através de consulta a cada estação, proporcionando a oportunidade de transmitir sem competição.

A consulta a cada estação no PCF é feita pelo AP, que divide o tempo de acesso em períodos de superquadros.

Cada superquadro compreende um período livre de contenção (modo PCF) e um período com contenção (modo DCF), como ilustra a Figura 13. Durante os períodos nos quais as estações estão no modo PCF, o AP consulta se cada estação tem algo a transmitir. As estações recebem dados quando são consultadas pelo AP.

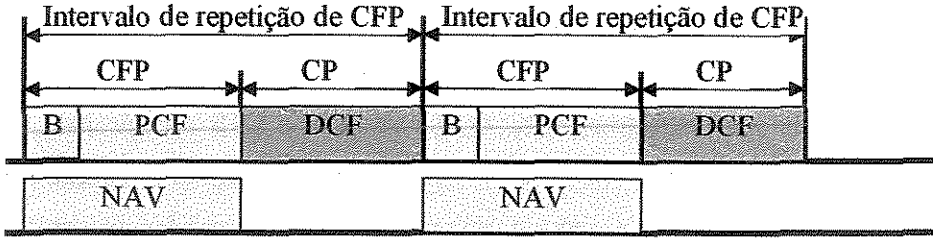


Figura 13 – Coexistência de modo DCF e PCF

O AP inicia e controla o tempo livre de contenção. Ele escuta o meio por PIFS (*Point Coordination Interframe Space*) segundos e então começa um período livre de contenção (*Contention Free Period* - CFP) através da difusão de um sinal de *beacon* (B), como ilustra a Figura 13.

Por definição, PIFS é menor que DIFS. Nenhuma estação pode começar a enviar dados no modo DCF antes do AP. Todas as estações adicionam a duração máxima do período de contenção (*CFPmaxduration*) aos seus respectivos NAVs. O período livre de contenção pode terminar a qualquer momento através do envio de um pacote *CFend* pelo AP. Isso ocorre freqüentemente quando a rede está com pouca carga. Além disso, o início de um período livre de contenção pode ser adiado por causa da transmissão de alguma estação no modo DCF.

Quando chega a vez de uma estação transmitir, o AP envia um pacote de dados, caso exista algo a ser enviado dentro de um pacote de consulta (*piggyback*). O receptor envia de volta um ACK com dados, se for o caso, depois de SIFS segundos. Após encerrar a transmissão à todas as estações contidas em uma lista de consultas, o AP reinicia o processo de consulta após PIFS segundos. Os usuários que estão sem transmitir por alguns ciclos são retirados da lista de consultas e são consultados de novo no início do próximo período livre de contenção.

O modo DCF pode ser aplicado a uma rede sem o modo PCF, mas o PCF não pode ser aplicado sem que o modo DCF esteja presente na rede. O modo DCF é escalável, devido ao período de contenção aplicado a ele. Enquanto o PCF tem limitações de escalabilidade nas redes *wireless* pela necessidade de adição de cabeçalhos pelos quadros de consulta [13]. Devido a esta adição de cabeçalhos no PCF, a rede *wireless* diminui seu desempenho referente ao ponto de vista de taxa de transmissão .

Nas avaliações feitas no presente trabalho os APs operam em modo DCF, devido ao modo PCF não aplicar o CSMA/CA. O interessante é avaliar a anomalia encontrada em modo DCF em algumas arquiteturas de APs.

2.4. Serviços

A 802.11 define serviços como sendo funções requeridas pela LLC para enviar MSDUs (*MAC Service Data Units*) entre duas entidades da rede. Estes serviços, que são implementados pela MAC, são divididos em duas categorias:

- DSS : Serviços do Sistema de Distribuição;
- SS : Serviços da Estação.

Existem 5 serviços fornecidos pelo DSS: Associação, Re-associação, Desassociação, Distribuição e Integração [1]. Os três primeiros serviços focam a mobilidade da estação. Se a estação está movendo-se dentro do próprio BSS ou não está se movendo, a mobilidade da estação é definida como não-transição. Se uma estação move-se entre BSSs no mesmo ESS, então a mobilidade da estação é BSS-transição. Se a estação se desloca entre BSSs de diferentes ESSs, então pertence à categoria ESS-transição.

Uma estação deve-se associar a uma infra-estrutura BSS quando deseja utilizar a rede. Este efeito é conseguido associando-se a estação a um AP. Associações são dinâmicas por natureza, dado que as estações movem-se, desligam-se e ligam-se (Figura 14). As estações podem estar associadas a um único ponto de acesso, o que permite ao DS saber onde essa estação está localizada.

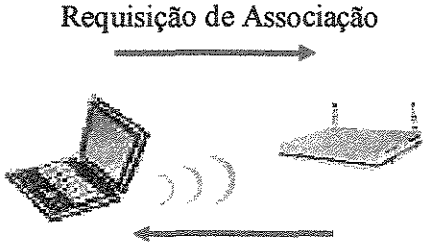


Figura 14 – Associação em WLAN

Associação suporta mobilidade não-transição, mas não consegue processar uma BSS-transição. Para esse efeito é utilizada a re-associação, que permite à estação alterar a sua ligação de um AP para outro AP. Ambos os serviços: Associação e Re-associação são efetuados pela estação. Desassociação permite quebrar a ligação entre o AP e a estação e pode ser originada por qualquer uma das partes intervenientes. Uma estação desassociada não pode receber ou transmitir dados.

No ESS, a transição não é implementada. A estação ao mudar para outro ESS terá obrigatóriamente de reiniciar as ligações. Distribuição é o serviço que permite entregar a informação do transmissor para o receptor respectivo. A mensagem é enviada para o AP local e distribuído para o DS, que encaminha para o AP final, ao qual o destinatário está associado. Caso o destinatário e a origem estejam no mesmo BSS, o AP local e o AP final serão o mesmo, sendo o serviço de distribuição acionado lógicamente, independentemente dos dados passarem por um DS ou não.

O Serviço de integração verifica quando o AP final é um portal, sendo necessário integrar a rede 802.x em um DS do 802.11. Os serviços das estações são: Autenticação, Falta de Autenticação, Privacidade e Serviço de Entrega da Unidade de Dados MAC (*MAC Service Data Unit* - MSDU). Com um sistema *wireless*, o meio não é exatamente definido como num sistema convencional.

De maneira a controlar o acesso à rede, as estações deverão primeiro estabelecer a sua identidade, que utiliza o serviço de autenticação. Uma vez que uma estação esteja autenticada, esta pode associar-se à uma BSS ou IBSS. A autenticação pode ser efetuada através de duas estações dentro de um IBSS ou através de um AP pertencente ao BSS. Autenticação fora do BSS não é aceita.

Existem dois tipos de autenticação fornecidos pela norma 802.11:

- Autenticação Aberta do Sistema, que permite dar autenticação a quem requisitar;
- Autenticação de Chave (*Shared Key*) [1], que apenas permite autenticar quem fornece a chave secreta, tornando assim o serviço restrito;

A chave secreta é implementada utilizando o algoritmo da privacidade equivalente ao *wireless* (*Wired Equivalent Privacy* - WEP).

A falta de autenticação ocorre quando a estação ou o AP decide terminar a autenticação, fazendo com que a estação seja automaticamente desassociada.

O serviço de privacidade consiste na criptografia. Através de um algoritmo que outros utilizadores do 802.11 não consigam entender a transmissão efetuada [1]. O algoritmo WEP é especificado pela norma 802.11 como um algoritmo opcional para a privacidade.

Quando o WEP não é usado, as estações estão em modo "claro", o que significa que as transmissões não estão criptografadas. Dados transmitidos no modo "claro" são denominados como texto simples (*plaintext*), enquanto que dados criptografados são chamados de texto cifrado (*ciphertext*). As estações ao iniciar, estão todas em modo "claro" até serem autenticadas. O MSDU certifica-se que a informação percorra o meio através do AP e de serviços de controle.

O algoritmo WEP permite a mudança da chave para prevenir utilização anormal das transmissões. O método WEP pode ser implementado através de *software* ou *hardware*. A razão para a qual o WEP é opcional é que a criptografia não pode ser exportada para fora dos Estados Unidos, desta maneira a norma 802.11 pode ser um padrão no resto do mundo sem conflitos de regras.

2.5. Categorias de Redes *Wireless*

As redes *wireless* podem ser categorizadas quanto ao ambiente em que elas são instaladas. Esta categorização ajuda a identificar o tipo de serviço que é exigido dela e portanto, facilita sua configuração. Neste capítulo, são descritas as categorias de redes WLANs.

2.5.1. Residencial

Usuários domésticos podem montar uma rede sem fio e compartilhar os recursos de sua rede local com vários dispositivos sem fio, como *notebooks* e PDAs.

Alguns pontos para serem levados em consideração incluem:

- Velocidade de acesso. Para um usuário doméstico, teoricamente uma rede no padrão 802.11b seja suficiente. Embora algumas aplicações como transmissões de vídeos e músicas possam exigir maiores velocidades.
- Nível de segurança desejado.
- Autenticação de usuários.
- Custo de implementação da rede. Uma pessoa poderá montar uma rede sem fio *Ad hoc* usando duas placas de rede sem fio para conectar dois computadores.
- Necessidade do uso de AP. Os APs apenas são necessários caso a rede doméstica seja realmente grande.
- Interferência de aparelhos microondas (quando se usa IEEE802.11b) e dispositivos *Bluetooth* podem interferir na comunicação [14], caso seja utilizado o padrão IEEE802.11b, pois estes aparelhos compartilham a mesma banda de freqüência.

Atualmente, uma das maiores aplicações de WLAN residencial ocorre na possibilidade do compartilhamento de uma conexão de banda larga, como os serviços ADSL, cabo e Internet via rádio.

2.5.2. Corporativa

Redes 802.11 são soluções ideais para o administrador de rede em vários aspectos. Por exemplo, não há necessidade de levar cabeamento para áreas de difícil acesso. O acesso sem fio também proporciona a possibilidade de reuniões serem feitas em restaurantes da empresa e mesmo ao ar livre.

Alguns aspectos importantes para a escolha de um padrão de redes sem fio são:

- as distâncias envolvidas, isto é, a área de cobertura do sinal da rede;

- o tipo de aplicações que são executadas na rede.

Há a necessidade de se verificar a velocidade ideal de transmissão de dados. A velocidade requerida traz como conseqüência as distâncias envolvidas e o número de APs necessários para cobertura da área envolvida.

Questões de segurança à nível corporativo é essencial [14]. A segurança de dados é o maior problema do uso de redes sem fio. É necessário elaborar um plano de segurança muito bem definido a fim de minimizar os risco de segurança.

A autenticação dos usuários é extremamente importante. Não basta apenas usar o protocolo SSID (*Service Set Identifier*), pois a senha usada para o dispositivo sem fio acessar a rede pode ser facilmente monitorada, eliminando qualquer chance de segurança.

Durante a configuração dos equipamentos é necessário lembrar que as senhas *defaults* devem ser trocadas. As senhas devem ser muito bem escolhidas e deve haver uma política de troca constante das mesmas.

Os APs devem ser colocados antes dos *firewalls*, de forma que toda comunicação vinda através da rede sem fio passe por ele. Neste caso, é necessário o uso de VPNs para acesso a dados internos da rede.

As redes *wireless* permitem que áreas de difícil cabeamento possam também ter acesso às redes locais. O uso de redes sem fio tornam-se interessante em locais onde não há possibilidade de passar cabos, como é o caso de construções antigas.

2.5.3. Pública (*Public WLAN* – PWLAN)

No Brasil, alguns aeroportos, Shopping Centers, restaurantes, hotéis e cafés, sobretudo na região Sul e Sudeste estão disponibilizando infra-estrutura de acesso sem fio. Para ter acesso à Internet em locais públicos, o usuário geralmente precisa pagar uma assinatura ao provedor que é dono dos APs nesses locais. Uma das principais preocupações está relacionada ao "roubo" do serviço, isto é, permitir que pessoas não autorizadas usem o serviço sem pagar.

Existem modelos de negócios, onde as empresas oferecem o acesso gratuitamente e neste caso a autenticação dos usuários está apenas relacionada a contabilização de uso do sistema.

Hoje, há aproximadamente 1.200 redes sem fio nos Estados Unidos. A perspectiva é que em 2005 haja pelo menos 25 mil e em 2008, 150 mil [14].

Na Europa, a presença das operadoras de telefonia celular no mercado de PWLAN é muito forte em função da total predominância da tecnologia GSM/GPRS neste continente. A limitação do GPRS (56Kbps) tem estimulado operadoras móveis como a Telia da Suécia com seu serviço *Home Run*, com aproximadamente 600 *hotspots*. A Swisscom da Suíça e a BT com seu serviço *Openzone* são outras empresas que apostam nas PWLANs.

Algumas empresas que prestam este tipo de serviço nos Estados Unidos são: T-Mobile [15], com seus 2,3 mil *hotspots*; Toshiba com parceria com a Accenture, têm seu público alvo os cafés, restaurantes e hotéis; a AT&T Wireless com um serviço de WLAN chamado *Go Port*, com vasta cobertura de 525 hotéis e 12 aeroportos; Boingo, com 1,3 mil localidades em parceria com a T-Mobile, entre outras [14].

No Brasil, tem-se com exemplo a empresa Pointer Networks [16], que fornece serviços em aeroportos e existem outras iniciativas como da operadora Oi em conjunto com a Gradiente, que lançaram o projeto " Cidade sem fios" .

2.6. Família 802.11

O IEEE aprovou em 1997 a especificação padrão 802.11, que provê uma taxa de transferência de dados de 1Mbps e 2Mbps, e descreve métodos fundamentais para sinalização e comunicação sem fio.

Muitas críticas foram surgindo, sendo uma delas a limitação da taxa de transferência de dados. Reconhecendo a necessidade de maiores taxas de transmissão o IEEE aprovou diversas modificações de 1997 para os dias de hoje e a família de padrões criadas vem sendo constantemente estendidas. Estas extensões são consideradas complementos da 802.11 e são identificadas por uma letra de sufixo.

O IEEE aprovou e mantém em processo de aprovação várias outras versões do 802.11. Cada extensão do padrão, conforme mostra a Tabela III, trata de particularidades do padrão 802.11, tais como: taxa de transmissão de dados, segurança, qualidade de serviço (QoS) e *roaming*.

Os suplementos do padrão 802.11 que originaram as redes existentes no mercado são abordados nos tópicos seguintes.

Tabela III
Família 802.11

Padrão ou Extensão	Descrição
802.11	Padrão Original que provia de 1 e 2 Mbps, camada Física MAC CSMA/SA, adotado em 1997;
802.11a	Elevada a prover 54 Mbps em banda de 5 GHz, adotado em 1999;
802.11b	Elevada a prover 11Mbps em banda de 2,4GHz, adotado em 1999;
802.11c	Suporte para operações pontes *wireless* e desenvolvimento de pontos de acesso;
802.11d	Alterações em relação a flexibilização das normas internacionais, adotado em 2001, exemplo a operação da banda 5GHz em alguns países;
802.11e (*)	Melhorias para a camada MAC prover qualidade de serviço (QoS) através CSMA;
802.11f	Recomendações e característica de *roaming* para pontos de acesso de múltiplos características e fornecedores, concluído em 2003;
802.11g	Camada Física elevada a prover 54MBps em banda de 2,4GHz, concluído em 2003;
802.11h	Melhorias para 802.11a adequar-se a regulamentos Europeus, concluído em 2003;
802.11i (*)	Melhorias para aumento no protocolo de segurança;
802.11j (*)	Adequações ao requerimentos dos regulamentos japoneses, em fase inicial;
802.11k (*)	Melhorias no sistema de gerenciamento de WLANs, em fase inicial;
802.11m	Reedição e revisão dos padrões existentes;
802.11n(*)	Estudo para criação de uma alta taxa de transmissão
802.1x	Desenvolvendo uma nova versão do protocolo de autenticação estendido (EAP) para redes *wireless*

(*) = Em debate / Desenvolvimento [17], [3]

2.6.1. IEEE 802.11b

Em setembro de 1999 o IEEE aprovou a 802.11b "*Hight Rate*", uma emenda que adicionou mais duas taxas de transmissão de dados: 5,5Mbps e 11Mbps para o padrão 802.11 [5]. A base do padrão 802.11b, arquitetura, características e serviços foram todos oriundos do padrão 802.11 e sua alteração ocorreu na camada física, que utiliza a modulação DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) com o CCK (*Complementary Code Keying*), pois o FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) não poderia operar com tal velocidade sem violar regulamentações do FCC (*Federal Communications Comission*). Com isso, a 802.11b teve a adição de maiores taxas de transferência de dados e maior robustez na conexão. O uso do DSSS na 802.11b, o padrão apresenta somente três canais de não-sobreposição. Isto deve ser observado para que os APs configurados com mesma cobertura não se sobreponham os canais, causando assim

interferências um ao outro. Com as vantagens oferecidas, os usuários da 802.11b conseguiram um desempenho em níveis de rede *Ethernet*, tanto em velocidade quanto em disponibilidade para acesso. E a tecnologia 802.11b permitiu administradores de redes combinarem redes sem fio com redes cabeadas sem impactos para ambas as redes e seus usuários.

2.6.2. IEEE802.11a

O padrão 802.11a representou a terceira geração de padrões de redes sem fio e a novidade foi uma taxa de transferência de dados de 54Mbps, velocidade esta, maior que o padrão 802.11b . A outra novidade é a banda na qual opera a 802.11a, banda U-NII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) 5GHz, com isso ela opera em uma banda menos suceptível a interferências ou com contenção de sinais. Outra característica a favor da 802.11a são os oito canais de não-sobreposição que permitem uma flexibilidade na instalação e maior escalabilidade.

Na Europa, o padrão 802.11a não é certificado pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), pois opera na mesma banda que a Hiperlan/2 especificada por este órgão e tem a camada física similar. A camada física da 802.11a utiliza a modulação OFDM, responsável pelo aumento de velocidade do padrão, pela redução de interferências e distorção. Com o aumento de informação por transmissão a preocupação com a perda de dados se torna importante e para isso a 802.11a incluiu um mecanismo de correção de erros, o FEC (*Forward Error Correction*), que consiste em enviar uma cópia secundária junto a informação primária. Se parte da informação primária é perdida, através desta cópia secundária e de algoritmos sofisticados a informação é recuperada. Os equipamentos que utilizam a 802.11a devem operar com velocidades de 6, 12, e 24Mbps e podem chegar a 54Mbps, mas também podem incluir 9, 18, 36 e 48Mbps. Estas diferenças ocorrem devido a implementação de diferentes níveis de FEC e diferentes técnicas de modulação. Para alcançar 54Mbps, é utilizado um mecanismo de modulação conhecido como 64QAM (*64-Level Quadrature Amplitude Modulation*), que permite empacotar um número maior de informações possíveis [18].

2.6.3. IEEE 802.11g

Com o crescimento exponencial e a popularidade alcançada pela 802.11 (base das WLAN), devido ao seu baixo custo e a capacidade de transmissão de dados em altas

taxas, em julho de 2003 o IEEE aprovou a 802.11g que tem as mesmas taxas de transmissão utilizadas na 802.11a (54Mbps) e a mesma tecnologia de modulação, a OFDM. Além de ser compatível com equipamentos da 802.11b [19]. A 802.11g pode operar em taxas de transmissão de 11Mbps, portanto equipamentos 802.11b e equipamentos 802.11g podem coexistir na mesma rede, pois os dois padrões operam na banda de freqüência de 2,4 GHz . Como a 802.11g opera na mesma banda da 802.11b, o limite para não-sobreposição de pontos de acesso são de três canais. Com isso, quando se tem uma grande área de cobertura, fica difícil a alocação de um canal para o ponto de acesso a ser instalado, devido a fatores a serem levados em consideração ao reuso de canais, como a interferência de co-canais. A 802.11g é uma alternativa para quem tem uma rede 802.11b, pois a atualização pode ser realizado de forma gradativa, devido ao suporte do padrão e a necessidade de maiores taxas de transmissão.

2.6.4. Comparativo 802.11a, 802.11b e 802.11g

O sucesso das redes sem fio (WLAN) e a disponibilidade das mesmas no mercado, podem gerar dúvidas quanto ao desempenho e características de cada uma delas. Pode-se verificar as especificações técnicas, na Tabela IV :

Tabela IV - Especificações 802.11a, 802.11b e 802.11g [17] [19]

	802.11 a	802.11b	802.11g
Nível Físico	RF de 5GHZ e transmite e envia dados até 54Mbps usando OFDM	RF de 2,4GHZ e transmite e envia dados até 11Mbps usando DSSS	RF de 2,4GHZ e transmite e envia dados até 54Mbps usando DSSS e OFDM
Distância	30-50 ft. 54 Mpbs (10 a 15m) 200-275 ft. 6Mbps (60 a 80m)	100-150 ft. 11 Mbps (30 a 45m) 130-150 ft. 5,5 Mbps (39 a 45m) 230-350 ft. 2 Mbps (69 a 105m)	30-50 ft. 54 Mpbs (10 a 15m) 230-350 ft. 2 Mbps (69 a 105m)
MAC	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
Taxa de transmissão	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps	1, 2, 5,5 e 11 Mbps	1, 2, 5,5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps
Banda	5,150 – 5,250 GHz 5,725 – 5,825 GHz 5,250 – 5,350 GHz	2,400 – 2,4845 GHz	2,400 – 2,4845 GHz
Compatibilidade	Não é compatível com nenhum outro padrão	Com o padrão 802.11g	Com o padrão 802.11b

Com as informações da Tabela IV, verificam-se pontos fortes e pontos fracos de cada um destes padrões. Observa-se diferentes características, que podem ser útil na decisão por uma delas. A Tabela V mostra características destes padrões, baseando-se nas aplicações:

Tabela V - Pontos fortes e fracos e uso dos padrões estabelecidos pelo IEEE [17] [19]

	802.11a	802.11b	802.11g
Usos prováveis	Provê cobertura à redes cabeadas, especialmente para aplicações que exigem maiores larguras de bandas, tais como: CAD, voz, vídeo, etc. Serve em campos abertos onde geralmente redes não são acessíveis;	Provê cobertura à redes cabeadas, permite a mobilidade dentro de ambientes de escritórios. Provê rede onde cabos não podem existir ou não se queira que existam;.	Provê cobertura à redes cabeadas, especialmente para aplicações que exigem maiores larguras de bandas em redes 802.11b já instaladas;
Pontos fortes	Vazão de dados muito melhor em pequenas distâncias; quatro vezes mais canais que não se sobrepõem; menos interferência da banda de freqüência;	Tecnologia madura e com preços relativamente baixos que provê uma vazão adequada e uma boa cobertura;	Tecnologia elimina a carência de vazão de dados ocorrida nas redes 802.11b devido a sua compatibilidade e suas taxas alcançam as 802.11a
Pontos fracos	Incompatível com a tecnologia 802.11b. Possui uma cobertura reduzida.	Provê a menor vazão de dados (11Mbps) e possui apenas três canais rede de sobreposição.	Possui três canais rede de sobreposição, idem 802.11b

Alguns pontos à considerar na adoção entre os padrões 802.11a, ou 802.11b, ou 802.11 g :

- desempenho;
- distância;
- interoperabilidade.

A opção pelo 802.11b ou 802.11g deve ser considerada quando:

- Questões de distância forem importantes. Para grandes áreas como depósitos (área de distribuição) ou lojas de departamentos, 802.11b proverá a solução menos custosa, dado o menor número de pontos de acesso que são necessários;
- Se existir um grande investimento em dispositivos 802.11b, torna-se inviável a troca para 802.11a;

- Se os usuários estiverem bem espalhados e necessitarem de deslocamento por toda área da empresa.

A opção pelo 802.11a deve ser considerada quando:

- Houver necessidade de alto desempenho, devido à aplicações sofisticadas envolvendo vídeo, voz e transmissão de grandes arquivos e imagens;
- Existir interferência de RF na faixa de 2,4GHz. O uso crescente de telefones sem fio em 2,4GHz e dispositivos *Bluetooth* podem "congestionar" o espectro de rádio da área de cobertura e diminuir significativamente a desempenho de redes sem fio 802.11b. O uso de redes 802.11a operando a 5GHz evita esta interferência;
- Usuários estiverem muito concentrados em um único local. Lugares como laboratórios de computadores, aeroportos, centros de convenções precisam permitir acesso à muitos usuários em uma área comum competindo pelo mesmo AP, com cada usuário compartilhando a vazão de dados total. O uso de 802.11a gerencia uma alta concentração de usuários finais oferecendo uma alta vazão dos dados.

A melhor tecnologia a ser escolhida depende das necessidades, do quanto já foi adotado de uma tecnologia específica e das aplicações que são executadas na rede.

2.7. Conclusões Parciais

Este capítulo apresentou o padrão IEEE 802.11 e suas especificações. Foram apresentados os cenários de aplicações para este tipo de rede e a família de extensões criadas com base no padrão 802.11. Com a apresentação das famílias e tipos de WLANs especificadas pelo IEEE, pode-se confrontar algumas diferenças e benefícios que cada uma pode apresentar em relação a outra. Informações apresentadas até aqui são úteis na avaliação e análises de WLANs realizadas nos Capítulos 4 e 5.

CAPÍTULO 3

FATORES DE INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DA WLAN

Os fatores de influência no desempenho de redes sem fio descritos neste capítulo são analisados nos experimentos do Capítulo 4. O entendimento destes fatores e seus comportamentos ajuda na compreensão do desempenho de uma WLAN.

Alguns trabalhos sobre WLANs padronizaram métricas de desempenho para estas redes[19] [20] com a finalidade de avaliar a conectividade de uma WLAN através da taxa de transmissão e a distância do aparelho remoto do ponto de acesso [20]. O desempenho de uma WLAN está associado a diversos fatores que estão relacionados ao meio físico e fatores comuns do ambiente de rede. Fatores como a propagação dos sinais, trocados entre o aparelho remoto e o AP, potência e gerenciamento destes sinais, interferências, área de cobertura, ambiente físico, tráfego e mobilidade são importantes considerações a serem feitas no planejamento de uma rede sem fio. Através da análise, entendimento e gerenciamento de todos estes fatores pode-se obter um bom desempenho de uma WLAN.

Uma WLAN infra-estruturada consiste de um ponto de acesso que é conectado a uma rede cabeada e de aparelhos remotos, utilizados pelos usuários, que se conectam sem fio a este ponto de acesso. Este é o ambiente estudado neste trabalho. A taxa de transmissão é dada como sendo a velocidade com qual o usuário pode enviar e receber dados entre um aparelho remoto e um AP. A taxa de transmissão máxima pode ser atingida em pequenas distâncias entre o ponto de acesso e o aparelhos remotos. Atualmente a distância entre eles tem aumentado e com isso a taxa de transmissão e desempenho caído. Neste capítulo, os fatores que influenciam a taxa de transmissão e o desempenho de uma WLAN são abordados.

3.1. Propagação de Sinais

A propagação do sinal, dada através de ondas eletromagnéticas, de um aparelho para outro, sofre durante seu caminho várias alterações ou oscilações, que podem comprometer a transmissão de uma WLAN. A potência do sinal atenua quando está sendo propagado e esta propagação ocorre de forma esférica por toda a área. Os sinais

sofrem atenuação também quando passam próximos ou através de objetos como paredes, chão, mobílias e pessoas. A atenuação varia de acordo com o material e formas do objeto [20].

Ainda existem outros fatores que influenciam a propagação dos sinais, como a forma e a concepção da antena do transmissor e do receptor, que podem afetar o sinal, bem como o direcionamento dela.

A propagação de sinais sofre com alguns efeitos físicos como a reflexão, a difração e o espalhamento do sinal. Estes efeitos físicos originam distorções e atenuações nos sinais.

Quando o assunto é propagação de um sinal, através de ondas eletromagnéticas, outro fator à considerar é a freqüência de operação de uma WLAN. A freqüência de operação e a propagação de um sinal de uma WLAN estão diretamente relacionada à eficiência da antena e dos componentes de RF que compõem o aparelho na rede para poderem lidar com a absorção e dispersão dos sinais. Estes itens estão relacionados a freqüência que a WLAN está operando. Deve-se levar em conta que a absorção do sinal na propagação através de objetos, pois eles tendem a aumentar com a freqüência e a dispersão entre os objetos que se encontram no caminho tem efeitos positivos ou negativos no sinal propagado, em função da freqüência. Ruídos oriundos de outros aparelhos eletrônicos próximos, como APs, laptops, podem gerar interferências. E as perdas em cabos aumentam com a freqüência, como exemplo cabos em antenas (se existirem) de ponto de acesso ou laptops. Então quanto mais alta a freqüência, maior será a perda no sinal.

Outro assunto que surge quando se trata de propagação de sinais, é a perda do sinal através do caminho percorrido por ele. Existem diversos estudos [21] [22] que consideram as perdas em várias condições de ambientes, sejam ambientes fechados ou abertos. O objetivo de um componente que utiliza uma WLAN é entregar um sinal ao seu receptor com potência suficiente para alcançar o desempenho desejado da rede. Para um sistema de transmissão de dados, este objetivo é especificado através de uma taxa mínima de erro de bit (*Bit Error Rate* – BER) [21].

Não é uma tarefa simples o cálculo da perda de sinal através do caminho percorrido por ele em ambientes fechados. A existência de uma variedade de objetos, barreiras e obstáculos dos mais diversos tipos de materiais tornam esta tarefa difícil de ser realizada, pois o caminho entre transmissor e receptor é cercado de objetos, paredes, piso e teto, que devem ser considerados quando se deseja verificar a condição do sinal

em seu receptor. Por isso o *layout* da construção é muito importante, dado que o sinal se propaga por corredores e outras áreas abertas e em alguns casos o sinal transmitido pode percorrer um caminho direto até seu receptor, uma linha de visada (*line of sight* - LOS). Exemplos de área onde podem ocorrer transmissões diretas de sinais são: auditórios, estádios, armazéns e chão de fábricas. Na maioria dos casos, o caminho do sinal é obstruído [22].

Para se obter uma perda de sinal por um caminho com objetos obstruindo a passagem do sinal é necessário avaliar os materiais e situações adversas que se pode encontrar. Para este caso, diferentes modelos [21] [22] existem para descrever uma única característica predominante no ambiente a ser analisado. Baseado no sinal perdido em espaço livre e nas propriedades físicas de propagação do sinal, os modelos de perdas de sinal no caminho podem contar com efeitos de diferentes tipos de construção. Exemplos são os andares de um edifício com janelas e outros andares sem janelas. As diferenças podem ser notadas onde a perda de propagação diminui entre os andares com o aumento deles, pois a atenuação torna-se menor por andar. Este fenômeno é conhecido pela difração das ondas eletromagnéticas que através do edifício penetra pelas janelas do mesmo. As varias configurações dos andares também podem ser responsáveis pela oscilação na atenuação do sinal propagado, seja ambientes mais fechados de escritórios ou escritórios abertos, ou ainda cubículos de mesas. Abaixo, na Tabela VI, alguns exemplos de atenuação através dos mais variados materiais que podem compor um obstáculos para um sinal transpassar para uma freqüência de operação de WLAN 2,4GHz, a 802.11b.

Tabela VI
Exemplo de atenuação em materiais encontrados em ambientes de instalação em WLANs [22].

Atenuação do Sinal em 2,4GHz	
Parede de tijolo com janela	2dB
Paredes de um edifício com esquadrias de vidro	6dB
Paredes de um escritório	6dB
Portas de metal em um escritório	6dB
Paredes de blocos de concreto	4dB
Porta de metal em paredes de tijolos	12.4dB
Paredes de tijolos próximas a portas de metal	3dB

Ao empregar uma WLAN deve-se considerar o material construído do ambiente e uma melhor localização dos equipamentos que compõem a rede sem fio. É necessário verificar a relação de propagação do sinal nos ambientes em que a rede pretende ser montada e assim, obter um bom desempenho da WLAN.

3.1.1. Propagação de RF em Espaço Livre

Para uma análise básica na perda de sinal através do caminho percorrido, pode-se considerar um espaço livre (*free space loss* - FSL) e uma antena radiando um sinal de forma esférica a partir do AP, conforme Figura 15. Define-se um sinal através de um caminho livre (*free space path loss* – FSPL), como sendo:

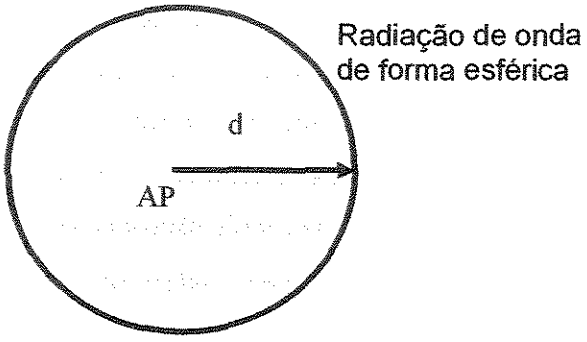


Figura 15 – Radiação do sinal a partir de um ponto

$$FSPL = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda} \tag{1}$$

Onde d é a distancia entre transmissor e receptor em metros e λ é o comprimento da onda eletromagnética do sinal em metros. Esta equação demonstra a perda ocorrida em relação a freqüência. Ao se relacionar freqüência e comprimento de onda, tem-se:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{2}$$

Onde c é a velocidade da luz, $c=3x10^8$ *m/s* e a freqüência f é dada por Hz. Para um comprimento de onda com freqüência de 2,4GHz tem-se:

$\lambda = 0,125\ m$

E a perda de sinal em espaço livre é dada em *dB* por:

$$FSL = 10log(FSPL) \quad (3)$$

sendo o FSPL dado pela equação (1).

Portanto $FSL = 40dB$ por metros ou $FSL = 60dB/10$ metros.

Pode-se então concluir que o FSL em 1 metro atenua 40 *dB*, o sinal atenua 20 *dB* cada 10 metros [22].

3.1.2. Reflexão

O sinal quando propagado pode se deparar com objetos em sua frente e por sua vez ser absorvido pelo objeto, ser refletido ou ainda pode ser parcialmente refletido e absorvido pelo objeto deparado [22]. Esta propriedade é chamada de Reflexão. Ela depende das características do sinal propagado, como: comprimento da onda, ângulo de incidência, orientação e de características físicas do objeto, como: a composição do material deste objeto, a forma geométrica e a textura deste objeto. Conforme ilustração da Figura 16:

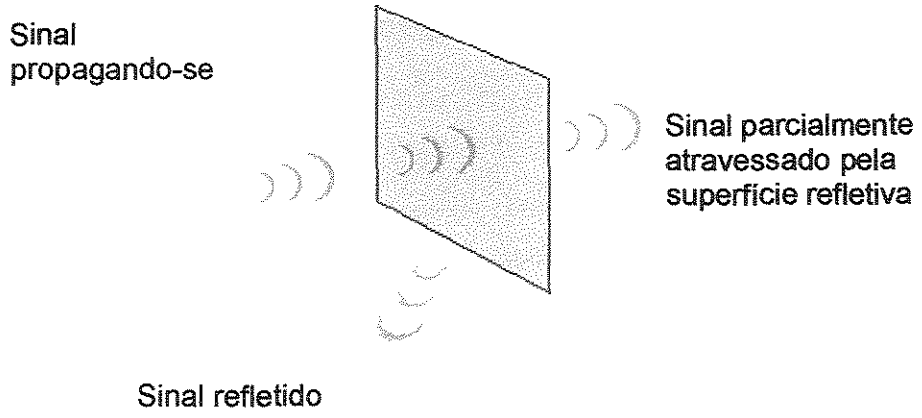


Figura 16 – Exemplo de Reflexão

A composição do material pode fazer com que o sinal seja totalmente refletido, ou ainda pode refletir parte do sinal incidente e transmitir o restante. A proporção do sinal que é transmitido e a parte que é refletido do sinal estão relacionados com o ângulo de incidência do sinal no objeto, a espessura do material e as propriedades dielétricas deste material. Em ambientes internos, como casa ou escritório, as paredes, o chão, o teto e as mobílias são importantes contribuidores para a reflexão do sinal propagado entre componentes de uma WLAN.

3.1.3. Difração

Objetos no caminho da propagação do sinal entre dois componentes de uma WLAN muitas vezes impedem a passagem das ondas eletromagnéticas, com exceção de certos materiais que permitem a transmissão. No entanto, quando as ondas eletromagnéticas de um sinal tangenciam objetos, como por exemplo alguma mobília, estas ondas geram ondas secundárias [22]. Esta propriedade é chamada de Difração. Quando ocorre a difração, o topo dos objetos atuam como se fossem uma antena de transmissão. O resultado do sinal que sofreu uma difração é dependente da forma geométrica do local de incidência, da orientação ou origem do sinal e das propriedades do sinal, como fase, polarização e amplitude. A ilustração da Figura 17 mostra o sinal propagado que sofreu a difração e teve uma derivação do sinal original espalhada para outro sentido.

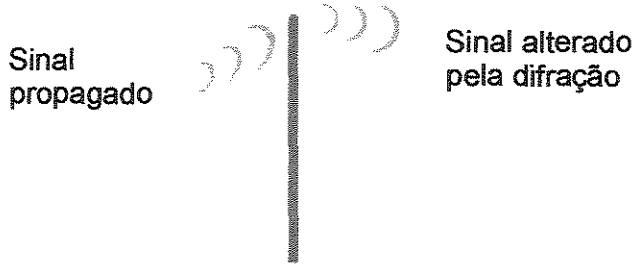


Figura 17 – Exemplo de Difração

O sinal propagado carregado por uma onda eletromagnética, tem sua energia não contida apenas por uma linha de visada direta (LOS). Esta energia é espalhada por todo espaço ao redor dessa linha, em regiões chamadas de Zonas de Fresnel, As zonas de Fresnel são elipsóides de revolução, sendo que as três primeiras zonas são mais importantes, pois contêm quase toda a energia da onda eletromagnética. A medida em

que a ordem aumenta a contribuição em termos de energia diminui. Outra característica interessante é que as zonas de Fresnel são alternadamente construtivas e destrutivas, ou seja, o sinal na primeira zona está em oposição de fase com o sinal da segunda. Desta forma, quando um objeto obstrui a segunda zona de Fresnel, acontece um ganho de sinal, pois o sinal em oposição de fase foi barrado.

De outra maneira se um objeto se transpor a zona de Fresnel pode causar a reflexão, a difração ou o espalhamento do sinal causando degradação ou perda do sinal.

3.1.4. Espalhamento

Muitos objetos no caminho da propagação de um sinal, faz com que o sinal se quebre em pequenos sinais que se propagam por diferentes direções. O espalhamento deste sinal por todas direções pode resultar em interferências, que podem ser construtivas ou destrutivas [22]. Conforme a ilustração da Figura 18, muitos ambientes fechados, como escritórios possuem estruturas de aço, que podem contribuir e bastante para o efeito do espalhamento das ondas eletromagnéticas de um sinal.

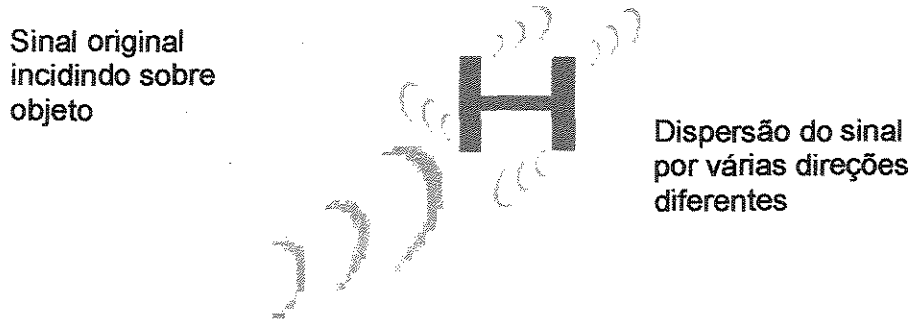


Figura 18 – Exemplo de Espalhamento

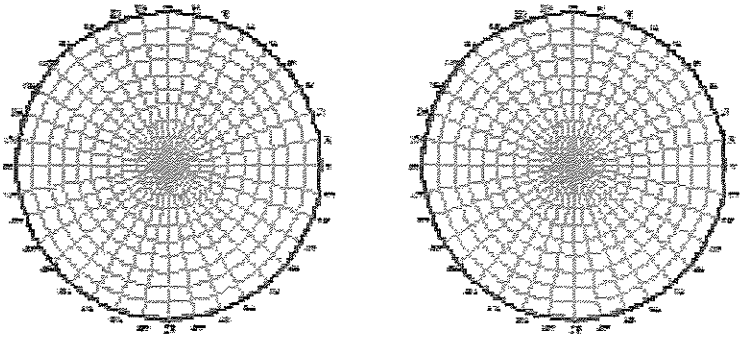
O espalhamento do sinal por múltiplos caminhos causa o efeito do desvanecimento do sinal. A potência envoltória do sinal pode mudar rapidamente em função de sua localização, devido à soma de inúmeros sinais dispersos vindos de objetos próximos e como um transmissor ou outro objeto em um ambiente móvel, o espalhamento de sinais algumas vezes adicionadas a outros sinais dispersos podem se cancelar. A dispersão de sinais resulta em atraso devido a este espalhamento. O sinal

recebido pode conter cópias do sinal transmitido, pois o sinal disperso viaja por caminhos fisicamente diferentes e por comprimentos diferentes [20].

3.2. Antenas

As antenas de RF têm duas funções. A primeira delas é radiar a energia de RF gerada no transmissor e levadas à antena. Neste caso, as antenas atuam como um transformador de impedâncias para adaptar a impedância do transmissor ao espaço. A segunda função da antena é enviar a energia na direção desejada, o que significa suprimir a radiação em outras direções [13]. O diagrama de radiação representa graficamente o comportamento da antena quanto à sua irradiação. Apesar da radiação ser tridimensional, o diagrama é comumente encontrado nos planos horizontal e vertical. As antenas são diferenciadas de acordo com os seus comportamentos de radiação de energia. Existem três tipos: antenas isotrópicas, antenas ominidirecionais e antenas diretivas.

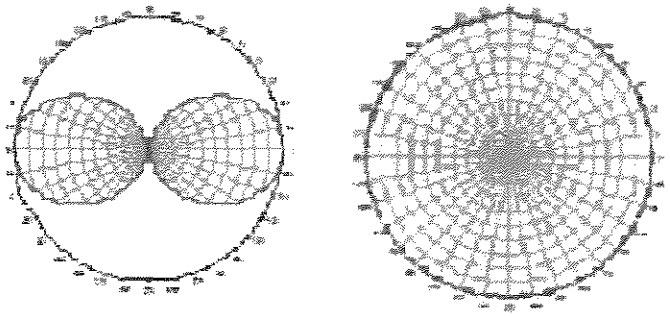
Um radiador isotrópico é um tipo de antena que tem como característica a capacidade de radiar igualmente em todas as direções. Seu diagrama de radiação é uma esfera com centro na fonte. A antena isotrópica é um modelo ideal e é bastante utilizada para cálculos de engenharia devido à sua simplicidade. Os ganhos das antenas comercialmente vendidas inclusive as utilizadas nos padrões IEEE 802.11 são geralmente referenciadas ao radiador isotrópico. Por exemplo, uma antena do padrão 802.11b que tenha um ganho de 6 dB, significa que ele tem um ganho de 6 decibéis em relação ao radiador isotópico que tem ganho de 0 dB. Seus diagramas horizontal e vertical são iguais a um círculo como na Figura 19.



Vertical Horizontal

Fig. 19 – Diagrama de Irradiação Vertical e Horizontal de uma Antena Isotrópica

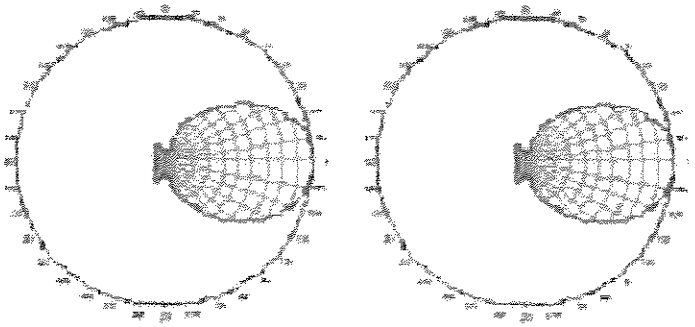
As antenas ominidirecionais são aquelas que radiam uniformemente em todas as direções no plano horizontal, ela tem um diagrama de irradiação de forma circular neste plano, conforme ilustra a Figura 20, ou seja, o ganho em todas as direções deste plano é o mesmo. Uma diferença de uma antena ominidirecional para outra está na irradiação no plano vertical, quanto maior o ganho de uma antena ominidirecional, mais estreito é o feixe no plano vertical [13].



Vertical Horizontal

Fig. 20 – Diagrama de Irradiação de uma Antena Ominidirecional

As antenas diretivas possuem ganhos maiores que as ominidirecionais por concentrar a energia transmitida em apenas uma parte do diagrama de irradiação, como se pode observar na Figura 21. O diagrama de radiação de uma antena é uma representação gráfica da irradiação da antena em função da direção [13].



Vertical Horizontal

Fig. 21 – Diagrama de Irradiação Vertical e Horizontal
de uma Antena Diretiva

Nos experimentos realizados neste trabalho com WLANs 802.11b, todas as estações e APs utilizarão antenas ominidirecionais.

3.3. Cobertura

O *layout* e a construção de onde se pretende instalar uma WLAN determina a área de cobertura de cada ponto de acesso. Baseado nas condições do ambiente, AP e NICs ocorre a configuração da taxa de transmissão adequada [3] (processo de *fallback*, visto em 2.3). Quando se tem uma área de cobertura grande, tem-se uma taxa de transmissão relativamente baixa. Lembrando que a taxa de transmissão é outro item a ser considerado em uma WLAN. Por outro lado, quando se deseja uma taxa de transmissão alta, tem-se áreas de coberturas menores pelos pontos de acesso, como mostra a Figura 22. No entanto, existe a necessidade de ter mais APs para atender a área de cobertura desejada [23].

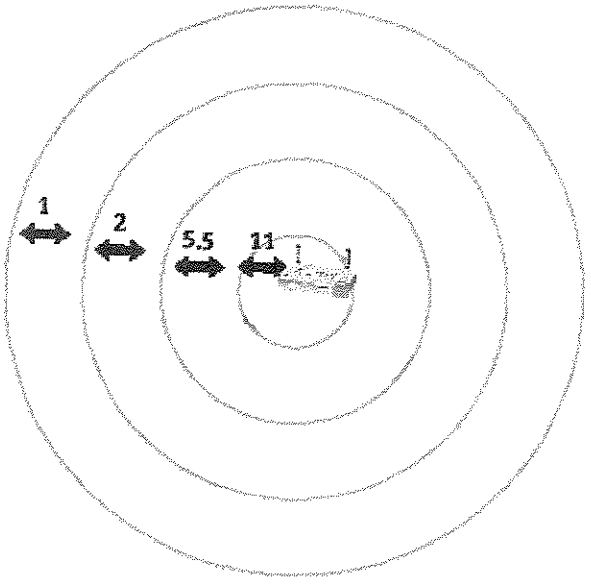


Fig. 22 – A cobertura e as taxas da 802.11b

Para haver vários pontos de acesso operando juntos a fim de se ter uma grande área de cobertura, é necessário planejar os canais e as freqüências de operação de cada ponto de acesso, chamado de reuso dos canais. Assim, evita-se que ocorram interferências entre os APs. O reuso de canais, ou sobreposição de canais, variam da WLAN 802.11a para a 802.11b e 802.11g em número de canais oferecidos em virtude da faixa de freqüência que estas redes sem fio operam. Em áreas abertas as WLANs podem atingir até 300 metros, no caso da 802.11b, mas esta área pode ser reduzida para

20 ou 60 metros quando o sinal tem que se propagar através de paredes e outros objetos de um escritório, por exemplo: madeiras, plásticos e vidros não são grandes barreiras para as transmissões das WLANs, mas como visto no capítulo anterior, paredes de concretos e tijolos são os maiores obstáculos para os sinais de uma WLAN e ainda existe um maior, que são os metais, freqüentemente encontrados em escritórios através de mesas, arquivos, elevadores e etc.

Uma análise de cobertura confiável é baseada em modelos de perda de sinal no caminho que considera basicamente os seguintes ambientes:

- Ambientes abertos: espaços livres, com uma linha direta do sinal entre o ponto de acesso e a estação sem fio. Pode-se citar como exemplo: áreas públicas, construções abertas, aeroportos, salões de convenções e etc;
- Ambientes semi-abertos: não existe uma linha direta do sinal entre o ponto de acesso e a estação sem fio, mas no máximo vai haver uma ou duas obstruções como por exemplo, paredes. Exemplos destes tipos de locais são: áreas de estoque, escritórios formados por cubículos, áreas de reuniões, etc;
- Ambientes fechados: não existem linhas diretas entre o ponto de acesso e a estação sem fio, pois haverá muitas obstruções e exemplos típicos são escritórios divididos por salas com paredes [20].

Em ambientes abertos têm-se as maiores áreas de cobertura, porém em ambientes semi-abertos e fechados a área de cobertura diminui em função das obstruções que ocorrem, ocasionando a atenuação do sinal.

O planejamento de uma área de cobertura deve considerar também o serviço nas áreas, pois haverão áreas com alta e baixa densidade de usuários. Se muitos usuários de laptops estiverem localizados em uma pequena área, existirá uma alta densidade nesta área [24] e isto deve ser previsto no planejamento de cobertura e lançado mão de técnicas para que se garanta o desempenho desejado na WLAN.

3.4. Interferências por RF

Interferências por RF são consideradas itens importantes no planejamento, operação e manutenção do funcionamento de uma WLAN. Uma banda de freqüência selecionada para uma WLAN para ser eficientemente utilizada pode ser alocada entre os APs, através do reuso das freqüências, mas esta prática exige cuidados de forma a

minimizar os impactos de uma interferência. As interferências podem ser classificadas por interferências de co-canal e interferências de canais adjacentes.

A interferência de co-canal ocorre devido à necessidade de utilização de mesmos canais, canais já utilizados por outros APs, em localidades diferentes e à esta prática chama-se de reuso do canal. Desta forma, deve-se planejar o reuso de forma que a distância entre as áreas cobertas pelos pontos de acesso de utilizem os mesmos canais de freqüência seja tal que, o sinal sofra uma atenuação suficiente para não interferirem mutuamente.

A interferência por canal adjacente ocorre, pois embora os canais tenham limites bem determinados, na prática pode existir uma invasão por parte dos canais vizinhos. Dependendo dos níveis de potência desses canais vizinhos, essa invasão pode ser significativa. Isso é conhecido por interferência de canal adjacente e a interferência ocorre devido à imperfeições dos filtros receptores e de circuitos moduladores do sinal que trafega pelas WLANs. Devido à este tipo de interferência , evita-se a utilização de canais adjacentes em APs vizinhos.

As interferências podem ocorrer em WLANs 802.11, 802.11b e 802.11g por aparelhos que utilizem a mesma banda em uma mesma área, no caso a banda ISM (*Industrial, Scientific, Medical*). No caso do padrão 802.11a, a freqüência de banda adotada, maior que a dos padrões 802.11, 802.11b e 802.11g, favorece o padrão em relação a interferências. O problema da coexistência com outros equipamentos trabalhando na mesma freqüência pode ocorrer e é um fator à considerar ao se planejar uma WLAN.

A coexistência é um grande problema para as WLANs que operam na faixa de freqüência de 2,4GHz, na banda ISM, pois são as mais comuns e mais encontradas, devido à ser uma banda sem necessidade de licença para operação e por isso muitos equipamentos de comunicação sem fio têm sido desenvolvidos e padronizados a operar nesta banda [25]. Os equipamentos e tecnologia que convivem na mesma banda utilizada pelas WLANs 802.11(b e g) são a *Bluetooth*, aplicada em redes pessoais sem fio (*Wireless Personal Area Network* – WPAN), a *HomeRF*, que é baseado em um protocolo de acesso sem fio compartilhado desenvolvido para voz, Internet e dados e alguns aparelhos telefônicos sem fio. Todas estas tecnologias têm implementadas em sua camada física a FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). Os padrões 802.11 e 802.11b podem operar com FHSS ou com o DSSS (*Direct Sequence Spread Spetrum*), que é mais robusto contra interferências no canal devido a correlação no processo de

espalhamento do espectro de freqüência utilizada nesta técnica. O FHSS é mais sensitivo a interferências que DSSS, devido aos filtros limitadores, pois a modulação GFSK é mais vulnerável a interferências no canal [26].

A degradação do desempenho de uma WLAN depende de características do sinal de interferência, provadas por estudos e experimentos, em termos de: Freqüência, Tempo e Nível da interferência recebida. A degradação depende da origem, da transmissão, da potência da fonte de interferência e da distância desta fonte de interferência.

O desempenho da WLAN também é afetado pela topologia e a distância entre os componentes de uma WLAN e a(s) fonte(s) de interferência(s) [25].

3.5. Tráfego de Dados

Cada ponto de acesso pode suportar um número limitado de estações móveis. Calcular o número de estações sem fio que um ponto de acesso pode suportar é problema complicado, pois envolve o conhecimento da característica do tráfego bidirecional gerado pela aplicação e o comportamento físico do canal sem fio alocado para o ponto de acesso.

A Figura 23 mostra uma arquitetura WLAN entre cliente (estações móveis) e servidor, onde a estação sem fio estabelece uma comunicação e acesso para a rede do servidor através do ponto de acesso. Após o estabelecimento, pode-se requisitar informações e tarefas, criando tráfego entre as redes *wireless* e cabeadas.

As diferentes aplicações que percorrem uma rede gerando tráfegos, resultam desbalanceados números de informações trocadas entre servidor e estação *wireless* cliente. As aplicações analisadas são acessos à Internet em alta velocidade, pesquisa em banco de dados, transferência de arquivos e acesso a e-mails. Em acesso à Internet em alta velocidade e pesquisa em banco de dados, verifica-se que a estação *wireless* cliente gera menos tráfego que o AP ao retornar com os dados/respostas do servidor. Para a estação *wireless* acessando programas de e-mails, o tráfego gerado é aproximadamente parecido para ambos os lados, enquanto uma transferência de arquivos gera mais tráfego em um sentido [27].

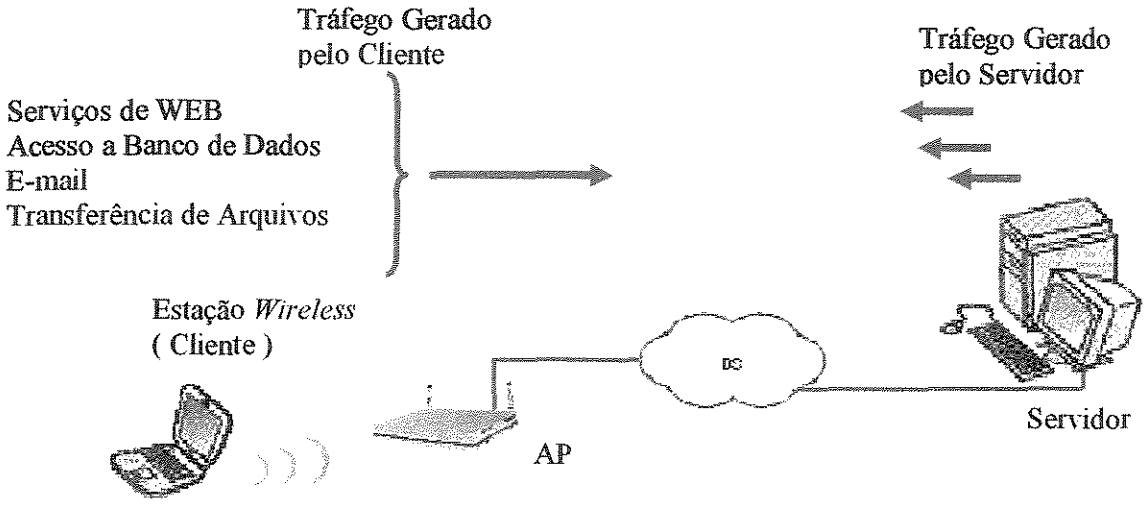


Figura 23 - Aplicações diversas e diversos tráfegos gerados

Além das aplicações acima citadas, existem ainda as aplicações que geram e necessitam de tráfego em tempo real. Para aplicações de tempo real, deve-se atentar a parâmetros como atrasos e probabilidade de erros na entrega de pacotes, pois estes parâmetros são cruciais para este tipo de aplicação [28].

Ao se planejar uma WLAN, devem-se considerar o número de estações que cada ponto de acesso comporta e observar o tipo de aplicação que são executados nas estações *wireless*. Cada aplicação gera um tráfego característico e o comportamento bidirecional deste tráfego deve ser avaliado tanto em seu *up-link* (informação da estação sem fio para um servidor através de um ponto de acesso) quando no *down-link* (informação do servidor para a estação móvel). Avaliadas estas informações, pode-se obter dados para um tráfego coerente em relação aos requerimentos das aplicações que trafegam pela WLAN.

3.6. Mobilidade

As redes sem fio trouxeram a possibilidade do usuário de uma estação sem fio acessar dados em movimento quando necessário. Usuários em movimento acessando dados e pontos de acessos em WLAN, trazem novos conceitos e procedimentos para rede de computadores. Três condições de transição são descritas na 802.11:

Não-transição: esta condição é subdividida em outras duas sub-condições: **Estática**, onde a estação é fixa e não existe movimentação. **Movimentação Local**, a estação move-se dentro da área de cobertura do AP.

BSS-transição: esta condição define que uma estação move-se de uma BSS para outra dentro de uma mesma ESS.

ESS-Transição: esta condição define que uma estação move-se de uma BSS para outra, sendo que as BSSs pertencem a ESSs diferentes. Neste caso, pode ocorrer a interrupção na comunicação, devido a dependência de conexões com camadas superiores à 802.11 [1].

Diante das condições definidas para uma WLAN, alguns conceitos de sistemas celulares são adaptados e aplicados a redes sem fio: São eles: *Handoff* e *Roaming*.

Handoff – é o procedimento de troca de ponto de acesso por uma estação sem fio durante a utilização desta estação para acessar a rede sem fio. Normalmente ocorre quando a estação sem fio se distância do ponto de acesso que ela esta mantendo acesso. A estação, então, passa a acessar um ponto de acesso vizinho ao que ela estava utilizando, sem interromper o acesso a rede sem fio formada por estes pontos de acesso e estações [24][29].

Para o sucesso de um *handoff*, é necessário que haja uma ponte (*Brigde*) com uma tabela atualizada em cada ponto de acesso com informações de estações sem fio, que possam acessar este [24], mantendo assim a área de cobertura desta WLAN.

A decisão de fazer o *handoff* é proveniente da estação sem fio [29]. Detalhes sobre estas configurações foram vistos no Capítulo 2. O procedimento de *handoff* em WLAN é ilustrado na Figura 24.

Roaming – é a utilização de uma estação sem fio fora do ponto de acesso, onde se originou a conexão com a WLAN, sem a interrupção do serviço que a estação está acessando.

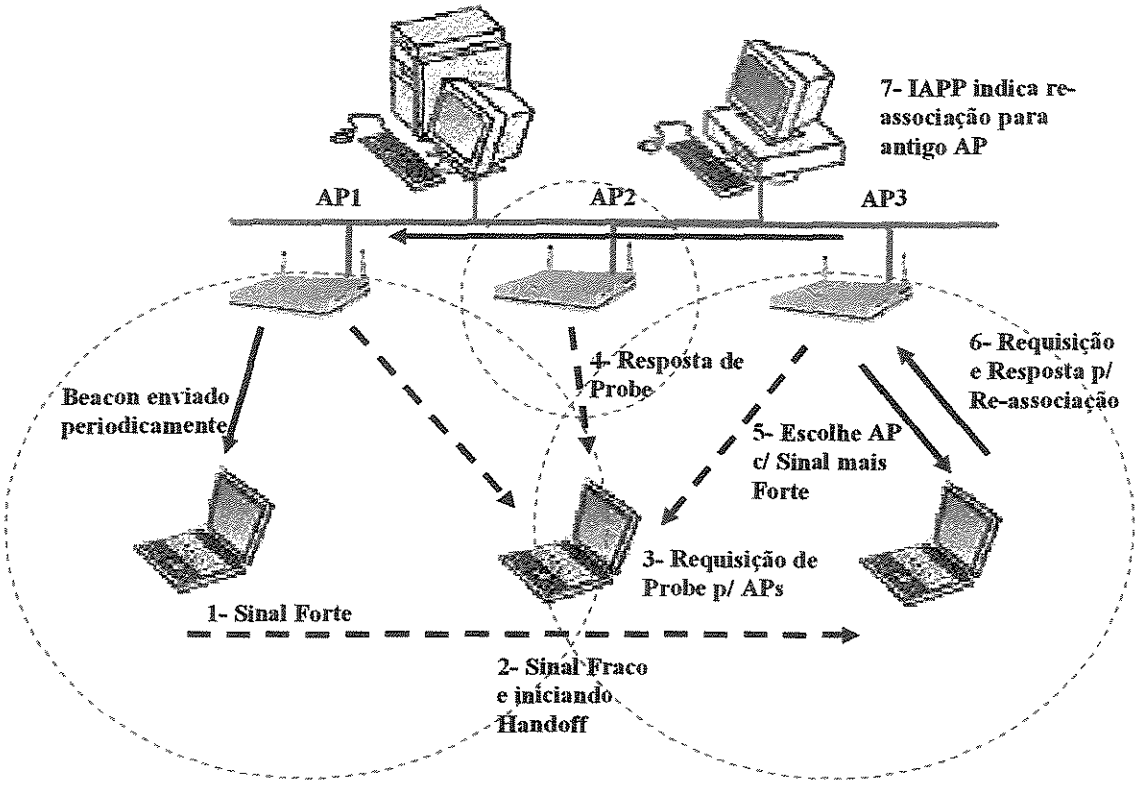


Figura 24– *Handoff* em uma WLAN- 802.11

O AP envia um sinal de beacon em *broadcast* (para todas as estações) periodicamente [29]. A estação que captura um sinal de beacon, verifica a intensidade deste sinal e de que AP pertence o sinal e se associa ao ponto de acesso. O beacon contém informações correspondentes ao AP correspondente e utiliza estas informações para distinguir os diferentes pontos de acesso que compõem a WLAN. A estação sem fio mantém um rastreamento sobre o sinal de beacon através da força deste sinal recebido (*received signal strength* – RSS) e se o sinal torna-se fraco, a estação sem fio inicia a procura por um Ap com sinal de beacon mais forte. O processo de busca pode ser ativo ou passivo, sendo no passivo a estação procura por um sinal de beacon disponível. No estado ativo, a estação sem fio envia uma requisição (*probe request*) para um ponto de acesso específico, capaz de receber este sinal. A estação sem fio escolhe o ponto de acesso com o sinal de beacon mais forte e se re-associa a esta (associação e re-associação foram comentadas no Capítulo 2). Nesta troca de informações entre o ponto de acesso e a estação sem fio, existem informações de identificação da estação, identificação do ponto de acesso, mapa de indicação de tráfego

(*traffic indication map* – TIM), entre outras informações trocadas entre APs e estações sem fio.

As informações de que uma estação sem fio mudou de AP são trocadas entre os pontos de acesso através de rede cabeada e pode variar de acordo com o fabricante.

A forma que foi estruturada a WLAN, como se dão os *handoffs* e *roamings* entre os pontos de acesso que fazem parte desta rede, são informações importantes para o sucesso da mobilidade das estações sem fio nesta WLAN.

3.7. Desempenho - DCF

O método PCF não é atualmente implementado nos produtos 802.11, portanto o desempenho da 802.11 utilizando o método DCF é avaliado. Considerando a transmissão de um dado na rede 802.11b e desconsiderando o tempo de propagação, tem-se um tempo de transmissão total, ilustrado pela Figura 25.

O tempo de transmissão total é composto por:

- Preâmbulo e cabeçalho (*Preamble* e *Header*) que são conhecidos como PLCP (*Physical Layer Covergence Protocol*). Na 802.11b a PLCP pode ser longa, onde $T_P = 192$ μseg ou curta, onde $T_P = 96$ μseg , sendo a forma curta não implementada por alguns fabricantes;
- DIFS e SIFS tem seus tempos de $T_{DIFS} = 50$ μseg e $T_{SIFS} = 10$ μseg;
- Para o ACK, $T_{ACK} = 10$ μseg .

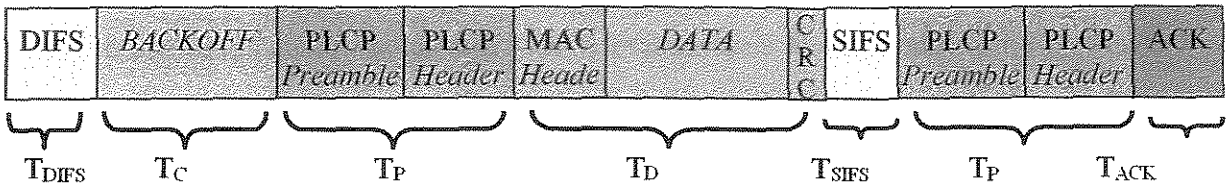


Fig. 25 – Transmissão de um pacote de dados na rede 802.11

Os tempos descritos são considerados para uma rede 802.11b em 11 Mbps [11]. O campo *DATA* pode receber no máximo 1500 bytes quando utilizado o protocolo IP na camada de Rede. O MAC *Header* possui 30 bytes e o CRC 4 bytes. Com isso tem-se um $T_D = 1116$ μseg (*1534 x 8 / 11*).

Ao se considerar a transmissão deste único pacote de dados por uma rede 802.11b, utilizando o PLCP longo, a taxa máxima (*Taxa* $_{MAX}$) alcançada na MAC para os 1500 bytes (limitados pela MTU – *Maximum Transfer Data*) utilizando um preâmbulo longo é:

$$Tempo_{MAX} = T_{DIFS} + T_P + T_D + T_{SIFS} + T_P + T_{ACK} \quad (4)$$

$Tempo_{MAX} = 1570\ \mu seg$;

Portanto, $Taxa_{MAX}$:

$$Taxa_{MAX} = Dado / Tempo_{MAX} \quad (5)$$

$Taxa_{MAX} = (1500 \times 8) / Tempo_{MAX}$

$Taxa_{MAX} = 7.64\ Mbps$ na MAC;

Para um preâmbulo curto, onde é considerado $T_P = 96$ μseg, tem-se:

$Taxa_{MAX} = 8.9\ Mbps$

A $Taxa_{MAX}$ encontrada se refere à um único pacote de dados sendo transmitido, mas normalmente nas redes existem várias estações competindo pela utilização do meio de comunicação. Para evitar colisões na tentativa de transmitir dados, a subcamada MAC implementa um algoritmo de *Backoff*, conforme visto no Capítulo 2. Este algoritmo é baseado na janela de contenção (CW – *contention window*) e no *slot* de tempo da rede, no caso da 802.11b, o *slot* de tempo é de 20 μseg. Este valor atribuído ao *backoff*, insere um tempo (T_C – tempo de contenção) na transmissão do dado que faz a taxa máxima encontrada variar conforme o número de estações que estão competindo pelo uso do meio e a quantidade de tráfego que elas necessitam transmitir. O tempo T_C aumenta a medida que a estação tenta utilizar o meio de comunicação e não obtêm sucesso. T_C é dado por:

$$T_C = slot\ de\ tempo * CW \quad (6)$$

Onde, CW é um número inteiro escolhido randomicamente de uma faixa de números inteiros que aumenta exponencialmente, podendo chegar a $CW_{MAX} = 1023$ para 802.11b [11].

Então, tem-se para 802.11b:

$$T_{C\ MAX} = 20\ \mu seg * 1023 = 20,46\ ms$$

Quando o meio de comunicação está livre e $CW = 0$, o acesso da estação *wireless* na WLAN é dado após 50μs = DIFS, portanto este é o melhor caso para uma estação 802.11b, que tem $Taxa_{MAX}$ demonstrada em (5). Para um $CW = 1023$, tem-se:

$$Tempo_{MAX}CW_{MAX} = T_{DIFS} + T_P + T_D + T_{SIFS} + T_P + T_{ACK} + T_{C\ MAX} \quad (7)$$
$$Tempo_{MAX}CW_{MAX} = 22030\ \mu s$$

$$Taxa_{MAX}CW_{MAX} = (1500 \times 8) / Tempo_{MAX}CW_{MAX}$$
$$Taxa_{MAX}CW_{MAX} = 545\ Kbps$$

A taxa máxima de uma WLAN para uma EW, referente ao mecanismo de *backoff*, pode alterar a capacidade de tráfego de dados dependendo da quantidade de retransmissões que ocorra para uma EW. A Figura 26 ilustra a queda na taxa de transmissão em função de uma CW alta. A demonstração acima se baseou em uma estação transmitindo a 11Mbps, mas estações podem estar transmitindo em taxas mais baixas, dependendo de fatores que influenciam esta rede, prejudicando ainda mais o desempenho da WLAN. As retransmissões ocorrem devido ao não reconhecimento de recebimento dos dados enviados, devido á fatores específicos da tecnologia RF.

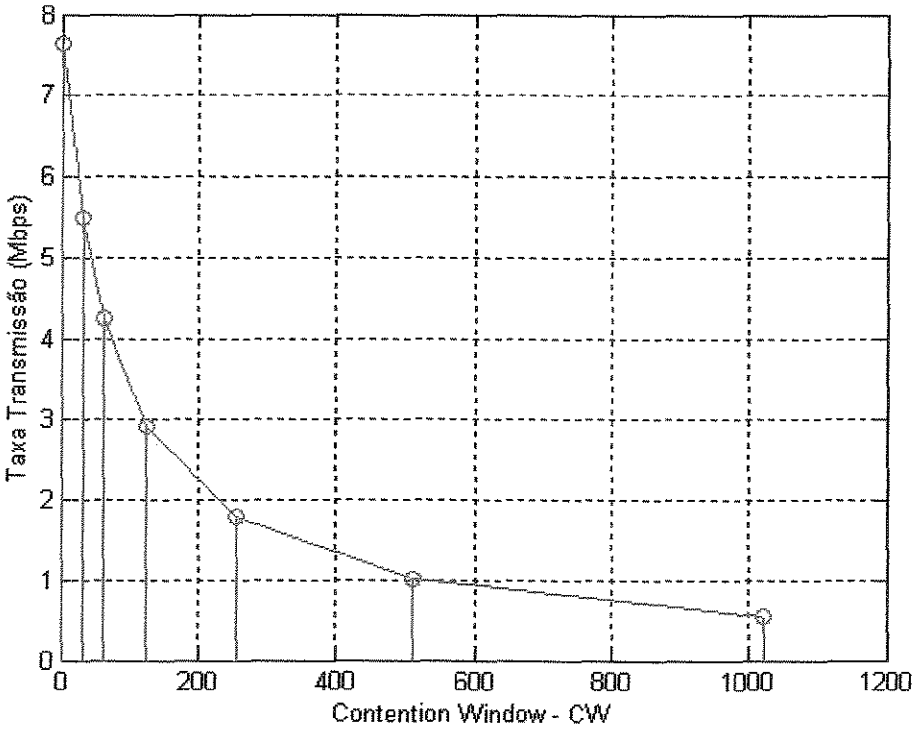


Fig. 26 – Efeito de *CW* sobre Taxa de Transmissão

3.8. Conclusões Parciais

O presente capítulo apresentou fatores que devem ser considerados na implantação de uma WLAN. Estes fatores foram constatados nos experimentos descritos no próximo capítulo. Fatores, como a propagação dos sinais em WLAN, podem influenciar na área de cobertura, dependendo do local onde se pretende implementar esta rede. O fator interferência, seja devido à utilização de uma mesma banda de freqüência pela rede, ou freqüências próximas, ou ainda outro equipamento operando na mesma banda, ocasionam quedas no desempenho da transmissão de dados. Outros fatores como mobilidade, cobertura e intensidade de tráfego podem também influenciar o desempenho de uma WLAN.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DE WLAN

Neste capítulo, conjuntos de testes, metodologia e ferramentas para obtenção de dados que avaliam o desempenho dos diferentes APs, tem como comparação as arquiteturas *Fat* e *Thin*. Nos experimentos: a taxa máxima fornecida, condição de saturação e desempenho com estação *wireless* (EW) em condição desfavorável são verificados.

O primeiro conjunto de testes avalia a taxa máxima fornecida pelo AP. A taxa efetiva é bem menor que a taxa na camada física. O primeiro conjunto de testes verifica o comportamento do *jitter* e da perda de datagramas durante o período que a WLAN atinge a taxa máxima. O segundo conjunto de testes avalia o comportamento da rede, quando a taxa máxima fornecida é excedida. No último conjunto de testes é avaliado o desempenho da rede quando existe uma EW em condição desfavorável, ou seja, com taxa de transmissão variando em função de baixa relação sinal-ruído. Este cenário foi explorada em [2], evidenciando uma anomalia da MAC, com a degradação de desempenho quando existe estação em condição desfavorável, prejudicando o desempenho de toda a rede.

4.1. Desempenho de Redes

Os trabalhos existentes na literatura de maneira geral, mostram o desempenho do ponto de vista de cobertura [20] e da MAC do padrão 802.11b [2][30]. No presente trabalho, o desempenho da rede foca o comportamento da taxa de transmissão fornecida pelo AP. Para a avaliação da rede, três conjuntos de testes foram analisados.

As medições foram realizadas em WLAN montada em laboratório. O fluxo dos dados adotado para análise é da estação *Ethernet* (EE) para a estação *wireless* (EW), conhecido como *downlink*. O motivo da escolha de um fluxo *downlink* foi devido à verificação em [27] que a EW geralmente recebe mais informações geradas pela EE, do que envia dados. Foi considerado Taxa Solicitada como sendo a taxa de transmissão que sai da estação *Ethernet* para o AP e Taxa Fornecida como sendo a taxa que o AP provê à estação *wireless*.

Os conjuntos de testes propostos foram repetidos em 3 vezes para cada equipamento e cada configuração de teste da WLAN, para assegurar a consistência dos dados.

Este trabalho avalia três APs de arquitetura *Fat* de fabricantes diferentes e é analisado o comportamento de cada um deles, conforme os conjuntos de testes propostos.

4.1.1. Taxa Máxima Fornecida

A primeira análise considera a taxa máxima fornecida pelo AP. Embora a taxa nominal máxima para a 802.11b seja de 11 Mbps, levando-se em conta os *headers* e temporização, verifica-se que esta taxa cai para 70% da taxa máxima, ou seja, 7,7 Mbps na MAC [2]. Esta perda é maior ainda em função de eventos de sobrecarga, com a existência de colisão e também com a implementação de estratégias para se evitar estações escondidas e fragmentação de pacotes acima de um limiar; portanto, é de interesse avaliar qual a taxa máxima de redes WLAN.

Para este conjunto de testes, são utilizadas duas EEs, duas EWs e um AP, como mostrado na Figura 27.

Ao avaliar a taxa máxima, coleta-se *jitter*, que é a variação do retardo de entrega dos datagramas. Assim, pode-se caracterizar o *jitter* para WLANs, conforme o aumento do tráfego até atingir a taxa máxima.

Uma EE e uma EW utilizam o NA para análise de tráfego e a outra EE envia pacotes para a EW através do AP. Todas estas estações são posicionadas para obter sinal excelente de recepção do AP, operando assim com taxa de 11Mbps na camada física. A taxa solicitada foi variada de 50Kbps a 10Mbps, com menor variação da taxa solicitada próxima à região de saturação, devido ao interesse deste trabalho em observar o comportamento da WLAN nesta região.

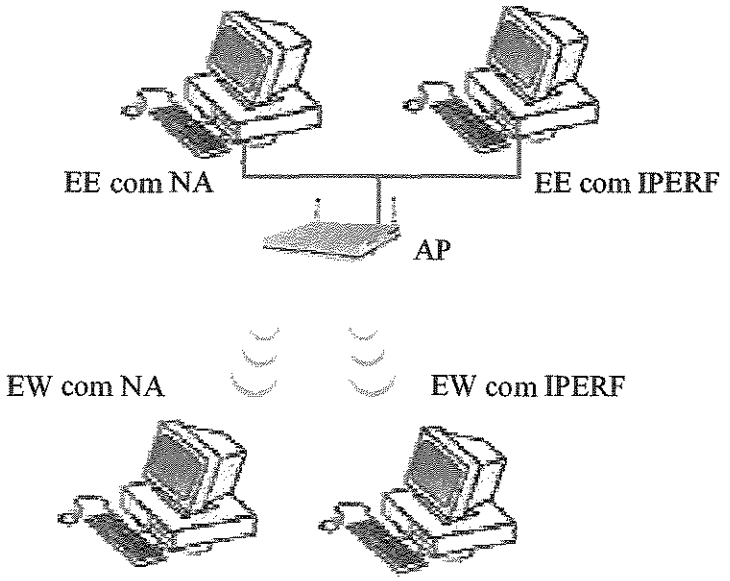


Fig. 27 . Ambiente de Teste I

4.1.2. Operação na Região de Saturação

Quando um AP opera em sua taxa máxima fornecida, coloca-se a rede em condição de saturação de tráfego. Nesta condição de operação, na região de saturação da rede, a taxa máxima fornecida é alcançada pela soma das taxas solicitadas pelas estações *Ethernet*. É verificado o comportamento através da taxa fornecida a EW, o *jitter* e a perda de pacotes, que ocorrem quando uma rede opera em saturação. A Figura 28 ilustra este conjunto de testes.

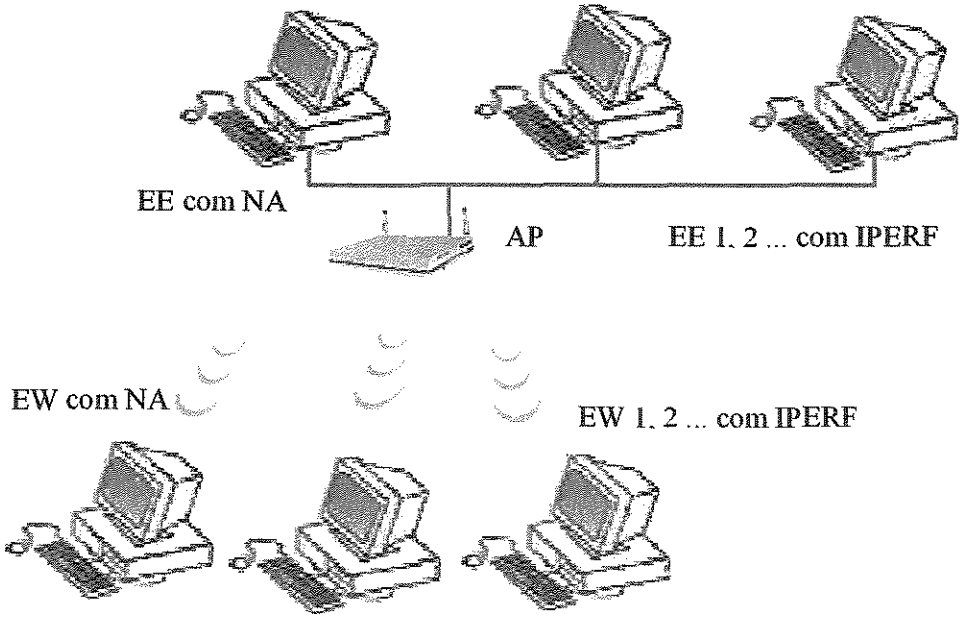


Fig. 28 – Ambiente de Teste II

São utilizados neste conjunto de testes cinco EEs, cinco EWs e APs *Fat*. Uma EE e uma EW para o NA e quatro pares EEs – EWs para geração de tráfego. Os testes foram iniciados com taxa igual à taxa máxima fornecida do AP (observado na primeira condição de teste) menos 500Kbps, para se obter uma condição estável entre as estações da WLAN. Foi gerada a taxa de saturação do AP, encontrada no primeiro conjunto de testes. A escolha da taxa inicial para este teste, considera que um AP deve responder linearmente a taxa solicitada versus taxa fornecida, antes de atingir uma região de saturação. Para este fim, é considerado 500Kbps uma faixa segura para análise do comportamento da taxa fornecida, *jitter* e perda de pacotes, visto que no primeiro conjunto de testes, somente ocorreram comportamentos irregulares ao atingirem a taxa de saturação.

A taxa inicial solicitada e a taxa no ponto de saturação (verificado em 4.1.1) foram divididas pelo número de pares EE-EW que geram o tráfego, para que a soma da taxa componha a taxa total solicitada. A transmissão iniciou pela EE1 para EW1, depois de 20s a EE2 transmitiu para EW2 e assim foi sucessivamente. Foi verificado o comportamento para a taxa total solicitada entre as estações, não-ultrapassando a taxa máxima do ponto de acesso e sobre a taxa máxima fornecida pelo AP.

4.1.3. Desempenho da Rede com EW Desfavorável

Um conjunto de testes que contemple a presença de estação em situação desfavorável, com baixa taxa de transmissão, é outro ponto a ser avaliado em uma rede. Em [2], foi montada uma conjunto de testes com três EWs, sendo uma delas configurada para transmitir em taxas definidas pelo usuário. Sendo inicialmente 11Mbps, depois 5,5Mbps e depois 2Mbps e finalmente 1Mbps, emulando uma situação de estação em condição desfavorável com baixa taxa de transmissão. Dado que as demais permaneceram em 11Mbps. Assim, demonstrou-se que a EW que diminuiu sua taxa de transmissão estabeleceu o desempenho de toda a rede. No entanto, em ambientes reais a EW em condição desfavorável não permanece com taxa fixa e sim oscila entre as taxas possíveis (1, 2, 5,5 e 11Mbps). Este fenômeno é denominado de *fallback*. Uma EW pode ficar em condição desfavorável em relação as demais, devido à uma má recepção do sinal do AP, seja pela distância, interferência ou outros fatores. Estes fatores forçam a EW a baixar a taxa de transmissão e é utilizado um deles para se obter a condição desfavorável de uma EW.

Neste conjunto de testes, uma EW foi posicionada em condição desfavorável, de forma que o sinal recebido do AP degrada-se o suficiente para que a EW opere em taxas menores que as outras três EWs, posicionadas próximas ao AP. Estas outras três EWs operam com taxa máxima (11Mbps). Para a degradação do sinal, a EW foi posicionada fora do laboratório, em outro local do prédio, onde foram aplicadas as atenuações do sinal recebido do AP, através da distância e de obstáculos, que existiam entre AP e EW. Neste conjunto de testes, a soma das taxas solicitadas pelas EEs não ultrapassou a taxa máxima fornecida pelo AP. Assim, evita-se entrar na condição de teste anterior.

O tráfego foi aplicado entre os pares EE e EW com intervalos iniciais de 20 segundos, sendo o último par aquele em que a EW encontrava-se em condição desfavorável. Pretendeu-se com este intervalo de 20 segundos observar o comportamento da taxa de cada EW com a inserção de cada uma das EWs. O objetivo deste conjunto de testes foi verificar o comportamento da WLAN com estação operando em taxas diferentes, reproduzindo de forma prática uma situação real. Neste caso, a EW em posição desfavorável não teve sua taxa fixa na camada física, como em [2] e sim oscilando entre as taxas possíveis (1, 2, 5,5 e 11Mbps) devido ao *fallback*. Esta degradação do desempenho acontece nos limites da área de cobertura, ou são causadas por interferências ou áreas de sombras dentro da área de cobertura de uma AP, conforme mencionado no Capítulo 3.

4.2. Software para Medições e Geração de Tráfego em WLANs

O tráfego de dados utilizou o protocolo UDP. Os serviços de multimídia e voz sobre IP são tipicamente aplicados sobre protocolo UDP [31]. A perspectiva de estudos futuros com aplicações multimídia e voz sobre IP em WLAN motiva este trabalho a utilizar UDP como fonte geradora de tráfego para os conjuntos de testes montados sobre as WLAN. Para a geração de tráfego de dados, é utilizado o software IPERF [32]. A taxa de dados constante (CBR – *Constant Bit Rate*) gerada pelo IPERF, é disparada de estações *Ethernet* (EEs), conectadas ao AP (*Fat ou Thin*, dependendo da etapa de teste), transmitindo datagramas às estações *wireless* (EWs). O IPERF foi configurado para geração de tráfego UDP com datagramas de 1470 bytes, para evitar fragmentação pela camada de rede.

Para verificar as informações de taxa de tráfego de pacotes foi utilizado o

software *Network Analyzer* (NA) [33], uma ferramenta para análise de protocolos de redes. A utilização do NA tem por objetivo confrontar os resultados obtidos com o software IPERF. O NA analisou o tráfego da rede através de uma EE e através de uma EW, ou seja, analisou tráfegos tanto de rede cabeada (*Ethernet*), quanto da rede *wireless* (802.11b).

4.2.1. IPERF

O IPERF é um software de emulação de tráfego da rede para protocolos TCP ou UDP[34]. Através dos tráfegos gerados são obtidas informações sobre taxas de dados ocupada na rede, *jitter* e perda de datagramas [32]. Estas informações são disponíveis para o protocolo UDP. O IPERF gera tráfego entre estações em modo cliente-servidor através de portas (*sockets*) abertas entre estas estações. A estação servidor detecta a perda de datagramas através do número de identificação em cada datagrama. O tamanho dos datagramas pode ser configurado. O cálculo do *jitter* é realizado pela estação servidor, conforme especificado pelo RTP em [35] e ilustrado pela Figura 29. A estação cliente envia no campo *timestamp* a informação que é calculada pela estação servidora, referente ao tempo de transito do datagrama entre as estações[34].

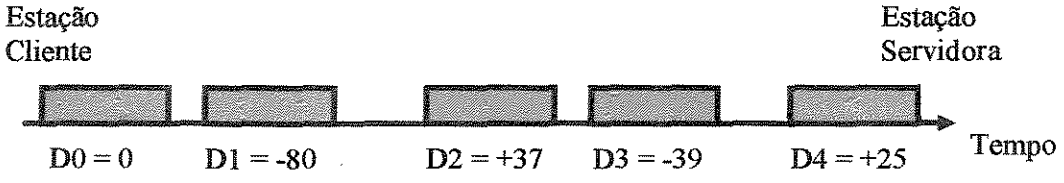


Fig. 29 – Tráfego de Datagramas e o Cálculo do *Jitter*

O tempo de geração do datagrama na estação cliente até o recebimento do mesmo pela estação servidor pode flutuar de datagrama para datagrama. A variação de atrasos dos datagramas na rede, é caracterizada como *jitter* [31]. O cálculo do *jitter* é dado por:

$$J1 = \frac{J0 + (|D1| - J0)}{16} \qquad (4)$$

Onde: J é definido como o desvio médio da diferença D em datagrama espaçados da estação servidora comparada com a estação cliente por pares de datagramas [35].

No instante inicial, de envio do primeiro datagrama, tem-se:

$$Jo = 0$$

No momento que se tem o segundo datagrama, é possível verificar o primeiro valor de *jitter* do exemplo.

$$J1 = \frac{0 + (|80| - 0)}{16} = 5$$

No momento seguinte, obtém-se o *jitter* do 2° e 3° datagrama:

$$J2 = \frac{5 + (|37| - 5)}{16} = 7$$

$$J3 = \frac{7 + (|39| - 7)}{16} = 9$$

$$J4 = \frac{10 + (|25| - 9)}{16} = 10$$

Sucessivamente, encontram-se os valores de *jitter* para o exemplo da Figura 29.

Neste trabalho o IPERF foi utilizado como ferramenta de geração e medição para tráfego UDP. Foi analisado o *jitter* e a perda de datagramas geradas na condições impostas a rede. No anexo A, podem ser verificadas as linhas de comandos utilizadas para estações servidoras e estações clientes.

Para fornecer as informações sobre o tráfego gerado, o IPERF utiliza o [35] RTP como protocolo de suporte ao tráfego UDP e para compreensão do trabalho e do funcionamento do IPERF, são descritos a seguir.

4.2.2. UDP

O UDP (*User Datagram Protocol*) foi definido para possibilitar uma comunicação sem orientação à conexão entre computadores, através de datagramas. É considerado que a camada de redes na pilha de protocolos é o IP, o UDP utiliza informações da camada de rede para realizar determinadas funções, como o cálculo do *checksum*. A principal característica do UDP é não utilizar conexão. A idéia que levou à concepção do UDP foi justamente fazer um protocolo com funcionalidades extremamente básicas, sem grande acréscimo de *overhead*. O fato do UDP não necessitar de conexão, faz com que ele seja chamado "orientado a transição ou datagrama" [36]. As principais aplicações do protocolo em questão são as que envolvem pouca necessidade de redundância e alta velocidade.

O mecanismo de abertura de portas possibilita que sejam enviadas mensagens de diversas aplicações, via UDP. Na origem, as informações são multiplexadas e passadas para o IP, que realiza a transmissão. No destino, ocorre o inverso. O IP entrega o datagrama recebido para demultiplexação. Para esta multiplexação/demultiplexação, é necessário que o UDP comunique-se com as aplicações através de portas. Na prática, cada aplicação negocia com o sistema operacional para obter uma porta e o sistema operacional associa um número a essa porta, antes de enviar o datagrama UDP. Depois de estabelecido esse número, os datagramas enviados passam a conter o número da porta no campo porta origem. Quando o UDP recebe o datagrama, é testado se a porta de destino está disponível. Em caso positivo, o datagrama é enviado. Caso contrário, a mensagem é simplesmente descartada.

4.2.3. RTP

O RTP (*Real-Time Protocol*) foi desenvolvido para prover serviços de envio e recebimento de dados com características de tempo real, como uma videoconferência por exemplo. A especificação do protocolo inclui serviços como: identificação do tipo de dados transportado, número de seqüência, *timestamping* e monitoração de envio. Devido a algumas de suas funcionalidades, geralmente o RTP é colocado sobre o UDP na pilha de protocolos, para poder utilizar seus serviços e *checksum*.. Assim, ambos contribuem para a realização do serviço de transporte da aplicação.

O RTP por si só não provê nenhuma garantia que restrições temporais sejam cumpridas (atraso máximo, *jitter*, etc), tão pouco QoS: o termo *real-time* significa

apenas "baixo *overhead*". Essas funcionalidades não providas pelo RTP devem ficar a cargo das camadas inferiores da pilha de protocolos [37]. O protocolo é composto de duas partes básicas, fortemente dependentes:

- O RTP propriamente dito, responsável por transmitir os dados com características de tempo real;

- O RTCP (*RTP Control Protocol*), utilizado para monitorar a qualidade de serviço e transportar informações sobre os participantes de uma sessão do RTP.

O RTP oferece a possibilidade de modificações no cabeçalho para que ele seja mais bem adaptado à aplicação em questão. Ou seja, os perfis ideais para implementação do protocolo são bastante flexíveis, conforme define a própria RFC 1889 [35].

4.3. Conclusões Parciais

Os conjuntos de testes propostos neste trabalho possibilitam uma análise de pontos da WLAN que afetam o desempenho da rede. As ferramentas de software utilizadas para geração de tráfego, informações e análise da rede se complementam e garantem a consistência da informação gerada para análise.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E ANÁLISES

Para verificação de desempenho dos APs, foram analisados três conjuntos de teste, descritos no capítulo anterior. Através de arquivos com resultados do comportamento da rede gerados pelo IPERF, gráficos e histogramas auxiliam na análise. Exemplo de arquivos de resultados gerados pelo IPERF pode ser visto no Anexo B. Este capítulo mostra os resultados obtidos para os conjuntos de testes propostos para APs de fabricantes diferentes e APs de arquiteturas diferentes. O capítulo tem duas etapas de descrição de resultados. Na primeira etapa são analisados os desempenhos de três APs de diferentes fabricantes de arquitetura *Fat*. Na segunda etapa, é avaliado o desempenho de um AP de arquitetura *Thin* e os valores são comparados com um AP de arquitetura *Fat*.

5.1. APs de Arquitetura *Fat*

Os APs avaliados nos itens a seguir foram montados em uma WLAN de laboratório e as características da rede foram mantidas iguais para estes três APs.

5.1.1. Taxa Máxima Fornecida por APs *Fat*

O primeiro conjunto de testes foi descrito no item 4.1.1 e avalia a taxa máxima fornecida pelos APs de arquitetura *Fat*. Através do IPERF observa-se, também, o comportamento do *jitter* e a perda de datagramas. A Tabela VII mostra a taxa máxima fornecida por cada AP.

TABELA VII
TAXA FORNECIDA MÁXIMA

AP	Taxa Fornecida Máxima [Mbps]
AP1	5,5
AP2	6,5
AP3	5,8

A Figura 30 apresenta o comportamento dos APs para a taxa fornecida em função da taxa solicitada. A WLAN quando está com taxa solicitada abaixo da taxa máxima fornecida, comporta-se de maneira estável. Observa-se, na Figura 30, a linearidade dos APs até atingir a taxa máxima fornecida.

Quando a taxa máxima fornecida é ultrapassada ocorrem instabilidades no AP. Embora o AP1 tenha apresentado a maior banda máxima fornecida, o mesmo apresentou um comportamento bastante irregular com o aumento da taxa solicitada. Observa-se que após a taxa solicitada ficar 10% acima da taxa fornecida máxima, o AP1 deixa de operar.

Verifica-se que para outro AP testado, AP2, o mesmo manteve seu limite de taxa máxima fornecida com leves oscilações, e para o AP3 surge a queda na taxa fornecida conforme se solicita mais taxa.

Quando a taxa máxima fornecida pelo AP é utilizada próxima ao ponto de saturação, vê-se um aumento do *jitter*. Quando se extrapola sua banda passante, surgem instabilidades de *jitter* (Figura 31). O *jitter* torna-se um parâmetro necessário na avaliação para aplicações multimídia (imagens, sons, gráficos, vídeos e outras animações) e a qualidade desta aplicação depende dos níveis de *jitter* atingidos pela rede [31].

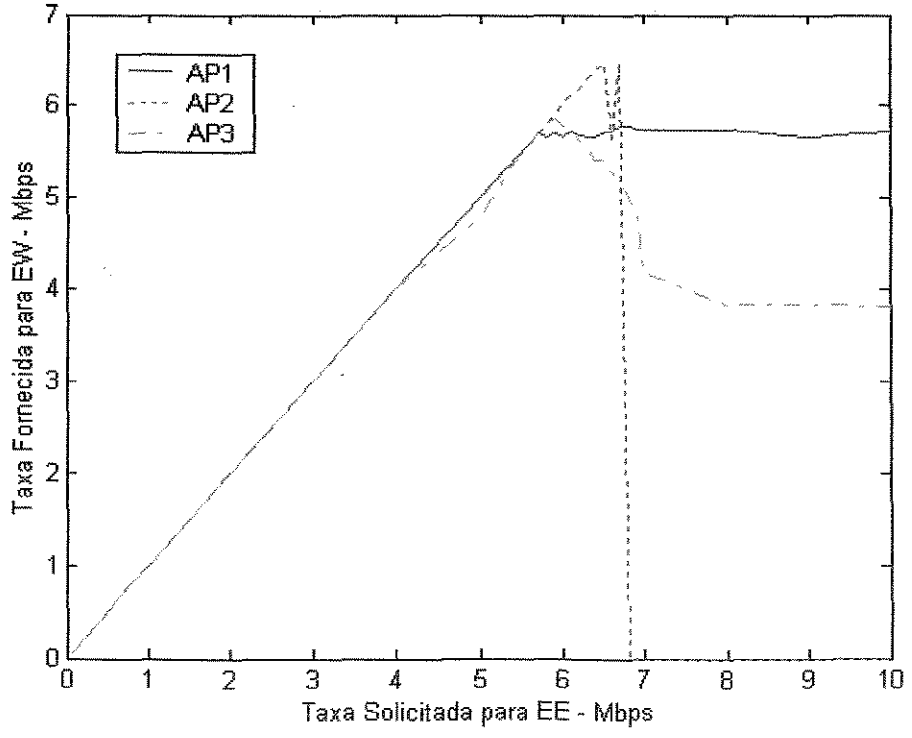


Fig. 30 – Saturação dos APs

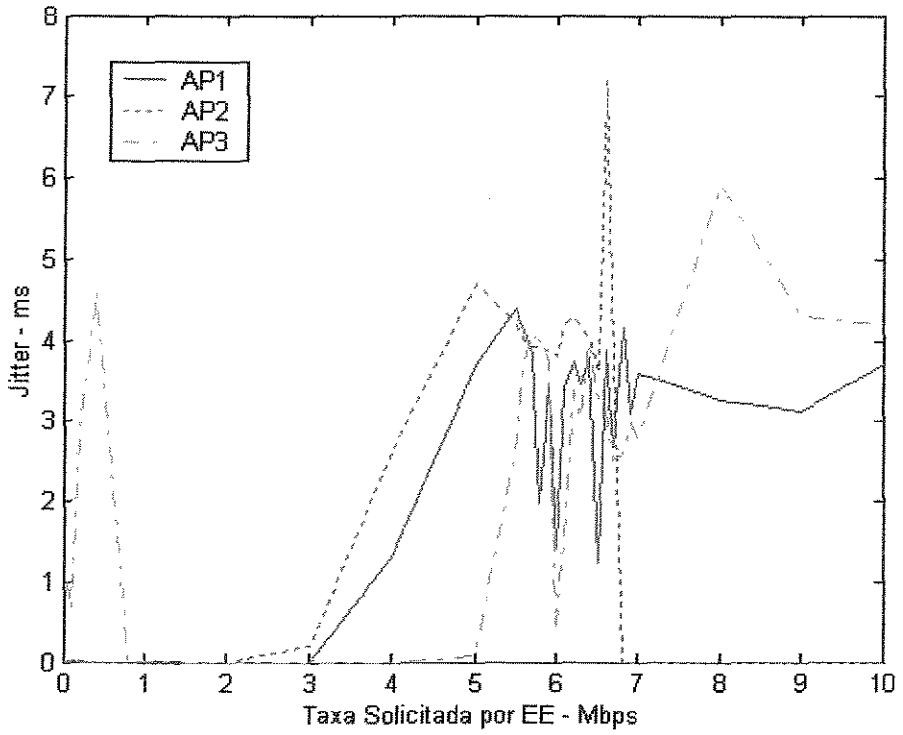


Fig. 31 – Jitter com aumento da Taxa Solicitada

As perdas de datagramas mantêm-se estáveis entre os APs até o ponto de saturação mostrado na Figura 32. O comportamento após o ponto de saturação tem relação com a taxa solicitada para estação *Ethernet* e cada AP teve características de comportamento distintas. O AP1 teve perda de datagramas proporcional à taxa solicitada da WLAN, devido ao alcance de seu ponto de saturação e manutenção da taxa máxima que o AP pode fornecer. O AP2 interrompeu o funcionamento, pois deixou de operar ao ultrapassar o ponto de saturação. O AP3 diminuiu a taxa máxima fornecida após o ponto de saturação e com isso ocorreu um aumento na perda de datagramas, devido ao estrangulamento da taxa.

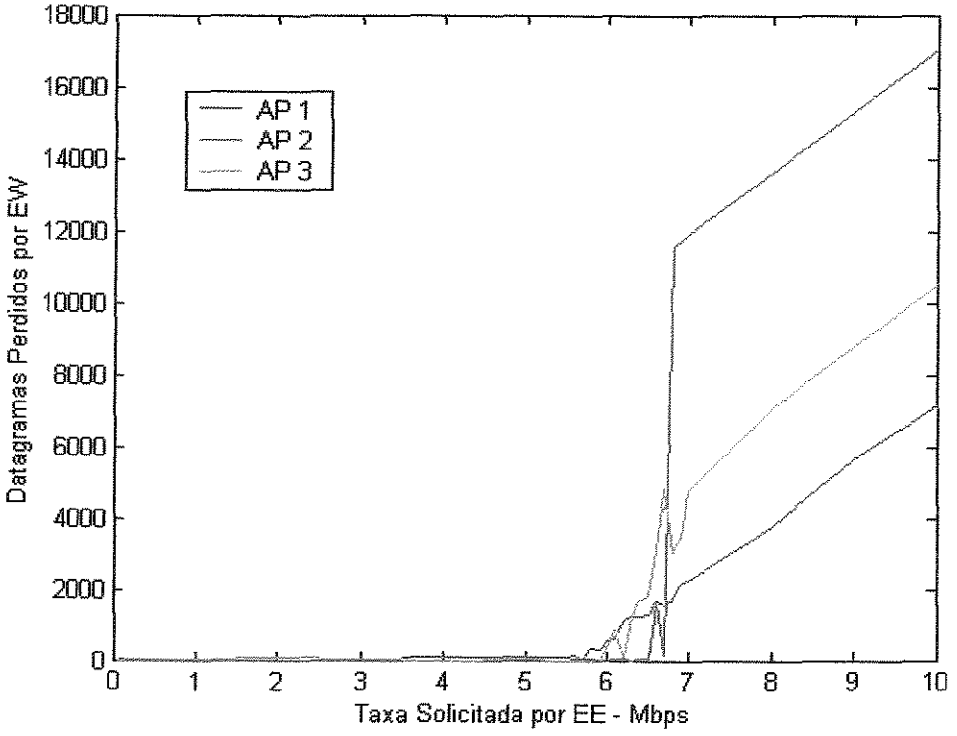


Fig. 32 – Perda de Datagramas

5.1.2. Comportamento na Região de Saturação – APs *Fat*

Este conjunto de testes foi descrito pelo item 4.1.2 e verifica o comportamento da WLAN em operação próximo à região de saturação com estações *wireless* compartilhando a mesma banda. A Tabela VIII mostra o comportamento da taxa para cada EW em cada AP.

TABELA VIII
TAXA FORNECIDA MÁXIMA NÃO ULTRAPASSADA

Sentido do Tráfego	Taxa Média Fornecida [Mbps]			Desvio Padrão [Mbps]		
	AP1	AP2	AP3	AP1	AP2	AP3
EE1-EW1	1,2480	1,5000	1,3385	0,0162	0,0177	0,0284
EE2-EW2	1,2479	1,5000	1,3068	0,0172	0,0183	0,0577
EE3-EW3	1,2477	1,4999	1,3196	0,0176	0,0205	0,0466
EE4-EW4	1,2478	1,5000	1,3173	0,0167	0,0183	0,0541

As Figura 33, 34 e 35 mostram respectivamente para AP1, AP2 e AP3 a distribuição de taxa fornecida. A taxa solicitada para cada AP foi de 1,25Mbps para o AP1, 1,5Mbps para o AP2 e 1,35Mbps para o AP3, baseado na faixa de 500Kbps de segurança para não atingir a taxa de saturação que cada AP apresentou em 5.1.1.

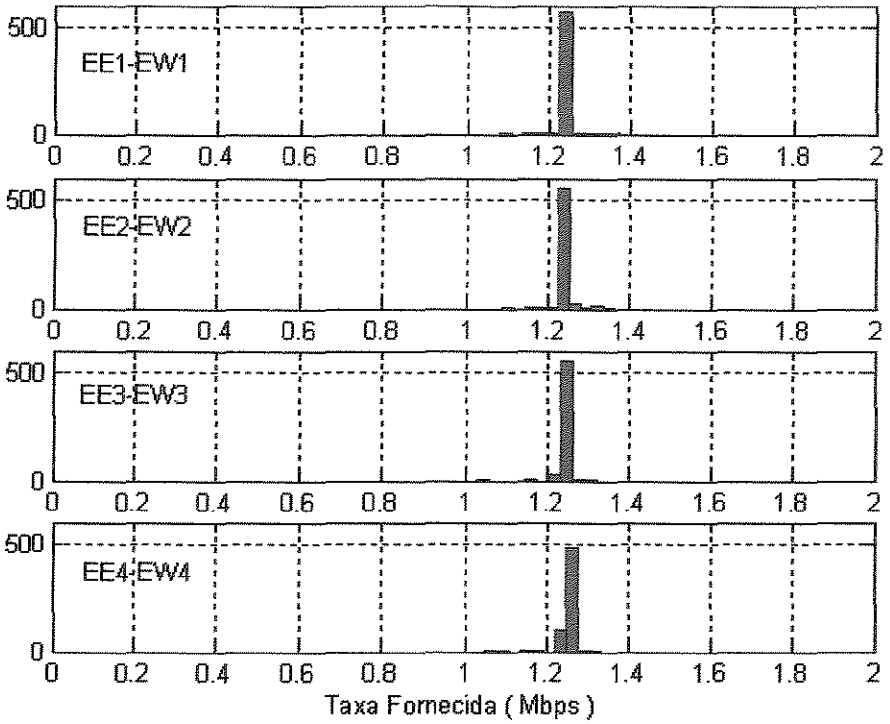


Fig. 33. Taxa Fornecida dentro da Máxima do AP1

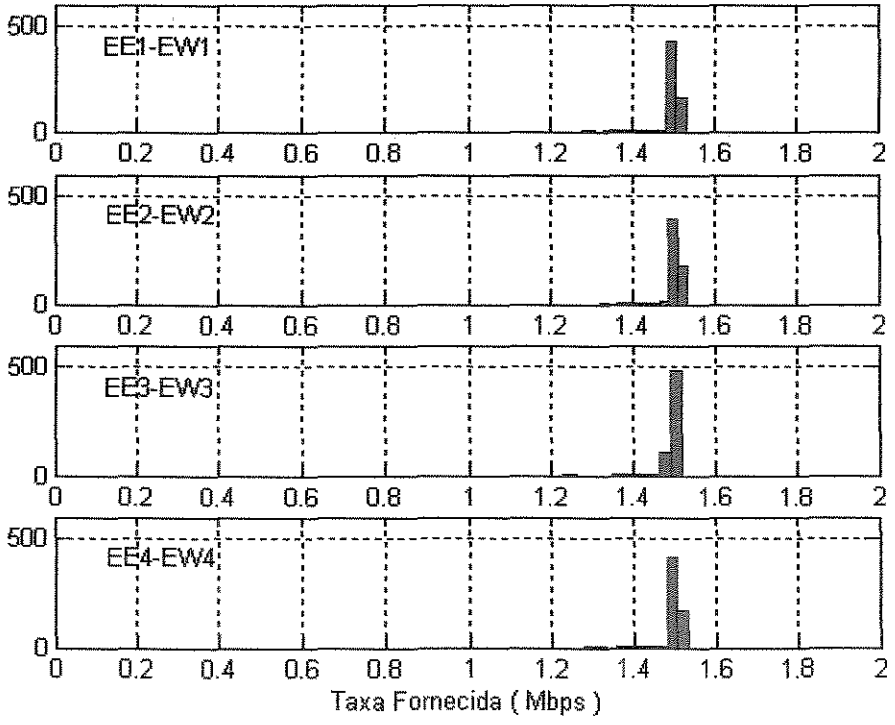


Fig. 34. Taxa Fornecida dentro da Máxima do AP2

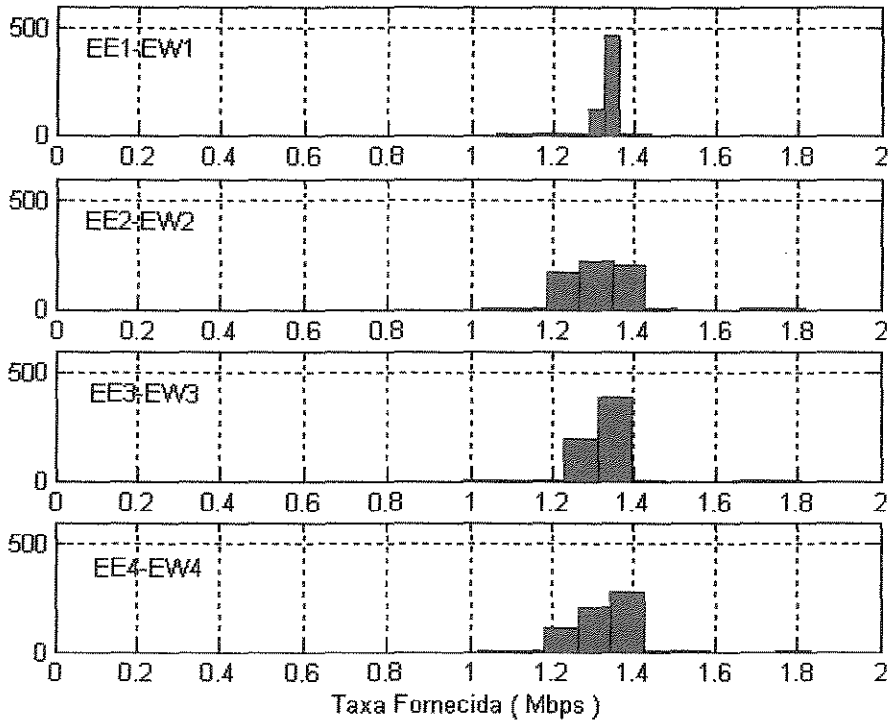


Fig. 35. Taxa Fornecida dentro da Máxima do AP3

Para 4 pares de EEs – EWs operando com taxa solicitada somada menor que a taxa máxima fornecida pelos APs existe uma regularidade da taxa fornecida, mas um dos APs apresenta um desvio padrão maior que os demais. Esta irregularidade do AP3, deve-se à faixa de 500Kbps de segurança, onde mesmo antes de atingir a taxa de saturação, este AP já apresenta oscilações para a rede.

O comportamento do *jitter* visto na Figura 36 demonstra que a uma taxa solicitada abaixo da taxa máxima fornecida pelo AP1 geram nas estações *wireless* baixa oscilações para aplicações sensíveis a variações de datagramas. Estas oscilações são consideradas baixas, pois este trabalho tem a intenção de fornecer informações para estudos futuros em aplicações multimídia para WLAN e variações até 150ms não são perceptíveis por estas aplicações [31]. Os APs 2 e 3 tiveram um comportamento similar ao encontrado no AP1, por isso as figuras que ilustram seus comportamentos com relação ao *jitter*, encontram-se no Anexo C, Figura 36a – AP2 e Figura 36b – AP3. Outra característica observada na figura que ilustra o comportamento do *jitter* é referente a estação 4, com todos os APs esta estação obteve um jitter maior que as

outras estações. Isto ocorreu devido ao fato das estações serem inseridas na WLAN uma subseqüente à outra e a última estação encontrou um tráfego maior que as outras.

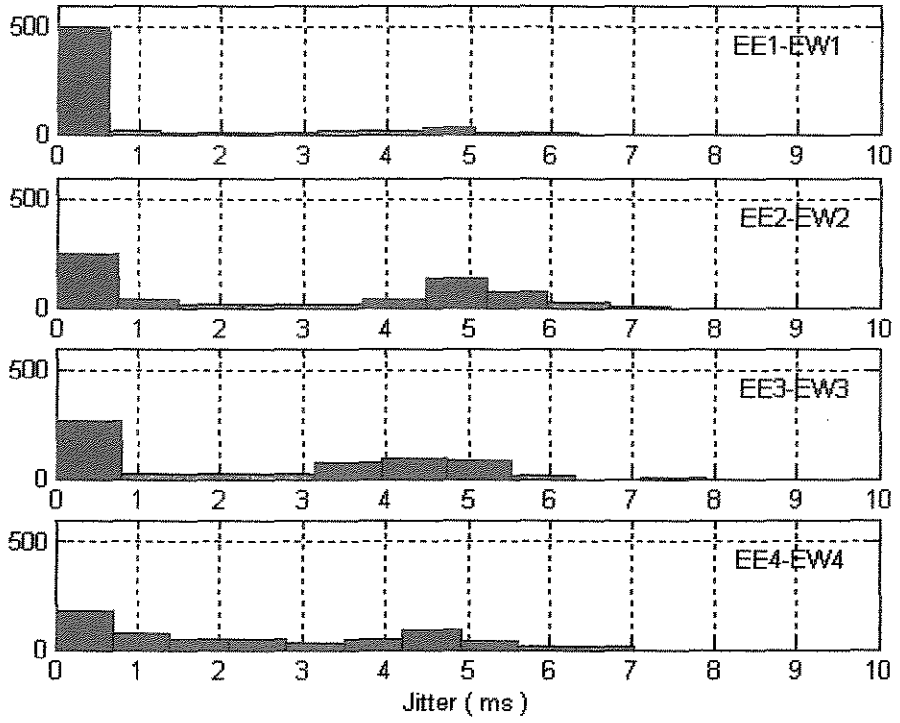


Fig. 36. *Jitter* com Taxa Fornecida abaixo da Máxima do AP1

A Figura 37 apresenta uma perda de datagramas proporcional à taxa fornecida pelo AP1. APs 2 e 3 obtiveram comportamentos similares, vide Anexo C.Observa-se uma baixa perda de datagramas entre os APs. Isto demonstra o que fora visto no primeiro conjunto de testes, quando não é ultrapassado o limite de taxa máxima fornecida do AP, a WLAN opera de forma estável, mas não se deve ter isto como regra, pois se verificou que um dos APs teve uma oscilação de taxa fornecida maior que os demais, demonstrando que se pode ter variações de fabricante à fabricante.

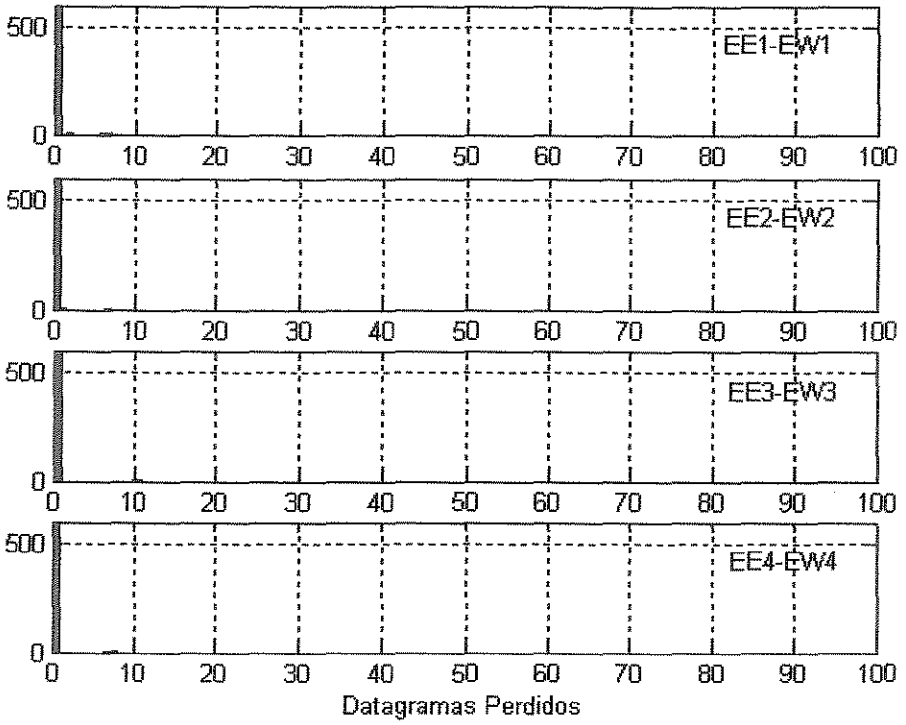


Fig. 37. Datagramas Perdidos com Taxa Fornecida abaixo da Máxima do AP1

Quando a taxa máxima fornecida pelo AP é atingida, observa-se instabilidades na taxa fornecida, conforme indica a Figura 38, que ilustra o comportamento do AP1. Os APs 2 e 3 tiveram este mesmo comportamento, ver anexo C. Observa-se uma variação nos valores médios da taxa fornecida entre os pares EE-EWs e o desvio padrão aumenta em aproximadamente 8 vezes para algumas EWs em relação às condições anteriores, quando a taxa de saturação não era atingida (Tabela IX).

TABELA IX
TAXA FORNECIDA MÁXIMA

Sentido do Tráfego	Taxa Média Fornecida [Mbps]			Desvio Padrão [Mbps]		
	AP1	AP2	AP3	AP1	AP2	AP3
EE1-EW1	1,2555	1,4879	1,2199	0,0687	0,0812	0,1667
EE2-EW2	1,3258	1,4992	1,2099	0,0413	0,0884	0,1231
EE3-EW3	1,2188	1,4669	1,2912	0,0922	0,1009	0,1405
EE4-EW4	1,3017	1,4610	1,3373	0,0555	0,0879	0,1044

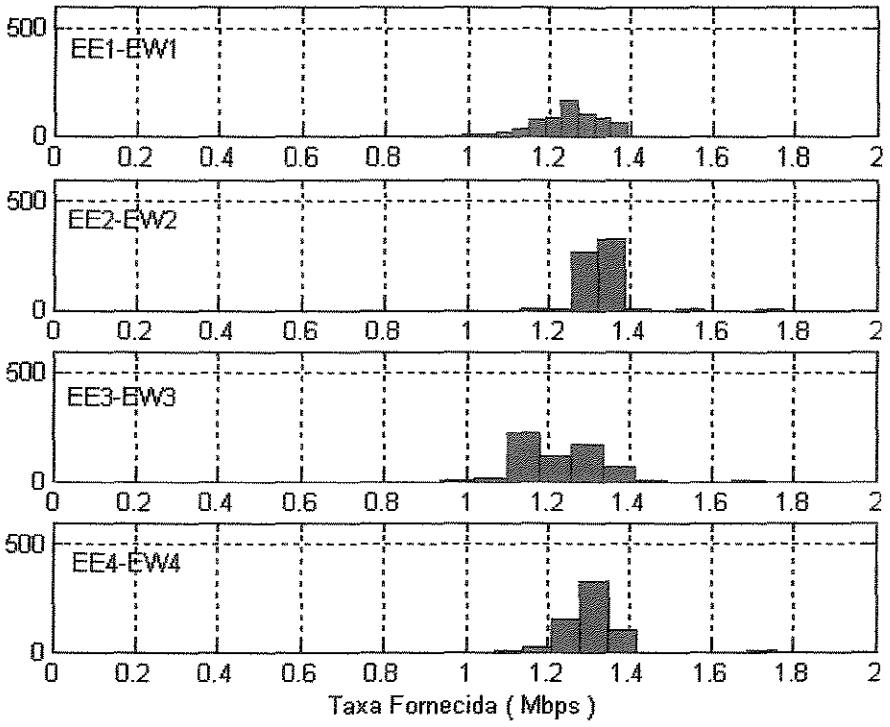


Fig. 38. Taxa Fornecida Máxima do AP1 - Saturação

Nesta condição, observa-se que uma WLAN operando sobre sua taxa fornecida máxima degrada a qualidade das taxas fornecidas às EWs. Este resultado é significativo, mostrando que deve ser evitada uma taxa solicitada sobre a taxa fornecida máxima. Esta variação da taxa fornecida deteriora os serviços oferecidos.

A Figura 39 mostra o *jitter* para AP1 e se verifica que os valores encontrados não afetam ainda aplicações multimídia. Observa-se na Figura 40 um aumento na perda de datagramas no AP1, devido à taxa máxima fornecida do AP. Assim, como a taxa fornecida pelo AP1 teve oscilações, a perda de datagramas entre as estações não obtiveram um comportamento proporcional. Informações do *jitter* e perdas de datagramas do AP2 e AP3 são relatadas no anexo C, devido á similaridade entre eles.

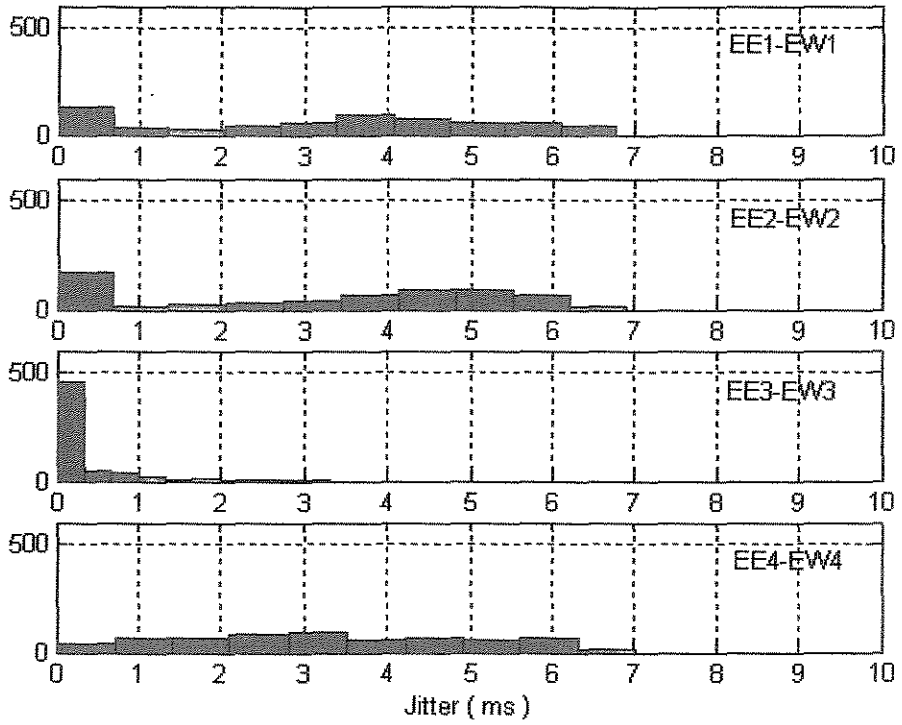


Fig. 39. Jitter para Taxa Fornecida Máxima do API

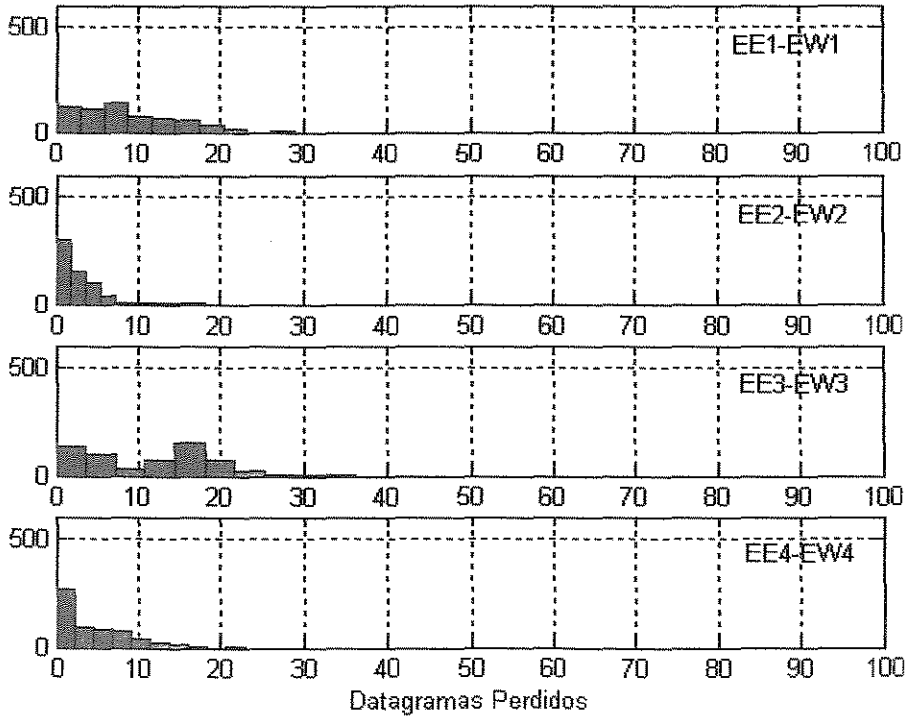


Fig. 40. Datagramas Perdidos para Taxa Fornecida Máxima do API

5.1.3. Taxa com EW Desfavorável – APs *Fat*

O conjunto de testes verificado neste item, foi descrita em 4.1.3 e analisa-se o comportamento da WLAN com uma EW operando com taxas degradadas. Para a arquitetura *Fat* esta anomalia foi verificada em [2] e confirmada pelos resultados obtidos neste item. Com AP *Fat* esta anomalia de desempenho mostra que as oscilações da EW em condição desfavorável afeta o desempenho das demais EWs, que não estão em condição desfavorável. A Figura 41 mostra os resultados obtidos.

Como foi observado no item anterior, um comportamento similar entre os APs de arquitetura *Fat*, portanto este conjunto de testes utiliza o AP2 para demonstração do comportamento da arquitetura *Fat*. A taxa solicitada por cada EE foi de 1,5Mbps. Primeiramente entrou o par EE1-EW1. Após 20s entrou o par EE2-EW2. Em seguido após mais 20s entrou o par EE3-EW3. Até este ponto, observa-se na Figura 41 o comportamento estável da rede com EWs de 1 a 3 com taxa de 1,5 Mbps. Após 20s entrou o último par EE4-EW4, que EW4 estava em condição desfavorável, alterando permanentemente sua taxa de transmissão na camada física. A oscilação de taxa de EW4 afetou todas as EWs. A soma das taxas solicitadas ficou abaixo da taxa máxima fornecida pelo AP, não entrando na condição de instabilidade, vista no item anterior. A Tabela X mostra a taxa média fornecida e o desvio padrão de cada par EE-EW.

TABELA X
Taxa Fornecida para Arquitetura *Fat* – AP2

Sentido do Tráfego Gerado	Taxa Média das EWs [Mbps]	Desvio Padrão [Mbps]
EE1-EW1	0,6958	0,2973
EE2-EW2	0,6662	0,3264
EE3-EW3	0,6367	0,3038
EE4-EW4	0,6670	0,3066

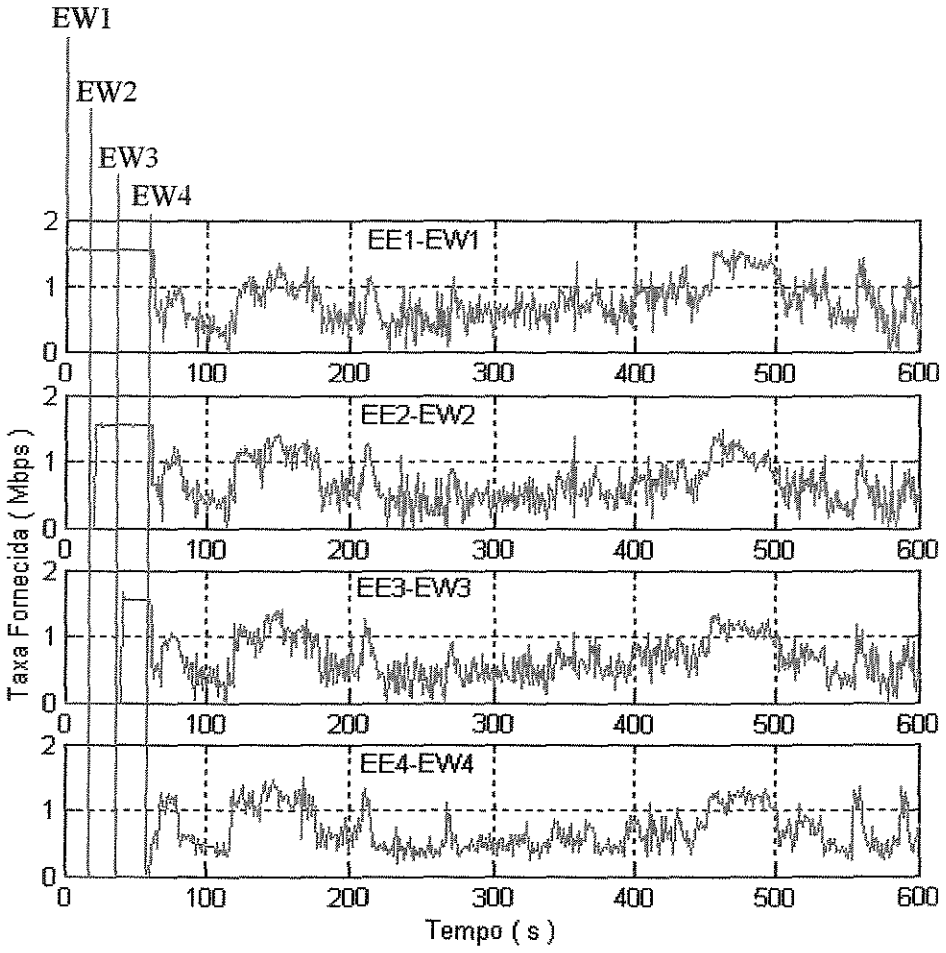


Fig. 41. Taxa Fornecida para Arquitetura *Fat* – AP2

A Figura 42 reflete os dados vistos na Tabela X, que mostra uma queda na taxa fornecida para todas EWs da rede após a EW4 (em condição desfavorável) entrar na rede.

O *jitter* nestas condições merece atenção, pois podem passar a influenciar por exemplo, uma aplicação multimídia [31]. A Figura 43 ilustra a alteração do *jitter*, como observado anteriormente teve pequena variação com o aumento da intensidade de tráfego. No conjunto de testes com a EW desfavorável, passa a ter grandes variações, devido à anomalia apresentada pela 802.11.

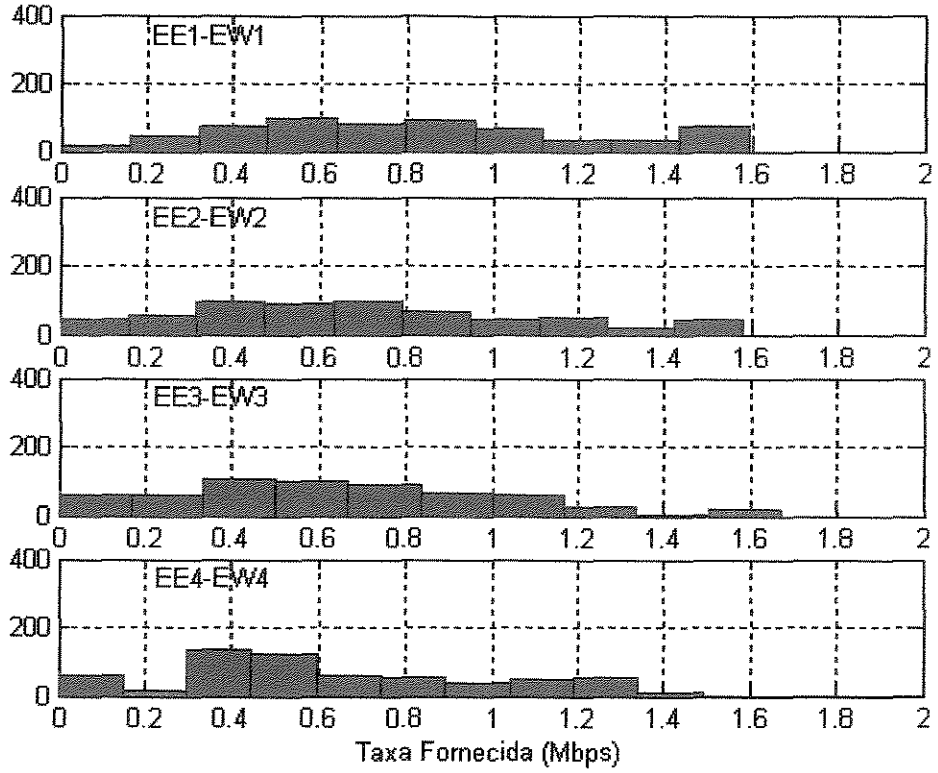


Fig. 42. Taxa Oferecida para Arquitetura *Fat* – AP2

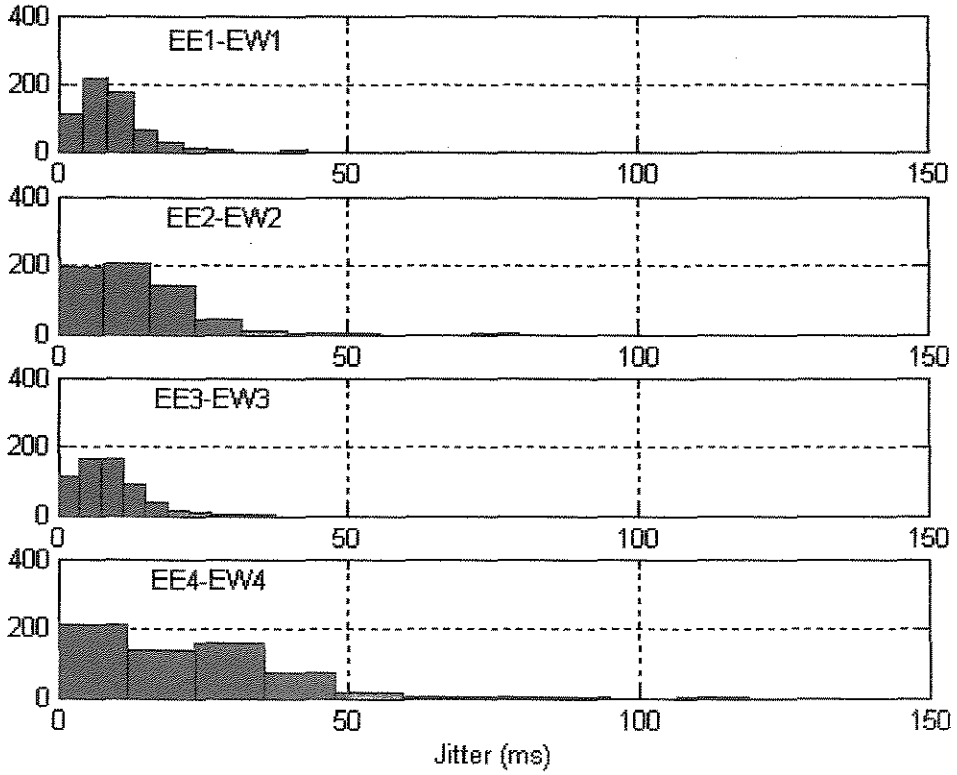


Fig.43 – *Jitter* para Taxa Oferecida para AP *Fat* – AP2

A perda de datagrama cresce proporcionalmente à variação na taxa fornecida pelo AP2, para as estações *wireless*. E mostra grandes quantidades de datagramas perdidos com este comportamento, visto na WLAN com AP2 - *Fat* e ilustrado na Figura 44.

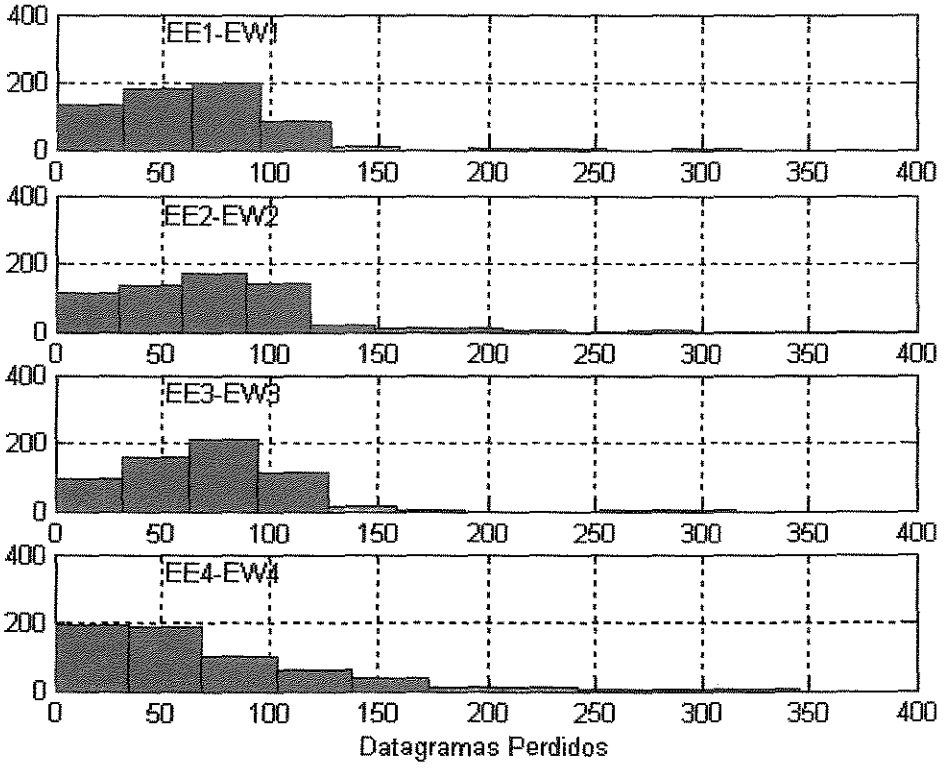


Fig.44 – Datagramas Perdidos para Taxa Oferecida para Arquitetura *Fat* – AP2

5.2. AP de Arquitetura *Thin*

Os resultados e análises a seguir verificam o comportamento de um AP de arquitetura *Thin*. Este AP é formado pelo APo (camada Física) e WS (MAC). Os resultados encontrados são comparados à um AP de arquitetura *Fat*. Neste caso, assim como no item anterior, devido a similaridade de comportamento entre APs de arquiteturas *Fat*, utiliza-se o AP2.

5.2.1. Taxa Máxima Fornecida pelos APs

Para testes entre APs de arquiteturas diferentes, *Fat* e *Thin*, foi utilizado o conjunto de testes descrito em 4.1.1, como mostrado na Figura 27. Uma EE e uma EW utilizaram o NA para análise de tráfego e a outra EE enviou pacotes para a EW através do AP. Da mesma forma, todas estas estações foram posicionadas para obter sinal excelente de recepção do AP, operando assim com taxa de 11Mbps na camada física. A taxa solicitada foi variada de 50Kbps a 10Mbps, com maior número de pontos na região de saturação. Neste caso, utilizou-se o APo (arquitetura *Thin*) e o AP2 (arquitetura *Fat*) utilizado anteriormente.

A Tabela XI mostra a taxa máxima fornecida por cada arquitetura.

TABELA XI
TAXA FORNECIDA MÁXIMA

AP	Taxa Fornecida Máxima [Mbps]
AP2	6,5
APo	6,0

A Figura 45 apresenta o comportamento do AP e APo para a taxa fornecida em função da taxa solicitada. A WLAN quando está com taxa solicitada abaixo da taxa máxima fornecida, seja com arquitetura *Fat* ou *Thin*, comporta-se de maneira estável. A tecnologia com arquitetura *Thin* demonstrou uma grande estabilidade e absolutamente linear.

Embora o AP2 tenha apresentado a maior taxa máxima fornecida, o mesmo apresentou um comportamento bastante irregular com o aumento da taxa solicitada. Observa-se na Figura 45, após a taxa solicitada ficar 10% acima da taxa fornecida máxima o AP deixa de operar. Para a arquitetura *Thin* foi observada uma regularidade após ultrapassar a taxa máxima fornecida, saturando em 6Mbps.

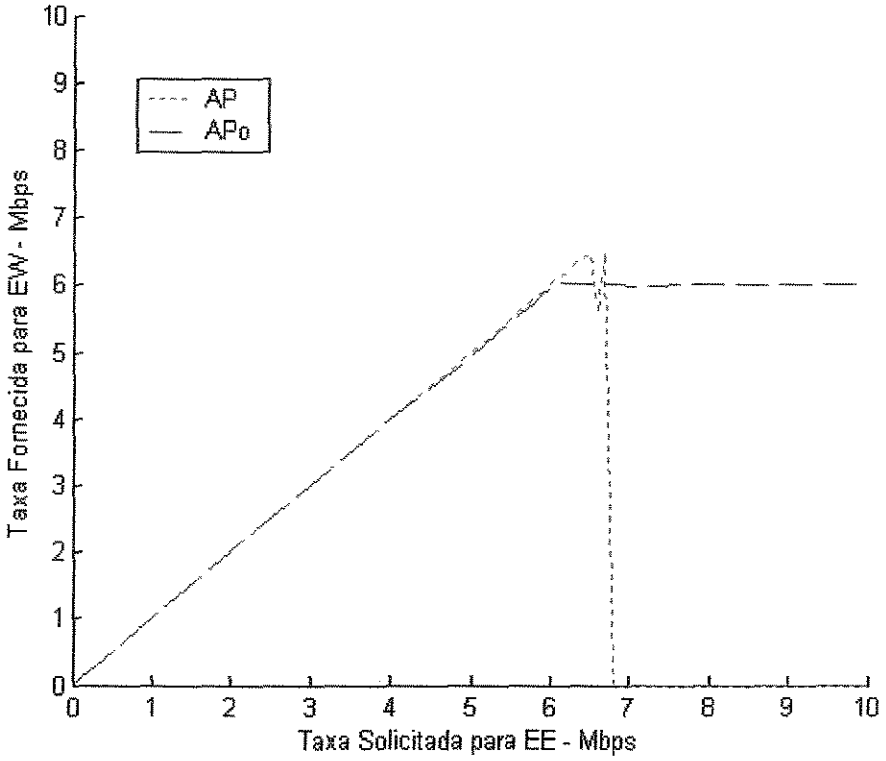


Fig. 45. Saturação do AP2 e APo

O comportamento do *jitter* é similar para o APo quanto para os APs *Fat* ilustrados pela Figura 31, ou seja, com o aumento da intensidade de tráfego pelo aumento na taxa solicitada pelas EEs para as EWs, ocorre um aumento também na mesma proporção para o *jitter*.

Com a perda de datagramas pelo APo, ocorre uma perda proporcional a taxa solicitada após a ultrapassagem do ponto de saturação do APo. Situação similar aos APs *Fat* ilustrado na Figura 32.

5.2.2. Comportamento na Região de Saturação – AP *Thin*

A arquitetura *Thin* (APo) analisada através do conjunto de testes descritos em 4.1.2, mostrado na Figura 28. O APo apresentou características similares quando exposto a situação imposta aos APs de arquitetura *Fat*. Devido a operação sobre o ponto de saturação, o APo, assim como os APs, tem oscilações na taxa fornecida pela WLAN, devido ao intenso tráfego exigido da rede. Oscilações justificáveis pela operação sobre o

limite de taxa fornecida pelo AP (ponto de saturação), ocorrendo variações na taxa fornecida e perdas de datagramas, ilustrada e descrita na avaliação com APs de arquitetura *Fat*.

5.2.3. Taxa com EW Desfavorável – AP *Thin*

Neste conjunto de testes, uma EW foi posicionada em condição desfavorável, da mesma forma que foi realizado com a Arquitetura *Fat*. O sinal recebido do AP foi degradado o suficiente para que a EW transmita em taxas menores que as outras três EWs, posicionadas próximas ao AP, que estavam com taxa máxima. Neste caso, também a soma das taxas solicitadas pelas EEs não ultrapassam a taxa máxima fornecida pelo APo. O tráfego será gerado da mesma forma que na arquitetura *Fat*.

Os resultados para este conjunto de testes são diferentes para as arquiteturas *Fat* e *Thin*. Para a arquitetura *Thin*, mostrada na Figura 5, os resultados foram bastante diferentes, se comparados como os resultados obtidos pela arquitetura *Fat*. A Figura 46 apresenta este resultado com o mesmo procedimento adotado para obtenção dos resultados mostrados na Figura 41. Verifica-se que existe estabilidade nas estações EW1, EW2 e EW3, que estão próximas ao APo, mesmo quando EW4, em condição desfavorável, entra em operação. A Tabela XII apresenta a taxa média das EWs. Observar a baixa taxa do par EE4 – EW4, comparado com os outros pares de estações.

Tabela XII
Taxa Fornecida para Arquitetura *Thin*

Sentido do Tráfego Gerado	Taxa Média das EWs [Mbps]	Desvio Padrão [Mbps]
EE1-EW1	1.4894	0.0383
EE2-EW2	1.4901	0.0369
EE3-EW3	1.4764	0.0421
EE4-EW4	0.8355	0.4551

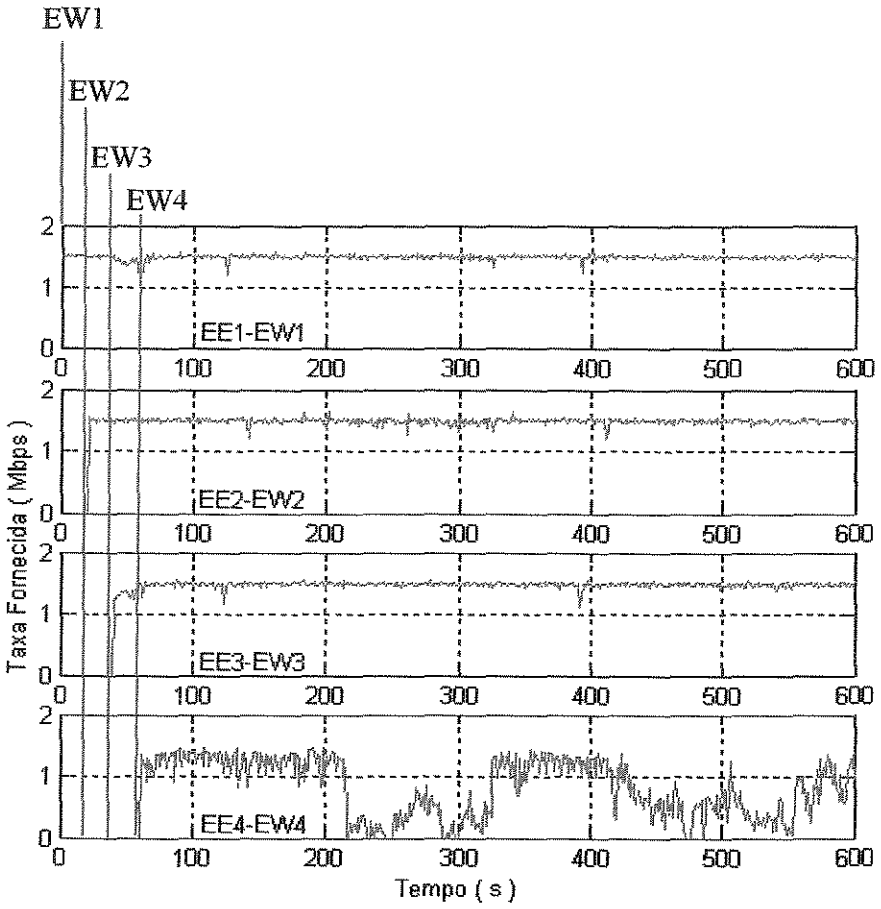


Fig. 46 Taxa Oferecida com Arquitetura *Thin*

A diferença entre as taxas fornecidas às EWs podem ser vistas na Figura 47, que ilustra a alta variação nas taxas fornecidas a EW4 em condição desfavorável.

Observar-se na Figura 48, o comportamento do *jitter* para as EW1, EW2 e EW3, chegam a valores similares aos encontrados em tráfego intenso, como no conjunto de testes em 4.1.2. Para a EW4 os valores são diferentes e se parecem com os valores encontrados no conjunto de testes descrito em 4.1.3, para APs *Fat* em todas as EWs que participavam daquele teste.

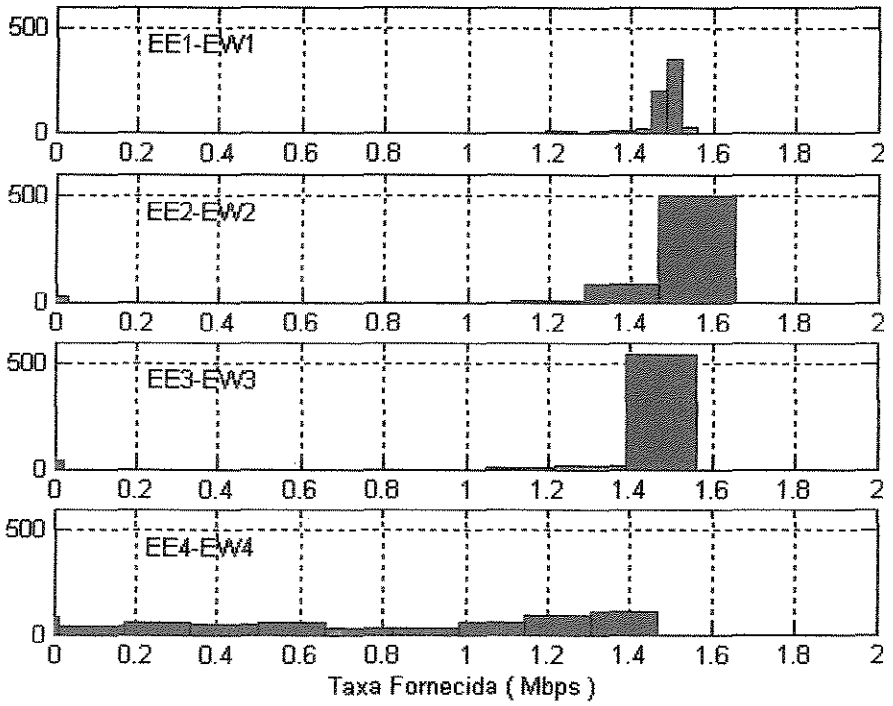


Fig. 47 Taxa Oferecida com Arquitetura *Thin*

A Figura 49 mostra a perda de datagramas e reforça os dados vistos na Figura 46 e 47. O péssimo desempenho da EW4 não influenciou as demais estações *wireless*, que participavam da WLAN no momento do teste.

Este comportamento é bastante conveniente para PWLAN, pois não penaliza os usuários próximos aos APs em função de usuários localizados em posição não favorável, dentro da área de cobertura [38]. Este tipo de comportamento já foi constatado em [30], quando as estações tiveram sua taxa fixada em 11Mbps, demonstrando justiça da rede em relação aos usuários com boa relação sinal-ruído. Este comportamento da arquitetura *Thin* pode ser justificado de duas formas.

Uma primeira análise pode justificar este comportamento pela fixação da taxa das EWs em 11Mbps [38]. A penalização da estação EW4 acontece em função de um baixo desempenho da modulação e espalhamento utilizado para esta taxa, como mostrado na Tabela I, no item 2.13.

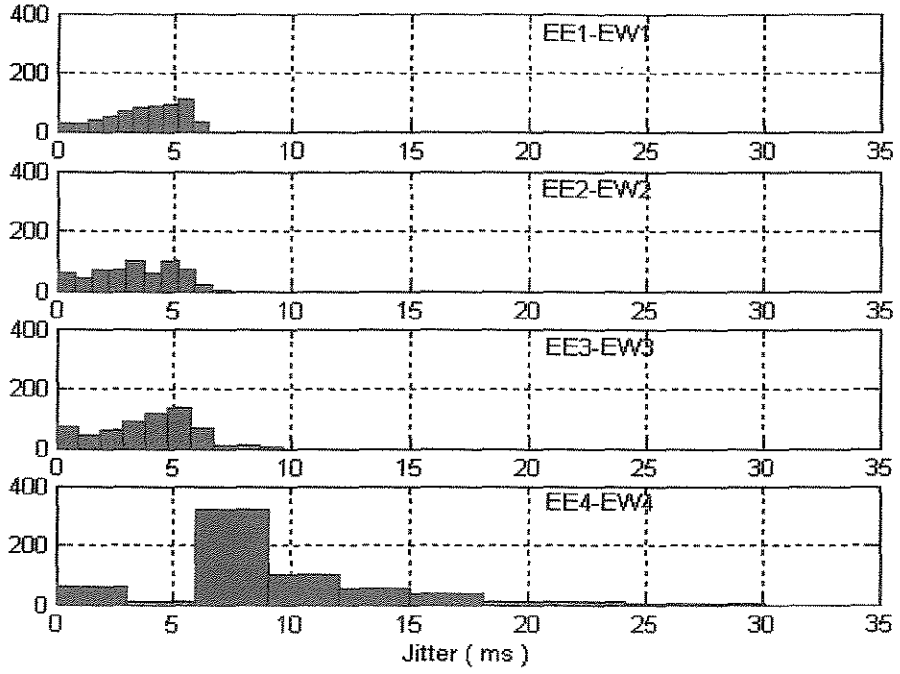


Fig. 48 *Jitter* da Taxa Oferecida com Arquitetura *Thin*

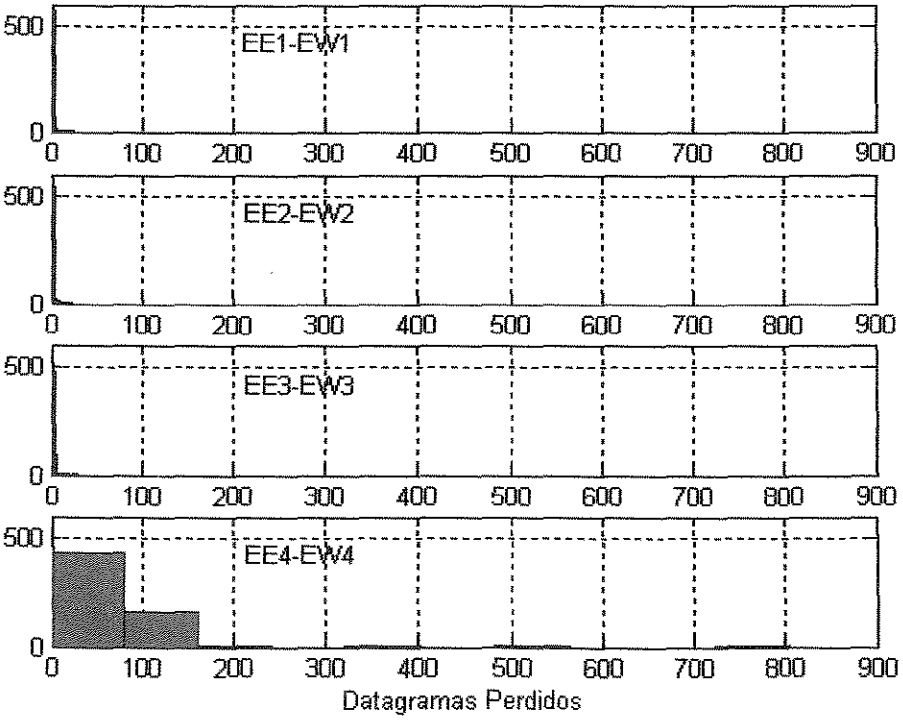


Fig. 49 Datagramas Perdidos para Taxa Oferecida com Arquitetura *Thin*

A banda ocupada pela WLAN é sempre a mesma, independente da taxa. Sendo assim, para SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) piores, com uma mesma potência, o desempenho será pior para taxas maiores no canal, levando em conta a modulação DQPSK e um ganho de processamento menor para obter uma taxa maior [38]. Considerando estes fatores e a relação sinal-ruído (SNR) estabelecida em (8), concluí-se que a taxa efetiva será menor em função do aumento da BER.

$$SNR = (Eb / No) * (R / B_T) \tag{8}$$

onde *Eb* é a energia de bit, *No* é a densidade espectral de potência de ruído, *R* é a taxa em bps e B_T é a banda de freqüência utilizada.

Uma segunda análise para o comportamento obtido pela arquitetura *Thin*, é a priorização pela MAC de tráfego de estações com melhor SNR [38]. A informação de SNR é obtida pela MAC. Esta justificativa parece bastante viável, pois foi constatada a alteração de taxa de transmissão da EW em condição desfavorável pelo software de monitoração de taxa transmissão, que não permanecia fixo em uma só taxa.

A priorização de tráfego pela MAC pode ocorrer através do mecanismo de *backoff*. O mecanismo de *backoff* insere para a EW um tempo de contenção, que dependendo da disponibilidade de acesso da EW para a WLAN, o tempo é incrementado exponencialmente. Portanto, conforme mostrado em (7) o tempo total de transmissão é afetado e o desempenho da WLAN também.

Uma fórmula simplificada para o tempo de contenção é proposta em [2] (veja em [39] fórmula original), onde é considerado que as EWs sempre encontrarão o meio ocupado ao tentar transmitir e o número de transmissões sujeitas a colisões são negligenciadas. Para isto, tem-se:

$$Tc(N) \cong SLOT * (1 + \frac{Pc(N)}{2}) * \frac{CW\min}{2} \tag{9}$$

onde *Pc(N)* é a proporção de colisão para cada pacote entregue com sucesso para a MAC ($0 \leq Pc(N) < 1$).

Uma simples expressão para *Pc(N)* pode ser verificada em [2], onde foi considerado que uma EW ao transmitir, eventualmente sobre uma colisão, múltiplas colisões foram descartadas e o *backoff* escolhido corresponde a *CWmin* .

$$Pc(N) = 1 - (1 - \frac{1}{CW\min})^{N-1} \qquad (10)$$

É possível verificar que em (9) , complementada por (10), que *CW* tem forte influência na disponibilidade da EW para acessar a WLAN. No Capítulo 4, foi verificado o impacto que uma EW em condição desfavorável causa em toda a WLAN.

Visto que a WLAN disponibiliza na rede o sinal e a taxa de transmissão na camada física para o estabelecimento da comunicação entre EWs e AP, pode-se através destas informações atribuir valores para *CW* que façam com que EWs com baixo desempenho não afetem a rede. É exercitado a variação de *CWmin* de (9) e (10), estendendo-se entre *CWmin* à *CWmax*. A Figura 50 ilustra a diferença entre valores mínimos e máximos de *CW* e verifica-se que uma estação operando com *CW* igual a 1023 (*CWmax*), tem 3% de oportunidade de concorrer pela taxa oferecida pelo AP em relação a estação com *CW* igual a 31 (*CWmin*).

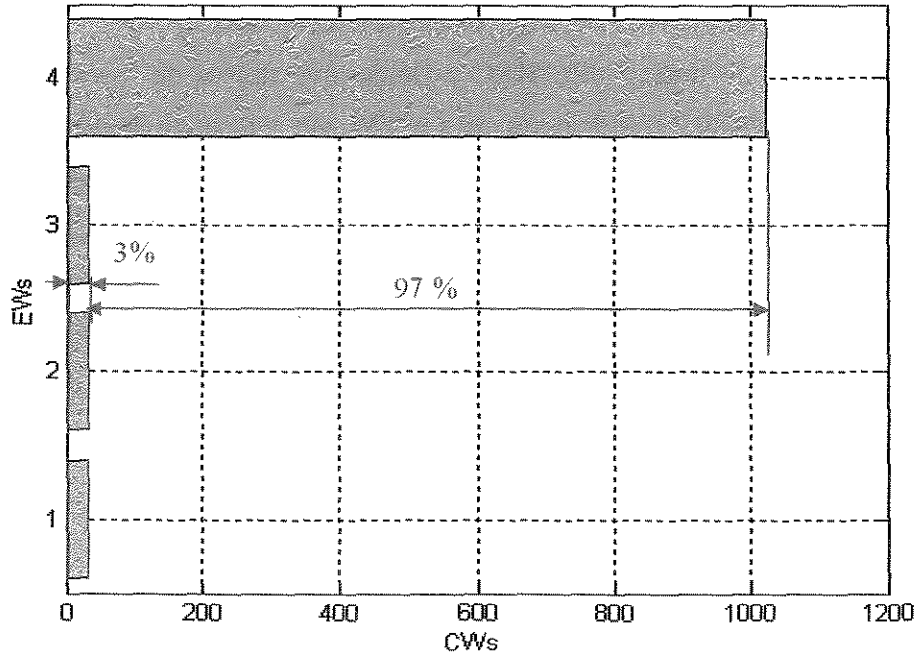


Fig. 50 – *CW* Configurado para cada Estação

Os resultados do tempo de contenção na rede, adicionado aos demais tempos necessários para transmissão de um datagrama e relacionado ao tempo de transmissão do dado T_D, proporcionam uma visão da disponibilidade da WLAN para EW. Considerando que a proporção da taxa fornecida é dada por:

$$P = \frac{TD}{TempoMAXCW} \qquad (11)$$

onde $Tempo_{MAX\,CW}$ é obtido de (7) que teve $T_{C\,MAX}$ substituído por *Tc(N)*.

Pode-se verificar a proporção em *P* que a EW terá na WLAN disponível à transmitir. Observe os exemplos, onde a proporção de colisão *Pc* foi igualado a zero, devido a existência de somente uma estação na WLAN. Para $CW = 1023 = CWmax$;

Tem-se
$Pc(1) = 0$
$Tc(1) = 5115\ \mu s$
$Tempo_{MAX}CW = 6685\ \mu s$
$P\ (1) = 16{,}69\ \%$

Para os dados acima, têm-se para uma EW desfavorável a disponibilidade de 16,69% da rede, que reflete em 1,83Mbps de taxa de transmissão disponível para esta estação. Enquanto isso, para um $CW = 31 = CWmin$;

Tem-se
$Pc(1) = 0$
$Tc(1) = 155\ \mu s$
$Tempo_{MAX}CW = 1725\ \mu s$
$P(1) = 64{,}69\ \%$

O valor de 64,69 % representa 7,12Mbps de disponibilidade para transmissão de dados à uma EW em condição favorável, como foi demonstrado em [2] e no item 5.1 deste capítulo. Foi encontrado o valor próximo (7,64Mbps), lembrando que na ocasião não foi considerado o tempo de contenção (*Tc*).

Os dados acima representam para uma WLAN 802.11b, operando a 11Mbps na camada física, que uma EW foi configurada a operar com *CWmin* e outra EW configurada a operar com *CWmax* , mas ambas em distintas WLANs. Se ambas as estações estiverem operando em uma mesma WLAN e considerando a proporção de colisões e o portanto *Tc* tem uma baixa variação devido a inserção de mais uma EW, tem-se as seguintes taxas fornecidas as estações:

- Para a EW configurada com *CWmax*, a estação tem disponível uma taxa de transmissão de aproximadamente 1,8Mbps para compartilhar com demais EWs que compõe a rede;

- Para a EW configurada com *CWmin*, a estação tem disponível aproximadamente 7,1Mbps para compartilhar com demais EWs.

A Figura 51 mostra a taxa que é disponibilizada para cada estação em uma WLAN com gerenciamento do mecanismo de *backoff* por SNR.

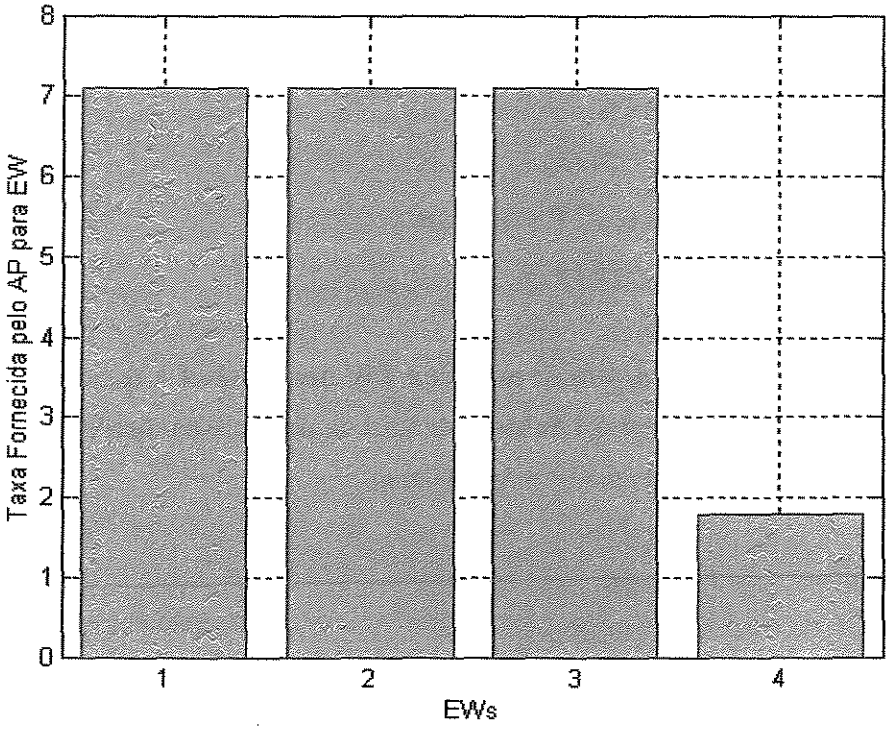


Fig.51 – Taxa Oferecida para cada EW

Se ambas as estações transmitirem a uma taxa superior as encontradas acima, ocorrerá perdas de pacotes, como visto no Capítulo 4.

A variação de taxa de transmissão entre as estações podem ocorrer, mas estas devem respeitar a taxa fornecida.

O controle pela janela de contenção (*CW*) mostra-se eficiente e a WLAN utilizando informações como a relação sinal-ruído das estações da rede, pode atribuir através da MAC valores para *CW*.

No item 5.2.3, 4 estações *Ethernet* transmitiram a uma taxa 1,5Mbps para EW, só que a EW4 estava em condição desfavorável. A variação da estação desfavorável não

afetou as demais EWs como em 5.1.3 e os valores transmitidos entre estas estações estavam dentro da taxa de transmissão demonstradas acima.

5.3. Conclusões Parciais

Foram apresentados os resultados experimentais de redes WLAN com as arquiteturas *Fat* e *Thin*. Foram avaliadas: taxa máxima fornecida, *jitter*, instabilidade sobre a taxa máxima fornecida e análise de anomalia com estação em condição desfavorável. Foi constatado que tanto a arquitetura *Fat* quanto *Thin* comportam-se de forma estável em relação à taxa solicitada, quando não se ultrapassa a taxa fornecida máxima pelo AP. Neste caso existe uma relação linear entre a taxa solicitada e a taxa fornecida. Foi observado que o *jitter* aumenta conforme as taxas solicitadas se aproximam da taxa máxima fornecida pelo AP. Por outro lado, quando se opera sobre a taxa fornecida máxima pelo AP, surgem instabilidades na taxa fornecida. Esta situação ocorre para condições de tráfego intenso, mostrando um ponto crítico em função da variação da taxa de transmissão. Quando a taxa solicitada é ultrapassada num valor acima de 10% da taxa máxima fornecida ocorre a queda na operação de APs, dependendo do fabricante. Estas instabilidades não foram observadas na arquitetura *Thin*, onde se obteve uma saturação em 6Mbps com divisão de taxa igualmente entre EWs.

Para condição desfavorável de uma EW, a arquitetura *Thin* mostrou-se estável, não penalizando as EWs que estavam com boas condições de recepção do sinal. Este resultado é significativo uma vez que demonstra um comportamento de justiça, pois penaliza somente a EW em condição desfavorável, diferente da arquitetura *Fat*, que uma EW em condição desfavorável penaliza todas as EWs. Esta deficiência na arquitetura *Fat* é crítica para casos de intenso tráfego, como esperado em PWLAN através de *hot spots*.

Uma justificativa para o não aparecimento da anomalia na arquitetura *Thin*, dá-se pela MAC através do mecanismo de *backoff*, pelo ajuste da janela de contenção, onde se verifica que configurando uma EW a trabalhar com determinadas *CW*, pode-se evitar que estações com péssimas condições de conexão com a rede, venham a prejudicar toda a WLAN.

Diferentes resultados, referentes a condições de transmissão, foram encontrados no Capítulo 4 para arquiteturas de APs *Fat* e *Thin*, tendo o AP *Thin* se mostrado menos suceptível às variações das condições de transmissão das estações. Por se tratar de uma solução proprietária, não se tem acesso a implementação utilizada no AP *Thin* deste trabalho.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

As WLANs 802.11 são encontradas em vários locais onde se fazem necessárias conexões entre estações e não existe uma infra-estrutura de rede cabeada disponível. A 802.11b foi o primeiro padrão a fornecer uma taxa de transmissão atraente aos usuários de rede. Com a expansão das WLANs, outros padrões vem surgindo e novas soluções estão aparecendo para melhorar o desempenho das redes *wireless*.

O Capítulo 2 apresentou características e especificações dos padrões 802.11. Foram confrontadas algumas diferenças entre as extensões 802.11b, 802.11a e 802.11g para que seja possível identificar entre os padrões, o mais adequado a necessidade do usuário.

Semelhante as redes cabeadas, as WLANs tem especificações que devem ser respeitadas para seu bom funcionamento. Por outro lado, diferentemente das redes cabeadas, onde por exemplo se especifica a distância da rede e facilmente é controlada, as WLANs utilizam o espectro eletromagnético como meio de comunicação e alguns fatores desconhecidos por usuários de redes cabeadas influenciam no desempenho destas redes *wireless*. Fatores como a propagação de sinais por RF podem influenciar a área de cobertura. A escolha de um canal de transmissão de RF pode interferir ou ser interferido por outro equipamento próximo à WLAN.

Mobilidade, tráfego e cobertura foram abordados no Capítulo 3 e aplicados no Capítulo 4, foram descritos experimentos realizados com WLANs, montadas a partir de diversos APs. Os experimentos realizados avaliaram a taxa máxima fornecida, o comportamento das WLANs quando a taxa máxima fornecida é ultrapassada e a anomalia que ocorre quando uma estação *wireless* tem sua comunicação prejudicada pelos fatores estudados no Capítulo 3. As WLANs montadas para a realização do experimento contaram com APs de duas arquiteturas: *Fat* e *Thin*. Os resultados mostraram que os APs mantêm uma linearidade na resposta quanto ao aumento da taxa de transmissão solicitada a WLAN, mas quando esta taxa de transmissão solicitada ultrapassa a taxa de transmissão fornecida pelo AP, os pontos de acesso de arquitetura *Fat* comportam-se de formas diferentes, variando de fabricante para fabricante. Alguns APs *Fat* diminuem sua taxa máxima fornecida a WLAN, outros se tornam instáveis e

outros "derrubam" a WLAN. Para o AP de arquitetura *Thin* observou-se uma manutenção de sua taxa máxima fornecida à WLAN. Após a superação da taxa máxima, com o aumento da taxa de transmissão por parte das estações *Ethernet*, que estavam enviando datagramas UDP.

A verificação da anomalia, ocorrida na 802.11b, quando alguma estação está trabalhando a uma taxa inferior as demais, mostrou que para APs de arquitetura *Fat*, todas as estações que estavam trabalhando com taxa máxima de transmissão passaram a transmitir na mesma taxa da estação com taxa degradada. No caso deste experimento a taxa degradada foi configurada propositalmente em uma estação *wireless* utilizando os fatores de propagação de sinais e interferência estudados no Capítulo 2. Estes fatores fizeram com que a conexão da estação fosse prejudicada; e eles podem ocorrer em WLANs utilizadas por usuários comerciais, residenciais ou corporativos. A WLAN com AP de arquitetura *Thin* comportou-se de maneira diferente, mantendo somente a estação *wireless* com taxa degradada nesta condição, não prejudicando as demais. O resultado obtido pela arquitetura *Thin* é significativo, pois não penaliza toda a WLAN, como ocorre com a arquitetura *Fat*. Esta deficiência da arquitetura *Fat* é crítica, pois uma variação de tráfego gera uma deficiência no serviço em toda a rede.

O comportamento estável e justo da WLAN com AP de arquitetura *Thin* pode-se dar pela fixação da taxa de transmissão na camada física, com o *fallback* desabilitado. Assim a estação *wireless* com taxa inferior teria baixo desempenho devido a uma modulação fixa e ineficaz com o aumento do BER. No entanto, os experimentos mostraram que a estação *wireless* teve sua taxa de transmissão na camada física oscilante, buscando uma melhor transmissão. No Capítulo 5 uma análise sobre a priorização de tráfego através da SNR (*Signal-to-Noise Ratio*, relação sinal-ruído) e do ajuste da *CW*, feito pela MAC, mostraram que uma estação com baixo desempenho devido a SNR passa a trabalhar com *CW* maiores e desta forma não prejudicam estações com uma boa SNR.

Com isso, pode-se concluir que a arquitetura *Thin* utilizada neste trabalho pode utilizar a priorização de estações por *CW* para sanar a anomalia ocorrida em arquiteturas *Fat*.

6.1. Trabalhos Futuros

Tem-se como perspectiva de trabalhos futuros a simulação através de um software rede, para se aplicar uma priorização por *CW* e utilização dos dados utilizados nos experimentos a fim de confrontar resultados e generalizar os resultados encontrados.

Existe a expectativa de aplicar as condições de teste proposta no Capítulo 4 na WLAN 802.11a e na 802.11g e assim avaliar o comportamento destas redes e analisar o comportamento e pontos a serem estudados e melhorados nestas outras especificações do IEEE.

LISTA DE ABREVIAÇÕES:

ACK – *Acknowledgment*

ADLS – *Asymmetric Digital Subscriber Line*

AP – *Access Point*

APo – *Access Port*

BER – *Bit ErrorRate*

BSS – *Basic Service Set*

CBR – *Constant Bit Rate*

CCA – *Clear Channel Assesment*

CCK – *Complementary Code Keying*

CF – *Contention Free*

CFP – *Contention Free Period*

CP – *Contention Period*

CRC – *Ciclic Redundancy Code*

CSMA/CA – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*

CSMA/CD – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detected*

CTS – *Clear to Send*

CW – *Contention Window*

DBPSK – *Differential Binary Phase Shift Keying*

DCF – *Distributed Coordination Function*

DIFS – *Distributed Inter Frame Space*

DQPSK – *Differential Quadrature Phase Shift Keying*

DS – *Distribution System*

DSS – *Distribution System Service*

DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*

EE – Estação *Ethernet*

ESS – *Extended Service Sets*

ETSI – *European Telecommunications Standards Institute*

EW – Estação *Wireless*

FC – *Frequency Central*

FCC – *Federal Communications Comission*

FEC – *Forward Error Correction*

FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*

FSL – *Free Space Loss*

FSPL – *Free Space Path Loss*

Ft – *feet* (pés)

GFSK – *Gaussian Frequency Shift Keying*

GPRS – *General Packet Radio Service*

IBSS – *Independent Basic Service Set*

IEEE – *Institute of Eletrical and Electronics Engineers*

IP – *Internet Protocol*

ISM – *Industrial, Scientific and Medical bands*

Kbps – *Kilo bits per second*

LAN – *Local Area Network*

LLC – *Logical Link Control*

LOS – *Line of Sight*

MAC – *Medium Access Control*

Mbps – *Mega bits per second*

MIB – *Management Information Base*

MSDU – *MAC Service Data Unit*

MPDU – *MAC Protocol Data Unit*

MTU – *Maximum Transfer Unit*

NA – *Network Analyzer*

NAV – *Network Allocation Vector*

NIC – *Network Interface Card*

OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

PCF – *Point Coordination Function*

PDU – *Protocol Data Unit*

PIFS – *Point Inter Frame Space*

PHY – *Physical Layer*

PLCP – *Physical Layer Convergence Protocol*

PMD – *Physical Medium Dependent Sublayer*

PPM – *Pulse Position Modulation*

PWLAN – *Public WLAN*

QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*

QoS – *Quality of Signal*

RF – *Radio Frequency*

RSS – *Received Signal Strength*

RTS – *Request to Send*

RTP - *Real-Time Protocol*

SIFS – *Short Inter Frame Space*

SNR – *Signal Noise Ratio*

SS – *Station Service*

SSID – *Service Set Identifier*

TIM – *Traffic Indication Map*

UDP - *User Datagram Protocol*

U-NII – *Unlicensed National Information Infrastructure*

VPN – *Virtual Private Network*

WAN - *Wide Area Network*

WEP – *Wired Equivalent Privacy*

WLAN – *Wireless Local Area Network*

WPAN - *Wireless Personal Area Network*

WS – *Wireless Switch*

APÊNDICE

Anexo A – Linha de comando IPERF

Os comandos e informações utilizados no IPERF foram:

Para estações *wireless* (estações servidoras) que estão aguardando na porta (*socket*) padrão do IPERF (5001) os dados :

IPERF –s –D –u –i 1 –o C:\windows\WLAN\IPERF\logs\ log.txt, para a estações *wireless* receptoras dos datagramas UDP, onde:

-s para estação receptora dos dados ;

-u para protocolo UDP;

-D para IPERF rodar em background;

-i para mostrar evolução dos dados a cada 1 segundos;

-o para guardar dados em C:\windows\WLAN\IPERF\logs\ log.txt

Para estações *wireless* que estão utilizando a sintaxe acima (rodar o IPERF em background), após o término do teste deve rodar o comando com a seguinte sintaxe para desativar o IPERF da estação:

IPERF –s –R , onde :

-s para estação receptora;

-R para desativar o IPERF de modo background.

Para estações *Ethernet* (estações cliente) que estão enviando na porta (*socket*) padrão do IPERF os dados :

IPERF –c IP –u –b x –t 600 –i 1 para a estação *Ethernet* transmissora de datagramas UPD, onde:

-c IP para estação emissora de dados enviar dados para IP da receptora;

-u para protocolo UDP;

-b x para definir largura de banda, no caso este tráfego estará sendo variado conforme necessidade do experimento;

-t para definir tempo de envio de dados, no caso utilizado 600 segundos (10 minutos) de coleta de dados;

-i para mostrar evolução dos dados a cada 1 segundos;

Anexo B – Exemplos de dados IPERF

Neste anexo encontram-se exemplos de resultados carregados pelas estações servidoras, no caso estações *wireless* sobre o tráfego da rede.

Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 8.00 KBytes (default)

---

[184] local 10.1.1.229 port 5001 connected with 10.1.1.98 port 1129

[ID] Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[184] 0.0- 1.0 sec	200 KBytes	1.63 Mbits/sec	5.154 ms	3/ 142 (2.1%)
[184] 1.0- 2.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	5.146 ms	0/ 132 (0%)
[184] 2.0- 3.0 sec	188 KBytes	1.54 Mbits/sec	5.156 ms	1/ 132 (0.76%)
[184] 3.0- 4.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	5.137 ms	0/ 132 (0%)
[184] 4.0- 5.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	5.152 ms	0/ 132 (0%)
[184] 5.0- 6.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	5.152 ms	0/ 132 (0%)
[184] 6.0- 7.0 sec	177 KBytes	1.45 Mbits/sec	5.316 ms	0/ 123 (0%)
[184] 7.0- 8.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.530 ms	7/ 139 (5%)
[184] 8.0- 9.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.532 ms	0/ 132 (0%)
[184] 9.0-10.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.531 ms	0/ 132 (0%)
[184] 10.0-11.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.532 ms	0/ 132 (0%)
[184] 11.0-12.0 sec	188 KBytes	1.54 Mbits/sec	4.678 ms	1/ 132 (0.76%)
[184] 12.0-13.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.531 ms	0/ 132 (0%)
[184] 13.0-14.0 sec	188 KBytes	1.54 Mbits/sec	4.871 ms	0/ 131 (0%)
[184] 14.0-15.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.874 ms	0/ 132 (0%)
[184] 15.0-16.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.871 ms	0/ 132 (0%)
[184] 16.0-17.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.858 ms	0/ 132 (0%)
[184] 17.0-18.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.889 ms	0/ 132 (0%)
[184] 18.0-19.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.873 ms	0/ 132 (0%)
[184] 19.0-20.0 sec	189 KBytes	1.55 Mbits/sec	4.867 ms	0/ 132 (0%)
[ID] Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[184] 20.0-21.0 sec	188 KBytes	1.54 Mbits/sec	5.407 ms	0/ 131 (0%)

[184] 21.0-22.0 sec 188 KBytes 1.54 Mbits/sec 5.293 ms 1/ 132 (0.76%)
[184] 22.0-23.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 5.606 ms 0/ 132 (0%)
[184] 23.0-24.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 5.226 ms 0/ 132 (0%)
[184] 24.0-25.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 5.198 ms 0/ 132 (0%)
[184] 25.0-26.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 5.262 ms 0/ 132 (0%)
[184] 26.0-27.0 sec 182 KBytes 1.49 Mbits/sec 5.272 ms 5/ 132 (3.8%)
[184] 27.0-28.0 sec 187 KBytes 1.53 Mbits/sec 4.593 ms 0/ 130 (0%)
[184] 28.0-29.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 5.056 ms 0/ 132 (0%)
[184] 29.0-30.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 4.598 ms 0/ 132 (0%)
[184] 30.0-31.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 4.557 ms 0/ 132 (0%)
[184] 31.0-32.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 4.596 ms 0/ 132 (0%)

.

.

.

.

.

[184] 596.0-597.0 sec 188 KBytes 1.54 Mbits/sec 4.839 ms 0/ 131 (0%)
[184] 597.0-598.0 sec 189 KBytes 1.55 Mbits/sec 5.657 ms 0/ 132 (0%)
[184] 598.0-599.0 sec 187 KBytes 1.53 Mbits/sec 5.767 ms 1/ 131 (0.76%)
[184] 0.0-599.9 sec 110 MBytes 1.54 Mbits/sec 5.144 ms 489/79083 (0.62%)

Anexo C – Figuras de Comportamentos na Região de Saturação

As figuras contidas neste anexo são referentes às conjuntos de testes realizados no Capítulo 5, onde o comportamento dos APs Fat se mantiveram similares.

Ver na página 65, Figura 36 que ilustra o comportamento do *jitter* com AP1 abaixo da região de saturação, comportamento semelhante ao encontrado nos APs 2 e 3, nas Figuras 36a e 36b.

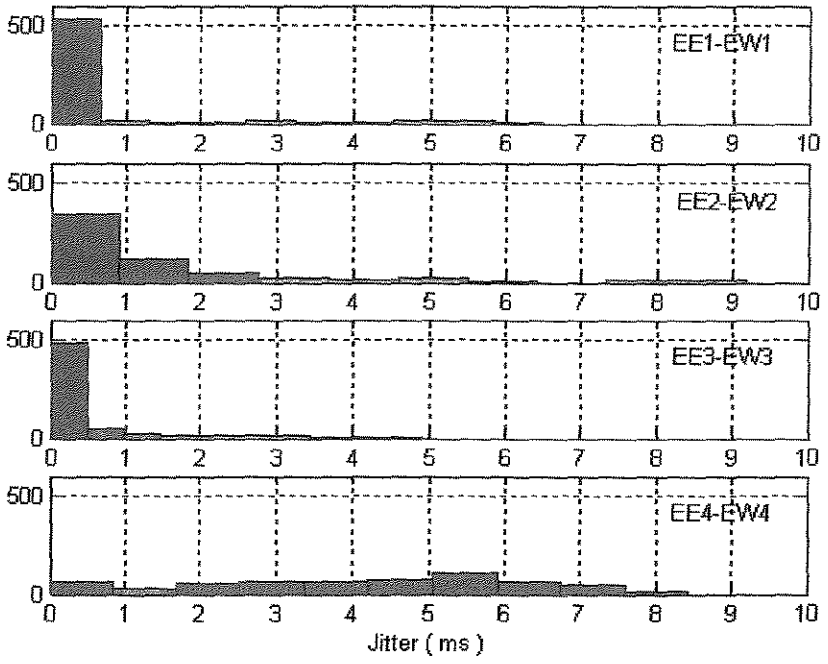


Fig. 36a. *Jitter* com Taxa Fornecida abaixo da Máxima do AP2

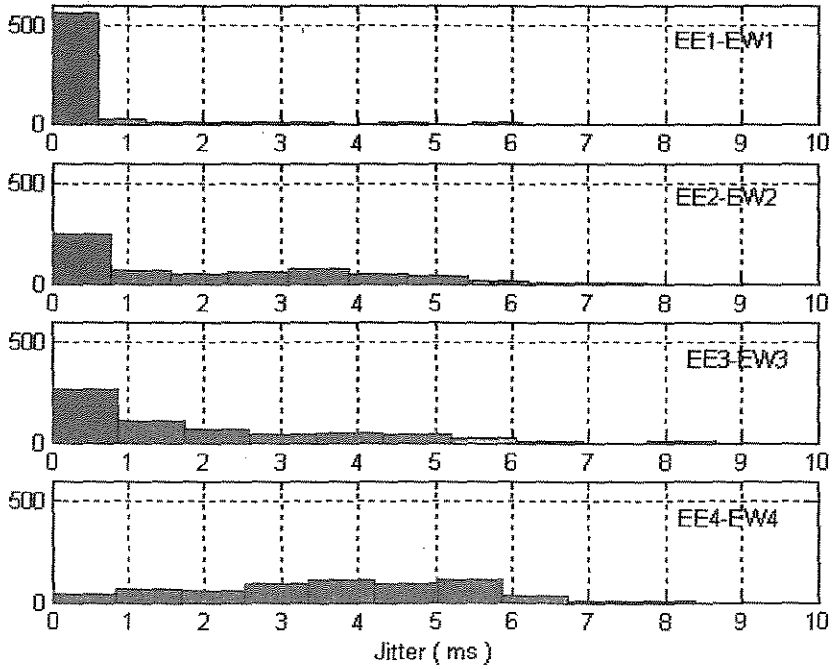


Fig. 36b. *Jitter* com Taxa Fornecida abaixo da Máxima do AP3

Ver na página 66, Figura 37 o comportamento de datagramas perdidos para o AP1 abaixo da região de saturação, condição similar aos APs 2 e 3 das Figuras 37a e 37b.

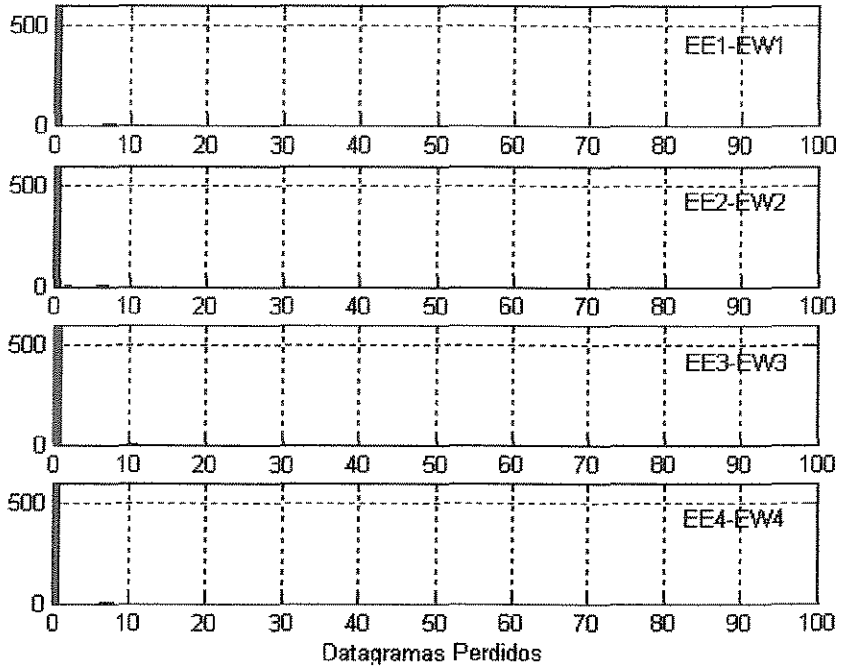


Fig. 37a. Datagramas Perdidos com Taxa Fornecida abaixo da Máxima do AP2

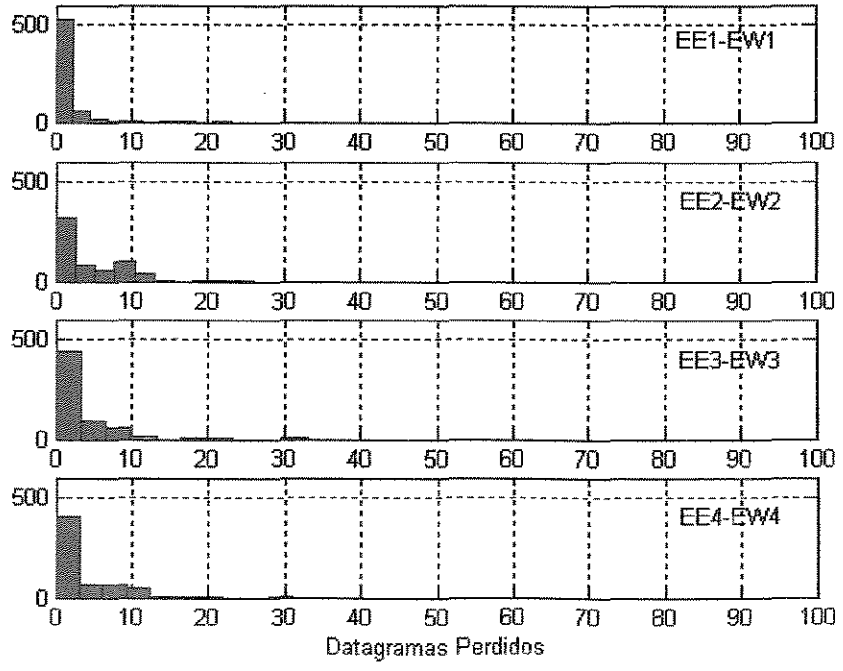


Fig. 37b. Datagramas Perdidos com Taxa Fornecida abaixo da Máxima do AP3

Figura 38 (pág. 67) ilustra o comportamento da taxa fornecida para EWs na região de saturação.

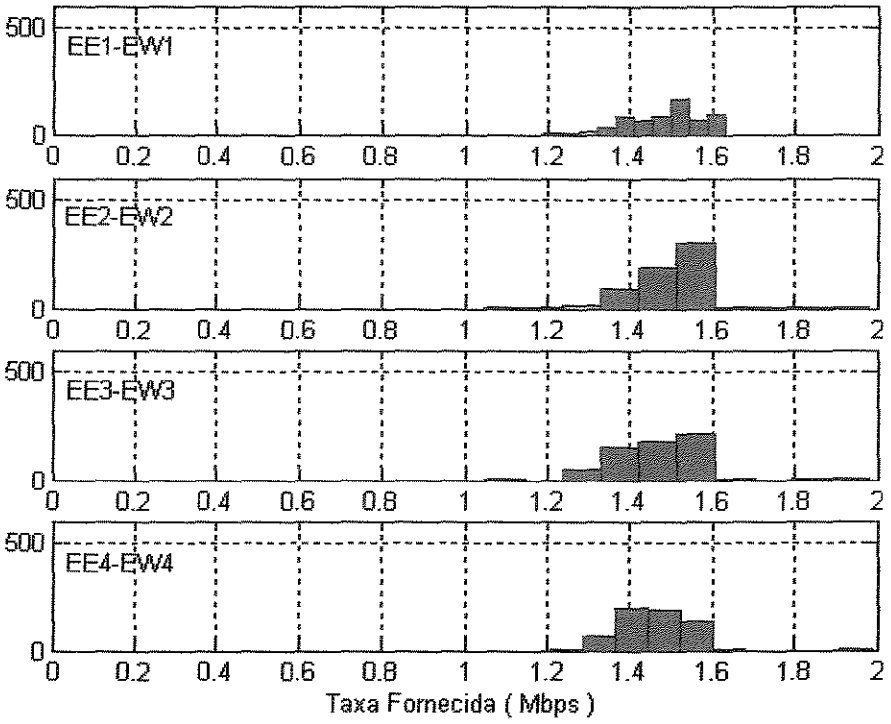


Fig. 38a. Taxa Fornecida Máxima do AP2 - Saturação

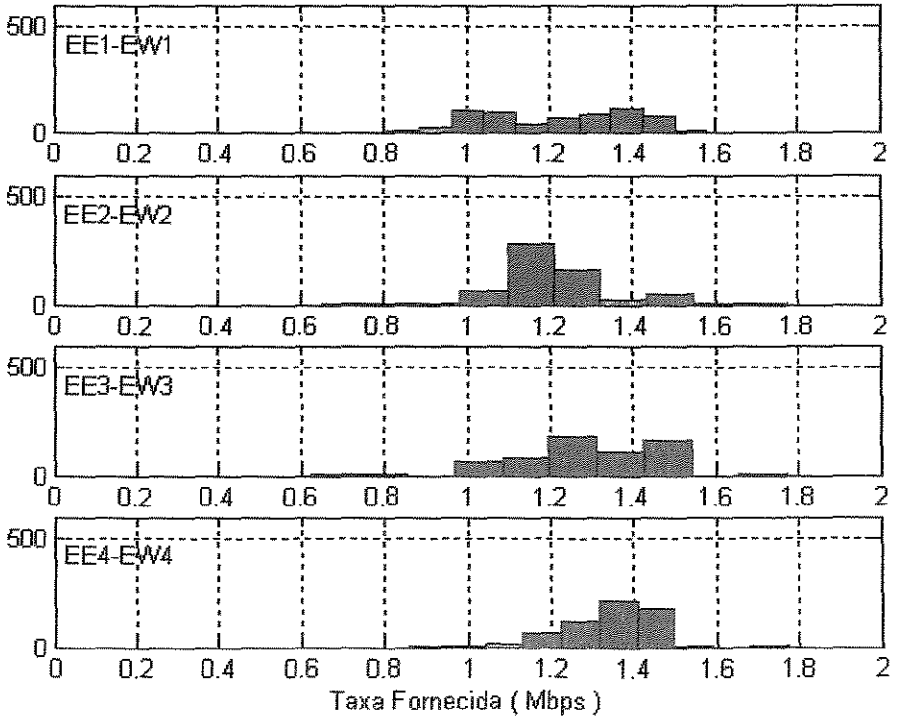


Fig. 38b. Taxa Fornecida Máxima do AP3 - Saturação

Figura 39 (pág. 68) ilustra o comportamento do *jitter* na região de saturação.

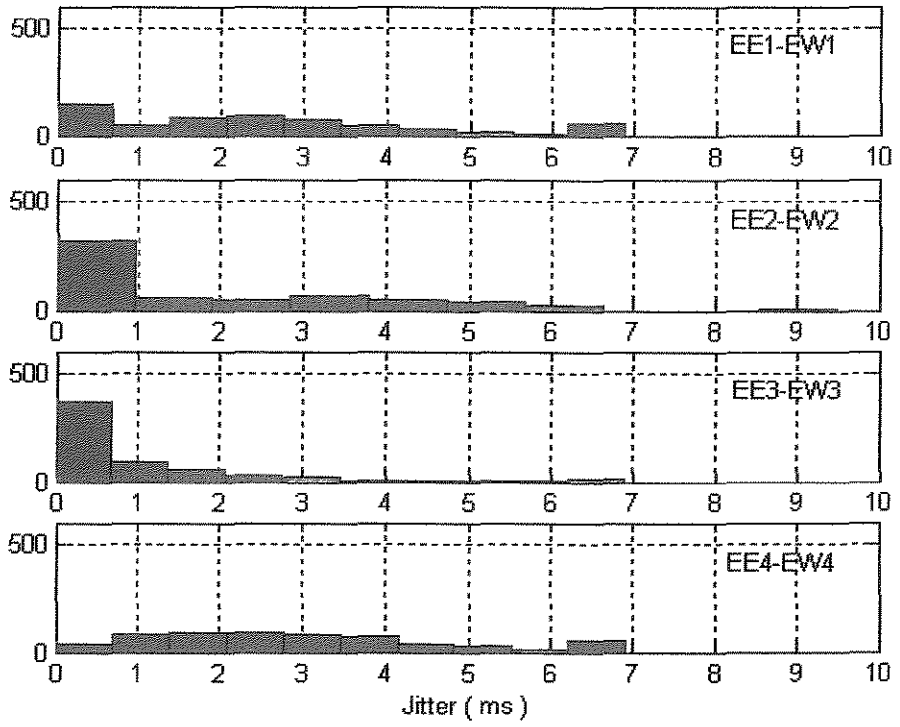


Fig. 39a. Jitter para Taxa Fornecida Máxima do AP2

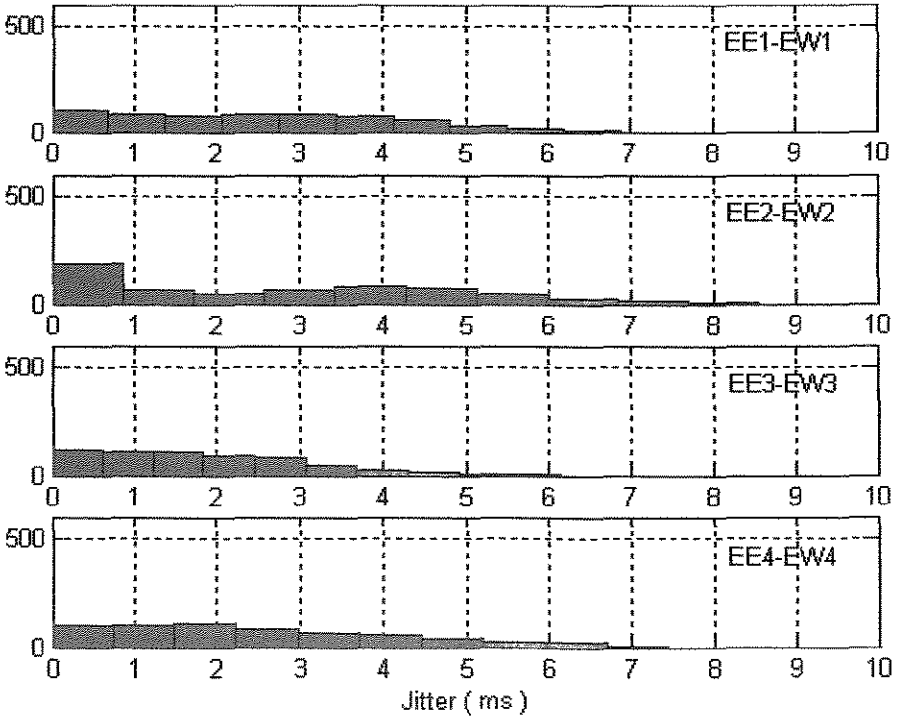


Fig. 39b. Jitter para Taxa Fornecida Máxima do AP1

Figura 40 (pág. 68) mostra a perda de datagramas nas EWs para região de saturação.

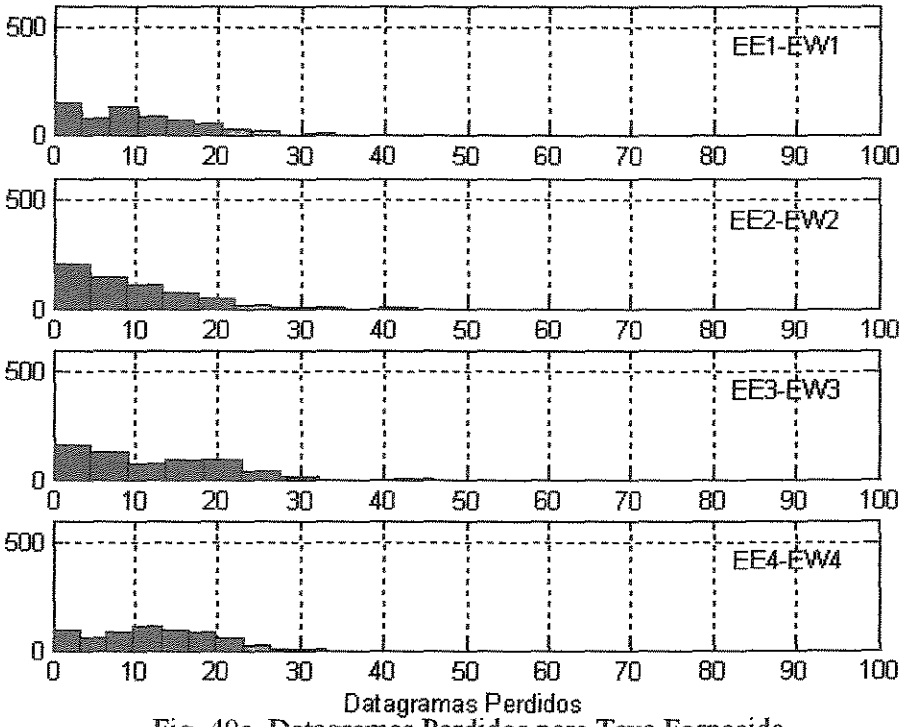


Fig. 40a. Datagramas Perdidos para Taxa Fornecida Máxima do AP2

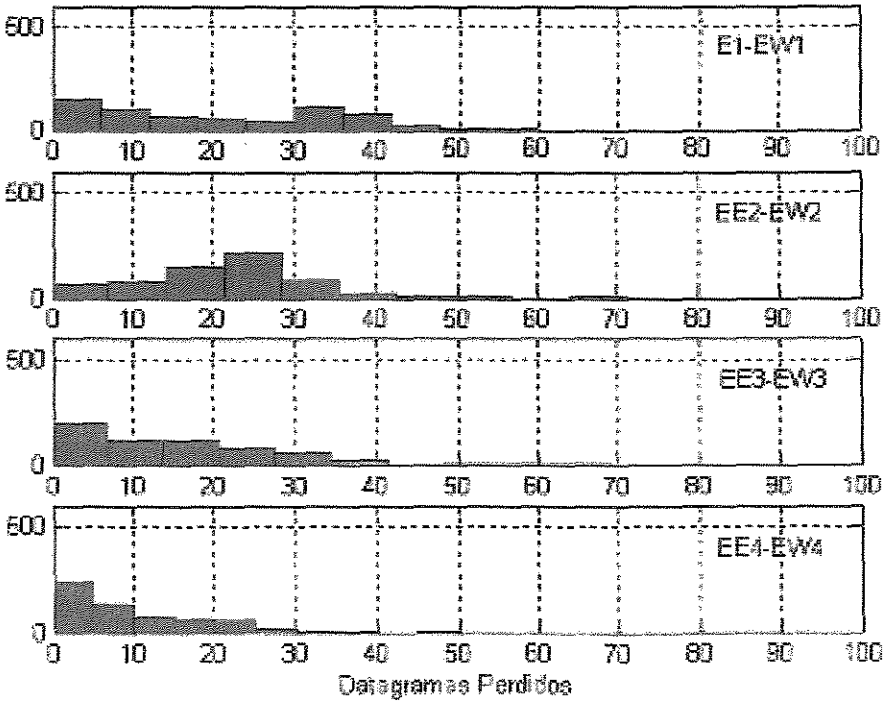


Fig. 40b. Datagramas Perdidos para Taxa Fornecida Máxima do AP3

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ANSI/IEEE Std 802.11, Information technology , 1999 Edition.

[2] Heusse, Martin; Rousseau, Franck; Berger-Sabbatel, Gilles; Duda, Andrzej. "Performance Anomaly of 802.11b", LRS_IMAG Laboratory, Grenoble – France, 0-7803-7753-2/03 IEEE INFOCOM 2003.

[3] US Robotics. "Wireless LAN Networking White Paper". 2002.
http://www.usr.com/adbuilder/ab-download-whitepapers.asp

[4] Crow, Brian ; Widjaja, Indra; Prescott, Sakai. "IEEE802.11 Wireless Local Area Networks". 0163-6804/97 IEEE Communications Magazine, September 1997.

[5] 3COM. "IEEE802.11b Wireless LANs". 3COM Corporation, 2000.
http://www.3com.com/other/pdfs/infra/corpinfo/en_US/50307201.pdf

[6] IEEE Std 802.11a - Part 11: "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band", 1999.

[7] IEEE Std 802.11g - Part 11: "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)" specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band, June 2003.

[8] Nedeltchev, Plamem "Wireless Local Area Networks and 802.11 Standard" , Mach 2001.
http://citeseer.ist.psu.edu/548751.html

[9] Geier,Jim "The Thin Access Point Approach", WI-FI Planet, February 2004.
http://wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3318401

[10] Symbol Technologies, Inc – "Switched Wireless Networking; Great Performance, Low TCO" – 2003.

http://www.symbol.com/news/pressreleases/ pr_wireless_mobius_axon.html

[11] IEEE Std 802.11b - Part 11: "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)" specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, September 1999.

[12] Kaap, Steve. "802.11a More Bandwidth without the Wires". 1089-7801/02 IEEE Internet Computing, pages 75-79, July/August 2002.

[13] Planet3 Wireless, Inc – "CWNA–Certified Wireless Network Administrator", Official Study Guide – 2002.

http://www.cwnp.com/

[14] Prado, Eduardo. " O Mercado e um Passeio pelo Mundo Wi-Fi". – 2003.

http://www.smartconvergence.blogger.com.br

[15] T Mobile USA, Inc – T Mobile Hotspot – 2004.

http://www.t-mobile.com/hotspot/

[16] Vex Hotspot – Pointer Networks, Inc- 2004.

http://www.pointernetworks.com.br/

[17] McFarland, Bill; Wong, Michael " The Family Dynamics of 802.11". Atheros Communications, pages 28-38, May 2003.

http://www.acmqueue.org/ modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=34

[18] Proxim. "802.11a A Very High-speed, Highly Scalable Wireless LAN Standard" , 2003.

http://www.proxim.com/learn/library/whitepapers/80211a.pdf

[19] Proxim. "A Detailed Examination of the Environmental and Protocol Parameters that Affect 802.11G Network Performance" , 2003.

http://www.proxim.com/learn/library/whitepapers/parameters_802.11g_performance.pdf

[20] Atheros Communications, Inc " Methodology for Testing Wireless LAN Performance", 2003.

http:// www.atheros.com/pt/papers.html

[21] MacLarnon, Barry. " VHF/UHF/Microwave Radio Propagation: A Primer for Digital Experimenters", 2003.

http:// www.tapr.org/tapr/html/ve3jf.dcc97/ve3jf.dcc97.html

[22] Stein, John C. " Indoor Radio WLAN Performance", Intersil Corporation, 2003.

http:// www.steckerprofi.com/wlan.pdf

[23] Prasad, Neeli – Lucent Technologies. "IEEE802.11 System Design". IEEE Journal, pages 490-494, 2000.

[24] Hills, Alex "Large-scale Wireless LAN Design". Carnegie Mellon University- IEEE Communications Magazine, pages 98-104, November 2001.

[25] Prado, Javier del; Choi Sunghyun. "Experimental Study on Co-existence of 802.11b with Alien Devices". IEEE Journal, pages 977-981, 2001.

[26] Prasad, Anand; Prasad, Neeli; Kamerman, Ad; Moelard, Henri; Eikelenboom, Albert – Lucent Technologies. "Indoor Wireless LAN Deployment". IEEE Network, pages 1562-1566, 2000.

[27] Zahedi, A.; Pahlavan K.; Rulnick J.M. "Traffic Engineering for Wireless LAN Access Point". IEEE Transactions on Communications, pages 1170-1175, 1998.

[28] Farshad, Eshghi; Elhakeem , Ahmed k. "Performance Analysis of Ad hoc Wireless LANs for Real-Time Traffic", IEEE Journal , pages 204-215 – Vol-21, 2003.

[29] Pahlavan, Kaveh; Krishnamurthy, Prashant; Hatami, Ahmad; Ylianttila, Mika; Makela, Juha-Pekka; Pichna, Roman; Vallstrom, Jari. "Handoff in Hybrid Mobile Data Networks", IEEE Personal Communications, pages 34-47, April 2000.

[30] Freitag, J.; Fonseca, N.; Branquinho, O. "Diferenciação de Serviços em Redes 802.11 sob Degradação da Taxa de Transmissão", 5º Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel – WCSF 2003, São Lourenço, MG, 27 a 30 de Outubro de 2003 – p. 83-90.

[31] Kurose, James F.; Ross, Keith W. "Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet" – Copyright Addison Wesley Longman - 2001.

[32] Tirumala, Ajay; Qin, Feng; Dungan, Jon; Ferguson, Jim; Gibbs, Kevin - IPERF Version 1.7.0 – March 2003.
http://dast.nlanr.net/Projects/IPERF/

[33] Network Analyzer Revision 2.0.4 Copyright Agilent Technologies – January 2003.
http://ww.agilent.com/comms/networkanalyzers

[34] Mattiuz, Amanda R. Instituto de Computação – Unicamp "Mobile IPERF – Versão para PocketPc do Aplicativo IPERF" TCC de Engenharia de Computação - Julho-2004.

[35] RFC 1889 - Audio-Video Transport Working Group: H. Schulzrinne, GMD Fokus, S. Casner, Precept Software, Inc. , R. Frederick, Xerox Palo Alto Research Center, V. Jacobson, Lawrence Berkeley National Laboratory . "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications" . January 1996.
http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt

[36] Postel, J., USC/Information Sciences Institute, STD 6, RFC 768, "User Datagram Protocol", August 1980.
hppt://www.faqs.org/rfcs/rfc768.html

[37] Magalhães, Mauricio Ferreira. "RTP: Real Time Protocol", Outubro-1999.
http://www.dca.fee.unicamp.br/~mauricio/laneatm/tsld191.htm

[38] Corrêa, C.; Branquinho, O.; Fonseca, N. – "Avaliação de Redes WLAN 802.11b com Arquiteturas Fat e Thin" – XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações SBT' 04 , Setembro-2004 – p. 1-5.

[39] Cali, F.; Conti M.;Gregori, E. "IEEE 802.11 Wireless LAN: Capacity Analysis and Protocol Enhancement" – 0-7803-4386-7/98 - IEEE Infocom 1998.