

Avaliação de Redes WLAN 802.11b com Arquiteturas *Fat* e *Thin*

Omar C. Branquinho, Claudemir E. Corrêa e Nelson L. S. Fonseca

Resumo — Neste artigo são apresentados resultados de medidas de desempenho em redes WLAN, avaliando as arquiteturas *Fat* e *Thin*. Os experimentos foram realizados com tráfego UDP, sendo testado o *downlink*, que é responsável pela maior parte do tráfego em redes PWLAN. Foram avaliadas três situações: taxa fornecida máxima pelo AP, comportamento com estação em condição desfavorável de propagação e saturação de tráfego, ou seja, quando a taxa máxima fornecida pelo AP é ultrapassada. Os resultados mostram a superioridade da arquitetura *Thin* testada em relação às redes de arquitetura *Fat*.

Palavras-Chave—WLAN, 802.11b, *Fat*, *Thin*, Desempenho em redes WLAN.

Abstract— This article presents WLAN measurement results, with *Fat* and *Thin* architectures. The tests consider UDP traffic in the *downlink*, that represents the intense PWLAN traffic. The tests evaluate three conditions: AP maximum rate, behavior with station in bad propagation condition and traffic saturation where the maximum AP rate is exceed. The results show the superiority of *Thin* architecture compared to *Fat* architecture.

Index Terms—WLAN, 802.11b, *Fat*, *Thin*, WLAN performance.

I. INTRODUÇÃO

A rede WLAN (*Wireless Local Area Network*), na sua forma infra-estruturada, é composta por um AP (*Access Point*) e estações sem fio, que compartilham temporalmente a mesma banda de frequência. 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 existem duas arquiteturas: *Fat* ou *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 sendo implementado no AP basicamente as funções de interface aérea.

O objetivo deste trabalho é avaliar estas duas arquiteturas e verificar os seguintes pontos: taxa máxima fornecida, condição de saturação e desempenho com estação sem fio (EW) em condição desfavorável. Foram observadas as vantagens da arquitetura *Thin* com centralização das funcionalidades de controle da rede no *Wireless Switch* (WS), principalmente a MAC.

A primeira condição avalia a taxa máxima fornecida pelo AP. Esta taxa efetiva é bem menor que a taxa na camada física, como mostrado nos resultados. A segunda condição avalia o comportamento da rede quando a taxa máxima fornecida é excedida. São encontradas oscilações nas taxas fornecidas pelas arquiteturas *Fat* e *Thin* com o aumento da taxa solicitada. Foram observadas instabilidades quando a taxa máxima fornecida é ultrapassada. Na última condição de teste 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. Esta condição foi explorada em [2], demonstrando uma anomalia na MAC (*Medium Access Control*), com a degradação de desempenho quando existe estação em condição desfavorável, prejudicando o desempenho de toda a rede. No presente trabalho foi avaliado que esta anomalia de fato existe, porém para a arquitetura *Fat*. Para a arquitetura *Thin* foi encontrada uma estabilidade nos resultados não sendo encontrada a anomalia da MAC (*Medium Access Control*) encontrada na arquitetura *Fat* e avaliada em [2].

O trabalho está organizado da seguinte forma: na seção II é feita uma breve descrição das funções básicas da rede WLAN de interesse para o trabalho, sendo descritas as arquiteturas *Fat* e *Thin*. Na seção III é tratado o desempenho de redes WLAN, avaliando as condições testadas e a anomalia apontada em [2]. Na seção IV serão descritos e apresentados os testes com análise dos resultados. A seção V apresenta a conclusão.

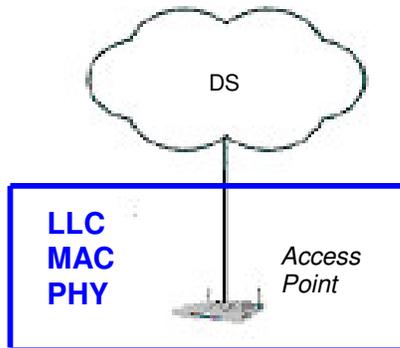
II. REDES WLAN 802.11

O padrão 802.11 [1] especifica a camada Física e a camada de enlace, onde está o Controle de Acesso ao Meio (MAC – *Medium Access Control*). A MAC suporta o método de função coordenada distribuída, DCF (*Distributed Coordination Function*) e o método de função coordenada central ou pontual, PCF (*Point Coordination Function*). O DCF atende a tráfego assíncrono, enquanto no PCF a decisão de transmitir é centralizada no AP [3], atendendo a tráfego síncrono. No trabalho foi utilizado somente o modo DCF.

O AP é análogo a uma estação rádio base da rede celular [3], provendo uma área de cobertura integrando as EWs, permitindo a comunicação entre elas e com a Internet.

São encontradas duas configurações básicas: infraestruturada, com a presença do AP, e adhoc com conexão *peer-to-peer* entre as EWs. Neste trabalho são tratadas as redes infra-estruturadas com a presença de um AP.

Para redes infra-estruturadas existem basicamente duas arquiteturas: *Fat* e *Thin*. Na arquitetura tradicional, conhecida como *Fat*, o AP concentra todas as funções implementadas no padrão 802.11 e outras funções de inteligência da rede como: segurança, autenticação, gerenciamento e desempenho. Esta arquitetura está ilustrada na Figura 1. 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 [4].

Fig. 1. Arquitetura *Fat*

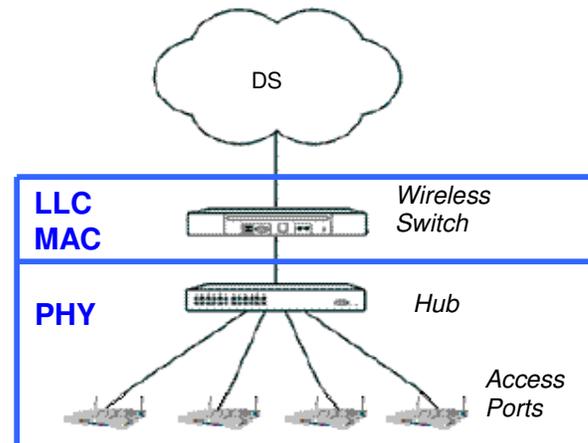
Já na arquitetura *Thin* existe uma distribuição das funções com um elemento central de gerência e controle. No AP se concentram as funções básicas da 802.11, principalmente de interface aérea. As demais funções são providas por um elemento central, tais como controle, autenticação, autorização e segurança. A rede *Thin* avaliada neste trabalho possui uma característica adicional que é a divisão da camada PHY e de Enlace, sendo que a MAC passa a ser também centralizada como mostrado na Figura 2. Nesta figura o *Hub* somente possui a função de encaminhamento dos pacotes, sendo o protocolo de comunicação entre os APs e a *Wireless Switch* (WS) proprietário.

Nesta arquitetura o AP passa a implementar somente a camada física do padrão 802.11b. As funções de MAC e LLC (*Logical Link Control*) e as outras funções de gerência e controle são centralizadas no WS [5]. Para diferenciar o AP tradicional deste novo elemento, que implementa somente a camada PHY, este último é denominado *Access Port* (APo).

Como será visto nos resultados esta arquitetura *Thin* com MAC centralizada apresentou um desempenho superior ao AP tradicional.

III. DESEMPENHO DE REDES 802.11

Os trabalhos mostram o desempenho do ponto de vista de cobertura [6] e da MAC do padrão 802.11b [2][7]. Neste item serão feitas considerações a respeito do desempenho da rede relacionada com as condições avaliadas.

Fig. 2. Arquitetura *Thin* com MAC centralizada

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

Considerando a taxa fornecida máxima existe o caso em que esta taxa é ultrapassada. Nesta condição de saturação da rede a taxa máxima fornecida seria a princípio dividida igualmente entre as EWs presentes na rede sem grandes variações. Neste caso as estações sentiriam apenas uma saturação da taxa que seria limitada na taxa fornecida máxima, compartilhada pelas EWs.

Outra condição de interesse é a presença de estação em condição desfavorável com baixa taxa de transmissão. Em [2] foi montada uma condição de teste com três EWs, sendo uma delas configurada para transmitir a 11Mbps, 5.5Mbps, 2Mbps e 1 Mbps, emulando uma situação de estação em condição desfavorável com baixa taxa de transmissão, sendo que as demais permaneceram em 11 Mbps. Nesta condição ficou demonstrado que a EW que diminuiu sua taxa de transmissão estabeleceu o desempenho de toda a rede. Em [2] esta situação com EW transmitindo com taxa fixa foi conseguida fixando a taxa de transmissão. Porém, como mostrado nos resultados aqui apresentados, 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 11 Mbps). Este processo é denominado como *fallback*. Uma EW pode ficar em condição desfavorável em relação às demais devido a uma má recepção do sinal do AP forçando uma condição de baixar a taxa de transmissão.

IV. TESTE E RESULTADOS

Para verificação de desempenho das duas arquiteturas foram avaliadas três condições de teste. Para cada uma foi medida a taxa fornecida na camada de transporte.

A geração de datagramas UDP foi feita pelo software IPERF [8]. O tráfego foi disparado por uma ou mais estações *Ethernet* (EE), conectadas ao AP (*Fat ou Thin*), transmitindo os datagramas para uma ou mais EWs. O tráfego UDP utilizou datagramas com 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) [9], que é uma ferramenta para análise de protocolos de redes. A utilização do NA teve por objetivo confrontar os resultados obtidos com o software IPERF. Foi verificado que a taxa obtida com o IPERF era consistente com a taxa medida pelo NA.

A seguir são descritas as condições de:

- Taxa Fornecida Máxima – Obtenção da taxa máxima fornecida pelos APs, encontrando o ponto de saturação;
- Instabilidade da Rede – Comportamento para operação próximo da região de saturação com várias estações sem fio compartilhando a banda;
- Estação em Posição Desfavorável – Avaliação de anomalia com uma estação em condição desfavorável e as demais em condição de taxa máxima em posição próxima ao AP.

A. Avaliação de Taxa Máxima Fornecida pelo AP

Foram utilizadas duas EEs, duas EWs e um AP, como mostrado na Figura 3. Uma EE e uma EW utilizaram o NA para análise de tráfego e a outra EE enviou pacotes para a EW através do AP. Todas estas estações foram posicionadas para obter sinal excelente de recepção do AP, operando assim com taxa de 11 Mbps na camada física. A taxa solicitada foi variada de 50Kbps a 10Mbps, com maior número de pontos na região de saturação.

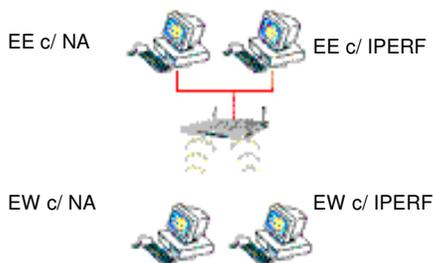


Fig. 3. Avaliação de Taxa Máxima

A Tabela I mostra a taxa máxima fornecida por cada AP.

TABELA I
TAXA FORNECIDA MÁXIMA

AP	Taxa Fornecida Máxima [Mbps]
AP	6,5
Apo	6,0

A Figura 4 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, seja com arquitetura *Fat* ou *Thin*, comporta-se de maneira estável. Observa-se a linearidade dos APs até atingir a taxa máxima fornecida. Principalmente a tecnologia com arquitetura *Thin* demonstrou uma grande estabilidade e absolutamente linear.

Quando a taxa máxima fornecida é ultrapassada ocorrem instabilidades no AP como é observado na Figura 4. Embora o AP tenha apresentado a maior banda máxima fornecida, o mesmo apresentou um comportamento bastante irregular com o aumento da taxa solicitada. Observa-se na Figura 4 que após a taxa solicitada ultrapassar 10% da taxa fornecida máxima o AP deixa de operar. Para o Apo da arquitetura *Thin* foi observada uma regularidade após ultrapassar a taxa máxima fornecida, saturando em 6 Mbps.

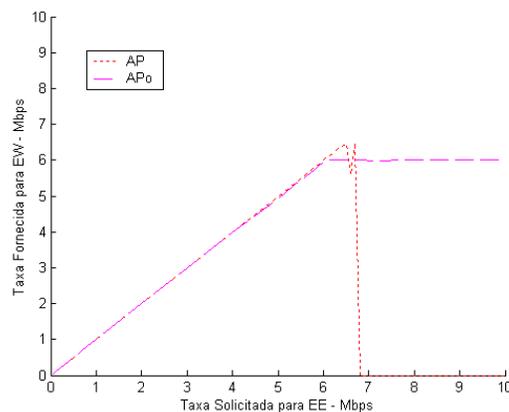


Fig. 4. Saturação dos APs

B. Avaliação de Comportamento com Saturação de Taxa

Foram utilizadas cinco EEs, cinco EWs e AP. Uma EE e uma EW para o NA e quatro pares EEs – EWs. O teste foi iniciado com taxa igual à taxa máxima fornecida do AP menos 500Kbps, sendo incrementado em 100Kbps até superar em 500Kbps a taxa de saturação do AP. A taxa total inicial solicitada e os incrementados foram divididos pelo número de pares EE-EW, para que a soma da taxa componha a taxa total solicitada. Será verificado o comportamento quando a taxa total solicitada não ultrapassando e ultrapassando a taxa máxima fornecida pelo AP. A Figura 5 mostra esta esta condição de teste.

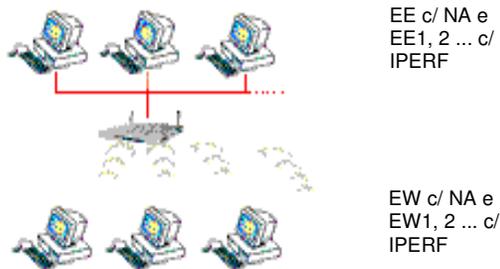


Fig. 5. Teste com EW desfavorável

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 em torno de uma média. A Figura 6 mostra para o AP a distribuição de taxa fornecida.

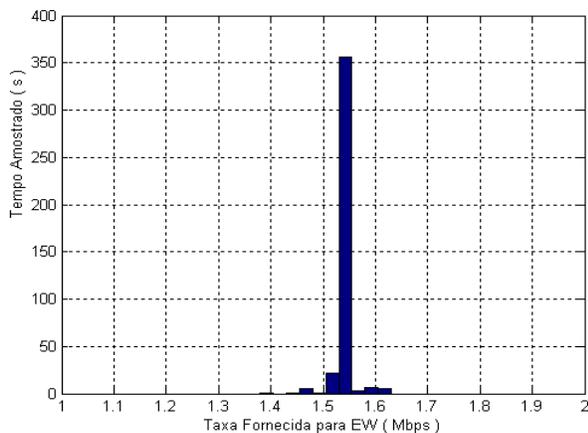


Fig. 6. Taxa Fornecida dentro da Máxima do AP

A taxa média por EW foi de 1.547 Mbps e um desvio de 18Kbps. A Tabela II mostra esta regularidade para cada EW.

Sentido do Tráfego	Taxa Média Fornecida [Mbps]	Desvio Padrão [Mbps]
EE1-EW1	1.5477	0.0175
EE2-EW2	1.5476	0.0194
EE3-EW3	1.5476	0.0204
EE4-EW4	1.5479	0.0169

Quando a taxa máxima fornecida pelo AP é ultrapassada, ficando um pouco acima, acontece a instabilidade na taxa fornecida, como mostrado na Figura 7. 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, como mostrado na Tabela III.

TABELA III
TAXA FORNECIDA PARA TAXA FORNECIDA MÁXIMA ULTRAPASSADA

Sentido do Tráfego Gerado	Taxa Média por EW [Mbps]	Desvio Padrão [Mbps]
EE1-EW1	1.5165	0.1456
EE2-EW2	1.5175	0.0899
EE3-EW3	1.6126	0.1185
EE4-EW4	1.6813	0.0993

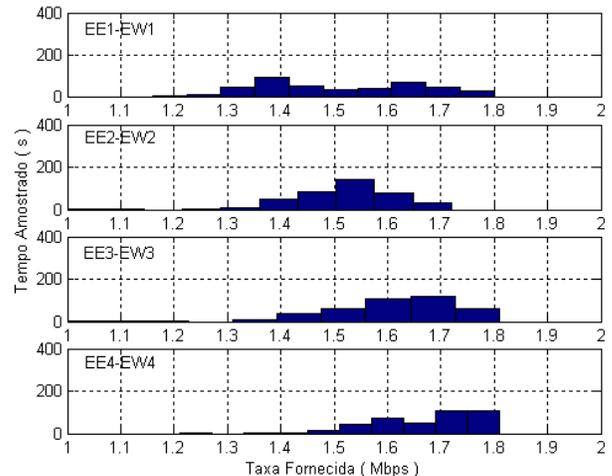


Fig. 7. Taxa Fornecida acima da Máxima do AP

Os dados apresentados neste item foram coletados do AP testado. O APo apresentou características similares quando exposto a situação imposta ao AP. Nesta condição observa-se que uma WLAN operando próxima ou acima de sua taxa fornecida máxima degrada a qualidade das taxas fornecidas às EWs, servindo assim como referência para a relação qualidade-serviço que a rede prestará.

Este resultado é significativo mostrando que deve ser evitada uma taxa solicitada acima da taxa fornecida máxima. Esta variação da taxa fornecida impacta os serviços oferecidos.

C. Avaliação de Variação de Taxa com EW Desfavorável

Nesta condição de teste uma EW foi posicionada em condição desfavorável, de forma que o sinal recebido do AP seja 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 a soma das taxas solicitadas pelas EEs não ultrapassa a taxa máxima fornecida pelo AP. Esta condição evita entrar na instabilidade avaliada na análise de instabilidade da rede.

O tráfego será aplicado entre os pares EE e EW com intervalos iniciais de 20 segundos, sendo o último par aquele em que a EW se encontrava em condição desfavorável. O objetivo deste intervalo de 20 segundos é observar o comportamento da taxa de cada EW com a inserção de cada uma das EWs. O objetivo desta condição de teste é verificar o comportamento da WLAN com estações operando em taxas diferentes, reproduzindo de forma prática uma condição real.

Neste caso, a EW em posição desfavorável não terá sua taxa fixa na camada física, como em [2], oscilando entre as taxas possíveis (1, 2, 5,5 e 11Mbps). Esta condição de degradação de 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.

Os resultados para esta condição de teste são diferentes para as arquiteturas *Fat* e *Thin*. Para a arquitetura *Fat* esta anomalia foi verificada em [2] e confirmada pelos resultados obtidos. Com AP *Fat* esta anomalia de desempenho mostra que as oscilações da EW em condição desfavorável estabelece o taxa das demais EWs, que não estão em condição desfavorável. A Figura 8 mostra os resultados obtidos.

Na Figura 8 a taxa solicitada por cada EE foi de 1.5Mbps. Primeiramente entrou o par EE1-EW1. Após 20s entrou o par EE2-EW2. Em seguida após mais 20s entrou o par EE3-EW3. Até este ponto observa-se 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, onde EW4 estava em condição desfavorável, alterando permanentemente sua taxa de transmissão na camada física. Observa-se que 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 já mencionada anteriormente. A Tabela IV mostra a taxa média fornecida e o desvio padrão de cada par EE-EW.

TABELA IV
Taxa Fornecida para Arquitetura *Fat*

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

Para a arquitetura *Thin*, mostrada na Figura 2, os resultados foram bastante diferentes se comparados como os resultados obtidos pela arquitetura *Fat*. A Figura 9 apresenta este resultado com o mesmo procedimento adotado para obtenção dos resultados mostrados na Figura 8. Claramente verifica-se que existe uma estabilidade das estações EW1, EW2 e EW3, que estão próximas ao APo, mesmo quando EW4, em condição desfavorável, entra em operação. A Tabela V apresenta a taxa média das EWs. Observa-se a baixa taxa do par EE4 – EW4 se comparado com os outros pares de estações.

Tabela V
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

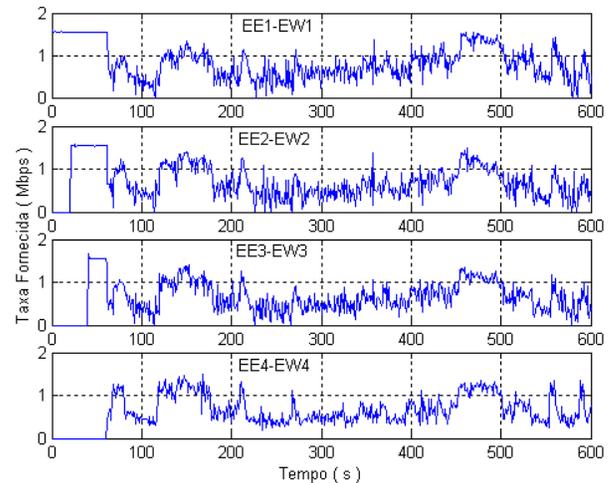


Fig. 8. Taxa Oferecida para Arquitetura *Fat*

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. Este tipo de comportamento já foi constatado em [8], quando as estações tiveram sua taxa fixada em 11 Mbps, demonstrando uma justiça da rede em relação a 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 11 Mbps. A penalização da estação EW4 acontece em função de um baixo desempenho da modulação e espalhamento utilizado para esta taxa, como mostrado na Tabela VI [10].

TABELA VI
TAXAS DE TRANSMISSÃO 802.11b

Taxas [Mbps]	Código	Modulação	Taxa de Símbolo [MSps]	Bits por Símbolo
1,0	Barker	DBPSK	1	1
2,0	Barker	DQPSK	1	2
5,5	CCK	DQPSK	1,375	4
11	CCK	DQPSK	1,375	8

A banda ocupada pela WLAN é sempre a mesma, independente da taxa, como mostrado na Figura 10 [11]. Sendo assim, para SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) piores, com uma mesma potência, o desempenho será pior para taxas maiores no canal considerando a modulação DQPSK e um ganho de processamento menor para obter uma taxa maior. Considerando estes fatores e a relação sinal ruído estabelecida em um (1) conclui-se que a taxa efetiva será menor em função do aumento da BER (*Bit Error Rate*).

$$SNR = (Eb / No) * (R / B_T) \quad (1)$$

onde E_b é a energia de bit, N_o é a densidade espectral de potência de ruído, R é a taxa em bps e B_T é a banda de frequência utilizada.

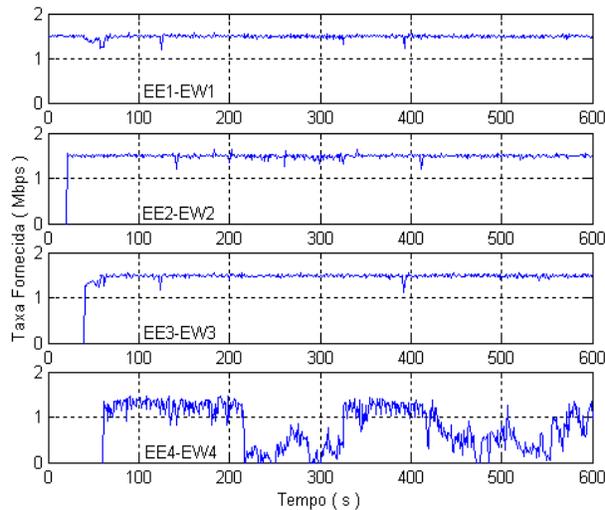


Fig. 9 Taxa Oferecida com Arquitetura Thin

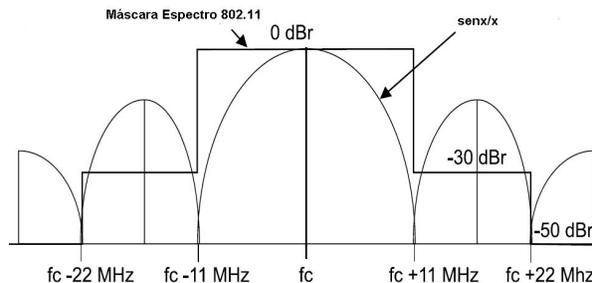


Fig. 10. Espectro WLAN 802.11

Outra possibilidade é a priorização pela MAC de tráfego de estações com melhor SNR. Esta informação é obtida pela MAC via SNMP (*Simple Network Management Protocol*). Esta justificativa parece bastante viável, pois foi constatada uma alteração da taxa de transmissão da EW em condição desfavorável pelo software de monitoração de taxa de transmissão, que não permanecia fixo em uma só taxa.

V. CONCLUSÃO

Neste artigo foram apresentados os resultados experimentais de testes de redes WLAN com as arquiteturas *Fat* e *Thin*. Foram avaliadas: taxa máxima fornecida, instabilidade após ultrapassagem da taxa máxima fornecida e avaliação 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. Por outro lado, quando se ultrapassa um pouco a taxa fornecida máxima pelo AP surge instabilidade na taxa fornecida. Isto ocorre para condições de tráfego intenso mostrando uma condição crítica nesta situação em função da variação da taxa de transmissão. Quando a taxa solicitada ultrapassada num valor acima de 10% da taxa máxima

fornecida faz com que ocorra a queda na operação do AP. Estas instabilidades não foram observadas na arquitetura *Thin*, onde obteve-se uma saturação em 6 Mbps 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 em boas condições de recebimento de 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 WLAN através de *hot spots*.

AGRADECIMENTOS

Empresa Symbol pela doação das redes WLAN *Fat* e *Thin*. Empresa INTEL pelo laboratório *Wireless Competence Network*. O trabalho foi parcialmente custeado pelo CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Std 802.11 *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. ANSI/IEEE Std 802.11, Information technology, 1999 Edition.
- [2] Heusse, Martin e Rousseau, Franck; Berger-Sabbatel, Gilles; Duda, Andrzej. *Performance Anomaly of 802.11b*, IEEE INFOCOM 2003.
- [3] Crow, Brian e Widjaja, Indra; Prescott, Sakai. *IEEE802.11 Wireless Local Area Networks*, IEEE Communications Magazine, September 1997.
- [4] Geier, Jim, *The Thin Access Point Approach*, WI-FI Planet, February 2004.
- [5] *Switched Wireless Networking: Greater Performance, Lower TCO* – Symbol Technologies – 2003.
- [6] Atheros Communications, Inc “Methodology for Testing Wireless LAN Performance”, 2003.
- [7] Juliana Freitag, Nelson L. S. da Fonseca, O. C. Branquinho, *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.
- [8] Tirumala, Ajay; Qin, Feng; Dungan, Jon; Ferguson, Jim; Gibbs, Kevin - Iperf Version 1.7.0 – March 2003 dast.nlanr.net/Projects/Iperf/
- [9] Network Analyzer Revision 2.0.4 Copyright Agilent Technologies – January 2003. www.agilent.com/comms/networkanalyzer
- [10] Plamen Nedeltchev, PhD. *Wireless Local Area Networks and the 802.11*. Edited by Felicia Brych. March 31, 2001.
- [11] IEEE Std 802.11b-1999. Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition