

# Política de QoS com priorização bidimensional de acesso ao meio para redes IEEE 802.11

Marcelus Guirardello<sup>1</sup>, Omar C. Branquinho<sup>1</sup>, Débora M. Ferreira<sup>2</sup>, Norma Reggiani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica de Campinas - Puc Campinas  
Rodovia Dom Pedro I km 136 - Campinas - SP

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
Barao Geraldo - Campinas - SP

{marcelus.guirardello,omar.branquinho,de.ferreira,norma.reggiani}@gmail.com

**Resumo.** Este artigo apresenta uma proposta de política de qualidade de serviço (QoS) de acesso ao meio através de uma análise bidimensional. Para isso considera a dimensão do meio através da relação sinal/ruído (SNR) e a dimensão de classe de serviço (CoS). A priorização proposta será feita dentro de cada categoria de acesso (AC) existente no padrão IEEE 802.11 e utilizando filas com prioridades diferentes e os parâmetros CWmin e AIFSN. Isso proporcionará a estação com maior taxa de transmissão maior chance de acesso ao meio. Este artigo demonstra através de emulação o desempenho da MAC atual bem como a eficácia da priorização.

**Abstract.** This article presents a proposal of a politics to prioritize the access to the wireless medium, considering a two-dimensional analysis. The first dimension considers the transmission data rate that is related to the signal to noise ratio. The second dimension considers the type of service offered to the user. The goal is to offer to the network manager mechanisms to improve the network performance and minimize the effect of the 802.11 MAC anomaly. The prioritization proposal considers each access category (AC) of the 802.11 standard. The proposal uses the queues of different priorities and the change of parameters CWmin and AIFSN. The strategy permits that the station with highest data rate a greater chance to access the medium. This article presents, through analytical and experimental tests, the MAC anomaly and the effect of the prioritization strategy proposal, using the SNR information and the type of service, through the manipulation of CWmin and AIFSN.

## 1. Introdução

As redes WLAN, especificamente no padrão IEEE 802.11 e seus derivados, são muito frequentes em ambientes domésticos e a cada dia mais nos ambientes corporativos, praças de alimentação, cafés favorecendo o surgimento da PWLAN (public WLAN). O desempenho dessas redes é objeto de estudo contínuo, visando melhoria na eficiência. Um dos fenômenos observados degrada o desempenho da rede à medida que estações com menores taxas de transmissão ocupam o meio físico por mais tempo impossibilitando que estações mais próximas com maiores taxa de transmissão utilizem com maior eficiência a rede. Esse fenômeno é conhecido como anomalia de desempenho da MAC [1].

Com a criação do protocolo IEEE 802.11e iniciou-se um primeiro esforço no sentido de proporcionar qualidade de serviço através da criação de AC com priorização das aplicações de voz e imagem em relação a tráfego de dados. No padrão IEEE 802.11e o critério de escolha da prioridade é feito com base nas informações da camada superior sem levar em consideração as condições da camada inferior (física). Assim a anomalia da MAC continuará a ocorrer em qualquer classe de tráfego, podendo degradar da mesma maneira o desempenho de toda a rede e conseqüentemente inutilizando a qualidade de serviço. Este fato demonstra que é inócua uma política de QoS objetivando os serviços sem antes considerar as condições do ambiente.

Diversos trabalhos propõem uma solução para a anomalia através de alteração nos parâmetros da janela de contenção (CWmin) conforme descrito em [2], [3] e [4]. Bianchi demonstrou em [5] que a priorização feita através do parâmetro AIFSN (Arbitration InterFrame Space Number) é mais eficiente do que quando feita por janela de contenção em ambientes com alta probabilidade de colisão.

Este trabalho propõe a criação de uma política de QoS com priorização bidimensional de acesso ao meio utilizando como base o padrão 802.11e. Uma dimensão seria a condição de sinal da estação em relação ao ambiente e a outra dimensão o tipo de serviço a ser oferecido.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a dimensão de acesso ao meio físico; na seção 3 é apresentado o padrão IEEE 802.11e; na seção 4 é apresentada a política de QoS com priorização bidimensional de acesso ao meio; na seção 5 são apresentados testes e resultados e por fim na seção 6 a conclusão desse trabalho.

## 2. Dimensão de acesso ao meio físico

A taxa de transmissão é dependente do SNR, característica de toda rede de dados sem fio. Dependendo do tipo de implementação da MAC esta característica de mudança de taxa de transmissão pode criar forte degradação de desempenho. Especificamente para a MAC de redes infraestruturadas do padrão IEEE 802.11 surge uma anomalia[1].

O padrão IEEE 802.11 define dois métodos de operação: *Point Coordinaton Function* (PCF) e o *Distributed Coordination Function* (DCF). O método DCF utiliza o CSMA/CA para acesso ao meio. Esse método consiste em escutar o meio e caso não exista nenhuma estação transmitindo, aguarda um tempo denominado DIFS e transmite. Caso o meio esteja ocupado, a estação aguarda o meio ficar disponível, aguarda o tempo DIFS e escolhe uma janela de contenção entre  $[0, CWmin]$ . Após o término do tempo da janela de contenção se o meio ainda estiver livre a estação inicia a transmissão. Toda transmissão bem sucedida precisa ser confirmada com a recepção de um frame ACK. Caso a estação não receba a confirmação ela entende que pode ter ocorrido uma colisão ou perda de quadro, nesse caso a janela de contenção dobra de valor e o quadro é retransmitido.

A anomalia da MAC ocorre porque o método DCF proporciona para todas as estações a mesma probabilidade de acesso ao meio. Estatisticamente todas as estações conseguem transmitir a mesma quantidade de vezes independente da sua taxa de transmissão que é em função da sua condição no ambiente.

No padrão IEEE 802.11 a taxa de transmissão muda conforme a qualidade do sinal. Uma estação que possui uma boa relação sinal/ruído (SNR) conseguirá transmi-

tir a uma taxa mais alta que uma estação mais distante do *Access Point* (AP) com uma SNR menor. A diferença de taxas, característica das redes sem fio, faz com que ocorra a anomalia, uma vez que as estações possuem a mesma chance de transmitir, uma estação que esteja conectada a uma taxa de 1Mbps ocupará o meio por muito mais tempo que uma estação a 11Mbps. Ao longo de um período de observação a taxa efetiva de transmissão da estação de taxa 11Mbps será igual ou pior que a de uma estação conectada a 1Mbps [2].

Conforme Heusse *et al.* descreve em [1] o tempo gasto para transmitir um quadro no padrão IEEE 802.11 é:

$$T_{tx} = T_{ov} + T_{tr} \quad (1)$$

Onde  $T_{ov}$  é o tempo gasto pelo cabeçalho da camada física e  $T_{tr}$  é o tempo gasto para transmitir os dados úteis mais o cabeçalho da camada MAC.  $T_{ov}$  é definido por:

$$T_{ov} = DIFS + Pr + PLCP + SIFS + ACK \quad (2)$$

Onde DIFS é o tempo que a estação aguarda após meio ficar livre, Pr é o tempo gasto pelo pré-âmbulo, PLCP é o tempo gasto pelo cabeçalho PLCP e SIFS+ACK é o tempo gasto pela confirmação da transmissão do quadro.

Para a análise consideramos os valores da Tabela 1[6], método DCF com pré-âmbulo longo e CW mínima com valor 15. O valor 15 foi utilizado com sendo uma média entre o valor 0 e  $CW_{min}$ . Dessa maneira temos:

$$T_{ov} = 800\mu s \quad (3)$$

Como  $T_{tr}$  é o tempo gasto efetivamente para transmitir o quadro tem-se:

$$T_{tr} = \frac{(MPDU + MAC_{cabeçalho}) * 8}{R} \quad (4)$$

Onde  $MPDU$  são os dados recebidos para transmissão e  $R$  é a taxa de transmissão.

Pela Equação 1 uma estação conectada a 11Mbps transmite 10 quadros de 1500 bytes em aproximadamente 19,156 ms enquanto que uma estação conectada a 1Mbps para transmitir os mesmos 10 quadros demora aproximadamente 130,720 ms. Assim a estação conectada a 1Mbps utiliza 6,8 vezes mais tempo o meio físico do que uma estação a 11Mbps. Se utilizarmos o mesmo raciocínio para as taxas de transmissão de 5,5 Mbps e 2 Mbps, tem-se que essas ocupam o meio 2 e 4 vezes respectivamente mais se comparadas com a taxa de 11Mbps.

Considerando que uma estação conectada a 11Mbps e outra a 1Mbps vão tentar transmitir ao mesmo tempo, devido a mesma oportunidade de acesso que o método DCF proporciona, os quadros serão transmitidos alternadamente elevando para 149,876 ms o tempo total de transmissão. Com um tempo total de transmissão de 149,876ms a taxa efetiva de transmissão da estação conectada a 11Mbps é aproximadamente 817 Kbps

**Tabela 1. Valores dos parâmetros IEEE 802.11b DCF [6]**

DIFS	50 us
SIFS	10 us
SLOT TIME	20 us
CW min	31
BASIC RATE	2 Mbps
PHY Header	192 us
MAC Header	34 Bytes
ACK	248 us

sendo igual a taxa efetiva da estação conectada a 1Mbps comprovando a anomalia descrita em [1].

### 3. Padrão 802.11e

O padrão IEEE 802.11e define uma nova função da camada MAC chamada *Hybrid Coordination Function* (HCF). O HCF utiliza dois modos de acesso ao meio chamado *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA) e o *HCF-Controlled Channel Access* (HCCA) que correspondem aos métodos DCF e PCF do padrão IEEE 802.11. No método EDCA são definidas as ACs com diferentes parâmetros de acesso ao meio. Os parâmetros mais importantes são: janela de contenção (CWmin e CWMax) e tempo mínimo para início da janela de contenção chamado de *Arbitration interframe space number* (AIFSN) que equivale ao DIFS no método DCF. Neste artigo analisa-se somente o método EDCA uma vez que é a técnica é a mais utilizada em rede local sem fio IEEE 802.11.

Conforme [5] e [7], os mecanismos CW e AIFSN proporcionam uma prioridade no acesso ao meio de acordo com o tipo de tráfego. A escolha da AC é feita em função do tipo de dados recebido pela camada superior a MAC. No método EDCA são definidas quatro AC's sendo: voz (AC\_VO), vídeo (AC\_VI), dados *best effort* (AC\_BE) e dados *background* (AC\_BK). Um quadro de voz, por exemplo, é direcionado para a AC\_VO que possui valores de CWmin e AIFSN menores permitindo acesso ao meio antes de um quadro da AC\_BE. Os valores padrões definidos pelo IEEE 802.11e de CWmin, CWmax e AIFSN estão descritos na figura 1[6].

AC	CWmin	CWmax	AIFSN
AC_BK	aCWmin	aCWmax	7
AC_BE	aCWmin	aCWmax	3
AC_VI	$(aCWmin+1)/2 - 1$	aCWmin	2
AC_VO	$(aCWmin+1)/4 - 1$	$(aCWmin+1)/2 - 1$	2

**Figura 1. Parâmetros das Classes de Tráfego [6]**

#### 4. Política de QoS com priorização bidimensional de acesso ao meio

Qualquer política de QoS em rede de dados sem fio deve primeiramente considerar as condições de acesso do usuário dentro do ambiente que determinará a sua taxa de transmissão. Uma política de QoS deve necessariamente incluir as condições de acesso, caracterizando a primeira dimensão da proposta de política de acesso apresentada. Assim com a com priorização bidimensional, a segunda dimensão é definida pela classe de serviço, e pode ser melhor descrita por uma matriz de prioridade na figura 2.

Análise tipo de serviço

	Alta ←				→ Baixa
Análise Taxa de transmissão	↑	Voz 11Mbps	Vídeo 11Mbps	Best-Effort 11Mbps	Background 11Mbps
		Voz 5,5Mbps	Vídeo 5,5Mbps	Best-Effort 5,5Mbps	Background 5,5Mbps
		Voz 2Mbps	Vídeo 2Mbps	Best-Effort 2Mbps	Background 2Mbps
	↓	Voz 1Mbps	Vídeo 1Mbps	Best-Effort 1Mbps	Background 1Mbps
	Baixa				

**Figura 2. Matriz de prioridades**

Para determinar a AC e os parâmetros de CW e AIFSN a serem utilizados, a política de acesso é dividida em quatro níveis de verificação descrita conforme figura 3.

Para efeito de análise e cálculos considerando-se um sistema operando no método DCF em rede IEEE 802.11b, método EDCA do padrão IEEE 802.11e, preâmbulo longo e quadros de 1500 *bytes*. Devido a interface aérea semelhante o mesmo princípio do IEEE 802.11b pode ser aplicado ao IEEE 802.11g e o IEEE 802.11a. A princípio não estaremos considerando neste trabalho fatores como mobilidade, latência provocada pela política e o fator oportunidade de transmissão (TXOPs) presente na IEEE 802.11e.

O objetivo da política é permitir a todas as estações o mesmo tempo de acesso ao meio, assim:

$$T_{txn} = \frac{T}{N} \quad (5)$$

Onde  $T_{txn}$  é o tempo que a estação  $n$  pode transmitir ao longo de um período  $T$  e  $N$  é o número de estações.

No primeiro nível de verificação, a camada MAC ao receber um MPDU da camada superior verifica o tipo de tráfego para efetuar a escolha de uma AC e seus respectivos valores de CWmin, CWmax, AIFSN. Em seguida é verificada a taxa de transmissão da estação para onde se destina o quadro. Conforme a taxa de transmissão é feito o ajuste da janela de contenção mínima e máxima através do cálculo:

$$newCWmin = (atualCWmin(AC) * \beta) \quad (6)$$

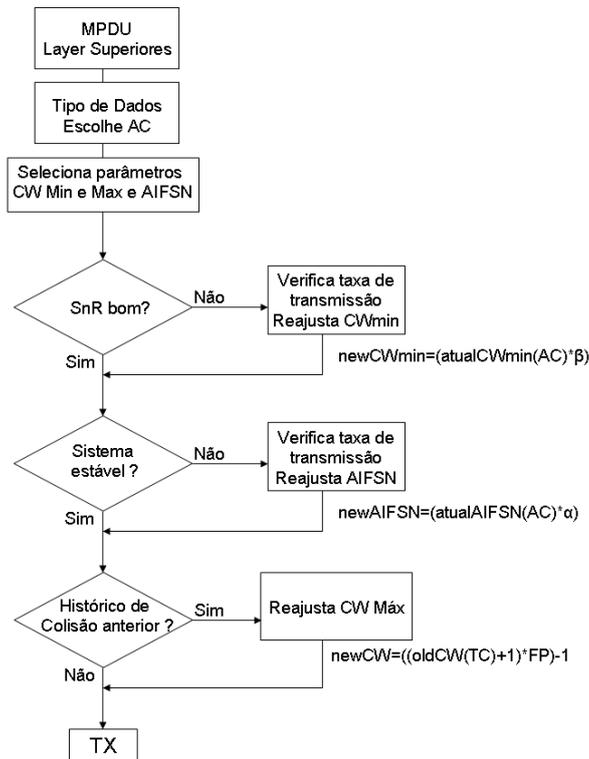


Figura 3. Diagrama Fluxo da MAC

Onde  $\beta$ :

$$\beta = \frac{TtxRate(STA)}{TtxRef(11Mbps)} \quad (7)$$

Onde  $Ttx$  é o tempo gasto para transmitir um quadro a uma determinada taxa de transmissão. De acordo com os cálculos descritos na seção II os valores de  $\beta$  devem ser 2 para 5,5 Mbps, 4 para 2 Mbps e 7 para 1 Mbps.

No segundo nível de verificação é observada se a estação possui instabilidade de taxa de transmissão. Isso é possível de se determinar através da verificação de perda de quadro, não recebimento de ACK ou oscilação da taxa de transmissão. Caso a estação remota esteja instável é feito o ajuste de AIFSN conforme o cálculo abaixo:

$$newAIFSN = (atualAIFSN(AC) * a) \quad (8)$$

Onde  $a$ :

$$a = Vm[0, CWmin] - \frac{(Vm[0, CWmin])}{\beta} \quad (9)$$

Onde  $Vm[0, CWmin]$  é o valor médio de  $CWmin$  [0,31] por essa equação os va-

lores de AIFSN para 5,5 Mbps, 2 Mbps e 1 Mbps devem ser 7.5, 11.25 e 12.8. Como os valores de AIFSN devem ser números inteiros, tem-se então 8, 11 e 13.

O terceiro nível de verificação observa a ocorrência de colisão na rede e ajusta o valor de  $CW_{max}$  conforme a equação abaixo descrita por S. Mangold *et al.* [8]:

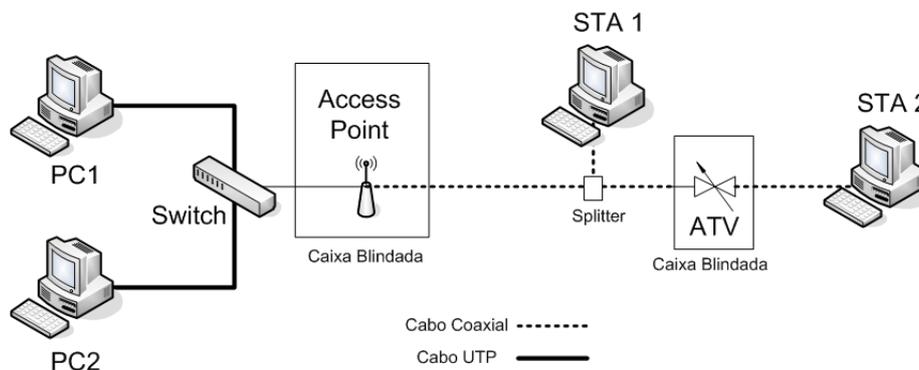
$$newCW = ((oldCW(TC) + 1) * FP) - 1 \quad (10)$$

Onde FP é o fator de persistência que possui no modo DCF valor 2, porém no padrão IEEE 802.11e não existe esse fator. O valor FP não será analisado neste trabalho.

A escolha do parâmetro AIFSN é dividida a característica probabilística da instabilidade da rede. Uma estação instável cria instabilidade em toda a rede gerando um efeito problemático semelhante a anomalia. Como descreve Bianchi em [5] uma estação com um menor valor de AIFSN possui uma prioridade muito elevada devido a proteção de tempo obrigatória imposta pelo valor maior de AIFSN. Com isso uma estação instável com AIFSN maior é duramente penalizada em relação a demais estações da rede.

## 5. Testes e Resultados

Para verificação de desempenho dos parâmetros e filas de prioridade foram utilizados dois microcomputadores denominados PC1 e PC2 e duas estações wireless denominadas STA1 e STA2, como mostrado na Figura 4.



**Figura 4. Valores dos parâmetros utilizados nos testes**

Os testes foram feitos utilizando a bancada de emulação de *Fast Flat Fading* do Laboratório de Sistemas de Rádio do CEATEC/Puc-Campinas. STA 1 foi conectada diretamente ao Access Point através de cabo coaxial sem nenhuma atenuação com a finalidade de proporcionar a maior taxa na camada física simulando uma estação sem fio com boa SNR. Já a STA 2 foi conectada no mesmo cabo coaxial, porém com um atenuador variável (ATV). Com o ATV é possível variar o sinal de RF recebido por STA 2, criando assim um ambiente controlado de teste em que é possível emular diferentes cenários. Todos os componentes ativos de RF (AP, ATV) foram instalados em caixas blindadas para minimizar possíveis interferências externas.

A geração de tráfego entre os PCs e as STAs foi feita pelo software IPERF [9]. O tráfego foi disparado do PC1 para a STA 1 e do PC2 para a STA 2, ambos a uma taxa de transferência de 2 Mbps utilizando datagrama UDP. Para verificar as informações de taxa

de tráfego de pacotes recebidos e elaboração dos gráficos foi utilizado o retorno da tela do IPERF.

Foram efetuados 5 testes diferentes, variando os parâmetros de Janela de Contenção Mínima (CWmin), AIFSN e fila de prioridade. Em todos os testes foram adotados o seguinte procedimento: início do teste com disparo de tráfego entre PC1 e STA 1 conectada a uma taxa física de 11Mbps. Depois de 30 segundos do início foi disparado o tráfego entre o PC2 e STA 2 com a ATV atenuando o sinal de modo a proporcionar uma taxa de conexão física de 1Mbps para a STA 2. Após 120 segundos do início, o ATV foi alterado de modo a diminuir a atenuação proporcionando a mesma taxa de conexão física da STA 1 para a STA 2 (11Mbps) permanecendo assim até o final do teste (200 segundos).

Cada teste foi efetuado 3 vezes para validação do resultado apresentado. No teste 1 foram disparados tráfegos utilizando uma única fila com mesmos valores de CWmin e AIFSN. No teste 2 foi utilizada a fila de Voz para o tráfego entre PC1-STA1 e fila de BE entre PC2-STA2, ambas as filas com os mesmo valores de CWmin e AIFSN. No teste 3 aumentou-se o valor de CWmin da fila BE, assim como no teste 4 aumentou-se de AIFSN. Finalmente no teste 5 aumentou-se o valor de CWmin e AIFSN simultaneamente para a fila BE. A figura 5 apresenta os valores utilizados de CWmin e AIFSN para cada teste:

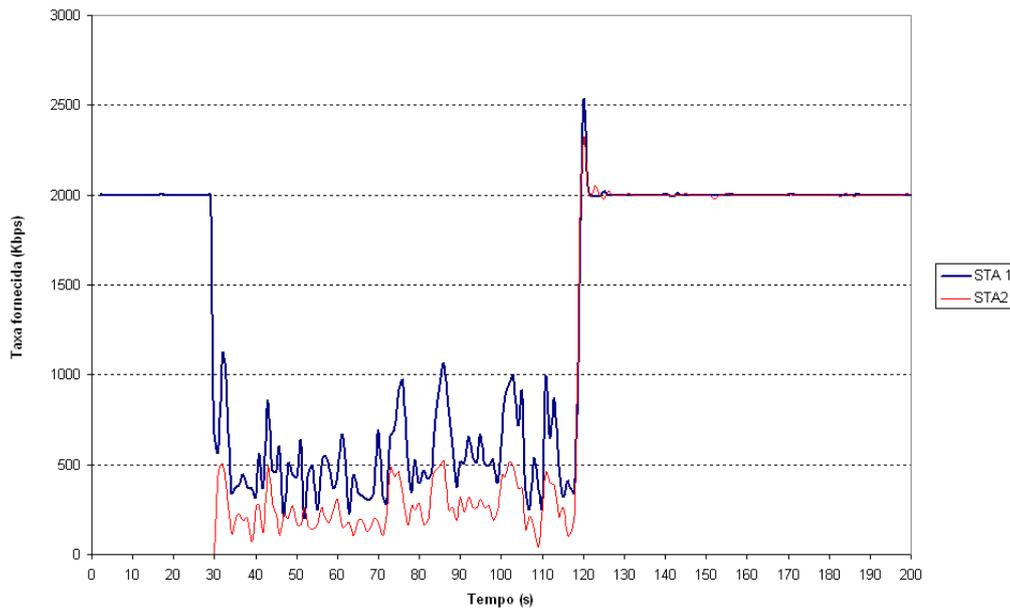
Teste	Fila	Cwmin	Cwmax	AIFSN
1	única	31	1023	3
2	Fila VoIP	31	1023	3
	Fila BE	31	1023	3
3	Fila VoIP	31	1023	3
	Fila BE	217	1023	3
4	Fila VoIP	31	1023	3
	Fila BE	31	1023	13
5	Fila VoIP	31	1023	3
	Fila BE	217	1023	13

**Figura 5. Valores dos parâmetros utilizados nos testes**

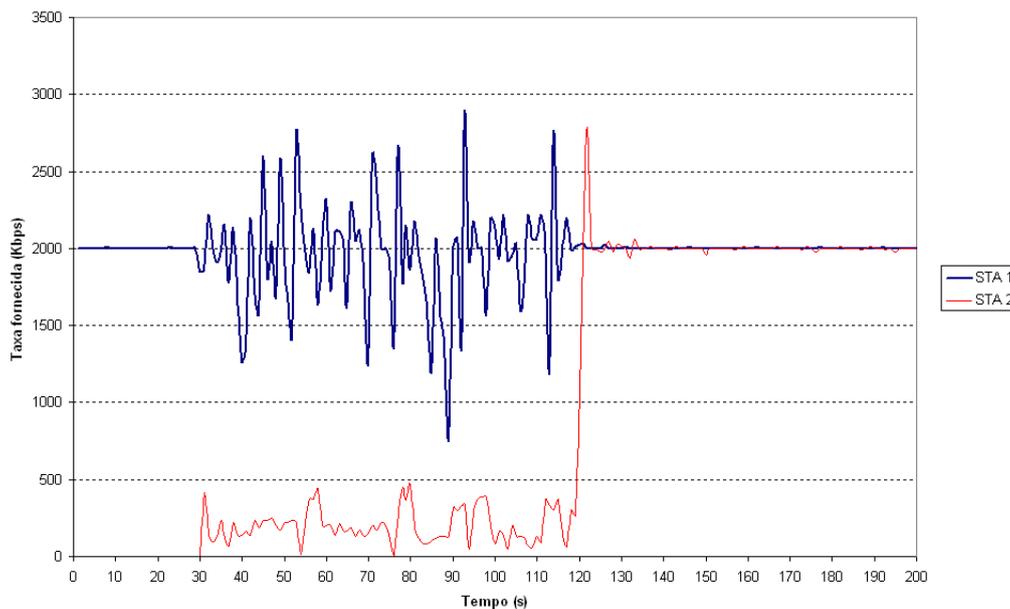
A escolha do tráfego pela fila de VOZ ou de (BE) é feita através do campo *Type of Service* (ToS) do cabeçalho IP através da opção *-S* do Iperf conforme a RFC 1349 [10]. O AP utilizado no teste foi o modelo WRT54GL da marca Linksys em conjunto com o firmware do projeto *DD-WRT* [11], permitindo que fossem feitos os ajustes dos parâmetros descritos da figura 5.

Os gráficos das figuras 6, 7, 8, 9, e 10 mostram os resultados dos testes 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

Através do gráfico apresentado no teste 1 é possível perceber claramente a anomalia descrita por Heusse [1]. Pode-se observar que no instante (30 segundos) em que a STA 2 com taxa de transmissão física a 1Mbps começa a transferir dados, o tráfego da estação STA 1 conectada a 11Mbps é sensivelmente prejudicado, ficando praticamente com um desempenho pouco superior a STA 2. Observa-se ainda que no instante em que a taxa de transmissão física da STA 2 sobe para 11Mbps a anomalia desaparece comprovando que ela é uma consequência da diferença de taxa física entre as estações.

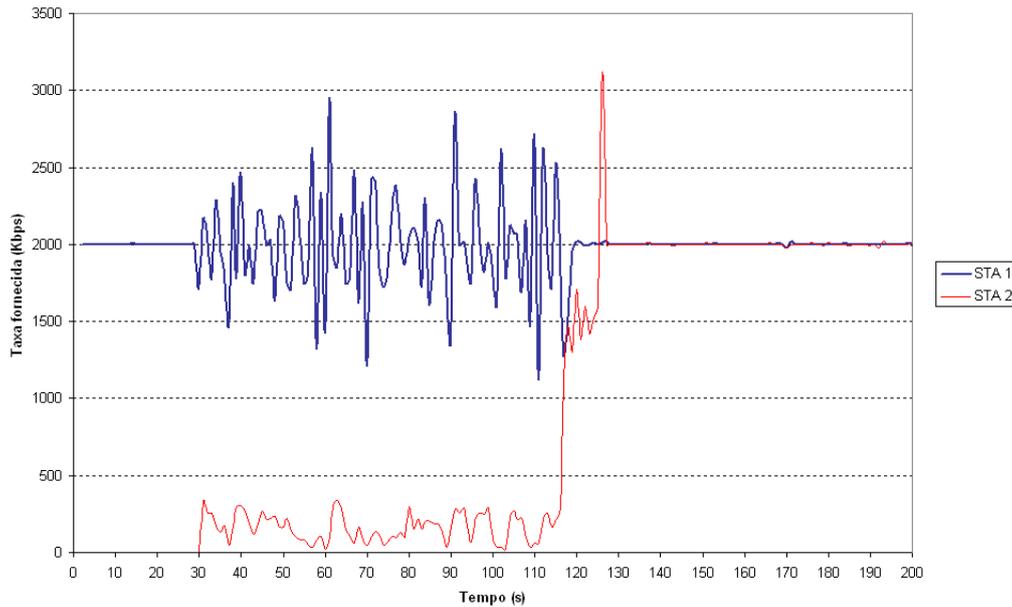


**Figura 6. Teste 1 - mesma prioridade (fila única)**

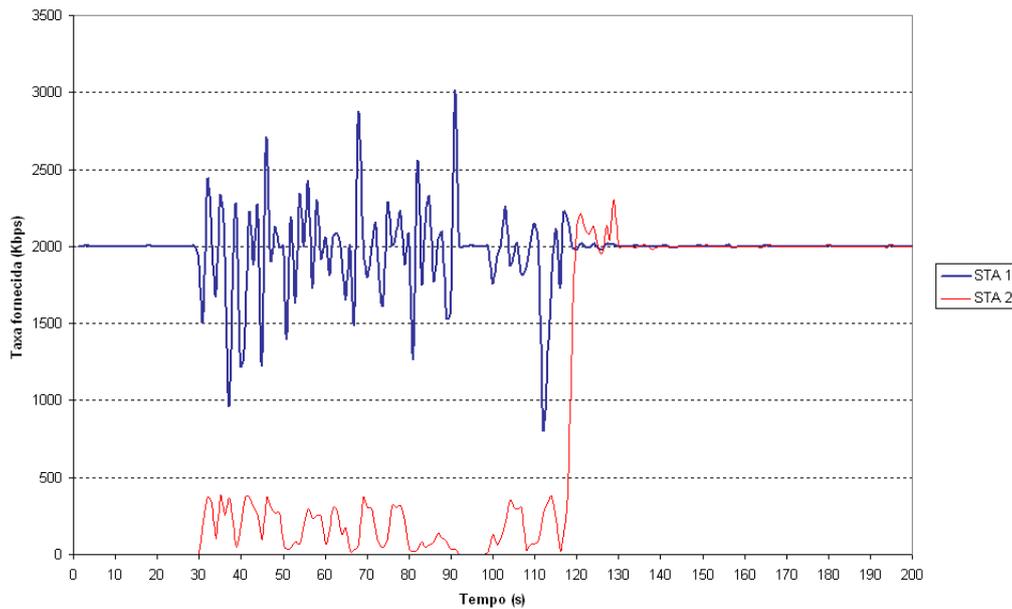


**Figura 7. Teste 2 - Duas filas com valores de CWmin e AIFS iguais**

Pelos resultados apresentados nos gráficos dos testes 2, 3, 4 e 5 observa-se uma diminuição do efeito da anomalia no tráfego oferecido a STA 1. Embora possa ser observado uma instabilidade no momento que o tráfego da STA 2 inicia o tráfego, a taxa média oferecida a STA 1 é muito maior que o observado no teste 1, chegando próximo ao valor originado pelo PC1 (2Mbps).

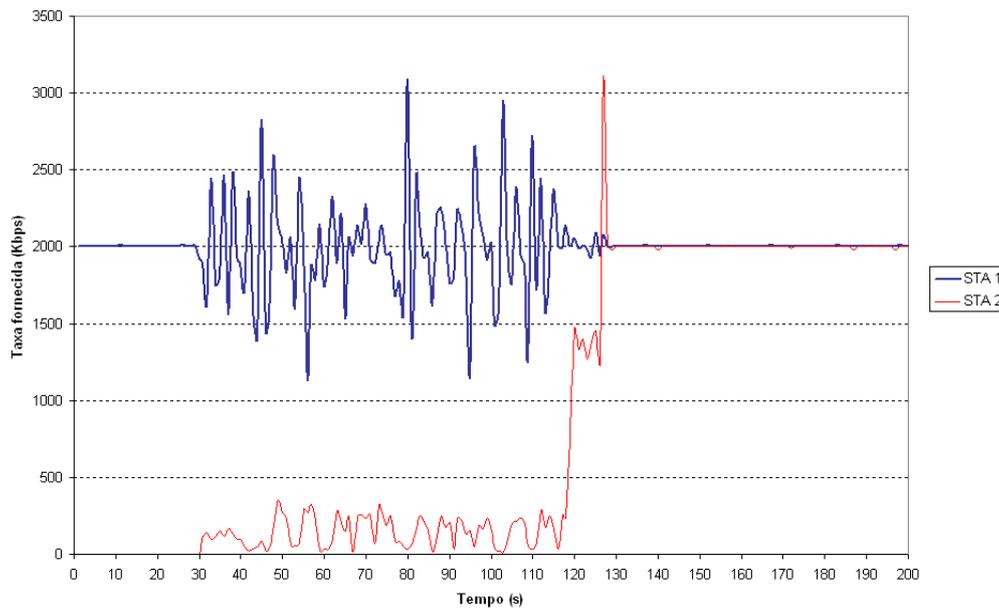


**Figura 8. Teste 3 - Duas filas com diferenciação por CWmin**



**Figura 9. Teste 4 - Duas filas com diferenciação por AIFSN**

A evolução do teste 2 para os testes 3, 4 e 5 não é muito perceptível visualmente pelos gráficos, mas pode ser melhor observada analisando os valores médios apresentados na tabela II onde é feita uma análise estatística dos valores. Observa-se que os valores de taxa média fornecida para a STA 1 no teste 5 está muito próximo pelo originado pelo PC1. Os mesmos testes foram feitos no simulador NS2.28 [12] com módulo EDCA [13] instalado onde os resultados foram semelhantes, estando todos dentro do desvio padrão obtidos nos testes práticos. Os valores emulados e simulados estão descritos na tabela 2.



**Figura 10. Teste 5 - Duas filas com diferenciação por CWmin e AIFSN**

**Tabela 2. Taxa média fornecida e desvio padrão da STA 1 e valores simulados no NS2**

Teste	Média STA 1	Desvio Padrão STA 1	Valores NS2
Teste 1	538 Kbps	221 Kbps	700 Kbps
Teste 2	1944 Kbps	379 Kbps	-
Teste 3	1998 Kbps	359 Kbps	1790 Kbps
Teste 4	1956 Kbps	362 Kbps	1750 Kbps
Teste 5	2000 Kbps	289 Kbps	1890 Kbps

## 6. Conclusão

A atual forma de QoS de rede IEEE 802.11, através do padrão 11e, é ineficaz quando consideramos as condições de instabilidade do meio. Neste artigo foi apresentada uma técnica de priorização bidimensional, onde são consideradas duas dimensões para estabelecer a prioridade de acesso do usuário.

A primeira dimensão considera as condições de acesso ao meio, principalmente a SNR. A segunda é o CoS, onde determina-se o tipo de serviço a ser oferecido. A técnica proposta foi desenvolvida de forma analítica e testes experimentais. Os valores obtidos foram confirmados através da simulação em com software NS.

Com a técnica proposta ampliam-se as possibilidades de otimização da rede em função das variáveis SNR e CoS. O administrador da rede passa a ter a opção de escolher os valores de CWmin e AIFSN em função de uma política específica.

A análise e testes descritos neste artigo foram baseados nos valores e características do padrão IEEE 802.11, porém a mesma política pode ser estendida para outras tecnologias de rede sem fio, como por exemplo IEEE 802.16.

## Referências

- [1] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel and Andrzej Duda, Performance Anomaly of 802.11b, IEEE INFOCOM 2003, March, 2003.
- [2] BRANQUINHO, O. C. ; REGGIANI, N. ; FERREIRA, D. M., Mitigating 802.11 Mac Anomaly Using SNR to Control Backoff Contention Window. IEEE Computer Society, v. 4, p. 55-61, 2006.
- [3] Hyogon Kim, Sangki Yun, and Inhye Kang, Resolving 802.11 performance anomalies through QoS Differentiation, IEEE Communications Letters, July 2005, Vol. 9, No. 7, pp. 655-657.
- [4] Mayank Mishra, Anirudha Sahoo, A Contention Window Based Differentiation Mechanism for providing QoS in Wireless LANs, icit, pp. 72-76, 9th International Conference on Information Technology (ICIT'06), 2006
- [5] G. Bianchi, I. Tinnirello, and L. Scalia, Understanding 802.11e contention-based prioritization mechanisms and their coexistence with legacy 802.11 stations, IEEE Network, July/Aug 2005.
- [6] IEEE 802.11 WG, IEEE Std 802.11e/D10.0, Amendment 8 to Standard [for] Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11:Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements, Nov. 2005.
- [7] N. Ramos, D. Panigrahi, and S. Dey, Quality of Service Provisioning in 802.11e Networks: Challenges, Approaches, and Future Directions, IEEE Network July/Aug 2005.
- [8] Stefan Mangold, Sunghyun Choi, Peter May, Ole Klein, Guido Hiertz, and Lothar Stibor, IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service. European Wireless (EW, 2002), vol. 1, pp. 32-39, Florence, Italy, February 2002.
- [9] IPERF. Disponível em: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/> . Acesso em: 2007
- [10] Request for Comments: 1349, July 1992, Vol. 9, No. 7, pp. 4-5.
- [11] DD-WRT. Disponível em: <http://www.dd-wrt.com/> . Acesso em: 2007
- [12] NS-2. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns> . Acesso em: 2007
- [13] EDCA. Disponível em: [http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e\\_ns2](http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e_ns2) . Acesso em: 2007