

Seleção Dinâmica de Parâmetros de QoS na Resolução da Anomalia de Performance do IEEE 802.11b

Celso Barbosa Carvalho e José Ferreira de Rezende

Resumo—Este artigo investiga a anomalia de performance do método DCF em redes IEEE 802.11b. No trabalho é proposto e avaliado um mecanismo de controle de prioridade que utiliza os parâmetros de QoS (*Quality of Service*) do padrão IEEE 802.11e para solucionar o problema, através da atribuição de probabilidades de acesso ao meio que priorizem as STAs de acordo com suas taxas.

Palavras-Chave— Comunicação sem fio, qualidade de serviço (QoS), controle de prioridade.

Abstract—This article investigates the performance anomaly of 802.11b DCF access method. In the work, it is considered and evaluated a control mechanism for dynamic selection of QoS (*Quality of Service*) parameters used in IEEE 802.11e to solve the problem. These parameters allow the establishment of probabilities to access the medium that prioritizes the STAs, in accordance with their rates.

Keywords— Wireless Communication, quality of service (QoS), priority control mechanism

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de computação móvel tem promovido um grande crescimento no mercado de WLANs (*Wireless Local Area Networks*), sendo que a maior parte dos produtos comercializados é baseada no padrão IEEE 802.11. Em sistemas sem fio, incluindo-se as redes IEEE 802.11, existe uma perda de performance com o aumento da distância entre os pontos em comunicação. Esta diminuição de desempenho é solucionada através do uso de esquemas de modulação mais robustos que tem como inconveniente a diminuição das taxas de transmissão das estações móveis (STAs).

A variação da taxa das STAs em função da distância ou das condições adversas do meio, cria situações pouco estudadas e que podem modificar a performance da rede. Uma destas alterações de desempenho foi observada em [1], para o caso de uma rede 802.11b infra-estruturada com acesso ao meio através do modo DCF (*Distributed Coordination Function*). Nesta situação, existem circunstâncias onde podem ocorrer injustiças no compartilhamento de banda, comprometendo a performance da rede. Tais injustiças ocorrem em cenários onde uma STA, ao estar longe do AP (*Access Point*), baixa sua taxa de 11 para 5.5, 2 ou 1Mbps.

Uma vez nesse cenário, caso exista na rede pelo menos uma STA transmitindo, por exemplo, a 2Mbps, haverá uma

redução da taxa de todas as outras STAs para um valor inferior a 2Mbps. A razão desta "anomalia" é o método de acesso CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) que garante probabilidades iguais de acesso ao meio para todas as STAs, o que pode penalizar as demais STAs pelo fato da estação de mais baixa taxa capturar o meio por um maior período de tempo.

Diversos trabalhos têm avaliado o desempenho da extensão IEEE 802.11e, denominada de *MAC Enhancements for Quality of Service*. Ela proporciona suporte a QoS em redes WLAN. Nestes trabalhos são analisadas métricas como vazão ou atraso, a fim de verificar a diferenciação promovida pela divisão do tráfego de cada STA entre diversas categorias de tráfego (TCs - *Traffic Categories*). No entanto, tal situação não corresponde a um cenário realista de operação das redes 802.11, uma vez que o efeito de diferentes distâncias e taxas para as STAs são desconsideradas e/ou não investigadas.

A maioria dos trabalhos existentes na literatura desconsidera tais injustiças ou apenas aponta para o problema, sem propor soluções, como Heusse et. al [1]. Desta forma, a relevância deste estudo seria o de minimizar as injustiças que ocorrem nos cenários supracitados, sugerindo soluções.

Por meio de simulações, o presente artigo analisa o problema, verificando o impacto da distância e a existência de diferentes taxas sobre a vazão das STAs. Faz-se uso, ainda, da extensão IEEE 802.11e para determinar diferentes parâmetros de QoS (*QoS Parameter Set*) para as STAs, de acordo com suas taxas. É, portanto, desenvolvido a partir da proposta de [2] um mecanismo de controle de prioridade, que torna o AP capaz de selecionar dinamicamente os parâmetros de QoS para as STAs. Deseja-se, com isso, que uma STA que possua taxa de comunicação maior acesse mais vezes o canal compensando o longo período que a STA mais lenta o ocupa.

Para abordar tais assuntos, dividiu-se o estudo da seguinte forma. A seção 2 lista alguns trabalhos relacionados; a seção 3 faz uma revisão bibliográfica dos padrões 802.11 b/e; a seção 4 comenta em detalhes a "anomalia" da camada MAC 802.11 e realiza simulações através do NS-2 (*Network Simulator*), para ilustrar o problema; a seção 5 apresenta um mecanismo de controle de prioridade utilizado para resolução da "anomalia", além dos resultados do emprego do mecanismo avaliados através de um índice de justiça (*fairness index*) definido em [3]; e finalmente, a seção 6 traz as conclusões.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Heusse et. al.[1] verificam o desempenho do MAC 802.11b, considerando STAs com taxas diferentes; a "anomalia" de performance para o método de acesso DCF é identificada por meio de experimentos que constatarem o problema através de medidas de vazão. Contudo, não foram realizados experimentos considerando diferentes distâncias entre as STAs e AP, além de não propor solução para o problema identificado.

Diversos trabalhos ([4], [5], [6] e [7]) realizam experimentos de simulação onde são atribuídos diferentes valores de parâmetros de QoS para tráfegos com requisitos distintos. Eles objetivam constatar a diferenciação oferecida pelo MAC IEEE 802.11e.

Melo Filho, Rezende e Pirmez desenvolveram em [2] um mecanismo de controle de carga que, de acordo com a situação de tráfego na rede, seleciona os parâmetros de QoS do MAC 802.11e, propondo uma solução para a configuração do QoS *Parameter Set* que é deixado em aberto na especificação do protocolo e nos artigos comentados no parágrafo anterior.

Nota-se, entretanto, que os trabalhos relacionados não consideram a presença de STAs com diferentes taxas dentro da BSS (*Basic Service Set*), variável que o presente artigo se propõe a considerar a fim de solucionar a anomalia.

III. O PADRÃO 802.11

O padrão 802.11 foi criado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) para definir WLANs compatíveis com os demais padrões da família 802.x. O escopo do padrão são as definições das subcamadas física (PHY) e de controle de acesso ao meio (MAC).

Neste trabalho, são tratadas questões da subcamada MAC do 802.11, descritas a seguir.

A. O MAC 802.11b

O MAC 802.11b permite dois esquemas de acesso ao canal, o DCF (*Distributed Coordination Function*) e o PCF (*Point Coordination Function*). O primeiro utiliza o protocolo CSMA/CA, enquanto o segundo utiliza um nó especial chamado de PC (*Point Coordinator*), que geralmente é o próprio AP, para controlar a transmissão das STAs utilizando um esquema de eleição. Os métodos DCF e PCF são multiplexados no tempo em um frame, formado por um CP (*Contention Period*) e um período CFP (*Contention Free Period*). O método PCF não faz parte do escopo deste trabalho e, portanto, não será comentado em detalhes.

No DCF uma STA, ao sentir o meio livre por um período igual a DIFS (*Distributed Inter Frame Space*), pode iniciar sua transmissão imediatamente. Se o meio estiver ocupado, a STA inicia um procedimento de *backoff* adiando sua transmissão por um período de tempo que é computado utilizando uma variável uniformemente distribuída entre 0 e CW_{min} (*Congestion Window*). Após o meio estar livre por DIFS, é decrementado o temporizador de *backoff* em unidades de um *slot time*. O decremento é interrompido caso o meio se torne ocupado, reiniciando após DIFS, caso volte a ficar livre. Quando o temporizador alcança o valor zero, a STA pode transmitir seu quadro, esperando um ACK (*Acknowledgment*) dentro de

um temporizador específico. Caso o ACK não retorne, a STA chama seus procedimentos de *backoff* e retransmissão. Para cada nova colisão o valor de CW_{min} é aumentado até o valor limite CW_{max} , com a intenção de diminuir a probabilidade de novas colisões.

B. O MAC 802.11e

O 802.11e trata-se de uma evolução do 802.11 original com suporte à QoS. Nele é introduzido um mecanismo de acesso ao meio chamado de HCF (*Híbrido Coordination Function*) que incorpora dois métodos de acesso ao canal. O primeiro, baseado em contenção, é chamado de EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*) e o segundo, livre de disputa, é baseado em um mecanismo de consulta.

No EDCF, o suporte à QoS é conseguido através da introdução de Categorias de Tráfego (TCs - *Traffic Categories*). Os quadros de dados das camadas superiores chegam à camada MAC com uma prioridade que é mapeada em uma TC. Cada uma das 8 possíveis TCs é parametrizada com seus próprios valores de CW_{min} , CW_{max} e AIFS (*Arbitrary Interframe Space*). Durante o período com contenção, cada TC disputa por uma oportunidade de transmissão (TXOP), que é um intervalo de tempo no qual uma STA tem o direito de iniciar sua transmissão. Assim como no DCF, se o meio estiver livre, uma STA pode iniciar sua transmissão imediatamente, mas se estiver ocupado, a STA esperará até o final da transmissão corrente. Depois da espera, a STA aguardará um período adicional de AIFS[TC], iniciando então um procedimento de *backoff* com intervalo de espera entre $[1, CW_{min}[TC] + 1]$. Para cada tentativa de transmissão mal sucedida, um novo valor de CW é calculado utilizando um fator de persistência ($PF[TC]$). O valor da nova CW é calculado utilizando a seguinte expressão, até o valor CW_{max} :

$$CW_{novo}[TC] = (CW_{antigo}[TC] + 1) * PF - 1$$

Uma colisão ocorrida entre múltiplas TCs, dentro de uma STA, é resolvida dando-se a TXOP para a TC mais prioritária. Neste caso, a TC que possui prioridade menor entrará em *backoff*. Existe ainda a possibilidade de um quadro sofrer uma colisão externa com o de uma outra STA; neste caso também é realizado o procedimento de *backoff* para as STAs envolvidas.

IV. A ANOMALIA DE PERFORMANCE DO IEEE 802.11B

A performance de vazão de uma rede 802.11b é fortemente influenciada pela distância entre STAs e AP, causando efeitos como o da captura de pacotes ou o *fallback*, que é a diminuição da taxa das STAs com o aumento da distância. O efeito de captura do MAC 802.11 especifica que se uma STA recebe duas transmissões simultâneas, a primeira pode ser entendida se o seu nível de potência for maior que o nível de potência da outra, por um valor maior que um limiar de captura, ajustado em 10dB por padrão no NS-2. Por outro lado, se a relação entre a potência do primeiro pacote e a potência do segundo for menor que 10, ambos são descartados, acontecendo então uma colisão.

A seguir, descreve-se os cenários utilizados para identificação da anomalia através da variação dos parâmetros distância e taxa das STAs.

A. Simulações

Utilizou-se o NS-2 versão 2.26, no qual foi necessário anexar o agente NOAH (*Non Ad Hoc Routing Agent*), visto que o simulador possui somente protocolos de roteamento *Ad Hoc*, não permitindo a sua utilização em modo infra-estruturado. Além de tal procedimento, instrumentou-se o código do MAC 802.11 com mecanismos que permitissem a análise de seu funcionamento quando exposto a STAs transmitindo em diferentes taxas e distâncias do AP.

Nos cenários de experimentos mostrados na figura 1, o AP está localizado no centro de uma área 500x500 e conectado a um nó fixo através de um enlace de 100Mbps e 2ms de retardo.

Foram utilizadas 3 STAs transmitindo à 11Mbps e uma STA, cuja taxa varia de 1, 2, 5.5 e 11Mbps, para observar os efeitos de variação da taxa. Para o cenário 1 todas as STAs estão a 25m do AP e igualmente espaçadas na circunferência. Este cenário se fez necessário, uma vez que o objetivo da experimentação é simular a anomalia, sem a interferência de outros fatores, como a distância, por exemplo.

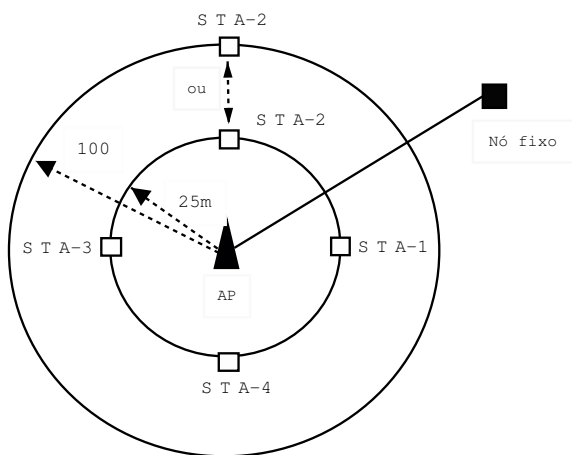


Fig. 1. Cenários usados nas simulações

Para o cenário 2 as STAs à 11Mbps estão a distância de 25m do AP, e a STA de menor taxa, a um raio de 100m, objetivando observar a influência da distância sobre a vazão das STAs. Foram realizadas simulações com duração de 200 segundos, anexando a cada STA uma fonte CBR, com protocolo de transporte UDP, para que se pudesse simplificar a análise de resultados devido ao comportamento de taxa constante obtido neste cenário. O tráfego foi gerado com taxa de 2Mbps e pacotes de 2300 bytes, no sentido das STAs para o AP (*uplink*), para que o efeito das capturas e colisões de pacotes fossem observados.

B. Resultados Obtidos

Pode-se observar na figura 2 a influência da variação da taxa de uma STA (STA-2) na vazão individual e agregada da rede. Quando uma STA tem taxa de 1Mbps, a vazão agregada assume valor abaixo de 3Mbps. Ao aumentar esta taxa para 2Mbps, 5.5 e 11Mbps, a vazão agregada da rede

passa respectivamente para valores próximos de 4, 6 e 7Mbps respectivamente.

Para a figura 3, ao colocar a STA de taxa variável a 100m do AP, visualiza-se os mesmos resultados encontrados na figura 2, exceto pelo fato de que a STA distante (STA-2) possui menor vazão que as demais ao transmitir a 11Mbps. A razão desta diferença é explicada na figura 4. Observa-se que quando a STA distante transmite a 11Mbps e ocorre a captura de um dos seus pacotes, o AP responde com um ACK que é recebido normalmente pela STA próxima (passos 1, 2, 3 e 4), o que proporciona um ganho de vazão para as STAs que estão mais perto. Conforme a figura, o mesmo não acontece quando a STA distante possui as taxas de 1, 2 ou 5.5Mbps. Neste caso, o ACK enviado pelo AP colide com o pacote de dados enviado pela STA distante, que continua trafegando no meio devido a sua menor taxa (passos 1, 2, 3, 4 e 5). Desta forma, ambas STAs perdem seus pacotes, permanecendo com a mesma vazão.

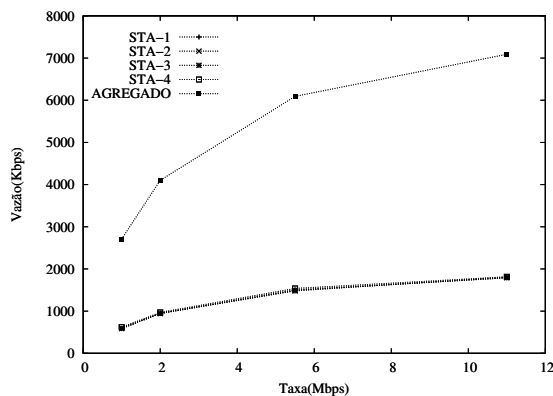


Fig. 2. STA de taxa variável a 25m do AP

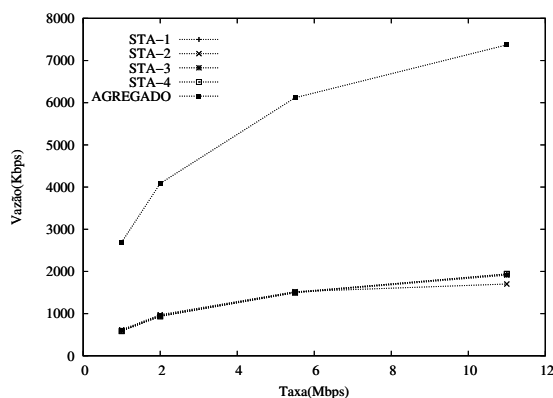


Fig. 3. STA de taxa variável a 100m do AP

Os resultados obtidos mostram que quando uma STA transmite a uma taxa de bits menor, a vazão de todas as STAs na rede é significativamente limitada, já que as STAs de maior taxa têm suas vazões decrescidas para um valor próximo ao da de menor taxa.

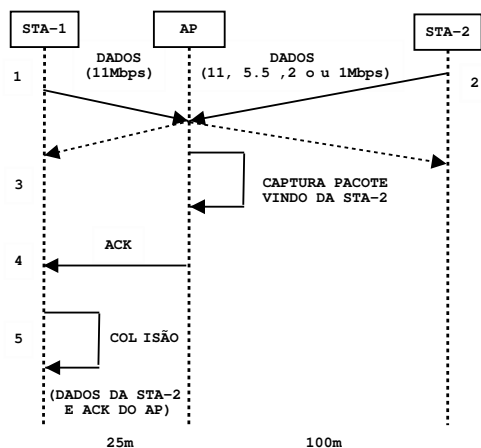


Fig. 4. Mensagens trocadas entre STAs e AP na ocorrência de captura

V. MECANISMO DE CONTROLE DE PRIORIDADE

Neste trabalho adaptou-se o mecanismo de controle de carga desenvolvido em [2] para o cenário com existência de STAs com diferentes taxas na BSS. Tal mecanismo, mede a carga agregada das STAs que estão transmitindo a uma determinada taxa (ex. 11Mbps e 5.5Mbps) e, dependendo da situação, emite novos valores de AIFS[TC] e CWmin[TC] para cada TC, buscando aumentar a vazão das STAs de maior taxa e maximizar a vazão agregada da rede. Foi considerada apenas a existência de tráfego de melhor esforço, já que o trabalho tem como objetivo resolver o problema da anomalia, sem prever a priorização para classes de tráfegos (dados e vídeo, por exemplo), cada qual com STAs transmitindo com taxas diferentes.

A. Efeitos dos Parâmetros AIFS e CWmin

Ambos os parâmetros AIFS e CWmin especificam o tempo de espera de transmissão, no entanto, o primeiro controla a parte determinística de espera enquanto o outro, a parte estatística. Através do AIFS é possível especificar um *slot* de cada vez, tornando o controle menos agressivo. Isso não ocorre com o parâmetro CWmin que, na ocorrência de congestionamento, recebe seu próprio valor multiplicado por 2 menos 1. Os dois parâmetros são empregados em conjunto no mecanismo para separar os níveis de prioridade entre TCs, sendo que CWmin também tem seu valor vinculado ao número de fontes presentes na rede. O emprego conjunto dos parâmetros deve respeitar algumas restrições.

- 1) $AIFS[TC_i] \geq 2$. Este parâmetro é dado por $SIFS + DIFS * SlotTime$. A variável *SlotTimes* não pode ser 0 ou 1, para que $AIFS[TC_i]$ não se iguale a SIFS ou PIFS (Intervalo entre quadros da função PCF), respectivamente.
- 2) $AIFS[TC_{i+1}] \geq AIFS[TC_i]$, para que se tenha priorização.
- 3) $CWmin[TC_i] < CWmax$, de acordo com a especificação do 802.11.
- 4) $CWmin[TC_i] \geq 7$. Valor considerado mínimo na prevenção de colisões.

B. Algoritmos Utilizados

O controle de prioridade ajusta periodicamente os valores de AIFS e CWmin da TC de menor prioridade, de forma a alcançar os objetivos de prioridade desejados, porém, sem ferir as restrições citadas anteriormente. O ajuste de contenção é chamado na criação ou saída de fontes, sejam elas de maior ou menor prioridade. O ajuste verifica se o tamanho do CWmin está adequado ao número de fontes presentes na rede. Em ambos os procedimentos, após a determinação dos novos valores de parâmetros, estes são emitidos para as STAs através da função `emitirParametrosQoS`.

```

controlarPrioridade(){
    ajustarPrioridade(TC_i+1);
    emitirParametrosQoS();
}

```

Fig. 5. Módulo de Controle de Prioridade

```

ajustarContencao () {
    Se chegouFonte(TC_i) ou saiuFonte(TC_i)
        ajustarCW(TC_i);
    Se chegouFonte(TC_i+1) ou saiuFonte(TC_i+1)
        ajustarCW(TC_i+1);
    emitirParametrosQoS();
}

```

Fig. 6. Módulo de Ajuste de Contenção

O módulo de controle de prioridade (figura 5) chama o procedimento `ajustarPrioridade` (figura 7), onde é verificado se a relação entre as vazões estimadas das categorias TC_i e TC_{i+1} é menor ou maior que a relação da taxa de bits das STAs destas TCs. Caso seja menor, e se a função `permitirReducao(TC_{i+1})` retornar verdadeiro, é chamada a função `baixarTrafego(TC_{i+1})` para a TC de menor prioridade, caso contrário, é realizado um aumento do tráfego através da função `elevaTrafego(TC_{i+1})`. A redução do tráfego é feita somando-se um número de *slots* a AIFS até um certo limiar. Após este ponto, o CWmin é dobrado até o limite CWmax. A elevação é feita de forma contrária, respeitando-se as restrições 1 e 4. A função `permitirReducao(TC_{i+1})` verifica se o tráfego estimado das STAs, da TC menos prioritária, alcançou um limiar considerado mínimo no mecanismo e fixado em 100kbps; a função testa também se as STAs de maior prioridade alcançaram a vazão máxima gerada em suas fontes, que é traduzida pela variável $taxaFonte[TC_i]$.

O módulo de ajuste de contenção (figura 6) através do procedimento `ajustarCWmin(TC_i)` (figura 8) ajusta o valor de CWmin de cada TC, em função da quantidade de fontes recebidas. De acordo o procedimento, se o número de fontes for maior que CWmin, aumenta-se seu valor, a fim de deixar a probabilidade de escolha de um *slot* próximo de $1/NumeroFontesAceitas$ (figura 8 caso 1).

No caso de diminuição (caso 2), se o número de fontes for igual a metade do valor de CWmin, ele é reduzido. Caso

```

ajustarPrioridade(TC_i+1) {
  relacao_vazao = cargaAgregada[TC_i]/cargaAgregada[TC_i+1];
  relacao_taxas = taxa[TC_i]/taxa[TC_i+1];
  Se relacao_vazao < relacao_taxas e permitirReducao(TC_i+1)
    baixarTrafego(TC_i+1);
  Se relacao_vazao > relacao_taxas
    elevarTrafego(TC_i+1);
}
baixarTrafego(TC_i+1){
  Se AIFS[TC_i+1] < limiarAIFS
    AIFS[TC_i+1] = AIFS[TC_i+1] + slotsReducao;
  Senao Se CWmin[TC_i+1] < CWmax
    CWmin[TC_i+1] = (CWmin[TC_i+1]*2)+1;
}
elevarTrafego(TC_i+1){
  Se AIFS[TC_i+1] > 2
    AIFS[TC_i+1] = AIFS[TC_i+1] - slotsAumento;
  Senao Se CWmin[TC_i+1] > 7
    CWmin[TC_i+1] = (CWmin[TC_i+1] - 1)/2;
}
permitirReducao(TC_i+1){
  Se cargaAgregada[TC_i+1]/fontesAceitas[TC_i+1] < 100k
    return 0; /*Valor con siderado minimo para vazao das STAs*/
  Senao Se cargaAgregada[TC_i]/fontesAceitas[TC_i] >= taxaFonte[TC_i]
    return 0; /*Fontes alcançaram vazao maxima*/
  return 1;
}

```

Fig. 7. Ajuste do AIFS da Categoria de Menor Prioridade

se altere o CWmin da TC de maior prioridade, haverá a necessidade de mudança no valor de $AIFS[TC_{i+1}]$ para que se permaneça a priorização que existia anteriormente (casos 4 e 5). De acordo com os casos 3 e 6 apresentados na mesma figura, $CWmin[TC_i]$ e $AIFS[TC_{i+1}]$ não podem ter seus valores menores que 7 e 2, respectivamente, de acordo com as restrições 4 e 1.

```

ajustarCWmin(TC_i){
  CWAntigo = CWmin[TC_i];
  Se fontesAceitas > CWmin[TC_i]; /*Caso 1*/
    CWmin[TC_i] = CWmin[TC_i]*2+1;
  Se fontesAceitas < CWmin[TC_i]/2; /*Caso 2*/
    CWmin[TC_i] = (CWmin[TC_i]-1)/2;
  Se CWmin[TC_i] < limiarCWmin[TC_i]; /*Caso 3*/
    CWmin[TC_i] = limiarCWmin[TC_i];
  Se CWmin[TC_i] > CWAntigo /*Caso 4*/
    AIFS[TC_i+1] = AIFS[TC_i+1] + (CWmin[TC_i] - CWAntigo);
  Se CWmin[TC_i] < CWAntigo /*Caso 5*/
    AIFS[TC_i+1] = AIFS[TC_i+1] - (CWAntigo - CWmin[TC_i]);
  Se AIFS[TC_i+1] < 2 /*Caso 6*/
    AIFS[TC_i+1] = 2;
}

```

Fig. 8. Ajuste do CWmin das Categorias

C. Simulações

Foi empregada uma versão do MAC 802.11 com modificações que fornece suporte às funcionalidades do EDCF. Nas simulações utilizou-se a topologia apresentada na figura 1, onde todas as STAs estão a 25m do AP. O objetivo de tal configuração é verificar a eficácia do mecanismo de controle

de prioridade, com o uso de um dos cenários montados na identificação da anomalia.

O mecanismo é avaliado através de tráfego de melhor esforço, modelado através de fontes CBR que geram pacotes de 2300 bytes. As TCs de maior e menor prioridade iniciam com os mesmos valores de AIFS e CWmin (2 e 7 respectivamente) para evidenciar a diferença na utilização ou não do mecanismo.

As simulações têm duração de 450s e são divididas em quatro fases para se observar a resposta do mecanismo em diferentes condições. Na primeira fase, que vai até 100s, é admitida uma fonte da categoria TC_0 e uma da categoria TC_1 . Na segunda fase, que está compreendida entre 100 e 200 segundos são recebidas mais quatro fontes da categoria TC_1 . Na terceira fase, que inicia em 200 e tem término em 300s, entram quatro STAs da categoria TC_0 . Em uma última fase, que vai até 450s, são retiradas as STAs da categoria TC_1 até que reste apenas uma. A entrada e saída de fontes dentro de cada fase são espaçadas no tempo por intervalo de 2s.

Realizaram-se 10 simulações e retirou-se a média da vazão agregada das TCs, para cada uma das quatro fases, com e sem a utilização do mecanismo de controle de prioridade. Coletou-se a vazão da TC_0 e respectiva vazão da TC_1 , que representa as STAs mais lentas com taxas variando em 5.5, 2 e 1Mbps, conforme colunas 3, 5 e 7 da tabela (I). Ao todo criou-se 8 configurações que são representadas pelas fases de 1.1 a 1.4 e de 2.1 a 2.4 de acordo com a primeira coluna da mesma tabela.

Com Controle de Prioridade						
F	V-11M	V-5.5M	V-11M	V-2M	V-11M	V-1M
1.1	2023.04	2004.48	2016.85	1138.69	2023.04	631.04
1.2	2023.04	2338.56	2023.04	1101.22	2023.04	606.29
1.3	4528.64	1317.76	4392.53	519.68	3681.07	327.89
1.4	4763.73	1249.70	4373.97	575.36	4145.07	327.89
Sem Controle de Prioridade						
F	V-11M	V-5.5M	V-11M	V-2M	V-11M	V-1M
2.1	2016.85	2010.67	1435.30	1422.93	754.77	779.52
2.2	494.93	3668.69	216.53	1577.60	167.04	767.14
2.3	2456.10	2375.68	1082.66	1181.65	612.48	643.413
2.4	4986.45	1002.24	3291.30	847.573	2449.92	501.12

TABELA I

VAZÃO AGREGADA OBTIDA COM E SEM CONTROLE DE PRIORIDADE EM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES

Um índice de justiça (*fairness index* - FI), definido na equação 1 e proposto por R. Jain et al.[3], foi aplicado aos resultados obtidos.

$$fairness\ index = \frac{(\sum_{i=0}^{N-1} x_i)^2}{N * \sum_{i=0}^{N-1} (x_i)^2} \quad (1)$$

Na equação, N é a quantidade de TCs envolvidas, x_i é a vazão normalizada da TC i , que é dada por $x_i = T_i/O_i$, sendo que T_i é a vazão alcançada pela TC i e O_i a respectiva vazão ótima.

No presente trabalho assume-se abordagem onde cada agregado (correspondente a uma TC) é tratado como indivíduo único na determinação do FI, já que o mecanismo de controle de prioridade, que aqui é validado, faz o mesmo tratamento

ao emitir seus parâmetros de QoS para as TCs, após medir a vazão agregada de cada uma. Subentende-se assim, que cada STA compartilhará o meio de forma justa com as demais que fazem parte de uma mesma TC.

O valor de O_i escolhido é dado por:

$$O_i = \left(\frac{\text{taxa}[TC_i]}{\sum_{j=0}^{N-1} \text{taxa}[TC_j]} \right) \cdot BW_{agreg.}$$

Na equação $\text{taxa}[TC_i]$ é a taxa de dados das STAs pertencentes à TC que se quer determinar a vazão ótima, $\text{taxa}[TC_j]$ a taxa das STAs das TCs existentes e $BW_{agreg.}$ é a vazão agregada total medida na rede. Deseja-se, com isso, determinar de forma simplificada a fração da banda disponível para cada agregado, de acordo com a taxa da TC. Quanto maior a taxa da categoria, maior deverá ser sua vazão, de acordo com a expressão anterior.

Os resultados da aplicação do FI, a cada configuração da tabela (I), são apresentados na tabela (II). Quando o FI é igual a 1, todas as TCs obtêm a vazão proporcional a sua parte. Nas colunas 2 a 4 da tabela são apresentados os resultados obtidos na presença de STAs de menor taxa transmitindo à 5.5, 2 e 1Mbps, para cada configuração.

Com Controle de Prioridade			
Fase	FI-1	FI-2	FI-3
1.1	0.9022	0.7918	0.7686
1.2	0.8643	0.8004	0.7777
1.3	0.9347	0.9571	0.9998
1.4	0.9114	0.9749	0.9952
Sem Controle de Prioridade			
Fase	FI-1	FI-2	FI-3
2.1	0.9007	0.6774	0.5873
2.2	0.5671	0.5249	0.5197
2.3	0.9079	0.6620	0.5858
2.4	0.8460	0.9711	0.8711

TABELA II
ÍNDICE DE JUSTIÇA OBTIDO PARA CADA CONFIGURAÇÃO

D. Resultados Obtidos

Comparando os dados obtidos com e sem o uso do mecanismo de controle (tabela I) para as 4 fases de simulação, é possível visualizar que o mecanismo propicia um aumento da vazão agregada da rede e das STAs de maior taxa, minimizando-se, o problema da anomalia. A aplicação do FI aos dados tabelados em I constatam a diferenciação conseguida conforme tabela II. Observa-se que na fase 2 de simulação são obtidos FIs comparativamente mais favoráveis ao mecanismo. Isto se dá porque, tem-se maior quantidade de STAs de menor taxa neste período, de maneira que sem a utilização do mecanismo o agregado das STAs de menor taxa supera em muito o da outra categoria. A utilização do mecanismo compensa este desbalanceamento, proporcionando valores de FI mais próximos de 1.

Índices com valores mais próximos entre simulações com e sem a utilização do mecanismo, podem ser observados na fase 4. Nela existe maior número de STAs mais rápidas que fazem com que o agregado destas estações apresente valor já próximo a um valor mais justo para as STAs desta categoria, mesmo sem a utilização do mecanismo. O mecanismo atua

melhorando o índice e aumentando a vazão agregada da categoria TC_0 .

Comparando as linhas 3 e 9 da tabela I, nota-se melhoras significativas da vazão agregada quando as STAs estão transmitindo a 2 e 1Mbps. Para a taxa de 5.5Mbps observa-se que as categorias apresentam vazão com valores aproximados. Isto se dá porque não há grande disputa pela banda e a STA lenta não ocupa tanto o canal, como para as outras taxas, fazendo com que as duas TCs alcancem a vazão almejada.

Valores de índices mais próximos de 1 são difíceis de serem alcançados, uma vez que há uma grande variação da vazão das STAs (inclusive da mesma TC) e conseqüentemente da vazão agregada medida no AP. Esta instabilidade do tráfego deve-se ao fato de que as STAs nos cenários criados transmitem dados com um taxa bastante elevada para criar competição pelo meio sem fio, o que cria uma concorrência pela banda disponível. Isto é necessário, visto que a anomalia é evidenciada com o aumento da disputa.

VI. CONCLUSÕES

Este artigo estuda a anomalia de taxas do IEEE 802.11b e seus efeitos através de simulações em cenários onde se varia a taxa e a distância das STAs. O trabalho também descreve um algoritmo de controle de prioridade que escolhe e emite parâmetros de QoS para as STAs presentes na rede, de acordo com as suas taxas. O mecanismo foi avaliado através de simulações, e os dados gerados foram validados a partir de um índice de justiça definido em trabalho citado na bibliografia consultada, e que foi adaptado para o presente trabalho.

Os resultados obtidos constatam a eficácia do mecanismo em sua tarefa de minimizar o efeito da anomalia. O algoritmo desenvolvido permite restringir a complexidade do controle de QoS somente ao AP sem, contudo, ferir requisitos de escalabilidade visto que a vazão medida e os parâmetros calculados a partir dela são tratados com uma visão de categorias de tráfego existentes.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel and Andrzej Duda, "Performance Anomaly of 802.11b, IEEE INFOCOM 2003, March, 2003.
- [2] J. Melo Filho, J. F. de Rezende and L. Pirmez, "Seleção Dinâmica de Parâmetros de Controle de Qualidade de Serviço em Redes IEEE 802.11 Infra-Estruturadas, Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores(SBRC'03), May, 2003.
- [3] R.Jain, W. Hawe and D.Chiu, "A Quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in Shared Computer Systems, DEC-TR-301, September, 1984.
- [4] S.Mangold, S.Choi, P. May et al., "IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service, European Wireless, February, 2002.
- [5] A.Grilo and M. Nunes, "Performance Evaluation of IEEE 802.11E, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, April, 2003.
- [6] D.He and C.Q.Shen, "Simulation Study of IEEE 802.11e EDCF, The 57th Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC'03), September, 2002.
- [7] D. Gu and J. Zhang, "QoS Enhancement in IEEE802.11 Wireless Local Area Networks, IEEE Communications Magazine, June, 2003.