

# Mecanismos de Controle de Admissão Baseado em Medições em Redes IEEE 802.11e

Juliana Freitag, Nelson L. S. da Fonseca e José F. de Rezende

**Resumo**—A extensão 802.11e introduz provisão de Qualidade de Serviço (QoS) no padrão IEEE 802.11 para redes locais sem fio. Entretanto, as funcionalidades introduzidas não são suficientes para atender os requisitos de QoS das diferentes classes de tráfego em situações de alta carga na rede. Esta deficiência motiva o desenvolvimento de novos mecanismos para monitoramento e controle dos níveis de serviço. Este artigo aborda o desenvolvimento e a avaliação de um desses mecanismos, o controle de admissão. Estuda-se a adaptação de dois mecanismos de controle de admissão baseado em medições para redes 802.11e.

**Palavras-Chave**—Redes IEEE 802.11, Qualidade de Serviço, Controle de Admissão.

**Abstract**—Although the 802.11e extension of the IEEE 802.11 standard for wireless local area network was concerned to provide Quality of Service, such provisioning cannot be achieved without specific traffic control mechanisms. In this paper, the use of admission control based on measurement for QoS provision in 802.11e networks is evaluated. It is shown that QoS differentiation can be obtained with the use of such mechanisms.

**Keywords**—IEEE 802.11 Networks, Quality of Service, Admission Control.

## I. INTRODUÇÃO

As redes locais sem fio IEEE 802.11 têm tido uma crescente disseminação no mercado. Suas principais características são simplicidade e robustez e sua grande vantagem é o baixo custo de operação dado que utiliza o espectro não licenciado. Esta tecnologia tende a desempenhar um importante papel no acesso sem fio à Internet. Além disso, pode interoperar com a gama de serviços disponibilizados por provedores de redes móveis (GPRS e GSM) oferecendo uma solução eficiente para a transmissão de dados fim-a-fim em banda larga em ambientes fechados, como por exemplo: aeroportos, estações de trem, hotéis e prédios comerciais.

No entanto, este padrão não possui mecanismos para fornecer Qualidade de Serviço (QoS) às aplicações. Para corrigir tal deficiência, está sendo desenvolvida pelo IEEE a especificação 802.11e, como uma extensão à especificação original. A extensão 802.11e inclui dois novos métodos de acesso ao meio na subcamada de acesso ao meio: um baseado em contenção e outro sem contenção; ambos com funcionalidade para a provisão de QoS. Estes novos métodos possibilitam o tratamento diferenciado para classes de tráfego com requisitos de QoS distintos.

Juliana Freitag e Nelson L. S. da Fonseca, Instituto de Computação, UNICAMP, São Paulo, Brasil. José F. de Rezende, GTA - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. E-mails: {juliana, nfonseca}@ic.unicamp.br, rezende@gt.uffrj.br. Este trabalho tem o auxílio financeiro do CNPq.

Embora a extensão 802.11e forneça diferenciação de serviços, ela não define como essa funcionalidade deve ser utilizada em uma situação particular de carga na rede. Além disso, é importante notar que a existência de classes de serviço não garante que os fluxos presentes na rede serão servidos com um retardo aceitável para o tipo de aplicação a que pertencem. Dessa forma, faz-se necessária a adoção de novos mecanismos para monitoramento e controle dos níveis de serviço como complemento à funcionalidade de QoS introduzida pela extensão 802.11e. Um destes mecanismos, o controle de admissão, restringe o número de usuários simultaneamente presentes na rede de forma a evitar a saturação do enlace sem fio, o que resulta em retardos elevados.

Este artigo enfoca o desenvolvimento e avaliação de mecanismos de controle de admissão, que possibilitam às redes 802.11e prover QoS e manter alto o nível de utilização da rede. Dois mecanismos de controle de admissão em uma rede 802.11e foram avaliados. O artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção II apresenta conceitos básicos sobre redes 802.11. A Seção III descreve os mecanismos de controle de admissão avaliados. A Seção IV descreve a proposta de adaptação dos mecanismos de controle de admissão para redes 802.11. A Seção V apresenta a metodologia utilizada nos experimentos para avaliação dos mecanismos. As Seções VI e VII mostram os resultados obtidos nos experimentos com tráfego homogêneo e com tráfego heterogêneo, respectivamente. Finalmente, a Seção VIII apresenta as conclusões.

## II. O PADRÃO IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 [3] especifica as camadas física e de controle de acesso ao meio (MAC) para redes locais sem fio. Ele suporta duas funções de acesso ao meio: a função de coordenação distribuída (*Distributed Coordination Function* - DCF) e a função de coordenação em um ponto (*Point Coordination Function* - PCF). No primeiro modo, as estações sem fio (STAs) devem competir pelo uso do canal a cada transmissão de um quadro. No segundo, a utilização do meio é controlada pelo ponto de acesso (PA) que consulta cada terminal eliminando a necessidade de contenção. A unidade organizacional fundamental de uma rede 802.11 é chamada BSS (*Basic Service Set*). Os membros de uma BSS são STAs controladas por uma mesma função de coordenação.

Motivado pela necessidade de padronização e pelo recente desenvolvimento do suporte a QoS em redes 802.11, o IEEE criou um grupo de trabalho para especificar uma extensão ao padrão que introduzisse mecanismos de provisão de QoS na MAC 802.11. A extensão, chamada 802.11e [4], introduz uma

nova função de coordenação, a HCF (*Híbrida Coordination Function*). A HCF possui um Coordenador Híbrido (*Hybrid Coordinator - HC*), responsável pela funcionalidade de QoS dentro do QBSS (*QoS BSS*). As estações que operam sob o protocolo 802.11e são chamadas QSTAs (*QoS Stations*) e o ponto de acesso, onde normalmente está localizado o HC, é chamado de QAP (*QoS Access Point*). A Função Híbrida é composta por dois modos de acesso: HCF e EDCF (*Enhanced DCF*). O EDCF é utilizado no período com contenção, enquanto o HCF é utilizado em ambos os períodos, com contenção e livre de contenção.

### III. CONTROLE DE ADMISSÃO BASEADO EM MEDIÇÕES

Os esquemas de controle de admissão baseado em medições (MBAC - *Measurement-Based Admission Control*) não necessitam de uma caracterização precisa do tráfego, dado que as decisões de admissão baseiam-se em medições do tráfego realizadas periodicamente. A arquitetura destes esquemas consiste em três componentes inter-relacionados: (1) o protocolo de sinalização através do qual novos fluxos são estabelecidos, (2) o módulo de medição de tráfego, que gera estatísticas sobre a situação da rede e (3) o módulo de controle de admissão que aceita ou rejeita requisições para estabelecimento de novos fluxos. Um dos esquemas (esquema SM) avaliados neste trabalho provém da combinação de um método de medição de tráfego e de um algoritmo de decisão definidos separadamente. O segundo esquema (esquema ET) é projetado como uma solução completa. As subseções seguintes discutem os dois esquemas.

1) *Esquema MBAC com Janelas de Tempo/Soma Medida*: este esquema é uma combinação de um método de medição por janelas de tempo e um algoritmo de decisão por soma medida [9]. O algoritmo de decisão por soma medida admite um novo fluxo com uma carga  $v_f$  se o seguinte teste for satisfeito:

$$v + v_f < \mu * C \quad (1)$$

onde  $\mu$  é um fator de utilização pré-definido,  $v$  é a estimativa de carga do tráfego presente na rede,  $v_f$  é a vazão solicitada pelo novo fluxo e  $C$  é a capacidade do canal. Ao ser aceito o novo fluxo, a estimativa de carga é atualizada somando-se os valores de  $v$  e  $v_f$ . Uma abordagem MBAC é fadada a falhas quando as variações de retardo são excessivamente grandes, o que ocorre quando o nível de utilização for muito alto. Assim sendo, é necessário identificar um alvo de utilização e fazer com que o algoritmo de controle de admissão mantenha a utilização abaixo desse nível. Neste trabalho,  $\mu$  assume valores de acordo com a utilização do enlace sem fio.

Na técnica de medição por janelas de tempo, o mecanismo de medição, também chamado estimador, divide o tempo em janelas de tamanho  $T$  segundos e subdivide cada janela em intervalos de amostra com tamanho  $S$ . A carga média observada na rede é computada a cada intervalo de amostra. Ao final de uma janela de tempo, a maior das amostras de carga obtidas nessa janela é tomada como a estimativa de carga inicial a ser usada pelo algoritmo de decisão na janela seguinte. No decorrer de cada janela, se for obtida uma amostra de carga

maior que a estimativa atual, o valor dessa amostra passa a ser considerado a estimativa válida para a janela atual. Quando um novo fluxo é admitido, a estimativa de carga é atualizada somando-se a ela o valor de  $v_f$ . Nesse caso uma nova janela é iniciada.

2) *Esquema MBAC com Envelopes de Tráfego*: neste esquema de controle de admissão [1], as decisões de admissão para cada fluxo baseiam-se em medições do tráfego agregado realizadas nos nós de egresso. A técnica consiste em medir e controlar envelopes de chegada e de serviço para cada uma das classes.

*Cálculo do Envelope de Chegada*: o envelope de chegada revela as características do processo de chegada do tráfego na rede. O tráfego é caracterizado através de envelopes da taxa de pico agregada. Seja  $A[s, s + I_k]$  a função que representa a chegada de pacotes no intervalo  $[s, s + I_k]$ . Então, a taxa de chegada neste intervalo será  $A[s, s + I_k]/I_k$ . Além disso, a taxa de pico para qualquer intervalo de tamanho  $I_k$  é dada por  $R_k = \max_s A[s, s + I_k]/I_k$ . O conjunto de taxas  $R_k$  que limita a taxa dos fluxos nos intervalos de tamanho  $I_k$  é definido como envelope da taxa de pico [2].

O tempo é dividido em *slots* de tamanho  $\tau = I_1$ , que corresponde ao intervalo mínimo medido no cálculo do envelope da taxa de pico. O envelope da taxa de pico medido nos últimos  $T$  *slots* de tempo é definido por:

$$R_k^1 = \frac{1}{k\tau} \max_{t-T+k\tau \leq s \leq t} A[(s - k + 1)\tau, s\tau] \quad (2)$$

para  $k = 1, \dots, T$ .

Assim sendo,  $R_k^1$ ,  $k = 1, \dots, T$  descreve o envelope da taxa de pico agregada para intervalos de tamanho  $I_k = k\tau$  para os últimos  $T\tau$  segundos. Este envelope mede as rajadas de curta escala de tempo e a auto-correlação do fluxo agregado.

A cada  $T$  *slots* de tempo<sup>1</sup>, o envelope  $R_k^1$  é medido utilizando a Equação 2 e  $R_k^m \leftarrow R_k^{m-1}$  para  $k = 1, \dots, T$  e  $m = 2, \dots, M$ . Dessa forma, a cada iteração o envelope da janela de tempo mais antiga é descartado e os envelopes das  $M$  janelas mais recentes são armazenados. Conseqüentemente, a variância dos envelopes medidos nas  $M$  janelas anteriores pode ser calculada utilizando a seguinte equação

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^M (R_k^m - \bar{R}_k)^2 \quad (3)$$

onde  $\bar{R}_k$  é a média empírica dos  $R_k^m$ 's,  $\sum_m \frac{R_k^m}{M}$ .

Assim sendo, a variabilidade do envelope agregado é medido em  $T.M$  *slots* de tempo para caracterizar a variação do envelope da taxa de pico em escalas de tempo longas.

*Cálculo do Envelope de Serviço*: o envelope de serviço descreve o serviço mínimo recebido por uma classe de tráfego em função do tamanho do intervalo. Considere uma única classe de serviço para simplificar a notação. O tempo de chegada do  $j$ -ésimo pacote é denotado por  $a_j$  e seu tempo de partida por  $d_j$ . O retardo de um pacote será  $(d_j - a_j)$ . O envelope descreve o serviço recebido pelo fluxo em intervalos de tempo durante os quais os pacotes da classe estão acumulados. O fluxo é considerado acumulado sempre que tiver pelo

<sup>1</sup>Regras para ajustar a janela de medição  $T$  são apresentadas em [5].

menos um pacote dentro do sistema. Esta condição de acúmulo pode ser inferida examinando-se propriedades dos tempos de chegada e de partida dos pacotes. Um fluxo de tráfego está constantemente acumulado para  $k$  transmissões de pacotes no intervalo  $[a_j, d_{j+k-1}]$  se

$$d_{j+m} > a_{j+m+1} \quad \text{para todo } 0 \leq m \leq k-2 \quad (4)$$

para  $k \geq 2$ . É importante notar que todas as transmissões de pacote estão acumuladas para  $k=1$  no intervalo  $[a_j, d_j]$ .

Pode-se medir a média e a variância do envelope de serviço mínimo no intervalo  $[t-T\tau, t]$  no tempo  $t$  da seguinte forma: o envelope é declarado como um vetor de tempos  $\vec{U}$  tal que  $U_i$  é o tempo máximo necessário para servir  $i.L$  bits, onde  $L$  é o número de bits do pacote de menor tamanho. Inicialmente,  $\vec{U} = 0$  e o envelope de serviço final é calculado iterativamente considerando todos os pacotes  $1 \leq j \leq n$  na janela.

Para o pacote  $j$ , não só o retardo do pacote é considerado, mas também intervalos mais longos de acúmulo. Assim sendo, o envelope é atualizado para

$$U_i = \max(U_i, d_{j+k-1} - a_j) \quad (5)$$

onde

$$i = \sum_{m=0}^{k-1} l_{j+m} \quad (6)$$

e  $l_{j+m}$  é o tamanho do pacote  $j+m$  em unidades  $L$ . Para um determinado pacote  $j$ , todo  $k \geq 1$  que satisfaz a Desigualdade 4 é considerado.

Assim como no envelope de chegada, a média e a variância do envelope de serviço são calculadas para janelas sucessivas, o que permite obter um nível de confiança do serviço previsto.

*Controle de Admissão:* considere um sistema no qual uma classe de tráfego tem um envelope da taxa de pico com média  $\bar{R}(t)$  e com variância  $\sigma^2(t)$ . Além disso, sejam  $\bar{S}(t)$  e  $\psi^2(t)$  respectivamente a média e a variância do envelope de serviço mínimo desta mesma classe. Um novo fluxo com taxa de pico  $P$  é admitido com um requisito de retardo máximo  $D$  se

$$t\bar{R}(t) + Pt - \bar{S}(t+D) + \alpha\sqrt{t^2\sigma^2(t) + \psi^2(t+D)} < 0 \quad (7)$$

onde  $\alpha$  é ajustado de acordo com a probabilidade de violação desejada [1]. Além disso, assegura-se a condição de estabilidade

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) < \frac{\bar{S}(t+D)}{t}. \quad (8)$$

Se ambas as condições forem satisfeitas o novo fluxo é admitido.

#### IV. ESQUEMAS MBAC EM REDES IEEE 802.11

Esta seção descreve a adaptação dos mecanismos de controle de admissão apresentados para redes 802.11e. Denominaremos esquema SM a adaptação do MBAC com janelas de tempo e soma medida e esquema ET a adaptação do MBAC com envelopes de tráfego.

##### A. Esquema SM

O algoritmo de soma medida não pode ser utilizado diretamente em uma rede 802.11 sem antes sofrer uma adaptação, uma vez que a capacidade do canal ( $C$ ) nesse tipo de rede não é fixa. Fatores como a duração dos intervalos entre-quadros (IFS), as taxas de dados básica e máxima em uso no QBSS, o tamanho dos quadros de dados e o tempo médio consumido em *backoff* afetam essa capacidade. Na proposta deste trabalho, a Inequação 1 usada no algoritmo original, passa a ser:

$$v + v_f < B * \alpha * \mu \quad (9)$$

onde  $C$  é substituída pelo produto de  $B$  - a taxa máxima de dados em uso no QBSS - por um fator  $\alpha$  - uma estimativa de eficiência do canal. Essa estimativa é calculada através da relação  $\alpha = t_{MSDU}/t_m$ , onde  $t_{MSDU}$  é o tempo de transmissão dos quadros de dados sem a sobrecarga do método de acesso e  $t_m$  é o tempo de transmissão incluindo essa sobrecarga.  $t_{MSDU}$  é igual ao tamanho (em bits) da unidade de dados de serviço do MAC dividido pela taxa de transmissão de dados máxima ( $B$ ). O tempo de transmissão com sobrecarga é estimado pela equação<sup>2</sup>

$$t_m = AIFS + t_{dados} + SIFS + t_{ACK} + t_{backoff}(m) \quad (10)$$

onde  $m$  é o número de estações transmitindo,  $AIFS$  e  $SIFS$  são os valores de intervalos entre-quadros definidos no padrão, e  $t_{dados}$  e  $t_{ACK}$  são os tempos de transmissão dos quadros de dados e de reconhecimento, respectivamente.  $t_{backoff}(m)$  é o tempo médio gasto com o procedimento de *backoff*.

##### B. Esquema ET

Para o caso de redes locais sem fio 802.11e, o único nó de egresso é o QAP e as estações presentes no QBSS podem ser consideradas nós de ingresso<sup>3</sup>. Quando um usuário deseja iniciar uma nova sessão, a QSTA envia uma mensagem de sinalização para verificar se o serviço requisitado está disponível. O manipulador de requisições chama a rotina de controle de admissão para determinar se o novo fluxo pode ser admitido sem que prejudique as garantias de serviço oferecidas aos demais fluxos presentes na rede. As características da rede (taxa de chegada e de serviço) são constantemente monitoradas pelo QAP e esta informação é acessada pelo algoritmo de controle de admissão durante a tomada de decisão.

Para o cálculo do envelope de chegada, o tempo de entrada dos pacotes nas filas dos nós de ingresso deve ser disponibilizado para o nó de egresso. Para tanto, as QSTAs inserem um *timestamp* no campo *ip\_frag* do cabeçalho IP dos pacotes, que registra o momento em que o pacote entrou na fila do nó. No nó de egresso, o tempo de serviço é registrado quando o pacote deixa a interface de saída do QAP. Desta forma, o cálculo dos envelopes leva em consideração o retardo nas filas das estações sem fio e do ponto de acesso. Além do tempo de

<sup>2</sup>Esse cálculo desconsidera o retardo de propagação no QBSS e o uso de RTS/CTS. Se o acesso com RTS/CTS for usado, deve-se somar o tempo de transmissão desses dois quadros e mais duas vezes SIFS.

<sup>3</sup>Quando o sentido do tráfego é do QPA para as QSTAs, o QAP comporta-se como um nó de ingresso.

chegada e do tempo de serviço, o QAP armazena o tamanho do pacote e um identificador da classe, o que garante um controle de admissão por classe.

## V. EXPERIMENTOS DE SIMULAÇÃO

Utilizou-se simulação de eventos discretos para obter os resultados de desempenho dos esquemas de controle de admissão apresentados. As simulações foram realizadas utilizando a ferramenta *Network Simulator* (NS) [6].

Cada experimento de simulação consiste em um processo randômico de chegada de fluxos que requisitam o serviço da rede e são admitidos ou rejeitados de acordo com a decisão do algoritmo. Um fluxo rejeitado deixa a rede sem enviar qualquer pacote de dados. Um fluxo aceito envia pacotes de dados durante um tempo de vida escolhido a partir de uma distribuição exponencial. Os pacotes são gerados de acordo com um modelo de tráfego.

O cenário de simulação consiste em um QAP conectado a um nó fixo por meio de um enlace de 100 Mbps, com retardo de 2 ms. O QAP está localizado no centro de uma área de 350 x 350 metros, de forma que todas as QSTAs contidas na área estejam a uma distância menor que 250 metros do ponto de acesso, que é o alcance padrão do NS para estações sem fio. A taxa de dados utilizada é de 11 Mbps e a taxa básica é de 1Mbps.

Foram utilizados três modelos de tráfego nos experimentos para representar tráfego de voz, vídeo e dados.

As fontes de voz geram bytes a uma taxa de 64Kbps, com pacotes de 256 bytes e têm períodos de atividade e de silêncio que seguem distribuições exponenciais com médias 1,2 e 1,8 segundos, respectivamente. Essas distribuições seguem o modelo de tráfego criado por Brady [8]. Para simular o padrão conversacional de cada conexão de voz, foi empregada uma fonte exponencial (*onoff*) na direção da QSTA para o nó fixo (sentido de subida ou *uplink*) e outra na direção do nó fixo para a QSTA (sentido de descida ou *downlink*), que são iniciadas com uma diferença de até 1 s. Essa bidirecionalidade é importante para tornar a simulação mais próxima da situação real dado que, nas redes 802.11, o tráfego do sentido de descida compete pelo meio sem fio com o tráfego do sentido de subida.

O tráfego de vídeo é obtido a partir de um arquivo de trace produzido por uma codificação MPEG do programa de televisão ARD News [7]. As fontes de vídeo geram pacotes de 512 bytes a uma taxa média de 720 Kbps e taxa de pico de 3,4 Mbps.

As fontes de dados geram pacotes de 1024 bytes de acordo com o modelo Pareto on-off com os seguintes parâmetros: período de atividade e de silêncio com média de 250 ms e taxa de pico de 400 Kbps. O valor do parâmetro *shape* é 1,9 [10].

O tempo de vida das fontes segue uma distribuição exponencial com média de 300 s para fontes de voz e de dados e 180 s para fontes de vídeo. O sentido de cada fonte de vídeo e de dados é determinado randomicamente. O requisito de QoS, retardo máximo, para as classes de tráfego é 100 ms, 100 ms e 500 ms para voz, vídeo e dados respectivamente.

O protocolo de transporte utilizado é o UDP, com tamanho de pacote igual ao usado pela fonte para evitar fragmentação

e remontagem na camada de transporte. Por simplicidade, não foi utilizado um protocolo de sinalização de chamadas específico, uma vez que é possível, no *script* de controle da simulação, iniciar a fonte apenas se a conexão for admitida. No entanto, deve ficar claro que tal protocolo é indispensável em uma implementação real.

Para cada experimento de simulação foram medidos o número máximo de fontes aceitas, o retardo médio, a vazão e a probabilidade de bloqueio em função da taxa de chegada de fontes. A avaliação do controle de admissão foi realizada após 10 rodadas do cenário de simulação, sendo que cada rodada utilizou um valor de semente diferente escolhido randomicamente. Os dados coletados durante um período inicial de *warm up* foram descartados. A duração de cada rodada foi 600 s para experimentos com tráfego homogêneo e 3600 s para experimentos com tráfego heterogêneo.

## VI. CONTROLE DE ADMISSÃO COM TRÁFEGO HOMOGÊNEO

Para o conjunto de experimentos apresentado nesta seção, assume-se a presença de um tráfego homogêneo na rede que utiliza a categoria de mais alta prioridade com intervalo entrequadros (AIFS) igual a 2 e tamanho mínimo da janela de contenção ( $CW_{min}$ ) igual a 7. Para o esquema ET o valor de  $\alpha$  é 1.

Além de avaliar os dois esquemas MBAC, comparou-se também os resultados de ambos com o modo de acesso EDCF do padrão 802.11e.

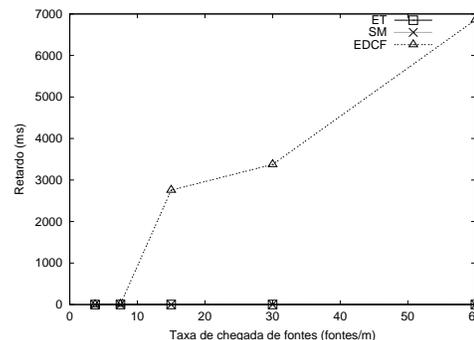


Fig. 1. Retardo médio para fontes de voz

1) *Tráfego de Voz*: para tráfego de voz os esquemas ET e SM apresentam um comportamento semelhante. A Figura 1 apresenta o retardo médio das fontes. É possível observar que ambos os esquemas satisfazem o requisito de retardo máximo de 100 ms mesmo quando a taxa de chegada de fontes é alta. Quando não há controle de admissão na rede, o retardo cresce rapidamente com o aumento da taxa de chegada de fontes, alcançando 7 s.

Com o modo de acesso EDCF, a vazão é maior, mas diminui gradativamente quando a taxa de chegada de fontes é maior que 15 fontes/minuto. Este comportamento deve-se a alta taxa de colisão, dado que na ausência do controle de admissão, o número de fontes presentes na rede torna-se muito alto. Para as taxas de 15, 30 e 60 requisições por minuto, o número de estações presentes na rede, quando utilizou-se o EDCF, foi de 75, 140 e 230, respectivamente, enquanto os algoritmos

de controle de admissão admitiram entre 25 e 29 fontes. A probabilidade de bloqueio para as diversas situações de carga na rede é semelhante para ambos os esquemas de controle de admissão, variando entre 5% e 90% de acordo com o aumento da taxa de chegada de fontes.

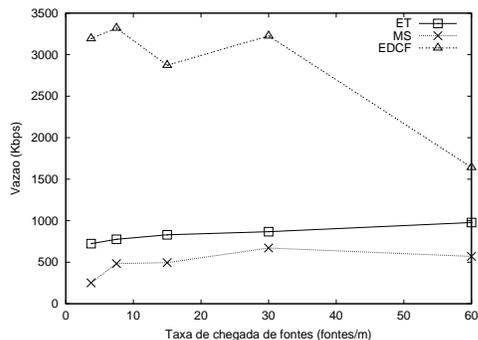


Fig. 2. Vazão média para fontes de vídeo

2) *Tráfego de Vídeo*: quando não há controle de admissão, para qualquer que seja a taxa de chegada das requisições, o retardo das fontes de vídeo é muito superior ao limite de 100 ms requisitado, girando em torno de 4,5 s. Por outro lado, ambos os esquemas de controle de admissão conseguem prover o serviço requisitado fornecendo valores de retardo semelhantes.

A vazão das fontes quando se utilizou o esquema ET foi maior do que quando se utilizou o esquema SM (Figura 2). No modo de acesso EDCF, assim como nos experimentos com tráfego de voz, a vazão sofre uma queda quando a taxa de chegada de requisições é alta devido ao grande número de fontes presentes na rede. Utilizando-se controle de admissão, o número máximo de fontes de vídeo presentes na rede fica, em média, entre 1,5 e 2,6, enquanto na ausência deste mecanismo, o número de fontes chega a 160 para taxa igual a 60 requisições/minuto.

A probabilidade de bloqueio, neste caso, foi alta para ambos os algoritmos de controle de admissão, alcançando 99% para taxa de 60 fontes/minuto. No entanto, os resultados revelam que o algoritmo ET é menos conservador que o algoritmo SM, principalmente para taxas de até 15 fontes/minuto, aceitando um número até 5% maior de fontes.

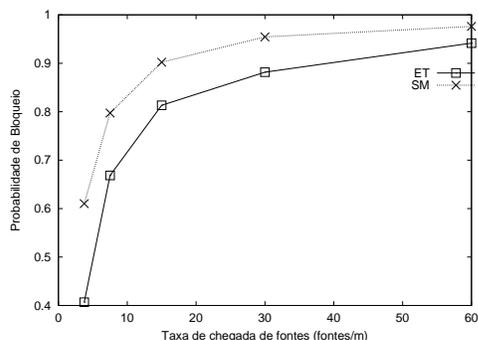


Fig. 3. Probabilidade de Bloqueio para fontes de dados

3) *Tráfego de Dados*: quando não há controle de admissão na rede, o retardo das fontes de dados atinge até 7,5 s, valor

este muito superior ao requisito de 500 ms. Por outro lado, os esquemas de controle de admissão fornecem serviço com valores de retardo bem abaixo do limite máximo.

Assim como nos experimentos com tráfego de vídeo, o esquema ET apresentou melhores resultados para a vazão das fontes e para a probabilidade de bloqueio. Quando se utiliza o esquema ET, a vazão supera em até 1Mbps a vazão obtida com o esquema SM. Por outro lado, a probabilidade de bloqueio foi inferior para o esquema ET, como pode ser visto na Figura 3. Esses resultados mostram que, neste caso, o esquema ET aproveitou melhor a capacidade da rede quando comparado ao esquema SM.

## VII. CONTROLE DE ADMISSÃO COM TRÁFEGO HETEROGÊNEO

Os experimentos com tráfego homogêneo mostram que o esquema ET tem melhor desempenho em algumas situações, em outras o desempenho é semelhante ao obtido com o esquema SM. Explorou-se, também, a habilidade do esquema ET em atender tráfego heterogêneo, bem como a influência de um tipo de tráfego sobre o serviço oferecido a um tráfego de outra classe de serviço.

Neste conjunto de experimentos, considera-se a presença de dois tipos de tráfego na rede. Um dos tráfegos utiliza a categoria de acesso de mais alta prioridade (AC0) e o outro, a categoria de acesso menos prioritária (AC1). Os valores dos parâmetros para AC0 são  $AIFS = 2$ ,  $CW_{min} = 7$  e  $\alpha = 1$  e para AC1 são  $AIFS = 3$ ,  $CW_{min} = 15$  e  $\alpha = 3$ .

Assim sendo, para verificar a influência do tráfego de vídeo sobre o serviço oferecido ao tráfego de voz a taxa de chegada de fontes de voz foi fixada em 7 fontes/minuto e variou-se a taxa para o tráfego de vídeo.

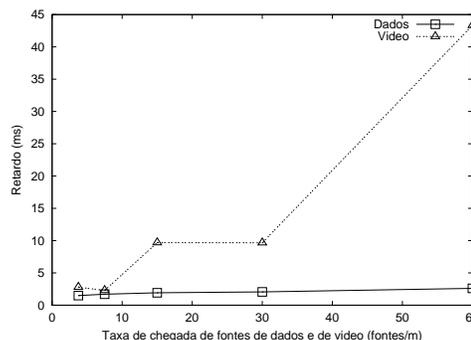


Fig. 4. Retardo médio para fontes de voz

O primeiro experimento, com taxa de chegada de fontes de voz fixa, simula duas situações: uma com tráfego de voz e vídeo e outra com tráfego de voz e dados. O tráfego de voz utiliza a categoria de acesso AC0 e o tráfego de vídeo/dados utiliza a categoria AC1. Na presença de fontes de vídeo o valor da probabilidade de bloqueio é 5% maior do que na presença de fontes de dados. Contudo, em ambos os casos, o número máximo de fontes de voz aceitas ficou entre 17,5 e 19. Comparando-se este resultado aquele obtido quando havia apenas tráfego de voz na rede, nota-se que o QAP inferiu a redução no serviço disponível e reduziu o número de fontes de voz admitidas.

A Figura 4 mostra que mesmo na presença de outros tipos de tráfego, o controle de admissão fornece o serviço requisitado pela categoria de acesso AC0, ou seja, um retardo máximo de 100ms. Nota-se que o impacto sobre o retardo das fontes de voz é maior quando o tráfego de vídeo está presente.

A vazão das fontes de voz decresce em função do aumento da taxa de chegada de fontes de dados e de vídeo. Na presença de fontes de dados, as fontes de voz conseguem em torno de 50 Kbps a mais de vazão do que quando na presença de fontes de vídeo, a não ser quando a taxa de chegada de fontes de vídeo/dados é igual a 60 requisições/minuto. Neste caso a vazão obtida em ambas as situações é semelhante.

O segundo experimento, onde a taxa de chegada de fontes de vídeo é fixa, considera uma rede onde o tráfego de vídeo utiliza a categoria de acesso AC1 e o tráfego de voz utiliza a categoria de acesso AC0 e uma rede onde o tráfego de vídeo utiliza AC0 e o tráfego de dados utiliza AC1.

Em ambos os casos, os resultados para probabilidade de bloqueio, número máximo de fontes aceitas e vazão são semelhantes aqueles obtidos no experimento em que apenas o tráfego de vídeo ocupava a rede com uma taxa de chegada de fontes de 7 fontes/minuto. Assim sendo, percebe-se que o controle de admissão soube aproveitar a capacidade da rede não utilizada pelas fontes de vídeo, admitindo fontes de voz e de dados, sem, no entanto, prejudicar o tráfego de vídeo.

Por outro lado, o retardo das fontes de vídeo foi afetado pela presença de fontes de outro tipo. Na situação em que havia apenas tráfego de vídeo, o retardo ficou em 8 ms, enquanto na presença de tráfego de voz ou dados o retardo foi superior, apresentando um crescimento em função do aumento da taxa de chegada de requisições. Contudo, em todas as situações, o retardo manteve-se abaixo do limite máximo de 100 ms.

O último experimento, que mantém fixa a taxa de chegada de fontes de dados, simula uma rede onde fontes de dados e de voz competem pelo canal e outra onde as fontes de dados competem pelo canal com fontes de vídeo. O tráfego de dados utiliza a categoria de acesso AC1 e os tráfegos de voz e de vídeo utilizam AC0.

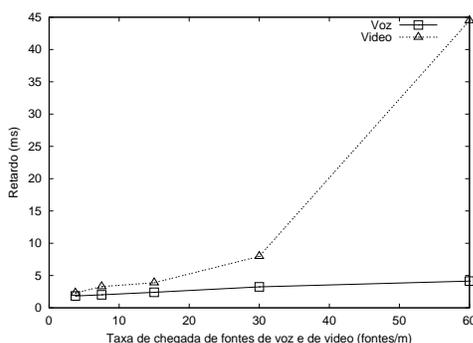


Fig. 5. Retardo médio para fontes de dados

Tanto na presença de tráfego de voz, quanto na presença de tráfego de vídeo, o número máximo de fontes de dados aceitas ficou em média entre 9,9 e 11, ou seja, o número máximo de fontes aceitas não sofreu grandes variações com o aumento da taxa de chegada de fontes de voz ou vídeo. A diferença entre os valores de probabilidade de bloqueio obtidos nas duas

situações simuladas fica em torno de 1%, com valores menores na situação em que o tráfego de voz está presente.

A Figura 5 mostra que o tráfego de voz tem pouca influência sobre o retardo das fontes de dados. Com o crescimento da taxa de chegada de fontes de voz, observa-se um pequeno aumento no retardo das fontes de dados. Enquanto, na presença de tráfego de vídeo, o aumento do retardo torna-se mais perceptível, especialmente quando a taxa de chegada de requisições de fontes de vídeo é de 60 requisições/minuto.

As fontes de dados conseguem vazão até 100 Kbps maior quando competem pelo canal com tráfego de voz do que quando competem com tráfego de vídeo. Em ambos os casos, nota-se uma queda na vazão com o aumento na taxa de chegada de requisições das fontes de maior prioridade.

Estes resultados mostram que o controle de admissão proposto permite que os requisitos de QoS de um tráfego de prioridade inferior sejam respeitados mesmo na presença de tráfegos de maior prioridade.

## VIII. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta a adaptação de dois esquemas de controle de admissão para redes 802.11e, bem como uma avaliação destes esquemas através de experimentos de simulação. Os resultados mostram que o padrão 802.11e sem controle de admissão não consegue prover Qualidade de Serviço.

O mecanismo de admissão que utiliza envelopes de tráfego apresentou melhores resultados que o mecanismo de controle de admissão por soma e medida nos experimentos realizados com tráfego homogêneo de vídeo e de dados. Quando há tráfego heterogêneo na rede, nota-se que o esquema de controle de admissão baseado em envelopes de tráfego provê o serviço requisitado pelas diferentes classes, além de permitir o uso eficiente dos recursos da rede.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. Cetinkaya, Vikram Kanodia, e E. Knightly. *Scalable Services via Egress Admission Control*. IEEE Transactions on Multimedia, vol 3, pg. 69-81, 2001.
- [2] E. Knightly, e H. Zhang. *D-BIND: An accurate model for providing QoS guarantees to VBR traffic*. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol 5, pg. 219-231, 1997.
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE Standard 802.11, 1999.
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *Medium Access Control (MAC) enhancements for quality of service (QoS)*. IEEE Draft for Standard 802.11e/D3.2, 2002.
- [5] J. Qiu, and E. Knightly. *Measurement-based admission control with aggregate traffic envelopes*. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol 9, pg. 199-210, April 2001.
- [6] K. Fall, e K. Varadhan. *The NS Manual*. Relatório Técnico, UC Berkeley, The VINT Project, 2002.
- [7] MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation. URL: <http://trace.eas.asu.edu/TRACE/trace.html>, 2000.
- [8] P. Brady. *A technique for investigating on-off patterns of speech*. Bell Systems Technical Journal, vol. 44, pg. 1-22, 1965.
- [9] S. Jamin, S. Shenker, e P. Danzig. *Comparison of Measurement-Based Admission Control Algorithm for Controlled-Load Service*. In Proceedings of IEEE Infocom 97, pg. 973-980, 1997.
- [10] W. Willinger, M. Taqqu, R. Sherman, e D. Wilson. *Self-similarity through high-variability: Statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level*. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol 5, pg. 71-86, 1997.