

# Controle de Admissão em Redes 802.11e com prioridade para chamadas de *handoff*

Andréa G. Ribeiro<sup>1</sup>, Euna B. Ferreira<sup>1</sup>, Antonio J. G. Abelém<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gercom – Universidade Federal do Pará (UFPA)

Caixa Postal 479 – Belém – PA – Brasil

{andrea\_gribeiro, eunabf} @yahoo.com.br, abelem@ufpa.br

**Abstract.** The IEEE 802.11e standard was developed to provide quality of service for wireless local networks, since it is based on best effort service. In this paper, we propose a new admission control mechanism, used to restrict network traffic excess, prioritizing handoff calls, because studies prove that the loss of such call has a bigger impact when compared with blocked call. To evaluate the performance of the proposed mechanism, the network simulator was used, with the implementation of some important modules to simulate.

**Keywords:** 802.11e, Wireless, QoS, Admission Control, Handoff.

**Resumo.** O padrão 802.11e foi desenvolvido com o intuito de prover qualidade de serviço para as redes locais sem fio, pois até o momento estas trabalham baseadas no serviço de melhor esforço. Neste artigo, é proposto um mecanismo de controle de admissão, utilizado para restringir o excesso de tráfego na rede, priorizando as chamadas vindas de *handoff*, pois estudos comprovam que a perda de uma chamada causa uma insatisfação maior ao cliente quando comparada a uma nova chamada bloqueada. Para avaliar o desempenho do mecanismo proposto foi utilizado o simulador de redes NS-2, com a implantação de alguns módulos necessários para as simulações.

Palavras-Chave: 802.11e, QoS, controle de admissão, handoff.

## 1. Introdução

As redes sem fio IEEE 802.11 [1] também conhecidas como Wi-Fi foram uma das grandes novidades tecnológicas dos últimos anos, sendo este o padrão em conectividade sem fio para as redes locais. Com o grande sucesso das redes locais sem fio (WLANs – *Wireless Local Area Network*), este tipo de rede rapidamente se tornou uma das tecnologias de transmissão mais populares, adotadas nos mais variados ambientes como: escritórios, universidades, edifícios, aeroportos e residências. Os principais motivos para o crescimento acelerado desta tecnologia, foram: o baixo custo de implementação, a não alteração na estrutura física do local e a possibilidade da mobilidade dentro da área de cobertura.

Por ser utilizado pelos mais variados tipos de clientes, com diversas aplicações, como: VoIP, Streaming de Vídeo, FTP, etc., e por ainda estar em um nível intermediário de maturidade, o padrão 802.11 precisa sofrer algumas alterações para que possa atender a todas essas aplicações e clientes de maneira adequada. Para isso, foi especificada uma nova extensão ao padrão, com o grupo de trabalho “e” do IEEE [2].

Devido à extensão 802.11e ser uma especificação relativamente nova, algumas melhorias ainda precisam ser implementadas, uma vez que, esta extensão não define como utilizar os requisitos de QoS para aplicações específicas e tipos de tráfego. Para isso, diversos mecanismos estão sendo propostos para o aprimoramento do padrão 802.11e, como é o caso do controle de admissão. Este mecanismo leva em consideração informações como: total de banda disponível, tipo de aplicação (dependendo da aplicação necessita-se de recursos diferentes), total de clientes, prioridade do tráfego, etc., preocupando sempre em manter o nível de qualidade tanto dos novos clientes, como dos clientes já existentes na rede.

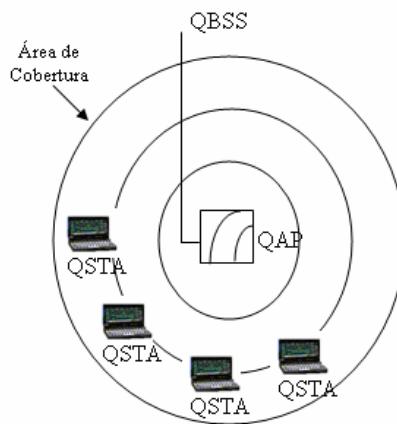
Apesar do controle de admissão de chamadas (CAC) ser um mecanismo bastante estudado para o aperfeiçoamento das redes 802.11e ([3], [4], [5]), não foi encontrado nenhum mecanismo para esta extensão que tivesse uma maior preocupação com as chamadas que estão realizando *handoff*. Normalmente os controles de admissão propostos preocupam-se com as estações de uma determinada célula e tratam as chamadas de *handoff* e as novas chamadas de forma semelhante. No entanto, como as chamadas de *handoff* já estão em curso e, portanto, já negociaram seus parâmetros com o ponto de acesso anterior, o desejável é que elas tenham alguma prioridade em relação às novas chamadas, inclusive estudos comprovam que os usuários são mais sensíveis a perda de uma chamada quando comparada a uma chamada bloqueada [3].

Neste artigo é proposto um mecanismo de controle de admissão para as redes do padrão 802.11e, capaz de priorizar as chamadas de *handoff*. Este mecanismo foi desenvolvido e testado através de simulações realizadas no *Network Simulator NS-2*, onde foram necessárias adições de módulos específicos para a avaliação de desempenho da nova extensão “e”, uma vez que mesmo na versão mais atual do simulador (NS 2.30) o padrão 802.11e não está inserido.

Este artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2, será apresentado o padrão 802.11e, mostrando as alterações sofridas do padrão original. A seção 3 mostrará alguns trabalhos relacionados. Na Seção 4 será especificada a proposta do artigo. A seção 5 estará mostrando o cenário utilizado e as alterações realizadas no simulador para a possibilidade de testes do modelo proposto e os resultados obtidos através de simulações. E na Seção 6 apresentaremos as considerações finais e propostas para trabalhos futuros.

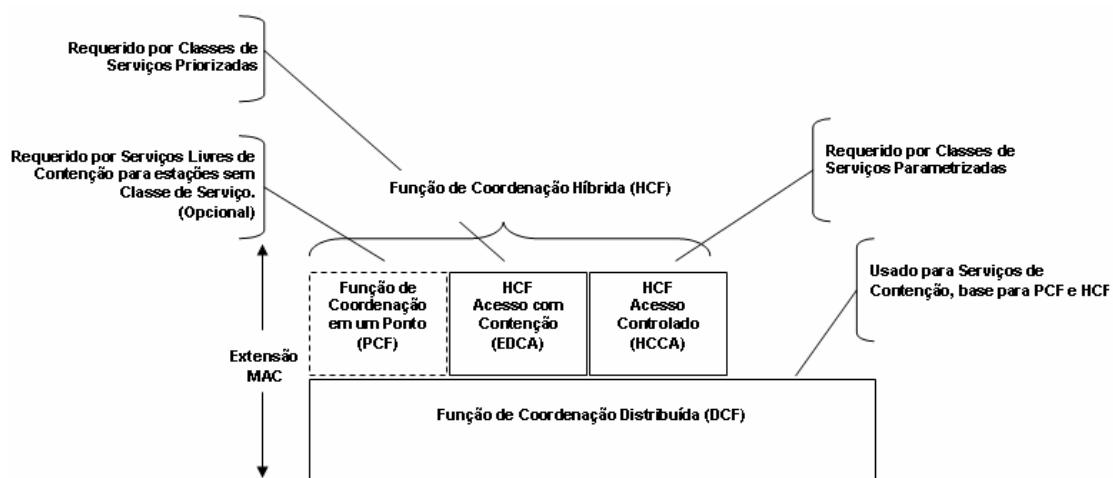
## 2. Padrão 802.11e

A arquitetura do padrão 802.11 [1] é composta por um conjunto básico de serviço (*Basic Service Set - BSS*), sendo este o bloco fundamental para a construção desta arquitetura. Um BSS é definido como o conjunto de estações que estão sob o controle direto de uma determinada função de coordenação, onde esta função determina exatamente o momento em que cada estação poderá transmitir e/ou receber dados. Na extensão 802.11e, este bloco é definido com uma pequena diferença na nomenclatura, conforme mostra a Figura 1, onde o BSS é denominado de QBSS (QoS *Basic Service Set*) da mesma maneira os outros equipamentos que compõem a rede, como as estações móveis (STAs), agora são denominadas de QSTAs (QoS *Stations*) e o ponto de acesso (AP) de QAP (QoS *Access Point*).



**Figura 1. Arquitetura do padrão 802.11e.**

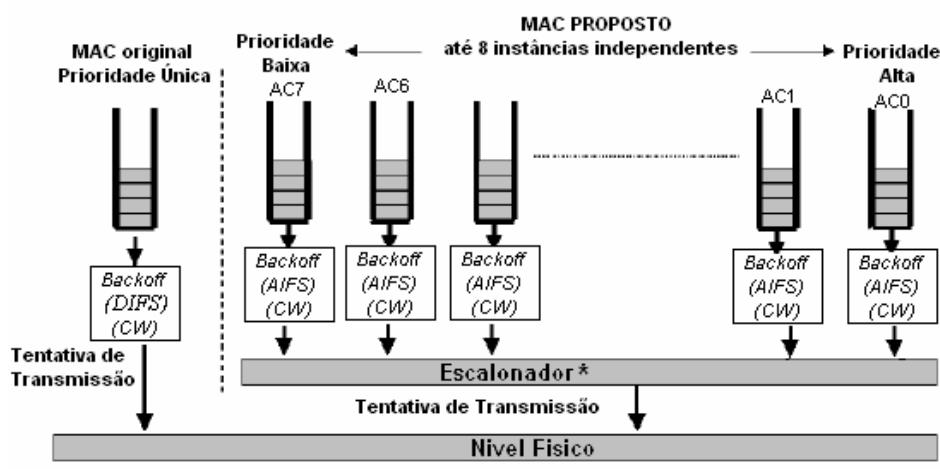
A extensão “e” incorpora uma nova função de coordenação para o acesso ao meio, chamada de Função de Coordenação Híbrida (*Hybrid Coordination Function – HCF*), que pode ser visualizada na Figura 2. A função híbrida introduz novas características específicas para a qualidade de serviço, uma vez que o acesso ao meio pelas estações no padrão original (802.11) é feito sem diferenciação de serviço e sem prioridade para as aplicações através de dois mecanismos: a função de coordenação distribuída (*Distributed Coordination Function – DCF*) e a função de coordenação em um ponto (*Point Coordination Function – PCF*), sendo esta opcional [1]. O mecanismo PCF é baseado no atendimento de uma estação por vez, pois um ponto coordenador controla o acesso ao meio e a estação emissora somente envia seus dados quando é atendida. Já no mecanismo DCF como não há um ponto central que controle o acesso ao meio, é utilizado o mecanismo *Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance* (CSMA/CA) com o objetivo de diminuir a probabilidade de colisões.



**Figura 2. Modos de acesso do MAC 802.11e [2].**

As características da função HCF permitem a coexistência com as estações das extensões 802.11b/a/g, de forma transparente. A função HCF acrescenta dois novos métodos de acesso aos já disponíveis na subcamada MAC das redes sem fio, que são: o método de acesso ao canal baseado em contenção, chamado EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) e o método de acesso ao canal controlado HCF denominado HCCA (HCF controlled channel access). Esses novos métodos permitem aplicar tratamento diferenciado a categorias de tráfego com requisitos distintos de QoS.

A função EDCA é um método com contenção, que incorpora o conceito de múltiplas filas de transmissão em uma mesma estação, cada uma com um nível de prioridade, que pode ser observado na Figura 3. Esta será a função utilizada no mecanismo proposto e, portanto será dada uma maior ênfase durante o desenvolvimento deste artigo. Neste método são criadas oito categorias de acesso, onde cada uma entra em contenção por uma oportunidade de transmissão (TXOP).



**Figura 3. MAC Proposto pelo EDCA [2].**

O processo de diferenciação é feito baseado em alguns parâmetros definidos por classe de tráfego: o intervalo entre quadros (*Arbitration Interframe Space - AIFS*) do EDCA, que substitui o intervalo entre quadros (*DCF Interframe Space – DIFS*) da função DCF do padrão 802.11 e os valores da janela de contenção (CWmin e CWmax) que agora não são mais fixos pela camada física podendo ser alterados para cada categoria de acesso.

Os parâmetros de QoS para as estações na função EDCA são definidos sempre com base nas 8 prioridades das categorias de acesso existentes em cada estação (QSTA). O conjunto de parâmetros de QoS (*QoS Parameter Set*) mostrado na Figura 4, é utilizado para que as estações possam informar ao ponto de acesso os parâmetros necessários para as funcionalidades de QoS que necessitam para a utilização do meio, ou seja, são os dados que as estações devem preencher para qualquer solicitação de acesso.

Element ID (12 bits)	Length (18 bits)	TxOp Limit (2 octetos)	CWmin [UP] CWmin [0]...CWmin [7] (8 octetos)	AIFS [UP] AIFS [0]...AIFS [7] (8 octetos)
-------------------------	---------------------	---------------------------	--	---

**Figura 4: Conjunto de Parâmetros de QoS do EDCA [2].**

Os dois primeiros campos do conjunto de parâmetros *Element ID* e *Length*, identificam as configurações dos parâmetros de QoS e seu comprimento, respectivamente. A duração máxima para a oportunidade de transmissão é definida pelo campo *TxOp Limit*, sendo este campo de 2 octetos correspondente a duração máxima das TxOp. Os campos seguintes definem os valores de CWmin e AIFS para cada prioridade (i).

No método HCCA sem contenção as oportunidades de transmissão (TXOPs) são atribuídas explicitamente pelo Coordenador Híbrido (HC), localizado no QAP, que possui duas funções principais: realizar o controle de admissão de conexões (CAC) e gerenciar o *polling*, coordenando assim o acesso ao meio. Para o processo de transmissão cada estação envia ao HC uma requisição de admissão de conexão para cada fluxo que deseja transmitir no modo HCCA, assim como a especificação do tráfego (*Traffics Specification - TSPEC*) de cada um deles, informando a respectiva característica de cada fluxo de dados e seus requisitos de QoS. Com estes dados o HC realiza o CAC, e caso esta conexão seja admitida estes dados também são utilizados para a determinação de dois parâmetros, que são o SI (*Service Interval*), que diz respeito ao intervalo entre *pollings* sucessivos de uma mesma estação, e a duração da TXOP, período pelo qual a estação pode transmitir pacotes sucessivamente em um mesmo frame.

## 2.1. Necessidades Adicionais

O problema da qualidade de serviço nas redes sem fio, não acaba com a simples adoção do padrão 802.11e, uma vez que este padrão não define como utilizar seus mecanismos para aplicações distintas. Apesar de estudos comprovarem que quando comparado às funções DCF e PCF o desempenho desta extensão para condições de baixa e média carga na rede é superior [6], o aumento de carga pode provocar queda na vazão dos fluxos, além de que, o aumento do número de estações resulta em um rápido crescimento da taxa de colisão, prejudicando assim o desempenho do tráfego multimídia.

Este comportamento mostra que a diferenciação de serviço feita pela extensão “e” não garante que determinadas aplicações sejam servidas de maneira adequada, com o nível de atraso desejável. Para isso é necessária a implementação de outros mecanismos capazes de realizar o controle de tráfegos na rede como é o caso do controle de admissão, que tem como principal função não permitir que um novo fluxo seja admitido na rede se este de alguma forma vier a comprometer o comportamento do enlace ou não conseguir atender as requisições feitas pela nova estação.

## 3. Trabalhos Relacionados

Como mencionado anteriormente, o controle de admissão é um mecanismo muito estudado para a solução de problemas de QoS em redes sem fio, sendo este um

dos principais motivos pela escolha deste mecanismo para o aprimoramento do padrão 802.11e. Nesta seção serão mostrados alguns trabalhos relacionados ao tema deste artigo, que de alguma forma contribuíram para o seu desenvolvimento.

O controle de admissão proposto por C. Cassetti, et al. [4] para as redes 802.11e - EDCA é baseado na medição de métricas importantes que caracterizam o canal de rádio, integrado ao controle de admissão já introduzido ao padrão 802.11e. Neste esquema, a estação que deseja transmitir envia uma solicitação ao AP, onde o algoritmo do controle de admissão combina as informações contidas na solicitação com as informações medidas de carga existente na rede e decide se o novo fluxo deve ou não ser aceito, podendo renegociar caso seja bloqueado.

Fang e Zang [3] definem dois modelos para o esquema de controle de admissão, um para a reserva dos canais para chamadas de *handoff* e outro para dar prioridade para as chamadas vindas de um *handoff*, pois estas chamadas deveriam ser tratadas diferentemente em termos de alocação de recursos, uma vez que, um usuário executando um *handoff* é mais sensível à perda de transmissão quando comparado a uma nova chamada que não será admitida naquele momento. Um dos problemas encontrados para o esquema de reserva do canal seria que, mesmo não existindo chamadas de *handoff*, novas chamadas não poderiam ser aceitas, uma vez que este canal estará reservado exclusivamente para as chamadas de *handoff*. Diferentemente deste esquema, o controle de admissão proposto neste artigo, não efetua reserva de canal, priorizando apenas as chamadas de *handoff*, deixando o canal livre caso existam outras conexões.

Apesar de [3] não mencionar o tipo de rede utilizado para os testes destes modelos, foi tomado como base para este artigo a idéia do segundo esquema proposto pelos autores, porém agora utilizando o padrão 802.11e, o qual já inclui diferenciação de serviço na subcamada MAC, necessitando apenas a inclusão de altas prioridades para as chamadas que estão efetuando *handoff*.

Deyun Gao [7] desenvolveu um método de Controle de Admissão denominado PRBAC (Controle da Admissão baseada na Taxa Física), onde o QAP atribui oportunidades de transmissão (TXOPs) a uma estação de QoS (QSTA) através de taxas físicas variáveis de acordo com a mobilidade das estações e das condições do meio estimadas no canal. A idéia desta atribuição básica é usar as taxas físicas médias a longo prazo para o controle de admissão e distribuir individualmente TXOPs as QSTAs de acordo com suas taxas físicas instantâneas. Uma desvantagem deste esquema é a alta taxa de perda de pacotes quando há muito movimento de QSTAs próximas ao QAP, pois desta forma há um aumento no tráfego e durante o controle de admissão pode não haver recursos suficientes na rede para todas as sessões de QoS solicitadas, podendo assim bloquear chamadas indevidamente.

Juliana Freitag [5] adaptou dois métodos de Controle de Admissão baseado em Medições para o 802.11e. Um esquema foi o SM (Soma Medida), onde há um algoritmo de decisão por soma medida para verificar se um novo fluxo que chega, somado ao que já existe, não vai ser superior à capacidade do canal, lembrando que esta capacidade não é mais fixa. O outro esquema é o ET (Envelopes de Tráfego), onde o QAP monitora constantemente envelopes de chegada e de serviço de cada tráfego (classe) para fazer o controle de admissão.

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os trabalhos expostos, onde os mesmos serão comparados no que diz respeito a preocupação com a camada física ou de enlace, preocupação com as chamadas de *handoff*, capacidade do canal e tipo de rede.

**Tabela 1: Comparação das propostas analisadas.**

Proposta	Análise da capacidade do Canal	Tipo de Rede	Preocupação com as chamadas de <i>handoff</i>	Camada Utilizada
CAC – EDCA 802.11e [4]	Capacidade Fixa	Padrão 802.11e	Não	Camada Física
CAC - Redes Móveis sem fio [3]	Capacidade Fixa	-	Sim	-
PRBAC [7]	Capacidade Fixa	Padrão 802.11e	Não	Camada Física
MBAC para 802.11e [5]	Capacidade Variável	Padrão 802.11e	Não	Camada MAC

Ao visualizar a Tabela 1, percebe-se que apenas um trabalho preocupa-se com as chamadas que estão efetuando *handoff*. As demais pesquisas estão focadas apenas em um determinado BSS/QBSS, sem levar em consideração os parâmetros de QoS negociados anteriormente. Esta percepção trouxe uma grande motivação para o desenvolvimento deste mecanismo, afinal, como mencionado anteriormente, estas chamadas devem possuir um tratamento diferenciado.

#### 4. Descrição da Proposta

Dentre os diversos esquemas de controle de admissão existente, a proposta utiliza o mecanismo baseado em medições (*Measurement-Based Admission Control - MBAC*), fazendo com que o ponto de acesso verifique constantemente a carga de tráfego existente na rede para atender ou não as novas requisições. A cada nova requisição o controle de admissão verifica a capacidade do canal (comumente chamada de largura de banda pela comunidade de redes [8]) solicitada e a prioridade definida no tráfego de cada estação para aceitar ou não a nova chamada. Se a estação estiver efetuando um *handoff*, esta estará com uma maior prioridade em relação a uma chamada nova e, portanto, deverá ser aceita caso haja disponibilidade de banda.

O controle de admissão atua de modo que um novo usuário sendo admitido, não deverá comprometer de forma alguma os tráfegos existentes na célula. Com isso, a carga total utilizada na célula será aumentada, conforme mostra a Figura 5 do algoritmo do controle de admissão proposto.

---

### ALGORITMO Procedimento do Controle de Admissão

```
1. Proc CAC
2.   i = número da estação
3.   usedBandWith = 0
4.   BandWith = capacidade do canal
5.   se (usedBandWith < BandWith) e (prioridade(i) < 3)
6.       usedBandWith = usedBandWith + rate(i)];
7.       "Conexão(i) Aceita"
8.       i = i + 1
9.   senão
10.      "Conexão(i) Bloqueada"
11.      i = i + 1
```

---

**Figura 5. Algoritmo do Controle de Admissão.**

O algoritmo implementado para o controle de admissão proposto (Figura 5), armazena primeiramente um número para a estação que deseja acesso ao meio na variável “*i*”. Para cada estação existe um valor de largura de banda solicitada para o seu fluxo, o qual é especificado na variável “*rate(i)*” e uma “*prioridade(i)*”, que será definida pelo ponto de acesso. Estas variáveis não são armazenadas, pois o controle de admissão apenas as utilizam para saber se o tráfego deve ou não ser aceito.

As prioridades são definidas pelo ponto de acesso, e sempre que uma chamada estiver efetuando *handoff*, esta irá receber uma alta prioridade. Neste caso para que o ponto de acesso da célula destino saiba que esta nova chamada está vindo de uma outra célula, existe uma comunicação entre os pontos de acesso, onde o AP de origem envia uma mensagem de controle informando sobre esta chamada ao AP de destino. Assim como para as chamadas de *handoff*, as prioridades das novas chamadas na célula destino também serão definidas pelo ponto de acesso seguindo o critério de quantidade de largura de banda solicitada e tipo de tráfego.

O procedimento do controle de admissão atuará sempre que uma nova requisição ao respectivo QBSS for feita, sendo uma requisição de *handoff* ou não. Com isso, o ponto de acesso irá verificar a largura de banda utilizada no canal (*usedBandWith*), comparando-a com a capacidade da rede (*BandWith*), se a taxa de utilização for menor do que a especificada para o limite da rede, verifica-se sua *prioridade*, se esta estiver no limite de uma prioridade entre média e alta, que seriam as prioridades menores que 3, a chamada será aceita. Incrementando assim a largura de banda utilizada no canal com a largura de banda solicitada pela estação para o seu fluxo (*rate(i)*) e incrementando o número da estação, apenas para controle.

A chamada será bloqueada se a capacidade definida para o canal for ultrapassada ou se a prioridade definida for baixa, fazendo com que a chamada não consiga transmitir nenhum pacote, com exceção dos pacotes de controle, uma vez que para este tipo de informação as estações não passam pelo procedimento do controle de admissão, podendo assim enviar solicitações ao ponto de acesso. Caso a prioridade definida seja baixa, mas ainda exista largura de banda no canal para que a estação possa utilizar o

meio, esta irá fazer uma nova solicitação ao ponto de acesso, onde neste momento o ponto de acesso, poderá definir uma nova prioridade a estação.

Como mencionado anteriormente, o principal objetivo deste artigo é analisar o comportamento do controle de admissão que tem como função priorizar as chamadas que estão efetuando um *handoff*, pois uma chamada originada em uma célula adjacente deve permanecer com a mesma qualidade durante todo o seu trajeto (origem/destino) mesmo que neste intervalo ocorra uma troca de célula, enfatizando assim a qualidade fim a fim.

## 5. Simulação e Análise dos Resultados

O mecanismo de controle de admissão proposto deve ser avaliado para que se aprovem suas funcionalidades de qualidade de serviço exigidas nas redes locais sem fio. Porém, para que sejam feitos testes, necessitar-se-ia de equipamentos com as funcionalidades do padrão 802.11e, o que ainda não existe com facilidade no mercado. Com isso a melhor maneira de realizar avaliações deste mecanismo é através de simulações por software.

### 5.1. Cenário

O cenário foi simulado utilizando a versão 2.30 do NS-2 [9] através da adição do módulo *NO Ad-Hoc Routing Agent* (NOAH) [10] para a utilização de redes infraestruturadas e do módulo TKN [11] utilizado para simulação da função EDCA do padrão 802.11e, que apesar de ter sido desenvolvido para a versão 2.28, não apresentou qualquer tipo de problema nesta nova versão do ns.

Para avaliar o desempenho das redes 802.11e foram realizados experimentos com aplicações de voz (caracterizada por tráfego UDP – *User Datagram Protocol*) modeladas com taxa constante de bits (CBR) de acordo com o codificador de voz G.711 (Taxa de envio = 64kbps; Payload de voz = 160 bytes; PPS – Pacotes por Segundo = 50) e aplicações FTP, utilizando o protocolo TCP com suas definições padrões.

Como descrito na Seção 2, a função utilizada para os testes do mecanismo proposto foi a EDCA, que possibilita o fornecimento de prioridades para as estações, onde cada prioridade possui os seguintes parâmetros: tamanho da janela de contenção mínimo (CWmin), tamanho da janela de contenção máximo (CWmax), intervalo entre quadros (AIFS) e oportunidade de transmissão (TXOPLimit) medida em segundos.

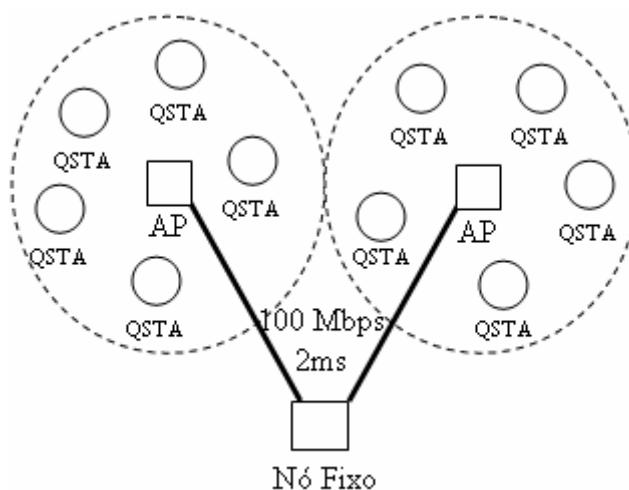
As prioridades definidas para cada estação podem variar de 0 a 3 onde a estação com maior prioridade possui o menor valor (“0”). Os parâmetros para cada valor de prioridade encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2. Prioridades das estações.**

Prioridade 0	Prioridade 1	Prioridade 2	Prioridade 3
CWmin = 7	CWmin = 15	CWmin = 31	CWmin = 31
CWmax = 15	CWmax = 31	CWmax = 1023	CWmax = 1023
AIFS = 2	AIFS = 2	AIFS = 3	AIFS = 7
TXOPLimit = 0.003264	TXOPLimit = 0.006016	TXOPLimit = 0	TXOPLimit = 0

O protocolo de roteamento utilizado nas simulações foi o protocolo vetor distância com destino seqüenciado (*Destination-Sequenced Distance-Vector Routing – DSDV*), principalmente por ser um protocolo simples e eficiente para criação de rotas com poucos nós, onde as estações da rede mantêm uma tabela de roteamento que contém o próximo salto e o número de saltos para alcançar o destino.

O cenário utilizado possui dois pontos de acesso no centro da célula, conforme mostra a Figura 6, onde cada um possui capacidade de transmissão de no máximo 250m (capacidade padrão do NS), estando portanto as estações sempre neste limite.



**Figura 6. Cenário.**

Este cenário não é real e foi criado com o intuito de que a mobilidade das estações em células adjacentes, pudesse ocasionar um *handoff*, permitindo assim a análise do comportamento do controle de admissão proposto. Este mecanismo está sendo executado na célula que será chamada de célula destino (célula à direita), devido ser a célula para a qual as estações estarão movimentando-se.

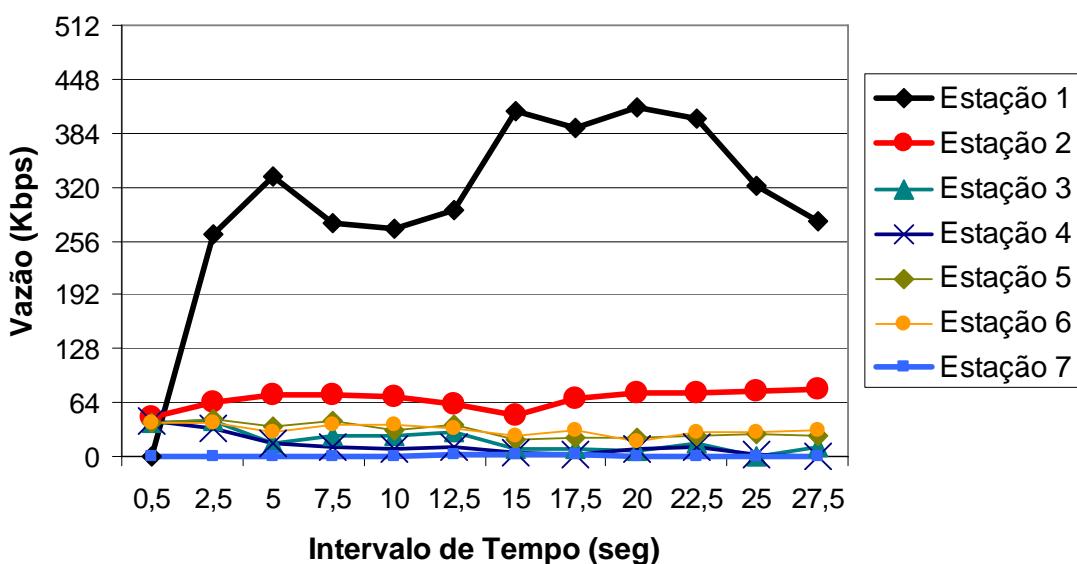
## 5.2. Análise dos Resultados

Na primeira simulação, foram utilizadas cinco estações na célula destino, sendo que apenas quatro estarão transmitindo desde o início da simulação. Todas as estações desta célula estão utilizando aplicações VoIP, com especificações conforme mencionadas anteriormente (codec G.711). A quinta estação solicitará uma oportunidade de transmissão ao ponto de acesso posteriormente e também requisitará recursos para aplicação VoIP. Na célula origem, teremos quinze estações, porém apenas duas estarão utilizando o meio, uma com transmissão FTP e a outra com aplicação VoIP. Estas duas estações estarão movimentando-se em direção a célula destino, onde o controle de admissão está implementado e irá fazer com que as estações continuem suas transmissões sem que haja interrupções mesmo ocorrendo um *handoff*.

A capacidade do canal nas simulações foi reduzida para 512Kbps, apenas com o intuito de que não fosse necessária a inserção de um número maior de estações na tentativa de saturar o canal, devido as nossas restrições computacionais. Além disso, acredita-se que esta redução não irá invalidar os resultados obtidos.

Na Figura 7, pode ser visualizado o gráfico referente à vazão das estações em ambas as células para a primeira simulação. Os valores da vazão estão medidos em kbps e o intervalo de tempo em segundos. As estações 1 e 2 são as estações que irão efetuar *handoff* da célula origem para a célula destino e estão utilizando tráfegos TCP e UDP respectivamente, com prioridade igual a “0”. O *handoff* ocorre no instante 13.5 aproximadamente, este valor não é definido no código da simulação e, portanto foi retirado visualmente no momento da simulação. A estação 7 é a estação que tentará acesso ao meio na célula destino posteriormente, competindo com as estações que estão em movimento da célula origem. Neste gráfico, observa-se que as estações que realizaram *handoff* não foram interrompidas em momento algum durante toda a sua trajetória (origem/destino). No entanto, a estação que tenta acesso à célula destino no instante 13.0 é bloqueada, por não possuir uma alta prioridade, uma vez que está definida com o valor “3”, e devido a capacidade do canal estar próxima do seu limite, uma vez que as chamadas de *handoff* já foram aceitas, e a admissão de uma nova chamada poderia prejudicar os outros tráfegos que já se encontravam na célula destino.

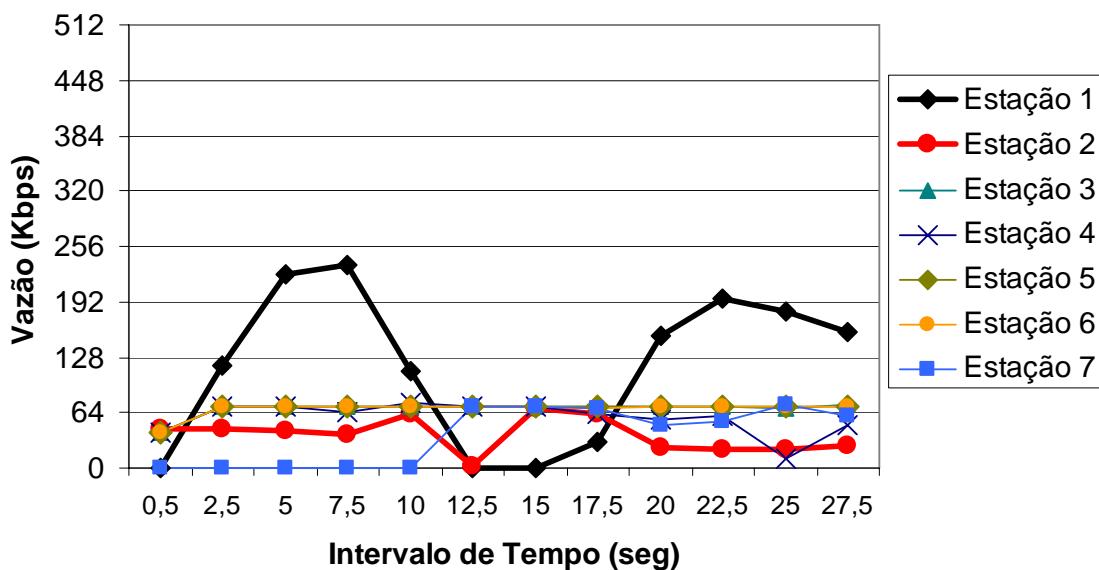
### **Gráfico de Vazão com o CAC Proposto**



**Figura 7. Vazão das estações com o controle de admissão da Simulação 1.**

No gráfico de vazão sem o controle de admissão (Figura 8), utilizando as mesmas especificações de tráfego do teste anterior, observa-se que quando o controle de admissão não é utilizado, as chamadas no momento do *handoff*, são interrompidas, problema que não é aceitável para uma aplicação VoIP. Porém ambas as estações conseguem posteriormente acesso ao meio e continuam a sua transmissão, havendo uma queda no tráfego TCP, devido à nova chamada (estação 7) da célula destino não ter sido bloqueada. Isto demonstra que o controle de admissão proposto conseguiu suprir duas expectativas importantes na rede, afinal, o mecanismo fez com que os tráfegos existentes na célula destino não fossem comprometidos, além de não ter interrompido as chamadas durante o momento do *handoff*. É importante frisar que quando uma chamada é interrompida não significa que esta foi bloqueada, mas sim que perdeu a oportunidade de transmissão, não conseguindo manter o nível de qualidade durante o seu trajeto.

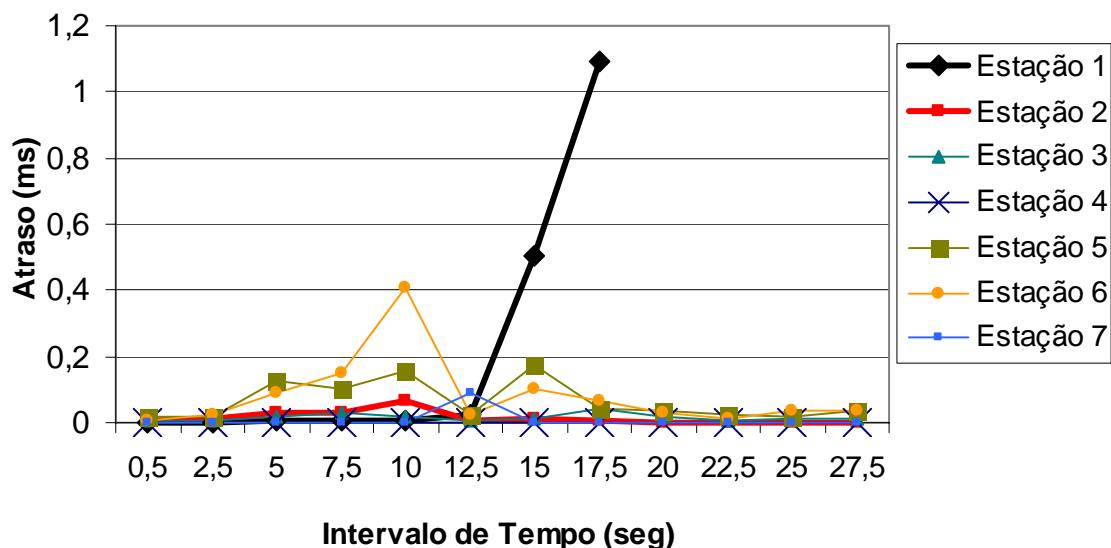
### Gráfico de Vazão sem o CAC Proposto



**Figura 8. Vazão das estações sem o controle de admissão da Simulação 1.**

Na Figura 9, pode-se observar que com o controle de admissão, os atrasos ocorridos nas estações antes e depois do *handoff*, quase não tiveram alteração, fazendo com que o comportamento da rede permanecesse o mesmo. O único tráfego que apresentou um atraso acentuado foi o FTP, que ocorre devido ao comportamento do próprio protocolo TCP.

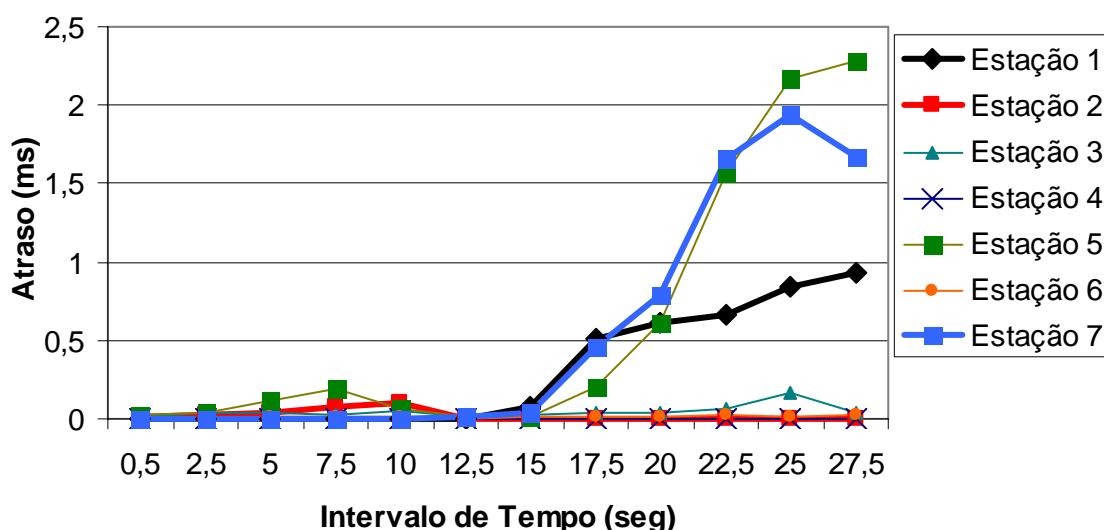
### Gráfico de Atraso com o CAC Proposto



**Figura 9. Atraso das estações com o controle de admissão da Simulação 1.**

No gráfico de atraso sem o controle de admissão (Figura 10), após o *handoff*, os tráfegos sofrem um atraso significativo, devido ao excesso de tráfego e principalmente por não existir nenhum controle de admissão implementado na célula destino, capaz de fazer um melhor compartilhamento no acesso ao meio.

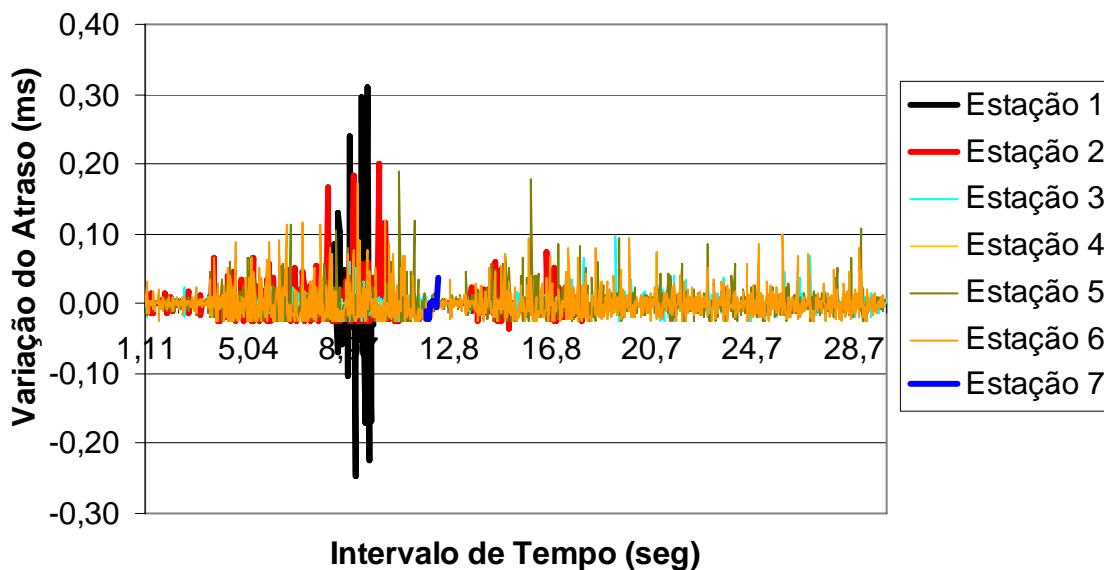
### **Gráfico de Atraso sem o CAC Proposto**



**Figura 10. Atraso das estações sem o controle de admissão da Simulação 1.**

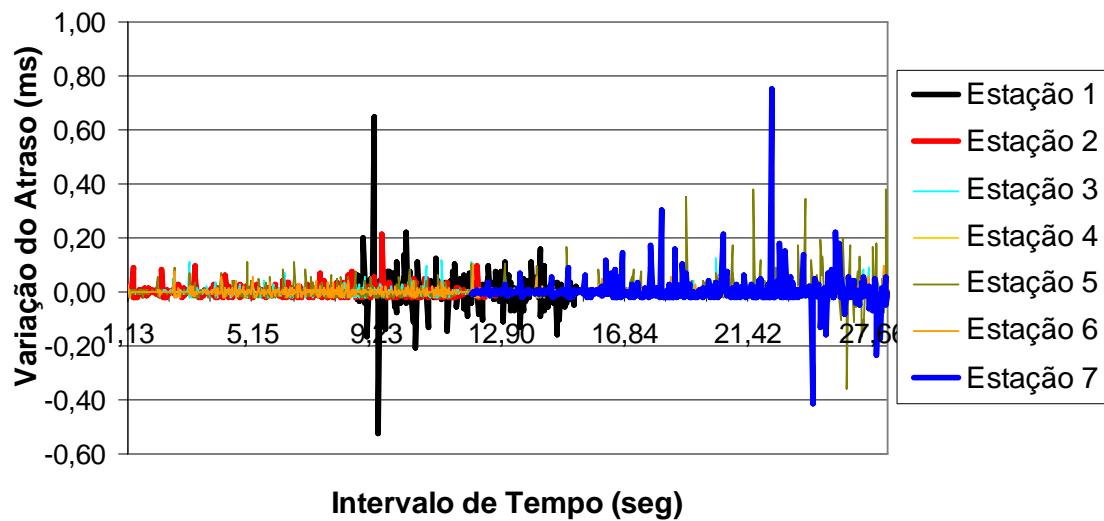
No gráfico de *jitter*, mostrado na Figura 11, observa-se que apesar da variação do atraso ser grande com o mecanismo proposto, esta é constante sem grandes alterações durante todo o período da simulação. O que não ocorre na simulação sem o mecanismo proposto (ver Figura 12), onde durante o período do *handoff* a variação do atraso aumenta consideravelmente com o aceite da nova chamada (estação 7).

## Gráfico de Jitter com o CAC proposto



**Figura 11.** Jitter das estações com o controle de admissão da Simulação 1.

## Gráfico de Jitter sem o CAC proposto



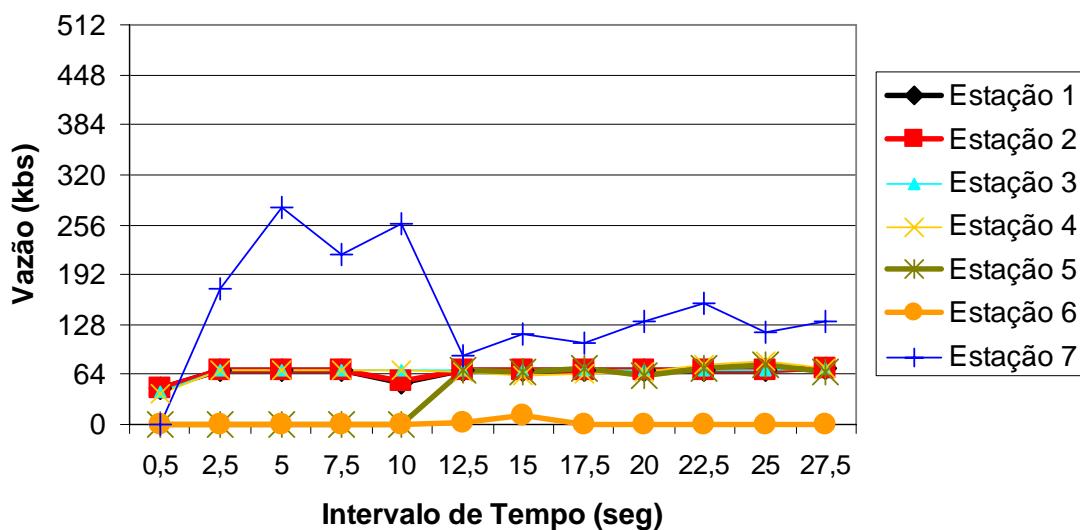
**Figura 12.** Jitter das estações sem o controle de admissão da Simulação 1.

Na segunda simulação, optou-se pela permanência do mesmo cenário. Entretanto, neste segundo momento a célula origem possui dois tráfegos VoIP também com o codec G.711 realizando *handoff*, que ocorrerá no mesmo instante da simulação anterior, e o tráfego FTP estará na célula destino. A escolha pela inserção do tráfego

TCP se justifica por este tender a consumir toda a capacidade disponível do canal, uma vez que este tipo de protocolo tem como característica utilizar a banda disponível. Este teste foi utilizado para analisar o comportamento do procedimento do controle de admissão proposto, verificando se o mesmo irá priorizar as chamadas que estão executando *handoff*, mesmo que na célula destino o canal esteja com uma maior utilização. Além da alteração do tráfego, optou-se por ter duas novas requisições também na célula destino, com isso, nesta célula terão apenas três tráfegos sendo executado desde o início da simulação, sendo um deles a aplicação FTP. O *handoff* continuará sendo executado aproximadamente no instante 13.5, sendo que neste segundo momento, teremos uma nova requisição no instante 12.0 e outra no instante 14.0.

Os resultados de vazão para este segundo cenário encontram-se na Figura 13, onde pode-se observar que no instante 12.0, o procedimento aceita uma nova requisição, mesmo que esta não seja uma chamada de *handoff*, mostrando que o controle de admissão proposto não aceita somente as chamadas de *handoff*, mas qualquer chamada que não prejudicará o bom funcionamento das estações que já se encontram na célula. Após o aceite desta nova requisição, ocorre o *handoff* das duas estações que estavam na célula origem.

### **Gráfico de Vazão com o CAC Proposto para o Tráfego 2**



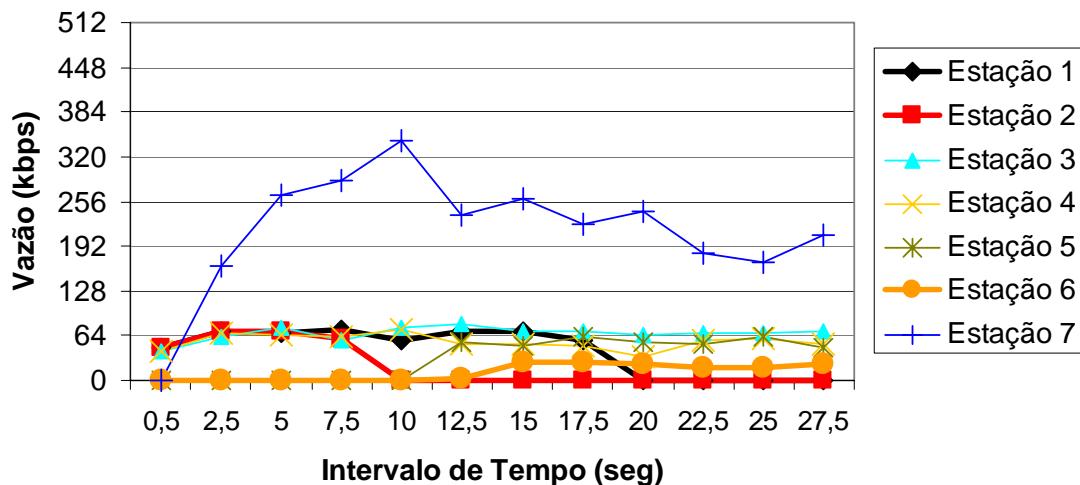
**Figura 13: Vazão das estações com o controle de admissão da Simulação 2.**

Observa-se que a estação 2, apesar de ter uma pequena queda no momento da troca de célula, não possui interrupção em sua transmissão, conseguindo aderir à célula destino sem qualquer problema. Esta queda é considerada aceitável, pois como citado anteriormente, as aplicações VoIP consideram até 200ms um atraso aceitável. E no gráfico de atraso (ver Figura 15), poderá ser visto, que esta queda não atingiu o limite aceitável. Isso ocorre devido ao tráfego FTP estar na célula destino e o mesmo consumir maior largura de banda quando comparado ao CBR, para este nosso exemplo. Após o

*handoff* uma nova chamada solicita recursos ao ponto de acesso para a célula destino, porém, neste momento a chamada é bloqueada uma vez que não há capacidade suficiente no canal para que as estações já existentes não sejam prejudicadas.

No gráfico da Figura 14, observa-se que sem o controle de admissão o tráfego TCP ocupa grande parte da capacidade do canal, fazendo com que as novas requisições não consigam efetuar *handoff* sem interrupções ou perdas, onde a estação 2 nem mesmo consegue continuar sua transmissão após a troca de célula, sendo bloqueada pelo ponto de acesso. Em contra partida as duas novas requisições feitas à célula destino são aceitas, provando que as estações de *handoff* não foram priorizadas.

### **Gráfico de vazão sem o CAC Proposto para o Tráfego 2**



**Figura 14: Vazão das estações sem o controle de admissão da Simulação 2.**

Os atrasos obtidos para esta segunda simulação, estão exibidos nos gráficos das Figuras 15 e 16, sendo um com o controle de admissão e o outro sem o controle de admissão respectivamente.

Na Figura 15 os atrasos dos fluxos com o controle de admissão não sofrem alterações significativas, com exceção do tráfego TCP, pois antes do *handoff*, não existe uma grande concorrência na célula destino, fazendo com que este tráfego utilize uma maior largura de banda. Entretanto, após o *handoff*, os valores do atraso dos demais fluxos permanecem semelhantes tanto na célula origem quanto na célula destino.

### Gráfico de Atraso com o CAC Proposto para o Tráfego 2

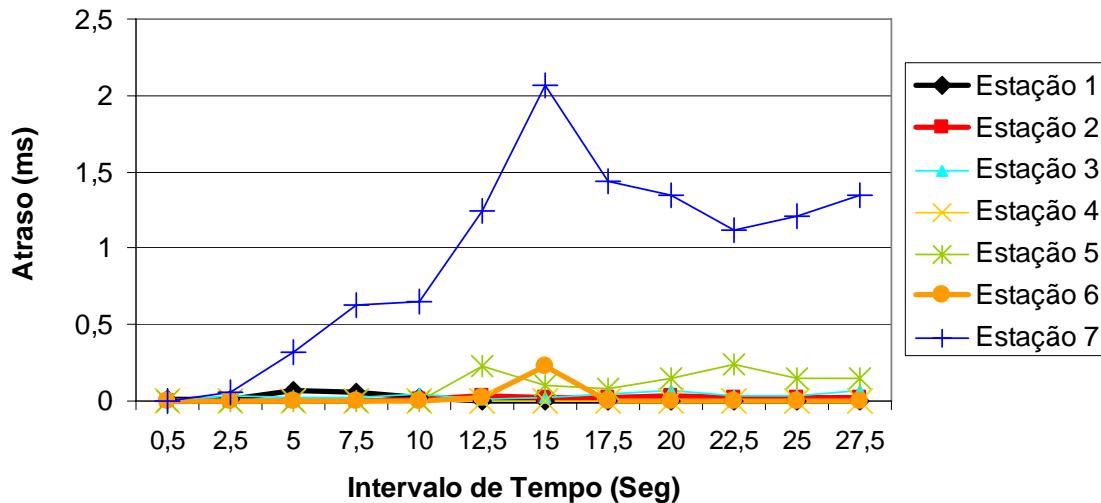


Figura 15: Atraso dos fluxos com o controle de admissão para a Simulação 2.

### Gráfico de Atraso sem o CAC Proposto para o Tráfego 2

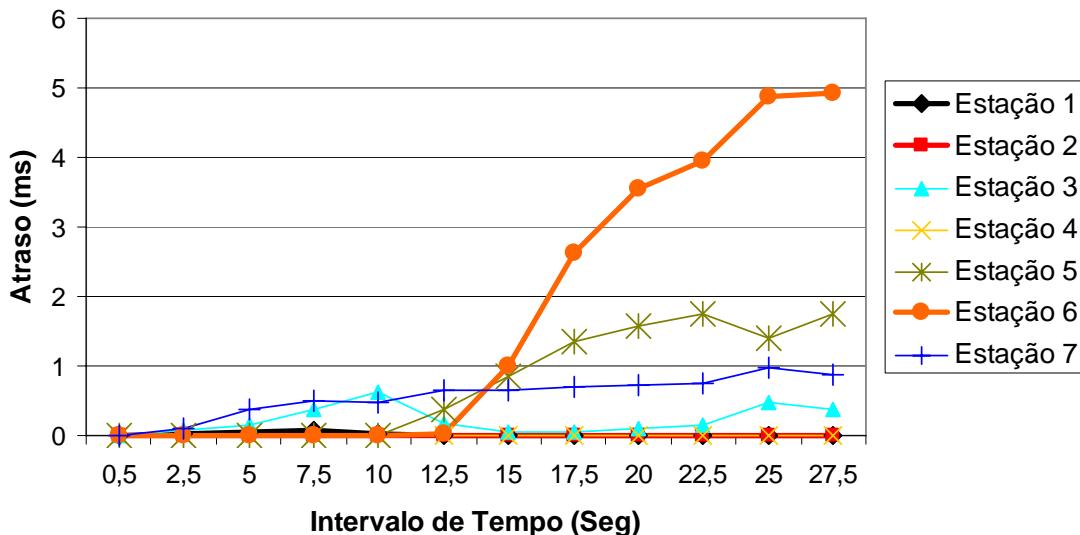


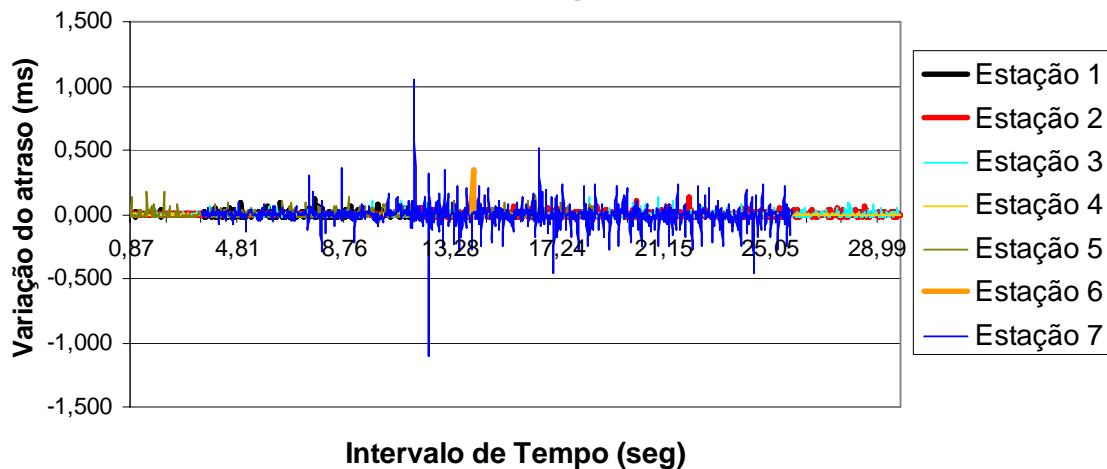
Figura 16: Atraso dos fluxos sem o controle de admissão para a Simulação 2.

No gráfico da Figura 16, nota-se um grande aumento no atraso sofrido pelas estações que já se encontram na célula destino após o *handoff*, pois mesmo tendo uma das chamadas da célula de origem bloqueada, não existe qualquer controle capaz de

limitar a banda que o protocolo TCP utiliza, fazendo com que este consuma uma maior parte da banda disponível.

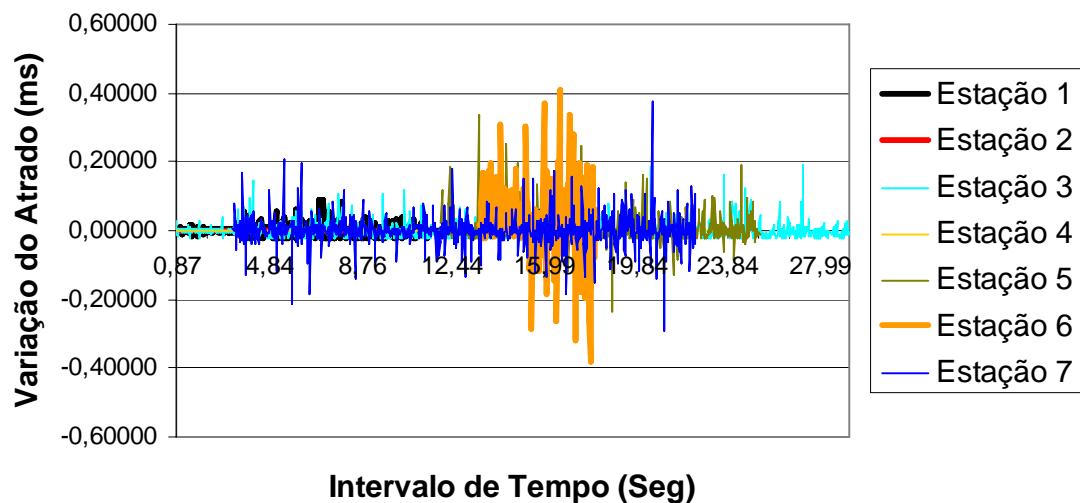
Nos gráficos de *jitter* da Figura 17 e 18, pode-se observar a diferença entre a utilização e a não utilização do mecanismo proposto. Na Figura 17 o mecanismo de controle de admissão conseguiu manter a variação do atraso antes e depois da ocorrência do *handoff*.

**Gráfico de Jitter com o CAC proposto para o Tráfego 2**



**Figura 17: Jitter dos fluxos com o controle de admissão para a Simulação 2.**

**Gráfico de Jitter sem o CAC proposto para o Tráfego 2**



**Figura 18: Jitter dos fluxos sem o controle de admissão para a Simulação 2.**

Já na Figura 18, observa-se que após a ocorrência do *handoff*, a variação no atraso tornou-se muito maior quando comparada ao gráfico da Figura 16, mostrando que o mecanismo proposto conseguiu controlar de maneira eficaz o *jitter* das estações.

## 6. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Pode-se concluir neste trabalho que cada vez mais cresce o número de pesquisas para o aprimoramento da qualidade de serviço oferecida nas redes locais sem fio, motivadas principalmente pelo grande crescimento da utilização de equipamentos portáteis que possuem acesso a serviços multimídia.

A possibilidade de locomoção dos usuários das redes sem fio faz com que a qualidade de serviço prestada ao longo de todo o percurso passe a ser um fator bastante relevante e preocupante. A ocorrência de *handoff* durante uma chamada é algo cada vez mais real, e fornecer os recursos negociados anteriormente na célula origem não é uma tarefa trivial. Para isso, foi desenvolvido um mecanismo de controle de admissão capaz de priorizar estas chamadas, fazendo com que as mesmas não sofram interrupções ou perdas significativas durante sua transmissão.

A avaliação do mecanismo de controle de admissão demonstrou que, priorizar as chamadas que efetuam *handoff*, é algo que faz com que a mobilidade suportada pelas redes sem fio não seja um problema para o fornecimento de qualidade de serviço pelo ponto de acesso em redes infra-estruturadas, uma vez que neste momento as estações poderão estar trocando de BSS sem preocupar-se com a admissão na célula destino.

Além disso, os resultados das simulações realizadas no cenário sem controle de admissão e com controle de admissão, comprovaram a importância e a necessidade da utilização deste mecanismo para garantir um retardo mínimo às aplicações. Com o auxílio do mecanismo de controle de admissão proposto foi possível prover o serviço requisitado pelas diferentes classes e, ainda, fazer um uso mais eficiente dos recursos fornecidos pela rede.

O controle de admissão apresentou como benefícios a utilização das novas funcionalidades introduzidas pela extensão 802.11e no padrão 802.11 (podendo priorizar as chamadas) e a restrição ao ponto de acesso de toda a complexidade relacionada às funções de controle de QoS.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização da segunda função utilizada pelo padrão 802.11e (HCCA) que esteve fora do escopo deste artigo. Acredita-se que prover prioridades para as oportunidades de transmissão (TXOP) pelo ponto de acesso para método de acesso sem contenção da função de coordenação híbrida é bastante similar, uma vez que as estações também podem receber prioridades para suas classes de tráfego, possibilitando assim o fornecimento de maiores prioridades para as chamadas que estão efetuando um *handoff*.

## 7. Referências Bibliográficas

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Standard 802.11*.
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) enhancements for quality of service (QoS). IEEE draft for standard 802.11e*, 2005.

- [3] Fang, Y., Zhang Y. “*Call Admission Control Schemes and Performance Analysis in Wireless Mobile Networks*” IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 51, NO. 2, MARCH 2002.
- [4] Casetti, C. Chiasserini, C.-F. Conte, A. Dauchy, P. Veglio, M. “*A call admission control algorithm for 802.11e EDCA-enhanced WLANs*” . Vehicular Technology Conference, 2005. VTC-200-Fall IEEE.
- [5] Freitag, J.; Fonseca, N. L. S.; Rezende, J. F. “**Mecanismos de Controle de Admissão Baseados em Medições em Redes IEEE 802.11e**”. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2004. p. 1-5.
- [6] A. Lindgren, A. Almquist, e O. Schelen. “*Evaluation of quality of service schemes for IEEE 802.11 wireless LANs*”. In *Proceedings of the 26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, pg. 348-351, 2001.
- [7] Gao, D. Cai, J. Zhang, L. “*Physical rate based admission control for HCCA in IEEE 802.11e WLANs*”. *Advanced Information Networking and Applications*, 2005. AINA 2005.
- [8] Crowcroft, J.; Handley, M.; Wakeman, I. *Internetworking Multimedia*. EUA, Ed. Morgan Kaufmann, 1999.
- [9] K. Fall, e K. Varadhan. *The Ns Manual*. Relatório Técnico, UC Berkeley, The VINT Project, 2006.
- [10] J. Widmer, *NO Ad-Hoc Routing Agent (NOAH)*, Swiss Federal Institute of Technology – Lausanne, Senior Researcher, <http://www.icaepople.epfl.ch/widmer/uwb/ns-2/noah.html>, 2006.
- [11] Sven Wietholter and Christian Hoene. *Design and Verification of an IEEE 802.11e EDCF Simulation Model in ns- 2.28*. Technical Report TKN-03-019, Telecommunication Networks Group, Technische Universität Berlin, 2006.