

Controle de Admissão de Chamadas em Redes Móveis Celulares Adaptativas

G. H.S. Carvalho, R.C. M. Rodrigues, S.V.Carvalho, C. R. L. Francês, J.C.W.A.Costa.

Resumo—A provisão de garantias de QoS é uma questão chave em redes móveis celulares de próxima geração. Nesse cenário, a utilização de esquemas de alocação de recursos adaptativos exerce um papel fundamental, pois, ele consegue atender a alta demanda por serviços, ao mesmo tempo que, melhora a utilização dos recursos de rádio. Neste artigo são propostos e apresentados modelos Markovianos para tais esquemas. Para efeito de comparação, é ainda apresentado um modelo sem adaptação de largura de banda. Os resultados mostrarão que os esquemas adaptativos melhoram significativamente o desempenho do sistema.

Palavras-Chave—Controle de Admissão de Chamadas, Adaptação de Largura de Banda, Redes Móveis Celulares, Análise de Desempenho, Cadeia de Markov.

Abstract—Providing QoS guarantees is a key issue in next generation multimedia cellular mobile networks. In this scenario, the deployment of adaptive resource allocation scheme plays an important role in order to satisfy the high demand for new multimedia services and to efficiently use the scarce radio resource. In this paper it is proposed and presented Markovian models for adaptive resource allocation schemes. For comparison purpose we also present a non adaptive resource allocation scheme. Numerical results show that the proposed adaptive resource allocation schemes greatly improve the performance of the network.

Keywords—Call Admission Control, Bandwidth Adaptation, Cellular Mobile Networks, Performance Analysis, Markov Chain.

I. INTRODUÇÃO

A provisão da QoS em redes sem fio tem sido beneficiada pelo desenvolvimento de aplicações multimídia adaptativas que mudam dinamicamente sua largura de banda de acordo com as condições da rede. Tais serviços serão fortemente explorados de modo que será mandatório o emprego do mecanismo de adaptação de largura de banda juntamente ao Controle de Admissão de Chamadas (CAC) em redes móveis celulares. Nesse sentido, as redes de 3G já foram desenvolvidas para suportar esse procedimento [1]. Assim, neste artigo são implementados dois modelos analíticos para a análise de desempenho de redes móveis celulares que empregam o CAC e o mecanismo de adaptação de largura de banda. O primeiro esquema realiza a adaptação durante a etapa de conexão de uma chamada fazendo com que a sua taxa se ajuste a quantidade de recursos disponíveis na rede, e

durante o término de um serviço. O segundo esquema chama-se justo, pois, ele promove ou reduz a largura de banda das chamadas em serviço igualmente. Além desses, é apresentado ainda um modelo não adaptativo. A análise dos resultados mostrará que o esquema justo possui o melhor desempenho entre os propostos, uma vez que ele consegue, através da seleção apropriada dos valores de largura de banda, manter um compromisso entre a QoS dos serviços na rede

II. TRABALHOS RELACIONADOS E CONTRIBUIÇÕES

Vários trabalhos na literatura apresentam propostas para esse mecanismo. Ji-Hoon Lee *et al.* propuseram um esquema de alocação de recursos adaptativo que procura sempre atribuir uma largura de banda acima da média para cada chamada. Quando novos canais de rádios são disponíveis, recursos adicionais são distribuídos entre as chamadas [3].

Em [6][7][2] [4], o CAC e a reserva de recursos são usados para prover garantias de QoS de forma a minimizar o bloqueio das chamadas de *hand off* e novas chamadas de voz. Em todos eles os experimentos são conduzidos via simulação.

Durante o seu serviço, uma chamada multimídia pode experimentar a redução (degradação) ou a promoção da largura de banda de acordo com a carga da rede. A taxa e a ordem de degradação da largura de banda de um serviço multimídia são estudados em [5].

Em [8], são propostos modelos analíticos usando múltiplos *thresholds* para discriminar os serviços que acessam à rede. Nesses modelos apenas os serviços de dados adaptam sua largura de banda em função da carga da rede. Outra característica desse serviço é a utilização de chamadas elásticas. Essas chamadas representam a ação do controle de fluxo realizado mediante situações de sobrecarga. No modelo considerado todas as chamadas multimídia requerem apenas um canal para o escoamento do serviço.

Nessa direção, são propostos neste trabalho as seguintes políticas de alocação de recursos adaptativas: Com Adaptação (CA) e Adaptação Justa (AJ). No primeiro, a adaptação ocorre durante a etapa de conexão e término de um serviço. Na segundo esquema, a adaptação acontece sempre que não for possível aceitar uma chamada com largura de banda máxima. Nesse caso, todas as chamadas sendo transmitidas são igualmente degradadas de modo que a nova chamada seja aceita com banda mínima. Para efeito de comparação de desempenho também é apresentado um modelo de alocação de recursos não adaptativo onde a chamada será aceita somente se existirem recursos de rádio suficiente para acomodá-la com a largura de banda máxima. Os resultados mostrarão que o esquema justo

Glauco Haroldo Silva de Carvalho, Carlos Renato Lisboa Francês, João Crisóstomo Weyl A. Costa, Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, E-mails: ghsc@ufpa.br, rfrances@ufpa.br, jweyl@ufpa.br. Rita de Cássia M. Rodrigues e Solon Venâncio de Carvalho, Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, Brasil, E-mails: rita@lac.inpe.br, solon@lac.inpe.br.

possui o melhor desempenho, uma vez que ele mantém um bom compromisso entre a QoS de todos os serviços oferecido pela Operadora de Serviço.

III. MODELAGEM

A. Rede

O ambiente multiserviço considerado suporta duas classes de serviço: classe I e II. A classe I representa as classes de QoS Conversacional e *Streaming* definidas pelo 3GPP. Cada usuário dessa classe está equipado com *codecs* de taxas ajustáveis, como por exemplo MPEG-2 ou MPEG-4 [6][1]. Assim, é permitido que durante um congestionamento suas taxas possam ser ajustadas de acordo com a carga da rede [7]. A classe II representa a classe de QoS Interativa. O *Web browsing* será considerado como o principal serviço dessa classe.

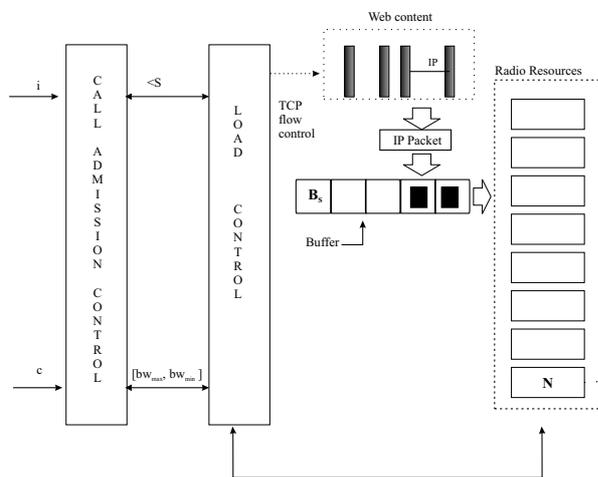


Fig. 1. Sistema de Gerência de Recursos

A Fig.1 mostra o sistema de gerência de recursos usado. O módulo de Controle de Carga (*Load Control-LC*) monitora a carga de tráfego e informa periodicamente o CAC à respeito da condição da rede. O CAC aceitará ou rejeitará um serviço baseado nessa informação.

Quando um serviço da classe I solicita uma conexão à rede, ele especifica o seu perfil de QoS em termos de largura de banda $[bw_{max}, bw_{min}]$; o CAC decide, baseado na informação proveniente do LC, se é possível aceitá-lo. De acordo com a política adotada, uma das possíveis situações pode ocorrer:

- Sem adaptação (SA): nesse esquema a chamada somente será aceita se existirem recursos de rádio para acomodá-la com a largura de banda máxima, bw_{max} .
- Com Adaptação (CA): nesse esquema, a largura de banda será negociada entre o usuário (aplicação) e a rede durante a etapa de conexão. Se existirem recursos de rádio disponíveis, o serviço será acomodado com a largura de banda máxima, se não, admitir-se-á com a largura de banda mínima. Se a rede estiver sobrecarregada e não existirem recursos de rádio para acomodá-lo com largura de banda mínima, ele será bloqueado. Considera-se que, uma vez atendido os requerimentos de largura de banda, todos os demais parâmetros de QoS são satisfeitos.

Quando uma chamada com largura de banda máxima deixa a rede, uma, com menor largura de banda, é promovida de forma a aumentar a satisfação do cliente e a utilização dos recursos de rádio.

- Adaptação Justa (AJ): nesse esquema, todos os serviços serão aceitos se possível com largura de banda máxima. Caso contrário, a largura de banda de todas as chamadas com banda máxima em serviço será reduzida para admitir um novo cliente com largura de banda mínima. Quando um cliente com essa largura de banda deixa o sistema, o CAC verifica se é possível promover o perfil de QoS de todos os cliente da rede. Esse esquema de alocação de recursos é denominado de justo, pois, a taxa de transmissão de todos os serviços em tempo real são reduzidas e elevadas igualmente de forma a beneficiar um novo serviço.

O LC também monitora o número de sessões *Web on line* na rede e informa ao CAC que tomará a decisão de aceitar ou não novas solicitações. Se for possível, o conteúdo dessa página *Web* é fragmentado em pacotes IP com taxa λ_{IP} . Esses pacotes aguardarão em um *buffer* com capacidade B_s , até serem transmitidos através da interface aérea. Durante um congestionamento na rede, o TCP utiliza o mecanismo de controle de fluxo, reduzindo a taxa de envio de pacotes da fonte. Embora não considerado neste trabalho, o módulo LC poderia opcionalmente auxiliar na realização dessa função.

B. Tráfego

A chegada de novos serviços das classes I e II são processos de Poisson mutuamente independentes com taxas $\lambda_{n,c}$ e $\lambda_{n,i}$. Os processos de chegada dos pedidos de *hand off* também são Poissonianos mutuamente independentes com taxas $\lambda_{h,c}$ e $\lambda_{h,i}$. Dessa forma, o tráfego oferecido dessas classes também são processos de Poisson mutuamente independentes com taxas $\lambda_c = \lambda_{n,c} + \lambda_{h,c}$ e $\lambda_i = \lambda_{n,i} + \lambda_{h,i}$.

Os tempos de residência e duração de uma chamada da classe I são v.a. distribuídas exponencialmente com parâmetros $1/\mu_{h,c}$ e $1/\mu_{d,c}$, respectivamente. Igualmente para os serviços da classe II, porém, com parâmetros $1/\mu_{h,i}$ e $1/\mu_{d,i}$. Os tempos de retenção de canal para ambos serviços são assim v.a. exponencialmente distribuídas com parâmetros $1/\mu_c = 1/(\mu_{h,c} + \mu_{d,c})$ e $1/\mu_i = 1/(\mu_{h,i} + \mu_{d,i})$.

O modelo de tráfego de Internet usado é o mesmo descrito em [9].

C. Esquema sem Adaptação de Largura de Banda (SA)

Nesse esquema, um serviço da classe I solicitará sempre a largura de banda máxima, bw_{max} . Se esse recurso estiver disponível o serviço será aceito. Caso contrário, bloqueado. Uma cadeia de Markov multidimensional a tempo contínuo com estado dado pela Eq. (1) é usada para modelar esse esquema.

$$E = \{(c, k, m, r) / 0 \leq c \leq \rho, 0 \leq k \leq B_s, 0 \leq m \leq S, 0 \leq r \leq m\} \quad (1)$$

TABELA I
TRANSIÇÕES A PARTIR DO ESTADO $E = (c, k, m, r)$.

Estado Sucessor	Condição	Taxa	Evento
$(c+1, k, m, r)$	$N - cbw_{max} \geq bw_{max}$	λ_c	Chegada de uma chamada da Classe I
$(c-1, k, m, r)$	$c > 0$	$c\mu_c$	Partida de uma chamada da Classe I
$(c, k, m+1, r)$	$m < S$	$\frac{\beta}{\alpha+\beta} \lambda_i$	Chegada de uma sessão <i>Web</i> no estado ON
$(c, k, m+1, r+1)$	$m < S$	$\frac{\alpha}{\alpha+\beta} \lambda_i$	Chegada de uma sessão <i>Web</i> no estado OFF
$(c, k, m-1, r)$	$(m > 0) \wedge (r=0)$	$m\mu_i$	Partida de uma sessão <i>Web</i>
$(c, k, m-1, r-1)$	$(m > 0) \wedge (r=m)$	$m\mu_i$	
$(c, k, m-1, r-1)$	$(m > 0) \wedge (0 < r < m)$	$\frac{r}{m} m\mu_i$	
$(c, k, m-1, r)$	$(m > 0) \wedge (0 < r < m)$	$\frac{m-r}{m} m\mu_i$	
$(c, k+1, m, r)$	$(k < B_s) \wedge (m > 0) \wedge (r < m)$	$(m-r)\lambda_{IP}$	Chegada de um pacote IP
$(c, k-1, m, r)$	$(\min(\theta, k) > 0) \wedge (k > 0)$ $\theta = N - cbw_{max}$	$\min(\theta, k)\mu_s$	Transmissão de um pacote IP
$(c, k, m, r+1)$	$r < m$	$(m-r)\alpha$	Diminuição da rajada
$(c, k, m, r-1)$	$r > 0$	$r\beta$	Aumento da rajada

onde c é o número de chamadas da classe I em serviço. $\varrho = \lceil \frac{N}{bw_{max}} \rceil$ é o número máximo de chamadas pertencentes a essa classe aceitos pelo sistema. $\lceil x \rceil$ denota o menor número inteiro $\leq x$. k é o número de pacotes IP *buffer*. m é o número de sessões de dados ativas. r representa o número de sessões de dados no estado *OFF* [9]. A Tabela I mostra as possíveis transições da cadeia de Markov a partir de cada estado $E = (c, k, m, r)$, juntamente com as condições, as taxas e os eventos que ocasionam as transições dos estados. As mudanças na variável c são determinadas pelas chegadas e partidas das chamadas da classe I. O Tempo médio de serviço do pacote IP, $1/\mu_s$, é dado como o tempo no qual um pacote IP é escoado por um canal de 100 kbps.

A probabilidade de bloqueio de um serviço da classe I é dada pela Eq.(2).

$$P_{BC} = \sum_{\forall i \in E; c=\varrho} \pi_i, \quad (2)$$

onde $\{\pi_{c,k,m,r} / (c, k, m, r) \in E\}$ é a probabilidade do estado de equilíbrio da cadeia de Markov.

A probabilidade de bloqueio de uma sessão de *Web* é dada pela Eq.(3). É importante mencionar que essa medida depende unicamente da especificação do número máximo de sessões concorrentes adotado pela Operadora de Serviço. Em outras palavras, ela independe do esquema de alocação de recursos empregado.

$$P_{BS} = \sum_{\forall j \in E; m=S} \pi_j. \quad (3)$$

O tráfego oferecido IP é dado por:

$$O = \lambda_{IP} \sum_{\forall i \in E} (m-r)\pi_i, \quad (4)$$

e a probabilidade de bloqueio do pacote IP é

$$P_{BIP} = \sum_{\forall i \in E; k=B_s} \pi_i. \quad (5)$$

A vazão média de um pacote IP é dada pela Eq.(6), enquanto que, o atraso médio é dado pela Eq.(7). A utilização do canal de rádio é dado pela Eq.(8)

$$X = O(1 - P_{BIP}). \quad (6)$$

$$W_q = \frac{\sum_{\forall i \in E} k\pi_i}{X}. \quad (7)$$

$$U_{SA} = bw_{max} \frac{\sum_{\forall i \in E} c\pi_i}{N} + \frac{\sum_{\forall i \in E; k>0} \min(N - cbw_{max}, k)\pi_i}{N}. \quad (8)$$

D. Esquema com Adaptação de Largura de Banda (CA)

O estado da cadeia de Markov a tempo contínuo usada para representar esse esquema é dado por:

$$E = \{(c, \omega, k, m, r) / 0 \leq c \leq \varrho, 0 \leq \omega \leq \vartheta, 0 \leq k \leq B_s, 0 \leq m \leq S, 0 \leq r \leq m\} \quad (9)$$

onde ω é o número de serviços da classe I com largura de banda mínima em serviço. $\vartheta = \lceil \frac{N - \varrho bw_{max}}{bw_{min}} \rceil$ é o número máximo de serviços com largura de banda mínima admitido pela rede. As outras variáveis de estado são as mesmas descritas anteriormente. A Tabela II mostra somente as transições, condições, taxas e eventos do estado $E = (c, \omega, k, m, r)$ correspondente à nova variável da cadeia.

A mudanças na variável ω são determinadas pelas chegadas, admissão e partida das chamadas da classe I com largura de banda mínima. A partida de uma chamada com largura de banda máxima, c , promove a largura de banda de uma chamada da classe I em serviço de bw_{min} para bw_{max} se $(\omega > 0)$. Novamente um pacote IP será transmitido usando toda a largura de banda disponível.

TABELA II
TRANSIÇÕES A PARTIR DO ESTADO $E = (c, \omega, k, m, r)$.

Estado sucessor	Condição	Taxa	Evento
$(c, \omega+1, k, m, r)$	$(N - cbw_{max} < bw_{max}) \wedge [N - (cbw_{max} + \omega bw_{min})] \geq bw_{min}$	λ_c	Chegada de uma chamada da classe I com largura de banda mínima
$(c-1, \omega, k, m, r)$	$(c > 0) \wedge (\omega = 0)$	$c\mu_c$	Partida de uma chamada da classe I sem promoção
$(c, \omega-1, k, m, r)$	$(c > 0) \wedge (\omega > 0)$	$c\mu_c$	Partida de uma chamada da classe I com promoção
$(c, \omega-1, k, m, r)$	$\omega > 0$	$\omega\mu_c$	Partida de uma chamada da classe I com menor largura de banda
$(c, \omega, k-1, m, r)$	$(\min(\theta, k) > 0) \wedge (k > 0)$ $\theta = N - (cbw_{max} + \omega bw_{min})$	$\min(\theta, k)\mu_s$	Transmissão de um pacote IP

Nesse esquema, o bloqueio acontecerá sempre que não houver disponibilidade de recurso para acomodar um serviço da classe I com banda mínima. Assim,

$$P_{BC} = \sum_{\forall i \in E; \omega = \theta} \pi_i \quad (10)$$

Todas as medidas de desempenho relativas ao serviço de dados são as mesmas do esquema sem adaptação. Porém, o estado a ser considerado é dado pela Eq.(9). A utilização é dada pela Eq.(11).

$$U_{CA} = \frac{\sum_{\forall i \in E} \{cbw_{max} + \omega bw_{min}\} \pi_i}{N} + \frac{\sum_{\forall i \in E; k > 0} \min(N - (cbw_{max} + \omega bw_{min}), k) \pi_i}{N} \quad (11)$$

E. Esquema com Adaptação de Largura de Banda Justa (AJ)

Esse esquema é muito similar ao anterior, contudo, quando a rede está congestionada, ele reduz a largura de banda de todas as chamadas em serviço e admite um novo cliente com largura de banda mínima. Além disso, quando um cliente com largura de banda mínima deixa o sistema, o LC verifica a carga da rede e informa ao CAC se é possível promover a largura de banda de todas as chamadas para largura de banda máxima.

O estado da cadeia de Markov a tempo contínuo usada para representar esse esquema é dado por:

$$E = \{(c, \omega, k, m, r) / 0 \leq c \leq \varrho, 0 \leq \omega \leq \zeta, 0 \leq k \leq B_s, 0 \leq m \leq S, 0 \leq r \leq m\} \quad (12)$$

onde ω é o número de serviços da classe I com largura de banda mínima em serviço. $\zeta = \lceil \frac{N}{bw_{min}} \rceil$ é o número de chamadas de largura de banda mínima permitido pela rede. As demais variáveis de estados são as mesmas. Tabela III mostra as transições, condições, taxas e eventos tomados pelo CAC. Para melhor ilustrar o procedimento de promoção e redução de largura de banda são mostrados ainda os estados atual e sucessor.

A mudanças na variável c são determinadas pelas chegadas, redução da largura de banda e partida de uma chamada da classe I com largura de banda máxima. A redução da largura de banda ocorre no AJ quando não existem recursos de rádio para escoar uma chamada com banda máxima. Nesse caso, todas as chamadas com bw_{max} serão reduzidas para bw_{min} e uma nova chamada da classe I será admitida. Isso altera o estado das variáveis c e ω para 0 e $c+1$, respectivamente.

A mudanças na variável ω são determinadas pelas chegada e partida das chamadas da classe I com largura de banda mínima. Essa partida pode, se existirem recursos disponíveis, ocasionar a promoção da largura de banda de todas as chamadas da classe I em serviço, incorrendo na seguinte mudança de variável: $c : 0 \rightarrow \omega - 1$; e $\omega : \omega \rightarrow 0$. Novamente, um pacote IP será transmitido usando toda a largura de banda disponível.

Nesse esquema, uma chamada da classe I será bloqueada se, após a redução de largura de banda de bw_{max} para bw_{min} , o LC informar ao CAC que não existem recursos para admitir uma nova chamada. Assim:

$$P_{BC} = \sum_{\forall i \in E; c=0, \omega=\zeta} \pi_i \quad (13)$$

Novamente, todas as medidas de desempenho relativas ao serviço de dados são as mesmas do esquema sem adaptação. Porém, o estado a ser considerado é dado pela Eq.(12). A utilização é dada pela Eq.(14).

$$U_{AJ} = bw_{max} \frac{\sum_{\forall i \in E; c > 0, \omega = 0} c \pi_i}{N} + bw_{min} \frac{\sum_{\forall i \in E; c = 0, \omega > 0} \omega \pi_i}{N} + \frac{\sum_{\forall i \in E; c > 0, \omega = 0, k > 0} \min(N - cbw_{max}, k) \pi_i}{N} + \frac{\sum_{\forall i \in E; c = 0, \omega > 0, k > 0} \min(N - \omega bw_{min}, k) \pi_i}{N} + \frac{\sum_{\forall i \in E; c = \omega = 0, k > 0} \min(N, k) \pi_i}{N} \quad (14)$$

TABELA III
TRANSIÇÕES DA CADEIA DE MARKOV DO AJ.

Estado presente	Estado sucessor	Condição	Taxa	Evento
$(c,0,k,m,r)$	$(c+1,0,k,m,r)$	$(N-cbw_{max} \geq bw_{max})$	λ_c	Chegada de uma chamada da Classe I sem redução
$(c,0,k,m,r)$	$(0,c+1,k,m,r)$	$(N-cbw_{max} < bw_{max}) \wedge (N-cbw_{min} \geq bw_{min})$	λ_c	Chegada de uma chamada da Classe I com redução
$(0,\omega,k,m,r)$	$(0,\omega+1,k,m,r)$	$(N-\omega bw_{min} \geq bw_{min})$	λ_c	Chegada de uma chamada da Classe I de menor largura de banda
$(c,0,k,m,r)$	$(c-1,0,k,m,r)$	$(c > 0)$	$c\mu_c$	Partida de uma chamada da Classe I
$(0,\omega,k,m,r)$	$(0,\omega-1,k,m,r)$	$(\omega > 0) \wedge N - (\omega - 1)bw_{max} < 0$	$\omega\mu_c$	Partida de uma chamada da Classe I sem promoção
$(0,\omega,k,m,r)$	$(\omega-1,0,k,m,r)$	$(\omega > 1) \wedge N - (\omega - 1)bw_{max} \geq 0$	$\omega\mu_c$	Partida de uma chamada da Classe I com promoção
$(c,0,k,m,r)$	$(c,0,k-1,m,r)$	$(\min(\theta,k) > 0) \wedge (k > 0)$ $\theta = N - cbw_{max}$	$\min(\theta,k)\mu_s$	Transmissão de um pacote IP
$(0,\omega,k,m,r)$	$(0,\omega,k-1,m,r)$	$(\min(\theta,k) > 0) \wedge (k > 0)$ $\theta = N - \omega bw_{min}$	$\min(\theta,k)\mu_s$	
$(0,0,k,m,r)$	$(0,0,k-1,m,r)$	$(\min(N,k) > 0) \wedge (k > 0)$	$\min(N,k)\mu_s$	

IV. RESULTADOS

Na Tabela IV são mostrados os valores usados para obtenção dos resultados que serão apresentados a seguir. Um dado esquema de alocação de recurso adaptativo será referenciado como: $A-bw_{max},bw_{min}$; onde A pode ser CA ou AJ. No caso do esquema SA, será somente especificado a largura de banda máxima.

TABELA IV
PARÂMETROS USADOS NOS EXPERIMENTOS.

Parâmetros	Valor
Número de canais de rádio	20
Número de sessões Web	20
Tamanho do buffer	50
Tempo médio de duração de uma chamada da classe I(s)	120
Tempo médio de residência de uma chamada da classe I(s)	60
Tempo médio de residência de uma chamada da classe II(s)	120
Tempo médio de leitura (s)	41,2
Tempo médio de serviço do pacote IP (s)	0,0375
Porcentagem de hand off para chamadas das classes I e II (%)	10
Taxa média de bits da fonte (kbits/s)	32
Largura de banda máxima	7,3
Largura de banda mínima	3,2

A Fig.(2) revela que os desempenhos dos esquemas de adaptativos são superiores ao do sem adaptação. Sendo que o AJ possui o melhor desempenho. Nesse esquema, o bloqueio de uma chamada multimídia somente depende da banda especificação da banda mínima. Conclusão, as probabilidades de bloqueio da classe I das configurações AJ-7,2 e AJ-3,2 são iguais. Devido à capacidade de negociação de largura de banda durante a etapa de conexão de uma chamada a probabilidade de bloqueio da classe I do esquema CA é menor que do esquema SA. A Fig.(3) mostra a probabilidade de bloqueio da sessão Web. Nota-se que, a probabilidade de bloqueio da sessão aumenta com o aumento da carga.

Para os valores usados nos experimentos sempre existem

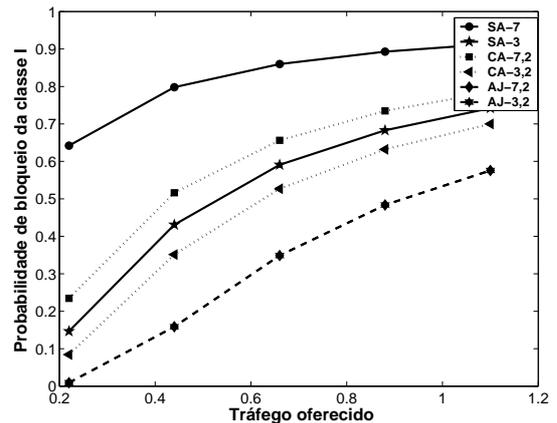


Fig. 2. Probabilidade de bloqueio da classe I vs Tráfego Oferecido

recursos ociosos nos esquemas SA. Isso garante o escoamento do tráfego IP de maneira que o atraso médio se mantenham sempre baixo, Fig.(4).

No que tange o escoamento do tráfego IP, o desempenho do esquema CA-3,2 é superior ao do CA-7,2. Note na Fig.(4) que o primeiro possui a probabilidade de bloqueio e o atraso médio do pacote IP menores que a do segundo. Isso ocorre, pois, durante uma sobrecarga, o CA-3,2 libera dois canais de rádio a uma taxa de $7\mu_c$, contra um canal, a uma taxa de $5\mu_c$ do CA-7,2. Ainda na mesma figura se nota que, nos esquemas AJ, após a redução da largura de banda para a admissão de uma nova chamada, há uma grande disponibilidade de recursos para o escoamento do tráfego IP. Essa disponibilidade de recursos diminui com o aumento do tráfego, ocasionando um aumento na probabilidade de bloqueio e no atraso médio dos pacotes IP.

A Fig.(5) mostra que a utilização do esquema SA é baixa quando comparada as utilizações dos esquemas adaptativos

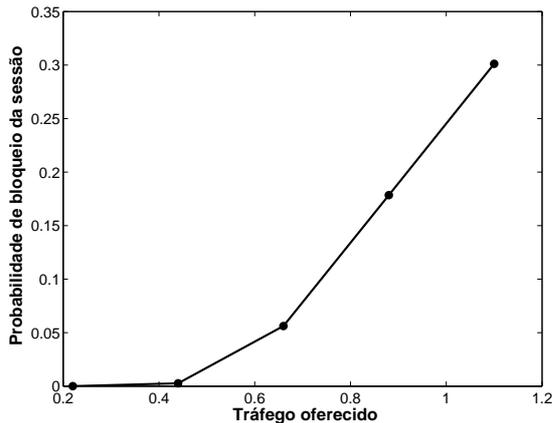


Fig. 3. Probabilidade da sessão vs Tráfego Oferecido

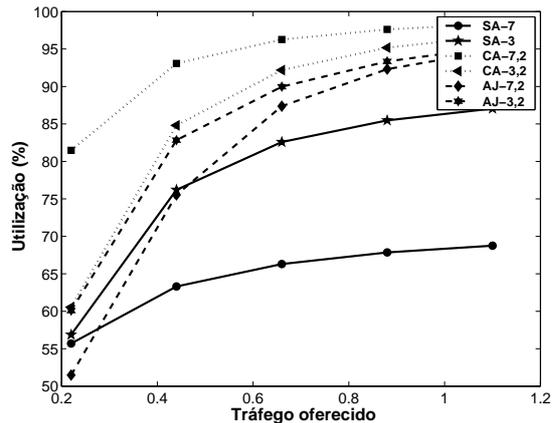


Fig. 5. Utilização média da largura de banda vs Tráfego Oferecido

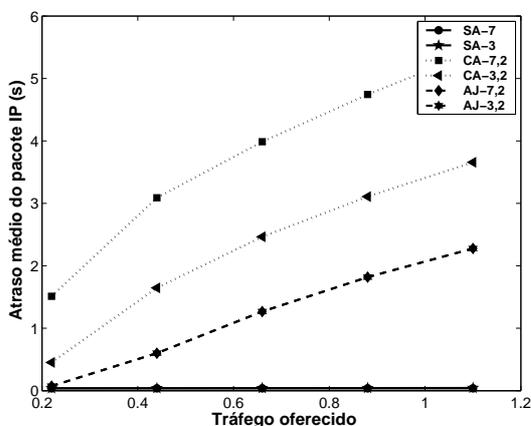


Fig. 4. Atraso médio do pacote IP vs Tráfego Oferecido I

para uma carga de tráfego média e alta. Para as configurações usadas, nota-se que as utilizações dos esquemas CA são superiores as dos esquemas AJ. Isso ocorre, pois, uma vez que uma chamada é admitida com largura de banda máxima não há redução da mesma. Por sua vez, a utilizações dos esquemas AJ são, inicialmente, baixas, entretanto, com o aumento do tráfego oferecido e, a admissão de mais chamadas, tem-se um aumento nessa utilização.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram propostos modelos analíticos Markovianos para a análise de desempenho de esquemas de alocação de recursos onde adaptação de largura de banda é empregada junto com o CAC de modo a melhorar a provisão da QoS. A análise anterior mostrou que o esquema justo resulta em uma melhor provisão de serviço com garantias de QoS, uma vez que, ele conseguiu manter um compromisso entre a QoS dos serviços oferecidos pela Operadora de Serviço.

O desempenho do esquema justo é beneficiado pela redução total da largura de banda máxima de todas as chamadas da classe I em serviço. Contudo, esse comportamento pode causar uma certa insatisfação por parte dos assinantes que não desejam reduzir sua largura de banda em detrimento à admissão de outros. Por sua vez, o desempenho do CA é beneficiado pela negociação inicial de largura de banda entre

a rede e a aplicação. Porém, uma vez saturada a admissão de clientes com banda mínima, a rejeição de chamadas tende a aumentar. Uma forma de melhorar o desempenho do sistema é a implementação de um esquema adaptativo híbrido que combine as características do AJ e do CA. Assim, por exemplo, enquanto houvesse largura de banda disponível o sistema se comportaria como o CA. Durante o congestionamento, ela poderia se comportar como o justo. Esse esquema será assunto de trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo CPNq.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Yu, V. S. Wong e V. C. M. Leung, *A new QoS provisioning method for adaptive multimedia in cellular wireless networks*, in *Proceedings of IEEE INFOCOM 2004*, 2004.
- [2] F. Prihandoko, M. H. Habaeabi e B. M. Ali, *Adaptive call admission control for QoS provisioning in multimedia wireless networks*, *Computer Communications*, vol. 26, no. 14, Setembro, 2003, pp. 1560-1569
- [3] J.-H. Lee, T.-H. Jung, S.-U. Yoon, S.-K. Youm e C.-H. Kang, *An adaptive resource allocation mechanism including fast and reliable handoff in IP-based 3G wireless networks*, *IEEE Personal Communications*, vol. 7, no. 6, Dezembro, 2000, pp. 42-47.
- [4] H. K. Pati, R. Mall e I. Sengupta, *An efficient bandwidth reservation and call admission control scheme for wireless mobile networks*, *Computer Communications*, vol. 25, no. 1, Janeiro, 2002, pp. 74-83.
- [5] Y. Xiao, C. L. P. Chen e B. Wang, *Bandwidth degradation QoS provisioning for adaptive multimedia in wireless/mobile networks*, *Computer Communications*, vol. 25, no. 13, Agosto, 2002, pp.1153-1161.
- [6] L. Huang, S. Kumar e C.C. Jay Kuo, *Adaptive resource allocation for multimedia QoS management in wireless networks*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 53, no. 2, 2004, pp. 547 - 558.
- [7] C. Oliveira, J. B. Kim, T. Suda, *An adaptive bandwidth reservation scheme for high-speed multimedia wireless networks*, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 6, 1998, pp. 858-874.
- [8] B. Li, L. Li, Bo Li, K.M. Sivalingam e Xi-Ren Cao, *Call admission control for voice/data integrated cellular networks: performance analysis and comparative study*, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 22, no. 4, 2004, pp. 706 - 718.
- [9] G. H. S. Carvalho, J. C. W. A. Costa, C. R. L. Frânces, R. C. M. Rodrigues, S. V. Carvalho, *Alocação de Recursos em Redes Móveis Celulares Hierárquicas GSM/GPRS*, *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, 2004, Belém, Pará.