

Controle de Admissão em Sistemas Móveis com Duas Restrições de QoS

Cláudia Quevedo-Lodi e J.Roberto Boisson de Marca

Resumo—Este trabalho considera o problema do controle de admissão em sistemas sem fio com duas restrições de qualidade de serviço. A classe de algoritmos considerada é conhecida como reserva de recursos fracionados e limitados (*Limited Fractional Reserved Resources-LFGC*). Inicialmente é determinado o lugar geométrico das soluções para o problema de controle de acesso com duas restrições de qualidade de serviço (QoS). A partir desse desenvolvimento são determinados o nível máximo de intensidade de tráfego em que é possível obter a solução e a quantidade de recursos a ser reservada em cada situação de mobilidade e de intensidade de tráfego de forma a maximizar a utilização do sistema. Essas considerações teóricas permitiram a proposta de um algoritmo de controle de admissão, CAC_{TB} , cuja operação se baseia em medidas em tempo real das condições de mobilidade e de tráfego empregando então uma tabela para determinar o número ideal de recursos a ser reservado a cada momento. O desempenho do novo procedimento foi avaliado através de simulação e para que fosse possível comparar o seu comportamento com o de outras soluções existentes uma nova medida de desempenho foi também proposta.

Abstract—This work considers the problem of admission control in wireless systems with two quality of service constraints. The class of algorithms considered is the Limited Fractional Reserved Resources. The feasible set of input traffic values for a given mobility level is derived. This method used also produces the optimum number of reserved resources. From these results some general considerations regarding the optimality of fixed admission control methods for the two quality constraint scenario are drawn. Based in these results the algorithm CAC_{TB} is proposed, it measures the mobility of the users and the traffic intensity and consults in a table the optimum number of reserved resources in each case. The performance of the new procedure was evaluated through simulation. A new metric was also introduced allowing a comparative performance analysis with other existing access control methods.

Keywords—wireless communications, Channel Admission Control, QoS.

I. INTRODUÇÃO

A gerência de recursos e, em particular, o controle de admissão de chamadas (CAC) são temas importantes para a operação eficiente de redes sem fio. Este problema tem sido estudado por duas décadas [1] porém o tema continua relevante conforme demonstrado em dois artigos que apresentam tutoriais extensos sobre o tema [2]-[3]. O número de usuários de aparelhos celulares continua subindo, fazendo com que as operadoras trabalhem com células cada vez menores para aumentar a capacidade do sistema. Por outro lado, células menores aumentam o número de *handoffs* provocando a necessidade de algoritmos de controle de admissão cada

vez melhores. Além disso, as técnicas de CAC são um dos pontos que permitem ao operador garantir a qualidade de serviço (QoS) desejada e obter recursos adicionais através da diferenciação entre os serviços e o aumento de tráfego.

Os usuários de uma rede móvel, em geral, esperam que sua qualidade de serviço se mantenha durante todo o tempo de comunicação. Devido à mobilidade, a chamada pode sofrer inúmeros *handoffs* que devem ser imperceptíveis ao usuário. Portanto, é comum encontrar na literatura procedimentos que asseguram prioridades maiores aos usuários em *handoff* em relação aos usuários que iniciam chamadas novas. No entanto, a reserva de recursos para *handoff* deve ser a menor possível para que se tenha uma máxima utilização dos recursos. Uma implementação usual é o princípio da antecipação do bloqueio (*Early Blocking*) [3] através da adoção de uma banda de guarda ou de canais de guarda. Essa técnica mantém uma dada quantidade de banda para o uso exclusivo das chamadas em *handoff*, enquanto os outros recursos são compartilhados entre as chamadas novas e as chamadas em *handoff*. Uma vez que é dado prioridade às sessões de *handoff* em relação às chamadas novas, a redução da probabilidade de falha em tentativas de *handoff*, P_{FH} , causa o aumento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas, P_{BN} . Neste trabalho, consideramos o compromisso entre P_{FH} e P_{BN} . Parece claro que estes dois requisitos de qualidade de serviço (QoS) devem ser controlados pelo operador. Os resultados desenvolvidos neste trabalho utilizam algoritmos de canais de guarda fracionários (*Limited Fractional Guard Channel - LFGC*) que foram demonstrados como ótimos sob determinadas circunstâncias [4],[5]. Inicialmente, o lugar geométrico das soluções para o problema de controle de acesso com dois requisitos simultâneos de QoS, um para P_{BN} e outro separado para P_{FH} , é apresentado. Esse desenvolvimento permite determinar o nível máximo de intensidade de tráfego em que é possível obter uma solução e a quantidade de recursos a ser reservada, para cada cenário de mobilidade e de intensidade de tráfego, de forma a maximizar a utilização do sistema. A partir destes resultados, algumas considerações gerais são feitas sobre o desempenho de algoritmos adaptativos vs aquele de procedimentos fixos. A seguir é proposto um algoritmo dinâmico de controle de acesso, baseado em uma tabela pré calculada, que mostrou ter um desempenho muito bom. A análise do comportamento do algoritmo é complementada com um estudo comparativo com o desempenho de outros procedimentos existentes a partir da definição de uma nova medida de qualidade.

A organização deste artigo é a seguinte: na seção II o modelo geral de Markov para políticas de controle de admissão é rapidamente revisto e a solução analítica para reserva fracionária é exemplificada. A seção III apresenta os

conceitos e alguns resultados teóricos para o problema de controle de admissão com duas restrições de QoS. Na seção IV um novo algoritmo dinâmico e distribuído para o problema de controle de admissão e seu desempenho é avaliado e comparado com outros procedimentos existentes. Finalmente, os comentários e as conclusões sobre os resultados obtidos estão na Seção V.

II. MODELO GERAL DE CONTROLE DE ADMISSÃO

O tempo de retenção do canal (*Channel Holding Time - CHT*) é definido como o intervalo de tempo entre o instante em que o recurso da célula é alocado ao usuário, sendo ele um usuário novo ou um usuário que chega através de *handoff*, e o instante em que a chamada é terminada ou ocorre um *handoff* da sessão para outra célula vizinha. Em [4] foi demonstrado que o tempo de retenção do canal pode ser modelado por uma variável aleatória exponencial mesmo quando o tempo de residência na célula segue outra distribuição, como por exemplo a distribuição Gama. Neste trabalho assumimos que o tempo de retenção do canal é dado por uma distribuição exponencial. A chegada de chamadas novas e de chamadas em *handoff* são consideradas como Processos de Poisson com taxas médias λ_N e λ_H , respectivamente. A evolução do número de recursos ocupados em uma célula (ou setor) pode ser modelada por uma cadeia de Markov [5]. O espaço de estados é representado por $S = \{0, 1, \dots, i, \dots, N_c\}$, onde i é o número total de recursos na célula(ou setor), como mostrado na Figura 1.

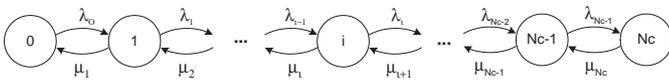


Fig. 1. Cadeia de Markov

Uma estratégia geral para o controle de admissão é definida pelo conjunto de probabilidades a_{Ni} e a_{Hi} da aceitação de chamadas novas e de chamadas em *handoff*, respectivamente, quando o sistema está no estado $i \in S$. Portanto, a taxa média de chegada quando o sistema está no estado i é dada por:

$$\lambda_i = a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H \quad (1)$$

A mobilidade dos usuários está relacionada com o parâmetro θ definido como:

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N} \quad (2)$$

Um valor maior θ indica que, em média, o usuário faz muitos *handoffs* durante uma sessão de comunicação. A taxa de chegada no estado i pode ser expressa em termos de θ como:

$$\lambda_i = \frac{\lambda}{1 + \theta} (a_{Ni} + \theta a_{Hi}) = \lambda \alpha_i(\theta) \quad (3)$$

A intensidade total de tráfego pode ser escrita como:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu N_c} = \frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu N_c} \quad (4)$$

O tempo médio de serviço em uma dada célula (ou setor) é assumido como sendo uma distribuição exponencial cujo parâmetro é μ . No modelo da Figura 1 é assumido que:

$$\mu_i = i\mu, i = 1, 2, \dots, N_c \quad (5)$$

Por exemplo, um sistema de controle de admissão do tipo LFGC, definido em [5]-[6], pode ser representado por essa formulação atribuindo os seguintes valores para as probabilidades a_{Hi} e a_{Ni} :

$$a_{Hi} = 1, 0 \leq i \leq (N_c - 1) \quad (6)$$

$$a_{Ni} = \begin{cases} 1 & , 0 \leq i \leq (T - 2) \\ \beta & , i = (T - 1) \\ 0 & , T \leq i \leq (N_c - 1) \end{cases}$$

Essa estratégia pode ser otimizada para valores específicos de N_c , θ e λ através da escolha apropriada de T e β , $\beta \in [0, 1]$, ou equivalentemente do número de recursos reservados $N_R = N_c - T + (1 - \beta)$. As expressões para a probabilidade de bloqueio de chamadas novas (P_{BN}) e da probabilidade de falha de *handoff* (P_{FH}) para a estratégia LFGC são:

$$P_{FH}(\rho, \theta, T, \beta) = P_{FH}(\rho, \theta, N_R) = P_{N_c} \quad (7)$$

e

$$P_{BN}(\rho, \theta, T, \beta) = P_{BN}(\rho, \theta, N_R) = (1 - \beta)P_{T-1} + \sum_{j=T}^{N_c} P_j \quad (8)$$

Onde as probabilidades de estado P_j são dadas por:

$$P_j = \frac{\frac{\rho^j}{j!} \prod_{i=0}^{j-1} \alpha_i(\theta)}{\sum_{k=0}^{N_c} \frac{\rho^k}{k!} \prod_{i=0}^{k-1} \alpha_i(\theta)}, j = 1, 2, \dots, N_c \quad (9)$$

e $\alpha_i(\theta)$ é definido na equação (3). Usando as equações (2) e (4) a utilização do sistema (célula ou setor) pode ser escrita como:

$$U(\rho, \theta, T, \beta) = \rho \left[1 - \frac{(P_{BN} + \theta P_{FH})}{(1 + \theta)} \right] \quad (10)$$

III. UMA ABORDAGEM CONCEITUAL PARA O PROBLEMA DE RESERVA DE RECURSOS COM DUAS RESTRIÇÕES DE QUALIDADE DE SERVIÇO

Nas formulações usuais para o controle de admissão é assumido o desejo de minimizar um dos parâmetros (P_{BN} ou P_{FH}) adotando uma restrição sobre um ou outro parâmetro de qualidade em relação a uma restrição de qualidade de outro parâmetro. Neste trabalho assumimos que o objetivo é aumentar a qualidade de serviço atendendo simultaneamente a restrições de QoS tanto para as chamadas em *handoff*, quanto para as chamadas novas. Portanto, nosso objetivo é garantir que: $P_{FH} \leq Q_{FH}$ e $P_{BN} \leq Q_{BN}$; onde Q_{FH} e Q_{BN} são os valores máximos aceitáveis, definidos pela operadora, para as falhas de *handoff* e para o bloqueio de novas chamadas, respectivamente. A quantidade a ser otimizada pode ser, por exemplo, a utilização média U da célula ou sistema.

Observe que, para cada valor de θ e ρ , há um valor mínimo de N_R , N_R^- , tal que a restrição da probabilidade de falha de *handoff* é satisfeita, i.e.,

$$N_R \geq N_R^-(\rho, \theta, N_c) \Rightarrow P_{FH}(\rho, \theta, N_R) \leq Q_{FH} \quad (11)$$

Da mesma forma, há um valor máximo para o número de recursos reservados para as chamadas em *handoff*, N_R^+ , que garante que o requisito do bloqueio de chamadas novas é atendido:

$$N_R \leq N_R^+(\rho, \theta, N_c) \Rightarrow P_{BN}(\rho, \theta, N_R) \leq Q_{BN} \quad (12)$$

Considerando a definição de N_R^- e N_R^+ conforme as equações (11) e (12), respectivamente, o conjunto de soluções para o problema de encontrar o número de recursos a serem reservados que atendem ambas as restrições de QoS é: $N_R \in [N_R^-, N_R^+]$ onde N_R , N_R^- e N_R^+ são números reais. Deve ficar claro que o valor de N_R^- é uma função de Q_{FH} , e que o valor de N_R^+ é determinado por Q_{BN} . Além disso, para $\theta = 0$, não existem solicitações de *handoff*, então $P_{FH} = 0$ e a solução trivial $N_R = N_R^- = N_R^+ = 0$ é única para todo ρ tal que $P_{BN} = P_{N_c} \leq Q_{BN}$.

É importante estabelecer algumas relações antes de prosseguir com nossa análise. Em primeiro lugar, é fácil observar que P_{BN} e P_{FH} são funções monótonas não decrescentes de ρ para qualquer valor de N_R . É também imediato que quando ρ cresce será necessário um número maior de recursos disponíveis para acomodar o tráfego de novas chamadas. Portanto para um maior valor do tráfego de entrada o valor de N_R^+ deverá diminuir. De forma semelhante quando a intensidade de tráfego aumenta, o número de solicitações de *handoff* também aumenta, para θ fixo, e portanto número de canais de guarda necessário para garantir um determinado valor de P_{FH} irá aumentar resultando em valor de N_R^- também maior. Dessas observações deve ser registrado que N_R^- é uma função monótona e crescente enquanto que N_R^+ é uma função monótona e decrescente com a intensidade de tráfego, ρ .

Vamos agora considerar a mobilidade $\theta > 0$. Pode-se facilmente notar que para tráfegos muito pequenos não há a necessidade de recursos reservados para o *handoff*, e a demanda de chamadas novas pode ser atendida com um número baixo de canais, ou: $\lim_{\rho \rightarrow 0} N_R^+ = N_c$ e $\lim_{\rho \rightarrow 0} N_R^- = 0$. Também é possível perceber que $\lim_{\rho \rightarrow \infty} N_R^+ = 0$ e $\lim_{\rho \rightarrow \infty} N_R^- = N_c$, isto é, ambas as classes de usuários necessitam de todos os recursos disponíveis para lidar com a alta demanda de tráfego. Então, a medida que ρ cresce, N_R^+ diminui de N_c para 0 enquanto que N_R^- aumenta de 0 para N_c . Esse comportamento implica que para um dado $\theta > 0$ e um valor desejado para Q , há um valor de ρ , $0 < \rho < \infty$, tal que $N_R^+ = N_R^-$. Esse valor único, aqui chamado de ρ_Q , é a maior intensidade de tráfego a qual o sistema pode ser submetido sem que nenhuma das duas condições de qualidade de serviço seja violada. Note que o problema do controle de admissão não possui solução para $\rho \rightarrow \infty$ a menos que $Q(\%) = (Q_{BN}; Q_{FH}) = (1; 1)$. O valor ótimo de número de recursos reservados é $N_Q = N_R^+ = N_R^-$ que pode ser calculado computacionalmente por:

$$\frac{P_{FH}(\theta, \rho_Q, N_Q)}{Q_{FH}} = \frac{P_{BN}(\theta, \rho_Q, N_Q)}{Q_{BN}} = 1 \quad (13)$$

A figura 2 ilustra o comportamento de N_R^+ e N_R^- como uma função de ρ para $\theta = 1$, $\mu = 120s$, e $Q(\%) = (3; 1)$.

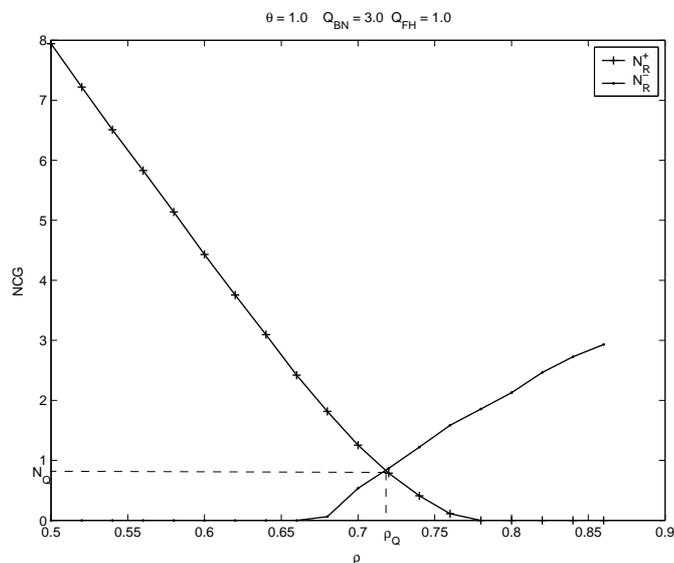


Fig. 2. Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 1$ e $Q(\%) = (3; 1)$

A tabela I apresenta valores de Q e N_Q quando o parâmetro de mobilidade θ varia de 0, 2 a 10 para três pares de requisitos de qualidade, mantendo os mesmos valores de N_c e μ . Deve ser observado que para os três valores de Q , a máxima intensidade de tráfego que o sistema agüenta sem violar os requisitos de QoS diminui com o aumento da mobilidade. Da mesma forma, o número de recursos reservados aumenta quando o parâmetro de mobilidade aumenta. Este comportamento é esperado uma vez que para atender o aumento de solicitações de *handoffs*, no cenário em que $Q_{FH} < Q_{BN}$, há uma necessidade de reservar mais canais para o uso exclusivo das chamadas que estão fazendo o *handoff* e portanto reduzindo a utilização média do sistema.

TABELA I
VALORES DE ρ_Q E N_Q PARA TRÊS CONJUNTOS DE REQUISITOS DE QUALIDADE Q (EXPRESSOS EM PORCENTAGEM) E PARÂMETRO DE MOBILIDADE θ VARIANDO DE 0, 2 A 10.

θ	$\rho_Q(5;3)$	$N_Q(5;3)$	$\rho_Q(3;1)$	$N_Q(3;1)$	$\rho_Q(1;0,5)$	$N_Q(1;0,5)$
0, 2	0, 808	0, 370	0, 740	0, 662	0, 661	0, 426
1	0, 793	0, 417	0, 718	0, 834	0, 652	0, 489
2	0, 785	0, 445	0, 705	0, 972	0, 647	0, 532
4	0, 778	0, 480	0, 695	1, 086	0, 642	0, 571
6	0, 774	0, 514	0, 690	1, 130	0, 639	0, 603
8	0, 771	0, 535	0, 687	1, 158	0, 636	0, 659
10	0, 769	0, 551	0, 686	1, 175	0, 634	0, 700

A linha horizontal na figura 2 exemplifica o comportamento de uma estratégia de controle de admissão fixa onde o número de recursos reservados é $N_R = 0,834$, ou seja o valor ótimo para os parâmetros $\theta = 1$, $N_c = 30$ e $\rho = \rho_Q$. No entanto, a Tabela I mostra que para outros valores do par (ρ, θ) o valor de $N_R = N_Q$, que permite que o sistema atenda a maior demanda de tráfego, sem que os objetivos de qualidade de serviço sejam excedidos, varia bastante. Este

comportamento sugere que seja buscado um procedimento de controle de admissão dinâmico que permita ajustar N_R em função de valores medidos ou estimados de θ e ρ , já que durante a operação de um sistema celular espera-se que esses parâmetros variem consideravelmente ao longo do dia. Um algoritmo dinâmico para este problema irá determinar um valor de $N_R(t) \in [N_R^+, N_R^-]$ para $0 \leq \rho \leq \rho^*$, onde $\rho^* \leq \rho_Q$ é o maior valor de intensidade de tráfego ρ que permite que as condições desejadas \mathbf{Q} de qualidade de serviço sejam atendidas. Se for adotado como objetivo a maximização da utilização do sistema, respeitadas as restrições \mathbf{Q} , então o algoritmo de admissão deve manter $N_R(t) = N_R^-(\theta, \rho, N_c)$ a medida que ρ e θ variam com o tempo. Esta afirmativa é verdadeira pois ao utilizar o menor número possível de recursos reservados para *handoff* que permita satisfazer \mathbf{Q} estará disponível uma maior quantidade possível de canais livres que podem ser alocados para a totalidade do tráfego de entrada. Essa política permite a maior utilização dos recursos de acordo com as restrições impostas. Note que a solução fixa da figura 2 não atenderia este princípio para situações de ρ variável já que se afasta em muito da curva correspondente a N_R^- .

A próxima Seção apresenta um algoritmo baseado em tabelas cujo objetivo é que o número de recursos reservados $N_R(t)$ seja o mais próximo possível de $N_R^-(\theta, \rho, N_c)$ para uma ampla gama de valores de ρ .

IV. UM ALGORITMO DINÂMICO PARA CONTROLE DE ADMISSÃO COM DUAS RESTRIÇÕES DE QUALIDADE DE SERVIÇO

O algoritmo de controle de admissão de chamadas CAC_{TB} , proposto neste trabalho, tem como objetivo buscar o número ótimo de recursos a ser reservado, N_R , para cada cenário. O par de requisitos de QoS ($Q_{BN}; Q_{FH}$) e as condições de tráfego ($\rho; \theta$) definem o cenário. Neste algoritmo, os requisitos de QoS, \mathbf{Q} , determinam uma tabela com os valores ótimos de N_R para cada par $(\rho_i; \theta_j)$, $i = 1, 2, \dots, n_t$ e $j = 1, 2, \dots, n_m$. Os valores de n_t e n_m bem como da gama de variação dos valores de ρ e θ dependem da variação esperada destes parâmetros na operação real do sistema. A tabela utilizada para a obtenção dos resultados numéricos possui $n_t = 201$ colunas com os valores de θ_i igualmente espaçados no intervalo $[0; 10]$ e $n_m = 201$ linhas aonde os valores de ρ_i satisfizeram a regra de formação $\rho_i = \rho_{min} + i\Delta$, $i = 1, 2, \dots, n_m$ com $\rho_{min} = 0,5$ e $\Delta = 0,005$. O cálculo da tabela é feito antes de ser iniciada a operação do sistema. Com isso os valores ótimos instantâneos de $N_R(t)$ podem ser obtidos de forma rápida e também reduzindo a demanda sobre a capacidade de processamento da ERB.

Para que o algoritmo possa ter um bom desempenho é necessário fazer medidas dos valores de θ e ρ durante a operação da rede. Nos resultados de simulação aqui apresentados as medidas dos valores de θ e ρ são feitas através do registro das tentativas de alocação dos usuários novos e de *handoff* em janelas deslizantes no decorrer de toda a operação do sistema. No entanto, procedimentos mais sofisticados podem ser empregados inclusive com informações obtidas através de técnicas de previsão de movimento.

Cada sistema (célula ou setor) realiza individualmente suas próprias medidas. Periodicamente as medidas são atualizadas e o valor ótimo de N_R é consultado na tabela para o par (ρ, θ) instantâneo obtido das janelas de registros dos usuários. Portanto, o procedimento de controle de admissão é distribuído. Cada sistema (célula ou setor) define qual a quantidade de recursos a ser reservada de acordo com as suas próprias medidas de intensidade de tráfego, ρ , e de mobilidade de seus usuários, θ .

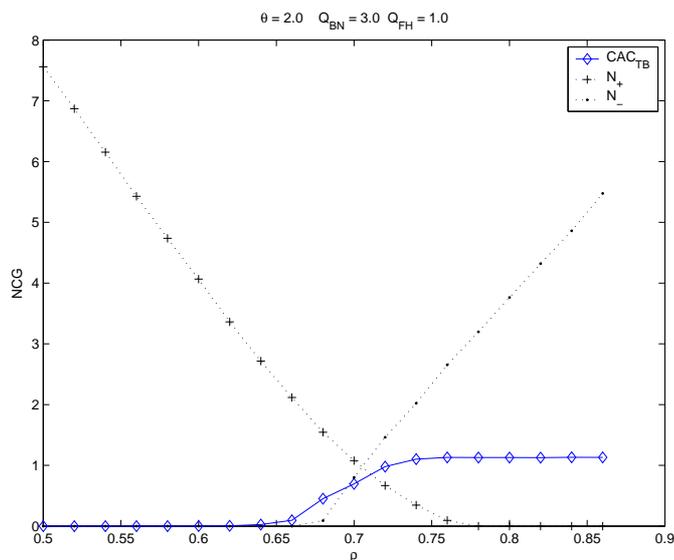


Fig. 3. Comportamento do algoritmo CAC_{TB} com ρ para $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$.

O desempenho de CAC_{TB} é ilustrado nas Figuras 3 a 5 para três diferentes valores de θ e de pares de restrições \mathbf{Q} . Para obtenção destes resultados a simulação utiliza uma célula que contém três setores que são sistemas independentes, cada setor possui um total de $N_c = 30$ canais. As chamadas possuem duração média de $\mu = 120s$. As figuras também incluem as curvas para os limitantes N_R^- e N_R^+ .

Como pode ser visto, para as três situações ilustradas o algoritmo baseado em uma tabela pré-calculada consegue acompanhar a curva ótima representada por N_R^- para grande faixa de valores de ρ . Apenas na região onde o valor de N_R^- se afasta de zero, erros mais perceptíveis ocorrem. Mesmo assim, essa é uma região bastante pequena. Note-se ainda que o ponto, ρ^* onde a curva correspondente ao CAC_{TB} cruza a curva N_R^- , ou seja deixa de satisfazer as duas restrições de QoS é muito próximo da intensidade de tráfego máxima ρ_Q em todos os três casos. Resultados semelhantes foram obtidos para outros valores de θ para cada um dos valores de \mathbf{Q} considerados. Espera-se encontrar resultados ainda melhores se métodos mais sofisticados forem empregados para estimar θ e ρ .

A seguir, uma nova medida é proposta para um cenário aonde se busca simultaneamente maximizar a utilização (U) e atender as restrições de qualidade de serviço especificadas. Nessa situação o objetivo é manter o número de recursos reservados, $N_R(t)$ o mais próximo possível do valor ótimo, N_R^- , enquanto houver solução possível, ou seja: $\rho < \rho_Q$.

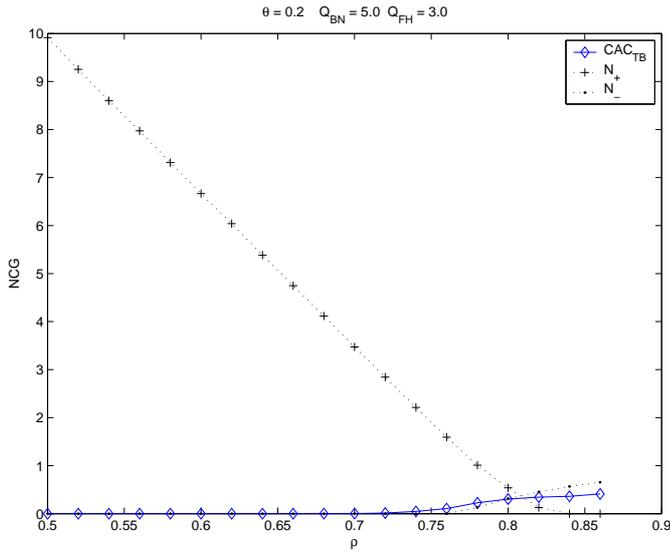


Fig. 4. Comportamento do algoritmo CAC_{TB} com ρ para $\theta = 0,2$ e $Q(\%) = (5;3)$.

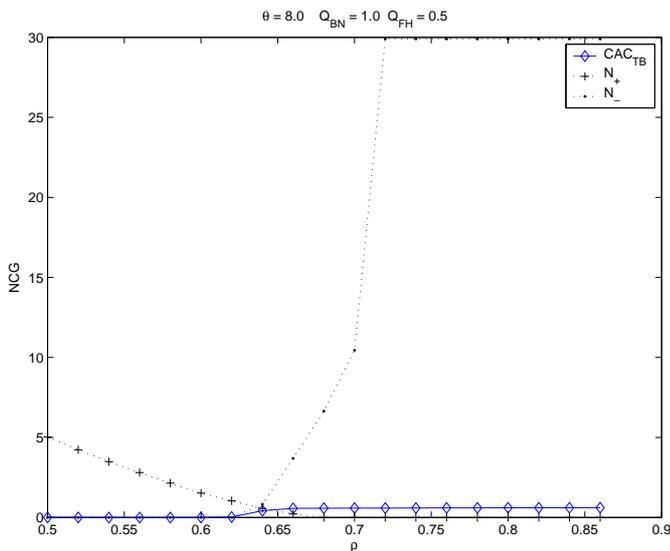


Fig. 5. Comportamento do algoritmo CAC_{TB} com ρ para $\theta = 8$ e $Q(\%) = (1;0,5)$.

Portanto a métrica deve avaliar a proximidade entre o valor de recursos definido pelo algoritmo N_R e o valor ótimo definido por N_R^- . A medida M aqui proposta é expressa por:

$$M = \frac{|N_R - N_R^-|}{|N_R^+ - N_R^-|} \quad (14)$$

Note-se que na definição da medida foi incluído um parâmetro de normalização correspondente à distância entre N_R^- e N_R^+ determinada, para cada valor de intensidade de tráfego e de mobilidade dos usuários ($\rho; \theta$), pelos requisitos de QoS, Q_{FH} e Q_{BN} , respectivamente. Ou seja, o parâmetro de normalização corresponde à distância entre os limitantes inferior e superior do lugar geométrico das soluções viáveis. Desta forma o valor de M deverá sempre estar no intervalo $[0, 1]$, sendo que quanto menor o seu valor melhor é o desempenho.

As Tabelas II a IV apresentam os valores de M obtidos para o desempenho do CAC_{TB} para três diferentes pares de restrições de QoS. Para comparação e balizamento as tabelas também incluem os valores de M para soluções do problema de controle de admissão com um número fixo de recursos reservados para duas situações: $N_R(t) = 1$ e $N_R(t) = 0,5$. Finalmente são ainda apresentados resultados de desempenho para o algoritmo CAC_{DF} (Controle de Admissão de Chamadas Dinâmico e Fracionário) que foi proposto na referência [7].

TABELA II
COMPORTAMENTO DE M PARA $Q(\%) = (3;1)$.

θ	CAC_{TB}	CAC_{DF}	0,5CG	1,0CG
0,2	0,018	0,024	0,099	0,268
1	0,023	0,040	0,119	0,290
2	0,063	0,148	0,226	0,324
4	0,031	0,029	0,149	0,309
6	0,036	0,031	0,150	0,320
8	0,030	0,035	0,149	0,325
10	0,030	0,043	0,146	0,327
\bar{M}	0,033	0,050	0,148	0,309

TABELA III
COMPORTAMENTO DE M PARA $Q(\%) = (5;3)$.

θ	CAC_{TB}	CAC_{DF}	0,5CG	1,0CG
0,2	0,015	0,051	0,181	0,457
1	0,012	0,036	0,196	0,428
2	0,026	0,056	0,233	0,578
4	0,016	0,063	0,204	0,407
6	0,014	0,081	0,212	0,425
8	0,014	0,092	0,217	0,434
10	0,009	0,112	0,220	0,440
\bar{M}	0,015	0,070	0,209	0,453

TABELA IV
COMPORTAMENTO DE M PARA $Q(\%) = (1;0,5)$.

θ	CAC_{TB}	CAC_{DF}	0,5CG	1,0CG
0,2	0,246	0,745	0,431	2,207
1	0,025	0,025	0,227	0,493
2	0,035	0,048	0,248	0,584
4	0,078	0,266	0,226	0,857
6	0,008	0,023	0,222	0,445
8	0,005	0,033	0,226	0,452
10	0,005	0,040	0,228	0,456
\bar{M}	0,058	0,168	0,258	0,785

Como pode ser visto nas tabelas II a IV, o CAC_{TB} apresenta o menor valor médio, \bar{M} , para todos os três casos de Q considerados. O seu desempenho é bastante superior ao dos procedimentos fixos. O comportamento do CAC_{DF} também é muito bom embora inferior ao do CAC_{TB} . O desempenho do CAC_{DF} é ainda mais significativo pois o mesmo não foi concebido explicitamente para acompanhar a curva de N_R^- .

V. CONCLUSÕES

Este artigo abordou o problema de controle de admissão com duas restrições de qualidade de serviço e tempo de retenção do recurso de rádio por uma chamada com

distribuição exponencial. Foi apresentado um método que permite calcular, para um determinado perfil de mobilidade, a intensidade de tráfego máxima a qual o sistema pode ser submetido sem violar os valores de qualidade de serviço estabelecidos. Este método permite não só identificar o número de recursos de rádio que deve ser reservado para garantir a operação no ponto de tráfego máximo, (N_Q, ρ_Q) , mas também a quantidade de recursos a ser reservada para diferentes valores de intensidade de tráfego se o objetivo buscado é maximizar a utilização do sistema. Foi então proposto um algoritmo, CAC_{TB} , dinâmico e distribuído, baseado em medidas em tempo real, cuja meta é acompanhar essa curva ótima de número de recursos reservados, (N_R^-, ρ) , quando a intensidade de tráfego na rede e demanda por *handoffs* variam. O desempenho deste novo procedimento foi avaliado por simulação tendo sido verificado que o mesmo tem excelente desempenho para diversos valores do parâmetro de mobilidade e pares de restrições de qualidade de serviço. O comportamento do novo algoritmo foi também comparado com aquele de algoritmos fixos e com o de outro procedimento dinâmico proposto anteriormente pelos autores, CAC_{DF} . Essa comparação foi feita através da definição de uma nova métrica que reflete a distância entre o resultado apresentado por um particular algoritmo e a curva ótima de desempenho. Foi mostrado que o desempenho do novo procedimento é superior ao das outras opções. No entanto o comportamento do algoritmo dinâmico CAC_{DF} é também bastante bom. O próximo passo nessa pesquisa será avaliar o desempenho do CAC_{TB} para outras distribuições de tempo de retenção do canal.

REFERÊNCIAS

- [1] D.Hong e S.S.Rappaport, *Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures*. IEEE Trans. on Vehicular Tech., 35 (8): 77-92, Agosto 1986.
- [2] M.H.Ahmed, *Call admission control in wireless networks: a comprehensive survey*. Communication Survey and Tutorials, vol. 7, no.1, 2005.
- [3] J. Diedrich e M. Zitterbart, *handoff prioritization schemes using early blocking*, IEEE Communication Survey and Tutorials, vol. 7, no.2, 2005.
- [4] M.M. Zonoozi e P.Dassanayake, *User mobility and characterization of mobility patterns*. IEEE J. on Selected Areas on Comm., 15(7):1239-1252, Setembro 1997.
- [5] R.Ramjee, R. Nagarajan e D. Towsley, *On optimal call admission control in cellular networks.*, Proc.IEEE Infocom, pp.43- 50, San Francisco, Março 1996.
- [6] F.A.Cruz-Pérez, D.Lara-Rodriguez e M.Lara, *Fractional reservation in mobile communication systems*, IEE Electronics Letters, pp. 2000 - 2002, vol.35, no.23, November 1999.
- [7] C.Quevedo-Lodi e J.R.B.de Marca, *Estratégia Dinâmica para Controle de Admissão de Chamadas com QoS em Sistemas celulares*, XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2004.