

# Estratégia Dinâmica para Controle de Admissão de Chamadas com QoS em Sistemas Celulares

Cláudia Quevedo-Lodi e José Roberto B. de Marca <sup>(1)</sup>  
CETUC - PUC-Rio

**Resumo**—Este trabalho considera o problema do controle de admissão com provisão de qualidade de serviço. Primeiramente uma nova medida de desempenho para o problema de controle de admissão é proposta. A seguir um novo algoritmo de controle de admissão dinâmico, distribuído e probabilístico é descrito. Este algoritmo busca maximizar a utilização dos canais do sistema atendendo aos requisitos de QoS pré-estabelecidos. Resultados de simulação mostram que a estratégia proposta apresenta um excelente desempenho para um cenário onde a demanda de tráfego é variável no tempo.

**Palavras-Chave**—Controle de Admissão de chamadas, Handoff, Canais de Guarda, Cadeias de Markov.

**Abstract**— This work addresses the problem of QoS-Aware Distributed Dynamic Call Admission Control . First a new measure of admission control performance is proposed. Then a novel probabilistic dynamic admission control algorithm is described which attempts to maximize this new objective function. Simulation results for time variable traffic demands are presented indicating that the new strategy does provide very good results .

**Index Terms**— Call Admission Control, Handoff, Guard Channel, Markov Chain.

## I. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por comunicações móveis, há a tendência da utilização de células cada vez menores (micro e pico células) que, com a diminuição da distância de reutilização de frequência, aumentam a capacidade do sistema. Como consequência da diminuição do tamanho das células há o aumento do número de tentativas de *handoffs* por usuários em movimento. Este aumento do número de *handoffs* e a inclusão de novas classes de usuários com distintos requisitos de qualidade de serviço, QoS, exigem que os protocolos de controle de admissão de chamadas, CAC, sejam cada vez mais sofisticados.

A área de controle de admissão tem sido objeto de diversos estudos ao longo das duas últimas décadas. Desde cedo foi estabelecido como padrão de qualidade que a interrupção de uma chamada em andamento, por falha do procedimento de *handoff*, incomoda mais ao usuário do que a não obtenção de um canal para iniciar uma chamada nova. Esse requisito de QoS pode ser descrito pela Eq. (1) onde  $P_{FH}$  é a probabilidade de falhas de *handoff* e  $P_{BN}$  é a probabilidade de bloqueio de chamadas novas.

$$P_{FH} \leq P_{BN} \quad (1)$$

O objetivo acima pode ser alcançado através da reserva de recursos exclusivos para as chamadas que estejam em procedimento de *handoff*. Esses recursos são chamados de canais de guarda. Os demais canais são ditos ordinários. O conceito de canais de guarda foi proposto por [1]. Desde então, muitos trabalhos publicados procuram definir o número ideal de canais a serem reservados para o *handoff*. Nos trabalhos mais recentes há a preocupação em se obter sistemas que sejam dinâmicos, capazes de encontrar o número de canais de guarda adequado às condições do tráfego em andamento. A maior parte dos trabalhos considera apenas uma classe de usuários que seriam os usuários de voz.

O algoritmo apresentado neste trabalho determina o número de canais de guarda em cada setor,  $N_{CG}$ , de uma forma dinâmica e distribuída. Cada setor adapta o seu valor de  $N_{CG}$  de uma forma independente dos demais setores do sistema e de acordo com o tráfego em andamento naquele setor. Uma outra característica do algoritmo proposto é que não existe a restrição de que o número de canais de guarda deva ser inteiro.

Na próxima Seção é apresentado um modelo analítico para o controle de admissão de chamadas para duas classes de usuários. Este modelo pode ser facilmente estendido para um número maior de classes. As classes de usuários são definidas de acordo com as suas demandas por unidades de banda, UB. Na Seção III é proposta uma nova medida de desempenho para o problema de controle de admissão com restrições de QoS. O algoritmo CAC-DF proposto neste trabalho, e apresentado na Seção IV, busca maximizar essa medida. O desempenho deste algoritmo é avaliado na Seção V através da simulação da operação em uma célula de um sistema móvel celular onde a razão entre as taxas de chegada de chamadas novas e de *handoff* varia ao longo do tempo. O

(1) Cláudia Quevedo-Lodi, Escola Naval MB, e J. Roberto B. de Marca, Centro de Estudos em Telecomunicações, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, E-mails: claudiaq@cetuc.puc-rio.br, jrbrm@cetuc.puc-rio.br .

comportamento do algoritmo proposto é também comparado com o resultado analítico para o desempenho do sistema com um número fixo de canais de guarda. Comentários finais são tecidos na seção V.

## II. O MODELO

No modelo utilizado nesse trabalho, tanto o processo de chegada de novas chamadas quanto o de chegada de chamadas em *handoff* são considerados como Processos de Poisson independentes. Tal modelo é largamente utilizado na literatura por descrever bem o comportamento de usuários e por possibilitar a determinação de expressões analíticas para alguns casos específicos.

As taxas médias de chegada ao setor de novas chamadas e de solicitações de *handoff* são expressas por  $\lambda_N$  e  $\lambda_H$ , respectivamente. Essas taxas estão relacionadas com a taxa de chegada total  $\lambda$  através das equações:

$$\lambda_N = (1-\gamma)\lambda \quad (2)$$

$$\lambda_H = \gamma\lambda \quad (3)$$

$$\lambda_N/\lambda_H = \theta(t) = [1-\gamma(t)]/\gamma(t) \quad (4)$$

Como pode ser observado da equação 3 o parâmetro  $\gamma$  que define qual a fração do tráfego total que chega ao setor (ou célula) é devida a solicitações de *handoff* é suposto variar ao longo do tempo. Essa consideração cujo intuito é verificar a capacidade dos sistemas dinâmicos de se adaptar as variações temporais é uma das características deste trabalho.

O problema de controle de admissão de chamadas pode ser modelado de forma genérica por uma cadeia de Markov M-dimensional, onde  $M$  é o número de classes, [3], [4]. Cada estado é representado pelo número de usuários em cada classe. Em um sistema com duas classes de usuários, temos portanto uma cadeia bi-dimensional.

A quantidade total de recursos (ou unidades de banda) do sistema é representada por  $C$  e a quantidade de unidades de banda requerida pela classe  $i$  é representada por  $N_{UBi}$ .

O número máximo de usuários da classe  $i$  é determinado por:

$$N_i = \left\lfloor \frac{C}{N_{UBi}} \right\rfloor \quad (5)$$

Para o caso bi-dimensional, cada estado  $(n_1, n_2)$  é definido pelo número de usuários de cada classe,  $n_i$ . A existência ou não do estado é determinada pela equação 6.

$$n_1 N_{UB1} + n_2 N_{UB2} \leq C \quad (6)$$

O conjunto de estados da cadeia bi-dimensional é ilustrado na Fig. 1, onde temos  $C=30$ ;  $N_{UB1}=1$ ;  $N_{UB2}=2$ .

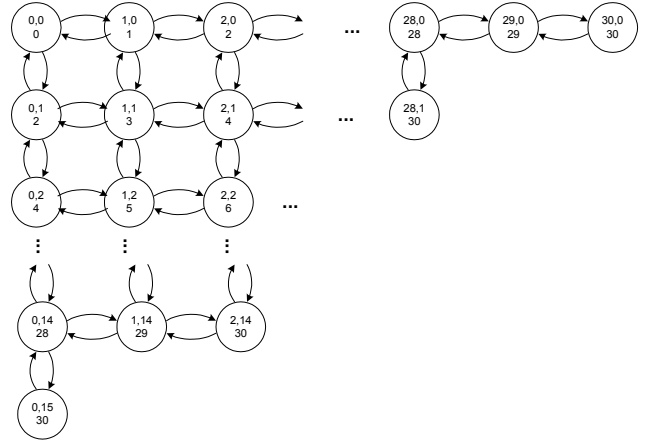


Figura 1- Diagrama de estados da cadeia de Markov bi-dimensional

Cada estado da cadeia dá origem a uma equação de equilíbrio de fluxo. Considerando os  $K$  estados possíveis, temos  $K$  equações correspondentes. Dessas, são escolhidas  $K-1$  equações, que associadas à equação:

$$\sum_{a=0}^{N_1} \sum_{b=0}^{N_2} P_{a,b} \alpha_{ab} = 1 \quad (7)$$

formam um sistema de  $K$  equações e  $K$  incógnitas. As incógnitas são as probabilidades de cada estado  $P_{a,b}$ , ou seja a probabilidade que existam no sistema  $a$  usuários de classe 1 ( $n_1 = a$ ) e outros  $b$  de classe 2. Os coeficientes  $\alpha$  denotam a existência ( $\alpha=1$ ) ou não ( $\alpha=0$ ) do estado. Resolvido o sistema obtém-se as probabilidades de cada estado.

Um usuário da classe  $i$  sofre falha de *handoff* se o setor pretendido não comportar a demanda de unidades de banda desse novo usuário. Essa verificação é feita através da equação (8).

$$(n_1 N_{UB1} + n_2 N_{UB2}) + 1 N_{UBi} > C \quad (8)$$

Utilizando a Eq. (8) para definir os estados  $(n_1, n_2)$  em que o sistema está lotado, a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff* é a soma das probabilidades de todos os  $n$  estados que atendem (6) e que também atendem (8):

$$P_{FH} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (9)$$

Para determinar a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, deve-se considerar que as chamadas novas têm acesso apenas aos canais ordinários, definidos por:

$$n_1 N_{UB1} + n_2 N_{UB2} \leq C - N_{CG} \quad (10)$$

Considerando apenas os canais ordinários, o bloqueio de uma chamada nova se dará nos casos em que, acrescentando mais um usuário a condição expressa pela Eq. (11) passa a ser satisfeita.

$$(n_1 N_{UB1} + n_2 N_{UB2}) + 1N_{UBi} > C - N_{CG} \quad (11)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova é dada pela soma das probabilidades de todos os estados que atendem simultaneamente a (10) e (11).

Para calcular as probabilidades de bloqueio de chamada nova,  $P_{BN}$ , e de falha de handoff,  $P_{FH}$ , no caso em que as razões entre as taxas médias de chegada de novas e de handoff variam no tempo consideramos que o parâmetro  $\theta$ , definido em (4) é uma variável aleatória uniforme.

$$\theta = \text{v.a. uniforme } [1 ; 2] \quad (12)$$

$$P_{BN} = \int_{-\infty}^{+\infty} P_{BN}(\theta) p_{\theta}(\theta) d\theta = E[P_{BN}(\theta)] \approx \frac{1}{N} \sum_i P_{BN}(\theta_i) \quad (13)$$

$$P_{FH} = \int_{-\infty}^{+\infty} P_{FH}(\theta) p_{\theta}(\theta) d\theta = E[P_{FH}(\theta)] \approx \frac{1}{N} \sum_i P_{FH}(\theta_i) \quad (14)$$

### III. FUNÇÃO MEDIDA DE DESEMPENHO

Existem dois objetivos que são contraditórios ao considerarmos o problema de controle de admissão: dar prioridade aos usuários que solicitam handoff e obter uma utilização máxima do sistema. Em geral a utilização máxima é obtida quando as chamadas novas e chamadas em handoff são tratadas de forma equânime, ou seja  $N_{CG} = 0$ . Já a redução da  $P_{FH}$  requer em geral valores de  $N_{CG} > 0$ .

Uma outra dificuldade é como definir uma medida de desempenho que possa ser usada para avaliação de algoritmos de controle de admissão e que reflita as necessidades de atendimento de requisitos de QoS por parte das operadoras.

A seguir uma nova função objetivo é proposta, expressa pela equação 15, onde se pretende simultaneamente maximizar a utilização ( $U$ ) e manter a probabilidade de falha de handoff o mais próxima possível, mas não superior, ao respectivo valor limite de QoS ( $Q_{HF}$ ):

$$F = \begin{cases} \frac{U}{\left(1 - \frac{P_{FH}}{Q_{HF}}\right)}, & P_{FH} < Q_{HF} \\ U \cdot \left(1 - \frac{P_{FH}}{Q_{HF}}\right), & P_{FH} > Q_{HF} \end{cases} \quad (15)$$

O comportamento da função proposta pode ser observado na Fig. 2.

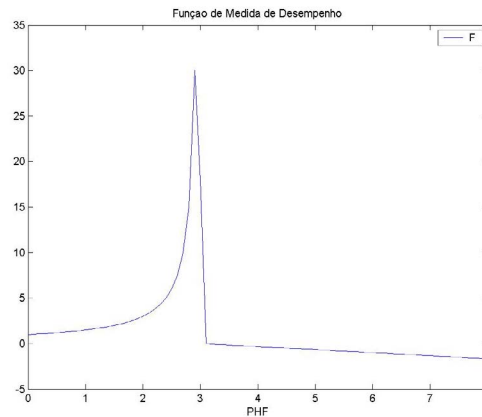


Figura 2 – Função Medida de desempenho

### IV. DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

O algoritmo proposto busca maximizar a função  $F$  através da determinação do melhor valor de  $N_{CG}$  para as condições instantâneas de tráfego e requisitos pré-estabelecidos de QoS. Este algoritmo faz uso do conceito de número fracionário de canais de guarda. Nas referências [4] e [5] foi demonstrado que o uso de um número fracionário de canais de guarda é ótimo quando satisfeitas algumas condições. Ou seja, a restrição de que o número de canais de guarda seja um número inteiro reduz a flexibilidade na busca do ponto ótimo de operação de uma estratégia de controle de acesso. A implementação do método fracionário pode ser feita de forma probabilística. Para um determinado valor de  $N_{CG}$  é especificada uma probabilidade de aceitação da nova chamada que está relacionada a um valor equivalente, fracionário, do número de canais de guarda. Por este motivo, algoritmos de CAC que seguem esta filosofia são também chamados de procedimentos probabilísticos [4].

No algoritmo proposto os sucessos e falhas de alocação das chamadas novas e de handoff, em cada setor, são monitorados por uma janela deslizante de tamanho  $B$ . Na simulação utilizou-se uma janela com  $B = 500$  amostras. A partir desta janela de medidas é possível ter uma estimativa instantânea do desempenho do algoritmo de admissão com relação aos parâmetros de QoS estabelecidos. Consideraremos  $Q_{FH}$  como sendo o valor limitante de qualidade (QoS) estabelecido para  $P_{FH}$ . A seguir o novo algoritmo é descrito.

#### Algoritmo CAC-DF

1) A simulação se inicia com o número de canais de guarda em cada setor igual a zero, valor que maximiza a utilização. O parâmetro  $\theta$  é variado a cada intervalo de 20 minutos.  $N_{CG} = 0$

2) A primeira vez que o valor medido de  $P_{FH}$  ultrapassar o valor de  $Q_{FH}$ , o valor de  $N_{CG}$  do setor é aumentado de uma unidade:

$$P_{FH} > Q_{FH} \Rightarrow N_{CG} = N_{CG} + 1.$$

3) Após um intervalo de meia janela de decisões de *handoff* ( $B/2=250$ ) é verificado novamente o valor de  $P_{FH}$ ;

$$i) \Delta = Q_{FH} - P_{FH} < 0 \Rightarrow N_{CG} = N_{CG} + 1$$

$$ii) \Delta = Q_{FH} - P_{FH} > 0 \Rightarrow N_{CG} = N_{CG} - D,$$

onde  $0 < D < 1$

4) Após  $B/4$  (125) amostras de decisões verificar novamente o valor de  $\Delta = Q_{HF} - P_{HF}$

$$a) \text{ Se } \Delta > 0 \Rightarrow N_{CG} = N_{CG} - D$$

$$b) \text{ Senão } (\Delta < 0) \Rightarrow N_{CG} = N_{CG} + D.$$

5) Prosseguir repetindo o passo 4 até que  $P_{HF} > Q_{HF}$  e  $P_{NB} > 1.1 Q_{NB}$ , interromper a adaptação até que um dos critérios volte a ser satisfeito ou até que a simulação se encerre, onde  $Q_{NB}$  é o valor máximo estipulado para  $P_{NB}$ .

O valor de  $D$  utilizado no ajuste fracionário é variável e depende do valor instantâneo de  $\Delta$  através da expressão:

$$D = \left| 1 - \frac{P_{HF}}{Q_{HF}} \right|. \text{ Note que quando o valor de } \Delta \text{ for pequeno o}$$

passo na adaptação será igualmente pequeno, procurando buscar o pico da função  $F$ .

Observe-se que o algoritmo proposto CAC-DF (*Controle de Admissão de Chamadas Dinâmico e Fracionário*) tem como objetivo variar o número de canais de guarda em cada setor,  $N_{GC}$ , de forma a manter o percentual de falha de *handoff* abaixo do valor de QoS ( $Q_{HF}$ ) sem que a utilização no sistema seja significativamente degradada.

## V. RESULTADOS

Na simulação do algoritmo CAC-DF foi adotado como critério de QoS o requisito de que o percentual de falha de *handoff* não fosse superior a  $Q_{HF} = 3\%$ . A simulação foi realizada com apenas uma classe de usuários.

As Figuras 3 e 4 ilustram o desempenho do novo algoritmo em termos de probabilidade de falha de *handoff* e de probabilidade de bloqueio de novas chamadas, respectivamente. Pode ser visto que em ambas as Figuras o comportamento do CAC-DF se situa entre as curvas correspondentes ao uso (fixo) de 0CG e de 1CG. Observe-se que para tráfegos baixos, o sistema se comporta como 0CG, visando a máxima utilização dos canais, desde que atendida a condição de QoS de  $P_{HF} < Q_{HF} = 3\%$ . Para tráfegos intermediários, a curva de  $P_{HF}$  sofre uma inclinação (correspondente a valores de  $N_{CG} > 0$ ) de modo a manter o desempenho abaixo do limite de 3%. No entanto, para tráfegos muito altos, não é mais possível satisfazer os requisitos de QoS e o sistema volta a se portar como 0CG, procurando apenas maximizar a utilização dos canais.

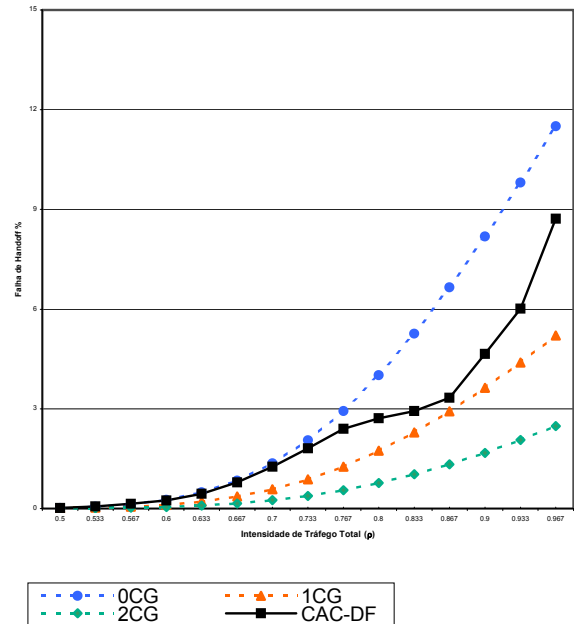


Figura 3- Percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego. Resultados para número fixo de canais de guarda são teóricos enquanto que para o algoritmo dinâmico foram obtidos através de simulação.

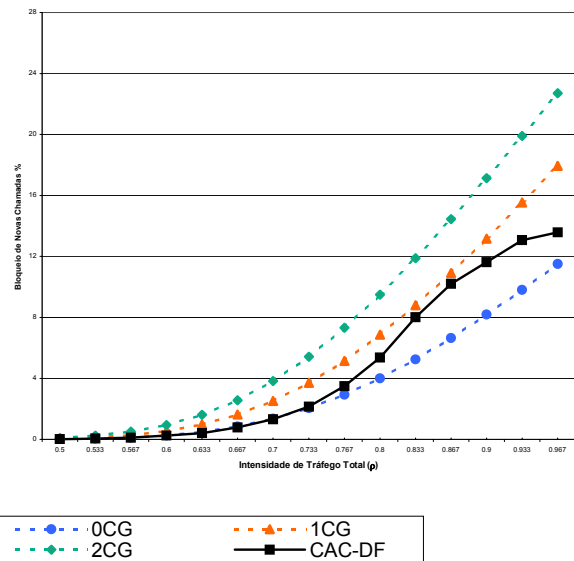


Figura 4 – Percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego. Resultados para número fixo de canais de guarda são teóricos enquanto que para o algoritmo dinâmico foram obtidos através de simulação.

A Figura 5 demonstra a característica fracionária do algoritmo e que, efetivamente, para os parâmetros de

simulação escolhidos o CAC-DF opera na maior parte do tempo com valores de  $N_{CG}$  situados entre 0 e 1.

De acordo com a função de medida de desempenho definida na equação 15, pode ser observado da Fig. 6, que o algoritmo CAC-DF apresenta um desempenho muito superior a aquele dos sistemas fixos. Para obtenção desta figura foi fixado um ponto de operação desejado correspondente ao carregamento de tráfego que resulta em  $P_{BN} = 5\%$ . Foi verificado também que o CAC-DF permite um desempenho superior à de outros algoritmos dinâmicos que trabalham apenas com valores inteiros de  $N_{CG}$ .

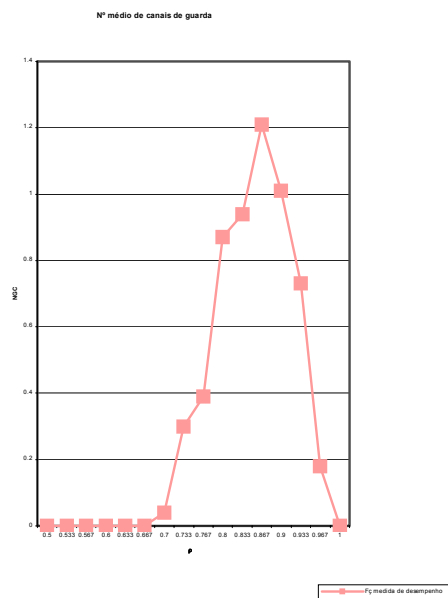


Figura 5 – Número médio de canais de guarda

## VI. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o cálculo analítico da probabilidade de falha de *handoff* e também da probabilidade de bloqueio de novas chamadas em um sistema com canais de guarda em que a razão entre a taxa de chegada de chamadas novas e a taxa de chamadas em *handoff* varia ao longo do tempo. Os desempenhos dos sistemas fixos de controle de admissão, apresentados neste artigo, foram avaliados utilizando estes resultados analíticos.

Um novo algoritmo (CAC-DF), dinâmico, distribuído e fracionário, foi proposto para ajustar a quantidade de canais de guarda em cada setor de acordo com condições de tráfego que variam ao longo do tempo.

Foi proposta uma nova função para medida de desempenho para controle de admissão de chamadas que leva em consideração os parâmetros acordados de QoS. Resultados

de simulação demonstram que o novo algoritmo dinâmico apresenta um desempenho muito superior aos sistemas fixos para controle de admissão.

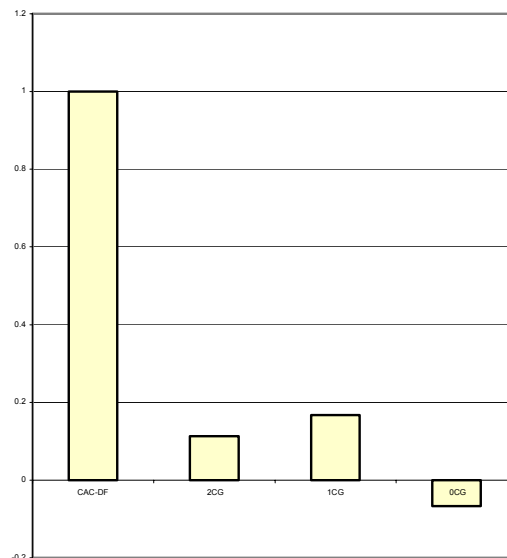


Figura 6 – Desempenho de diferentes métodos de controle de acesso com relação à medida F definida na Eq.(15).

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] D.Hong e S.S. Rappaport, *Traffic and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures*, IEEE Trans. On Vehicular Tech., vol.35,pp.77-92, Agosto de 1986.
- [2] W.Xue-Ping, Z. Jian-Li, Z. Wei e Z. Gen-Du, *A probability-based adaptive algorithm for call admission control in wireless network*, Proc. IEEE 2003 International Conference on Computer Networks and Mobile Computing (ICCNMC'03), pp.197 –204, Outubro de 2003.
- [3] T.C Wong, J.W.Mark e K.C.Chua, *Resource allocation in mobile cellular networks with QoS constraints*, Records, IEEE Wireless Comm. and Networking Conf - WCNC., pp. 717 – 722, Orlando, Março de 2002.
- [4] R.Ramjee, R. Nagarajan e D.Towsley, *On optimal call admission control in cellular networks*, Proc IEEE Infocon, pp.43-50, San Francisco, Março de 1996.
- [5] F.A. Cruz-Pérez, D. Lara-Rodriguez e M. Lara, *Fractional reservation in mobile communications systems*, IEE Electronics Letters, pp. 2000 – 2002, vol.35, no.23, Novembro de 1999.