

3

Modelo Analítico para Sistemas Móveis com uma Classe de Usuários

Neste capítulo é apresentado o modelo utilizado para o Controle de Admissão de Chamadas oriundas de usuários pertencentes a uma classe. Todos usuários requisitam a mesma quantidade de recursos e possuem os mesmos parâmetros de qualidade de serviço que são seus percentuais de bloqueio de chamadas novas (P_{BN}) e de falha de chamadas em *handoff* (P_{FH}).

Ao receber uma solicitação de canal, o Controle de Admissão de Chamada, CAC, verifica se a solicitação provém de um usuário novo tentando iniciar sua chamada ou de um usuário que já iniciou sua chamada em outra célula tentando fazer *handoff* para a célula em questão.

Sabendo que é preferível bloquear uma chamada nova a perder uma chamada em andamento, é aceitável que a taxa de bloqueio de novas chamadas P_{BN} , seja superior à taxa de terminação forçada por falha de *handoff* P_{FH} , equação (3-1).

$$P_{BN} \geq P_{FH} \quad (3-1)$$

A técnica conhecida como Canais de Guarda, inicialmente proposta por Hong , [31], [33], tem sido bastante utilizada em algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas por ser simples de implementar e apresentar bons resultados na prioridade de admissão aos usuários de *handoff* em detrimento dos usuários que iniciam sua chamada. O esquema de Canais de Guarda é apresentado na Seção 3.1.

Neste capítulo é feito o desenvolvimento analítico para o cálculo da probabilidade de bloqueio de novas chamadas P_{BN} , da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* P_{FH} , e utilização dos recursos U , de um sistema móvel celular. São considerados os casos de sistemas com e sem canais de guarda.

Na Seção 3.2 são feitas análises separadas para os casos de valores inteiros e fracionários para o número de canais de guarda N . O Modelo Geral é desenvolvido na Seção 3.3, onde são calculados P_{BN} e P_{FH} de um

sistema móvel celular com N canais de guarda. Neste caso, N pode assumir qualquer valor, inteiro ou fracionário.

O parâmetro de mobilidade dos usuários θ é definido na Seção 3.4. A utilização dos recursos do sistema é calculada na Seção 3.5.

O modelo analítico foi implementado em *MATLAB*® para o cálculo das probabilidades de bloqueio de novas chamadas e de falha de *handoff* em um sistema genérico. No programa em *MATLAB*® é possível definir o número de canais que o sistema possui, N_c , as taxas de chegada de usuários novos e de *handoff* λ_N e λ_H , e o número de canais de guarda. O programa calcula as probabilidades de bloqueio e a utilização do sistema. Seus resultados são apresentados na Seção 3.6.

3.1

Canais de Guarda

O procedimento de Canais de Guarda consiste em reservar alguns recursos exclusivamente para usuários em *handoff*. O objetivo dessa guarda de canais é garantir que, no caso do sistema estar quase lotado, os usuários em *handoff* tenham prioridade sobre os usuários que iniciam sua chamada. Como consequência, a taxa de bloqueio de novas chamadas, P_{BN} , se torna superior à taxa de terminação forçada por falha de *handoff*, P_{FH} , conforme indicado na equação (3-1).

3.1.1

Número Inteiro de Canais de Guarda

No sistema (célula ou setor) há uma quantidade total de recursos dada por N_c , que pode ser constituída por canais ou unidades de banda (UB). Dentre esses recursos, N são os recursos de guarda para os usuários em *handoff* e os demais T são ditos recursos ordinários, equação (3-2).

$$T = N_c - N \quad (3-2)$$

Ao receber uma solicitação de canal, no caso de usuário novo, os recursos necessários são buscados no grupo ordinário. No caso de um usuário em *handoff*, a busca de recursos também é feita no grupo ordinário, na hipótese de todos os canais ordinários estarem alocados, recorre-se ao grupo de canais de guarda, N . Tal procedimento é representado na figura 3.1.

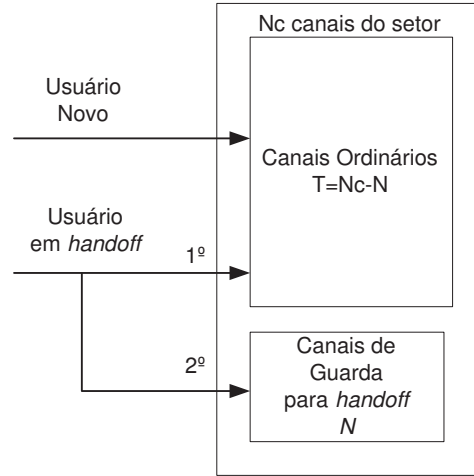


Figura 3.1: Canais de Guarda e Canais Ordinários.

A quantidade de canais de guarda pode ser fixa ou variar de forma dinâmica de acordo com as condições do tráfego em andamento.

Os trabalhos iniciais propõem a guarda de um número inteiro de canais de guarda por setor (ou célula), [31]. Posteriormente, surgiram outros que advogam um número fracionário para a reserva de recursos, [67][14]. Esta classe de algoritmos é conhecida como reserva de recursos fracionados e limitados (*Limited Fractional Reserved Resources-LFGC*).

3.1.2

Número Fracionário ou Probabilístico de Canais de Guarda

No caso de número de canais de guarda fracionário, N é um número real cuja parte inteira $\lfloor N \rfloor$ é maior ou igual a zero e cuja parte decimal é p , representado em (3-3).

$$N = \lfloor N \rfloor + p \quad (3-3)$$

Um número N de recursos de guarda fracionário, ou probabilístico, chamado de $P(N)$, é obtido com a utilização de $\lfloor N \rfloor$ canais de guarda com probabilidade $(1 - p)$ e de $(\lfloor N \rfloor + 1)$ canais de guarda com probabilidade p , conforme a equação (3-4).

$$P(N) = \lfloor N \rfloor(1 - p) + (\lfloor N \rfloor + 1)p \quad (3-4)$$

Se houver $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, um eventual usuário novo que necessite do recurso reservado terá uma probabilidade $(1 - p)$ de

consegui-lo. Ou seja, o recurso é reservado com probabilidade p .

O algoritmo de número fracionário igual a N canais de guarda é descrito a seguir e representado na figura 3.2.

– **Algoritmo N Fracionário**

- Se o usuário é de *handoff*, sempre que houver recursos disponíveis ele é alocado.
- Se o usuário é novo e houver $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, é feito o sorteio de um número aleatório X no intervalo $[0, 1]$. O resultado do sorteio X é comparado a $(N - \lfloor N \rfloor) = p$.
 - Se $X < p$ a chamada nova é bloqueada.
 - Se $X > p$ a chamada nova é alocada.
- Se o usuário é novo e houver menos que $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, a chamada nova é bloqueada.
- Se o usuário é novo e houver mais que $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, a chamada é alocada.

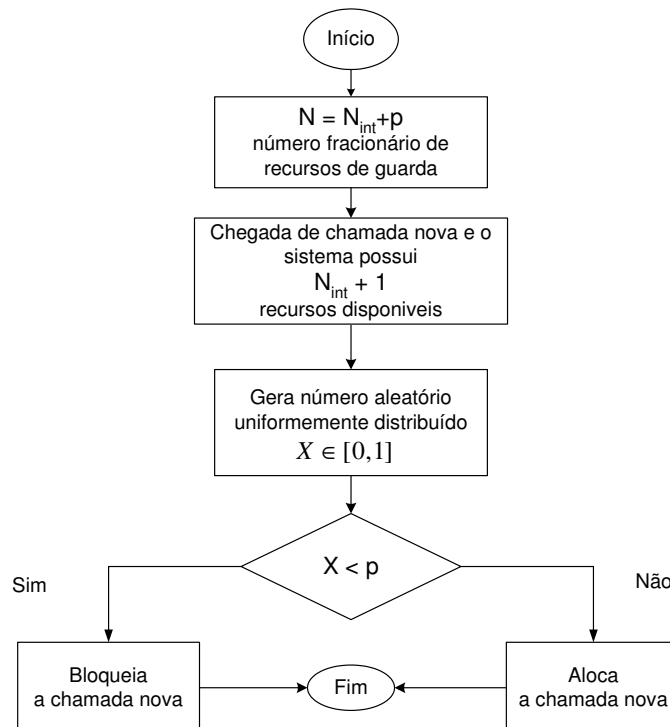


Figura 3.2: Número de Recursos de Guarda fracionário, N .

3.2

Modelo para Usuários de uma Classe

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , e a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff*, P_{FH} , são calculadas modelando o número de usuários ativos no sistema como estados de uma Cadeia de Markov.

O sistema possui um total de N_c canais que atuam como servidores. Os usuários chegam ao sistema através das taxas de chegada de usuários novos e de *handoff*; e saem do sistema com o fim do serviço que é o término da chamada.

No caso em que todos os usuários pertencem a uma só classe, cada usuário solicita a mesma quantidade de recursos do sistema para iniciar sua chamada. Esta situação equivale a um canal por chamada. Este sistema é modelado por uma cadeia de Markov onde a cada estado i corresponde igual número i de usuários ativos. No estado i chegam usuários com taxa de chegada λ_{i-1} e os usuários terminam a chamada com taxa μ_i , conforme a figura 3.3. A cadeia possui um total de $N_c + 1$ estados onde, cada estado corresponde ao número de canais que estão em uso, ou ao número de usuários em atividade no sistema. O primeiro estado, estado 0, corresponde ao sistema vazio e o último estado, estado N_c , corresponde ao sistema lotado.

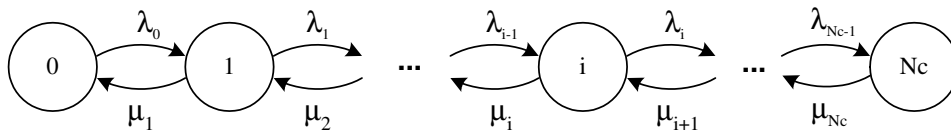


Figura 3.3: Cadeia de Markov 1D.

O problema é modelado segundo um sistema em regime permanente no qual a chegada de chamadas novas e em *handoff* se dá segundo duas distribuições de Poisson independentes com taxas λ_N e λ_H , respectivamente.

O tempo de retenção do recurso será aqui considerado segundo uma distribuição exponencial de média $1/\mu$.

O problema é modelado por um sistema de fila $M/M/N/N$, onde não há fila de espera. Como este é um processo de Nascimento e Morte, a razão entre a probabilidade estacionária do estado n e do estado zero é dada pela

equação (3-5).

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} \quad (3-5)$$

O sistema de uma classe de usuários pode operar sem canais de guarda, com um número inteiro ou com um número fracionário de canais de guarda. Os três casos são desenvolvidos nos itens a seguir.

3.2.1

Sistema de Uma Classe de Usuários sem Canais de Guarda

No sistema que opera sem canais de guarda, todos usuários tem acesso a todos canais. Esta é a situação que conduz a maior utilização do sistema.

A taxa de chegada de cada estado i é dada pela soma das taxas de chamadas novas, λ_N , e de chamadas em *handoff*, λ_H . A saída do estado i para o estado anterior $i - 1$ se dá cada vez que um usuário termina sua chamada. Tal sistema é representado pela cadeia de Markov da figura 3.4.

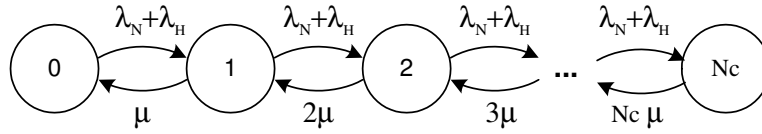


Figura 3.4: Sistema de uma classe sem canais de guarda.

As taxas de nascimento e morte de cada estado são dadas pelas equações (3-6) e (3-7), respectivamente.

$$\lambda_i = \lambda_N + \lambda_H, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1 \quad (3-6)$$

$$\mu_i = i\mu, \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad (3-7)$$

A razão entre as probabilidades de cada estado é dada pela equação (3-8), desenvolvendo chega-se a (3-9).

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (\lambda_N + \lambda_H)}{\prod_{j=1}^n j\mu} \quad (3-8)$$

$$\frac{P_n}{P_0} = \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} \quad (3-9)$$

A carga total do sistema, A , é definida na equação (3-10).

$$A = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \quad (3-10)$$

A intensidade de tráfego por canal, é dada por ρ em (3-11).

$$\rho = \frac{\lambda}{N_c \mu} = \frac{A}{N_c} \quad (3-11)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , é dada pela probabilidade de se encontrar o sistema cheio, P_{N_c} , dada pela fórmula Erlang B.

$$P_{BN} = P_{N_c} = \frac{A^{N_c}}{N_c! \left[\sum_{j=0}^{N_c} \frac{A^j}{j!} \right]} \quad (3-12)$$

Neste caso, como não há canal de guarda para o *handoff*, a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff*, P_{FH} , é igual a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , conforme as equações (3-12) e (3-13). Ambos os tipos de chamadas são bloqueados quando o sistema se encontra lotado.

$$P_{FH} = P_{BN} = P_{N_c} \quad (3-13)$$

A utilização deste caso e dos demais casos abordados neste Capítulo, estão calculados na Seção 3.5.

3.2.2

Sistema de Uma Classe com Número Inteiro de Canais de Guarda

Em um sistema que possui um total de N_c canais, N canais são reservados apenas para os usuários em *handoff*, são os chamados canais de guarda. Os outros T canais, dados pela equação (3-14), são os canais ordinários. A figura 3.5 apresenta a cadeia de Markov unidimensional que modela este sistema.

$$T = N_c - N \quad (3-14)$$

Tanto as chamadas novas quanto as chamadas em *handoff* têm acesso aos canais ordinários. Nos estados da cadeia de Markov que representam

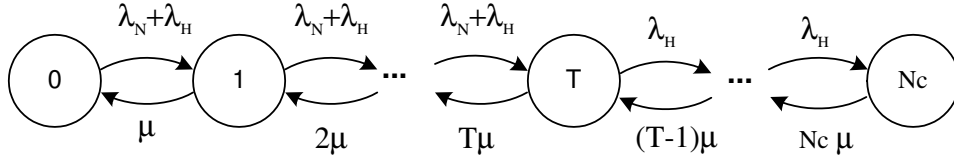


Figura 3.5: Sistema de uma classe com N canais de guarda.

os canais ordinários, a taxa de chegada, λ_i , é a soma da taxa de novas chamadas, λ_N , e da taxa de chamadas em *handoff*, λ_H , representados na equação (3-15).

$$\lambda_i = \lambda_N + \lambda_H, \quad 0 \leq i \leq (T-1) \quad (3-15)$$

Apenas os usuários em *handoff* possuem acesso aos recursos de guarda.

A taxa de chegada dos estados $i \geq T$ é dada pela taxa de chegada de chamadas em *handoff* conforme a equação (3-16).

$$\lambda_i = \lambda_H, \quad T \leq i \leq (N_c - 1) \quad (3-16)$$

A taxa de saída do estado i é dada por $i\mu$ para todos os estados, conforme a equação (3-17).

$$\mu_i = i\mu, \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad (3-17)$$

Para os estados correspondentes aos canais ordinários, $n \leq T$

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} = \quad (3-18)$$

$$= \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} \quad (3-19)$$

Para os estados correspondentes aos canais de guarda, $(T+1) \leq n \leq N_c$

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} = \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{n-T}}{\mu^n n!} \quad (3-20)$$

As equações (3-19) e (3-20) definem a razão entre as probabilidades estacionárias de cada estado e a probabilidade estacionária do sistema se encontrar vazio, P_0 . A razão depende do estado ser correspondente aos

canais ordinários ou aos canais de guarda.

Utilizando a condição de normalização e as probabilidades estacionárias dos estados ordinários dada por (3-19) e dos estados de guarda dada por (3-20), tem-se a equação (3-21).

$$1 = \sum_{n=0}^{N_c} P_n = \sum_{n=0}^{T-1} \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} P_0 + \sum_{n=T}^{N_c} \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{n-T}}{\mu^n n!} P_0 \quad (3-21)$$

De (3-21) obtém-se o valor da probabilidade do sistema estar vazio, P_0 , dada por (3-22).

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{T-1} \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} + \sum_{n=T}^{N_c} \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{n-T}}{\mu^n n!} \right]^{-1} \quad (3-22)$$

Utilizando o valor de P_0 obtido em (3-22) nas equações (3-20) e (3-19), determina-se a probabilidade estacionária de qualquer estado, P_n .

A probabilidade de falha de uma chamada em *handoff*, P_{FH} , é a probabilidade do sistema estar completamente lotado, P_{N_c} , correspondendo ao último estado do diagrama de estados da figura 3.5, cujo valor é dado pela equação (3-23).

$$P_{FH} = P_{N_c} = \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{N_c-T}}{\mu^{N_c} N_c!} P_0 \quad (3-23)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , é dada pelo somatório das probabilidades do sistema se encontrar em qualquer dos estados correspondentes aos canais de guarda, $n \geq T$, conforme os estados $i \geq T$ da figura 3.5, cujo valor é dado pela equação (3-24).

$$P_{BN} = \sum_{n=T}^{N_c} P_n \quad (3-24)$$

3.2.3

Sistema de Uma Classe com Número Fracionário de Canais de Guarda

Para o caso em que o número de canais de guarda é fracionário, o desenvolvimento analítico é semelhante ao desenvolvimento feito para o número inteiro. Porém, deve-se considerar a probabilidade do estado limite, T , ser ou não alcançado por um usuário novo.

O número de canais de guarda N é um número real. Considera-se $\lfloor N \rfloor$ como a parte inteira de N e p a parte fracionária de N , (3-25).

$$p = N - \lfloor N \rfloor \quad (3-25)$$

O estado T representa o último estado ao qual os usuários novos tem acesso. O valor de T é definido pela equação (3-26).

$$T = N_c - \lfloor N \rfloor \quad (3-26)$$

No caso de guarda fracionária, o acesso de usuários novos ao estado T é permitido apenas parcialmente. Somente os usuários em *handoff* podem alcançar os estados a partir de $T + 1$ inclusive. Esses estados são correspondentes à parte inteira do número de canais de guarda e são exclusivos para os usuários em *handoff*.

O estado T corresponde ao recurso de guarda reservado com probabilidade p . Conseqüentemente, se o sistema está no estado $(T - 1)$, a admissão de um usuário novo se dá com probabilidade β definida em (3-27). Em outras palavras, o recurso é guardado para um eventual usuário de *handoff* com probabilidade p .

$$\beta = 1 - p \quad (3-27)$$

O sistema com número fracionário de canais de guarda é representado na figura 3.6, incluindo o estado T com acesso com probabilidade β aos usuários novos.

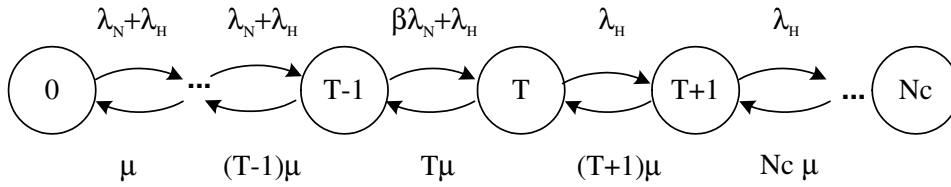


Figura 3.6: Cadeia de Markov com número fracionário de canais de guarda.

Na figura 3.7 tem-se dois estados genéricos consecutivos, i e $i + 1$ da cadeia de Markov.

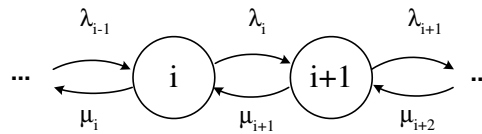


Figura 3.7: Estados i e $i + 1$ da cadeia de Markov.

Na notação utilizada, cada estado i corresponde a igual número i de usuários ativos sua taxa de chegada λ_i leva o sistema do estado i ao estado $i + 1$. A taxa de saída do estado i é μ_i . A taxa de chegada de usuários λ_i é dada pela soma das taxas de novos e de *handoff*, se o estado $i + 1$ corresponde aos canais ordinários. A taxa de chegada λ_{T-1} , é a soma da taxa de *handoff* e da taxa de novos multiplicada pela probabilidade do usuário novo ser alocado, β . Se, no entanto, o estado $i + 1$ corresponde aos canais de guarda, a taxa λ_i é dada apenas pela taxa de *handoff*.

$$\lambda_i = \begin{cases} \lambda_N + \lambda_H & , 0 \leq i \leq (T - 2) \\ \lambda_H + \beta\lambda_N & , i = T - 1 \\ \lambda_H & , T \leq i \leq N_c \end{cases}$$

Neste ponto, é interessante desenvolver um modelo geral para o problema dos canais de guarda em sistemas de uma classe de usuários. O modelo apresentado a seguir inclui os casos sem guarda, com número inteiro e fracionário de canais de guarda.

3.3

Modelo Geral para o Problema de Controle de Admissão por Canais de Guarda e Uma Classe de Usuários

No sistema com uma classe de usuários, cada usuário utiliza uma unidade de banda, $1UB$. O estado i corresponde à existência de i de usuários ativos e utiliza um total de iUB de recursos do sistema. A taxa de chegada é dada por λ_i e a taxa de saída é dada por μ_i , de acordo com a figura 3.3.

Para implementar o modelo geral, que inclui os casos de uma classe de usuários, com qualquer número real de canais de guarda, a taxa de chegada λ_i , é definida na equação (3-28) pela soma das taxas de chegada de usuários de *handoff* e novos multiplicadas, respectivamente, pelas probabilidades a_{Hi} e a_{Ni} .

$$\lambda_i = a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H \quad (3-28)$$

Os coeficientes a_{Hi} e a_{Ni} , apresentados neste trabalho, indicam o peso dado às taxas de chegada de usuários novos e de *handoff* para cada estado. Esta notação inclui todos os casos abordados para uma classe de usuários, inclusive o caso de número fracionário de canais de guarda, descritos na seção anterior.

$$a_{Hi} = \begin{cases} 1 & , 0 \leq i \leq (N_c - 1) \\ 0 & , i = N_c \end{cases}$$

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

A taxa de saída μ_i é dada por (3-29).

$$\mu_i = i\mu \quad (3-29)$$

Para um sistema de nascimento e morte, em que não há fila de espera, as probabilidades estacionárias são determinadas através das equações (3-30) e (3-31).

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n} \frac{1}{n!} \quad (3-30)$$

$$\sum_{n=0}^{N_c} P_n = 1 \quad (3-31)$$

A probabilidade do sistema possuir n canais em uso, $n \neq 0$, é dada por a P_n na equação (3-32).

$$P_n = P_0 \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n n!} \quad (3-32)$$

Substituindo o valor de P_n obtido em (3-32) na equação (3-31) obtém-se (3-33).

$$\sum_{n=0}^{N_c} P_n = \sum_{n=0}^{N_c} \left(P_0 \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n n!} \right) = 1 \quad (3-33)$$

De (3-33) obtém-se o valor de P_0 em (3-34).

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{N_c} \left(\frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n n!} \right) \right]^{-1} \quad (3-34)$$

Levando o valor de P_0 , dado por (3-34), à equação (3-32) temos o valor

da probabilidade estacionária de qualquer estado P_n em (3-35).

$$P_n = \left[\sum_{j=0}^{N_c} \left(\frac{\prod_{i=0}^{j-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^j j!} \right) \right]^{-1} \left(\frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n n!} \right) \quad (3-35)$$

$$P_{BN} = \sum_{i=T}^{N_c} P_i + (p)P_{T-1} \quad (3-36)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova se dá pela soma das probabilidades estacionárias de todos os estados que bloqueiam o usuário novo. No caso fracionário, de acordo com a equação (3-36), a probabilidade estacionária do estado $(T - 1)$ é multiplicada por p para incluir a reserva probabilística que corresponde à parte fracionária do número de canais de guarda. Se o sistema se encontra no estado $(T - 1)$, o usuário novo pode ser bloqueado com probabilidade p .

Utilizando a notação definida neste trabalho, a probabilidade de bloqueio de novas chamadas e probabilidade de falha de *handoff* são dadas pelas equações (3-37) e (3-38), válidas para qualquer valor real de número de canais de guarda.

$$P_{BN} = \sum_{i=0}^{N_c} (1 - a_{Ni})P_i \quad (3-37)$$

$$P_{FH} = \sum_{i=0}^{N_c} (1 - a_{Hi})P_i \quad (3-38)$$

Através dos coeficientes a_{Hi} e a_{Ni} , que ponderam as taxas de chegada de usuários novos e de *handoff*, definidos nesta seção, foi possível obter expressões gerais para P_n , P_{BN} e P_{FH} . As expressões são válidas para todos os casos de canais de guarda abordados neste trabalho, utilizando números inteiros ou fracionários de canais de guarda.

3.4

Parâmetro de Mobilidade dos Usuários

Em uma rede de comunicações móveis, o perfil de tráfego não é constante. A proporção entre a taxa de chegada de usuários de *handoff* e de usuários novos é variável.

Para identificar a dependência da probabilidade de bloqueio de chamadas novas e de falhas de *handoff* com a variação da mobilidade dos usuários, definiu-se a variável θ como sendo a razão entre a taxa de chamadas em *handoff* e a taxa de chegada de chamadas novas, de acordo com a equação (3-39).

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N} \quad (3-39)$$

A variável θ está relacionada à mobilidade média dos usuários da rede. Usuários de maior mobilidade solicitam um número maior de *handoffs*. Portanto, em um sistema de alta mobilidade, o parâmetro de mobilidade θ também é elevado.

De acordo com a referência [54], o parâmetro de mobilidade θ pode ser escrito como (3-40), onde: $P_{out} = P[t_c > t_{dw}]$ é a probabilidade do usuário sair da célula; P_{cross} é a probabilidade de que o tempo residual de uma chamada em *handoff* exceda o tempo de permanência na célula; e π_{out} é a percentagem de estações que se movem para um destino fora da célula.

$$\theta = \frac{\pi_{out} P_{out} [1 - P_{BN}]}{1 - \pi_{out} P_{cross} [1 - P_{FH}]} \quad (3-40)$$

Esta expressão considera uma distribuição exponencial para o tempo de retenção do canal. No Apêndice A retornaremos a esta expressão, desenvolvendo-a, considerando várias distribuições diferentes para o tempo de permanência do usuário na célula. Neste capítulo o tempo de permanência e a duração da chamada são distribuições exponenciais. Isto leva a um tempo de retenção do canal também exponencial.

Utilizando a equação (3-39), a taxa total de chegada de chamadas em cada setor de uma célula é dada por (3-41).

$$\lambda = \lambda_H + \lambda_N = (1 + \theta)\lambda_N \quad (3-41)$$

A taxa chegada de chamadas novas e a taxa de chegada de chamadas em *handoff*, em função de θ , são dadas por:

$$\lambda_N(\theta) = \frac{\lambda}{1 + \theta} \quad (3-42)$$

$$\lambda_H(\theta) = \theta \lambda_N = \frac{\theta}{1 + \theta} \lambda \quad (3-43)$$

Utilizando as expressões das taxas de chegada de chamadas novas e de *handoff*, dadas por (3-42) e (3-43), no cálculo das probabilidades de bloqueio

de chamadas novas e de falha de *handoff* obtém-se $P_{BN}(\theta)$ e $P_{FH}(\theta)$.

3.5 Utilização

Um dos objetivos do Algoritmo de Controle de Admissão de Chamadas é fazer com que os recursos rádio do sistema sejam utilizados ao máximo, evitando o desperdício. O ideal é que o algoritmo possa fazer a maior acomodação da solicitação de recursos do tráfego de entrada e, simultaneamente, atender aos requisitos de qualidade de serviço.

A expressão da utilização pode ser obtida através da intensidade de tráfego e da probabilidade de sobrecarga do sistema.

Seja ρ a intensidade de solicitação de recursos normalizada definida pela equação (3-44), onde λ é a taxa de chegada de chamadas, μ é a taxa de conclusão de chamadas naquela célula e C o número de servidores que, neste caso, é igual a N_c , número de canais do sistema.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu C} = \frac{\lambda}{\mu N_c} \quad (3-44)$$

A utilização dos recursos do sistema pode ser definida pelo produto entre a intensidade de solicitação de recursos, ρ , e a probabilidade da chamada solicitante conseguir ser alocada, dada pela equação (3-45).

$$U = \frac{(\lambda_N(1 - P_{BN}) + \lambda_H(1 - P_{FH}))}{\mu N_c} \quad (3-45)$$

Se a chamada for de um usuário novo, pode ser bloqueada com probabilidade P_{BN} ou, se for uma chamada em andamento tentando fazer um *handoff*, pode falhar com probabilidade P_{FH} .

Escrevendo a equação (3-45) em função da taxa de chegada de novas chamadas, λ_N , dada por (3-42) obtém-se a equação (3-46).

$$U = \frac{\lambda_N((1 - P_{BN}) + \theta(1 - P_{FH}))}{\mu N_c} \quad (3-46)$$

Representando agora (3-46) em termos da taxa total de chegada de chamadas, λ , definida em (3-41) tem-se a equação (3-47).

$$U = \frac{\lambda}{\mu N_c(1 + \theta)} [(1 + \theta) - (P_{BN} + \theta P_{FH})] \quad (3-47)$$

Rearrmando a equação (3-47) chega-se a (3-48).

$$U = \frac{\lambda}{\mu N_c} \left[1 - \frac{(P_{BN} + \theta P_{FH})}{(1 + \theta)} \right] \quad (3-48)$$

Reconhecendo em (3-48) a intensidade de solicitação de recursos, ρ , definida em (3-44) e, lembrando que as probabilidades de bloqueio de chamadas novas, $P_{BN}(\theta)$, e de falha de *handoff*, $P_{FH}(\theta)$ também estão condicionadas a θ ; tem-se $U(\theta)$ na equação (3-49) que define a utilização do sistema, condicionada à taxa de mobilidade θ .

$$U(\theta) = \rho \left[1 - \frac{[P_{BN}(\theta) + \theta P_{FH}(\theta)]}{(1 + \theta)} \right] \quad (3-49)$$

A seguir são feitas algumas observações pertinentes à expressão da utilização dada pela equação (3-49).

3.5.1

Utilização Sem Canal de Guarda

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , e a probabilidade de falha de *handoff*, P_{FH} , são iguais no caso em que não há canais de guarda para o *handoff*.

Se não há distinção entre usuários novos e em *handoff*, qualquer usuário será bloqueado apenas quando o sistema estiver lotado. Portanto, a probabilidade de bloqueio de chamadas novas e a probabilidade de falha de chamada em *handoff* são iguais à probabilidade estacionária do estado em que há N_c usuários no sistema, indicando que todos recursos do sistema estão em uso.

$$P_{FH} = P_{BN} = P_{N_c} \quad (3-50)$$

Substituindo esses valores em (3-49), resulta em:

$$U = \rho [1 - P_{N_c}] \quad (3-51)$$

E a utilização **independe da variação no tempo determinada pela variável θ** . Este fato é facilmente explicado, pois, se não há distinção entre usuários novos e em *handoff*, a expressão da utilização não depende do perfil de tráfego que indica se há mais ou menos usuários novos ou em *handoff* no sistema, $\theta = \lambda_H / \lambda_N$. Além disto, observa-se que a utilização dada por (3-51) é a maior possível, pois os usuários são alocados sempre que há recursos disponíveis.

3.5.2

Probabilidade de Sobrecarga

A razão entre a Utilização, U , e a intensidade de solicitação de recursos, ρ , é o percentual do tráfego de entrada que consegue ser alocado. Rearrmando a equação (3-49), tem-se:

$$\frac{U}{\rho} = \left[1 - \frac{(P_{BN} + \theta P_{FH})}{(1 + \theta)} \right] \quad (3-52)$$

e definindo P_0 :

$$P_0(\theta) = \frac{(P_{BN}(\theta) + \theta P_{FH}(\theta))}{(1 + \theta)} \quad (3-53)$$

que pode ser definido como a Probabilidade de Sobrecarga do sistema, P_0 , conforme a referência [53].

Para cada valor θ_i , assumido pela variável aleatória θ , há um perfil de tráfego que define valores diferentes para a probabilidade de bloqueio de chamadas novas, $P_{BN}(\theta)$, e para a probabilidade de falha de chamadas em *handoff*, $P_{FH}(\theta)$, e conseqüentemente para a probabilidade de sobrecarga $P_0(\theta)$.

3.6

Resultados Analíticos para Sistemas de Uma Classe

Baseado no desenvolvimento analítico apresentado neste capítulo, este trabalho de tese inclui o desenvolvimento de um programa em *MATLAB*® para calcular a utilização dos recursos do sistema, U ; a probabilidade de bloqueio de novas chamadas, P_{BN} ; e a probabilidade de falha de *handoff*, P_{FH} ; conforme as equações (3-49), (3-36) e (3-38) em função da intensidade de tráfego normalizada, ρ , e da taxa de mobilidade θ .

São apresentados os gráficos para o comportamento do sistema de uma só classe, para alguns valores do número de canais de guarda, N . Em cada gráfico há uma família de curvas de probabilidade de bloqueio e U versus ρ para diferentes valores de θ . São calculados P_{BN} , P_{FH} e U de um sistema que possui um total de 30 canais, ou seja $N_c = 30$.

Estes resultados possibilitam a para análise do comportamento do sistema de acordo com o número de canais de guarda, a intensidade de tráfego e a mobilidade. Além disto, os resultados possibilitam a validação do simulador apresentado no capítulo 4 nos casos em que o número de canais de guarda é fixo. O simulador foi desenvolvido neste trabalho para a avaliação do desempenho dos algoritmos propostos nesta tese.

A taxa total de chegada de chamadas é definida na equação (3-41) como a soma da taxa de chegada de novas chamadas e de chamadas em *handoff*, considerando θ definido em (3-39).

$$\lambda = \lambda_H + \lambda_N = (1 + \theta)\lambda_N$$

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$$

O tempo de retenção médio do canal é de $120s$, $\frac{1}{\mu} = 120s$.

A intensidade de solicitação de recursos normalizada, ρ , definida na equação (3-11), varia de 0.5 a 0,9.

3.6.1

Resultados Analíticos para Número de Canais de Guarda Igual a três, um, meio e zero, Uma Classe de Usuários

Seja o sistema com um valor de N_c igual a 30 canais. Tem-se que N canais são definidos como canais de guarda a serem utilizados apenas pelos usuários em *handoff*. Os outros $N_c - N$ são os canais ordinários que podem ser utilizados tanto pelas chamadas novas quanto pelas chamadas em *handoff*.

Nas seções a seguir são apresentados os conjuntos de gráficos para os casos de três, um, meio e zero canais de guarda, uma classe de usuários. Cada figura apresenta uma família de curvas, uma curva para cada valor de θ que varia no intervalo $[0.2; 5]$.

Resultados analíticos para três canais de guarda e uma classe de usuários

Nas figuras 3.8, 3.9 e 3.10 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*® relativos a três Canais de Guarda, 3CG.

O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.8; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.9; e Utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.10.

Observando a figura 3.8 e a figura 3.9, nota-se que, quanto maior o valor de θ , ou seja, maior mobilidade, maior a P_{BN} e também maior a P_{FH} . As curvas que apresentam os maiores percentuais de bloqueio são as curvas correspondentes ao maior valor de θ que, nessas figuras, é igual a 5. O aumento dos percentuais de bloqueio com θ se dá porque, havendo uma

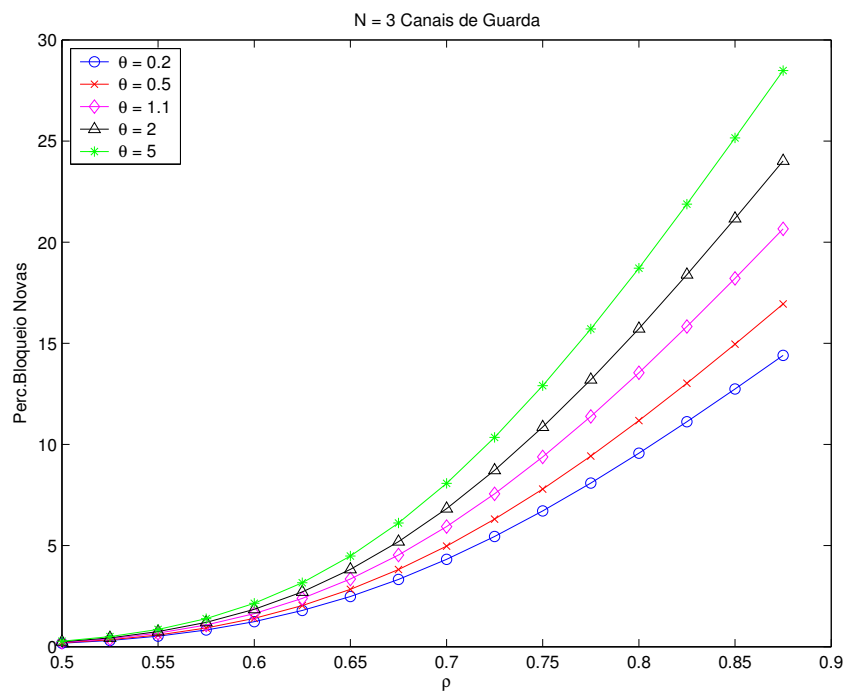


Figura 3.8: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3 CG.

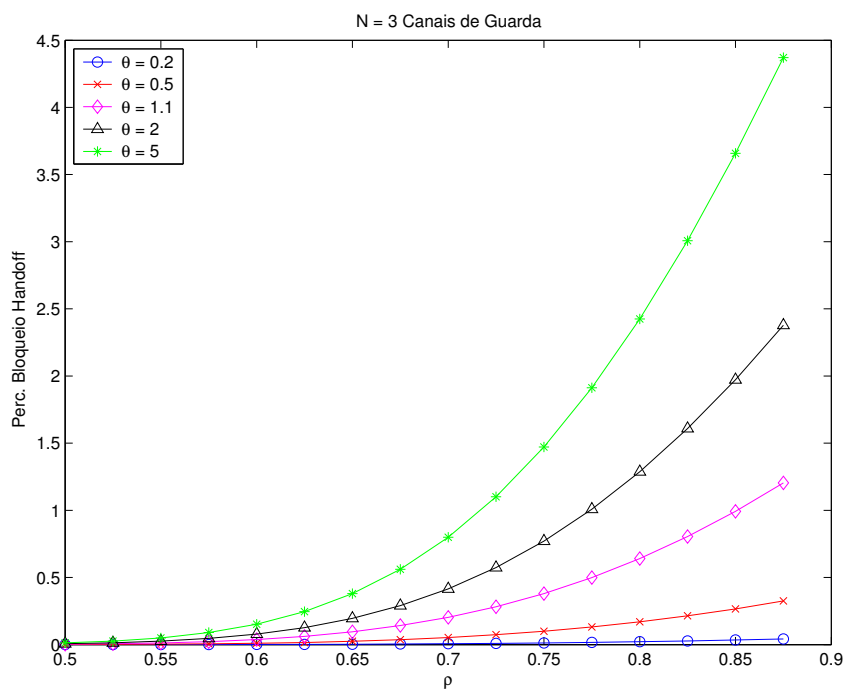


Figura 3.9: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3CG.

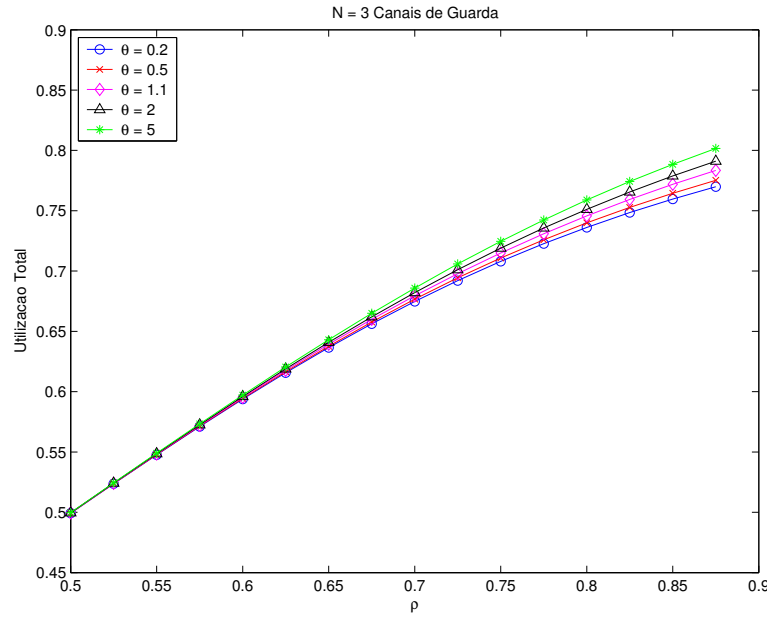


Figura 3.10: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3CG.

maior densidade de usuários em *handoff*, mais chamadas disputam o mesmo canal de guarda.

Na figura 3.10 observa-se que a utilização dos canais varia pouco em relação a variação da mobilidade θ .

Resultados Analíticos para Um Canal de Guarda e Uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.11, 3.12 e 3.13 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*® relativos a um Canal de Guarda, 1CG.

O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.11; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.12; e Utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.13.

Observando o conjunto de gráficos relativos a 3CG, figuras 3.8, 3.9 e 3.10, e o conjunto de gráficos relativos a 1CG, figuras 3.11, 3.12 e 3.13, nota-se o comportamento semelhante entre os conjuntos de gráficos.

Em ambos os casos, 3CG e 1CG, as curvas de maior bloqueio de chamadas novas e de chamadas em *handoff*, correspondem às curvas de maior densidade de usuários em *handoff*, $\theta = 5$.

Além disso, observa-se que a família de curvas para P_{BN} , relativas ao caso de 3CG, apresenta curvas mais afastadas entre si do que as curvas

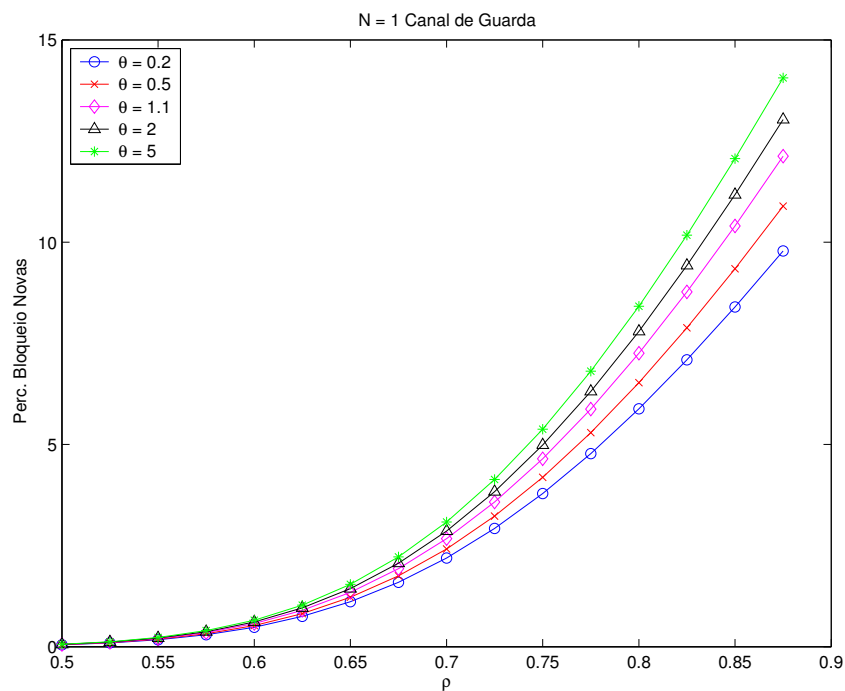


Figura 3.11: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1 CG.

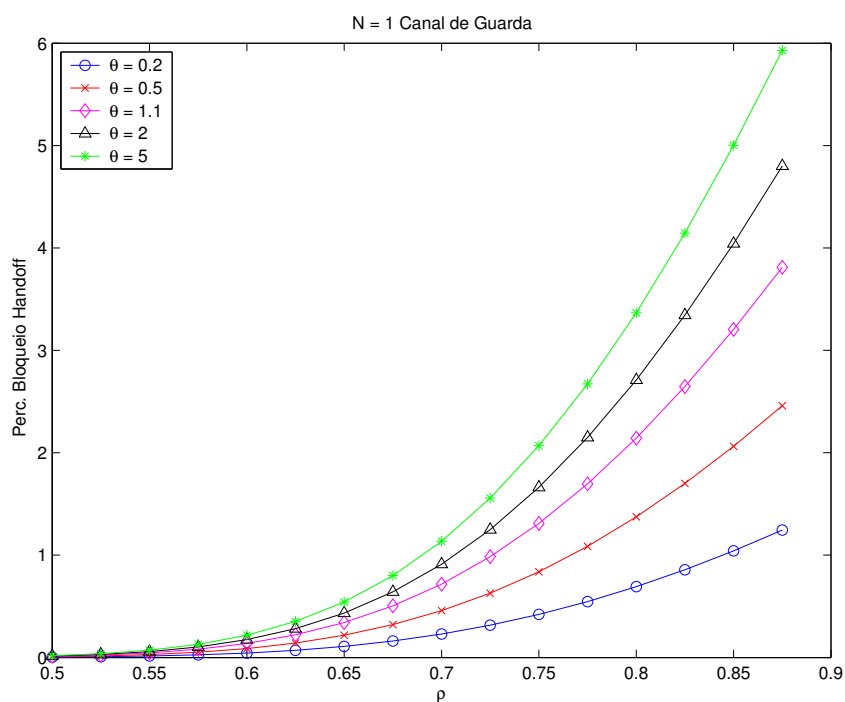


Figura 3.12: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.

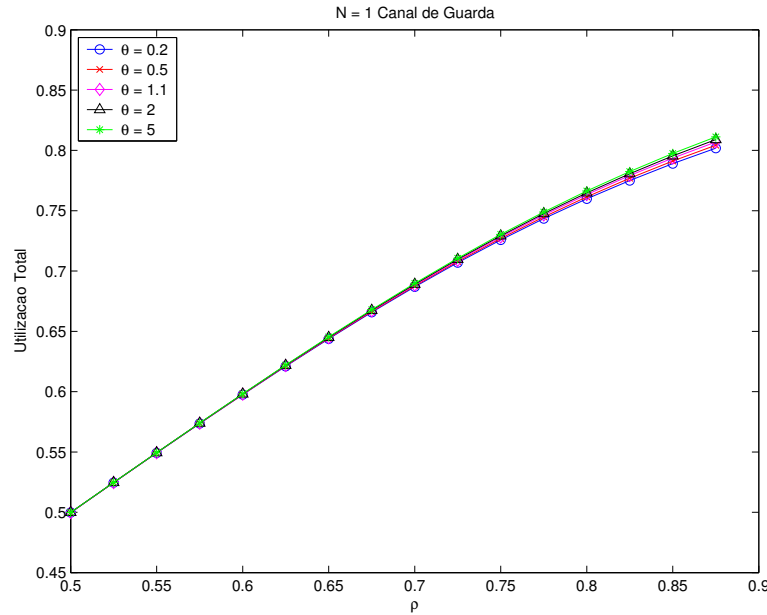


Figura 3.13: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.

referentes ao caso de 1CG. A mudança no perfil de tráfego causa maiores alterações quando se utiliza um número maior de canais de guarda, tal comportamento é confirmado no caso seguinte quando apresentamos o conjunto de gráficos relativo a 0.5CG.

Este comportamento do agrupamento das curvas para um número menor de canais de guarda também é apresentado no caso das curvas de utilização. Na figura 3.13 observa-se que a utilização dos canais varia muito pouco em relação a variação da mobilidade θ .

Resultados Analíticos para meio Canal de Guarda

Os gráficos relativos a 0.5CG são Percentual de Bloqueio de Novas chamadas versus intensidade de tráfego, figura 3.14; Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego, figura 3.15; e Utilização versus intensidade de tráfego, figura 3.16. Estes resultados foram obtidos nas mesmas condições dos resultados apresentados para o caso N inteiro. Observe que utilizar 0.5CG significa que, sempre que o sistema estiver com 29 usuários ativos, ao chegar um usuário novo, o canal de número 30 será reservado com probabilidade igual a 0.5.

Comparando o conjunto de gráficos relativos a 3CG, figuras 3.8, 3.9 e 3.10, com o conjunto de gráficos relativos a 1CG, figuras 3.11, 3.12 e 3.13 e ainda com o conjunto de gráficos relativos a 0.5CG, figuras 3.14, 3.15 e

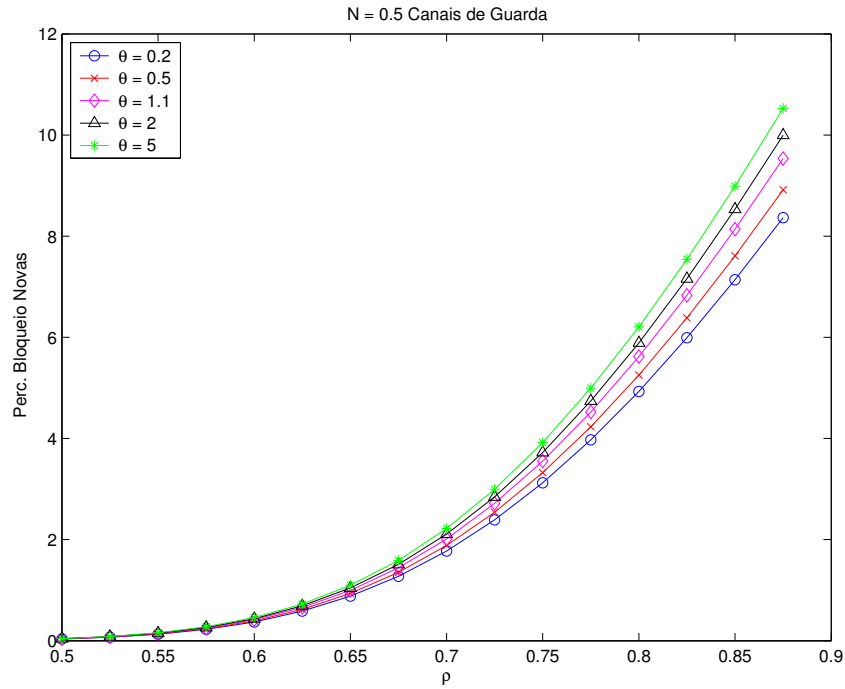


Figura 3.14: Percentual de Bloqueio de Novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0.5CG$.

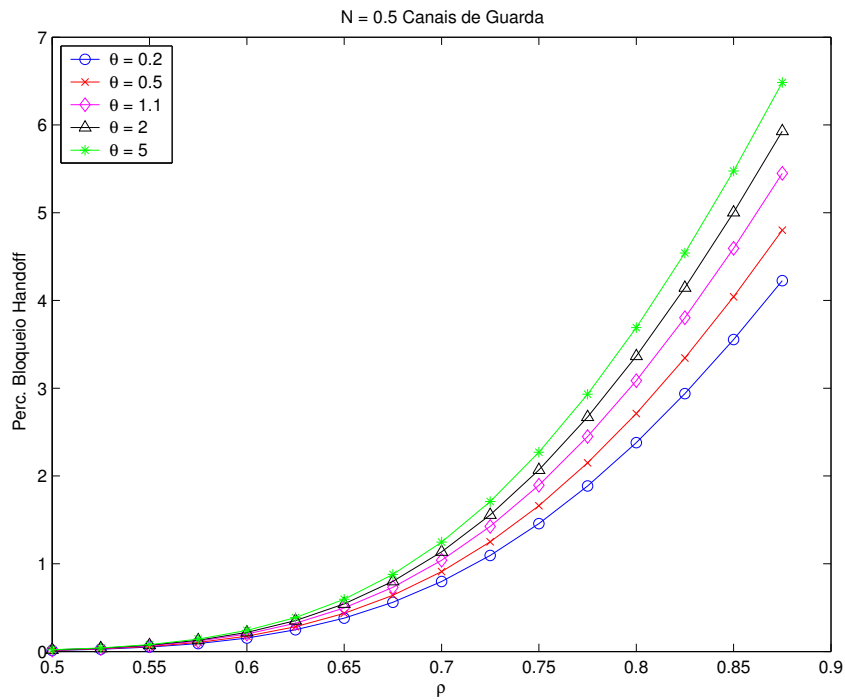


Figura 3.15: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0.5CG$.

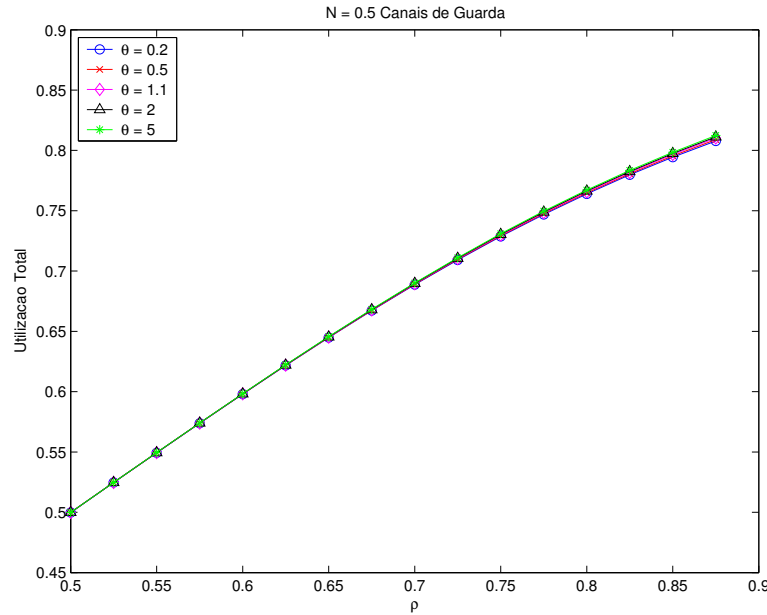


Figura 3.16: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 0.5CG.

3.16, observa-se o comportamento semelhante entre os conjuntos. As curvas de maior bloqueio, em todos os casos, correspondem às de maior densidade de usuários em *handoff*, $\theta = 5$.

Observa-se que a família de curvas relativas ao caso de 3CG apresenta o maior afastamento entre si. Tal afastamento é menor entre as curvas referentes ao caso de 1CG e menor ainda no conjunto de curvas referentes ao caso de 0.5CG. Ou seja, a mudança no perfil de tráfego causa maiores alterações quando se utiliza um número maior de canais de guarda.

Comparando as curvas da utilização dos recursos do sistema apresentadas nas figuras 3.10, 3.13 e 3.16, observa-se que a maior utilização corresponde ao maior valor de θ . Há uma pequena variação entre as curvas quando se modifica o número de canais de guarda. Na realidade, todas as curvas de utilização são muito próximas entre si.

Resultados Analíticos Sem Canal de Guarda, Uma Classe de Usuários

Os resultados de 0CG são obtidos para o mesmo sistema de N_c igual a 30 canais. Utilizar 0CG significa que não há diferença entre um usuário novo e um usuário de *handoff*.

É importante observar que, para o sistema sem canais de guarda, 0CG, não há variação de comportamento de P_{BN} e P_{FH} com a variável aleatória θ conforme a equação (3-50). Sempre que não há canais de guarda e os

usuários novos e de *handoff* são tratados sem distinção, P_{BN} e P_{FH} são iguais e não dependem da taxa de mobilidade θ .

Os gráficos relativos a $0CG$ são Percentual de Bloqueio de chamadas versus intensidade de tráfego, figura 3.17; e Utilização versus intensidade de tráfego, figura 3.18.

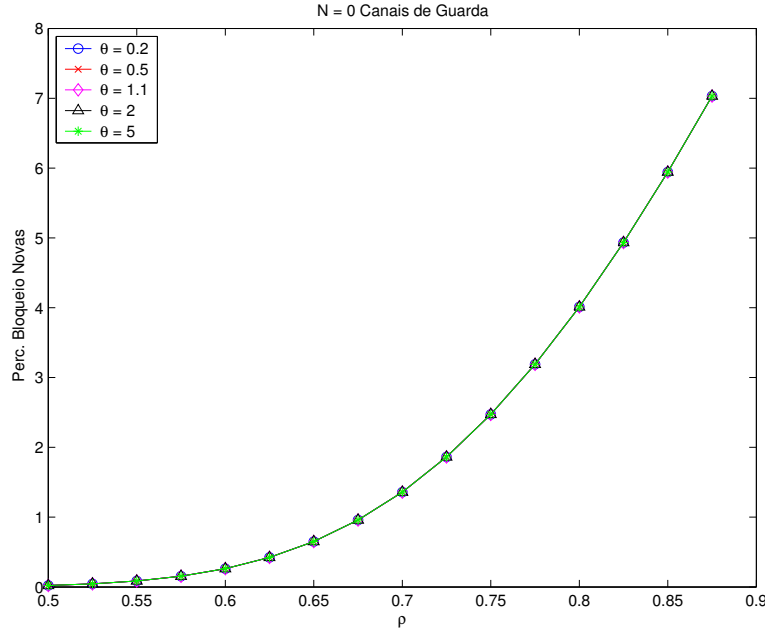


Figura 3.17: Percentual de Bloqueio de chamadas, Novas e em *Handoff*, versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0CG$.

O comportamento de convergência entre as curvas, quando se diminui o número de canais de guarda de $3CG$ para $1CG$, e depois para $0.5CG$, é coerente com o caso de $0CG$ onde a família de curvas converge para uma única curva. Isso confirma o resultado esperado sobre a independência de P_{BN} e P_{FH} com θ para o caso sem canais de guarda, $0CG$, conforme a equação (3-51).

3.6.2

Resultados Analíticos para Diversos Valores de Taxa de Mobilidade θ , uma Classe de Usuários

Considera-se o mesmo sistema de N_c igual a 30 canais, onde N são os canais de guarda, apenas para os usuários em *handoff*, e os outros $N_c - N$ são os canais ordinários que podem ser utilizados tanto pelas chamadas novas quanto pelas chamadas em *handoff*.

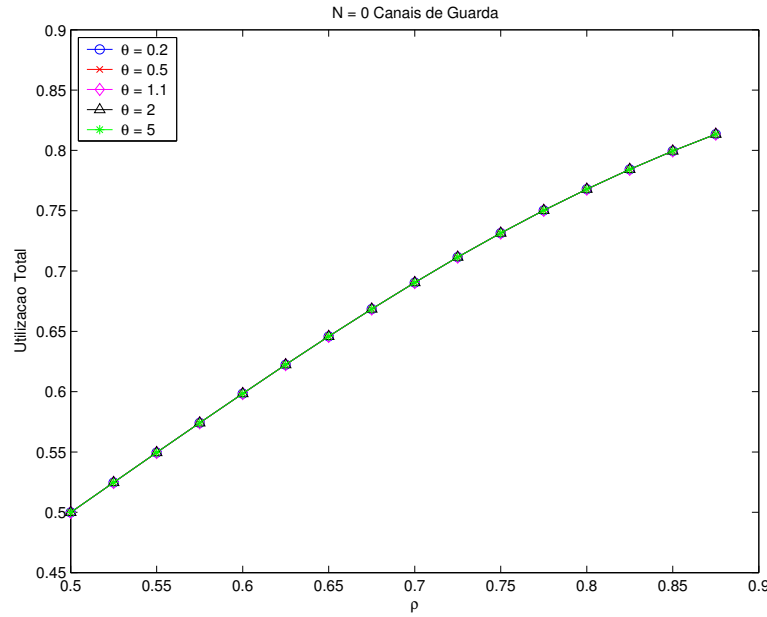


Figura 3.18: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 0CG.

Nas seções a seguir são apresentados os conjuntos de gráficos para os casos em que a taxa de mobilidade dos usuários da rede θ vale 5, 1 e 0.2, com apenas uma classe de usuários. Cada figura apresenta uma família de curvas onde há uma curva para cada valor de número de canais de guarda, N , que varia no intervalo $[0; 3]$.

Resultados Analíticos para Taxa de Mobilidade, $\theta = 5$, uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.19, 3.20 e 3.21 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*® relativos a taxa de mobilidade $\theta = 5$ e uma classe de usuários. O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.19; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.20; e Utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.21.

Observando a figura 3.19 e a figura 3.20, nota-se que, conforme esperado, quanto maior o número de canais de guarda N , maior a P_{BN} , e menor a P_{FH} . A curva que apresenta os maiores percentuais de bloqueio de usuários novos é a curva correspondente ao maior valor de N que é igual a 3.

O aumento dos percentuais de bloqueio de usuários novos com N se dá porque se há mais canais reservados para o *handoff* restam menos canais

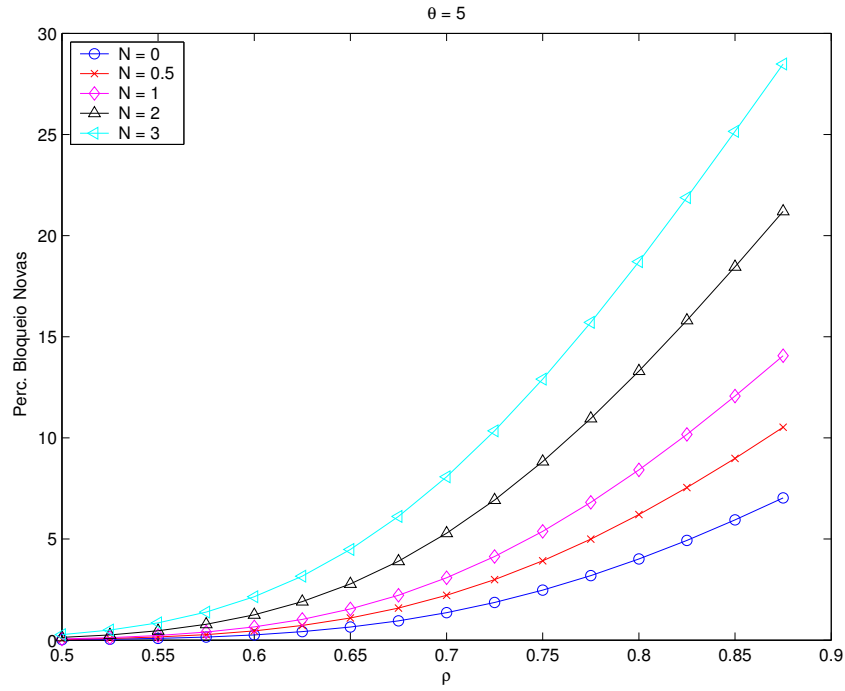


Figura 3.19: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.

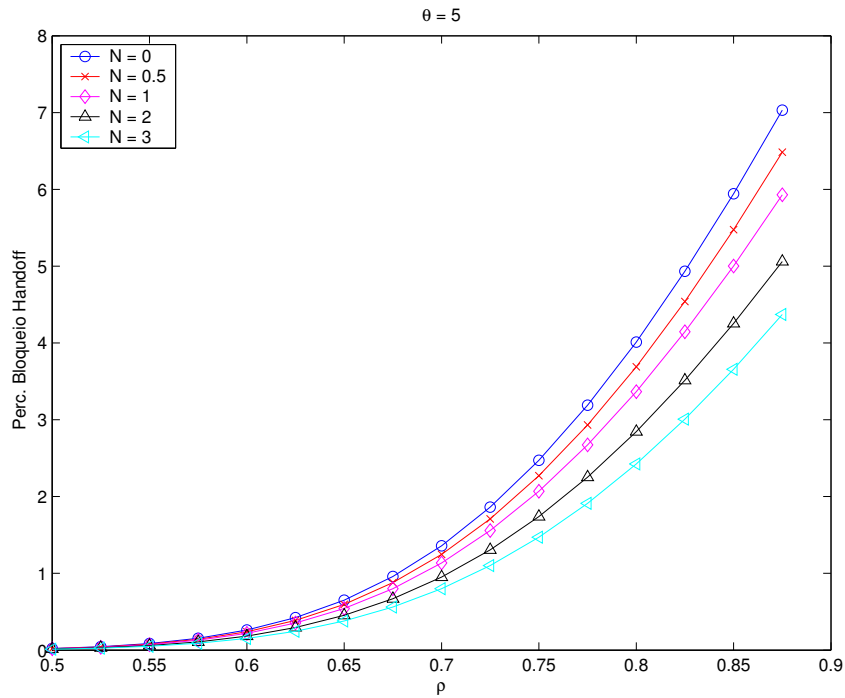


Figura 3.20: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.

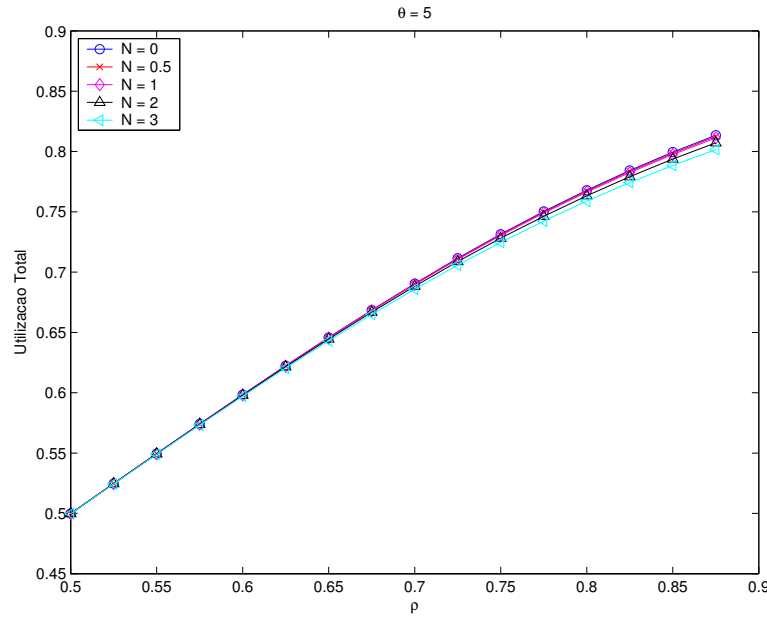


Figura 3.21: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.

ordinários, $N_c - N$. Conseqüentemente, mais chamadas novas disputam os canais ordinários restantes. Por outro lado, quanto maior o número de canais de guarda, menor é a probabilidade de falha de *handoff*, P_{FH} .

Na figura 3.21 nota-se que a maior utilização é obtida com o menor número de canais de guarda.

Resultados Analíticos para Taxa de Mobilidade, θ , Igual a um, uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.22, 3.23 e 3.24 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*® relativos a taxa de mobilidade $\theta = 1$, uma classe de usuários. O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.22; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.23; e a utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.24.

Uma boa referência é o fato de que as curvas de P_{BN} e P_{FH} são idênticas para $N = 0$ e $\theta = 1$.

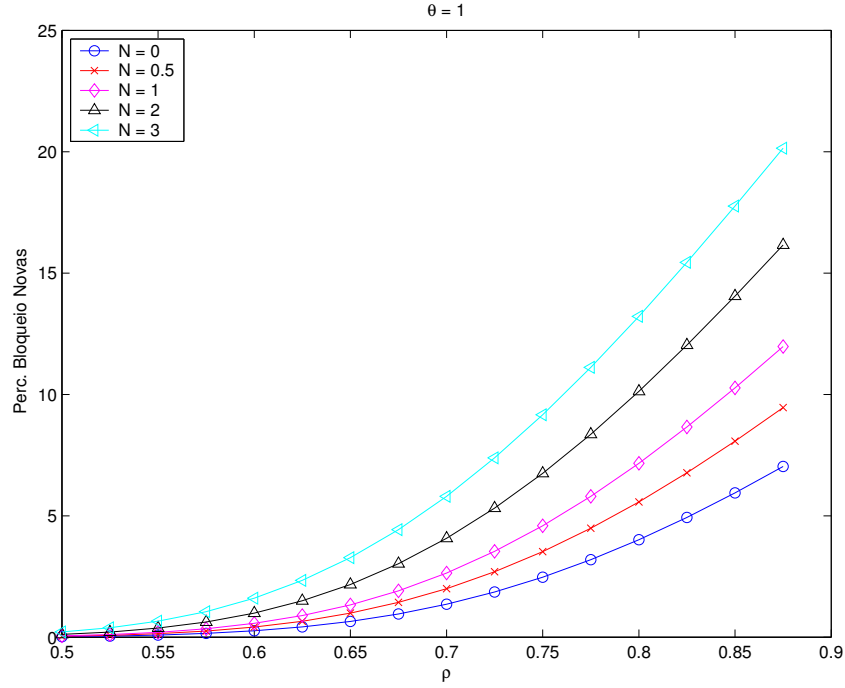


Figura 3.22: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.

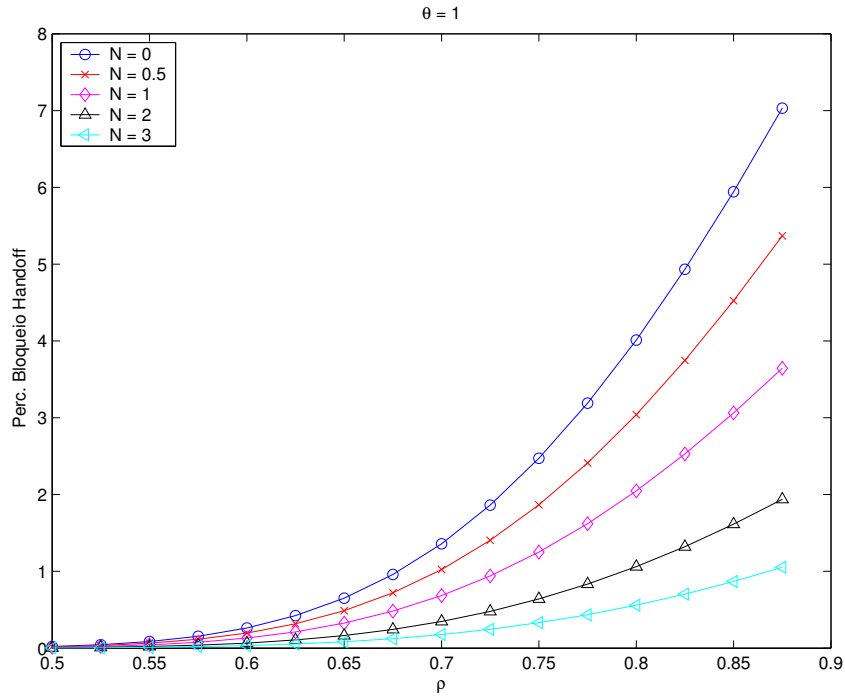


Figura 3.23: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.

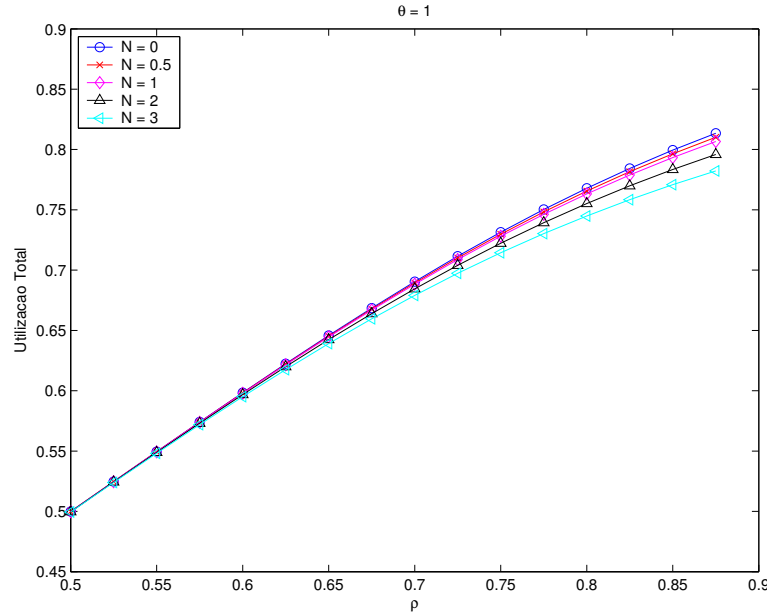


Figura 3.24: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.

Resultados Analíticos para Taxa de Mobilidade, $\theta = 0.2$, uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.25, 3.26 e 3.27 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*® relativos a taxa de mobilidade $\theta = 0.2$, uma classe de usuários. O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.25; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego, figura 3.26; e a utilização versus intensidade de tráfego, figura 3.27.

Nas figuras 3.23 e 3.26, referente aos casos $\theta = 1$ e $\theta = 0.2$, observa-se que há uma diferença grande entre as curvas P_{FH} para $N = 0$ e $N = 1$. A utilização do número fracionário de canais de guarda possibilita obter valores intermediários de falha de *handoff*.

Nas figuras 3.21, 3.24 e 3.27 nota-se que a maior utilização é obtida com o menor número de canais de guarda. Reservar canais diminui a utilização dos recursos. Este é um dos aspectos que se pretende melhorar, neste trabalho de tese, com a proposta de algoritmos variação dinâmica do número de canais de guarda de acordo com a variação da mobilidade θ e do perfil de tráfego ρ . Dessa forma, o número de canais de guarda deve ser variado continuamente, utilizando valores fracionários e inteiros para obter percentuais de bloqueio de novos e de *handoff* de acordo com os perfis de tráfego.

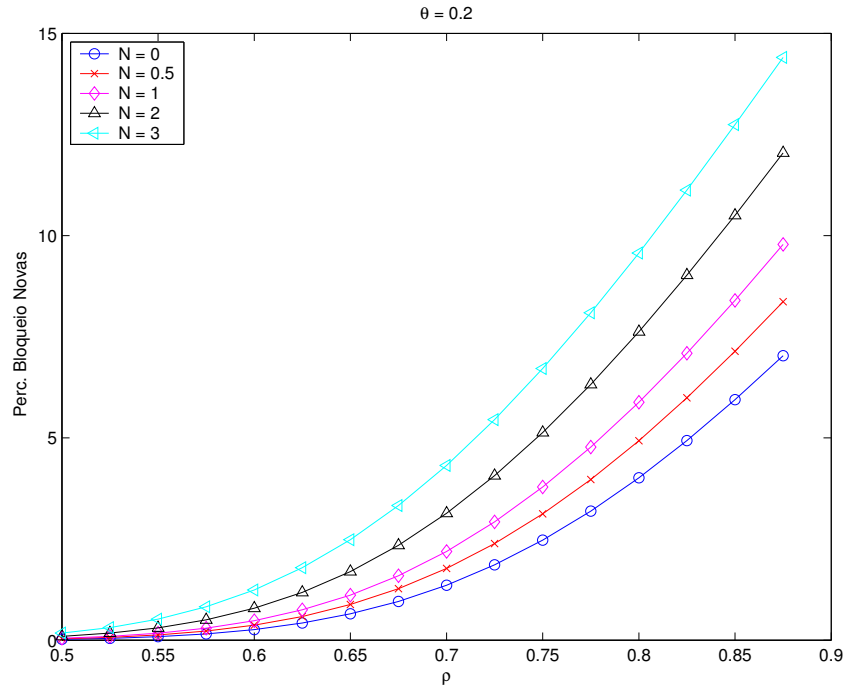


Figura 3.25: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

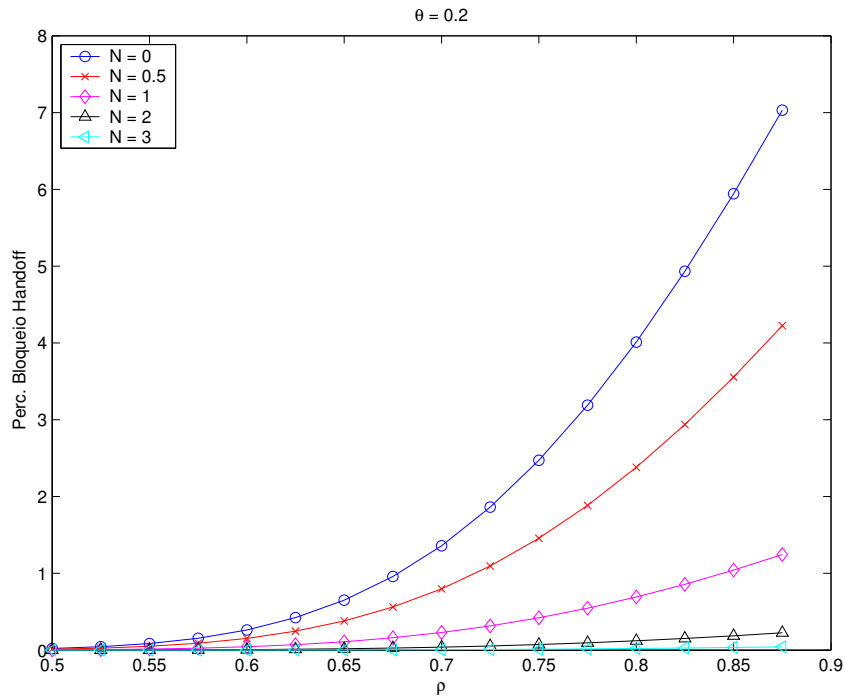


Figura 3.26: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

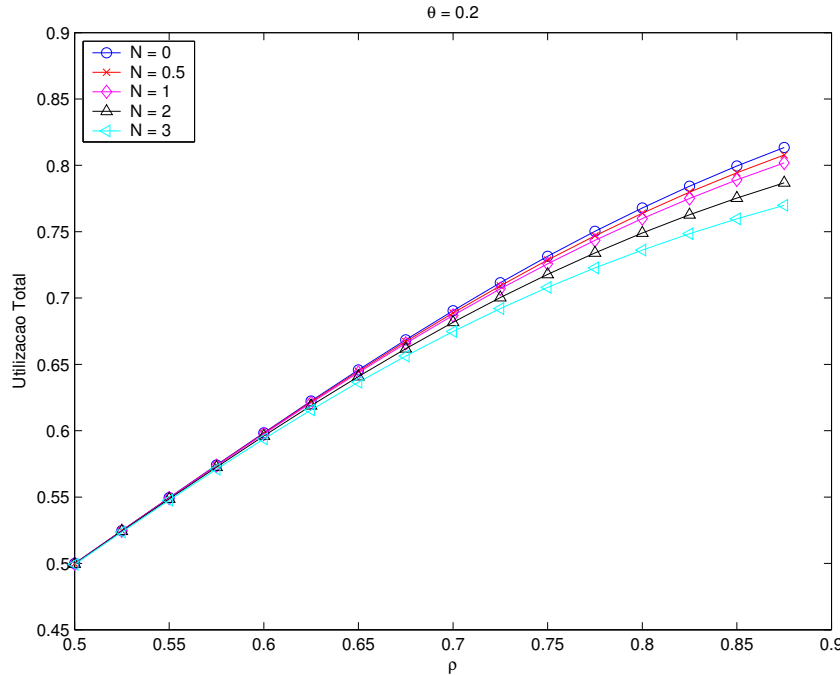


Figura 3.27: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

Comparando as figuras 3.21, 3.24 e 3.27, observa-se que no sistema de menor mobilidade, $\theta = 0.2$, figura 3.27, há uma diferença maior na utilização dos recursos, quando o número de canais de guarda N é variado. Em um sistema de alta mobilidade, $\theta = 5$, figura 3.21, as curvas de utilização são todas muito próximas.

Observa-se nas figuras 3.20, 3.23 e 3.26 que, quanto menor o valor de θ , menor o valor de P_{FH} , para o mesmo N . Na figura 3.26, a curva $N = 3$ é quase horizontal, significando valores de percentual de falha de *handoff* muito próximos de zero. Lembrando que o caso sem canais de guarda, $N = 0$, não depende da taxa de mobilidade dada por θ , conclui-se que as curvas de P_{FH} se afastam com a diminuição da taxa de mobilidade dos usuários da rede. Este resultado é coerente com a realidade física, onde espera-se um baixo percentual de falhas de *handoff* em um sistema de muitos canais de guarda e pouca mobilidade.

3.6.3

Resultados Analíticos para a Utilização, uma Classe de Usuários

Neste item pretende-se observar o comportamento da utilização dos recursos do sistema de acordo com variações maiores da taxa de mobilidade e do número de canais de guarda.

Nas figuras 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, são apresentadas as curvas de utilização versus intensidade de tráfego ρ , para os casos de taxa de mobilidade θ iguais a 0.2, 1.0, 5.0 e 10.0, respectivamente. Observa-se que quase não há variação da utilização se o número de canais de guarda varia entre 0CG e 1CG, as duas curvas são muito próximas para qualquer valor de taxa de mobilidade, θ . Nota-se ainda que as curvas tendem a se aproximar com o aumento da taxa de mobilidade.

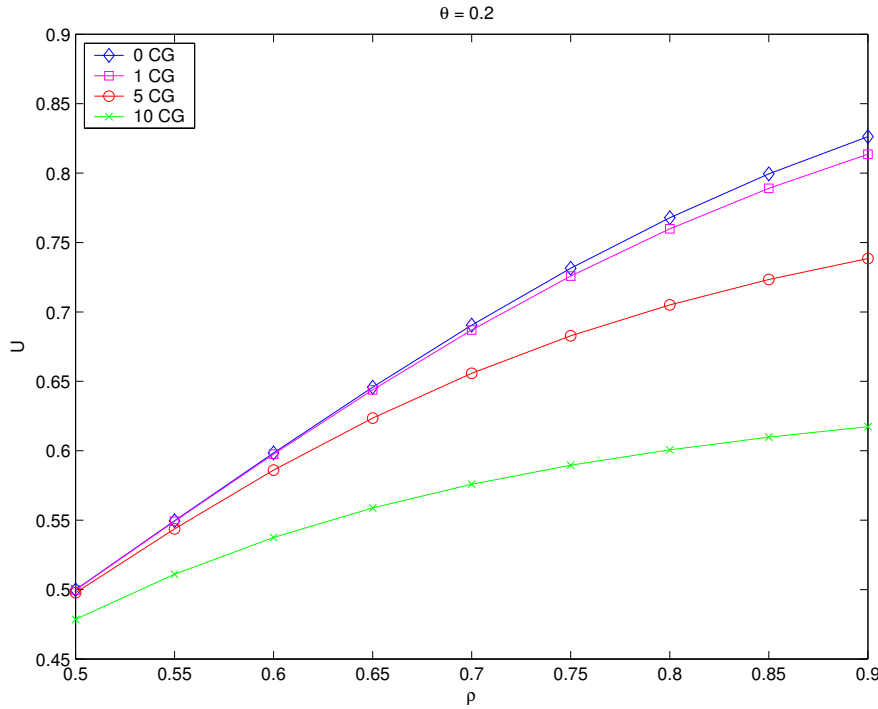


Figura 3.28: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

Nas figuras 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, são apresentadas as curvas de utilização versus intensidade de tráfego ρ , para os casos de número de canais de guarda N iguais a 1CG, 2CG, 5CG e 10CG, respectivamente. Já observamos que no caso de 0CG as curvas são coincidentes. Observa-se que as curvas são muito próximas no caso 1CG, para qualquer taxa de mobilidade. Da mesma forma, as curvas tendem a ser mais afastadas entre si, quando se utiliza um número maior de canais de guarda, por exemplo $N = 10$ na figura 3.35. Portanto, concluímos que deve-se esperar uma pequena variação da utilização nos algoritmos dinâmicos propostos neste trabalho que apresentam variações do número de canais de guarda de acordo com as variações da taxa de mobilidade e do perfil de tráfego ρ .

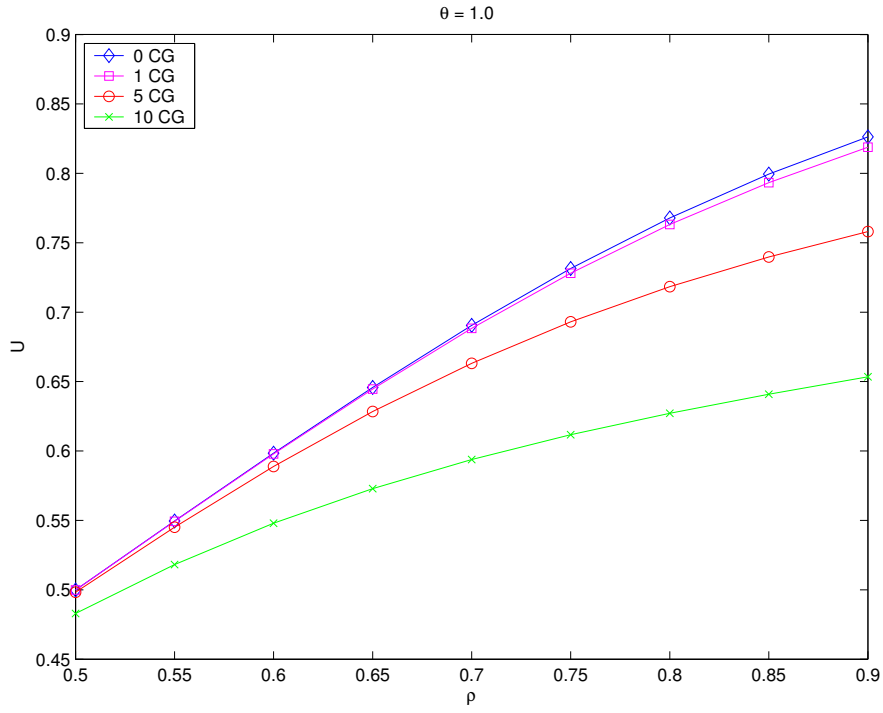


Figura 3.29: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1.0$.

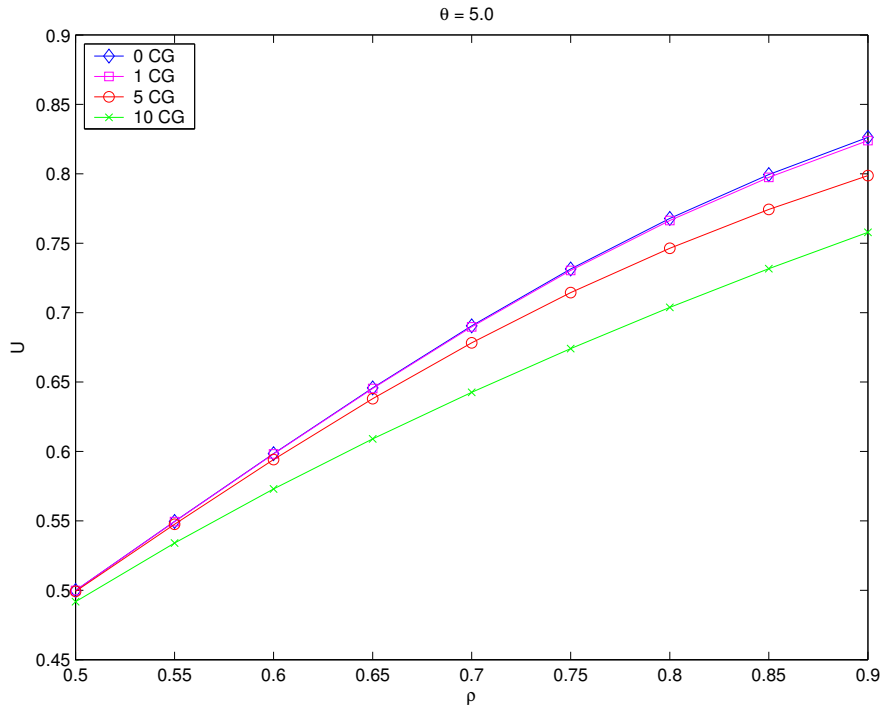


Figura 3.30: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5.0$.

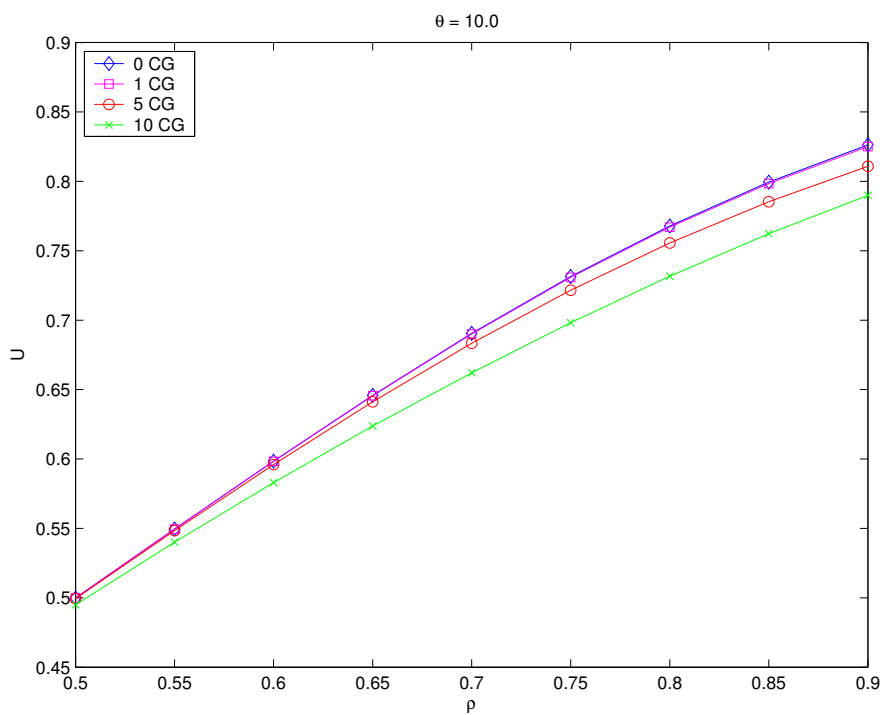


Figura 3.31: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 10.0$.

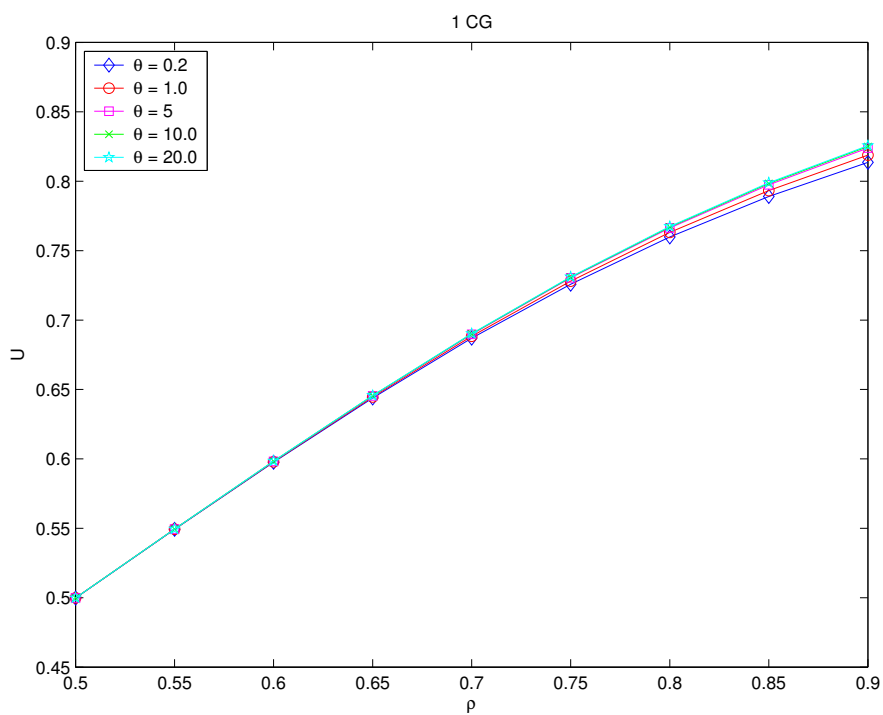


Figura 3.32: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.

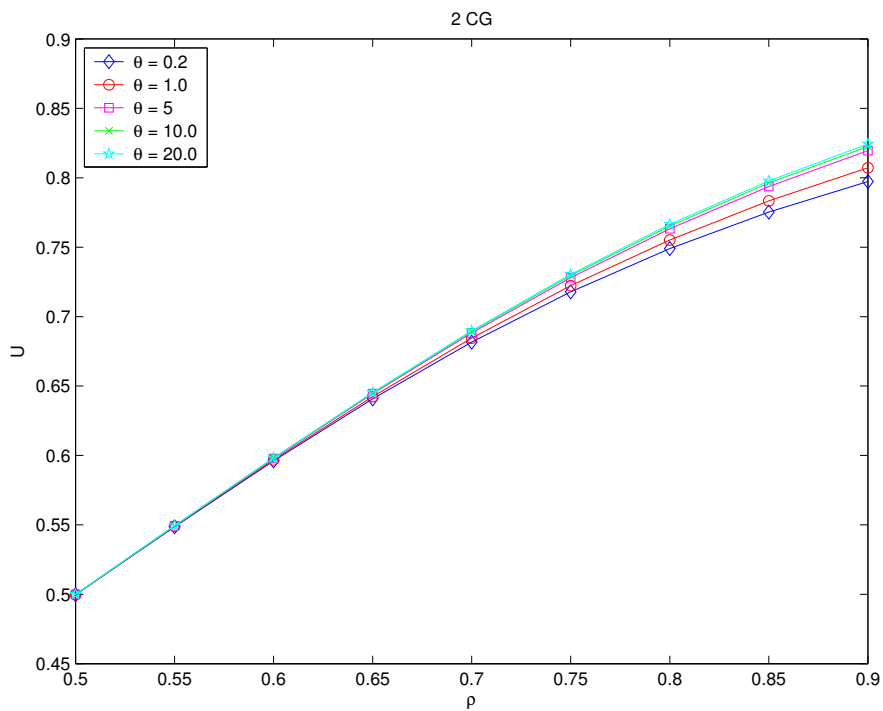


Figura 3.33: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 2CG.

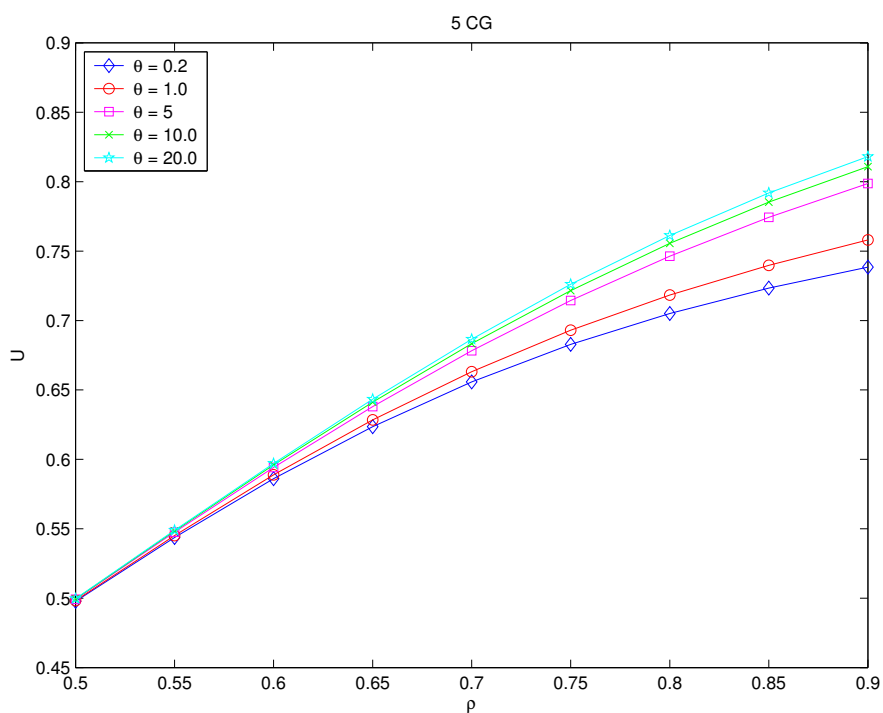


Figura 3.34: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 5CG.

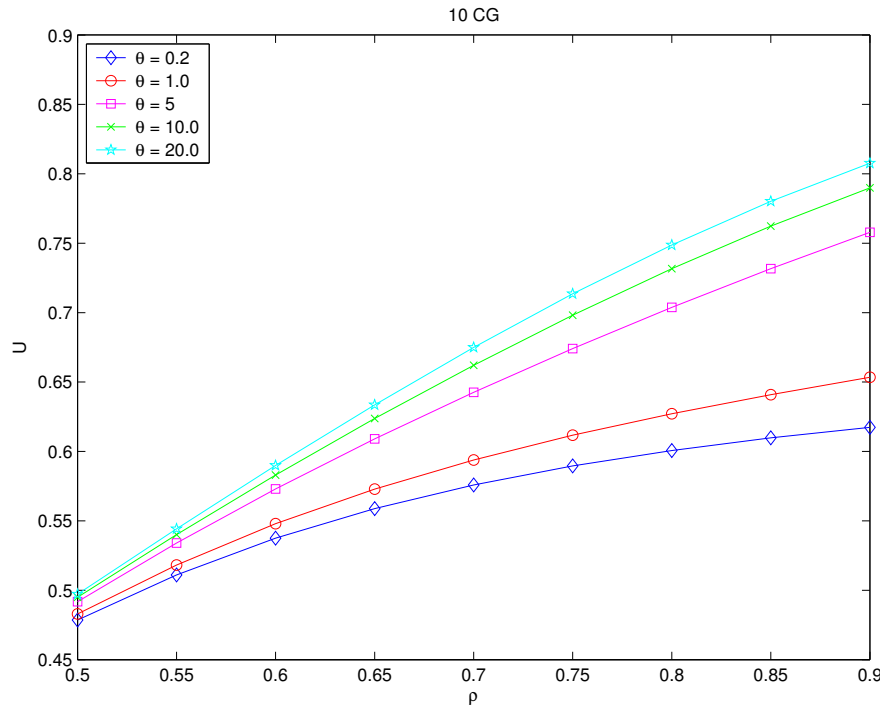


Figura 3.35: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 10CG.

3.7

Conclusão sobre os Sistemas com Uma Classe de Usuários

Os resultados apresentados neste capítulo possibilitaram a análise do comportamento do sistema de acordo com o número de canais de guarda, a intensidade de tráfego e a mobilidade.

Observou-se que quanto maior a mobilidade, mais as curvas de utilização se aproximam entre si, considerando uma curva para cada valor de canais de guarda.

Quanto menor o número de canais de guarda, mais as curvas de utilização se aproximam, considerando uma curva para cada taxa de mobilidade.

Os resultados obtidos pela modelagem analítica feita neste capítulo possibilitam a validação do simulador apresentado no capítulo 4 nos casos em que o número de canais de guarda é fixo. O simulador foi desenvolvido neste trabalho para a avaliação do desempenho dos algoritmos propostos nesta tese.