

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Leonardo Cruz Mello

**Alocação de Canais: Análise
Comparativa para Tecnologia TDMA**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Roberto Boisson de Marca

Rio de Janeiro
Setembro de 2002



Leonardo Cruz Mello

**Alocação de Canais: Análise
Comparativa para Tecnologia TDMA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Roberto Boisson de Marca

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de setembro de 2002

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Leonardo Cruz Mello

Graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora) em 2000. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica e participante do Ramo Estudantil IEEE da UFJF. Atualmente trabalha no CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) em Campinas/SP.

Ficha Catalográfica

Mello, Leonardo Cruz

Alocação de Canais: Análise Comparativa para Tecnologia TDMA / Leonardo Cruz Mello; orientador: José Roberto Boisson de Marca. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2002.

94 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Alocação Fixa de Canal. 3. Alocação Dinâmica de Canal. 4. Alocação Híbrida de Canal. 5. Segregação de Canal. 6. TDMA. 7. Canal de Guarda. I. de Marca, José R. B. (José Roberto Boisson de Marca). II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

À Deus.
Aos meus pais,
Walmir e Marcia
e à Gi.

Agradecimentos

À Fundação CAPES, pelo fomento da bolsa durante a realização deste trabalho.

Ao corpo docente do CETUC - Centro de Estudos em Telecomunicações, por ter contribuído para o meu crescimento profissional acadêmico.

Ao Prof. Boisson por ser o responsável por grande parte do conhecimento que adquiri em Sistemas Móveis Celulares, pela confiança e oportunidade dada para que eu pudesse realizar o meu trabalho.

Ao meu pai e a minha mãe por todo apoio e pelas palavras de conforto nos momentos mais difíceis. A minha vó pela ajuda e a Gi por estar sempre ao meu lado confiando em mim. Sem vocês quatro, esse trabalho não teria sido concluído.

Aos meus amigos Aloysio (Binato), André (Fofão) e Cristiano (Crisinho) por manterem a nossa amizade apesar da distância. Agradeço também ao meu amigo Cláudio (Bodão) por ter sido exemplo de garra, mostrando-me a importância de batalhar pelos nossos ideais.

Ao Rafael, bolsista de iniciação científica, por ter chegado na hora exata e me auxiliado na parte computacional deste trabalho.

Aos meus amigos (as) do CETUC: Brega, Talles, Marcelinho, Macson, Thelma, Claudia, Luis, Rodrigo, Ricardo, Ildelano, Herbert, Robson, De Lamare, Marcio e Zé Antônio pela amizade e ajuda. Agradeço em especial ao Tiago, que por diversas vezes dedicou o seu tempo em me auxiliar.

Resumo

Mello, Leonardo Cruz; de Marca, José Roberto Boisson (Orientador). **Alocação de Canais: Análise Comparativa para Tecnologia TDMA**. Rio de Janeiro, 2002. 94p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os esquemas de alocação fixa de canais (FCA) conferem aos Sistemas de Comunicação Móveis Celulares estabilidade com o custo da necessidade de um pré-planejamento de frequências, trazendo como consequência a baixa tolerância à variabilidade de tráfego. Algoritmos de alocação dinâmica de canais (DCA) têm sido propostos por diversos autores com o intuito de minimizar estes problemas, permitindo ao sistema flexibilidade no momento da escolha do canal candidato para servir a uma ligação. Esquemas de alocação híbrida de canais (HCA), combinam as técnicas de alocação fixa com alocação dinâmica de canais, conferindo ao mesmo tempo estabilidade e flexibilidade ao sistema. Este trabalho compara os algoritmos FCA, DCA e HCA sobre um mesmo cenário de simulação, permitindo analisar o desempenho dos mesmos. O esquema FCA utilizado é o mais simples, onde o primeiro canal com o nível aceitável de relação sinal interferência é escolhido para ser alocado. O esquema DCA utiliza a técnica de Segregação de Canais (CS), permitindo ao sistema maior flexibilidade no momento da escolha do canal candidato, devido à não existência do pré-planejamento de frequências. O terceiro algoritmo, HCA, combina os dois esquemas anteriores. Ao final, será analisado o impacto de se priorizar o procedimento de handoff utilizando-se a técnica conhecida como Canais de Guarda.

Palavras-chave

Alocação Fixa de Canal; Alocação Dinâmica de Canal; Alocação Híbrida de Canal; Segregação de Canal; TDMA; Canal de Guarda.

Abstract

Mello, Leonardo Cruz; de Marca, José Roberto Boisson (Advisor). **Channel Allocation: Comparative Analysis for TDMA Technology**. Rio de Janeiro, 2002. 94p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Fixed channel assignment (FCA) brings to the Cellular Communication Systems stability at the cost of the use of frequency planning, leading to low tolerance to traffic variability. Dynamic channel assignment (DCA) algorithms have been proposed by several authors in order to minimize these problems, incorporating flexibility to the system with respect to channel selection. Hybrid channel assignment (HCA) combines the techniques of fixed and dynamic channel assignment, giving to the system stability and flexibility at the same time. This work compares the FCA, DCA and HCA algorithms on the same simulation scenario, allowing a complete analysis of these approaches. The FCA used is the simplest. In this algorithm, the first channel with an acceptable level of signal to interference ratio is chosen to be allocated. The DCA uses the technique of Channel Segregation (CS), a distributed self-learning algorithm that is shown to yield very good performance. The third algorithm, HCA, combine the two previous techniques. At the end, the impact of prioritizing the procedure of handoff will be analyzed, using the technique known as Guard Channel.

Keywords

Fixed Channel Assignment; Dynamic Channel Assignment; Hybrid Channel Assignment; Channel Segregation; TDMA; Guard Channel.

Sumário

1	Introdução	15
2	Conceitos Iniciais	17
2.1	O Conceito Celular	17
2.2	Interferência	19
2.3	Setorização	21
2.4	O padrão IS-136	21
2.4.1	Sincronismo	23
3	Alocação de Canais	26
3.1	Alocação Fixa de Canais	27
3.2	Alocação Dinâmica de Canais	28
3.2.1	Esquemas DCA Centralizados	30
3.2.2	Esquemas DCA Distribuídos	32
3.3	Alocação Híbrida de Canais	38
3.4	Comparação entre esquemas	39
3.4.1	Comparação entre FCA e DCA	39
4	Priorizando o Procedimento de Handoff	42
4.1	Esquema com Canais de Guarda	43
4.1.1	Canais de Guarda Fixos - CGF	44
4.1.2	Canais de Guarda Segregados - CGS	45
5	Ferramenta de Simulação	47
5.1	O Ambiente de Simulação	47
5.1.1	Organização da Ferramenta	49
5.1.2	Algoritmos DCA CS propostos	50
5.1.3	Algoritmo HCA proposto	50
5.1.4	Parâmetros de Entrada	52
5.2	Medidas de Desempenho do Sistema	54

6	Resultados das Simulações	56
6.1	Comparação entre os algoritmos DCA CS propostos	56
6.2	Comparação entre FCA e DCA CS	60
6.2.1	Variação do tráfego de entrada	60
6.2.2	Variação do número de portadoras FCA	65
6.2.3	Tráfego não uniforme	68
6.3	Comparação entre FCA, DCA CS e HCA	71
6.4	Utilização de Canais de Guarda	76
7	Conclusões e Sugestões	84
7.1	Conclusões	84
7.2	Sugestões	86
	Referências Bibliográficas	87
A	Implementações	90
A.1	Módulo Alocação Dinâmica de Canais	90
A.2	Módulo Interferência	93
A.3	Módulo Handoff	94

Lista de Tabelas

2.1	Fator de reuso, Razão de reuso, Capacidade de tráfego, Qualidade de transmissão	18
3.1	Comparação de desempenho	31
3.2	Comparação entre os esquemas DCA	37
3.3	Comparação entre FCA e DCA	41
5.1	Alocação e Estrutura Celular	52
5.2	Parâmetros iniciais para a simulação	52
5.3	Parâmetros individuais para as ERBs	52
5.4	Distribuição de portadoras por setor	52
5.5	Modelo de mobilidade	53
5.6	Parâmetros por bloco	53
5.7	Parâmetros sistêmicos	53
6.1	Ganho do Algoritmo 3	59
6.2	Ganho na P_B	63
6.3	Ganho de tráfego	63
6.4	Ganho na P_{TF}	63
6.5	Ganho de tráfego	63
6.6	Grupo de células	69
6.7	Ganho da DCA CS sobre a FCA com tráfego não uniforme	71
6.8	Esquemas HCA	71
6.9	Ganhos no tráfego admitido pela FCA3_DCA6 frente a DCA CS	73
6.10	Ganhos no tráfego admitido pela DCA CS frente a FCA3_DCA6	75

Lista de Figuras

2.1	Células co-canais	18
2.2	Interferência	22
2.3	Quadros e Slots do Sistema IS-136	23
2.4	Sistema IS-136 com sincronismo	24
2.5	Sistema IS-136 sem sincronismo	24
3.1	Alocação Fixa de Canais	27
3.2	Alocação Dinâmica de Canais	29
4.1	Distribuição dos canais de guarda fixos	45
4.2	Distribuição dos canais de guarda segregados	46
5.1	Ambiente de Simulação	48
5.2	Organização dos módulos da ferramenta de simulação	49
5.3	Algoritmos propostos	51
6.1	Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)	57
6.2	Probabilidade de falha no handoff em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)	57
6.3	Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)	58
6.4	Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)	59
6.5	Distância média entre usuários co-canais em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)	60
6.6	Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)	61
6.7	Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)	63

6.8	Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)	64
6.9	Distância média entre usuários co-canais em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)	65
6.10	Probabilidade de bloqueio em função do número de portadoras por setor (FCA e DCA CS)	67
6.11	Probabilidade de terminação forçada em função do número de portadoras por setor (FCA e DCA CS)	67
6.12	Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor	70
6.13	Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor	70
6.14	Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (Variações HCA)	72
6.15	Zoom da probabilidade de bloqueio	73
6.16	Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (Variações HCA)	74
6.17	Zoom da probabilidade de terminação forçada	74
6.18	Distância média entre usuários co-canais em função do tráfego de entrada por setor (Variações HCA)	75
6.19	Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGS)	77
6.20	Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (DCA CS com CGS)	77
6.21	Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGF)	78
6.22	Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGS)	79
6.23	Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (DCA CS com CGS)	79
6.24	Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGF)	80

6.25 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (Comparação FCA e DCA CS com CGS)	81
6.26 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGS)	81
6.27 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGF)	82
6.28 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (DCA CS com CGS)	82
A.1 Diagrama de Blocos 1, 2 - Função Alocação Dinâmica	91
A.2 Diagrama de Blocos 3, 4 - Função Alocação Dinâmica	92
A.3 Diagrama de Blocos - Função Interferência Up e Downlink	93
A.4 Diagrama de Blocos - Função Handoff	94

Abreviaturas e Siglas

AMPS - Advanced Mobile Phone System

CGF - Canal de Guarda Fixo (Fixed Guard Channel)

CGS - Canal de Guarda Segregado (Segregated Guard Channel)

CS - Segregação de Canais (Channel Segregation)

DCA - Alocação Dinâmica de Canais (Dynamic Channel Assignment)

DDCA - Alocação Dinâmica de Canais Distribuída (Distributed Dynamic Channel Assignment)

ERB - Estação Rádio Base

FCA - Alocação Fixa de Canais (Fixed Channel Assignment)

FDMA - Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência (Frequency Division Multiple Access)

HCA - Alocação Híbrida de Canais (Hybrid Channel Assignment)

MSC - Mobile Switching Center

SIR - Razão Sinal Interferência (Signal-to-Interference Ratio)

TDMA - Múltiplo Acesso por Divisão no Tempo (Time Division Multiple Access)

UM - Unidade Móvel

Introdução

O rápido crescimento dos usuários da telefonia celular trouxe a necessidade de um reuso eficiente do escasso espectro de frequências alocado para as comunicações móveis celulares. O uso de forma eficiente deste espectro também é importante do ponto de vista financeiro, onde o número de Estações Rádio Bases (ERBs) necessárias para servir uma dada área é um fator dominante.

A limitação no reuso do espectro de frequências é causada pela interferência que pode ser originada pelo próprio ambiente, por outras ERBs ou por outras Unidades Móveis (UMs). Para tentar minimizar esta interferência, e por conseqüência elevar a capacidade do sistema, são empregadas técnicas de Alocação de Canais.

Durante os últimos anos, o estudo destas técnicas passou pelo problema da Alocação Fixa de Canais (*Fixed Channel Assignment - FCA*), aonde os canais são designados de forma estática de acordo com a estrutura celular, até chegarem às técnicas de Alocação Dinâmica de Canais Distribuída (*Distributed Dynamic Channel Assignment - DDCA*) podendo utilizar controle de potência, medidas de interferência e mecanismos específicos de handoff.

O objetivo deste trabalho é estudar o funcionamento do Algoritmo de Alocação Dinâmica de Canais Distribuído conhecido como Segregação de Canais (*Channel Segregation - CS*) e comparar o seu desempenho com os esquemas de Alocação Fixa e Híbrida de Canais, e ainda, verificar qual o impacto de se priorizar as chamadas em procedimento de handoff utilizando-se o Esquema com Canais de Guarda, que é a maneira mais simples de se dar prioridade a este procedimento.

O Capítulo 2 aborda alguns conceitos básicos do Sistema Móvel Celular,

bem como algumas especificações do padrão IS-136 utilizado na ferramenta de simulação. O Capítulo 3 apresenta e discute algumas das principais técnicas de Alocação de Canais: Alocação Fixa, Dinâmica e Híbrida de Canais. Já o Capítulo 4 trata as técnicas de priorizar o procedimento de handoff, mais especificamente a técnica denominada de Canais de Guarda. O Capítulo 5 descreve a ferramenta de simulação, e o Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos para as simulações propostas. Para finalizar, o Capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros.

2

Conceitos Iniciais

2.1

O Conceito Celular

A idéia básica do conceito celular é o reuso de freqüências, ou seja, o conjunto de todos os canais disponíveis é alocado para um cluster, e desta forma este padrão é repetido para todo o sistema obedecendo-se a um plano de reuso de freqüências, proporcionando uma alocação fixa de canais (FCA).

Favorecendo-se das características físicas do ambiente, um mesmo canal pode ser utilizado em transmissões simultâneas, desde que as UMs envolvidas nelas estejam suficientemente espaçadas. As células que possuem o mesmo grupo de canais¹ e estão espaçadas de uma distância D , suficiente para o reuso, são denominadas células co-canais. A Figura 2.1 ilustra uma representação de 3 clusters, cada um com 7 células, e *razão de reuso co-canal*, Q , dada por [1]:

$$Q = \frac{D}{R_C} = \sqrt{3N} \quad (2.1)$$

onde D é a distância de reuso (distância entre os centros das células co-canais), R_C é o raio da célula e N é o número de células no cluster, também conhecido como *padrão de reuso* ou *fator de reuso*.

Para garantir simetria hexagonal na distribuição dos clusters da rede, é necessário que seja feita uma restrição no fator de reuso. Assim, o número de células que o cluster poderá acomodar é dado por:

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (2.2)$$

¹Canais que utilizam as mesmas freqüências.

onde i e j são inteiros não negativos.

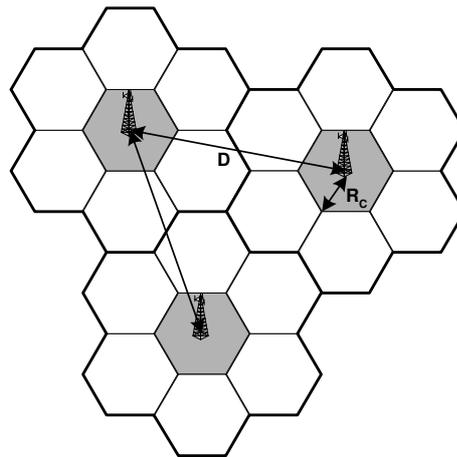


Figura 2.1 Células co-canais

Uma consideração importante que deve ser levada em conta na hora de se escolher o fator de reuso, é o compromisso entre a capacidade de tráfego e a qualidade do sistema. Quanto maior o número de células no cluster, menor é o número de canais disponíveis para cada uma destas células, diminuindo a capacidade de tráfego. Entretanto, tem-se uma menor interferência co-canal, pois as células que utilizam os mesmos canais estão mais distantes umas das outras, aumentando assim a qualidade da transmissão. Estas relações estão ilustradas na Tabela 2.1 [2].

<i>Fator de Reuso</i>	D/R_C	<i>Capacidade de tráfego</i>	<i>Qualidade de transmissão</i>
1	1,73	Maior	Pior
3	3,00	↑	↓
4	3,46		
7	4,58		
9	5,20	Menor	Melhor
12	6,00		

Tabela 2.1 Fator de reuso, Razão de reuso, Capacidade de tráfego, Qualidade de transmissão

O reuso dos canais só é possível devido ao efeito das perdas de propagação do sinal. A potência média recebida de um transmissor a uma distância d , é dada por [1]:

$$P_R(d) \propto P_T d^{-\gamma} \tag{2.3}$$

onde P_T é a potência do sinal transmitido, d é a distância entre o transmissor e o receptor e γ é a constante de atenuação, que varia de acordo com o

meio, tendo seus valores típicos entre 2 e 5. A constante de proporcionalidade leva em conta outros fatores como por exemplo altura do transmissor, altura do receptor, urbanização e frequência de transmissão. A consideração de tais parâmetros vai depender do modelo de propagação utilizado.

Um canal poderá ser reutilizado desde que os níveis de interferência, medidos pela razão sinal interferência, SIR , em cada co-canal estejam acima de um limiar de SIR_{min} . Estes níveis de interferência são calculados a partir do conhecimento da distância entre as células co-canais e das potências de transmissão das ERBs. Para garantir que o nível da SIR_{min} seja atingido, diferentes métodos são utilizados empregando-se Algoritmos de Alocação de Canais.

2.2

Interferência

O fator limitante à capacidade dos sistemas celulares é a interferência. As fontes de interferência incluem outras UMs na mesma célula, ligações em curso nas células vizinhas, outras ERBs operando na mesma frequência ou qualquer outro sistema que venha inadvertidamente a utilizar a mesma banda de frequência destinada ao Sistema Móvel Celular, sendo a *interferência co-canal* e a *interferência de canal adjacente* os dois maiores tipos de interferência geradas neste sistema [1, 2].

O simulador utilizado leva em conta somente a interferência co-canal, onde os sinais provenientes das células que utilizam o mesmo conjunto de frequências são os responsáveis por este tipo de interferência. Para combatê-la não basta um simples aumento na potência de transmissão, pois esta medida implicaria em um aumento na interferência co-canal entre as células vizinhas. Para que esta interferência possa ser reduzida, as células co-canais devem ser separadas fisicamente através de uma distância mínima de reuso, conforme já ilustrado na Figura 2.1, de modo a fornecer um isolamento para a propagação.

Quando se utiliza uma configuração celular com geometria hexagonal, a interferência co-canal causada pelo reuso de frequências pode ser calculada considerando-se 6 células interferentes a uma distância D , 12 células interferentes a uma distância $2D$ e assim sucessivamente.

Considerando-se uma lei de potência para a perda de propagação com a distância, a relação entre o sinal desejado e a interferência co-canal é dada por [2]:

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{K_1=1}^6 I_{K_1} + \sum_{K_2=1}^{12} I_{K_2} + \sum_{K_3=1}^{18} I_{K_3} + \dots} \quad (2.4)$$

onde:

$$S = C d^{-\gamma}$$

$$I_{K_n} = C D_{K_n}^{-\gamma}$$

sendo S a intensidade do sinal desejado transmitido a uma distância d do transmissor, I_{K_n} a intensidade do sinal interferente devido a uma célula no n -ésimo anel a uma distância D_{K_n} do transmissor e C o parâmetro cujo valor depende das características do sistema de transmissão e de fatores de perda de propagação que não a distância.

Considerando o pior caso onde a UM se encontra na fronteira da célula e $D \gg R_C$, temos $d \cong R_C$ e $D_{K_n} \cong n D$. Conseqüentemente,

$$\frac{S}{I} = \frac{C d^{-\gamma}}{6 C D^{-\gamma} + 12 C (2 D)^{-\gamma} + 18 C (3 D)^{-\gamma} + \dots}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{6 \left(\frac{D}{R_C}\right)^{-\gamma} (1 + 2^{-\gamma} 2 + 3^{-\gamma} 3 + \dots)}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{6 \left(\frac{D}{R_C}\right)^{-\gamma} \sum_{K=1}^{\infty} K^{1-\gamma}} \quad (2.5)$$

2.3

Setorização

A interferência co-canal gerada no Sistema Móvel Celular pode ser reduzida substituindo-se a antena omnidirecional localizada em cada ERB, por algumas antenas direcionais, cada uma irradiando em uma determinada direção (setor). Através da utilização destas antenas direcionais, cada célula passa a receber interferência e também a interferir em apenas uma parte dos usuários co-canais existentes no sistema. A técnica que consiste na utilização de antenas direcionais com a finalidade de reduzir a interferência co-canal é conhecida como setorização. A interferência co-canal é reduzida de um fator que depende diretamente do número de antenas utilizadas. Na prática, são utilizadas divisões em três setores de 120° ou seis setores de 60°. A setorização obriga que se execute um handoff quando a UM passa de um setor para outro da mesma célula, denominado handoff intracelular.

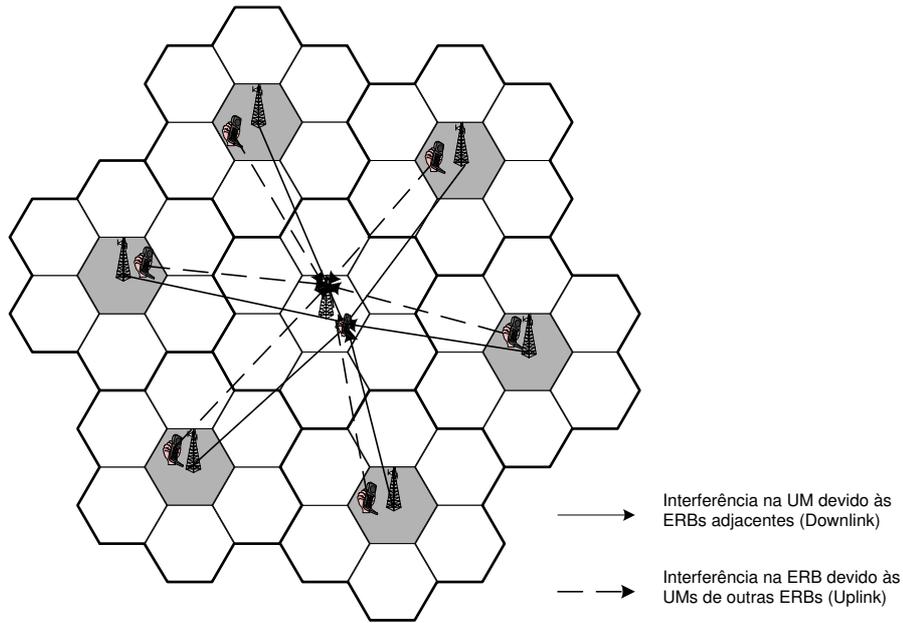
Quando se faz uso da setorização, o número de canais disponíveis para uma dada célula é dividido pelo número de setores, formando novos grupos de canais que só podem ser utilizados dentro de um setor específico.

Assumindo-se um fator de reuso igual a 7, considerando-se apenas o 1° anel interferente e utilizando-se antenas omnidirecionais, tem-se 6 interferentes conforme ilustrado na Figura 2.2(a). Para o mesmo perfil de sistema, porém agora fazendo-se uso da setorização tripla, o número de interferentes é reduzido de 6 para 2, conforme ilustrado na Figura 2.2(b). Isso porque somente 2 das 6 células co-canais geram interferência em um dado setor.

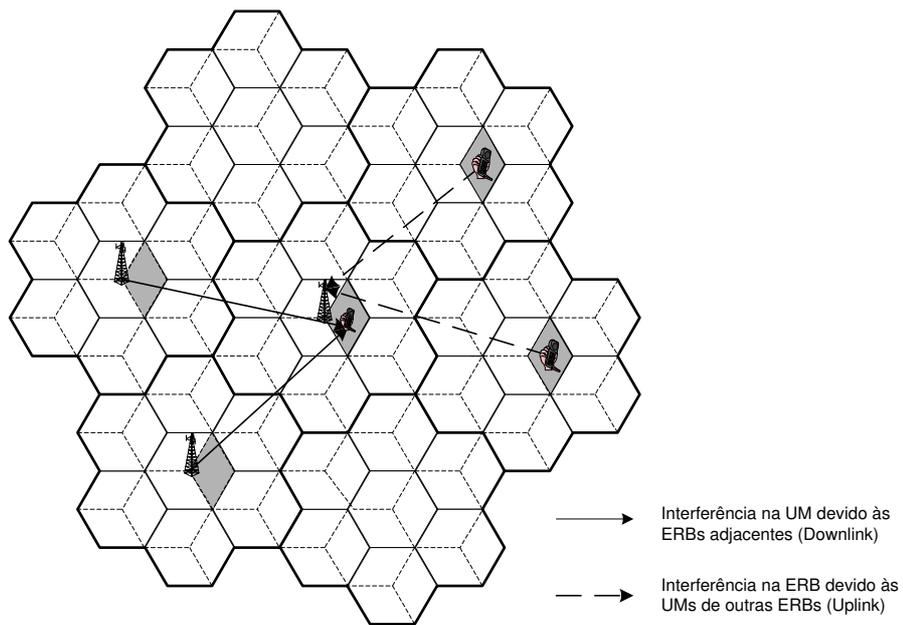
2.4

O padrão IS-136

O sistema IS-136 [3] opera na mesma banda de frequência destinada ao AMPS, que possui no seu espectro expandido uma faixa disponível de 50 MHz. O canal digital é *full duplex*, ou seja, os enlaces de uplink e downlink operam em diferentes faixas separadas de 45 MHz em frequência. Mas também há a possibilidade de que o sistema IS-136 opere na faixa do SMP (Serviço Móvel



(a) Células omnidirecionais



(b) Células setorizadas

Figura 2.2 Interferência

Pessoal), em torno de 1900 MHz, com uma separação de 80 MHz entre os dois enlaces.

Como a tecnologia IS-136 utiliza um híbrido FDMA/TDMA, cada canal físico AMPS passa a ser dividido no tempo compondo um quadro dividido

em 6 slots como ilustrado na Figura 2.3. Existem duas possíveis formas de configuração deste quadro: o modo *Full-Rate* e o *Half-Rate*, permitindo que três e seis usuários, respectivamente, compartilhem simultaneamente a mesma portadora.

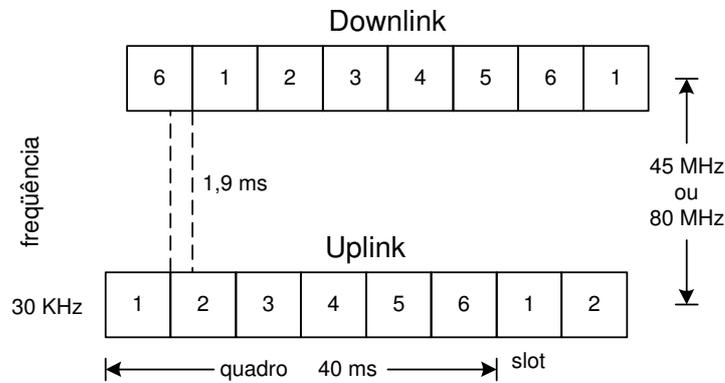


Figura 2.3 Quadros e Slots do Sistema IS-136

A vantagem da configuração half-rate é a alocação de uma largura de banda menor já que o seu codificador de voz opera a 4 Kbps, porém, tem-se uma pior qualidade na conversação e embora prevista no padrão, não é normalmente implementada. A configuração mais utilizada, e que será adotada nas simulações, é a full-rate. Nela dois slots ficarão ociosos entre os slots de transmissão em ambas as direções, downlink e uplink, sendo este período ocioso utilizado pela UM para medir, principalmente, o nível de sinal dos canais disponíveis nas células vizinhas para o procedimento de handoff.

Para evitar que ocorra interferência entre as mensagens de transmissão e recepção, o sistema as separa por um *offset* de tempo de 1,9 ms. Esse procedimento simplifica a implementação dos transmissores e receptores nos equipamentos.

2.4.1

Sincronismo

No simulador utilizado, o sistema IS-136 é considerado sincronizado. Neste tipo de sistema, ERBs e UMs reutilizando a mesma portadora irão sofrer interferência co-canal, em cada slot, de forma similar ao sistema FDMA/analógico, ou seja, as diversas condições de interferências que venham a ocorrer dentro de

um slot são independentes das condições de interferência dos demais slots [4]. Assim, o “slot 1” de uma portadora “p0” somente interferirá e sofrerá interferência dos “slots 1” de outras ERBs e UMs que venham a reutilizar a mesma portadora “p0”, sem levar em consideração os demais slots desta portadora. A Figura 2.4 ilustra este procedimento.

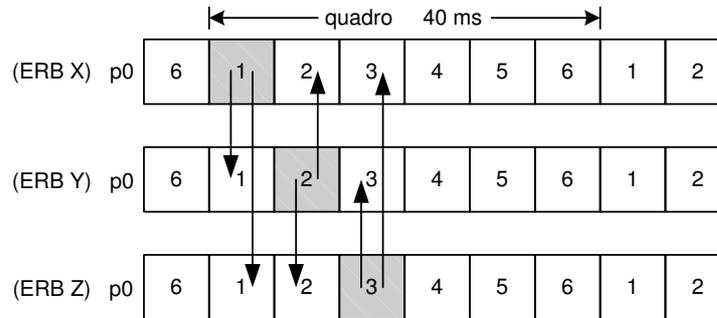


Figura 2.4 Sistema IS-136 com sincronismo

Deve-se observar entretanto que as condições acima representam um sistema TDMA ideal. Sistemas TDMA reais impõem limitações que devem ser consideradas na análise da utilização de algoritmos de Alocação Dinâmica de Canais (DCA). Os principais aspectos a considerar são:

- falta de sincronismo entre portadoras;
- dificuldade dos transceptores sintonizarem diferentes portadoras e potências entre slots de forma rápida.

Ao perder o sincronismo, as UMs que utilizam slots diferentes começam a gerar interferências umas nas outras, ou seja, os “slots 1” começarão a interferir em outros slots da portadora “p0” que está sendo reutilizada por outras ERBs e UMs, como ilustrado na Figura 2.5, dificultando a ocupação dos mesmos.

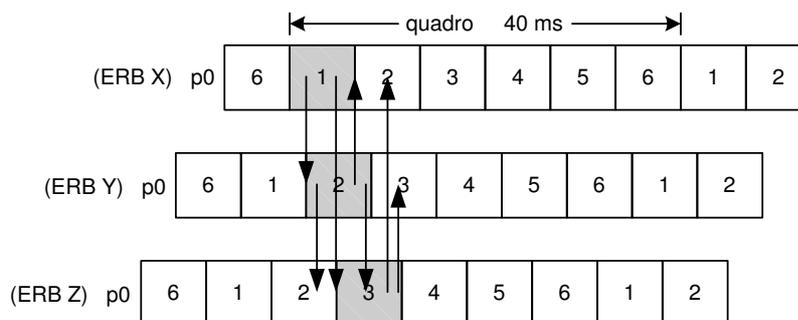


Figura 2.5 Sistema IS-136 sem sincronismo

Este fenômeno representa não somente uma degradação adicional na *SIR* das chamadas em andamento, mas também provoca uma maior probabilidade de bloqueio de novas chamadas, pois, slots livres que antes não sofriam interferência começam a ser interferidos por chamadas em outras células operando em outros slots da mesma portadora.

3

Alocação de Canais

Neste capítulo, serão apresentadas e discutidas algumas das técnicas de Alocação de Canal encontradas na literatura [4–10]. Levando-se em conta a maneira com que os interferentes co-canais são separados, pode-se ter três tipos distintos de alocação:

- *Alocação Fixa de Canais (FCA)*
- *Alocação Dinâmica de Canais (DCA)*
- *Alocação Híbrida de Canais (HCA)*

Inicialmente, serão apresentadas as técnicas de Alocação Fixa de Canais. Nestas, a área geográfica é particionada em células, e um certo número de canais é designado a cada célula, levando-se em conta um padrão fixo de reuso. Quando o sistema é dimensionado para tráfego uniforme, o número total de canais é dividido pelo tamanho do cluster, obtendo-se assim o número de canais disponíveis para cada célula deste cluster. Cada um destes canais poderá ser alocado a uma UM para estabelecer comunicação. Este esquema é simples, mas ineficiente para um sistema onde a condição de tráfego e a distribuição dos usuários varie muito.

A seguir serão apresentadas as técnicas de Alocação Dinâmica de Canais, onde inicialmente não existe a idéia de cluster. Todos os canais são mantidos em uma entidade central e são designados às novas chamadas de acordo com a necessidade, desde que a condição de SIR_{min} seja satisfeita. Ao término da chamada, o canal é devolvido à esta entidade. Estes esquemas fornecem, além de flexibilidade, adaptação ao tráfego. Entretanto, sob condições de tráfego intenso, o método DCA tem desempenho pior que o FCA.

Posteriormente serão apresentadas as técnicas de Alocação Híbrida de Canais, que surgem para tentar solucionar este problema de desempenho, combinando Alocação Fixa com Alocação Dinâmica de Canais.

3.1

Alocação Fixa de Canais

Nesta estratégia, um conjunto de canais¹ é permanentemente designado para cada célula, para seu uso exclusivo. Pode-se observar na Figura 3.1 que cada célula do cluster possui um conjunto distinto de canais, sendo estes conjuntos designados pelas letras A, B, C, D, E, F, G.

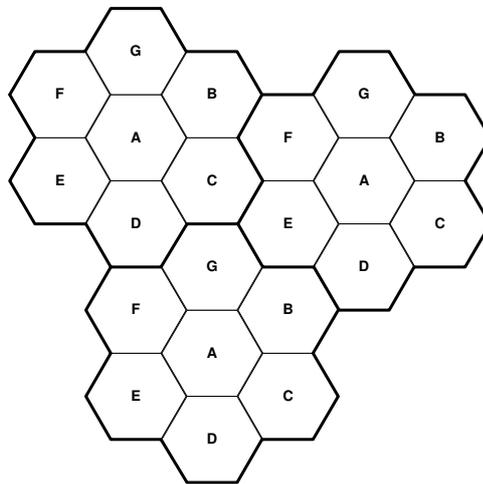


Figura 3.1 Alocação Fixa de Canais

Aqui, uma relação é assumida entre cada canal e cada célula levando-se em conta o fator de reuso como visto no Capítulo 2.

Em uma estratégia FCA simplificada, cada célula possui o mesmo número de canais. Esta distribuição uniforme de canais é eficiente se a distribuição do tráfego no sistema também for uniforme. Neste caso, a probabilidade média de bloqueio do sistema será a mesma da probabilidade de bloqueio das chamadas em cada célula. Como o tráfego nos sistemas celulares pode ser não uniforme, com flutuações temporais e espaciais, uma alocação uniforme de canais pode acarretar em uma alta taxa de bloqueio em algumas células, enquanto que em

¹A nomenclatura *conjunto de canais* é utilizada para simplificar a representação gráfica. Cada um destes conjuntos possui uma certa quantidade de canais, sendo o número de canais disponíveis em uma célula igual ao total de canais do seu respectivo conjunto.

outras podem haver canais disponíveis, resultando em uma sub-utilização dos recursos da rede. Para tentar solucionar este problema, são usadas técnicas de alocação não uniforme de canais (*nonuniform channel allocation*), esquemas de empréstimo estático (*static borrowing*) ou esquemas de empréstimo não estático de canais (*channel borrowing*) [5,6].

Na alocação não uniforme de canais, o número de canais designados para a célula, depende do perfil de tráfego esperado para cada uma delas. Assim, células com um tráfego maior, possuem mais canais do que células com um tráfego menor. Os esquemas propostos em [11] tentam alocar os canais para as células de forma a minimizar a probabilidade média de bloqueio do sistema como um todo.

Nos esquemas propostos de empréstimo estático, os canais não utilizados nas células com baixo tráfego são re-allocados para as células com alto tráfego, que estejam a uma distância maior ou igual à mínima distância de reuso. Embora nestes esquemas os canais sejam permanentemente designados para as células, o número destes canais pode variar periodicamente em cada célula de acordo com as condições de tráfego. Isto pode ser feito de maneira agendada ou preditiva, com as mudanças de tráfego conhecidas de forma antecipada ou baseadas em medidas, respectivamente.

Já as estratégias de empréstimo não estático tomam os canais emprestados até que a chamada seja encerrada, retornando-os logo após para sua célula nominal. Durante o período de empréstimo, várias outras células são impedidas de usar estes canais. Este procedimento é conhecido como travamento de canais (*channel locking*). A quantidade destas células vai depender do tamanho do cluster que está sendo utilizado no sistema, e do tipo da alocação de canais feita inicialmente para as células.

3.2

Alocação Dinâmica de Canais

Devido às variações temporal e espacial de tráfego nos sistemas celulares, os esquemas FCA não permitem uma alta eficiência na utilização dos canais. Para tentar solucionar este problema, são empregados esquemas DCA, e estes

ao contrário dos FCA, não possuem relação fixa entre canais e células. Pode-se observar na Figura 3.2 que para cada célula, todos os conjuntos de canais (A, B, C, D, E, F, G) estão disponíveis. Estes canais são mantidos em uma entidade central, e conforme a ocorrência de novas chamadas são alocados dinamicamente às células [7], retornando à esta entidade ao término da chamada.

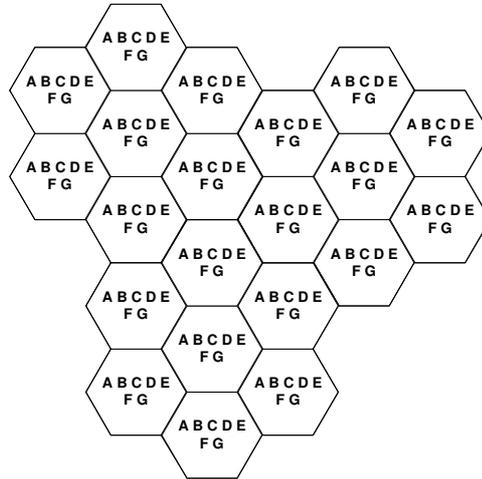


Figura 3.2 Alocação Dinâmica de Canais

Na alocação dinâmica de canais, desde que as condições de interferência sejam satisfeitas, um canal pode ser utilizado em qualquer célula. Como geralmente, mais de um canal está disponível para ser utilizado, existe a necessidade de se empregar estratégias na escolha deste canal.

Além da restrição imposta pela interferência co-canal, o sistema celular também pode incluir medidas que limitem a interferência entre canais adjacentes (*Adjacent Channel Interference - ACI*). Prejuízos ao canal como chamadas cruzadas, handoffs prematuros e queda de chamadas podem resultar desta interferência, levando à degradação da qualidade de serviço. Embora os filtros, tanto dos receptores das ERBs como das UMs, atenuem significativamente o sinal proveniente dos canais adjacentes, pode ocorrer uma séria interferência em circunstâncias onde o nível do sinal recebido dos canais adjacentes exceda o nível do sinal desejado. Esta situação ocorre frequentemente no ambiente celular devido à distância entre terminais e ERBs. Para reduzir este tipo de interferência, sistemas celulares que utilizam alocação fixa de canais evitam o uso de canais adjacentes na mesma ERB.

A maioria dos esquemas DCA que serão discutidos alocam os canais para

as chamadas baseando-se somente na interferência co-canal, ignorando a interferência causada pelos canais adjacentes. Porém, qualquer um deles pode ser modificado, passando a alocar os canais para as chamadas respeitando ambas as interferências co-canal e de canais adjacentes, com o custo da redução no tráfego total admitido.

Baseado nas informações utilizadas para alocar os canais, os esquemas DCA podem ser classificados como de chamada-a-chamada ou como adaptativos [7]. No esquema de chamada-a-chamada a alocação é baseado na informação do uso dos canais em cada ERB no momento da requisição da chamada, enquanto que o esquema adaptativo utiliza além das atuais, informações prévias do uso do canal.

3.2.1

Esquemas DCA Centralizados

Nos algoritmos centralizados a MSC é responsável por tomar a decisão de designar temporariamente um canal para servir a uma chamada [6]. Esta entidade deve ser informada periodicamente da situação de todas as chamadas em curso e dos canais disponíveis no sistema.

Ao conhecer a situação de cada canal disponível, os esquemas centralizados podem atingir uma alocação de canais próxima da ótima [4, 12] aumentando assim a capacidade do sistema. Entretanto, a medida que se aumenta o número de ERBs no sistema, maior se torna o esforço computacional para manter o controle sobre todas elas.

Alguns destes esquemas são bastante conhecidos na literatura [5, 7, 8, 13], podendo-se citar:

- Primeiro Disponível (*First Available - FA*)
- Alocação Dinâmica Localmente Otimizada (*Locally Optimized Dynamic Assignment - LODA*)
- Seleção de acordo com o maior uso no Grupo de Reuso (*Selection with Maximum Usage on the Reuse Ring - RING*)
- Média Quadrática (*Mean Square - MSQ*)

- Vizinho mais Próximo (*Nearest Neighbor - NN*)
- Vizinho mais Próximo + 1 (*Nearest Neighbor plus One - NN + 1*)
- 1 - Clique

No esquema Primeiro Disponível, o primeiro canal disponível encontrado durante a busca, que respeitar a distância de reuso, é alocado para a chamada.

Para se atingir o objetivo de maximizar a eficiência do sistema, deve-se maximizar a utilização de cada canal neste sistema. É óbvio que quanto menor for a distância de reuso, maior será o reuso do canal sobre a totalidade da área de serviço [7].

Para tanto, os esquemas Alocação Dinâmica Localmente Otimizada, Seleção de acordo com o maior uso no Grupo de Reuso, Média Quadrática, Vizinho mais Próximo, Vizinho mais Próximo + 1 e 1 - Clique tentam maximizar a eficiência do sistema através da otimização local, ou global, do reuso do canal na área do sistema.

A Tabela 3.1 ilustra a comparação de desempenho [5, 7] das estratégias anteriores obtida através de simulações. Nela pode-se observar que o esquema Vizinho mais Próximo é o que possui a menor probabilidade de bloqueio de novas chamadas, além de ser o esquema que admite o maior tráfego. Já para a probabilidade de terminação forçada e para o número de vezes que ocorrem mudanças de canais, o esquema que apresentou o melhor desempenho foi o Vizinho mais Próximo + 1.

<i>Medida de desempenho</i>	<i>Resultados</i>
Probabilidade de Bloqueio (Tráfego Leve)	NN, MSQ, FA, NN + 1 →
Probabilidade de Terminação Forçada (Sistema Microcelular)	NN + 1, NN, MSQ, FA →
Mudança de Canal (Sistema Microcelular)	NN + 1, NN, MSQ, FA →
Tráfego Admitido	FA, MSQ, RING, NN + 1, NN →

Tabela 3.1 Comparação de desempenho

Se comparado aos esquemas FCA, os DCA não admitem tráfego intenso. Para aumentar o desempenho dos esquemas DCA em condições de tráfego pe-

sado, várias técnicas de re-alocação de canais são sugeridas. A meta básica da re-alocação de canais é desviar chamadas que ainda estão em processo, sempre que possível, dos canais que elas estão utilizando para outros, com o objetivo de manter uma distância mínima entre células que utilizam simultaneamente o mesmo canal. Deste modo, o reuso de canais é mais concentrado e um maior tráfego pode ser admitido pelo sistema a uma dada taxa de bloqueio.

3.2.2

Esquemas DCA Distribuídos

Sistemas microcelulares têm demonstrado um grande potencial para aumentar a capacidade das redes de comunicação em áreas onde existe grande densidade de usuários. Entretanto, as características de propagação se tornam menos predizíveis e os requisitos para o controle da rede mais intensos do que nos sistemas macrocelulares. Inúmeros resultados de simulações têm demonstrado que os esquemas DCA centralizados podem produzir uma alocação de canais próxima da ótima, porém, com o custo da alta centralização. Devido à simplicidade do algoritmo de alocação em cada ERB, os esquemas distribuídos tornam-se mais atrativos para serem implementados em sistemas microcelulares.

Os esquemas DCA distribuídos propostos utilizam ou informação local sobre os canais disponíveis na vizinhança da célula, Esquemas Baseados na Célula (*cell-based*), ou medidas da potência do sinal (*SIR*), Esquemas Baseados na Medida da Potência do Sinal [5, 14].

3.2.2.1

Esquemas DCA Distribuídos Baseados na Célula

Nos Esquemas Baseados na Célula, o canal é alocado para uma chamada pela ERB na qual a chamada foi iniciada. O que o diferencia do esquema centralizado é que cada ERB mantém informação sobre os canais disponíveis, no momento, na sua vizinhança. Essa informação é atualizada através da troca de informação entre as ERBs. Esse tipo de esquema produz uma alocação de canais próxima da ótima, com o custo da troca excessiva de informações entre

ERBs, especialmente sob tráfego pesado.

São exemplos deste tipo de esquema:

- Reunião Local (*Local Packing Dynamic Distributed Channel Assignment - LP-DDCA*)
- LP-DDCA considerando a Interferência entre Canais Adjacentes (*LP-DDCA with ACI Constraint*)
- Direção de Movimento (*Moving Direction - MD*)

O esquema Reunião Local [5] utiliza a Matriz Ocupação dos Canais (*Augmented Channel Occupancy - ACO*) que contém informação local necessária e suficiente para que a ERB tome a decisão sobre qual canal alocar. Sempre que acontece uma mudança na ocupação dos canais de uma célula, a ERB desta célula informa às ERBs de todas as células interferentes para que elas observem a mudança e atualizem suas matrizes ACO. Uma variação deste esquema [5, 15] impõe condições adicionais na seleção dos canais da matriz ACO, evitando os canais adjacentes para conter a interferência.

A estratégia Direção de Movimento foi proposta em [7] para sistemas microcelulares unidimensionais². Esta estratégia utiliza informação da direção na qual a UM se movimenta para diminuir tanto as terminações forçadas quanto as mudanças de canais. Ela é eficiente nos sistemas onde as UMs se locomovem com velocidades próximas uma das outras ao longo de rodovias e estradas.

3.2.2.2

Esquemas DCA Distribuídos Baseados na Medida da Potência do Sinal

Vários trabalhos com análises dos esquemas FCA e DCA onde a localização da UM não é levada em conta têm sido publicados. Em todos estes esquemas, os canais são alocados para as células baseados na suposição de que a UM está localizada em um lugar qualquer dentro do limite da célula, assim, um conjunto ótimo de canais não é atingido. Nestes esquemas, uma distância de reuso fixa é selecionada, e esta pode ser muito pessimista.

²Sistemas unidimensionais podem ser identificados em casos como o de ruas com prédios altos bloqueando a interferência em ambos os lados.

Nos esquemas DCA adaptativos à interferência, a ERB utiliza somente informação local, sem a necessidade de se comunicar com qualquer outra do sistema. Assim, o sistema é auto-organizado e os canais podem ser utilizados em qualquer lugar, de acordo com a necessidade, para aumentar a capacidade do sistema ou melhorar a sua cobertura. Entretanto, decisões locais podem conduzir a uma alocação sub-ótima.

Nestes esquemas, as UMs e as ERBs estimam a SIR e alocam um canal para a chamada quando esta medida estiver acima de um valor de SIR_{min} . É possível que esta alocação deteriore a SIR das chamadas já em curso, neste caso, ocorrerá uma interrupção no serviço destas chamadas. Se a chamada interrompida não achar um novo canal aceitável imediatamente, o resultado será uma terminação prematura do serviço, denominado de terminação forçada. Caso não exista nenhum canal disponível inicialmente, a chamada será bloqueada.

Estes esquemas permitem um rápido processamento em tempo real e uma máxima aglutinação de canais³, com o custo de aumentar a probabilidade de interferência co-canal com respeito às chamadas em andamento nas células adjacentes, as quais devem lidar com efeitos indesejáveis como interrupção, queda da chamada e instabilidade.

Alguns destes esquemas bastante conhecidos na literatura são:

1. **Busca Seqüencial de Canais (*Sequential Channel Search - SCS*)**

Entre os esquemas DCA de adaptação à interferência, este é o mais simples [5]. Nele, todos os pares UM/ERB examinam os canais na mesma ordem, e escolhem o primeiro disponível com a SIR aceitável. É esperado que este esquema atinja conjuntos sub-ótimos de canais, com o custo de causar várias interrupções.

2. **Mínima Interferência (*Minimum Signal-to-Noise Interference Ratio - MSIR*)**

Neste esquema [5], a ERB busca pelo canal com a mínima interferência na direção reversa (*uplink*). Inicialmente são designados para as novas

³Aglutinação de Canais (*Channel Packing*) refere-se às áreas onde um canal não pode ser reutilizado e qual a proximidade destas áreas.

chamadas ou os canais com pouco uso, ou aqueles que ainda não estão sendo utilizados. Assim, a MSIR possui uma menor probabilidade de interrupção em relação à SCS, mas por outro lado, ela é mais vulnerável ao bloqueio.

3. Seleção Dinâmica de Canais (*Dynamic Channel Selection - DCS*)

É um algoritmo totalmente distribuído, baseado na suposição de que as UMs são capazes de medir a quantidade de interferência que elas sofrem, em cada canal [5]. Na DCS, cada UM estima a probabilidade de interferência e seleciona a ERB que minimiza este valor. A probabilidade de interferência é função de vários parâmetros, tais como a potência do sinal recebido das ERBs, a disponibilidade dos canais e a interferência co-canal. Para avaliar a probabilidade de interferência, devem ser desenvolvidos modelos específicos para cada um dos parâmetros citados anteriormente.

4. Segregação de Canais (*Channel Segregation*)

Esta estratégia foi proposta em [14] como um esquema auto-organizado de alocação dinâmica de canais, e é utilizada e discutida em [7, 9, 10, 13, 16, 17] e neste trabalho.

Fazendo-se uma busca por todos os canais, cada célula seleciona um canal livre com um nível aceitável de interferência co-canal. A ordem de busca é feita de forma independente para cada célula, de acordo com a probabilidade de seleção do canal, $P(i)$, que é constantemente atualizada. Cada célula do sistema guarda o valor atual de $P(i)$ para cada canal i . Quando uma solicitação de chamada chega à ERB, o canal com o maior valor $P(i)$, para esta ERB, é selecionado. Logo após, o nível de potência recebido do canal selecionado é medido para determinar se ele está sendo utilizado ou não.

Se o nível de potência medido estiver abaixo (ou acima) de um limiar, o canal será determinado desocupado (ou ocupado). Se o canal estiver desocupado, a ERB inicia a comunicação utilizando este canal, e a sua prioridade é aumentada para esta ERB. Caso ele esteja ocupado, a sua

prioridade é diminuída para esta ERB, e é feita uma nova tentativa com o próximo canal de maior prioridade. Se todos os canais estiverem ocupados, a chamada é bloqueada.

O valor de $P(i)$ e o mecanismo de atualização determinam o desempenho do algoritmo. Em [5,16] e neste trabalho, $P(i)$ é atualizado para mostrar a probabilidade de transmissões com sucesso no canal i como segue:

Se o canal estiver desocupado:

$$P_{k+1}(i) = \frac{P_k(i) N_k(i) + 1}{N_k(i) + 1} \quad (3.1)$$

$$N_{k+1}(i) = N_k(i) + 1 \quad (3.2)$$

Se o canal estiver ocupado:

$$P_{k+1}(i) = \frac{P_k(i) N_k(i)}{N_k(i) + 1} \quad (3.3)$$

$$N_{k+1}(i) = N_k(i) + 1 \quad (3.4)$$

onde k é o instante da tentativa de alocação do canal e $N(i)$ é o número de vezes que o canal i é acessado, sendo $N_0(i) = 0$ [16].

Em [14], o mecanismo de atualização para $P(i)$ é definido como:

$$P(i) = \frac{N_s(i)}{N(i)} \quad (3.5)$$

sendo $N_s(i)$ o número de usos com sucesso do canal i .

Como não existem canais fixos para uma célula específica, a Segregação de Canais é um método de Alocação Dinâmica de Canais. Também é um método autônomo, pois nenhum plano de reuso de canais é requerido, e é adaptativo às mudanças no ambiente móvel [14]. Os resultados de simulações mostram que este esquema utiliza os canais de forma eficiente

e diminui o número de handoffs intracelulares, isto é, a realocação dos canais para evitar interferência. Ele também diminui em muito a probabilidade de bloqueio se comparada aos esquemas FCA e outros DCA. A velocidade de convergência para uma alocação global ótima de canais é uma questão importante na implementação da Segregação de Canais. Esta técnica atinge rapidamente uma alocação sub-ótima, mas a convergência para a alocação global ótima é mais lenta devido a existência de várias alocações locais ótimas.

Algumas vantagens do Esquema de Segregação de Canais são:

- Totalmente distribuído;
- Autônomo;
- Adaptativo às mudanças de tráfego;
- Diminui o número de handoffs intracelulares;
- Reduz a probabilidade de bloqueio;
- Atinge rapidamente uma alocação sub-ótima.

A Tabela 3.2 mostra a comparação entre os esquemas DCA [5].

	<i>DCA Centralizado</i>	<i>DCA Distribuídos Baseados na Célula</i>	<i>DCA Distribuídos Baseados na Medida da Potência do Sinal</i>
Vantagens	Alocação de canal próxima da ótima	Alocação de canal próxima da ótima	Alocação de canal sub-ótima Algoritmo de alocação simples Uso de informação local Comunicação com outras ERBs é mínima Auto organizado Aumenta a capacidade, a eficiência e a cobertura do sistema Processamento em tempo real rápido Adaptativo às mudanças de tráfego
Desvantagens	Alta centralização	Comunicação intensa com outras ERBs	Aumenta a interferência co-canal Aumenta as interrupções, a probabilidade de terminações forçadas e a instabilidade do sistema

Tabela 3.2 Comparação entre os esquemas DCA

3.3

Alocação Híbrida de Canais

Este esquema [5, 10, 18, 19] é uma mistura das técnicas FCA e DCA. Na HCA, o número total de canais disponíveis é dividido em dois conjuntos: canais fixos e canais com alocação dinâmica. O conjunto fixo contém os canais que são alocados às células como nos esquemas FCA. Estes canais chamados de nominais, são os primeiros a serem utilizados nas suas respectivas células. O segundo conjunto de canais é compartilhado por todos os usuários do sistema para aumentar a flexibilidade. Quando uma chamada requisitar serviço de uma célula e todos os seus canais nominais estiverem ocupados, um canal do conjunto dinâmico será alocado para a chamada, seguindo qualquer uma das estratégias DCA descritas anteriormente.

Em [10] foi considerado um método híbrido das técnicas FCA e DCA CS, sendo a alocação híbrida administrada pela segunda técnica. Neste método híbrido, o conjunto de canais fixos é formado, para cada célula, atribuindo-se uma prioridade máxima a alguns canais através da técnica DCA CS. Assim, estes canais serão inicialmente utilizados tanto para as novas chamadas, quanto para as chamadas em procedimento de handoff. A este grupo de canais fixos, atribui-se prioridade zero nas células vizinhas. Assim, uma alocação fixa de canais é atingida.

Na HCA, a probabilidade de bloqueio de novas chamadas é definida como a probabilidade de uma nova chamada requisitar serviço de uma dada célula e não encontrar nenhum canal livre em ambos os conjuntos fixo e dinâmicos. Porém, isto é apenas uma simplificação, pois podem haver canais dinâmicos disponíveis, mas devido a interferência, o seu uso se tornar inadequado. Um parâmetro importante para o desempenho do sistema, é a razão entre canais fixos e dinâmicos, e esta, pode variar ao longo do tempo, pois geralmente ela é função das estimativas de distribuição do tráfego.

3.4

Comparação entre esquemas

No método FCA, vários usuários já possuem os seus canais garantidos, uma vez que a cada célula é dado um conjunto fixo destes, dando uma estabilidade ao sistema. A HCA também confere ao sistema esta estabilidade, pois além dos canais dinâmicos, um número fixo de canais é garantido ao sistema. Algoritmos puramente dinâmicos, entretanto, não oferecem proteção às células, uma vez que as chamadas podem não encontrar canais disponíveis. Esta situação de *blackout*⁴ é um caso extremo da má utilização que pode ocorrer nos esquemas DCA.

3.4.1

Comparação entre FCA e DCA

De forma geral, existe uma ligação entre qualidade de serviço, complexidade de implementação dos algoritmos de alocação de canais e a eficiência da utilização do espectro.

Análises dos resultados de simulações, mostram que sob tráfego de baixa intensidade, as estratégias DCA têm melhor desempenho. Entretanto, os esquemas FCA se tornam superiores sob tráfego pesado, especialmente no caso de tráfego uniforme. No caso de tráfego não uniforme e com carga leve a moderada, os esquemas DCA têm um desempenho melhor, pois eles utilizam o canal de forma mais eficiente do que a FCA. Já no caso da FCA os canais são pré-designados às células, e assim existirão ocasiões, devido as flutuações de tráfego, em que as chamadas serão bloqueadas, mesmo havendo canais disponíveis nas células adjacentes.

Geralmente para a mesma probabilidade de bloqueio, a DCA tem uma menor probabilidade de terminações forçadas do que a FCA. Na FCA, uma chamada deve trocar de canal a cada handoff, porque o mesmo canal não está disponível em células adjacentes. Já na DCA, o mesmo canal pode ser alocado na nova célula desde que não ocorra interferência co-canal. Nos sistemas

⁴Blackout se refere à situações onde na célula além de não existirem chamadas em progresso, também não existem canais disponíveis.

microcelulares, as UMs atravessam os limites das células freqüentemente e o tráfego em cada uma delas varia drasticamente. Assim, um rigoroso controle de alocação de canais é requerido, resultando numa freqüente necessidade de funções de controle da rede. A aplicação de esquemas DCA nestes sistemas pode ser vantajosa, devido à sua flexibilidade em alocar canais.

3.4.1.1

Comparação da complexidade do sistema

Na FCA, o controle da alocação é feito de forma independente em cada célula, selecionando um canal livre entre aqueles designados para uma dada célula antecipadamente. Na DCA, o conhecimento dos canais ocupados em outras células bem como na célula em questão é necessário. A quantidade de controle é diferente em cada estratégia DCA, com isso, a complexidade da implementação é maior do que a da FCA. A implementação física da DCA requer além de um grande processamento, para determinar as alocações ótimas, também uma grande carga de sinalização. Por outro lado, a FCA requer um complexo planejamento de freqüências, o que não ocorre na DCA.

Considerando o tipo de controle, a FCA é adequada para sistemas com controle centralizado, enquanto que a DCA é aplicável à sistemas com controle descentralizado. O esquema centralizado gera um alto volume de controle em sistemas microcelulares, criando um gargalo no sistema. Uma solução é dividir a área de controle em várias sub-áreas de tamanho adequado. A Tabela 3.3 mostra a comparação de desempenho dos esquemas DCA e FCA [5].

<i>FCA</i>	<i>DCA</i>
<p>Melhor desempenho sob tráfego pesado</p> <p>Baixa flexibilidade na alocação de canais</p> <p>Máximo reuso dos canais</p> <p>Sensível às variações temporais e espaciais</p> <p>Grau de serviço por célula instável em um grupo de células interferentes</p> <p>Alta probabilidade de terminações forçadas</p> <p>Apropriado para um ambiente com células maiores</p> <p>Baixa flexibilidade</p>	<p>Melhor desempenho sob tráfego leve/moderado</p> <p>Alocação de canais flexível</p> <p>Nem sempre o reuso dos canais é máximo</p> <p>Não é sensível às variações temporais e espaciais</p> <p>Grau de serviço por célula fixo em um grupo de células interferentes</p> <p>Baixa a moderada probabilidade de terminações forçadas</p> <p>Apropriado para um ambiente microcelular</p> <p>Alta flexibilidade</p>
<p>Equipamento de rádio cobre todos os canais designados à célula</p> <p>Canal independente – controle totalmente centralizado a totalmente distribuído</p> <p>Baixo esforço computacional</p> <p>Baixo atraso para iniciar a chamada</p> <p>Baixa complexidade de implementação</p> <p>Complexo plano de frequências</p> <p>Baixa carga de sinalização</p> <p>Controle centralizado</p>	<p>Equipamento de rádio cobre os canais temporários designados à célula</p> <p>Controle dependente do esquema</p> <p>Alto esforço computacional</p> <p>Moderado a alto atraso para iniciar a chamada</p> <p>Moderada a alta complexidade de implementação</p> <p>Não possui plano de frequências</p> <p>Moderada a alta carga de sinalização</p> <p>Controle centralizado, descentralizado ou distribuído dependendo do esquema</p>

Tabela 3.3 Comparação entre FCA e DCA

4

Priorizando o Procedimento de Handoff

O termo *Handoff* é definido como sendo o mecanismo de mudança do canal utilizado por uma UM, e todos os esquemas de alocação de canal apresentados anteriormente não levam em conta o seu efeito para o desempenho do sistema. Este novo canal pode estar ou na mesma ERB, handoff intracelular, ou em uma nova, handoff intercelular.

Geralmente o handoff é causado ou pela degradação da *SIR* do canal ou é iniciado pelo próprio sistema, que reorganiza os canais para evitar congestionamento. Este capítulo tratará da primeira causa, onde a baixa qualidade do sinal, devido às mudanças no ambiente ou à movimentação da UM, é o motivo deste procedimento de handoff.

Quando a UM, que está com uma ligação em curso, se movimenta e atravessa os limites de sua célula passando para uma outra, a chamada deve ser redirecionada para um novo canal de forma a prover serviço ininterrupto ao usuário. Se nesta célula adjacente não houverem canais disponíveis para atender ao handoff, a chamada sofrerá uma terminação forçada¹. Em ambientes microcelulares, o procedimento de handoff tem um efeito importante no desempenho do sistema, uma vez que devido ao tamanho de suas células, ele pode ser realizado várias vezes, podendo acarretar em uma alta taxa de terminações forçadas caso as células adjacentes não tenham canais suficientes para servirem a este procedimento. Uma questão importante é limitar esta probabilidade de terminações forçadas de chamadas, pois do ponto de vista do usuário, a terminação forçada de uma chamada em curso é menos desejável do que o bloqueio de uma nova. Por isso, o sistema deve reduzir as chances de

¹A terminação forçada ocorre quando uma chamada em procedimento de handoff é bloqueada. Isso pode ocorrer por falta de canais disponíveis, ou pela insuficiência de *SIR*.

handoff sem sucesso através de esquemas que reservem canais exclusivamente para este procedimento.

Estes esquemas aumentam o desempenho do sistema com o custo da redução do tráfego total admitido, e com o aumento da probabilidade de bloqueio de novas chamadas. Vários esquemas de controle de admissão de chamadas foram propostos e estudados [5, 11, 16, 20, 21] com o intuito de limitar a probabilidade de bloqueio das chamadas em procedimento de handoff.

A maneira mais simples de se dar prioridade ao handoff é reservar alguns canais para este procedimento em cada célula. Na literatura, estes esquemas são conhecidos como Esquema de Prioridade com Corte² (*Cutoff Priority Scheme - CPS*) ou como Esquema com Canais de Guarda (*Guard Channel Scheme - GCS*), e podem ser utilizados tanto na alocação fixa de canais quanto na dinâmica.

Outro tipo de esquema bem conhecido é o Esquema de Filas, este pode ser utilizado tanto para as Novas Chamadas (*New Call Queuing Schemes*) quanto para as chamadas em procedimento de Handoff (*Handoff Queuing Schemes*), permitindo que ambos os tipos de chamada aguardem na fila até que novos canais sejam obtidos na célula.

4.1

Esquema com Canais de Guarda

Este esquema oferece um meio de aumentar a probabilidade de handoffs com sucesso através da simples reserva de um número de canais exclusivos para este procedimento. Os demais canais podem ser divididos igualmente entre handoffs e novas chamadas.

Os canais de guarda podem ser alocados tanto de maneira fixa como de maneira dinâmica. Ao se reservar canais de guarda de maneira fixa (CGF), a idéia de cluster utilizada nos esquemas FCA deve ser obedecida. Assim, o número total de canais destinados para serem de guarda será dividido pelo número total de células do cluster, sendo desta forma alocados de maneira uni-

²No Esquema de Prioridade com Corte os canais reservados exclusivamente para o procedimento de handoff são denominados canais de guarda, por isso ele também é conhecido como Esquema com Canais de Guarda.

forme para cada célula [16, 22]. O esquema com canais de guarda alocados de maneira dinâmica, pode seguir qualquer uma das estratégias DCA discutidas no Capítulo 3.

O custo da utilização de qualquer um destes esquemas é a redução no tráfego total devido ao fato de que um menor número de canais estará disponível para as novas chamadas. Essa desvantagem pode ser superada utilizando-se o Esquema de Filas para as novas chamadas. Intuitivamente pode-se dizer que o Esquema de Filas é factível, pois, as novas chamadas são menos sensíveis ao atraso do que as chamadas em handoff [6].

Outra desvantagem em se utilizar canais de guarda, especialmente com esquemas FCA, é o risco da má utilização do espectro. Uma estimativa cuidadosa da distribuição do tempo de ocupação do canal e o conhecimento do padrão de tráfego são essenciais para minimizar este risco, determinando-se o número ótimo de canais de guarda [6].

4.1.1

Canais de Guarda Fixos - CGF

Ao se reservar canais de guarda de maneira fixa, deve-se obedecer à idéia de cluster utilizada nos esquemas FCA. Assim, o número total de canais destinados para serem de guarda será dividido pelo número total de células do cluster, sendo desta forma alocados de maneira uniforme para cada célula [16, 22].

Estes canais são distribuídos de forma a obedecerem à distância de reuso vista no Capítulo 2, sendo necessário um pré-planejamento de frequências para evitar a interferência co-canal entre os canais de guarda.

A Figura 4.1 ilustra o exemplo de um sistema que possui um total de 70 canais disponíveis. Deste total, 21 canais foram destinados para serem utilizados como canais de guarda fixos, servindo apenas às chamadas em procedimento de handoff. Os demais 49 canais, denominados de ordinários, podem ser utilizados tanto para as novas chamadas quanto para as chamadas em procedimento de handoff, e podem seguir qualquer um dos esquemas FCA ou DCA vistos no Capítulo 3.

Quando a ERB recebe um pedido para servir uma chamada em handoff, ela

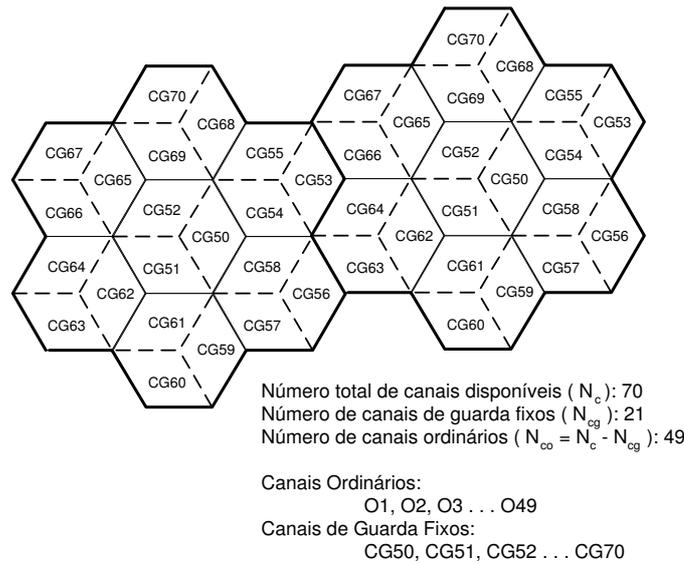


Figura 4.1 Distribuição dos canais de guarda fixos

tenta inicialmente alocar um dos canais ordinários, disputando este canal como se fosse uma nova chamada. Caso não haja sucesso na tentativa de alocação após percorrer todos estes canais, ela tentará alocar um dos canais de guarda reservados especialmente para este procedimento. A chamada só sofrerá uma terminação forçada caso não haja sucesso na tentativa de alocar um destes canais de guarda. Isto pode ocorrer quando a SIR do canal estiver abaixo do valor de SIR_{min} , ou quando todos estes canais já estiverem ocupados.

4.1.2

Canais de Guarda Segregados - CGS

Neste esquema, todos os canais reservados para servirem como canais de guarda de maneira dinâmica deverão estar disponíveis para todas as células do sistema, obedecendo aos mesmos critérios do esquema DCA de Segregação de Canais, conforme ilustrado na Figura 4.2.

Os procedimentos de tentativa de alocar um canal são os mesmos utilizados no esquema CGF, tentando-se inicialmente alocar um dos canais ordinários. Caso não haja sucesso nesta alocação, serão tentados os canais de guarda reservados especialmente para este procedimento. Se esta tentativa também não obtiver sucesso, a chamada sofrerá uma terminação forçada. Diferentemente do esquema CGF, no CGS não existe a necessidade de se fazer um

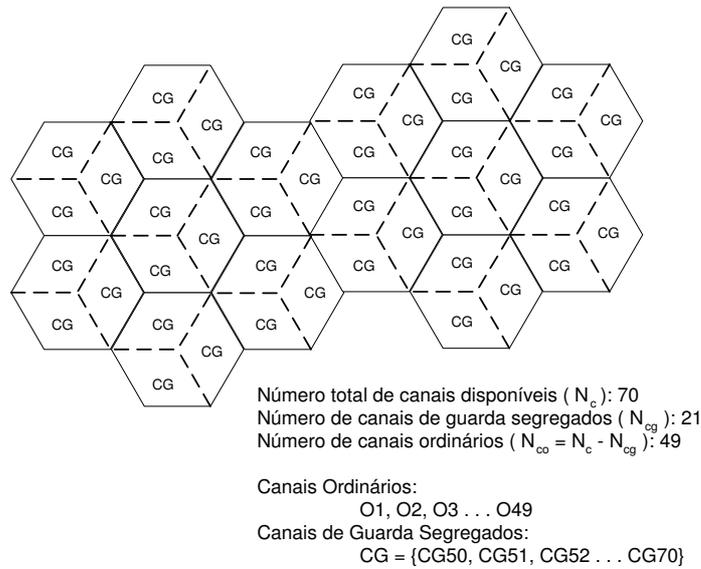


Figura 4.2 Distribuição dos canais de guarda segregados

pré-planejamento de frequências, uma vez que os canais de guarda são alocados dinamicamente por ordem de prioridade.

Do ponto de vista da probabilidade de falha no handoff, o esquema CGS tem melhor desempenho do que o esquema CGF, uma vez que os canais não são alocados de maneira fixa para cada célula. No esquema CGS, quando uma chamada em procedimento de handoff tentar alocar um canal, em princípio, ela terá a sua disposição além dos canais ordinários todos os canais de guarda, e não uma parte deles como no esquema CGF.

5

Ferramenta de Simulação

O programa utilizado como base para as simulações foi proposto e implementado em [23] como sendo uma ferramenta de simulação flexível para a análise dos procedimentos relacionados à interface aérea de uma rede celular utilizando o padrão IS-136. Como contribuição deste trabalho, alguns módulos foram alterados e outros recriados, de forma a possibilitar que a alocação de canais pudesse ser feita além da forma fixa (FCA) como anteriormente, também de maneira dinâmica (DCA) e híbrida (HCA), permitindo assim um aumento na capacidade do sistema para determinadas condições de tráfego como visto no Capítulo 3. Além disso, novas implementações foram feitas no módulo de handoff de modo a possibilitar, se necessário, que este procedimento seja priorizado como visto no Capítulo 4.

Neste capítulo serão apresentadas algumas características desta ferramenta de simulação.

5.1

O Ambiente de Simulação

O ambiente de simulação considerado é um sistema bidimensional composto por 49 células reais e 84 células virtuais, que são utilizadas para conter o conhecido efeito de borda tornando o sistema mais próximo da realidade e seus resultados mais confiáveis. Para tanto, o mapa de células ilustrado na Figura 5.1 é dobrado de forma a se obter um tubo, e novamente arranjado para formar um toróide ou um “doughnut” [10].

O modelo de propagação utilizado é o de Walfish-Ikegami, também conhecido como COST 231, aplicável tanto em macro quanto em microcélulas, em

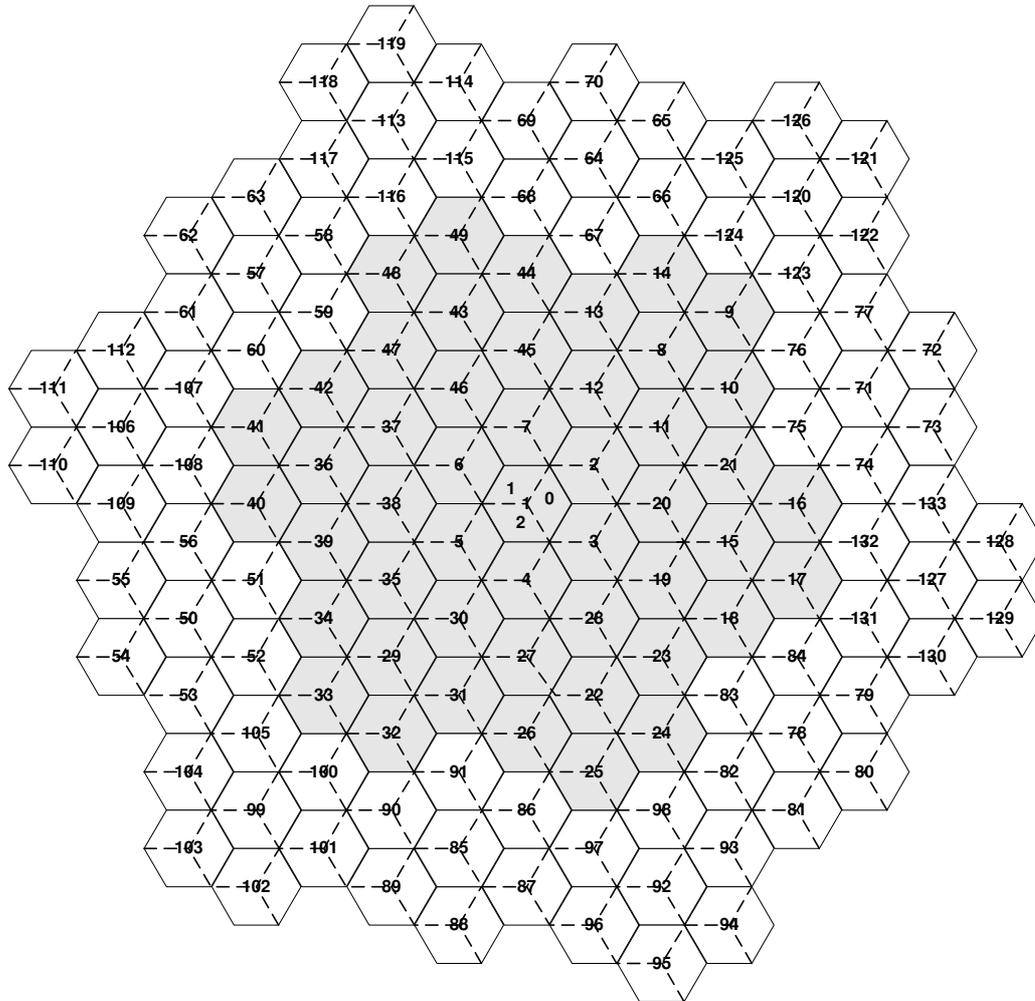


Figura 5.1 Ambiente de Simulação

terrenos planos e urbanos. Assume-se que a região é composta por prédios altos com alturas similares e dispostos em fileiras separadas por ruas. Admite-se também que as ruas são paralelas entre si de forma semelhante à configuração “Manhattan Grid” utilizada nesta ferramenta.

No modelo de tráfego adotado em [23], os instantes de chegada de novas chamadas são modelados por um processo estacionário de Poisson, e os intervalos entre estas chegadas bem como a duração das chamadas são exponencialmente distribuídas.

Como nos sistemas celulares existem variações temporais e espaciais de tráfego, a ferramenta permite taxas distintas de originação de chamadas em diferentes áreas do sistema, tornando possível a simulação de tráfego não uniforme.

5.1.1

Organização da Ferramenta

Após a entrada dos parâmetros requeridos para a simulação, inicia-se a criação da estrutura do sistema móvel celular de acordo com os dados especificados. Logo em seguida o programa entra em ciclos, realizando a cada iteração os principais procedimentos de um processo de comunicação celular. Cada ciclo corresponde ao tempo de iteração especificado como parâmetro de entrada do programa.

A Figura 5.2 ilustra como os módulos referentes aos procedimentos estão organizados na ferramenta de simulação.

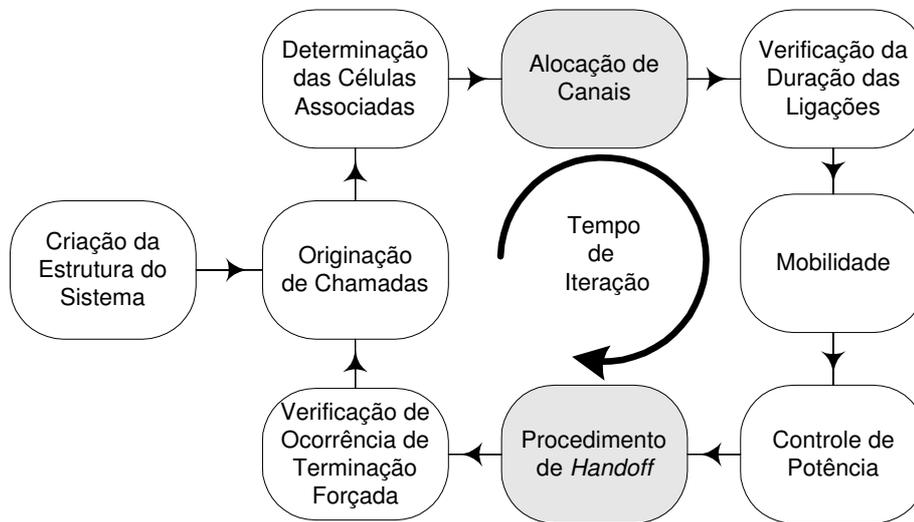


Figura 5.2 Organização dos módulos da ferramenta de simulação

Na Figura acima, os módulos em destaque representam as principais modificações¹ realizadas na plataforma de simulação. No Módulo Alocação de Canal foram implementados os esquemas DCA CS e HCA, e no Módulo Procedimento de Handoff foi implementada a técnica de Canais de Guarda, sendo possível a utilização destes canais de forma fixa (CGF) ou segregada (CGS).

¹O funcionamento destes módulos está descrito na forma de diagrama de blocos no Apêndice A.

5.1.2

Algoritmos DCA CS propostos

Foram propostos três algoritmos para analisar o desempenho da técnica DCA de Segregação de Canais em sistemas FDMA/TDMA sincronizados com células setorizadas. Estes algoritmos diferem no que diz respeito à necessidade ou não de se fazer certas limitações no momento da alocação de canais devido à setorização.

Essas limitações (bloqueio e decréscimo de prioridade das portadoras) tentam impedir que uma portadora, cujos canais estão sendo utilizados em um setor de uma dada célula, possa ser reutilizada, simultaneamente, em qualquer um dos outros dois setores desta mesma célula.

Os três algoritmos propostos são descritos abaixo e estão ilustrados na Figura 5.3.

- **Algoritmo 1 - Agressivo**

Bloqueia a portadora que estiver sendo utilizada em um setor, nos demais setores desta mesma célula

- **Algoritmo 2 - Intermediário**

Diminui a prioridade da portadora que estiver sendo utilizada em um setor, nos demais setores desta mesma célula

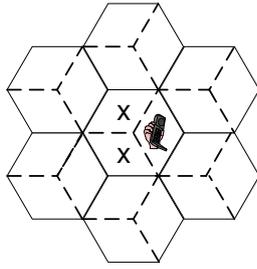
- **Algoritmo 3 - Maior Liberdade**

Não bloqueia a portadora nem altera sua prioridade, deixando o sistema com total liberdade para determinar se ela pode ou não ser utilizada

5.1.3

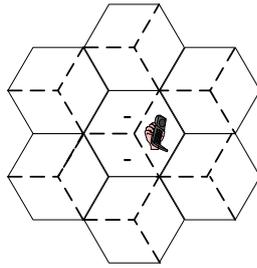
Algoritmo HCA proposto

O algoritmo implementado na ferramenta segue o método híbrido das técnicas FCA e DCA CS proposto em [10]. O número total de portadoras disponíveis é dividido em duas listas. A lista com o conjunto fixo contém as portadoras que são alocadas inicialmente às células seguindo o esquema FCA, e

**ALGORITMO 1 (Agressivo)**

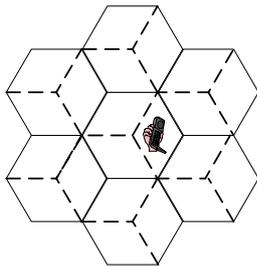
Bloqueia a portadora utilizada em um setor nos demais setores desta célula

(a) Algoritmo 1

**ALGORITMO 2 (Intermediário)**

Diminui a prioridade da portadora utilizada em um setor nos demais setores desta célula

(b) Algoritmo 2

**ALGORITMO 3 (Maior Liberdade)**

Não bloqueia a portadora nem altera sua prioridade, deixando o sistema com total liberdade

(c) Algoritmo 3

Figura 5.3 Algoritmos propostos

a lista com o conjunto dinâmico contém as portadoras que são compartilhadas por todas as células do sistema seguindo a estratégia DCA CS.

Quando uma chamada requisitar serviço de uma célula e todos os seus canais do conjunto fixo estiverem ocupados, um canal do conjunto dinâmico será alocado para a chamada. A notação utilizada é $FCAx_DCAy$, significando que x portadoras são utilizadas para FCA e y para DCA CS. O total de portadoras para uso simultâneo no sistema é considerado como sendo $x+y$.

5.1.4

Parâmetros de Entrada

A seguir será dada uma descrição dos possíveis parâmetros de entrada da ferramenta que podem ser modificados de acordo com o propósito do estudo.

<i>Alocação e Estrutura Celular</i>	
Escolha do tipo de alocação de canal	FCA, DCA e HCA
Escolha do sistema a ser simulado	Macro células

Tabela 5.1 Alocação e Estrutura Celular

<i>Parâmetros iniciais para a simulação</i>	
Número de clusters reais	7
Distância entre duas ERBs adjacentes (Km)	1,4

Tabela 5.2 Parâmetros iniciais para a simulação

<i>Parâmetros individuais para as ERBs</i>	
Número de setores	3
Número de portadoras por setor	VARIÁVEL
Número de células vizinhas candidatas a handoff	6
Histerese (dB)	5
Frequência utilizada (MHz)	850
Tipo de área	urbana
Potência de transmissão da ERB (dBm)	43,7
Ganho da antena na ERB (dBi)	18
Altura da antena na ERB (m)	40
Número de slots alocados por frame TDMA	2 (Full-Rate)

Tabela 5.3 Parâmetros individuais para as ERBs

<i>Distribuição de portadoras por setor</i>	
Algoritmo de alocação DCA CS	Agressivo, Intermediário e Maior Liberdade
Número de portadoras disponíveis no sistema	VARIÁVEL
Máximo de portadoras para uso simultâneo	VARIÁVEL
Prioridade ao handoff	Fixo ou Segregado
Portadoras	Número de portadoras de guarda Conjunto fixo (VARIÁVEL) Conjunto dinâmico (VARIÁVEL)

Tabela 5.4 Distribuição de portadoras por setor

<i>Modelo de mobilidade</i>	
Mobilidade aleatória	Sim
Zona temporal	Dia
Número de blocos de prédio	2200
Distância entre blocos (m)	240
Largura da rua (m)	30
Largura da calçada (m)	5
Altura dos prédios (m)	20
Probabilidade de pedestres na região MAP	0,5
Probabilidade de veículos na região MAP	0,5
Probabilidade de pedestres na região não MAP	0,5
Probabilidade de veículos na região não MAP	0,5

Tabela 5.5 Modelo de mobilidade

<i>Parâmetros por bloco</i>	
Tipo de bloco	Residencial
Taxa de originação de chamadas (h^{-1})	VARIÁVEL
Duração média das ligações (s)	120
Densidade de carros por segmento de rua residencial	100
Velocidade permitida por segmento de rua residencial	60

Tabela 5.6 Parâmetros por bloco

<i>Parâmetros sistêmicos</i>	
<i>Parâmetros de tráfego</i>	
Tempo de iteração (s)	1
Quantidade de chamadas que serão geradas	VARIÁVEL
Número de tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada	1
Número de tentativas sem sucesso para falha de handoff	1
Número de iterações no processo de controle de potência	1
Janela de controle de potência	8
Janela de handoff	12
<i>Parâmetros de propagação</i>	
C/I limiar de acesso (dB)	18
C/I limiar de potência superior (dB)	32
C/I limiar de potência inferior (dB)	22
Tamanho da cidade	grande
Limiar de detecção mínimo (dBm)	-113
Altura da antena na unidade móvel (m)	1,5
Número de usuários que devem ser gerados para considerar estabilidade	2000

Tabela 5.7 Parâmetros sistêmicos

5.2

Medidas de Desempenho do Sistema

O desempenho do sistema em cada situação é analisado em função dos seguintes parâmetros: Probabilidade de Bloqueio de Novas Chamadas, Tráfego Comportado por ERB, Probabilidade de Falha no Handoff, Probabilidade de Terminação Forçada de Ligações e Número Médio de Usuários Ativos em cada Célula.

A Probabilidade de Bloqueio de Novas Chamadas (P_B) é definida como sendo a probabilidade de uma nova tentativa de conexão ser mal sucedida (chamada bloqueada), devido à indisponibilidade de canal de tráfego ou ao não atendimento da SIR_{min} de acesso. O número de tentativas de conexão é maior ou igual ao número de chamadas geradas, pois um usuário pode ter que tentar mais de uma vez para conseguir conectar-se à rede. O número de possíveis tentativas sem sucesso para abandonar uma chamada é fornecido como parâmetro de entrada.

$$P_B = \frac{\text{Núm. Tentativas de Conexão Mal Sucedidas}}{\text{Núm. Total de Tentativas de Conexão}} \quad (5.1)$$

O Tráfego Comportado por ERB (T_{ERB}), representa a proporção da demanda pelo serviço que é aceita pela rede, sendo uma importante estatística de capacidade do sistema.

$$T_{ERB} = \text{Tráfego de Entrada por ERB}(1 - P_B) \quad (5.2)$$

Similarmente, a Probabilidade de Falha no Handoff (P_{FH}) é definida como sendo a probabilidade de uma tentativa de handoff ser mal sucedida, devido à indisponibilidade de canal de tráfego ou ao não atendimento da SIR_{min} de acesso. O número de tentativas de handoff é maior ou igual ao número de handoffs executados, pois pode ser necessário ter que tentar mais de uma vez para conseguir um outro canal para continuar a ligação. O número máximo de tentativas sem sucesso para realização de um handoff é fornecido como parâmetro de entrada.

$$P_{FH} = \frac{\text{Núm. Tentativas de Handoff Mal Sucedidas}}{\text{Núm. Total de Tentativas de Handoff}} \quad (5.3)$$

A Probabilidade de Terminação Forçada de Ligações (P_{TF}) é definida como sendo a probabilidade de uma ligação em andamento ser interrompida, devido à falha no procedimento de handoff. Ressalta-se que são consideradas apenas as tentativas de conexão bem sucedidas, ou seja, aquelas que não foram bloqueadas.

$$P_{TF} = \frac{\text{Núm. Ligações Terminadas Forçosamente}}{\text{Núm. Tentativas de Conexão Bem Sucedidas}} \quad (5.4)$$

Finalmente, a capacidade do sistema pode ser avaliada pelo Número Médio de Usuários Ativos em cada célula (Num_{usu}), ou seja, sendo atendidos simultaneamente por uma ERB.

$$Num_{usu} = \frac{\sum \frac{\text{Núm. Total de Usuários Ativos de Cada Iteração}}{49}}{\text{Núm. Total de Iterações}} \quad (5.5)$$

6

Resultados das Simulações

Devido à complexidade do problema, a maioria dos estudos das comparações de desempenho entre os esquemas FCA e DCA é baseada em modelos de simulações. A principal dificuldade para comparar essas simulações é a falta de contexto e cenários comuns dentro de cada estratégia. Simulações para comparar o desempenho devem ser feitas sob condições comuns, tais como: estrutura celular, número de canais e intensidade de tráfego em cada célula. Em adição, simulações com variações temporais de tráfego são necessárias, para criar cenários mais realistas.

Para tanto, algumas simulações seguindo as condições descritas acima foram realizadas utilizando-se o simulador proposto, e serão descritas a seguir. Os valores não citados como parâmetros de entrada, permaneceram como *default* da ferramenta de simulação e estão apresentados no Capítulo 5.

6.1

Comparação entre os algoritmos DCA CS propostos

Os seguintes dados de entrada foram utilizados para analisar o desempenho dos três algoritmos DCA CS, propostos na seção 5.1.2, em um sistema com células setorizadas e tráfego uniforme:

- Número de portadoras por setor: 189
- Máximo de portadoras para uso simultâneo por setor: 9
- **Taxas de Originação de Chamada por Bloco: 20, 40, 60, 80, 100, 120¹**

¹Tráfego aproximado de entrada por setor (Erlangs): 4, 8, 12, 16, 20 e 24

- Duração Média das Ligações por Bloco: 120 s
- Quantidade de Chamadas que serão geradas: 50000

As Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 ilustram o desempenho destes três algoritmos.

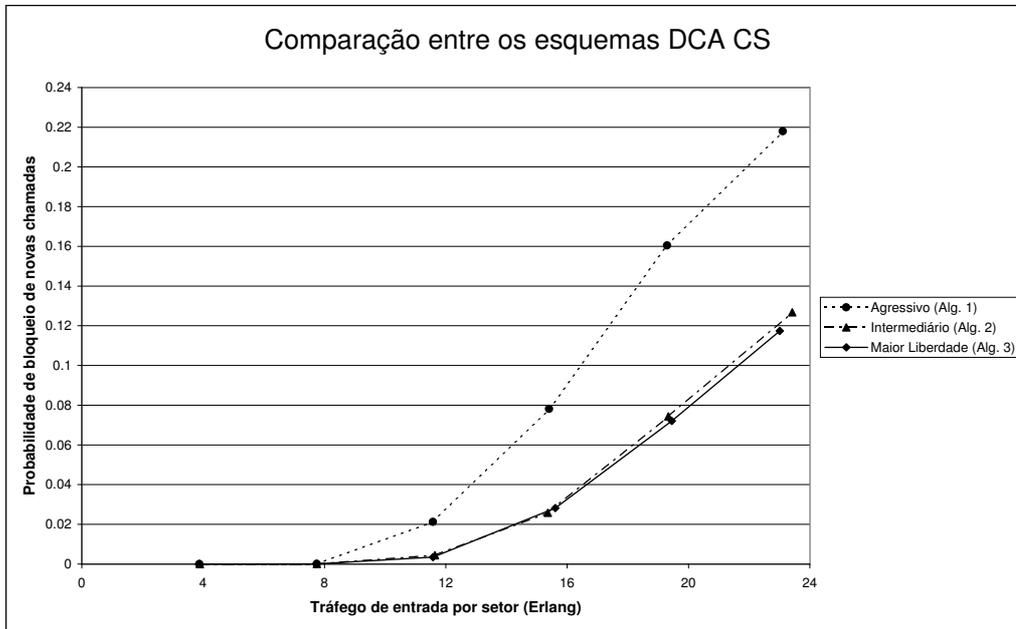


Figura 6.1 Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)

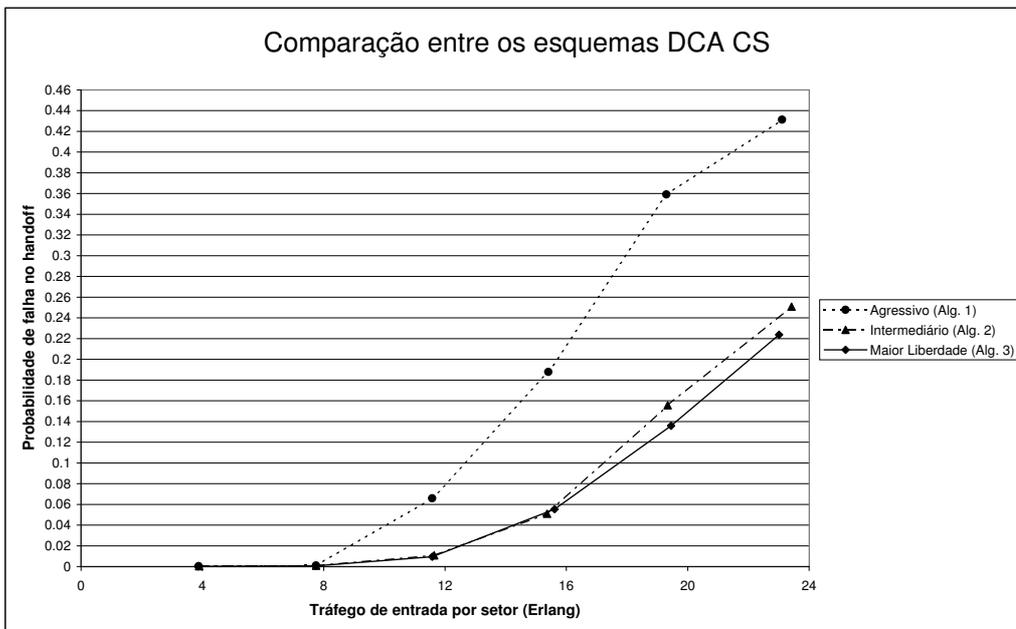


Figura 6.2 Probabilidade de falha no handoff em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)

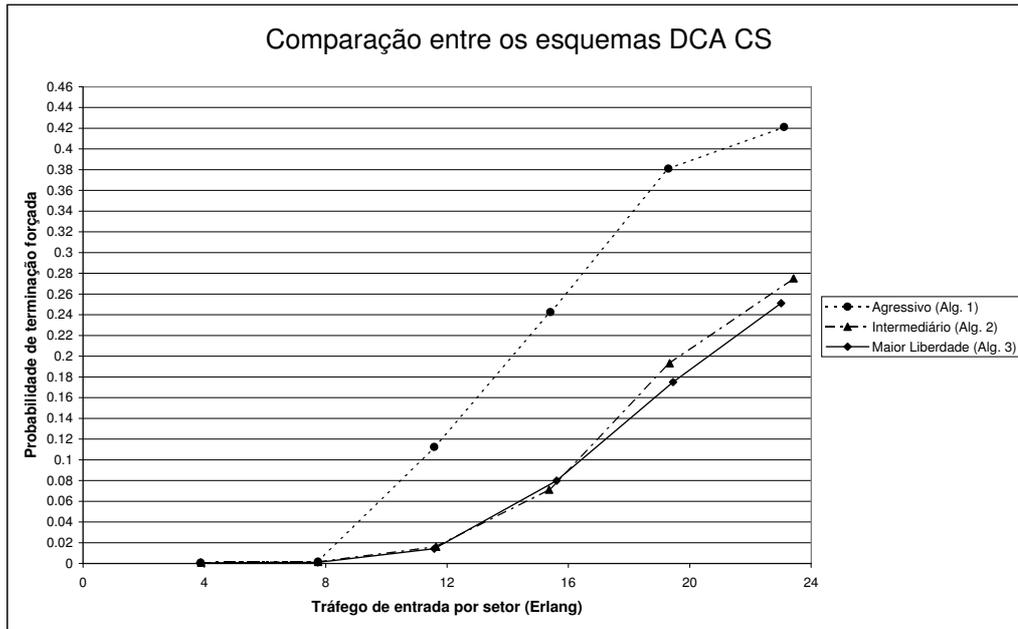


Figura 6.3 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)

Para um tráfego de entrada por setor de até aproximadamente 8 Erlangs o comportamento dos três algoritmos é semelhante. Como existe um grande número de portadoras disponíveis por setor e o tráfego não é elevado, nem todas estas portadoras chegam a ser testadas no momento da alocação de canais, sobrando recursos no sistema e equiparando os três algoritmos.

Para tráfegos superiores a 8 Erlangs ocorre uma queda no desempenho do Algoritmo 1, Agressivo. Isto porque, neste algoritmo, enquanto as chamadas ainda estiverem em curso, as portadoras que estiverem servindo à estas estarão bloqueadas nos demais setores da célula, diminuindo assim o número de canais que podem estar disponíveis para receber uma nova chamada e conseqüentemente aumentando as probabilidades de bloqueio de novas chamadas, falhas no handoff e terminações forçadas.

Os Algoritmos 2 e 3, Intermediário e Maior Liberdade respectivamente, permanecem com o desempenho semelhante até um tráfego de aproximadamente 16 Erlangs, e a partir daí, o Algoritmo 3 se mostra um pouco mais eficaz. A Tabela 6.1 apresenta o ganho relativo à redução nas probabilidades de bloqueio de novas chamadas, falhas no handoff e terminações forçadas obtidos pelo Algoritmo 3 em relação ao Algoritmo 2, para os tráfegos de 20 e 24 Erlangs por setor.

<i>Tráfego (E)</i>	P_B	P_{FH}	P_{TF}
20	G = 3,1%	G = 12,7%	G = 9,4%
24	G = 7,4%	G = 10,8%	G = 8,7%

Tabela 6.1 Ganho do Algoritmo 3

A Figura 6.4 ilustra o desempenho dos três algoritmos em termos do número médio de usuários por setor.

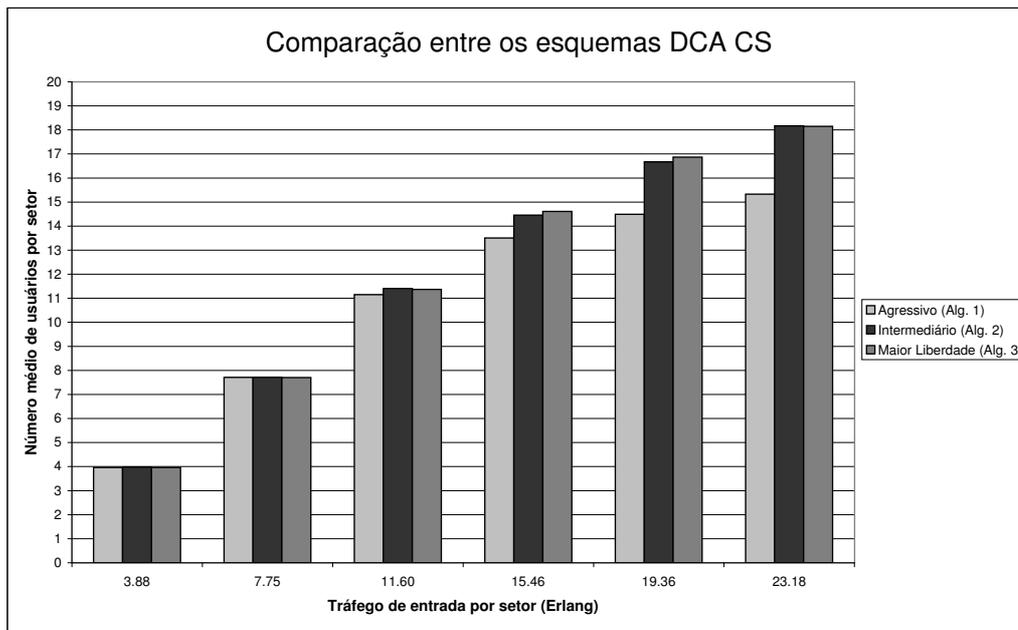


Figura 6.4 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)

Este parâmetro é muito importante para análise da capacidade do sistema, e se refere a quantos usuários o sistema pode admitir simultaneamente em cada setor de cada célula. Novamente o bloqueio das portadoras nos setores adjacentes da mesma célula fez com que o desempenho do Algoritmo 1 se deteriorasse a partir de um tráfego de entrada por setor de aproximadamente 8 Erlangs, enquanto os Algoritmos 2 e 3 mantiveram um desempenho semelhante.

A Figura 6.5 ilustra a distância média entre usuários co-canais em função do tráfego de entrada por setor.

O Algoritmo 3 tornou a apresentar um desempenho superior aos demais, conseguindo distribuir os canais de maneira mais eficiente, ou seja, os co-canais foram alocados de modo a manter a menor distância entre eles, possibilitando ao sistema um reuso de forma mais eficaz.

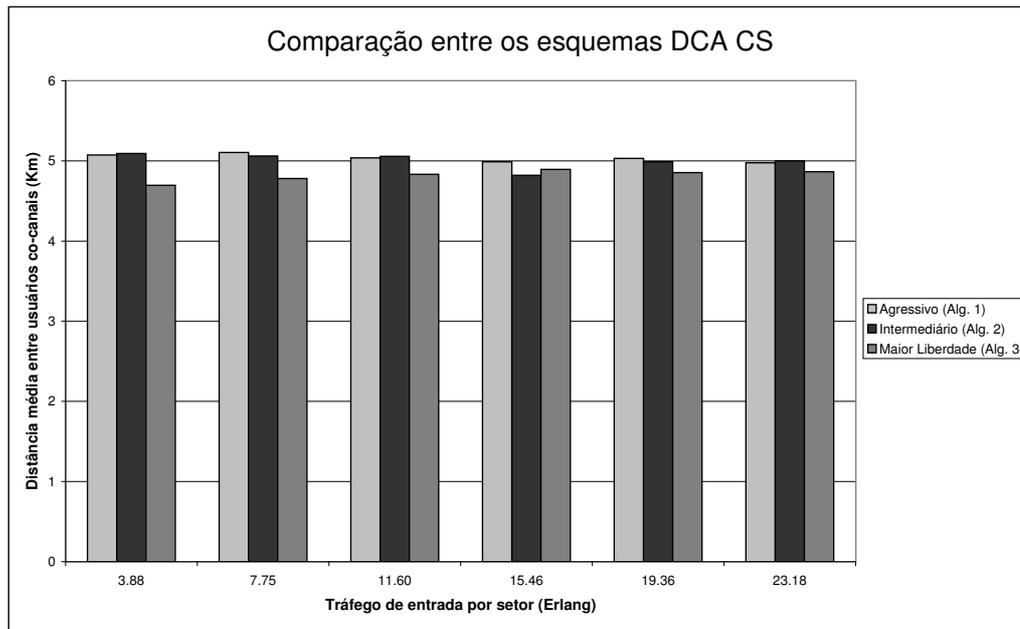


Figura 6.5 Distância média entre usuários co-canais em função do tráfego de entrada por setor (Algoritmos DCA CS)

Em todas as análises feitas anteriormente, o Algoritmo 3 (Maior Liberdade) mostrou um desempenho superior. Ele atende aos requisitos de qualidade de serviço do sistema, admite um maior tráfego além de reutilizar os canais de forma mais eficiente. Além disso, a implementação do Algoritmo 3 evita a necessidade de se preocupar em como decrementar a prioridade das portadoras, reduzindo o número de operações que o sistema deve realizar. Assim, este algoritmo foi escolhido para ser utilizado nas próximas análises.

6.2

Comparação entre FCA e DCA CS

6.2.1

Variação do tráfego de entrada

Os seguintes dados de entrada foram utilizados para comparar o desempenho dos algoritmos FCA e DCA CS (Algoritmo 3) em um sistema com tráfego uniforme:

- Número de setores: 3
- Número de portadoras por setor: 189

- Máximo de portadoras para uso simultâneo por setor: 9
- **Taxas de Originação de Chamada por Bloco: 20, 40, 60, 80, 100, 120**
- Duração Média das Ligações por Bloco: 120 s
- Quantidade de Chamadas que serão geradas: 50000

Como visto no Capítulo 3, na FCA o número de canais disponíveis no sistema é dividido pelo número de células do cluster obtendo-se assim um conjunto fixo de canais permanentemente designado para cada célula deste cluster, para seu uso exclusivo. Este tipo de esquema requer um pré-planejamento frequências para evitar ao máximo as interferências presentes nos sistemas celulares. Quando se utilizam esquemas DCA, este planejamento de frequências não se faz necessário, uma vez que todos os canais disponíveis no sistema podem ser designados para qualquer célula desde que os níveis de interferência estejam abaixo de um valor mínimo.

A Figura 6.6 ilustra a comparação do desempenho dos dois sistemas em termos da probabilidade de bloqueio de novas chamadas.

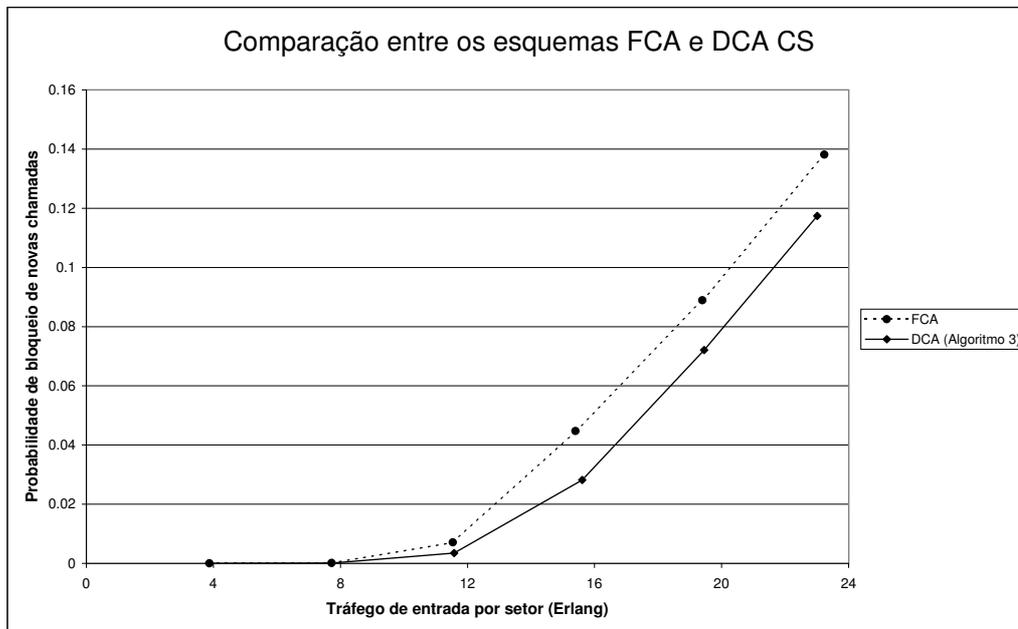


Figura 6.6 Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)

Pode-se observar que para um tráfego de entrada por setor de até aproximadamente 8 Erlangs o sistema se comporta da mesma forma para ambos os esquemas. Isto ocorre devido a grande quantidade de portadoras disponíveis em cada setor para servir à este baixo tráfego.

A medida que o tráfego cresce, aumenta a disputa por canais livres e as condições de interferência vão tornando-se mais severas. Ao atingir aproximadamente 12 Erlangs de entrada por setor, o esquema DCA CS tem o seu melhor desempenho frente ao FCA, chegando a reduzir a probabilidade de bloqueio em 50,7%. Isto ocorre pois, como o esquema DCA CS possui uma lista de todos os canais disponíveis no sistema, existe uma maior probabilidade de se encontrar um canal candidato que satisfaça os requisitos de interferência no momento da alocação. É importante observar que não existe diferença entre o número máximo de portadoras por setor nos dois esquemas. Nos esquemas DCA esta limitação é necessária, pois do contrário, seria necessário a existência de um extenso número de equipamentos de rádio, em cada setor de cada ERB, para sintonizar todas as frequências disponíveis. Caso não existisse esta limitação, o desempenho do esquema DCA CS se mostraria muito superior ao FCA.

Para tráfegos superiores a 12 Erlangs, o ganho da DCA CS frente a FCA relativo à redução na probabilidade de bloqueio diminui devido à alta interferência presente nos esquemas DCA, chegando a 15% para o tráfego de aproximadamente 24 Erlangs. A Tabela 6.2 apresenta os ganhos relativos à redução nas probabilidades de bloqueio de novas chamadas para os vários tráfegos de entrada, e a Tabela 6.3 apresenta o ganho obtido no tráfego admitido pelo sistema que utiliza o esquemas DCA CS para valores constantes de probabilidade de bloqueio de novas chamadas.

A Figura 6.7 ilustra a probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor para os dois esquemas propostos.

Novamente os ganhos da DCA CS sobre a FCA, relativos a redução da probabilidade de terminação forçada, atingem o seu máximo com aproximadamente 12 Erlangs de entrada por setor chegando a 79,6%, posteriormente se deteriorando até 16,4% para um tráfego de aproximadamente 24 Erlangs.

Tráfego (E)	P_B
4	$G = 0\%$
8	$G = 0\%$
12	$G = 50,7\%$
16	$G = 36,9\%$
20	$G = 18,9\%$
24	$G = 15,0\%$

Tabela 6.2 Ganho na P_B

P_B	Ganho (%)
2%	10,94
5%	10,31

Tabela 6.3 Ganho de tráfego

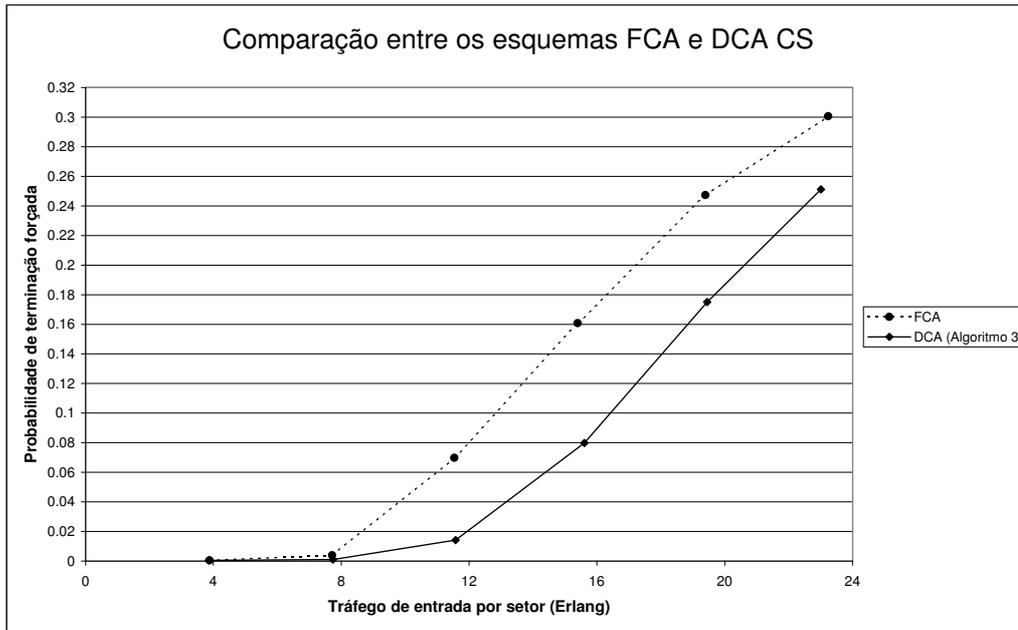


Figura 6.7 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)

A Tabela 6.4 apresenta os ganhos relativos à redução nas probabilidades de terminações forçadas para os vários tráfegos de entrada, e a Tabela 6.5 apresenta o ganho obtido no tráfego admitido pelo sistema que utiliza o esquema DCA CS para valores constantes de probabilidade de bloqueio.

Tráfego (E)	P_{TF}
4	$G = 0\%$
8	$G = 74,4\%$
12	$G = 79,6\%$
16	$G = 50,3\%$
20	$G = 29,2\%$
24	$G = 16,4\%$

Tabela 6.4 Ganho na P_{TF}

P_{TF}	Ganho (%)
2%	37,92
5%	32,54

Tabela 6.5 Ganho de tráfego

A Figura 6.8 ilustra a comparação do desempenho dos dois sistemas em termos do número médio de usuários por setor.

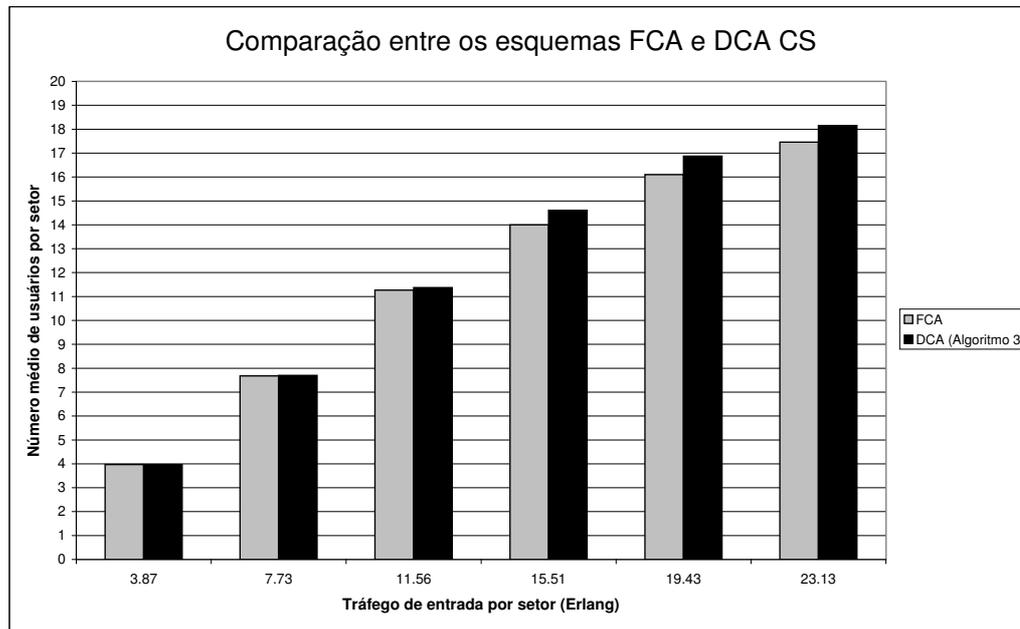


Figura 6.8 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)

A medida que o tráfego de entrada por setor fica mais pesado, um maior número de usuários é atendido pelas ERBs, e com aproximadamente 20 Erlangs o esquema DCA CS apresenta o seu melhor desempenho, chegando a obter um ganho de 4,6% em comparação ao FCA. Se comparado aos demais ganhos obtidos anteriormente, estes resultados podem a princípio parecer incoerentes, visto que para o mesmo tráfego de 20 Erlangs a redução na probabilidade de bloqueio chega a 18,9%. Porém, por se tratarem de valores absolutos, estes resultados estão distribuídos ao longo do tempo total de simulação.

Um outro resultado importante se refere a como os co-canais são distribuídos ao longo do sistema que utiliza o esquema DCA CS, e está ilustrado na Figura 6.9. O que se observa é que o esquema DCA CS consegue reunir os canais de forma um pouco mais eficiente, reduzindo a distância entre os co-canais e com isso possibilitando ao sistema um reuso de forma mais eficaz que o esquema FCA.

Após a análise dos resultados anteriores, conclui-se que o esquema DCA CS apresenta um desempenho superior ao FCA para os diversos tráfegos de entrada, reduzindo tanto as probabilidades de bloqueio de novas chamadas quanto

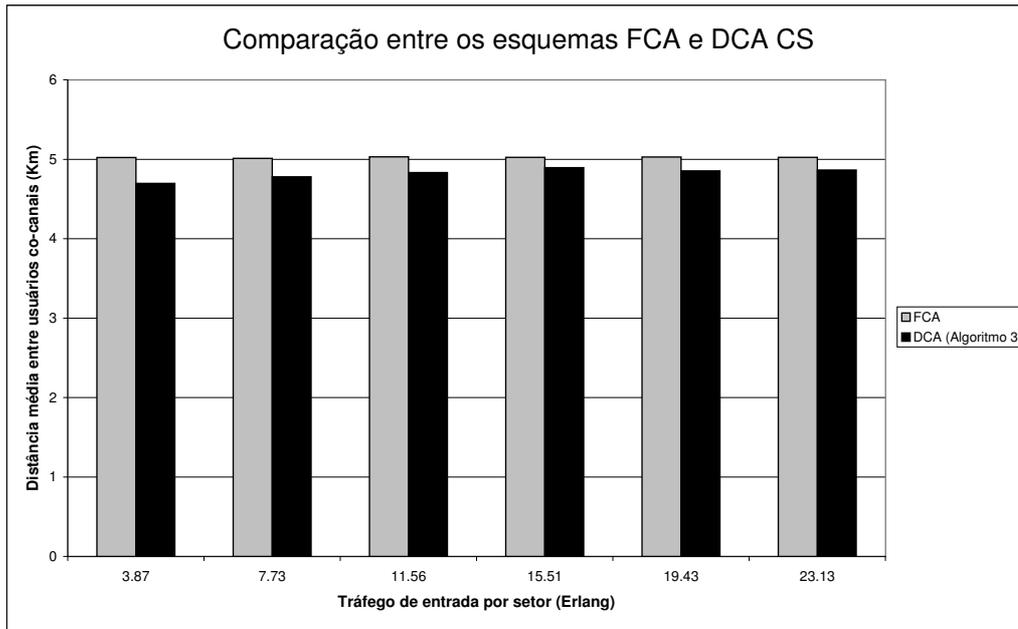


Figura 6.9 Distância média entre usuários co-canais em função do tráfego de entrada por setor (FCA e DCA CS)

as probabilidades de terminações forçadas, e com isso, conseguindo um aumento no número médio de usuários que podem ser atendidos simultaneamente em um setor de uma dada célula. Além disso, o sistema que utiliza o esquema DCA CS consegue ter a sua distância de reuso reduzida, utilizando os canais de forma mais eficiente que o sistema com FCA, onde devido ao pré-planejamento de frequências, essa distância é fixa.

Porém, a medida que o tráfego aumenta, as condições de interferência tornam-se mais severas e o sistema que utiliza o esquema FCA passa a se beneficiar do seu pré-planejamento de frequências, reduzindo os ganhos obtidos pela alocação dinâmica.

6.2.2

Varição do número de portadoras FCA

Os seguintes dados de entrada foram utilizados para verificar o número de portadoras FCA necessárias para atingir o mesmo desempenho obtido pelo algoritmo DCA CS (Algoritmo 3), que utiliza no máximo 9 portadoras por setor para uso simultâneo, em um sistema com tráfego uniforme:

- Número de setores: 3

- **Máximo de portadoras para uso simultâneo por setor: 9 (DCA) e 9, 10, 11, 12, 13 (FCA)²**
- Taxas de Originação de Chamada por Bloco: 80
- Duração Média das Ligações por Bloco: 120 s
- Quantidade de Chamadas que serão geradas: 50000

A medida que se aumenta o número de portadoras disponíveis em uma célula, a qualidade de serviço do sistema melhora. Esta implementação tem impacto direto no custo do sistema, uma vez que quanto maior o número de portadoras por célula, maior também deverá ser a quantidade de equipamentos de rádio por ERB necessários para que todas as frequências destas portadoras possam ser sintonizadas.

Para os sistemas que utilizam esquemas FCA, o aumento no número de portadoras em um setor acarreta na necessidade de um maior espectro disponível, de forma a respeitar o pré-planejamento de frequências para cada cluster. Já para os sistemas que utilizam esquemas DCA, aumentar o número de portadoras em um setor, implica somente em aumentar o número de portadoras permitidas para uso simultâneo.

O efeito de se variar o número de portadoras FCA está ilustrado nas Figuras 6.10 e 6.11, utilizando-se para tanto um tráfego constante de aproximadamente 16 Erlangs por setor. Para este tráfego, o sistema que utiliza o esquema DCA CS com 9 portadoras por setor apresenta um desempenho bastante superior ao sistema que utiliza o esquema FCA também com 9 portadoras por setor, chegando a obter ganhos de 36,9% para a probabilidade de bloqueio e 50,3% para a probabilidade de terminação forçada, como mostrado anteriormente nas Tabelas 6.2 e 6.4.

A Figura 6.10 mostra que para se conseguir superar a probabilidade de bloqueio de 0,0282 do esquema DCA CS serão necessárias 10 portadoras FCA por setor ao invés de 9.

O mesmo aumento no número de portadoras é necessário para que a probabilidade de terminação forçada de 0,0798 do esquema DCA CS seja atingida,

²Número de portadoras por setor: 189 (DCA) e 189, 210, 231, 252, 273 (FCA)

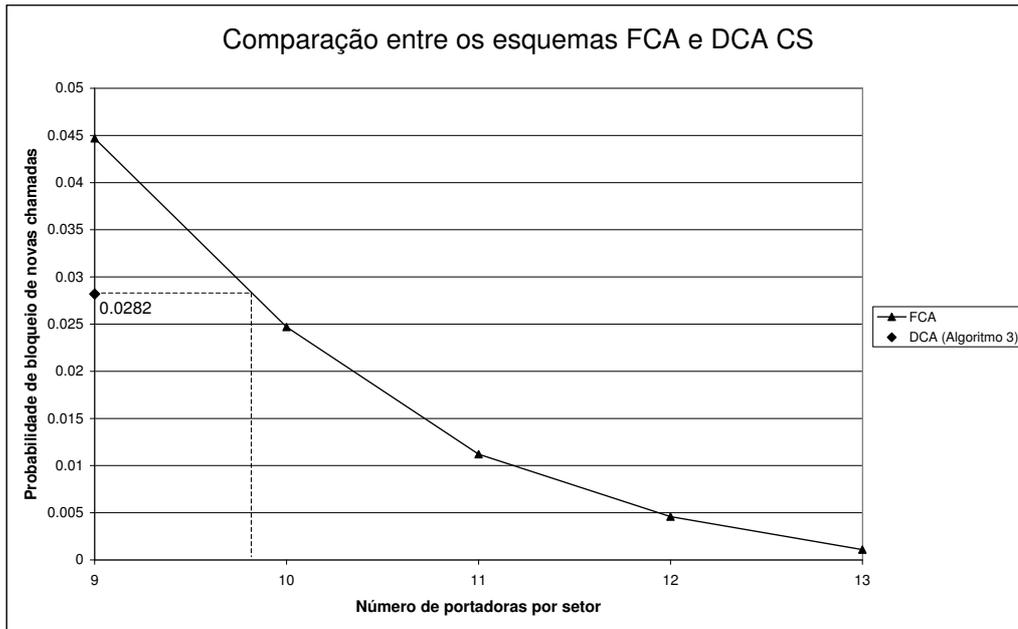


Figura 6.10 Probabilidade de bloqueio em função do número de portadoras por setor (FCA e DCA CS)

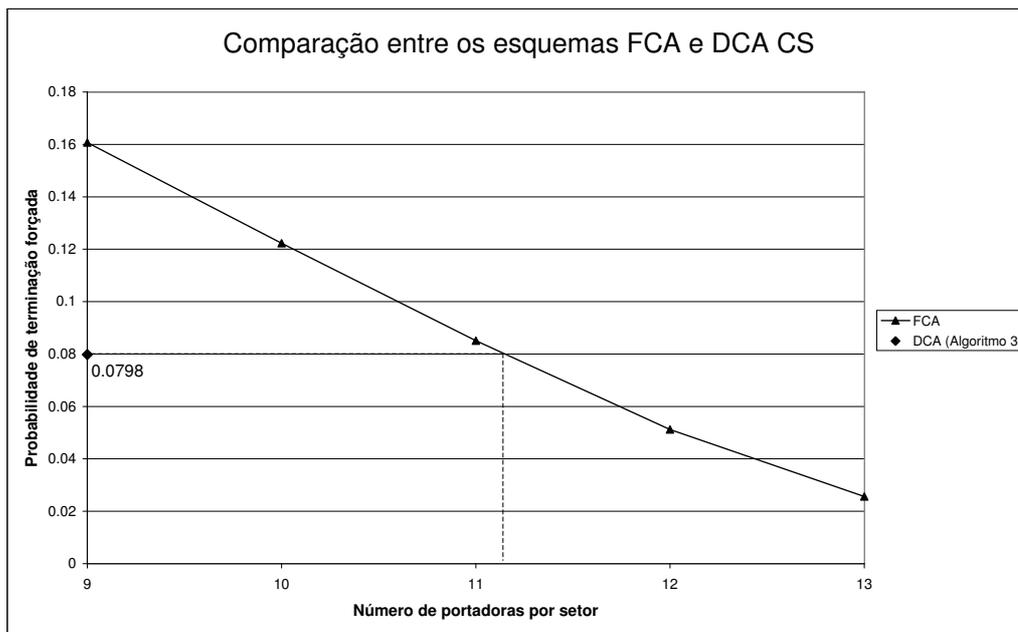


Figura 6.11 Probabilidade de terminação forçada em função do número de portadoras por setor (FCA e DCA CS)

como ilustrado na Figura 6.11. Porém, para cumprir este requisito de qualidade de serviço do sistema, serão necessárias 12 portadoras FCA por setor.

Portanto, para que todos os requisitos de qualidade de serviço do sistema possam ser satisfeitos, serão necessárias 12 portadoras FCA por setor ao invés de 9. Assim, haverá um aumento no custo da implementação do sistema no que se refere ao aumento de 33% da largura de faixa a ser utilizada, além

da aquisição do mesmo percentual de equipamentos de rádio para admitir o tráfego de 16 Erlangs por setor.

6.2.3

Tráfego não uniforme

Os seguintes parâmetros de entrada foram utilizados para comparar o desempenho dos algoritmos FCA e DCA CS (Algoritmo 3) em um sistema com tráfego não uniforme:

- Número de setores: 3
- Número de portadoras por setor: 189
- Máximo de portadoras para uso simultâneo por setor: 9
- Taxas de Originação de Chamada por Bloco
 - Grupo 0 (49 células reais menos as células dos Grupos 2, 3 e 4): 60^3
 - Grupo 1 (células 1, 8, 15): 60
 - Grupo 2 (células 2, 9, 16): 100
 - Grupo 3 (células 3, 10, 17): 120
 - Grupo 4 (células 4, 11, 18): 140
- Duração Média das Ligações por Bloco: 120 s
- Quantidade de Chamadas que serão geradas: 50000

Devido às variações temporais e espaciais de tráfego, os sistemas celulares que utilizam esquemas FCA podem não atingir um desempenho satisfatório. Como na FCA os canais são alocados de maneira fixa para cada célula respeitando um plano de reuso de frequências, podem existir situações nas quais células com baixo tráfego tenham disponibilidade de canais enquanto células

³Os resultados apresentados para o Grupo 0 representam o *desempenho total do sistema* para um tráfego de entrada por setor de aproximadamente 14 Erlangs. A localização das células pode ser vista na Figura 5.1.

adjacentes a estas tenham altas taxas de bloqueio devido ao tráfego intenso e a falta de canais para admiti-lo. Devido a forma dinâmica de se alocar os canais, os sistemas que utilizam algoritmos DCA são capazes de se adaptarem à estas variações de tráfego comuns em sistemas celulares, apresentando um desempenho superior aos sistemas que utilizam algoritmos FCA.

Os gráficos apresentados a seguir comparam o desempenho de dois sistemas com tráfego não uniforme, um utilizando o esquema FCA e outro o esquema DCA CS. Para esta análise utilizou-se grupos de células com a mesma configuração de tráfego de entrada, com o intuito de simular situações de *hot spots*, conforme indicado na Tabela 6.6.

<i>Grupo de células</i>	<i>Tráfego de entrada (E)</i>
0	14
1	11
2	18
3	21
4	23

Tabela 6.6 Grupo de células

A Figura 6.12 mostra que apesar da probabilidade de bloqueio do sistema (Grupo 0) estar em um nível aceitável, 2% para DCA CS e 3,5% para FCA, existem algumas células com tráfego elevado gerando altos índices de bloqueio e outras com tráfego mais leve onde nem todos os canais disponíveis estão sendo necessários.

Situações como estas de sub-utilização de canais acontecem somente em sistemas que utilizam esquemas FCA, visto que nos sistemas com alocação dinâmica todos os canais são mantidos em uma entidade central e só são designados para as chamadas a medida que forem requisitados, não existindo um pré planejamento de frequências. Com isso, células com um tráfego leve irão utilizar menos canais, e assim, existirá uma maior probabilidade de nas células com um tráfego maior se encontrar um canal candidato com um nível aceitável de *SIR*.

Resultados semelhantes são obtidos para a probabilidade de terminação forçada e estão ilustrados na Figura 6.13.

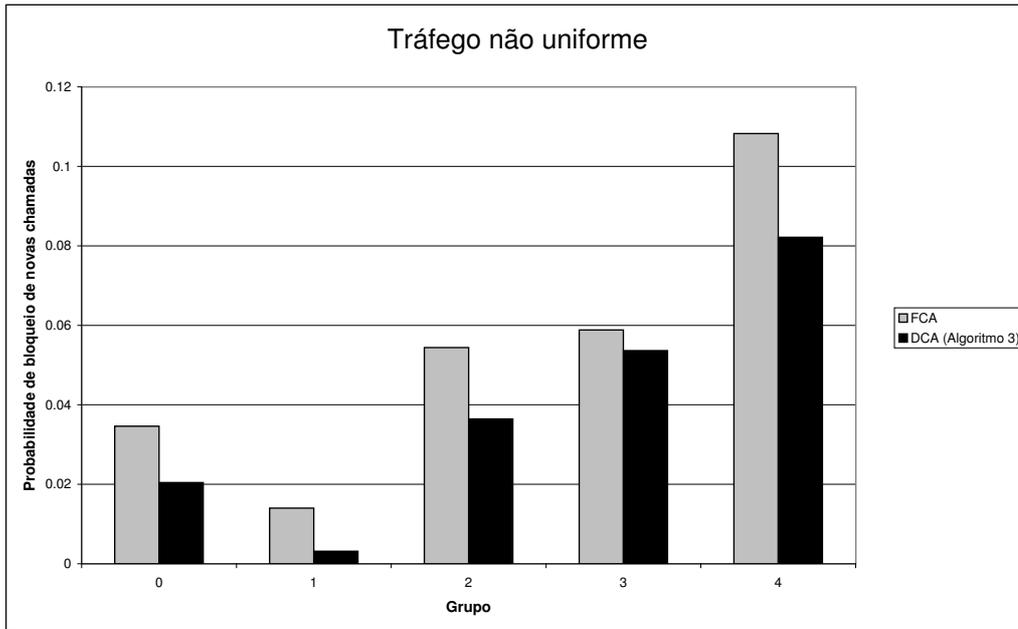


Figura 6.12 Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor

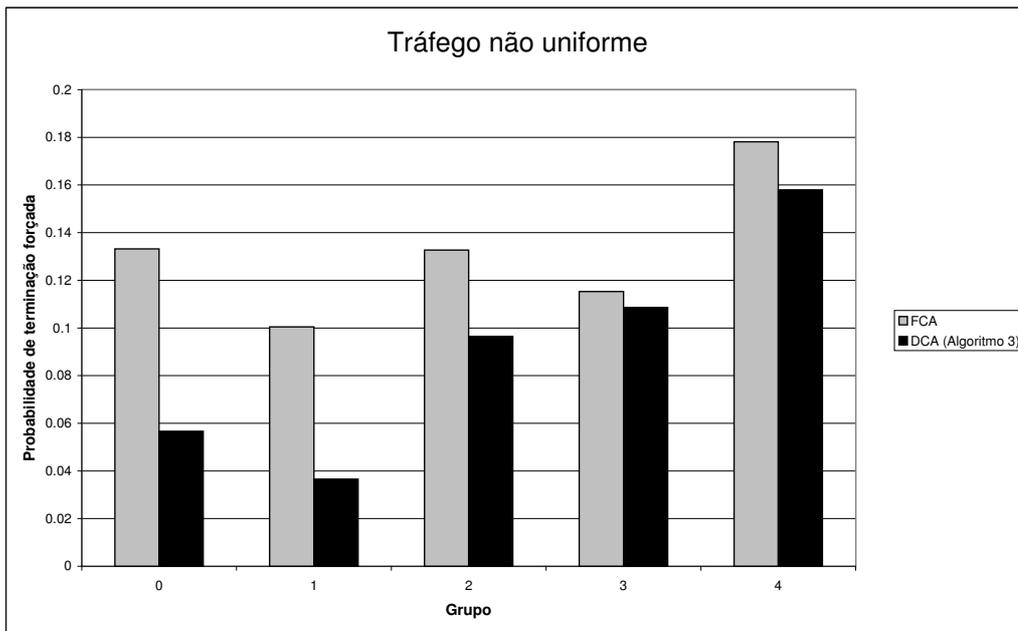


Figura 6.13 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor

A Tabela 6.7 apresenta os ganhos relativos à redução nas probabilidades de bloqueio e terminações forçadas obtidos pela DCA CS em relação a FCA, para valores de tráfego constante.

A principal conclusão obtida a partir da análise dos dois gráficos anteriores, é que a medida que o tráfego aumenta, ocorre uma redução no ganho obtido pelo sistema DCA CS frente ao FCA. Novamente isso ocorre devido à

<i>Grupo</i>	<i>P_B</i>	<i>P_{TF}</i>
0	G = 41%	G = 57,5%
1	G = 77,4%	G = 63,3%
2	G = 33,0%	G = 27,3%
3	G = 8,8%	G = 5,8%
4	G = 24,1%	G = 11,3%

Tabela 6.7 Ganho da DCA CS sobre a FCA com tráfego não uniforme

alta interferência existente nos sistemas que fazem uso da alocação dinâmica quando em condições de tráfego intenso. Nestas condições, o esquema FCA passa a se beneficiar do seu pré-planejamento de frequências.

6.3

Comparação entre FCA, DCA CS e HCA

Os seguintes dados de entrada foram utilizados para analisar o efeito de se variar a porcentagem de portadoras fixas (FCA) e dinâmicas (DCA CS) do esquema HCA em um sistema com tráfego uniforme:

- Número de setores: 3
- Número de portadoras por setor: 189
- Máximo de portadoras para uso simultâneo por setor: 9
- Portadoras

<i>Caso</i>	<i>Conjunto Fixo</i>	<i>Conjunto Dinâmico</i>
FCA6_DCA3	6 portadoras	3 portadoras
FCA5_DCA4	5 portadoras	4 portadoras
FCA4_DCA5	4 portadoras	5 portadoras
FCA3_DCA6	3 portadoras	6 portadoras
FCA2_DCA7	2 portadoras	7 portadoras

Tabela 6.8 Esquemas HCA

- **Taxas de Originação de Chamada por Bloco: 20, 40, 60, 80, 100, 120**
- Duração Média das Ligações por Bloco: 120 s
- Quantidade de Chamadas que serão geradas: 50000

As técnicas de alocação híbrida de canais combinam alocação fixa com alocação dinâmica de canais, e surgem para tentar solucionar problemas relacionados à estas duas técnicas, aumentando o desempenho do sistema para determinadas condições de tráfego.

A Figura 6.14 ilustra a comparação do desempenho do sistema para as variações HCA em termos da probabilidade de bloqueio de novas chamadas.

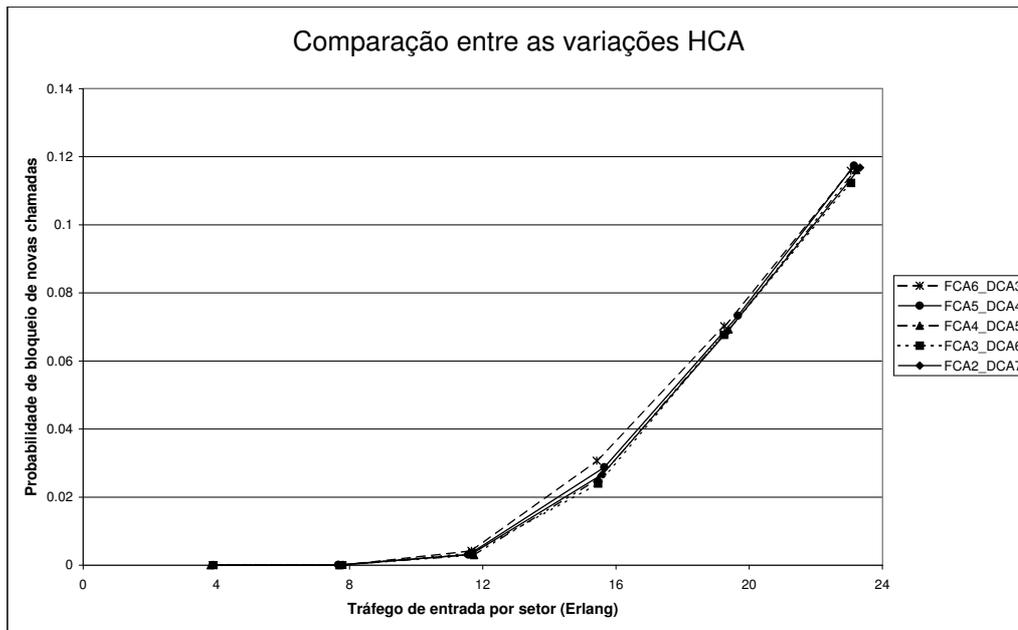


Figura 6.14 Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (Variações HCA)

Para uma melhor visualização, a Figura 6.15 ilustra o intervalo tolerável de probabilidade de bloqueio para se manter a qualidade do serviço oferecido pelo sistema.

A medida que o número de portadoras do conjunto FCA diminui, ocorre um aumento no desempenho do sistema, e por volta de 5 portadoras FCA e 4 DCA, a curva do DCA CS é atingida. Uma melhora foi notada até 3 portadoras FCA e 6 DCA, e posteriormente este ganho deteriorou-se até atingir o desempenho do esquema FCA.

A conclusão obtida a partir do gráfico anterior, é que para o tráfego de entrada por setor variando entre 13 e 18 Erlangs, 3 portadoras FCA são suficientes para conferir estabilidade ao sistema reduzindo o nível de interferência devido ao pré-planejamento de frequências, e as demais 6 portadoras DCA dão flexibilidade ao sistema na busca pelo melhor canal candidato. Além disso, a

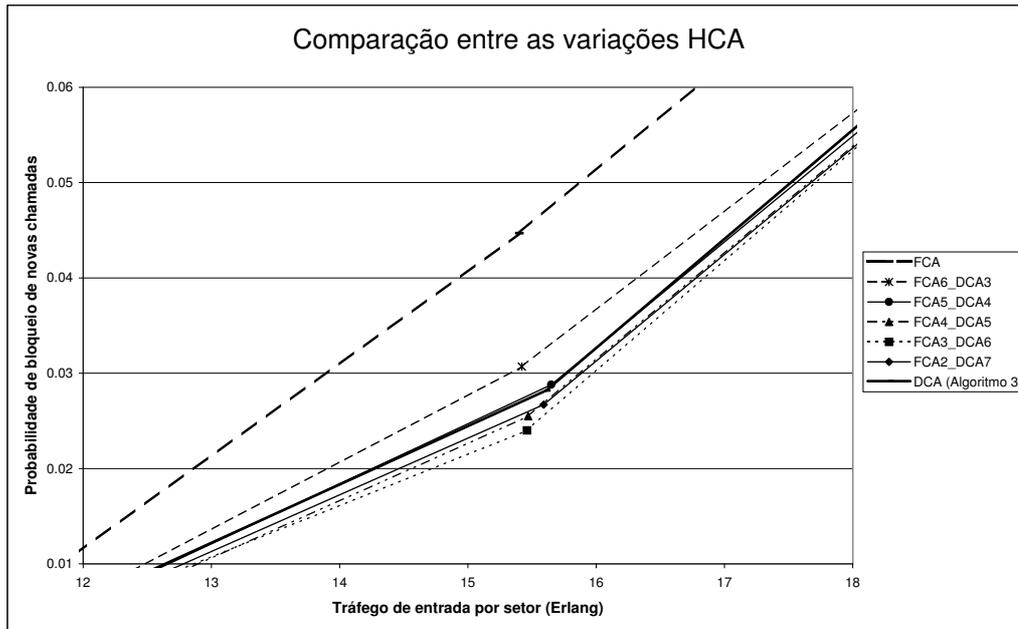


Figura 6.15 Zoom da probabilidade de bloqueio

busca por este canal com nível de *SIR* suficiente para permitir a alocação se torna mais rápida, devido à redução de 63 portadoras (3x3x7) na lista disponível para o algoritmo DCA CS.

A Tabela 6.9 apresenta o ganho no tráfego admitido pelo sistema que utiliza o esquema FCA3_DCA6 se comparado ao esquema DCA CS para valores constantes de probabilidade de bloqueio.

P_B	Ganho (%)
2%	3,13
5%	1,10

Tabela 6.9 Ganhos no tráfego admitido pela FCA3_DCA6 frente a DCA CS

As Figuras 6.16 e 6.17 ilustram as probabilidades de terminações forçadas em função do tráfego de entrada por setor para as variações HCA propostas.

De forma semelhante à probabilidade de bloqueio de novas chamadas, a medida que o número de portadoras fixas diminui, ocorre um aumento no desempenho do sistema. Porém, o sistema se mostra mais sensível as reduções no número de portadoras dinâmicas, tendo o seu melhor desempenho quando utiliza um esquema DCA CS totalmente dinâmico.

Como inicialmente são feitas tentativas de alocar os canais do conjunto fixo, a medida que o tráfego aumenta atingindo aproximadamente 8 Erlangs

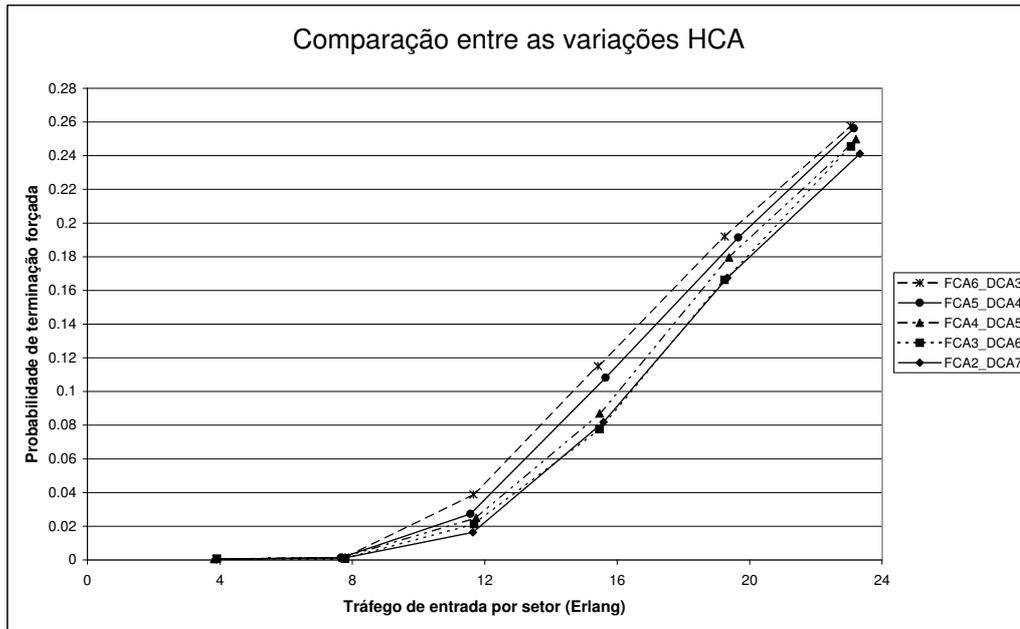


Figura 6.16 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (Variações HCA)

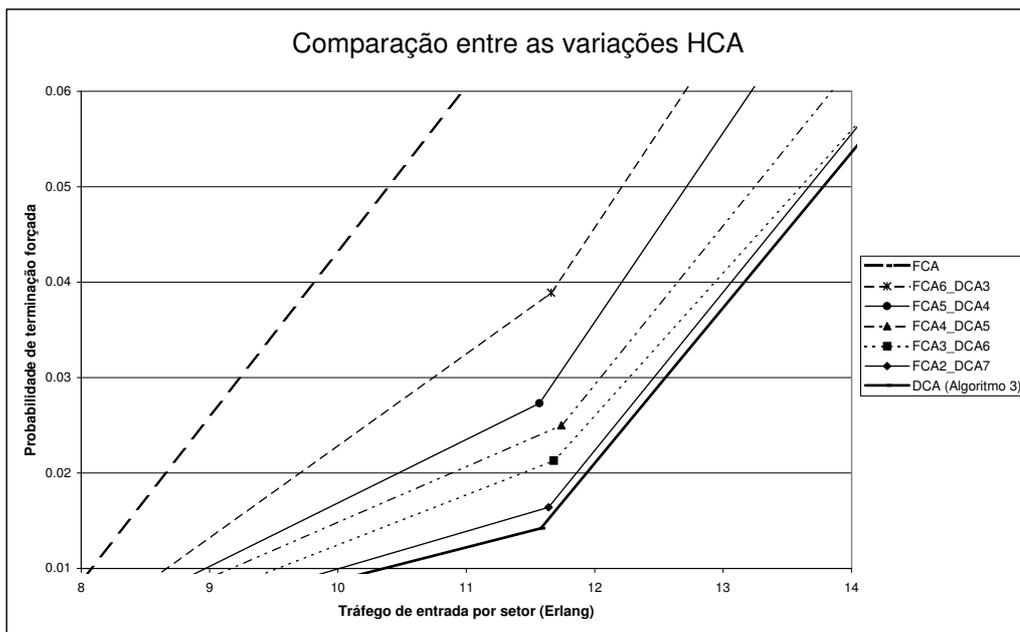


Figura 6.17 Zoom da probabilidade de terminação forçada

de entrada por setor, essas portadoras têm uma maior probabilidade de estarem totalmente ocupadas servindo às novas chamadas. No momento em que um usuário estiver realizando o procedimento de handoff, é mais provável que ele tente alocar um dos canais do conjunto dinâmico. Assim, quanto maior o número de portadoras DCA no sistema, maiores serão as chances de se encontrar um canal candidato com o nível de *SIR* aceitável.

A Tabela 6.10 apresenta o ganho no tráfego admitido pelo sistema que utiliza o esquema DCA CS se comparado ao esquema FCA3_DCA6 para valores constantes de probabilidade de terminação forçada.

P_{TF}	Ganho (%)
2%	2,96
5%	1,29

Tabela 6.10 Ganhos no tráfego admitido pela DCA CS frente a FCA3_DCA6

A Figura 6.18 ilustra a distância entre os usuários co-canais mostrando como eles se encontram distribuídos ao longo do sistema.

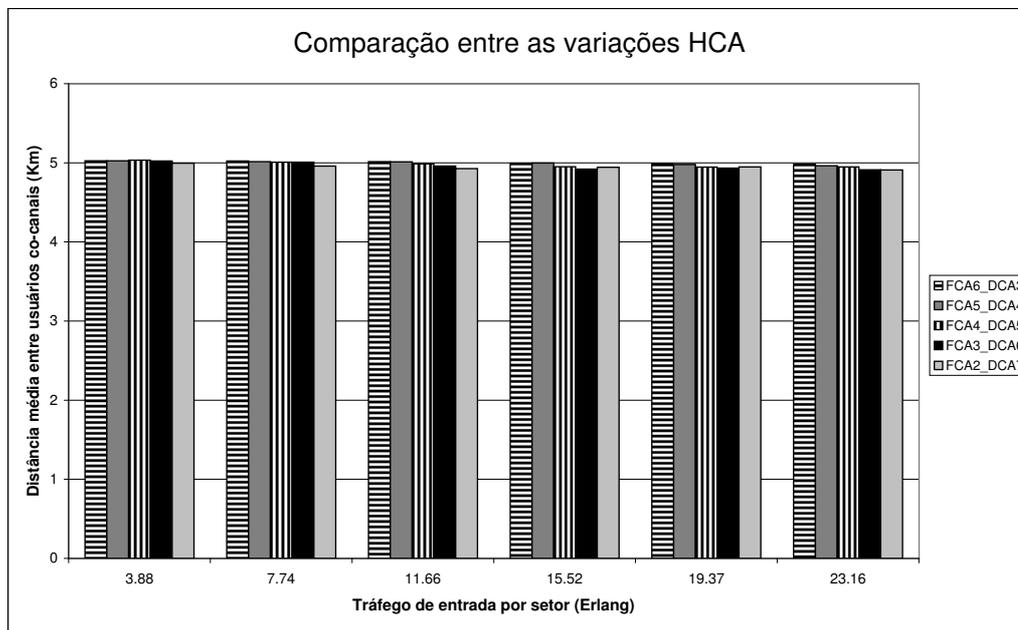


Figura 6.18 Distância média entre usuários co-canais em função do tráfego de entrada por setor (Variações HCA)

A medida que o sistema vai se tornando mais dinâmico, os canais vão sendo reunidos de forma um pouco mais eficiente devido a não existência de um pré-planejamento de frequências. Com isso, a distância entre os co-canais é reduzida, possibilitando ao sistema um reuso de forma mais eficaz.

A conclusão fundamental é que tanto o DCA CS quanto o método híbrido FCA e DCA CS são opções atraentes. Ambos os esquemas envolvem controle distribuído, portanto, evitam a necessidade de um complexo controle centralizado. Além disso, esquemas híbridos oferecem um aumento na estabilidade do sistema, desde que sistemas que utilizam algoritmos puramente dinâmicos po-

dem ter um aumento na probabilidade de bloqueio dependendo das condições de tráfego.

6.4

Utilização de Canais de Guarda

Os seguintes dados de entrada foram utilizados para analisar o desempenho da utilização de canais de guarda em sistemas FCA e DCA CS com tráfego uniforme:

- Número de setores: 3
- Número de portadoras por setor: 189
- Máximo de portadoras para uso simultâneo por setor: 9
- Prioridade ao Handoff
 - **Portadoras de Guarda: 0, 1, 2, 3, 4 (CGF, CGS)**
- **Taxas de Originação de Chamada por Bloco: 20, 40, 60, 80**
- Duração Média das Ligações por Bloco: 120 s
- Quantidade de Chamadas que serão geradas: 50000

A Figura 6.19 ilustra o desempenho de um sistema utilizando esquema FCA em termos da probabilidade de bloqueio de novas chamadas. Já a Figura 6.20 ilustra o mesmo caso porém para o esquema DCA CS.

Para um tráfego de entrada por setor igual a 4 Erlangs, a variação no número de canais para atender uma nova chamada não chega a afetar o desempenho dos sistemas, uma vez que devido ao baixo tráfego, dificilmente todos os canais estarão sendo utilizados. A partir do tráfego de 8 Erlangs por setor, o aumento no número de portadoras de guarda passa a impactar de forma negativa no bloqueio de novas chamadas. Porém, para este tráfego, ainda é possível se fazer uso de 4 portadoras de guarda, mantendo-se a probabilidade de bloqueio nos sistemas dentro do limite tolerável de 2 e 5%.

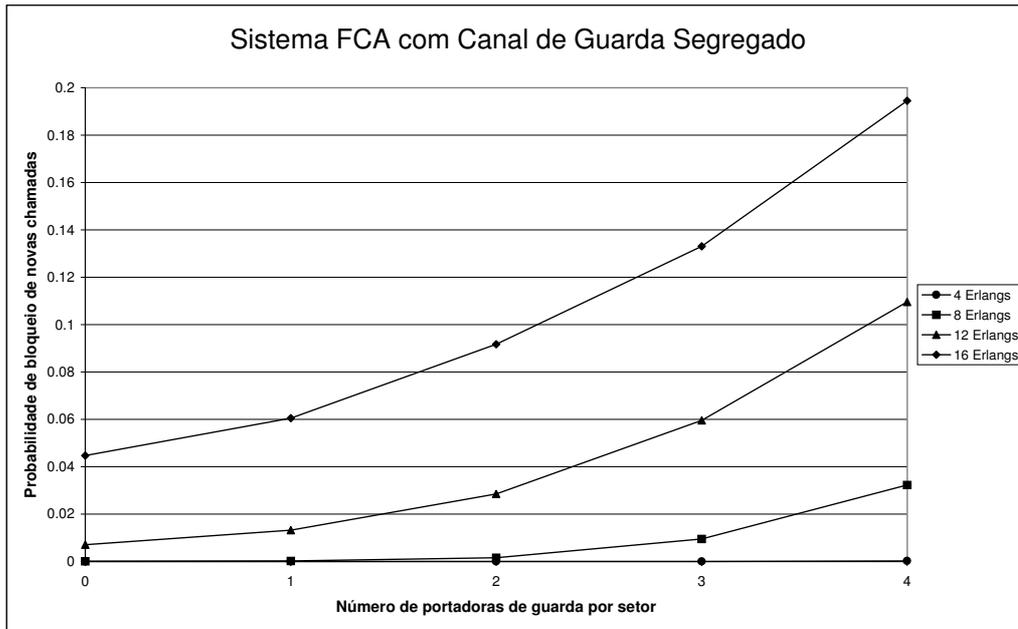


Figura 6.19 Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGS)

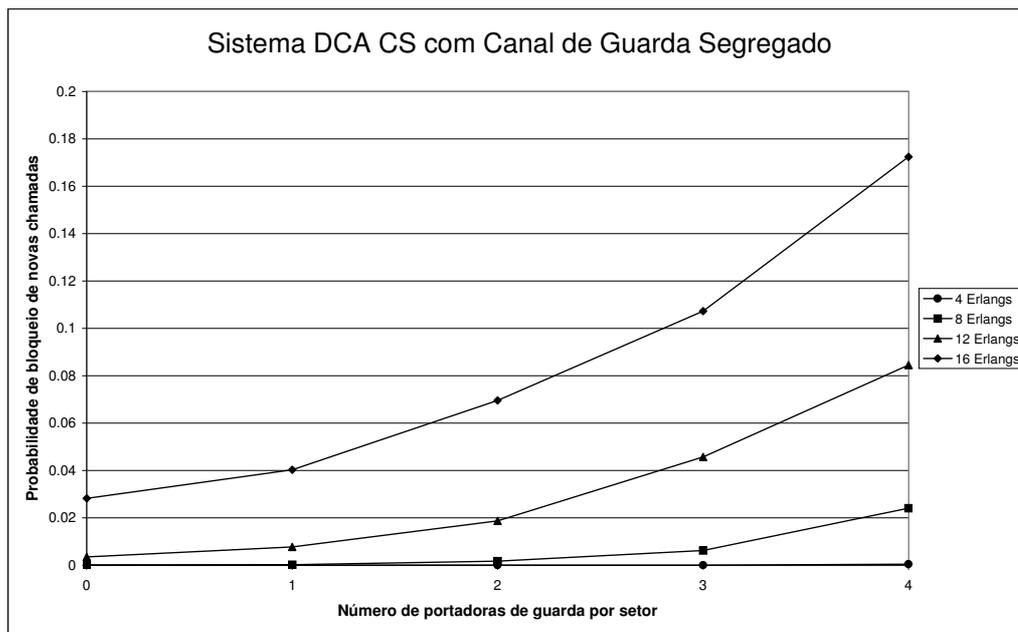


Figura 6.20 Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (DCA CS com CGS)

É possível observar que para o caso de 16 Erlangs, sendo reservadas 3 portadoras para handoff, o aumento percentual no número de chamadas bloqueadas em relação à situação onde não se utilizam essas portadoras, é de aproximadamente 8,84% para o caso FCA e 7,91% para o caso DCA CS, ficando ainda mais grave quando são empregadas 4 portadoras de guarda, chegando esta diferença a 14,98% e 14,6% para FCA e DCA CS respectivamente. Para esta

situação de congestionamento, as portadoras reservadas para o procedimento de handoff passam a fazer falta.

A Figura 6.21 ilustra novamente os dois gráficos anteriores, porém, comparando-os a um sistema que utiliza o esquema FCA com CGF.

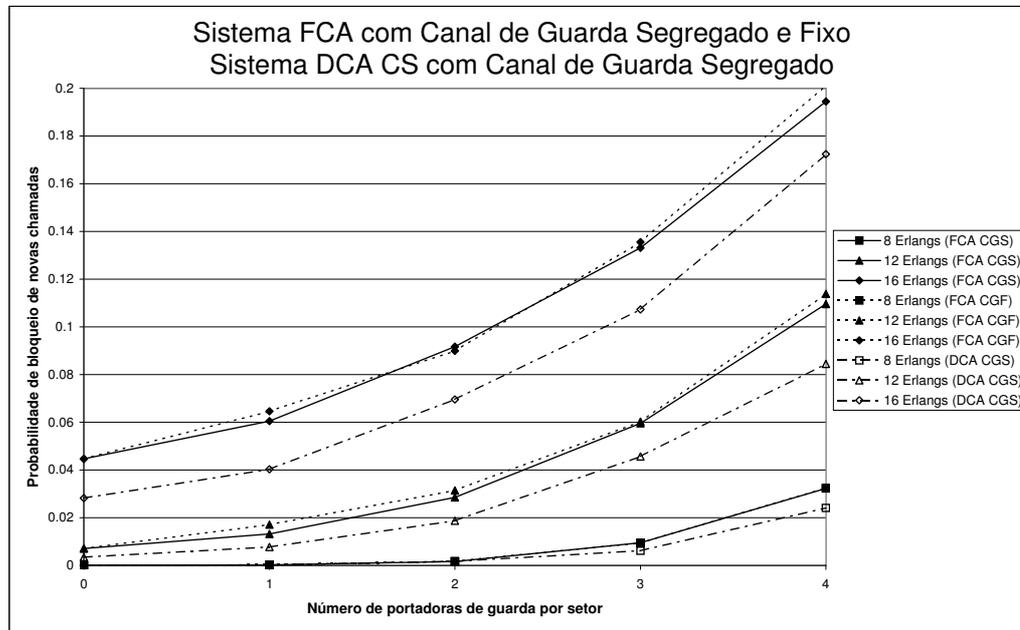


Figura 6.21 Probabilidade de bloqueio em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGF)

Para a probabilidade de bloqueio de novas chamadas, o esquema FCA que utiliza tanto CGF quanto CGS têm o mesmo desempenho. Isto ocorre, pois em ambos os esquemas, o mesmo número de portadoras foram destinadas para servirem de guarda. Assim, o número de portadoras disponíveis para atenderem a uma nova chamada também será o mesmo, equiparando as probabilidades de bloqueio de novas chamadas.

As Figuras 6.22 e 6.23 ilustram o desempenho dos sistemas em termos da probabilidade de terminação forçada.

Em ambos os sistemas o objetivo da utilização de canais de guarda foi atingido, ou seja, diminuir a probabilidade de terminações forçadas das chamadas que estejam em procedimento de handoff.

Para que os requisitos de qualidade do sistema sejam satisfeitos, ambas as probabilidades de bloqueio e terminação forçada devem estar entre 2 e 5%. Assim, para o sistema que utiliza o esquema FCA, 2 portadoras de guarda são suficientes para atender a um tráfego de até 12 Erlangs de entrada por setor.

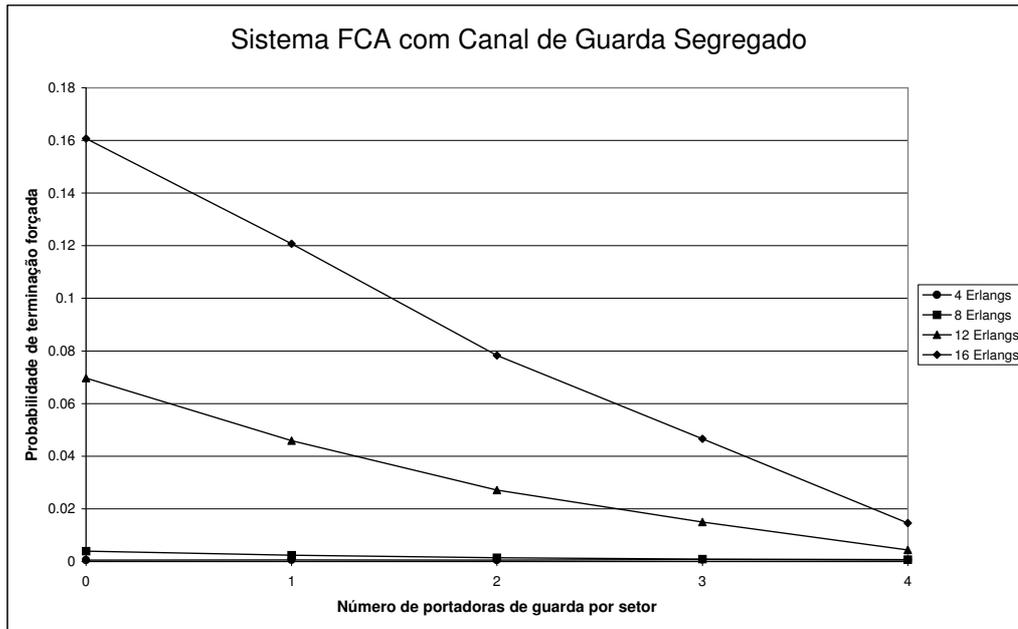


Figura 6.22 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGS)

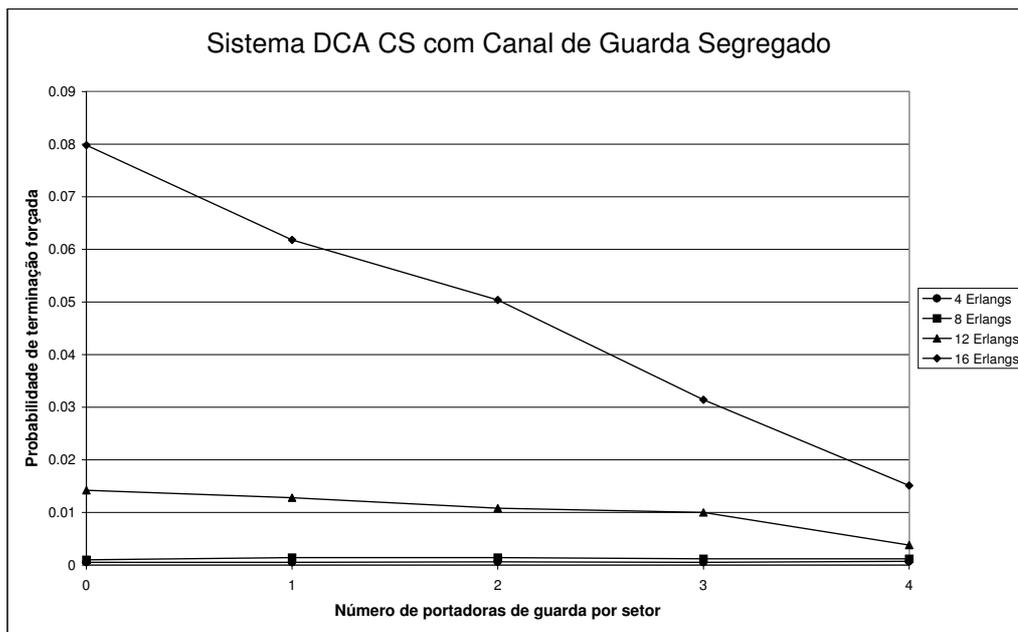


Figura 6.23 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (DCA CS com CGS)

A partir deste tráfego, qualquer aumento no número de portadoras destinadas ao handoff irá impactar de forma negativa no sistema.

Para o sistema que utiliza alocação dinâmica com um tráfego de entrada por setor de até 12 Erlangs, 3 portadoras poderiam ser utilizadas respeitando os requisitos de qualidade do sistema. Porém, ocorreria um aumento superior a 100% na probabilidade de bloqueio e uma redução de apenas 7,5% na pro-

babilidade de terminação forçada. Assim, também são indicadas 2 portadoras de guarda para este sistema.

A Figura 6.24 ilustra novamente os dois gráficos anteriores, porém, comparando-os a um sistema que utiliza o esquema FCA com CGF.

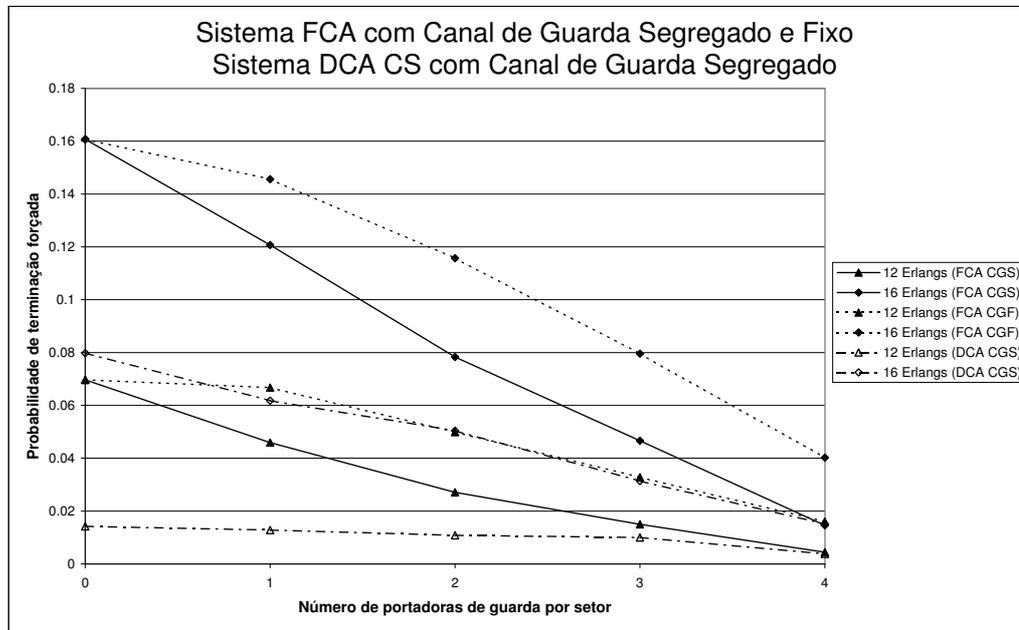


Figura 6.24 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGF)

Diferentemente do que ocorreu para a probabilidade de bloqueio de novas chamadas (Figura 6.21), o sistema que utiliza o esquema FCA com CGF tem o pior desempenho quando se analisa a probabilidade de terminação forçada. No esquema com CGF, o número total de portadoras destinadas para servirem de guarda é dividido pelo número de células do cluster, sendo desta forma alocadas de maneira uniforme para cada célula. O mesmo não ocorre no esquema com CGS, onde todas as portadoras reservadas para servirem de guarda de maneira dinâmica deverão estar disponíveis para todas as células do sistema. Assim, no esquema CGS existe uma maior probabilidade de se encontrar um canal candidato com um nível de *SIR* aceitável no momento do handoff.

Já a Figura 6.25 ilustra duas situações particulares para os tráfegos de entrada por setor de 12 e 16 Erlangs.

Pode-se observar que o sistema que utiliza o esquema FCA tem o decaimento de suas curvas mais rápido do que o sistema que utiliza DCA CS, atingindo a mesma probabilidade de bloqueio com 4 portadoras de guarda por

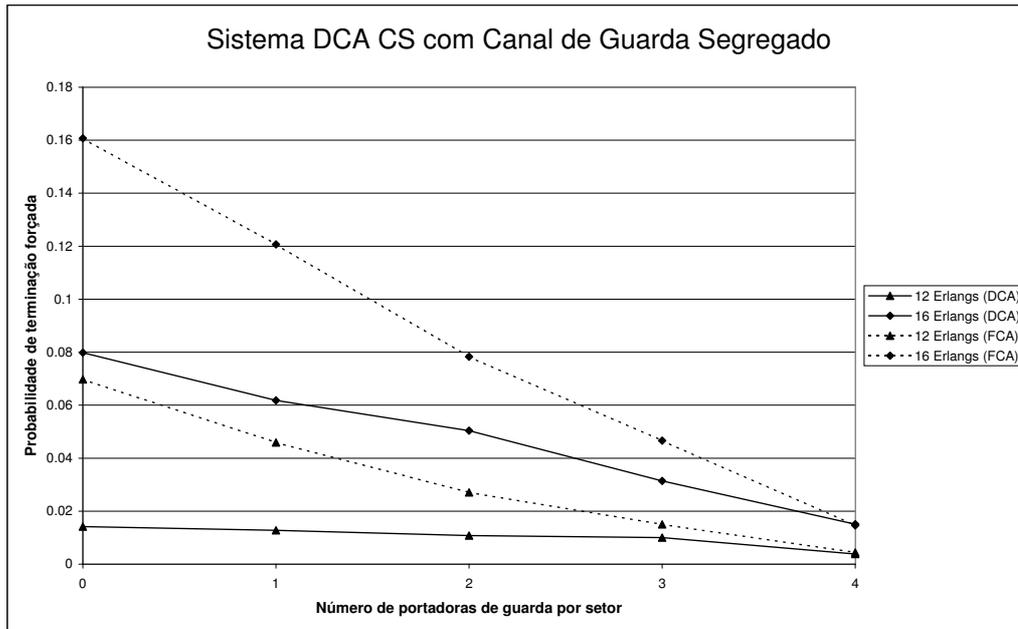


Figura 6.25 Probabilidade de terminação forçada em função do tráfego de entrada por setor (Comparação FCA e DCA CS com CGS)

setor para os respectivos tráfegos de entrada. A partir destes dados, é possível concluir que o sistema com esquema FCA consegue utilizar de forma mais eficiente todos os canais disponíveis em cada portadora de guarda.

As Figuras 6.26, 6.27 e 6.28 ilustram o número médio de usuários ativos em cada setor de cada ERB para os dois sistema.

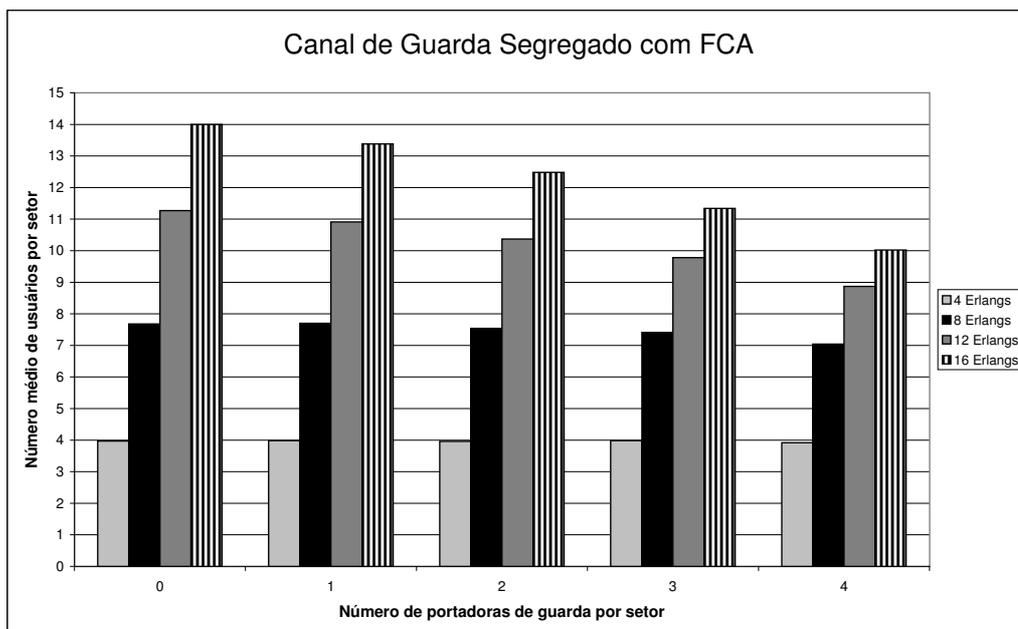


Figura 6.26 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGS)

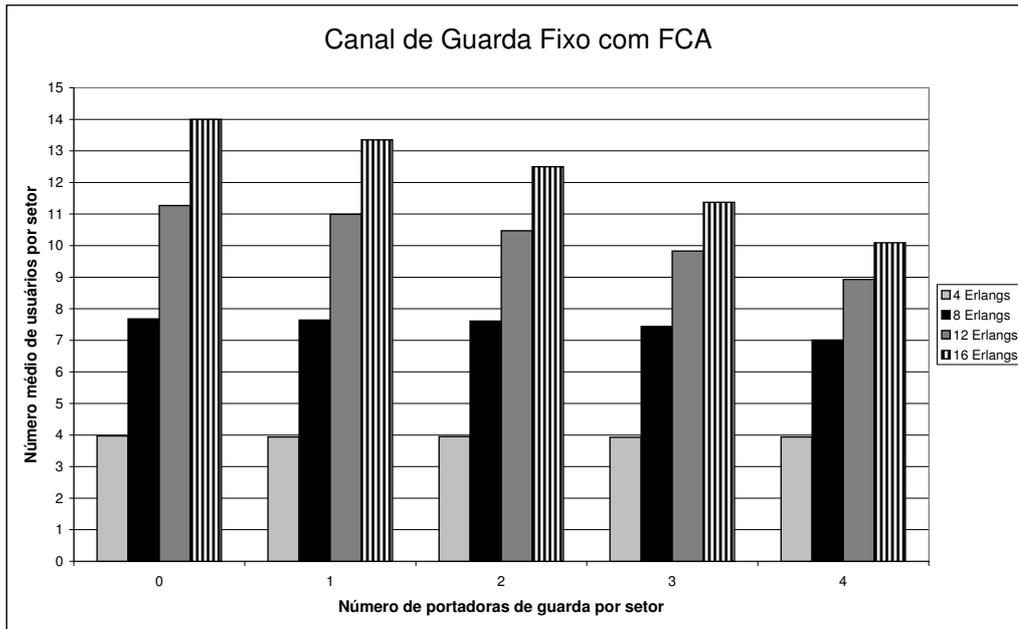


Figura 6.27 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (FCA com CGF)

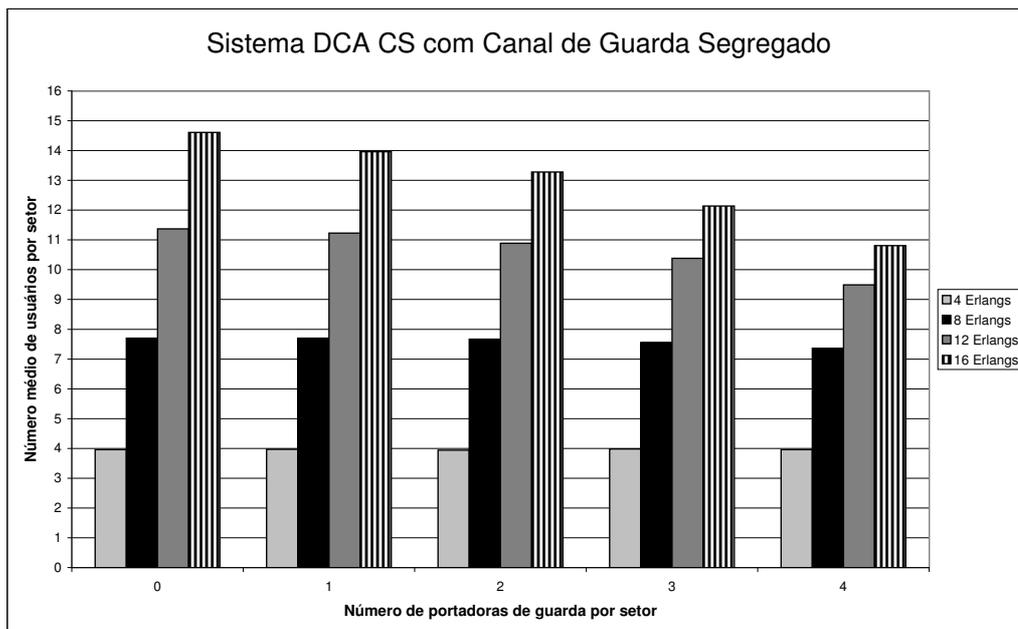


Figura 6.28 Número médio de usuários em função do tráfego de entrada por setor (DCA CS com CGS)

Como a reserva de portadoras de guarda faz com que o número de portadoras disponíveis por setor para servir às novas chamadas seja reduzido, o número médio de usuários ativos em cada setor de cada ERB também deve diminuir. Como dito anteriormente, em situações de baixo tráfego (8 e 12 Erlangs), essa redução no número de portadoras disponíveis para receber novas chamadas não chega a impactar de forma negativa o sistema. Porém, a medida que este

tráfego aumenta, a falta dessas portadoras passa a ser sentida acarretando em uma redução no número médio de usuários por setor.

A principal conclusão obtida a partir da análise dos gráficos anteriores, é que existe um compromisso entre o número de canais reservados especificamente para o procedimento de handoff e a qualidade de serviço do sistema.

A medida que se aumenta o número de canais reservados para handoff, diminui-se o número de canais que podem estar disponíveis para receber uma nova chamada, reduzindo assim o número médio de usuários que podem ser atendidos simultaneamente em cada ERB do sistema. Porém, ocorre uma melhora na qualidade do serviço prestado aos usuários que já se encontram utilizando os recursos da rede, visto que eles permanecem mais tempo no sistema pois conseguem ter um maior êxito ao realizar o procedimento de handoff.

Outra conclusão importante, é que o sistema que utiliza o esquema com CGS apresenta um melhor desempenho se comparado ao sistema que utiliza o esquema com CGF, devido à maneira dinâmica de alocar os canais.

7

Conclusões e Sugestões

7.1

Conclusões

O intuito deste trabalho foi estudar o funcionamento do Algoritmo de Alocação Dinâmica de Canais Distribuída conhecido como Segregação de Canais e comparar o seu desempenho com os esquemas de Alocação Fixa e Híbrida de Canais, e ainda, verificar qual o impacto de se priorizar as chamadas em procedimento de handoff utilizando-se o esquema com Canais de Guarda.

Inicialmente foi verificado que ao se utilizar o esquema DCA CS em sistemas com células setorizadas, não existe a necessidade de impedir que uma portadora, cujos canais estão sendo utilizados em um setor de uma dada célula, possa ser reutilizada, simultaneamente, em qualquer um dos outros dois setores desta mesma célula. O Algoritmo 3 (Maior Liberdade) mostrou-se capaz de organizar os canais de forma a respeitar a interferência.

Após a escolha do melhor algoritmo DCA CS, o seu desempenho foi comparado ao FCA. O desempenho do esquema DCA CS foi superior para os diversos tráfegos de entrada, reduzindo tanto a probabilidade de bloqueio de novas chamadas quanto a probabilidade de terminações forçadas, e com isso, conseguindo um aumento no número médio de usuários que podem ser atendidos simultaneamente em um setor de uma dada célula. Além disso, o sistema que utiliza o esquema DCA CS consegue ter a sua distância de reuso reduzida, utilizando os canais de forma mais eficiente que o sistema com FCA, onde devido ao pré-planejamento de frequências, essa distância é fixa. Porém, a medida que o tráfego aumenta, as condições de interferência tornam-se mais severas e o sistema que utiliza o esquema FCA passa a se beneficiar do seu

pré-planejamento de frequências, reduzindo os ganhos obtidos pela alocação dinâmica.

Para que o sistema FCA atinja o mesmo desempenho obtido pelo DCA CS para um tráfego de entrada por setor constante de 16 Erlangs, serão necessárias 12 portadoras FCA por setor ao invés de 9. Desta forma, ocorre um aumento no custo da implementação do sistema no que se refere ao aumento de 33% da largura de faixa a ser utilizada, além da aquisição do mesmo percentual de equipamentos de rádio.

Devido às variações temporais e espaciais de tráfego, os sistemas celulares que utilizam esquemas FCA podem não atingir um desempenho satisfatório. Devido a forma dinâmica de se alocar os canais, os sistemas que utilizam algoritmos DCA são capazes de adaptarem-se a estas variações de tráfego comuns em sistemas celulares, apresentando um desempenho superior aos sistemas que utilizam algoritmos FCA. Porém, a medida que o tráfego aumenta, ocorre uma redução no ganho obtido pelo sistema DCA CS frente ao FCA, da mesma forma que em sistemas com tráfego uniforme.

As técnicas de alocação híbrida de canais combinam alocação fixa com alocação dinâmica de canais, e surgem para tentar solucionar problemas relacionados à estas duas técnicas. Elas fornecem estabilidade ao sistema reduzindo o nível de interferência devido ao pré-planejamento de frequências, além de possibilitar uma busca flexível pelo melhor canal candidato. A conclusão fundamental é que tanto o DCA CS quanto o método híbrido FCA e DCA CS (3 portadoras FCA e 6 DCA) são opções atraentes.

Finalmente, o impacto de se utilizar um esquema que priorize o procedimento de handoff foi analisado. A principal conclusão obtida, é que existe um compromisso entre o número de canais reservados especificamente para o procedimento de handoff, o tráfego e a qualidade de serviço do sistema. Para tráfegos leves, a variação no número de canais disponíveis para atender uma nova chamada não chega a afetar o desempenho do sistema, uma vez que dificilmente todos os canais disponíveis estarão sendo utilizados. Porém, a medida que esse tráfego aumenta, a reserva de canais para o handoff passa a impactar de forma negativa no sistema. A redução do número de canais

que podem estar disponíveis para receber uma nova chamada, faz com que o número médio de usuários que podem ser atendidos simultaneamente em cada ERB do sistema decresça. Porém, ocorre uma melhora na qualidade do serviço prestado aos usuários que já se encontram utilizando os recursos da rede, visto que eles permanecem mais tempo no sistema pois, conseguem ter um maior êxito ao realizar o procedimento de handoff. Outra conclusão importante, é que o sistema que utiliza o esquema com CGS apresenta um melhor desempenho se comparado ao sistema que utiliza o esquema com CGF, devido à maneira dinâmica de alocar os canais.

7.2

Sugestões

Como sugestões para trabalhos que possam vir a ser feitos como continuidade deste, destacam-se:

- Utilizar a técnica DCA CS em um sistema com tecnologia GSM;
- Verificar o impacto de se utilizar a técnica DCA CS em sistemas micro-celulares;
- Propor novos algoritmos DCA CS, como por exemplo, limitando o reuso dos canais;
- Analisar o impacto da interferência de canal adjacente nos sistemas que utilizam o algoritmo DCA CS;
- Propor outros algoritmos HCA, como por exemplo, adaptativos ao tráfego;
- Propor um esquema com canais de guarda adaptativos ao tráfego.

Referências Bibliográficas

- [1] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*. Prentice Hall PTR, 1999.
- [2] L. R. Coelho, N. A. P. Garcia, M. E. C. Rodrigues, and L. A. R. S. Mello, *Sistemas Rádio Celulares*. Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC-Rio, Agosto 2000.
- [3] D. J. Goodman, *Wireless Personal Communications Systems*. Wireless Communications, Addison-Wesley, 1997.
- [4] B. J. B. F. Jr., “Análise do Uso da Alocação Dinâmica de Canais em Sistemas de Telefonia Celular,” Master’s thesis, Escola Politécnica da Univ. de São Paulo, 1999.
- [5] I. Katzela and M. Naghshineh, “Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Telecommunication Systems: A Comprehensive Survey,” *IEEE Pers. Commun.*, pp. 10–30, June 1996.
- [6] S. Tekinay and B. Jabbari, “Handover and channel assignment in mobile cellular networks,” *IEEE Commun. Magazine*, vol. 29, pp. 42–46, 1991.
- [7] K. Okada and F. Kubota, “On Dynamic Channel Assignment in Cellular Mobile Radio Systems,” *Proc. IEEE Int’l. Symp. on Circuits and Sys.*, vol. 2, pp. 938–941, 1991.
- [8] M. Zhang and T. S. Yum, “Comparisons of channel assignment strategies in cellular mobile telephone systems,” *IEEE Commun. Magazine*, vol. 1, pp. 467–471, 1989.

- [9] K. Hamabe and Y. Furuya, "Distributed Dynamic Channel Allocation for the Evolution of TDMA Cellular Systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79-B, pp. 230–236, March 1996.
- [10] P. J. Smith, M. Shafi, and A. Tokeley, "On the Effectiveness of Channel Segregation as a Channel Allocation Method in a Variety of Cellular Structures," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, pp. 2234–2243, November 2000.
- [11] S. H. Oh and D. W. Tcha, "Prioritized Channel Assignment in a Cellular Radio Network," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 40, pp. 1259–1269, July 1992.
- [12] W. Wei, B. H. Soong, P. T. Tan, E. Gunawan, and C. B. Soh, "Distributed Algorithms for Dynamic Channel Allocation in Cellular Mobile Systems," *IEEE Int. Conf. on Univ. Personal Commun.*, pp. 548–551, 1994.
- [13] S. L. N. Fraiha, "Uma Análise do Problema da Alocação dos Canais de Tráfego em Sistemas Móveis Celulares," Master's thesis, CETUC PUC-RJ, Setembro 1996.
- [14] Y. Akaiwa and H. Andoh, "Channel Segregation - A self Organized Dynamic Allocation Method: Application to TDMA/FDMA Microcellular System," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 11, pp. 949–954, August 1993.
- [15] C.-L. I and P.-H. Chao, "Distributed Dynamic Channel Allocation Algorithms with Adjacent Channel Constraints," *IEEE Int. Symp. on PIMRC*, vol. 1, pp. 169–177, 1994.
- [16] L. B. Priolli, "Alocação Dinâmica de Canais com prioridade para chamadas em Handoff," Master's thesis, CETUC PUC-RJ, Dezembro 1999.
- [17] K. Hamabe, T. Ueda, and T. Otsu, "Distributed adaptive channel allocation scheme with variable C/I threshold in cellular systems," *IEEE Veh. Technol. Conference*, pp. 164–167, 1993.

- [18] K. A. AGHA, “Hybrid Channel Assignment Using Dynamic Resource Sharing,” *IEEE Veh. Technol. Conference*, vol. 5, pp. 3029–3033, 1999.
- [19] J. Cheng, S. Zhu, and A. Dang, “Grouped Hybrid Channel Assignment for Cellular Mobile Communication Systems,” *Commun. Technol. Proceedings*, vol. 1, pp. 86–90, 1998.
- [20] R. Guérin, “Queueing-Blocking System with Two Arrivel Streams and Guard Channels,” *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 36, pp. 153–163, February 1988.
- [21] J. Lee, Y. Mun, and B. Kim, “Channel Allocation and Handover Schemes for Personal Communications Systems,” *IEEE Veh. Technol. Conference*, vol. 2, pp. 943–947, 1996.
- [22] G. Chen and S. Lee, “Modeling the Static and Dynamic Guard Channel Schemes for Mobile Transactions,” *IEEE Proc. Int. Conf. on Parallel and Distributed Systems*, pp. 258–265, 1998.
- [23] I. F. Silva, “Desenvolvimento, validação, e aplicação de uma ferramenta para a simulação de sistemas móveis celulares,” Master’s thesis, CETUC PUC-RJ, Abril 2002.

A

Implementações

A.1

Módulo Alocação Dinâmica de Canais

- BLOCO 1

Verifica se existem portadoras sendo utilizadas na célula em questão e tenta inicialmente alocar os canais nelas.

- BLOCO 2

Tenta alocar o canal em uma nova portadora dentre aquelas que já possuem prioridade definida para esta ERB. A tentativa de alocação é feita verificando-se as prioridades das portadoras.

- BLOCO 3

Tenta alocar o canal em uma nova portadora dentre aquelas que ainda não têm prioridade definida, pois nunca foram tentadas para a ERB em questão. A tentativa de alocação é feita verificando-se a portadora que sofre a menor interferência (utiliza-se os três canais de cada portadora para este cálculo).

- BLOCO 4

Procedimentos para ativar a chamada escolhendo qual algoritmo de bloqueio será utilizado.

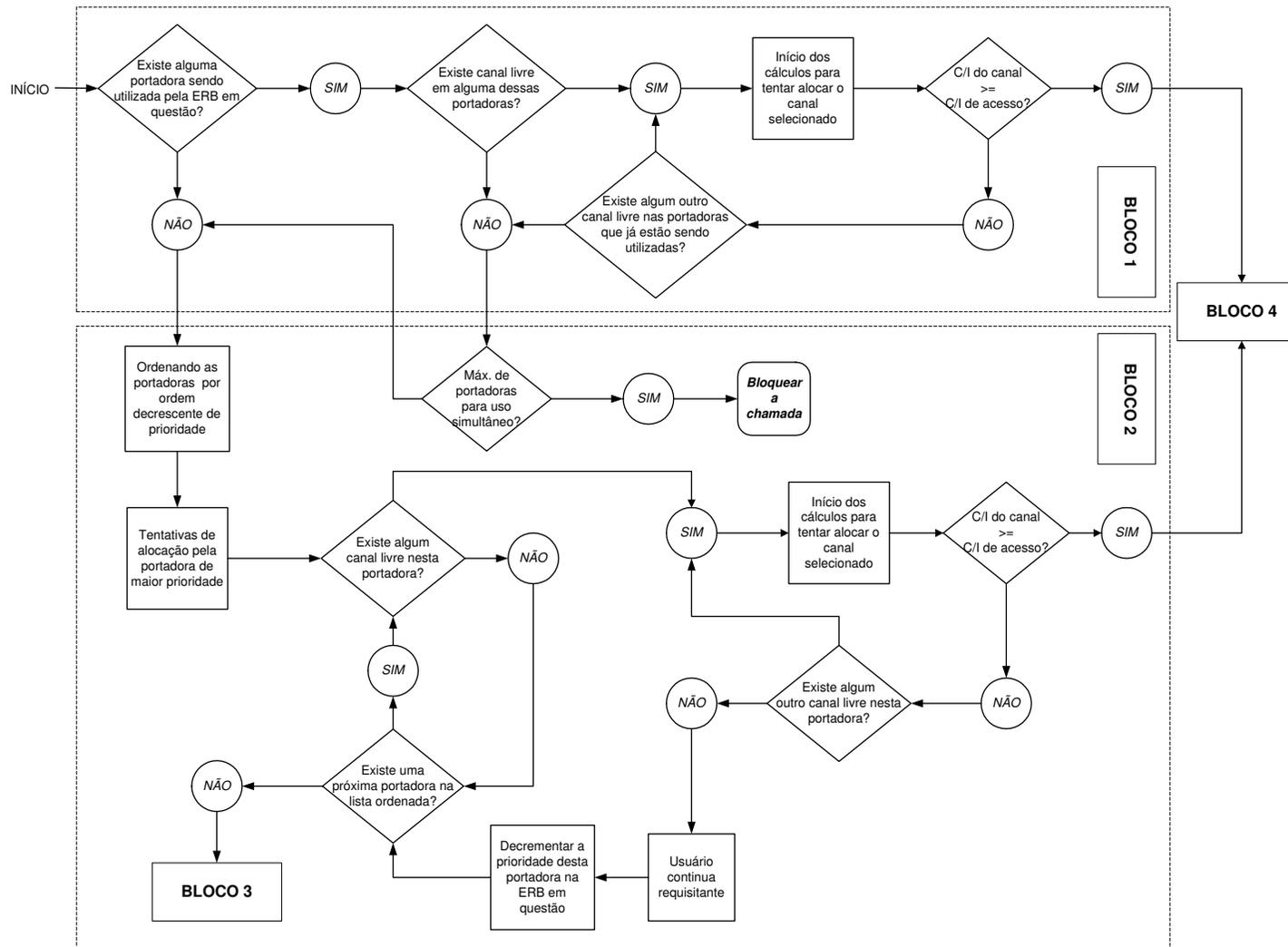


Figura A.1 Diagrama de Blocos 1, 2 - Função Alocação Dinâmica

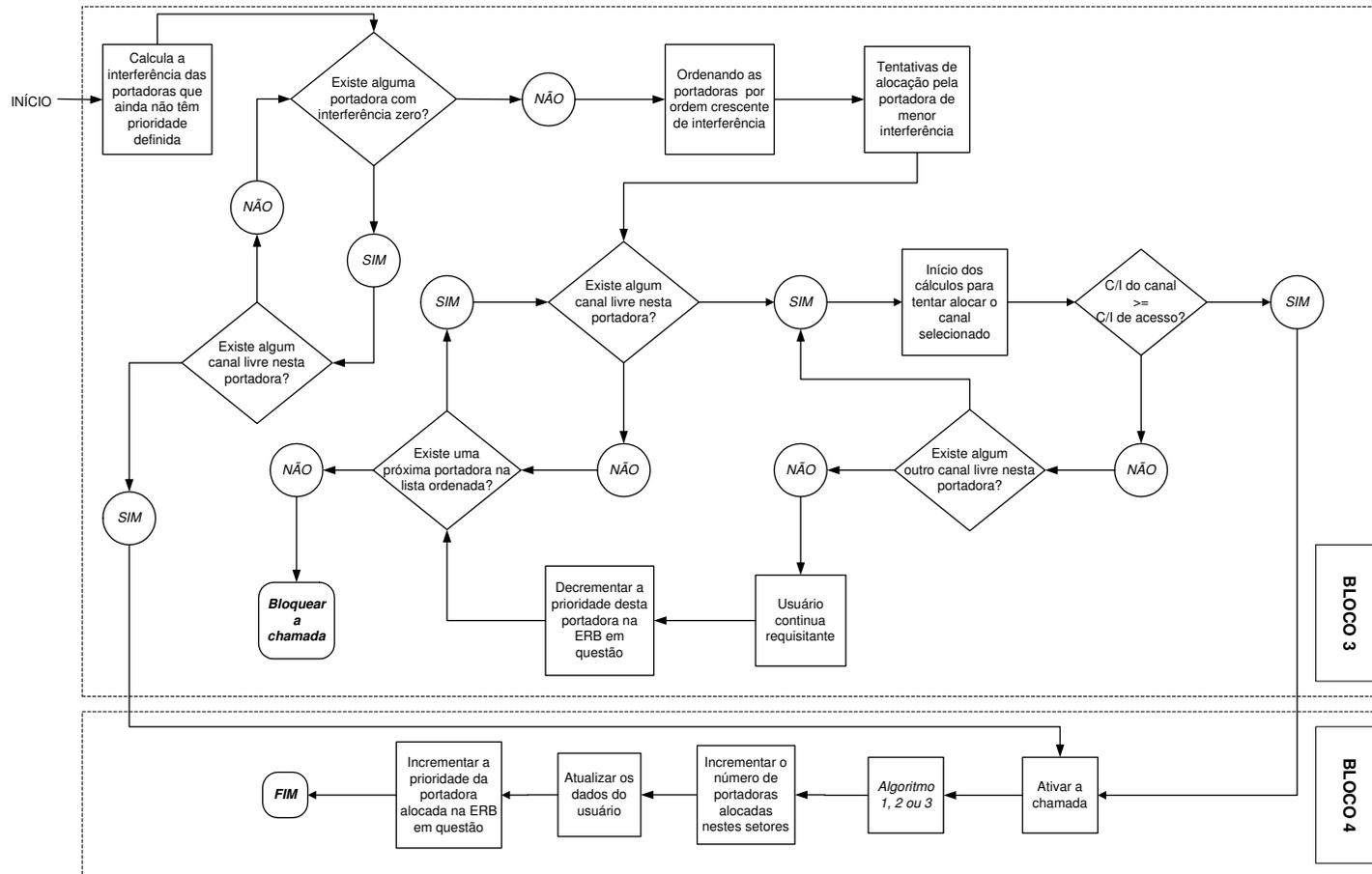
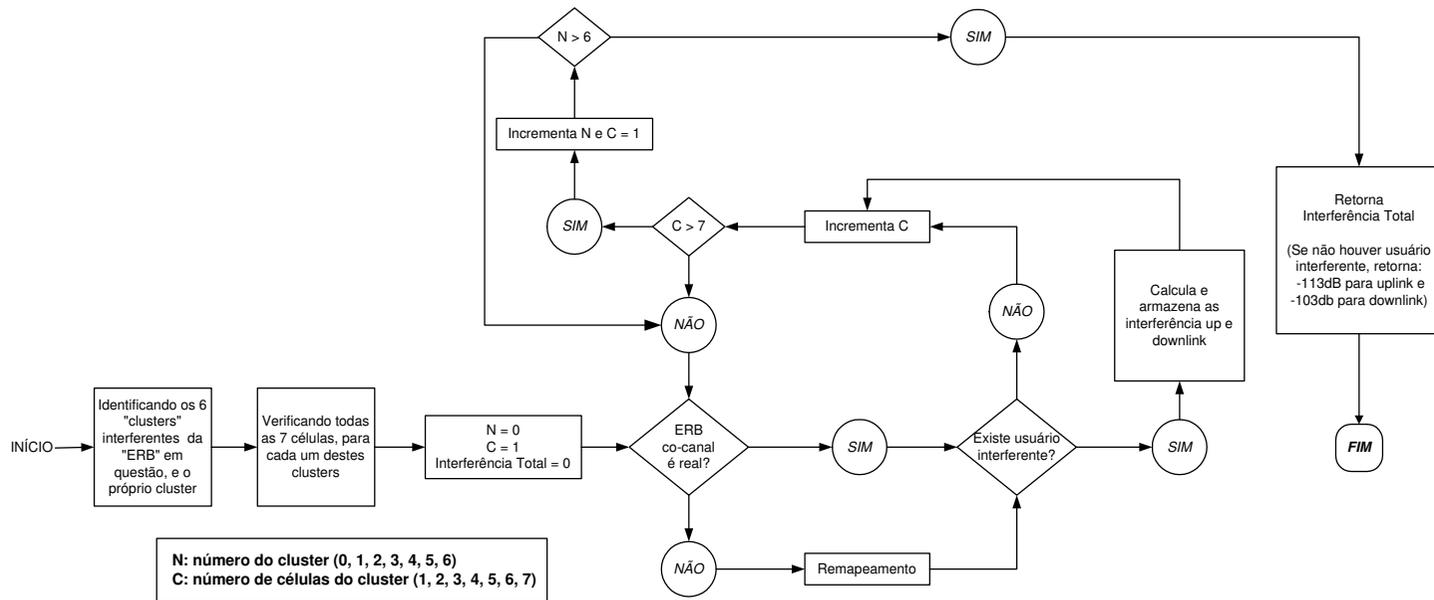
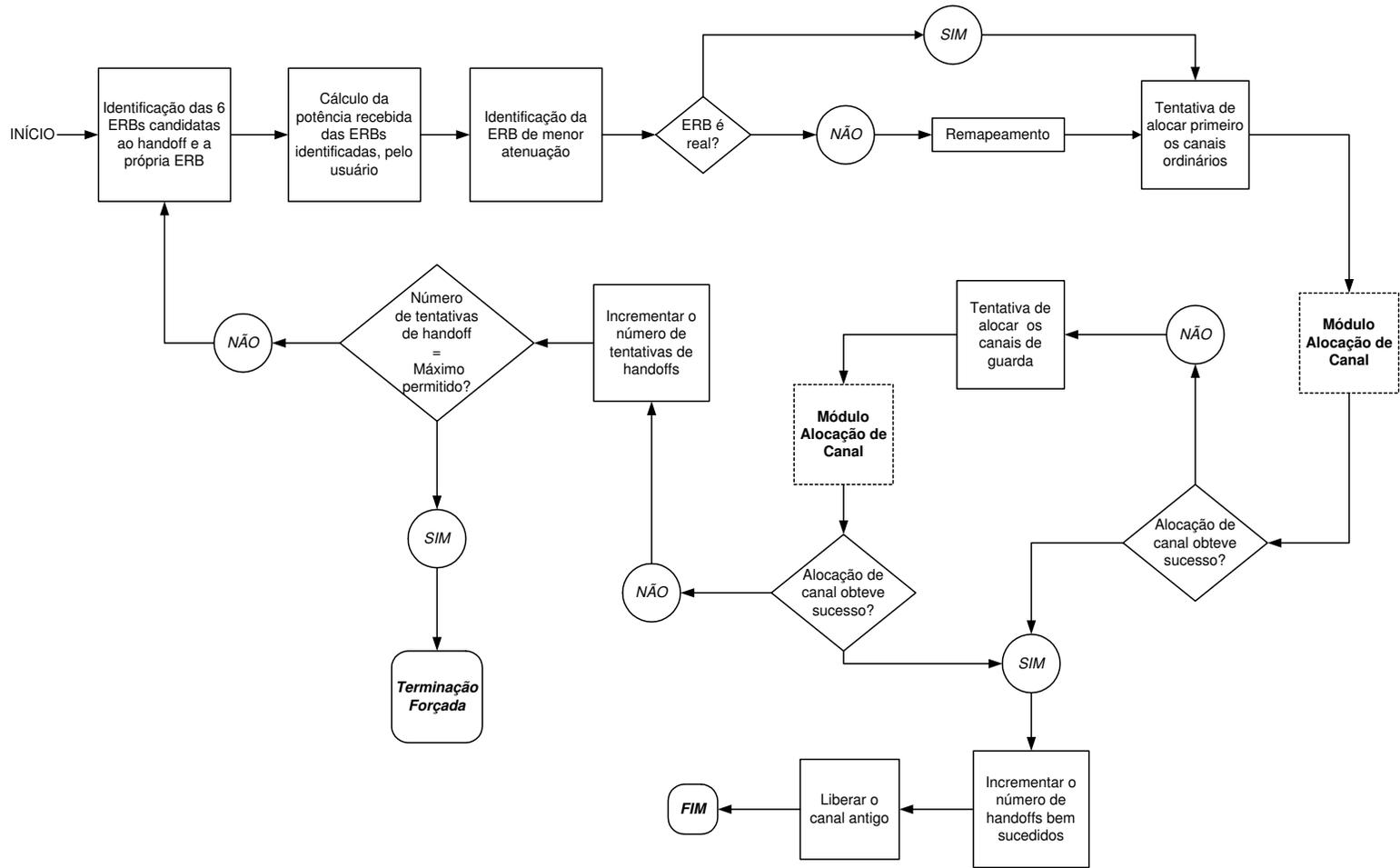


Figura A.2 Diagrama de Blocos 3, 4 - Função Alocação Dinâmica



A.2
Módulo Interferência

Figura A.3: Diagrama de Blocos - Função Interferência Up e Downlink



A.3
Módulo Handoff

Figura A.4: Diagrama de Blocos - Função Handoff