



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

Departamento de Engenharia Elétrica

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Dissertação de Mestrado

**“Alocação de canais em sistemas de comunicação celular
empregando algoritmo genético distribuído”**

Leandro Calixto Tenório de Albuquerque

Orientador: Prof. Dr. Ailton Akira Shinoda

Ilha Solteira - SP
Junho/2009



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

“Alocação de canais em sistemas de comunicação celular
empregando algoritmo genético distribuído”

LEANDRO CALIXTO TENÓRIO DE ALBUQUERQUE

Orientador: Prof. Dr. Ailton Akira Shinoda

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia – UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica.
Área de Conhecimento: Automação

Ilha Solteira – Sp
Junho/2009

FICHA CATALOGRAFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

A345a

Albuquerque, Leandro Calixto Tenório de.

Alocação de canais em sistemas de comunicação celular empregando algoritmo genético distribuído / Leandro Calixto Tenório de Albuquerque. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2009.
94 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Conhecimento: Automação, 2009

Orientador: Ailton Akira Shinoda
Bibliografia: p. 89-94

1. Algoritmos genéticos. 2. Telefonia celular. 3. Programação paralela (Computação). 4. Alocação de canal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ALOCAÇÃO DE CANAIS EM SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO CELULAR
EMPREGANDO ALGORITMO GENÉTICO DISTRIBUÍDO

AUTOR: LEANDRO CALIXTO TENÓRIO DE ALBUQUERQUE
ORIENTADOR: Prof. Dr. AILTON AKIRA SHINODA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA ELÉTRICA, Área: AUTOMAÇÃO, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. AILTON AKIRA SHINODA

Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. SERGIO AZEVEDO DE OLIVEIRA

Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. CARLOS DAS MACIEL

Departamento de Engenharia Elétrica / Universidade de São Paulo

Agradecimentos

A Deus pela proteção divina.

Aos meus pais Hélio e Odisséia pela educação, incentivo, conselhos e palavras amigas em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

A minha irmã Elisangela sempre torcendo pelo meu sucesso.

A minha noiva Alessandra pelo amor, cumplicidade, por fazer parte de minha vida, estará pra sempre em meu coração.

Ao Prof.º Dr. Ailton Akira Shinoda pela orientação, paciência em ensinar, oportunidade e confiança na realização deste trabalho.

Resumo

Neste trabalho é revisada a literatura sobre o funcionamento de um sistema de telefonia celular e apresentadas propostas de aplicações de processamento distribuído, baseada em Algoritmos Genéticos na resolução do problema de alocação de canais para o sistema celular.

O estudo realizado para a apresentação desta dissertação descreve o modelamento da rede celular em termos de dois operadores genéticos, além disso, são propostas duas técnicas para o problema de alocação de canais em uma rede de telefonia celular. Uma das técnicas trabalha com a compatibilidade eletromagnética, já a outra, trabalha com a mínima relação sinal interferência (SIR).

Os resultados das duas técnicas são obtidos de dois algoritmos de processamento distribuído, desenvolvidos em linguagem C e com a biblioteca de programação distribuída (*Message Passing Interface – MPI*). Os algoritmos propostos, através de uma função objetivo, calculam a alocação sem conflito de canais entre as células, na primeira abordagem satisfazendo a compatibilidade eletromagnética e exigências da demanda de tráfego, e na segunda abordagem satisfazendo a mínima SIR e exigências da demanda de tráfego, ambos otimizando a alocação de canais.

Palavras-Chaves – Algoritmos Genéticos, Comunicação Celular, Processamento Distribuído, Alocação de Canal.

Abstract

The literature about the cell phone system functioning and proposals of the distributed processing applications based on Genetic Algorithms in the assigning channels problems resolutions are presented in this study.

This dissertation describes the cell phone problems modeling by two genetic operators and proposes two techniques for the telephone network allocation channels problems. One of the techniques works with the electromagnetic compatibility and the other with minimal signal interference ratio (SIR).

The results of the two techniques are obtained by two algorithms distributed processing, developed in C language and Message Passing Interface (MPI). The algorithms proposed, by an objective function, calculate the allocation without channels conflict. At first, satisfying the electromagnetic compatibility and traffic demand requirements and then satisfying the minimum SIR and traffic demand requirements, both optimizing the channels allocation.

Keywords – Genetic Algorithms, Cell Communication, Distributed Processing, Allocation of Channel.

Lista de Ilustrações

2.1	Cobertura convencional.	16
2.2	Cobertura Celular.	16
2.3	Rede celular e interligação à RTPC.	17
2.4	Comunicação entre EM e ERB.	19
2.5	<i>Cluster</i> formado por sete células.	20
2.6	Reuso de frequência entre os <i>clusters</i>	21
2.7	Sistema móvel celular: <i>handoff</i> e <i>roaming</i>	24
2.8	Alocação fixa de canais.	25
2.9	Alocação dinâmica de canal.	26
3.1	Fluxograma de funcionamento do AGB.	31
3.2	Modelo da roleta.	34
3.3	Recombinação com um ponto de corte entre um casal de indivíduos.	35
3.4	Mutação em uma posição do indivíduo.	36
3.5	AG global memória distribuída.	39
3.6	Pseudo-código AG migração.	39
3.7	Topologia de migração em anel ou unidirecional.	40
3.8	Topologia de migração da vizinhança ou bidirecional.	41
3.9	Topologia de migração irrestrita ou multidirecional.	41
4.1	Matriz de compatibilidade C e rede celular.	46
4.2	Rede celular com canais alocados (configuração 1).	48
4.3	Rede celular com canais alocados (configuração 2).	49
4.4	Usuário i na célula ERB1.	53
4.5	Rede celular com canais alocados (configuração).	55
4.6	Indivíduo da população antes da mutação.	58

4.7	Indivíduo da população após a mutação.	58
4.8	Algoritmo distribuído de migração unidirecional de alocação de canais.	59
4.9	Algoritmo sequencial de alocação de canais	60
5.1	Rede celular com reuso de 4.	62
5.2	Taxa de convergência baseada no número de tentativas (migração).	65
5.3	Tempo de CPU utilizada.	66
5.4	Taxa de convergência baseada no número de tentativas	67
5.5	Chamadas geradas em cada célula/estado através de uma distribuição de Poisson.	69
5.6	Probabilidade de bloqueio do sistema com um processador ou quatro processadores.	55
5.7	Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado.	70
5.8	Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado com migração unidirecional.	72
5.9	Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado com migração bidirecional.	72
5.10	Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado com migração irrestrita.	73
5.11	Rede celular.	74
5.12	Taxa de convergência baseada no número de tentativas (migração).	77
5.13	Tempo de CPU utilizada.	79
5.14	Valor da SIR final (sistema sem bloqueio) para um determinado estado do sistema gerado pela distribuição de Poisson.	80
5.15	Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado.	81
5.16	Valor da SIR final (sistema sem bloqueio) para um determinado estado do sistema gerado pela distribuição de Poisson.	84
5.17	Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado.	85

Lista de Tabelas

2.1	Principais elementos do sistema convencional e de uma rede celular.	18
4.1	Matriz binária da rede celular.	43
4.2	Matriz de compatibilidade.	43
4.3	SIR (dB).	44
4.4	Vetor de demanda.	44
4.5	Vetor de demanda D	47
4.6	Indivíduo 1 – (configuração 1).	48
4.7	Indivíduo 2 – (configuração 2).	48
4.8	Vetor de demanda D	54
4.9	Indivíduo – (configuração).	55
5.1	Vetor de demanda.	62
5.2	Matriz de compatibilidade eletromagnética.	63
5.3	Parâmetros de simulação.	64
5.4	Valor inicial da função objetivo.	64
5.5	Parâmetros de simulação.	66
5.6	Valor inicial da função objetivo.	67
5.7	Parâmetros de simulação.	68
5.8	Parâmetros de simulação.	71
5.9	Localização da ERB e vetor de demanda.	74
5.10	Localização dos usuários da célula 1.	75
5.11	Parâmetros de simulação.	75
5.12	Valor inicial da função de custo.	76
5.13	SIR (dB) da configuração final com 4 processadores.	78
5.14	Parâmetros de simulação.	79

5.15	Valor da SIR final.	82
5.16	Parâmetros de simulação.	83
5.17	Valor da SIR final.	86

Lista de Abreviaturas e Variáveis

ADC	Alocação Dinâmica de Canais
AFC	Alocação Fixa de Canais
AG	Algoritmo Genético
AGB	Algoritmo Genético Básico
AHC	Alocação Híbrida de Canais
CCC	Centro de Comutação e Controle
EM	Estação Móvel
ERB	Estação Rádio Base
FCC	<i>Federal Communication Commission</i>
ICA	Interferência de Célula Adjacente
ICC	Interferência Co-Canal
IIC	Interferência Intra-Celular
LAN	<i>Local Area Network</i>
MPI	Message Passing Interface
N_g	Número de Gerações
N_{mg}	Número Total de Migrações
N_p	Número da População por Processo
p_c	Probabilidade de Recombinação
p_m	Probabilidade de Mutação
p_{mg}	Taxa de Migração
p_t	Potência de transmissão da célula
RF	Rádio Frequência
RTPC	Rede de Telefonia Pública Comutada
SIR	Relação Sinal Interferência

Sumário

1	Introdução Geral	13
2	Conceitos de Telefonia Celular	15
2.1	Elementos Básicos de um Sistema Celular.	18
2.1.1	Estação Rádio Base (ERB).	18
2.1.2	Estação Móvel (EM).	19
2.1.3	Centro de Comutação e Controle (CCC).	20
2.2	<i>Cluster</i> e Reuso de Frequência.	20
2.3	Interferência.	21
2.4	<i>Handoff</i> e <i>Roaming</i>	22
2.5	Alocação de Canais.	24
2.5.1	Alocação Fixa de Canais (AFC).	24
2.5.2	Alocação Dinâmica de Canais (ADC).	25
2.5.3	Alocação Híbrida de Canais (AHC).	26
3	Conceitos de Algoritmo Genético	28
3.1	Algoritmo Genético Básico.	29
3.2	Funcionamento dos Algoritmos Genéticos (AGs).	31
3.2.1	Codificação e Parâmetros dos AGs.	31
3.2.2	Função Objetivo.	32
3.2.3	Método de Seleção.	33
3.2.4	Método de Recombinação.	34
3.2.5	Operador de Mutação.	35
3.2.6	Critério de Parada.	36

3.3	Algoritmo Genético Paralelo.	37
3.3.1	AG Global.	38
3.3.2	AG Migração.	39
4	Modelamento da Alocação de Canal em AG	42
4.1	Análise do Problema de Alocação de Canal.	42
4.2	Algoritmo Genético para o Problema de Alocação de Canal.	45
4.2.1	Codificação do Problema com Abordagem da Compatibilidade Eletromagnética.	46
4.2.2	Função Objetivo com Abordagem da Compatibilidade Eletromagnética.	49
4.2.3	Codificação com Abordagem da Mínima SIR.	51
4.2.4	Função Objetivo com Abordagem da Mínima SIR.	55
4.2.5	Seleção.	57
4.2.6	Recombinação.	57
4.2.7	Mutação.	57
4.2.8	Substituição da População.	58
4.3	Implementação do Algoritmo Paralelo.	59
5	Resultados	61
5.1	Abordagem da Compatibilidade Eletromagnética.	62
5.1.1	Paralelização Migração Unidirecional.	63
5.1.2	Paralelização Global.	66
5.1.3	Paralelização Migração Unidirecional com Temporização.	68
5.1.4	Paralelização Migração Unidirecional, Bidirecional e Irrestrita com Temporização.	70
5.2	Abordagem da Mínima SIR.	74
5.2.1	Paralelização Migração Unidirecional.	75
5.2.2	Paralelização Migração Unidirecional com Temporização.	79
5.2.3	Paralelização Global com Temporização.	83
6	Conclusão	87
	Referências	89

Capítulo 1

Introdução Geral

O sucesso da telefonia celular resultou em um aumento na demanda deste tipo de serviço.

Um dos pontos que tem merecido atenção por parte dos pesquisadores é a alocação de canais entre os aparelhos, de modo que atenda a demanda de tráfego e a compatibilidade eletromagnética.

Outra proposta para a resolução do problema de alocação de canais é a substituição da abordagem da compatibilidade eletromagnética pela mínima relação sinal interferência (SIR).

O processo de alocação de canais entre os usuários pode ser do tipo fixo, dinâmico ou híbrido. Na alocação fixa, os canais são designados permanentemente para cada célula. Já na alocação dinâmica, todos os canais estão disponíveis para todas as células e são alocados de acordo com as requisições. A alocação híbrida é uma mistura das técnicas de alocação fixa com a dinâmica, os canais podem ser alocados de forma fixa ou dinâmica.

Deste modo, a questão a ser resolvida é obter uma alocação sem conflito de canais entre as células que satisfaça a compatibilidade eletromagnética ou a mínima SIR e as exigências da demanda de tráfego, otimizando a alocação de canais.

Uma abordagem interessante desse problema é o uso do algoritmo genético. Tal enfoque constitui-se em um ramo da inteligência artificial e baseia-se nos processos naturais de seleção, recombinação e mutação genética, sendo que esses processos são conhecidos como operadores genéticos. A partir de uma população de indivíduos (cadeia de caracteres codificados de forma binária ou decimal, gerados aleatoriamente ou pré-selecionados), as possíveis soluções são avaliadas para verificar se a melhor solução foi encontrada, ou o objetivo foi atingido. Caso o ponto ótimo não seja atingido, o processo de seleção é acionado e seleciona-se quais os candidatos que passarão para a fase de reprodução e quais os descartados. Sobre os candidatos selecionados atuam os operadores genéticos, recombinação e mutação. Os novos indivíduos substituem os anteriores, terminando assim, uma geração. Esse conjunto de processos acontece repetidamente até que algum critério de convergência seja alcançado.

Neste trabalho é revisada a literatura sobre o funcionamento de um sistema de telefonia celular e apresentadas propostas de aplicações de processamento distribuído, baseada em Algoritmos Genéticos na resolução do problema de alocação de canais para o sistema celular.

No capítulo 2 é feita uma introdução sobre telefonia celular. No capítulo 3 são apresentados conceitos sobre algoritmo genético básico e algoritmo genético paralelo. O capítulo 4 descreve o modelamento da alocação de canais em algoritmo genético utilizando a compatibilidade eletromagnética e a mínima SIR. O capítulo 5 mostra os resultados da abordagem da compatibilidade eletromagnética e da abordagem da mínima SIR, obtidos de uma rede celular na alocação de canais satisfazendo a demanda de tráfego com a técnica proposta. Foram analisadas algumas técnicas de paralelização e também trabalhou-se com limitação de tempo na busca do melhor conjunto de canais para atender as chamadas da rede celular, ou seja, a cada intervalo de tempo pré-determinado, o estado de chamadas do sistema é alterado, aproximando-se de um caso real. O capítulo 6 apresenta a conclusão deste trabalho.

Capítulo 2

Conceitos de Telefonia Celular

Um sistema de telefonia celular, é um sistema de telecomunicações que permite que usuários realizem chamadas por meio de telefones móveis (YACOUN, 1993). Usando um único transmissor de alta potência e com a antena situada em um local elevado, os primeiros sistemas móveis obtinham uma considerável área de cobertura, mas o número de usuários era pequeno. Para que não ocorressem interferências, de um conjunto de frequências utilizado na região de cobertura, cada frequência era alocada a um único usuário por vez. Em 1970 o sistema móvel da empresa Bell em Nova Iorque, conseguia atender uma quantidade máxima de doze usuários simultaneamente em uma área de aproximadamente dois mil quinhentos e oitenta quilômetros quadrados.

Com a grande demanda do serviço móvel e a desproporção da capacidade de alocação de espectro, as agências de regulamentação dos governos sentiram a necessidade de reestruturar o sistema de telefonia por rádio. Ficou claro a necessidade de um novo sistema, em que se obtivesse maior capacidade de alocação de frequência, não perdendo a considerável área de cobertura, evitando o congestionamento espectral e limitação no atendimento de usuários.

Com a reestruturação do sistema de telefonia por rádio, surge o conceito celular. Esse conceito permite oferecer grande capacidade com limitações do espectro alocado, sem maiores mudanças tecnológicas.

A idéia do conceito celular constitui-se basicamente na substituição do transmissor único de alta potência (responsável pela cobertura de uma grande área) por vários transmissores de baixa potência, cada um provendo cobertura a uma pequena região (célula) da área total. A cada uma dessas estações rádio base (ERB) é alocado um subconjunto do número total de canais disponíveis do sistema, formando um grupo de células com canais distintos, podendo ser reaproveitado em células de outro grupo, desde que a interferência entre estações co-canais (estações que possuem grupos de canais em comum), fosse mantida a níveis aceitáveis.

A FCC (*Federal Communication Commission* – órgão americano regulamentador de telecomunicações), em uma regulamentação de 22 de junho de 1981, definiu o sistema celular como: “Um sistema móvel terrestre de alta capacidade no qual o espectro disponível é dividido em canais que são alocados, em grupos, às células que cobrem determinada área geográfica de serviço. Os canais podem ser reusados em células diferentes na área de serviço”.

Uma das principais características do sistema de comunicação celular é a mobilidade: uma chamada celular, originada em qualquer lugar e em qualquer momento dentro da área de serviço, pode ser mantida sem interrupção enquanto o assinante está em movimento. Isso deve-se ao mecanismo de *handoff*, que é um processo de troca de frequência das portadoras alocadas ao móvel, conforme este muda da região de cobertura de uma base para outra.

As Figuras 2.1 e 2.2 mostram as coberturas convencional e celular, respectivamente.

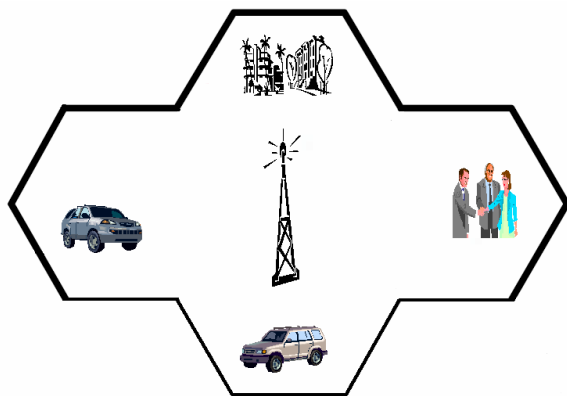


Figura 2.1: Cobertura convencional.

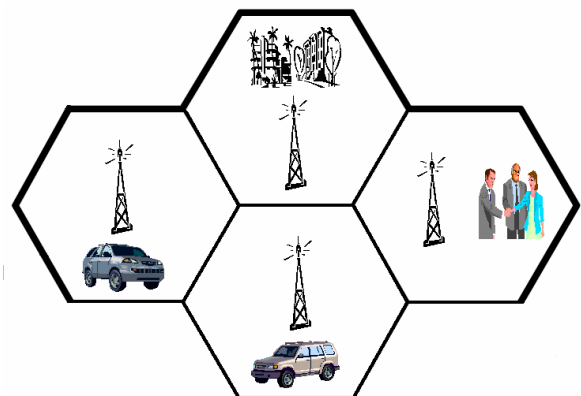


Figura 2.2: Cobertura celular.

Uma célula é composta por uma ERB que emite sinais de rádio frequência em uma área geográfica. O formato e o tamanho das células podem variar, sendo a forma geométrica hexagonal o mais usual, pelas vantagens de projeto e gerência de sistema, embora não seja muito bem definido o formato das células. Cada ERB é responsável por atender uma determinada quantidade de usuários. Na medida em que cresce a demanda de alocação de canais em uma região ou grupo de células vizinhas, há uma tendência na diminuição da potência de transmissão e no aumento do número de estações base, gerando assim um acréscimo na capacidade sem necessidade de ampliar o espectro alocado. Isso é comum em regiões densamente ocupadas onde o volume de chamadas é maior do que em outras regiões.

Cada célula com sua ERB é a essência do sistema celular. Usuários no sistema celular são chamados de estação móvel (EM), e através das células podem realizar ligações para telefones fixos ou para uma outra EM diretamente comunicando-se com a Central de Comutação e Controle (CCC). Uma CCC é responsável por interligar e gerenciar a infraestrutura móvel com a fixa, constituindo uma central telefônica digital. Para um dado conjunto de células pertencente a um mesmo grupo de células vizinhas existe uma CCC.

Entre os componentes da rede celular pode-se incluir a rede de telefonia pública comutada (RTPC), pela sua interligação estreita com a rede de telefonia celular. Através da CCC e RTPC os usuários podem se comunicar entre si estando em qualquer lugar da área de cobertura, sendo que essa comunicação pode ser entre usuários móveis ou entre usuários móveis e fixos.

A Figura 2.3 representa a rede celular interligada com a RTPC.

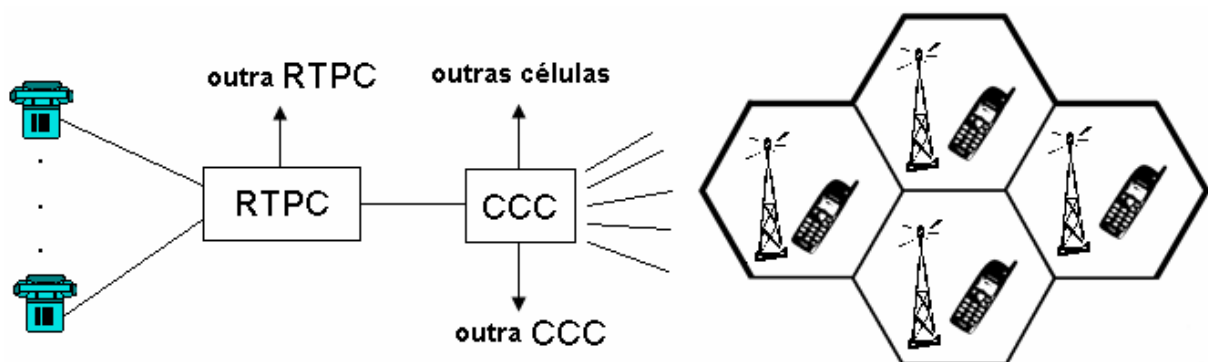


Figura 2.3: Rede celular e interligação à RTPC.

A Tabela 2.1 mostra os principais elementos do sistema convencional e celular.

Tabela 2.1: Principais elementos do sistema convencional e de uma rede celular.

<u>SISTEMA CONVENCIONAL</u>	<u>SISTEMA CELULAR</u>
- baixa densidade de usuários	- alta densidade de usuários
- não reutilizam frequência	- fazem reuso de frequências
- alta potência de transmissão	- baixa potência de transmissão
- antenas elevadas	- antenas pouco elevadas
- grande área de cobertura	- cobertura dividida em células
- sem expansão modular	- expansão modular

2.1 Elementos Básicos de um Sistema Celular

Os três elementos principais em uma rede celular são:

- ERB (Estação Rádio Base);
- EM (Estação Móvel);
- CCC (Centro de Comutação e Controle).

2.1.1 Estação Rádio Base (ERB)

A realização das chamadas originadas ou destinadas dos usuários localizados em cada uma das células é de responsabilidade das ERBs, conectando os usuários com o restante do sistema, através de ligações fixas ou sem fio, com a Central de Comutação e Controle. Consiste de dois subsistemas básicos: rádio frequência (RF) e controle. O subsistema de RF engloba todo o conjunto de transmissão e recepção, além de torres e antenas. Já o subsistema de controle é uma unidade com microprocessador, responsável pelo controle, monitoração e supervisão das chamadas (GUPTA; VISWANATHAN; MUAMMAR, 1985).

A alocação e realocação de canais às estações móveis também são feitas pela ERB. Além disso, a ERB monitora os níveis de sinal das estações móveis para verificar a

necessidade de *handoff*, que é um processo de troca de frequência da portadora alocada na chamada, conforme a mudança da região de cobertura de uma ERB para outra (YACOUN, 1993) (HENN; KERBY; RUSSELL, 1990).

2.1.2 Estação Móvel (EM)

A EM, constitui basicamente de um transceptor portátil para voz ou dados, responsável pela comunicação móvel com as ERBs para os diferentes canais alocados. Opera em modo *full-duplex*, possuindo canais entre EM e ERBs e entre ERBs e EM, chamados respectivamente de enlace reverso e enlace direto (YACOUN, 1993) (GUPTA; VISWANATHAN; MUAMMAR, 1985) (SPIRITO, 2001).

Alguns exemplos de mensagens de controle trocadas entre móvel e base são:

- Pedido do móvel para acessar um canal e efetuar uma chamada;
- Registros do móvel na área de serviço atual (outra CCC);
- Mensagem de alocação de canal para móvel, oriunda da estação base;
- Mensagem de *handoff* oriunda da estação base, para que o móvel sintonize outro canal.

A Figura 2.4 representa a comunicação entre a EM e ERB.

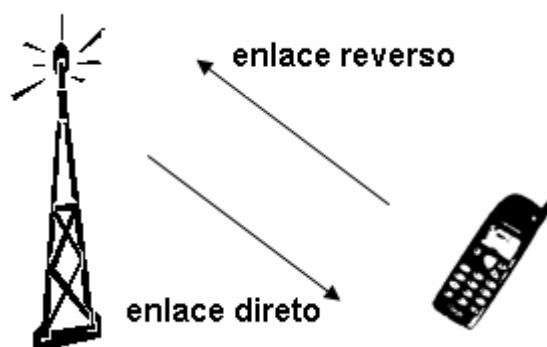


Figura 2.4: Comunicação entre EM e ERB.

2.1.3 Centro de Comutação e Controle (CCC)

O CCC é o centro de comutação e controle celular, que interliga um conjunto de células. Também provê interligação com a RTPC. Entre as funções desempenhadas por um CCC estão: gerência/controle dos equipamentos da base e de conexões, suporte a múltiplas tecnologias de acesso, interligação com a RTPC, registros de assinantes locais, registros de assinantes visitantes, conexões entre sistemas, funções de processamento de chamadas e funções necessárias à tarifação.

Um CCC pode ser responsável por um número de células de pequeno ou grande porte, que pode variar de uma área metropolitana ou um grupo de pequenas cidades vizinhas.

2.2 *Cluster* e Reuso de Frequência

Um conjunto de células vizinhas utilizando todo o espectro disponível tem o nome de *cluster*.

Um *cluster* formado por sete células é mostrado na Figura 2.5.

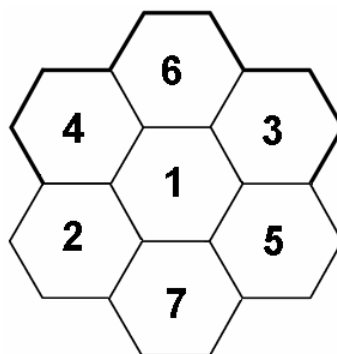


Figura 2.5: *Cluster* formado por sete células.

Sistemas celulares utilizam técnicas inteligentes de reuso de frequência para alocar e reutilizar os canais, obtendo o uso eficiente do espectro. Cada ERB é responsável por um grupo de canais de rádio, com cobertura de sinal em uma área geográfica relativamente pequena. Para que não haja interferência entre as células *adjacentes* são escolhidos grupos de

canais diferentes entre elas. Um mesmo grupo de canais pode ser empregado em outras células desde que estejam separadas a uma distância suficientemente satisfatória para não haver interferência. Dessa forma, usuários em diferentes áreas geográficas podem usar um mesmo canal simultaneamente.

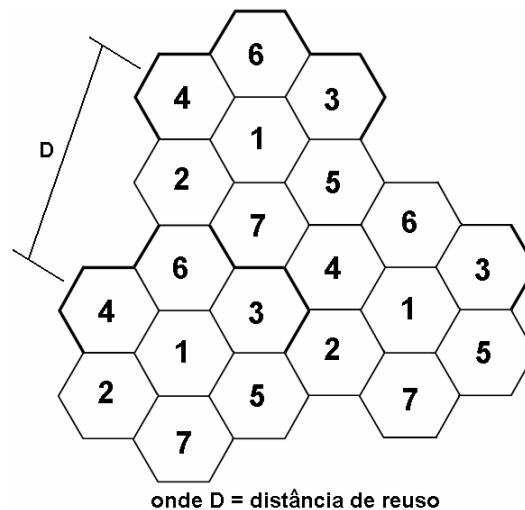


Figura 2.6: Reuso de frequência entre os *clusters*.

A Figura 2.6 mostra o reuso de frequência, onde células com o mesmo número utilizam os mesmos grupos de canais. Nessa figura, D é a distância de reuso *co-canal*, que separa duas células pertencentes a *clusters adjacentes* que utilizam o mesmo conjunto de frequências.

2.3 Interferência

A interferência é o problema que mais afeta o desempenho do sistema celular. Algumas das principais interferências são: outro móvel na mesma célula, uma chamada em andamento em uma célula vizinha, outras estações base operando na faixa de frequência ou algum sistema não-celular que cause interferência ao sistema celular. Interferências podem causar erros na sinalização digital que gera perda e bloqueio de chamadas. Os dois principais tipos de interferência gerada no próprio sistema celular são a interferência *co-canal* e a interferência de *canal adjacente*.

Interferência *co-canal* ocorre em células que utilizam um mesmo conjunto de frequências e com o reuso de frequência dependendo da distância entre as células *co-canais* vizinhas, pode ocorrer interferência. Uma maneira de evitar esse problema é calcular uma distância mínima, de forma a garantir um isolamento adequado entre elas.

Interferência *canal adjacente* acontece em sinais que estão numa faixa de frequência *adjacente* a faixa do sinal desejado. Por motivo de imperfeições no filtro do receptor, frequências em faixas próximas da faixa desejada são captadas. Esse problema recebe o nome de efeito *perto-distante*, onde um transmissor próximo (podendo inclusive não fazer parte do sistema celular) causa forte interferência de canal *adjacente* em outro receptor. Geralmente esse problema surge se um usuário em um canal *adjacente* estiver transmitindo muito próximo ao receptor de um outro usuário, enquanto o receptor deste último tenta receber sinal de uma estação base no canal desejado. De outra maneira, o efeito *perto-distante* também ocorre quando um móvel próximo a estação base, transmite em um canal próximo ao canal que está sendo usado por um outro móvel, cujo sinal está fraco (podendo ser um móvel que esteja mais distante da estação base em questão). Neste caso, a estação base pode ter dificuldade em discriminar o usuário cujo sinal está mais fraco.

Uma alternativa para minimizar o problema da interferência de canal *adjacente* é através da filtragem adequada e uma correta alocação de canais entre células. Em cada célula é alocado apenas uma parte dos canais disponíveis, dessa forma, deve-se evitar a alocação, para uma mesma célula, de canais que são *adjacentes* em frequência. A alocação de canais na célula deve ser o mais afastado possível em frequência, assim a interferência de canal *adjacente* pode ser consideravelmente reduzida. De acordo com o tamanho do *cluster* é possível criar vários esquemas de alocação de canal entre as células de forma a maximizar a separação entre canais em uma mesma célula. Uma outra fonte de interferência de canal *adjacente* que também se deve prevenir é o uso de canais *adjacentes* em células vizinhas.

2.4 Handoff e Roaming

O termo *handoff* é usado quando existe a transferência automática de uma chamada para um novo canal pertencente à uma nova estação base. Isso acontece quando um móvel em uma conversação se desloca entre células (GUPTA; VISWANATHAN; MUAMMAR, 1985)

(BROWN; GOPALAKRISHNAN; SINGH, 1997). Geralmente é causado ou pela degradação do sinal ou é iniciado pelo próprio sistema, que reorganiza os canais para evitar congestionamento. O processamento de *handoff* pode ser intracelular (troca de canal na mesma célula) ou intercelular (troca de canal em uma nova célula). Quando uma ligação está em curso e o sinal fica com baixa qualidade causado pela movimentação da EM ou pelas mudanças no ambiente, o processamento de *handoff* é executado. Se a movimentação da EM 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. Caso nesta célula *adjacente* não houver canais disponíveis para atender ao *handoff*, a chamada sofrerá uma terminação forçada (MELLO, 2002).

No sistema celular é dada muita atenção para o procedimento de *handoff*, muitas vezes priorizados em relação a pedidos de atendimento de novas chamadas.

Os sistemas celulares devem ficar atentos para não realizar *handoff* sem necessidade. As vezes a queda no nível de sinal medido é gerada por um desvanecimento momentâneo e não por um afastamento da EM em relação a estação base que serve o sinal. Para combater esse problema a ERB monitora o nível de sinal por um certo tempo antes do *handoff* ser iniciado, especificando um nível ótimo de sinal que iniciará o processo de *handoff* (GUPTA; VISWANATHAN; MUAMMAR, 1985).

Diferente do *handoff*, o procedimento de *roaming* ocorre quando uma EM ultrapassa a área de cobertura de sua operadora e continua a funcionar como visitante na área de cobertura de outra operadora. Essa mudança pode ser automática ou feita pela operadora (WILLIAM, 1995) (SHENOY; MONTALVO, 2005).

A Figura 2.7 ilustra um sistema móvel celular, com o procedimento de *handoff* e *roaming*.

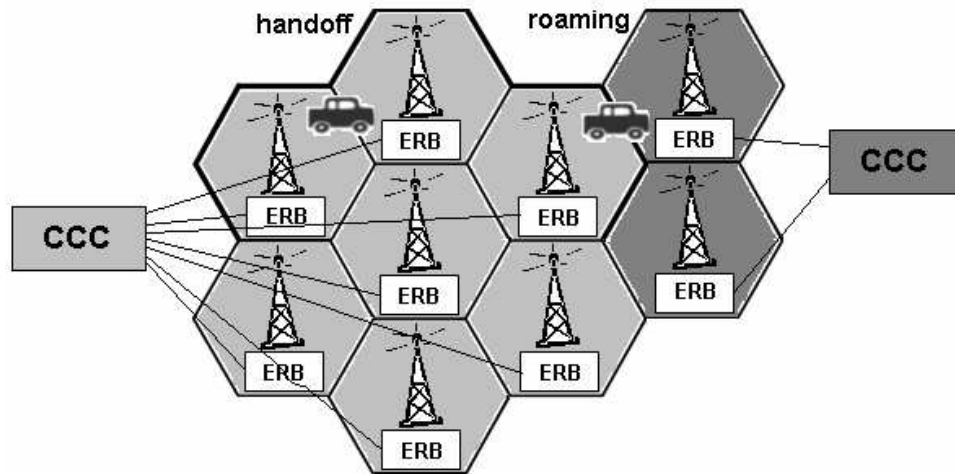


Figura 2.7: Sistema móvel celular: *handoff* e *roaming*.

2.5 Alocação de Canais

O rápido crescimento dos usuários da telefonia celular trouxe a necessidade de um reuso eficiente do escasso espectro de frequência 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 ERBs necessárias para servir uma dada área é um fator dominante. Um dos recursos para tentar elevar a capacidade do sistema, é empregar técnicas de alocação de canais. São apresentados três tipos distintos de alocação de canais:

- Alocação Fixa de Canais (AFC);
- Alocação Dinâmica de Canais (ADC);
- Alocação Híbrida de Canais (AHC).

2.5.1 Alocação Fixa de Canais (AFC)

Na alocação fixa de canais (AFC), um certo número de canais é designado a cada célula, para seu uso exclusivo. Se o sistema é dimensionado para tráfego uniforme, a quantidade de canais que cada célula recebe pode ser calculado dividindo o número total de

canais pelo tamanho do *cluster*. Se na área geográfica, onde foi particionada as células, a condição de tráfego e a distribuição dos usuários for de muita variação, o esquema de AFC se torna ineficiente. Essa distribuição uniforme de canais é eficiente se a distribuição do tráfego no sistema também for uniforme. Como o tráfego nos sistemas celulares pode não ser 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 outras pode haver canais disponíveis, resultando em uma sub-utilização dos recursos da rede. Para tentar solucionar esse problema são usadas técnicas de alocação não uniforme de canais, onde o número de canais designado para cada célula, depende do perfil de tráfego esperado. Assim, células com um tráfego maior, possuem mais canais de que células com um tráfego menor (MELLO, 2002) (MIRCHANDANI; XU, 1993).

A técnica AFC necessita de planejamento de frequência e canais, necessidade de previsão de tráfego gerado, dificuldade em expansões e modificações, entre outras. Na Figura 2.8, cada célula do *cluster* possui um conjunto distinto de canais, sendo estes conjuntos designados pelas letras A, B, C, D E, F, G.

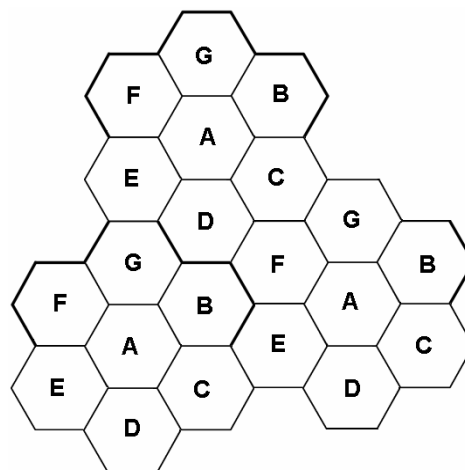


Figura 2.8: Alocação fixa de canais.

2.5.2 Alocação Dinâmica de Canais (ADC)

A técnica ADC tenta minimizar os problemas da AFC. Sua principal característica é não possuir canais fixos designados às ERBs. Seu princípio básico é permitir que os canais

possam ser compartilhados entre várias células de forma coordenada e automática (FONSECA, 1999) (SHINODA; YACIOUB, 1999).

A Figura 2.9 mostra 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 os canais são alocados dinamicamente às células, retornando a esta entidade ao término da chamada. Na alocação dinâmica de canais, um canal pode ser utilizado em qualquer célula, desde que as condições de interferência sejam satisfeitas. Geralmente, como mais de um canal está disponível para ser utilizado, existe a necessidade de se empregar estratégias na escolha deste canal.

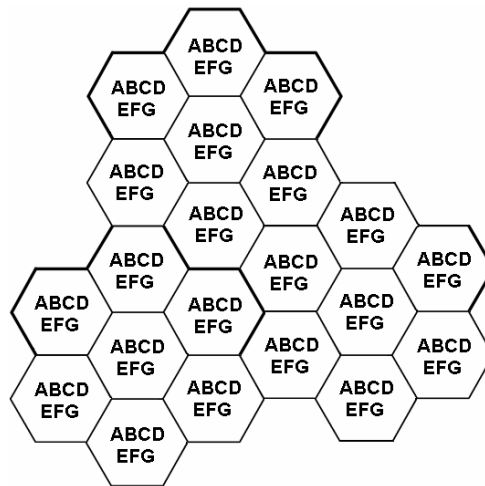


Figura 2.9: Alocação dinâmica de canal.

2.5.3 Alocação Híbrida de Canais (AHC)

A técnica de alocação híbrida de canais é formada por um misto das técnicas de alocação fixa e dinâmica, podendo proporcionar ao sistema estabilidade e flexibilidade. Na alocação híbrida, os canais podem ser alocados de forma fixa ou dinâmica, pois as células são formadas por um conjunto de canais fixos e um outro conjunto de canais dinâmicos.

No atendimento da demanda de tráfego os primeiros canais a serem alocados são os canais fixos, e para eles é empregada a técnica de alocação fixa. No momento em que os

canais fixos estão ocupados, inicia-se a alocação dos canais dinâmicos, empregando a técnica de alocação dinâmica.

A alocação híbrida surge para tentar solucionar problemas relacionados as técnicas de alocação fixa e dinâmica, aumentando o desempenho do sistema para determinadas condições (MELLO, 2002) (KASSOTAKIS; MARKAKI; VASILAKOS, 2000).

Capítulo 3

Conceitos do Algoritmo Genético

Os algoritmos genéticos constituem em uma área de pesquisa da inteligência artificial inspirada na teoria da evolução natural e na genética. São utilizados em tarefas que envolvam buscas e otimização (REZENDE, 2003).

Na natureza, em uma população de indivíduos, quando surgem problemas no ambiente em que vivem, sejam por falta de alimento, espaço ou outro recurso essencial para a sobrevivência, sobrevivem os indivíduos que melhor se adaptarem as novas condições, enquanto os mais fracos são descartados e extintos do meio. Este processo ocorre pelo fato de alguns seres possuírem características mais acentuadas indispensáveis para a sobrevivência do que as de outros seres da população. É provável que descendentes herdem essas características, e assim terão grandes chances de sobrevivência (SOARES, 1997).

A história da genética iniciou-se em meados do século XIX com os estudos de Linnaeus, que pesquisou sobre classificação biológica. Em 1858, Charles Darwin apresenta a sua teoria da evolução por meio da seleção natural. Por volta de 1900, são apresentados os trabalhos de Gregor Mendel sobre herança genética. O princípio mais relevante destes estudos considera que a variabilidade entre indivíduos em uma população de organismos que se reproduzem sexualmente é produzida pela mutação e pela recombinação.

Partindo desse pressuposto, os algoritmos genéticos se baseiam no conceito de hereditariedade em que, em uma dada população, indivíduos com uma boa característica

genética possuem maiores chances de sobrevivência e de produzirem descendentes cada vez mais aptos.

Do ponto de vista matemático, as tarefas de busca e otimização consistem em identificar a melhor solução do problema. Geralmente em tais buscas, há uma infinidade de possíveis soluções, o que tem levado os pesquisadores a testar diferentes abordagens. Um dos enfoques que tem merecido destaque neste sentido é a técnica denominada algoritmo genético. Baseado nas idéias da teoria evolutiva, objetiva-se, através dela, encontrar a melhor solução no menor tempo possível.

Em um processo fundamentado pela genética, o indivíduo pai vai gerando outros indivíduos com melhor carga genética, mais apta. Fazendo analogias com tais conceitos, cientistas constituíram as bases computacionais para este enfoque. Neste caso, a busca é feita através de um processo iterativo de geração de populações a partir dos “melhores” ascendentes. Este processo se repete até que seja atingido um critério de parada (REZENDE, 2003) (ZOMAYA; WRIGHT, 2002).

Na década de setenta John Holland, pesquisador da Universidade de Michigan, procurou implementar algo semelhante para sistemas artificiais. Foi descrito um problema em forma de uma função matemática, em que os indivíduos mais fortes receberam valores maiores da função. Cada indivíduo representa uma possível solução. É verificado a potencialidade de cada um em relação a população, tentando selecionar os melhores para a recombinação. Logo após a recombinação, cada indivíduo estará sujeito a um processo de mutação (SOARES, 1997) (PATRA; ROY; BANERJEE; VIDYARTHA, 2006).

3.1 Algoritmo Genético Básico

Na literatura encontram-se vários tipos de algoritmos genéticos, mas todos preservam a mesma estrutura algorítmica.

O Algoritmo Genético Básico, “Basic Genetic Algorithm” (AGB), foi uns dos primeiros implementados.

O AGB trabalha com um número de indivíduos fixos, mesmo em várias gerações, onde cada indivíduo representa uma possível solução para o problema. A população pode ser formada por indivíduos constituídos de valores binários que são gerados de forma aleatória.

Após estudar o problema a ser otimizado, deve-se definir a forma que o indivíduo será representado, como será a avaliação da função objetivo, com quantos indivíduos formará a população e as probabilidades de aplicações dos operadores genéticos.

Em seguida gera-se a população inicial com indivíduos de tamanho pré-definido. Com a função objetivo é calculado o valor de aptidão de cada indivíduo e assim tem-se o desempenho de cada um.

De acordo com as soluções encontradas é verificado se o objetivo foi alcançado.

Se o ponto ótimo do problema não for alcançado, a população passa pelo processo de seleção e define-se os indivíduos que passarão para a fase de recombinação e os que serão descartados.

Nos candidatos selecionados atuam os operadores genéticos, recombinação e mutação. A população é substituída pelos novos indivíduos, terminando assim uma geração. Estes processos são repetidos até que um critério de parada seja atendido (SOARES, 1997) (KHANBARY; VIDYARTHI, 2008).

A Figura 3.1 ilustra o fluxograma de funcionamento do AGB.

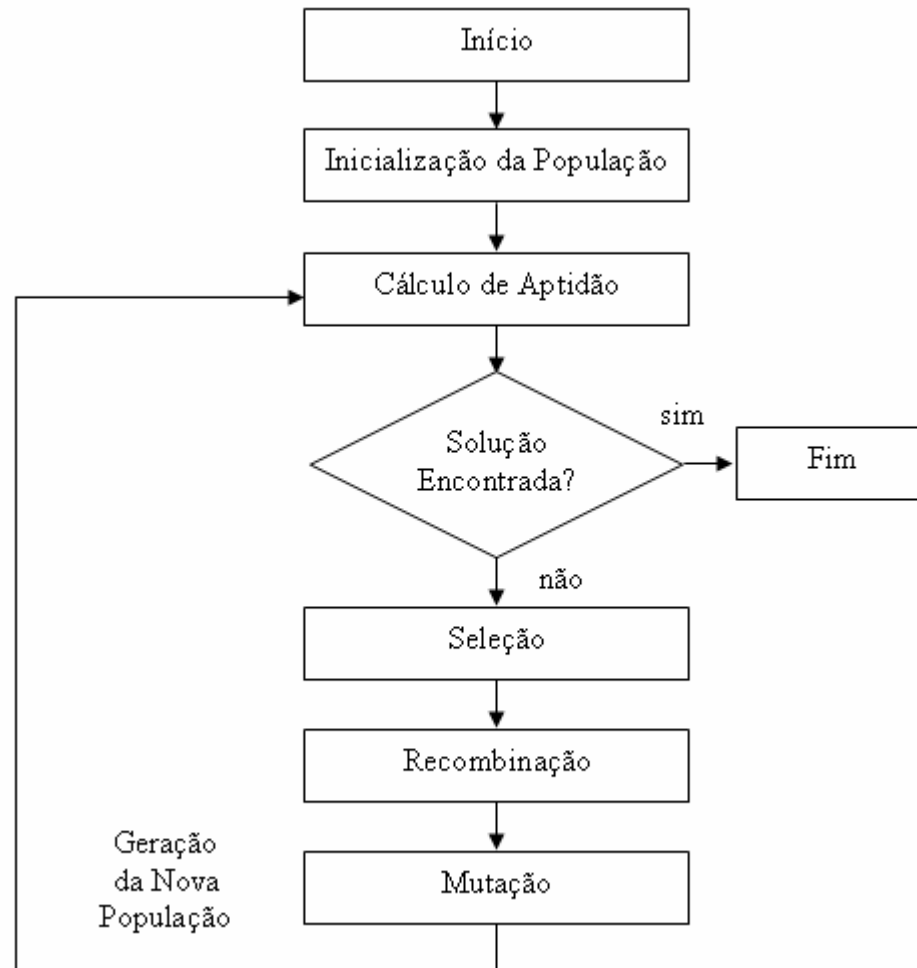


Figura 3.1: Fluxograma de funcionamento do AGB.

3.2 Funcionamento dos Algoritmos Genéticos (AGs)

3.2.1 Codificação e Parâmetros dos AGs

Nos sistemas artificiais, para que as configurações sejam avaliadas pela função objetivo, é necessário que a mesma esteja codificada numa estrutura cromossômica. A forma de implementar a codificação depende do problema a ser estudado.

Os problemas podem ser trabalhados com variáveis inteiras, binárias, ou reais.

Trabalhando-se com números binários em AG encontra-se maior facilidade na implementação dos operadores genéticos de recombinação e mutação.

Na codificação binária, surge um problema quando a aplicação precisa converter a base binária para decimal. O problema aumenta quando é necessário representar variáveis de valores reais na forma binária.

Os parâmetros em AG (tamanho da população), influenciam em seu comportamento. Uma população pequena possui amostragem insuficiente, podendo conduzir o algoritmo na direção de um mínimo local.

Em uma população grande o espaço de busca é maior, a perda da diversidade da população ocorrerá mais lentamente, assim os AGs conseguem explorar melhor a informação existente. Por outro lado a quantidade de tarefas por gerações do AG aumenta, podendo resultar em um tempo de processamento computacional não aceitável (SOARES, 1997) (GORDON; MATHIAS; WHITLEY, 1994).

3.2.2 Função Objetivo

Ao se modelar um problema, é necessário avaliar as variáveis envolvidas e como elas estão inter-relacionadas (MAN; TANG; KOWNG, 1999). É necessário um estudo aprofundado sobre o problema a ser otimizado, analisar variáveis e tudo que pode influenciar direta e indiretamente.

Para modelar matematicamente o problema e chegar na função objetivo, é fundamental ter experiência no assunto (SOARES, 1997) (MITCHELL, 1999).

Em problemas de otimização há sempre uma função a ser maximizada ou minimizada. Esta função retorna o desempenho de cada indivíduo, ou seja, sua aptidão. Verifica-se a qualidade das configurações, que após comparações tem-se as melhores, em seguida aplica-se o operador de seleção.

Quando se está modelando a função objetivo para AG, deve-se atentar para o fato de que esta técnica maximiza a função. Em problemas de minimização, é necessário ter uma função equivalente, assim o problema é corrigido e os resultados podem ser comparados, e em seguida aplica-se o operador de seleção. Mas existem alguns métodos de seleção que não necessitam de uma função equivalente, a técnica de seleção por torneio trabalha normalmente com problemas de minimização, sem necessidade de transformação ou padronização dos resultados da função objetivo. Questões referentes a valores negativos da função também devem ser considerados (MAN; TANG; KOWNG, 1999) (DAS; SEN, 1997).

3.2.3 Método de Seleção

Este operador serve para selecionar os indivíduos que serão utilizados no processo de mutação e recombinação, sendo que seus descendentes farão parte da próxima geração. Há duas formas principais de se realizar a seleção: o método da roleta e o método do torneio, entre outras.

No método da roleta, os indivíduos de uma geração são selecionados utilizando-se o conceito de roleta (dos jogos de azar). Neste caso, cada indivíduo da população tem, na roleta, uma partição proporcional ao seu índice de aptidão. Indivíduos com maior aptidão são contemplados com uma maior fatia na roleta.

Para se selecionar um indivíduo, a roleta é girada um determinado número de vezes, dependendo do tamanho da população. A cada giro, o indivíduo selecionado é colocado na população intermediária, onde serão combinados e podem sofrer mutações.

A Figura 3.2, representa a roleta usada neste método de seleção.

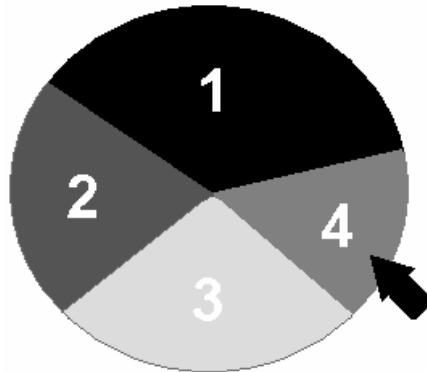


Figura 3.2: Modelo da roleta.

No método do torneio, escolhe-se n elementos da população de modo aleatório. O mais apto dentre estes elementos é encaminhado para a população intermediária. Geralmente utiliza-se $n=3$. Tal procedimento é executado até que a população intermediária seja completa (MAN; TANG; KOWNG, 1999) (MICHALEWICZ, 1994).

3.2.4 Método de Recombinação

A recombinação é a principal responsável pela troca de operador genético que atua nos indivíduos selecionados, contribui para que novas e melhores gerações apareçam e que a solução do problema seja encontrada.

Após o método de seleção, os indivíduos são separados em pares e a recombinação é realizada. De forma aleatória, um ou dois pontos são gerados e a partir desse(s) ponto(s) são trocadas parcelas entre os indivíduos.

A Figura 3.3 ilustra a técnica.

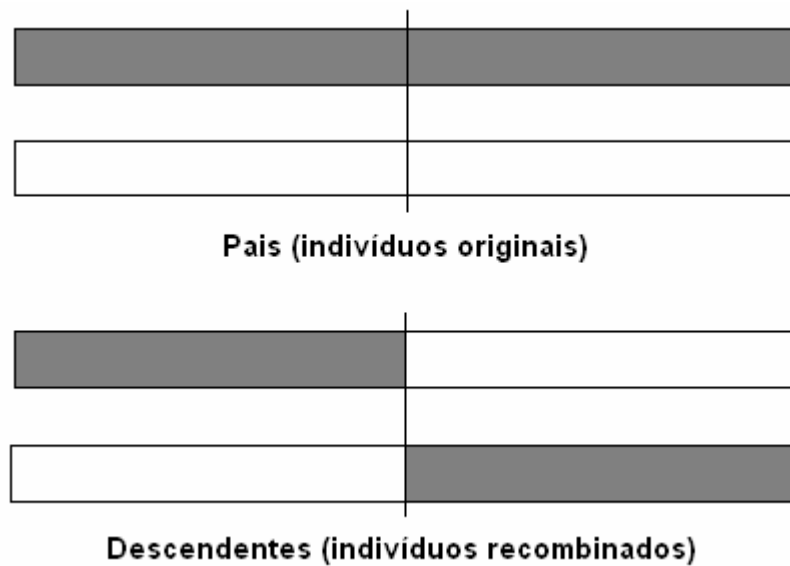


Figura 3.3: Recombinação com um ponto de corte entre um casal de indivíduos.

O ponto de corte é escolhido de forma aleatória para realizar a troca de material genético entre o par. A posição escolhida deve ser comum entre o par, mas não necessariamente deve ser igual para todos os pares selecionados. Uma variável, chamada de probabilidade de recombinação p_c , é utilizada para controlar a frequência de ocorrência da recombinação, que na prática tem um valor típico entre 60% e 100% (SOARES, 1997) (HOUCK; JOINES; KAY, 1995).

3.2.5 Operador de Mutação

A operação de mutação tem o objetivo de manter a diversidade genética da população, alterando aleatoriamente um ou mais componentes de uma estrutura escolhida. Se for encontrado o valor zero, este será substituído pelo valor um e vice e versa. É utilizada uma probabilidade de mutação, p_m , para cada alteração de posição da sequência. Tal probabilidade geralmente é menor que 1%. Deste modo, a mutação assegura que a possibilidade de se chegar a qualquer ponto do espaço de busca nunca será nulo.

A Figura 3.4 ilustra tal mecanismo.



Figura 3.4: Muta  o em uma posi  o do indivíduo.

Para popula  es iniciais pequenas, utiliza-se taxas p_m altas. Inversamente, se a popula  o de indivíduos iniciais for grande, tais taxas devem ser menores. Isto porque se a taxa de recombina  o for alta, mais rapidamente novas estruturas são criadas. Se for exageradamente alta, estruturas com boas aptidões poderão ser retiradas. Se tal taxa for muito baixa, a busca pode estagnar.

Em rela  o   taxa de muta  o, se ela for baixa, a busca se restringir  a sub-regiões do espaço de busca. Com uma taxa alta, a busca se torna aleatória. Além disso, uma popula  o inicial pequena tem o agravante de apresentar amostras insuficientes para gerar indivíduos aptos. Por outro lado, uma popula  o inicial numerosa pode demandar tempo e processamento para atingir o ponto  timo (MAN; TANG; KOWNG, 1999) (GOLDBERG; DEB, 1991).

3.2.6 Critérios de Parada

Existem vários critérios de parada. Alguns dependem da evolu  o dos resultados do algoritmo e outros são definidos previamente (SOARES, 1997) (WANG; ARUNKUMAR; GU, 2002).

Alguns dos critérios mais utilizados para terminar um algoritmo são:

1. executar um número pré-determinado de gerações;
2. quando a melhor solução encontrada no problema assume um valor no mínimo equivalente a um valor previamente especificado;
3. quando a incumbente não melhora durante um número especificado de iterações;
4. quando as configurações da população perdem a diversidade, se tornando muito parecidas umas com as outras, não evoluindo.

3.3 Algoritmo Genético Paralelo

Os sistemas distribuídos são utilizados como alternativa para solucionar os problemas computacionais, relacionados com tempo de resposta, simulações e outras tarefas que exigem processamento intensivo.

Para desenvolver um sistema distribuído é necessário um ambiente de computação distribuída. Um dos tipos de computação distribuída utilizada é a computação distribuída através de *cluster*. *Cluster* é um conjunto de computadores interligados por uma rede local (*Local Area Network* - LAN), que pode distribuir tarefas pela criação e uso de aplicações paralelas, com biblioteca de troca de mensagem, tal como: Interface de Troca de Mensagem (*Message Passing Interface* - MPI).

Para trabalhar com AG paralelo, pode-se utilizar vários processos que são alocados em processadores distintos e precisam se comunicar através da troca de mensagens. Neste caso é necessário um método para realizar esta tarefa. A Interface de Troca de Mensagem (*Message Passing Interface* - MPI) provê o meio de transferir os dados entre os processos (CENAPAD, 2001) (KAMIADAKIS; KIRBY II, 2003).

Portanto, quando se utiliza o processamento paralelo em tarefas computacionalmente complexas, há a troca de informações entre diferentes processadores. O MPI constitui um meio de se transferir tais informações entre os processos, pois, possui mais de cento e vinte procedimentos e funções onde seis são suficientes para resolver a maioria dos problemas atuais.

Na realidade, o MPI contém especificações de bibliotecas de comunicação que podem ser utilizadas para escrever programas portáteis e heterogêneos para situações de processamento paralelo. Uma das características presentes no MPI é a portabilidade, o que possibilita a execução de arquivos binários diferentes e de modo paralelo. Em um procedimento de troca de mensagem é necessário um método de comunicação baseado no envio e recebimento de mensagens, através de uma rede de computadores seguindo regras de protocolo de comunicação, entre diferentes processadores que possuem memória própria. As informações são enviadas da memória local do processo para a memória local do processo remoto (REBONATO, 2004).

Assim, para melhorar o desempenho computacional dos algoritmos genéticos em problemas complexos, pode-se utilizar o processamento paralelo. Suas próprias características sugerem sua aderência ao enfoque paralelo, ou seja, sua implementação na arquitetura paralela é relativamente simples. As técnicas de paralelização do algoritmo genético podem ser subdivididas em global e migração.

3.3.1 AG Global

Neste tipo de estrutura paralela, os processos podem ser executados em um computador com múltiplos processadores e memória compartilhada ou em um computador com memória distribuída. No primeiro caso, os indivíduos são armazenados na memória compartilhada, e cada processo acessa e devolve o cálculo de aptidão de cada indivíduo. Na outra situação, há uma divisão das tarefas entre os processadores. É baseado na arquitetura mestre/escravo. Há um processador principal (mestre), que selecionam os indivíduos e os enviam para processadores secundários (escravos). Estes por sua vez realizam a recombinação, mutação e avaliam a aptidão dos indivíduos. Uma desvantagem deste método é

que os processadores secundários (escravos) ficam ociosos enquanto o processador principal (mestre) executa sua tarefa (GOLDBERG, 1989) (HIROYASU; MIKI; WATANABE, 2000).

A Figura 3.5 descreve o AG global com memória distribuída.

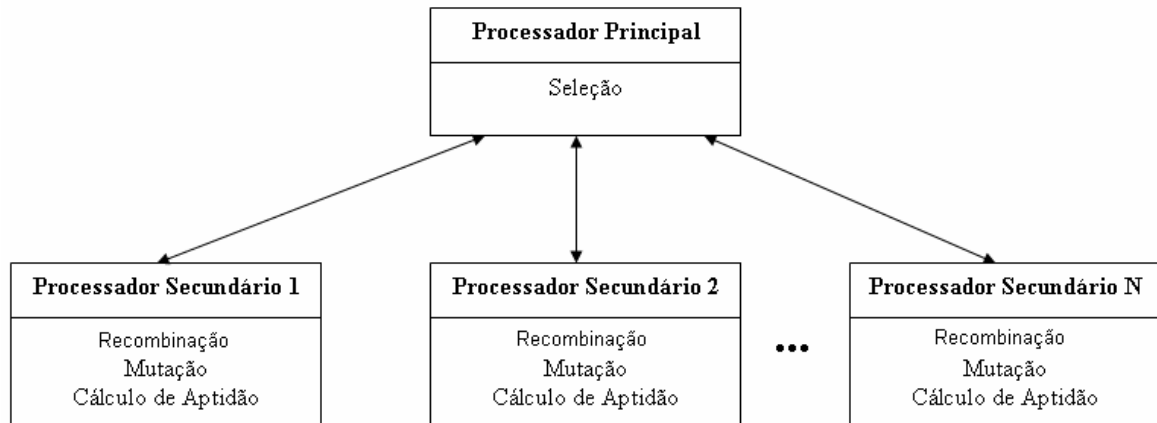


Figura 3.5: AG global de memória distribuída.

3.3.2 AG Migração

Neste tipo de paralelização, a população é dividida em subpopulações, que são unidades separadas de procriação. Assim, os melhores indivíduos de cada subpopulação, em um determinado intervalo de tempo, migram para outras subpopulações, com o intuito de manter a heterogeneidade (CANTU-PAZ, 1999). Um pseudo-código é mostrado na Figura 3.6.

```

Em cada nódo (AG):

enquanto não terminado faça
  //sequencial:
  seleção;
  recombinação;
  cálculo de aptidão;

  //paralelo:
  enviar emigrantes;
  receber emigrantes;

fim enquanto;
  
```

Figura 3.6: Pseudo-código do AG migração.

Dentre as formas de se estruturar as subpopulações, destacam-se a estrutura em anel, a vizinhança e a irrestrita. Na topologia em anel, os indivíduos mais aptos migram para subpopulações adjacentes e de modo unidirecional. Já no modo da vizinhança, as migrações são feitas entre subpopulações adjacentes, mas de modo bidirecional. Na migração irrestrita, uma subpopulação pode migrar para qualquer outra subpopulação.

Dois fatores devem ser observados ao se paralelizar os algoritmos genéticos via migração: a taxa de migração e o intervalo de migração.

A Figura 3.7 mostra a topologia de migração em anel ou unidirecional.

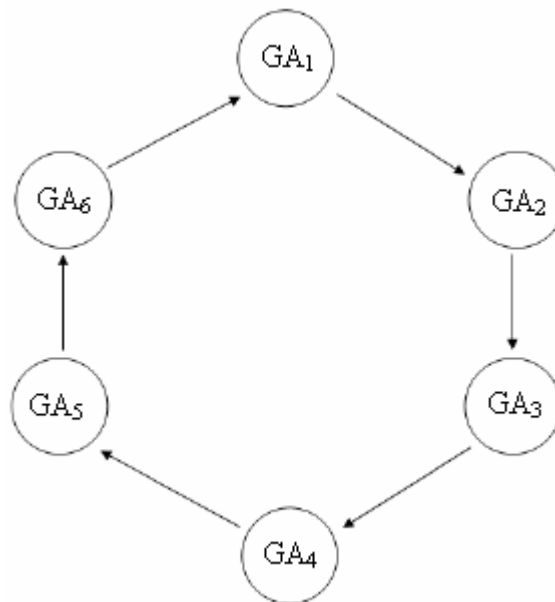


Figura 3.7: Topologia de migração em anel ou unidirecional.

A Figura 3.8 ilustra a topologia de migração da vizinhança ou bidirecional.

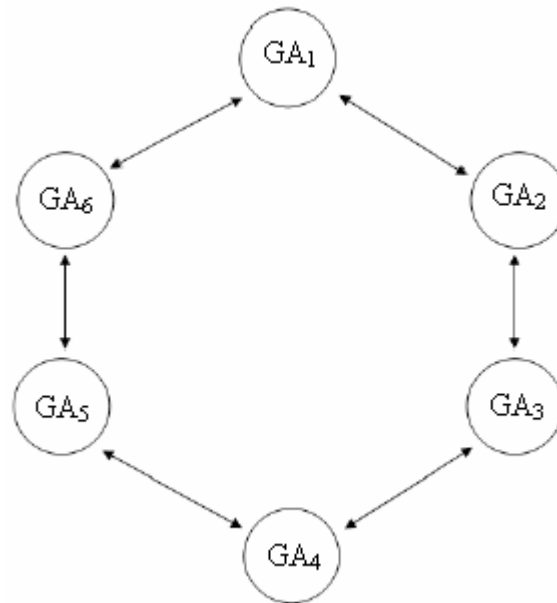


Figura 3.8: Topologia de migração da vizinhança ou bidirecional.

A Figura 3.9 descreve a topologia de migração irrestrita ou multidirecional.

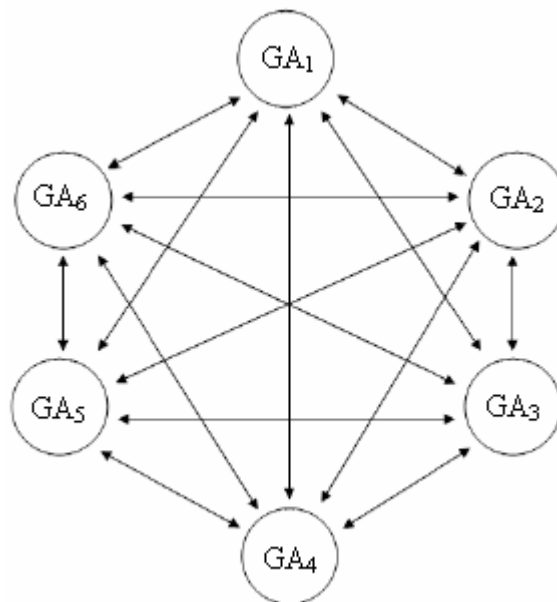


Figura 3.9: Topologia de migração irrestrita ou multidirecional.

Capítulo 4

Modelamento da Alocação de Canal em AG

4.1 Análise do Problema de Alocação de Canal

O problema consiste em alocar canais entre as células sem que haja interferência de compatibilidade eletromagnética ou em outra abordagem que respeite a mínima relação sinal interferência (SIR), satisfazendo a demanda de tráfego e otimizando o uso de canais. Para representar a rede celular, foi criada uma matriz F $n \times m$ onde as linhas representam a quantidade de células na região e as colunas o número total de canais disponíveis. Os elementos da matriz são constituídos por 0's ou 1's de acordo com a demanda de cada célula, onde 1 significa que o canal m está alocado na célula n , respeitando um espaçamento de frequência.

A Tabela 4.1 representa a configuração de uma rede celular, onde cada indivíduo é uma matriz F binária com células e canais alocados (0 indica canal não alocado e 1 indica canal alocado).

Tabela 4.1: Matriz binária da rede celular.

fij		Número do Canal						
		1	2	3	...			m
Número da Célula	1	0	0	1	...	0	0	1
	2	1	0	0	...	0	0	0
	⋮				⋮			
	⋮				⋮			
	n	0	0	0	...	1	0	0

Na abordagem da compatibilidade eletromagnética, o espaçamento entre os canais alocados é determinado por uma matriz denominada matriz de compatibilidade C de tamanho $n \times n$, sendo n igual ao número de células. Cada elemento $c_{ij} \geq 1$, representa a distância mínima de separação entre os canais das células i e j , isso para evitar interferências de frequência de canais adjacentes. Já os elementos $c_{ij} = 0$ representam as células livres para o reuso de frequência, ou seja, são as células co-canais (células que possuem grupos de canais em comum). A matriz de compatibilidade C é dividida em três tipos de interferência: interferência de célula adjacente (ICA), interferência *co-canal* (ICC) e interferência intra-celular (IIC).

A Tabela 4.2 ilustra a matriz de compatibilidade.

Tabela 4.2: Matriz de compatibilidade.

Cnn	C11	C12	C13	...	C1n
	C21	C22	C23	...	C2n
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	Cn1	Cn2	Cn3	...	Cnn
Cnn	2	2	2	...	0
	2	2	2	...	2
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	0	2	2	...	2

Na proposta mínima SIR o espaçamento entre os canais alocados é determinado por uma matriz denominada matriz relação sinal interferência S de tamanho $n \times m$, sendo n igual ao número de células na rede e m o número de canais, onde cada elemento s_{ij} fornece a SIR do canal j da célula i . Para calcular a matriz S é preciso ter a localização de cada ERB na rede e as coordenadas da localização dos usuários em cada célula.

A Tabela 4.3 ilustra uma matriz relação sinal interferência.

Tabela 4.3: SIR (dB)

s_{ij}		Canal				
		1	2	3	...	m
C é l u l a	1	7,2	—	12,8	...	—
	2	—	15,3	—	...	20,2
	⋮				⋮	
	⋮				⋮	
	n	15,4	—	12,3	...	32,3

Na seção 4.2.3 é exemplificado o cálculo da matriz relação sinal interferência.

A demanda de tráfego é composta por um vetor D de tamanho n , contendo em cada posição um valor maior ou igual a zero, informando a demanda de cada célula. O número de canais alocados em cada célula deve ser igual ao número contido em cada posição do vetor, respectivamente.

A Tabela 4.4 exemplifica o vetor de demanda de tráfego.

Tabela 4.4: Vetor de demanda.

D	d1	D	3
	d2		0
	⋮		⋮
	dn		1

Dado a matriz de compatibilidade C ou a matriz relação sinal interferência S e o vetor de demanda D , podemos representar a rede celular através de uma matriz binária F , formada por 0's e 1's, onde os valores iguais a 1 representam canais alocados. A quantidade de 1's em cada linha da matriz F é determinado por cada posição do vetor de demanda D , respectivamente.

Na abordagem da compatibilidade eletromagnética, entre os canais alocados deve existir um espaçamento, de tamanho determinado pela matriz de compatibilidade C . Esse espaçamento é representado na matriz F por valores seguidos de 0's, ou seja, entre os canais alocados na matriz F igual a 1 deve conter um espaçamento seguido de 0's idênticos dado pela matriz de compatibilidade.

Desta forma, pode-se chegar numa matriz F $n \times m$, representando uma rede celular sem conflito entre os canais alocados satisfazendo a compatibilidade eletromagnética ou a mínima SIR e a demanda de tráfego.

Em sistemas celulares de grande porte é possível obter resultados razoáveis aplicando técnicas de otimização, pois são problemas complexos e trabalham com um vasto espaço de busca para determinar uma solução de boa qualidade, o ponto ótimo.

Neste trabalho utilizou-se a técnica de otimização de algoritmo genético.

4.2 Algoritmo Genético para o Problema de Alocação de Canal

Nesta sub-seção é mostrado o funcionamento das principais etapas do algoritmo genético (AG) aplicado a alocação de canais em um sistema de telefonia celular, baseado no trabalho de Chiu e Victor (CHIU; VICTOR, 1998).

4.2.1 Codificação do Problema com Abordagem da Compatibilidade Eletromagnética

Neste problema aplica-se as técnicas de AG, gerando vários indivíduos, onde cada indivíduo é formado por uma matriz binária F $n \times m$, em que n é o número de células e m o número de canais das células. Assim, cada indivíduo representa uma configuração do sistema celular. Os valores iguais a 1 de cada indivíduo significa que o canal m da célula n está alocado e são distribuídos conforme o vetor de demanda D e espaçados conforme a matriz de compatibilidade C .

A população inicial é gerada de forma aleatória, onde a alocação dos canais para cada indivíduo é feita aleatoriamente.

Como exemplo, são geradas duas configurações diferentes representando dois indivíduos de uma determinada população, formados por quatro células e onze canais em cada célula. Desta forma a matriz de compatibilidade C é formada por quatro linhas e quatro colunas contendo em suas posições valores que determinam o espaçamento entre os canais das células. O vetor de demanda D é constituído por quatro posições, onde cada posição guarda o número de canais que deve ser alocado em sua respectiva célula.

Neste trabalho, a população inicial é gerada aleatoriamente, não se preocupando em atender ao espaçamento determinado pela matriz de compatibilidade C entre os canais de células adjacentes, mas somente entre os canais pertencentes a mesma célula. Ficando essa etapa para as técnicas de algoritmo genético.

A Figura 4.1 mostra a matriz de compatibilidade e a rede celular.

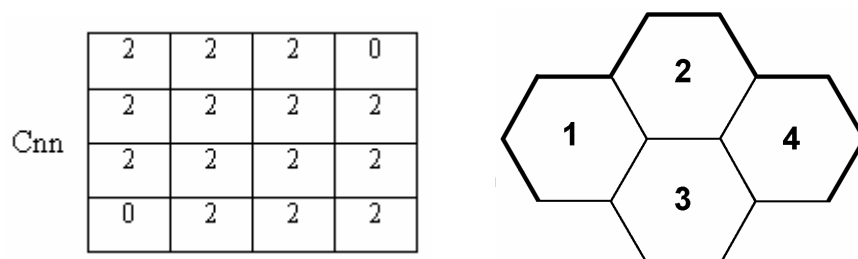


Figura 4.1: Matriz de compatibilidade C e rede celular.

A matriz de compatibilidade C acima é formada por valores 2 e 0, respectivamente. Um informa o espaçamento entre os canais das células, o outro são as células livres para o reuso de frequência, ou seja, células *co-canaís*. Isso significa que entre os canais alocados na matriz $F \times m$ deve haver pelo menos um canal livre entre eles que é representado pelo valor 0. Já nas células *co-canaís* este espaçamento não é necessário, pois pode-se aplicar o reuso de frequência.

Pode-se observar na Figura 4.1 que as células de número 1 e 4 da rede celular não são adjacentes, desta forma a matriz de compatibilidade atribui a essas células o valor 0, pois são células *co-canaís*.

Vê-se a ilustração da apresentação do vetor de demanda na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Vetor de demanda D .

D	1
	3
	1
	1

O vetor de demanda D possui quatro posições de acordo com o número de células dos indivíduos. Cada valor da posição informa o número de canal que deve ser alocado em sua respectiva célula. Caso a demanda seja maior que o suportado pela célula, somente aloca-se o permitido, sempre respeitando o espaçamento entre os canais.

Neste exemplo da Tabela 4.5, somente uma célula dos indivíduos da população terá três canais alocados, sendo que as outras células terão somente uma alocação. Assim ficando a primeira, a terceira e a quarta célula com 1 canal alocado aleatoriamente, e a segunda célula com 3 canais alocados de forma aleatória.

Vê-se a ilustração de duas configurações de indivíduos de uma determinada população na Tabela 4.6, Figura 4.2 e Tabela 4.7, Figura 4.3. Cada indivíduo modela uma configuração da rede celular.

Tabela 4.6: Indivíduo 1 - (configuração 1).

		Número do Canal										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
fij	Número da Célula	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
		3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

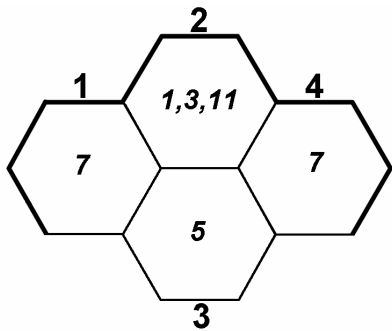


Figura 4.2: Rede celular com canais alocados (configuração 1).

Tabela 4.7: Indivíduo 2 - (configuração 2).

		Número do Canal										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
fij	Número da Célula	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
		3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

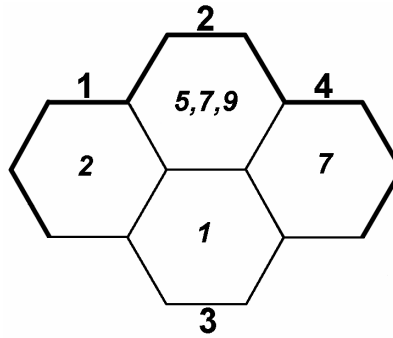


Figura 4.3: Rede celular com canais alocados (configuração 2).

De acordo com a matriz de compatibilidade C e o vetor de demanda D , ilustrou-se nas Tabelas 4.6 e 4.7, duas configurações de indivíduos de uma determinada população, e nas Figuras 4.2 e 4.3, a rede celular representando essas configurações. Para cada indivíduo os canais foram gerados aleatoriamente, e não se preocupou em atender ao espaçamento determinado pela matriz de compatibilidade C entre os canais de células adjacentes, mas somente entre os canais pertencentes a mesma célula. Ficando essa etapa para as técnicas de algoritmo genético.

4.2.2 Função Objetivo com Abordagem da Compatibilidade Eletromagnética

A função objetivo é aplicada em todos os indivíduos da população, retornando um valor maior ou igual a zero para cada indivíduo, onde o valor igual a zero indica que, de acordo com a matriz de compatibilidade e o vetor de demanda, foi obtida uma alocação sem conflito de canais entre as células, satisfazendo a compatibilidade eletromagnética e exigências da demanda de tráfego, otimizando a alocação de canais.

Os requisitos básicos de uma rede celular são a capacidade de prover o tráfego e operar com a mínima interferência possível. A primeira exigência impõe uma restrição de demanda sob a matriz F . Um total de d_i canais é requerido para a célula i . Isto implica que o número total de “uns” na linha i de F deve ser d_i . Matematicamente, isto significa que se a alocação da célula i violar a restrição de demanda, tem-se:

$$\left[\sum_{q=1}^m f_{iq} - d_i \right] \neq 0 \quad (1)$$

A segunda restrição é modelada por uma matriz de compatibilidade C . Essa matriz é composta por IIC, ICC e ICA. Para IIC, se o canal q está dentro da distância c_{ii} de um canal p já alocado na célula i ($|p-q| < c_{ii}$), então o canal q não deve ser alocado para a célula i . Matematicamente, isto significa que se a alocação do canal q na célula i viola a restrição IIC, tem-se:

$$\sum_{\substack{q=p-(c_{ii}-1) \\ q \neq p \\ 1 \leq q \leq m}}^{p+(c_{ii}-1)} f_{iq} > 0 \quad (2)$$

Para ICC e ICA, se o canal q na célula i está dentro da distância c_{ij} de um canal p já alocado na célula j , onde $c_{ij} > 0$ e $i \neq j$ ($|p-q| < c_{ij}$), então o canal q não deve ser assinalado para a célula i . Matematicamente, isto significa que se a alocação do canal q na célula i viola a restrição ICC ou ICA, tem-se:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i \\ c_{ij} > 0}}^n \sum_{\substack{q=p-(c_{ij}-1) \\ 1 \leq q \leq m}}^{p+(c_{ij}-1)} f_{iq} > 0 \quad (3)$$

Portanto, a seleção genérica da função objetivo pode ser expressa como (CHIU; VICTOR, 1998):

$$\begin{aligned}
 C(F) = & \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^m \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i \\ c_{ij} > 0}}^n \sum_{\substack{q=p-(c_{ij}-1) \\ 1 \leq q \leq m}}^{p+(c_{ij}-1)} f_{iq} \right) f_{jp} \\
 & + \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^m \left(\sum_{\substack{q=p-(c_{ii}-1) \\ q \neq p \\ 1 \leq q \leq m}}^{p+(c_{ii}-1)} f_{iq} \right) f_{ip} \\
 & + \sum_{i=1}^n \left(\sum_{q=1}^m f_{iq} - d_i \right)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Observe que $C(F)$ atinge o valor mínimo nulo quando todas as restrições são satisfeitas. Portanto, o problema é determinar F tal que $C(F)$ seja nulo.

4.2.3 Codificação com Abordagem da Mínima SIR

Nesta abordagem aplica-se as técnicas de AG, gerando vários indivíduos, onde cada indivíduo é formado por uma matriz binária F $n \times m$, em que n é o número de células e m o número de canais das células. Assim, cada indivíduo representa uma configuração do sistema celular. Os valores iguais a 1 de cada indivíduo significa que o canal m da célula n está alocado e são distribuídos conforme o vetor de demanda D , além disso as coordenadas da localização dos usuários na célula estão distribuídas uniformemente.

A população inicial é gerada de forma aleatória, onde a alocação dos canais para cada indivíduo é feita randomicamente. Como exemplo, considere uma rede celular constituída de n células. Sem perda de generalidade, assuma que os canais estejam igualmente espaçados no espectro de rádio frequência. Usando um mapeamento apropriado, canais podem ser representados como números inteiros positivos consecutivos.

A interferência ocorre quando a mesma frequência é empregada simultaneamente por dois ou mais usuários na rede. Nessa proposta estamos considerando as seguintes condições:

- Todas as células transmitem com a mesma potência;
- A perda de propagação é a mesma para todas as células;
- Todas as células com o mesmo tamanho.

A potência média recebida à uma distância R da ERB é $P_T R^{-p}$, onde P_T é a potência de transmissão da célula e p a perda de propagação. Assim a SIR do canal k alocado ao usuário da célula i é dada por (SCHWARTZ, 2006):

$$SIR_i(k) = \frac{P_T R^{-p}}{\Sigma P_{int}} \quad (5)$$

Onde:

$SIR_i(k)$ é a SIR do canal k da célula i .

R é a distância entre o usuário alocado no canal k e a ERB da célula i .

ΣP_{int} é a potência média recebida pelo usuário da célula i de todas as outras células que estão usando o canal k .

A Figura 4.4 exemplifica a localização das ERBs na rede celular e a coordenada da localização do usuário i na célula ERB1.

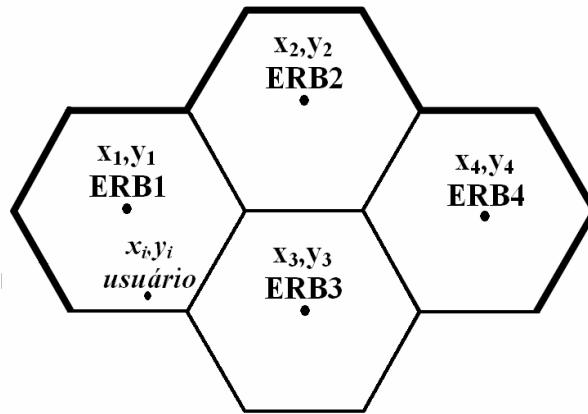


Figura 4.4: Usuário i na célula ERB1.

As coordenadas de localização dos usuários e das ERBs nas células são dadas por x e y . Assim a SIR do canal k alocado ao usuário da célula ERB1 é dada por:

$$SIR_i(k) = \frac{[\sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2}]^{-p}}{\sum_{n=2}^4 [\sqrt{(x_i - x_n)^2 + (y_i - y_n)^2}]^{-p}} \quad (6)$$

Onde

$SIR_i(k)$ é a SIR do canal k da célula ERB1.

x_i, y_i é a coordenada do usuário na célula ERB1, que está utilizando o canal k .

x_1, y_1 é a coordenada da célula ERB1.

x_n, y_n é a coordenada das outras ERBs utilizando o canal k .

$\sum_{n=2}^4$ é a interferência total entre as ERBs com usuários usando o mesmo canal.

p é a perda de propagação

Portanto os valores da SIR poder ser descritos por uma matriz $n \times m$, onde n é o número de células na rede e m o número de canais, denominada de matriz de relação sinal interferência S , onde cada elemento S_{ij} fornece a SIR do canal j da célula i . Para calcular a matriz S é preciso ter a localização de cada ERB na rede e as coordenadas da localização dos usuários em cada célula.

A demanda de tráfego pode ser expresso por um vetor D de n -elementos. Nesse vetor, cada elemento d_i representa o número de canais requisitados para a célula i .

A Tabela 4.8 ilustra o vetor de demanda.

Tabela 4.8: Vetor de demanda D .

D	1
	3
	2
	1

O vetor de demanda D possui quatro posições de acordo com o número de células dos indivíduos. Cada valor da posição informa o número de canal que deve ser alocado em sua respectiva célula. Caso a demanda seja maior que o suportado pela célula, somente aloca-se o permitido.

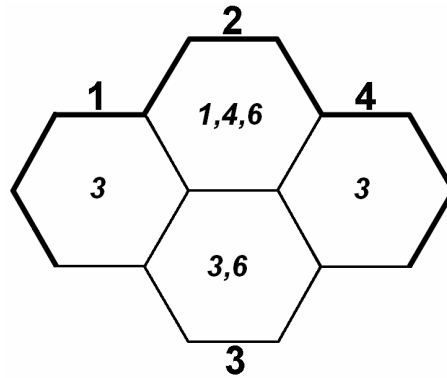
Neste exemplo da Tabela 4.8, a primeira e a quarta célula ficam somente com um canal alocado, a segunda célula com três e a terceira com dois. Os canais são alocados inicialmente, na população inicial, de acordo com a demanda de tráfego. O meio de distribuir esses canais entre as células e obter uma alocação sem conflito de canais, que satisfaça a mínima SIR e as exigências da demanda de tráfego, fica para o processo iterativo do algoritmo genético.

Em resumo, dada a matriz de relação sinal interferência de S e o vetor de demanda D , o esquema de alocação ótima de canal envolve a determinação do conjunto de canal requerido e o meio de distribuir esses canais entre as células satisfazendo a mínima SIR e a demanda de tráfego.

A Tabela 4.9 e a Figura 4.5 ilustram uma configuração de um indivíduo com $n=4$ células e $m=7$ canais de uma determinada população. O indivíduo modela uma configuração da rede celular, onde cada indivíduo é uma matriz F com células e canais alocados (0 indica canal não alocado e 1 indica canal alocado).

Tabela 4.9: Indivíduo - (configuração).

f_{ij}		1	2	3	4	5	6	7	Tráfego
célula	1	0	0	1	0	0	0	0	1
	2	1	0	0	1	0	1	0	3
	3	0	0	1	0	0	1	0	2
	4	0	0	1	0	0	0	0	1

**Figura 4.5:** Rede celular com canais alocados (configuração).

De acordo com as coordenadas da localização dos usuários na célula, que são geradas aleatoriamente, e o vetor de demanda $\mathbf{D}$, a Tabela 4.9 mostra uma configuração de um indivíduo de uma população inicial, e na Figura 4.5 a rede celular representado essa configuração. Após a formação da população inicial, o meio de distribuir esses canais entre as células e obter uma alocação sem conflito de canais, que satisfaça a mínima SIR, fica para o processo iterativo do algoritmo genético.

4.2.4 Função Objetivo com Abordagem da Mínima SIR

A função objetivo é aplicada em todos os indivíduos da população, retornando um valor maior ou igual a zero para cada indivíduo, onde o valor igual a zero indica que, de acordo com a matriz SIR e o vetor de demanda, foi obtida uma alocação sem conflito de

canais entre as células, satisfazendo a mínima SIR e exigências da demanda de tráfego, otimizando a alocação de canais.

Os requisitos básicos de uma rede celular são a capacidade de prover o tráfego e operar com um mínimo de qualidade. A primeira exigência impõe uma restrição de demanda sob a matriz F . Um total de d_i canais é requerido para a célula i . Isto implica que o número total de “uns” na linha i de F deve ser d_i . Matematicamente, isto significa que se a alocação da célula i violar a restrição de demanda, tem-se:

$$\left[\sum_{q=1}^m f_{iq} - d_i \right] \neq 0 \quad (7)$$

A segunda restrição é modelada por uma matriz de relação sinal interferência S . Se o canal k não estiver satisfazendo a mínima SIR ($SIR_i(k) < SIR_{min}$) então o canal k não deve ser alocado para a célula i . Matematicamente, isto significa que se a alocação do canal k na célula i viola a restrição de mínima SIR, tem-se:

$$\sum_{q=1}^m \text{sgn}[SIR_{min} - SIR_i(qf_{iq})] > 0 \quad (8)$$

$$\text{onde} \quad \text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$$

$$SIR_i(0) = SIR_{min}$$

Portanto, a seleção genérica da função de custo pode ser expressa como:

$$C(F) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{q=1}^m \text{sgn}[SIR_{min} - SIR_i(qf_{iq})] \right) + \sum_{i=1}^n \left(\sum_{q=1}^m f_{iq} - d_i \right) \quad (9)$$

Observe que $C(F)$ atinge o valor mínimo nulo quando todas as restrições são satisfeitas. Portanto, o problema é determinar F tal que $C(F)$ seja nulo.

4.2.5 Seleção

Neste problema foi aplicado o método de seleção da roleta. Cada configuração da população é representada na roleta por uma fatia proporcional à razão da função objetivo da configuração pela soma da função objetivo da população.

A roleta é acionada um determinado número de vezes, número este definido pelo tamanho da população. A cada interação da roleta é selecionada uma configuração.

4.2.6 Recombinação

Na recombinação são escolhidos aleatoriamente dois indivíduos da população, e são percorridas as linhas dos mesmos cruzando-as a partir de dois pontos escolhidos aleatoriamente, onde o primeiro ponto deve ser menor que o segundo, gerando dois descendentes. Uma variável, chamada de probabilidade de recombinação, é utilizada para controlar a frequência de ocorrência da recombinação.

A recombinação difere do AG tradicional, pois, a quantidade de canais alocados em cada linha do indivíduo não deve ser modificada, ou seja, a quantidade de 1's em cada linha da matriz deve permanecer inalterada, para não descaracterizar a configuração original da demanda de canais por célula.

4.2.7 Mutação

Para realizar a mutação são percorridas as linhas de cada indivíduo da população, escolhendo aleatoriamente duas posições ($c1$ e $c2$) para fazer a troca entre elas, sempre respeitando uma taxa de probabilidade de mutação.

As Figuras 4.6 e 4.7 ilustram como o processo de mutação ocorre.

		canal									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
célula		c1					c2				
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	0	0	1	0	0	0	1	
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.6: Indivíduo da população antes da mutação.

		canal									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
célula		c1					c2				
	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Figura 4.7: Indivíduo da população após a mutação.

4.2.8 Substituição da População

Depois das etapas de seleção, recombinação e mutação, de acordo com uma determinada taxa de porcentagem, os indivíduos mais aptos da população original são incluídos na nova população gerada, em seguida passam pela função objetivo para calcular a aptidão de cada indivíduo. Isso acontece até que seja encontrado um ponto ótimo na solução do problema, ou seja, obtenção de um indivíduo que represente um sistema celular com uma alocação sem conflito de canais entre as células que satisfaça a compatibilidade eletromagnética ou a mínima SIR e as exigências da demanda de tráfego.

4.3 Implementação do Algoritmo Paralelo

No algoritmo distribuído são gerados processos, cada processo contém sua subpopulação. Nesse trabalho analisou-se duas técnicas de paralelização: global e migração. Três estratégias de migração são analisadas: migração unidirecional, bidirecional e irrestrita. A cada intervalo pré-definido de gerações, caso nenhum dos processos tenha atingido em sua subpopulação um indivíduo com a função objetivo nula, de acordo com a estratégia de migração, os processos enviam seus melhores indivíduos para as subpopulações dos processos adjacentes, de forma unidirecional, bidirecional ou irrestrita e continua-se as etapas do algoritmo. Na técnica de paralelização global a cada intervalo pré-definido de gerações, se nenhum dos processos atingir em sua subpopulação um indivíduo com a função objetivo nula, a subpopulação de cada processo é enviada ao processo mestre e os melhores indivíduos são selecionados para formar uma nova subpopulação, prosseguindo as etapas do algoritmo.

O algoritmo distribuído de migração unidirecional está esquematizado na Figura 4.8.

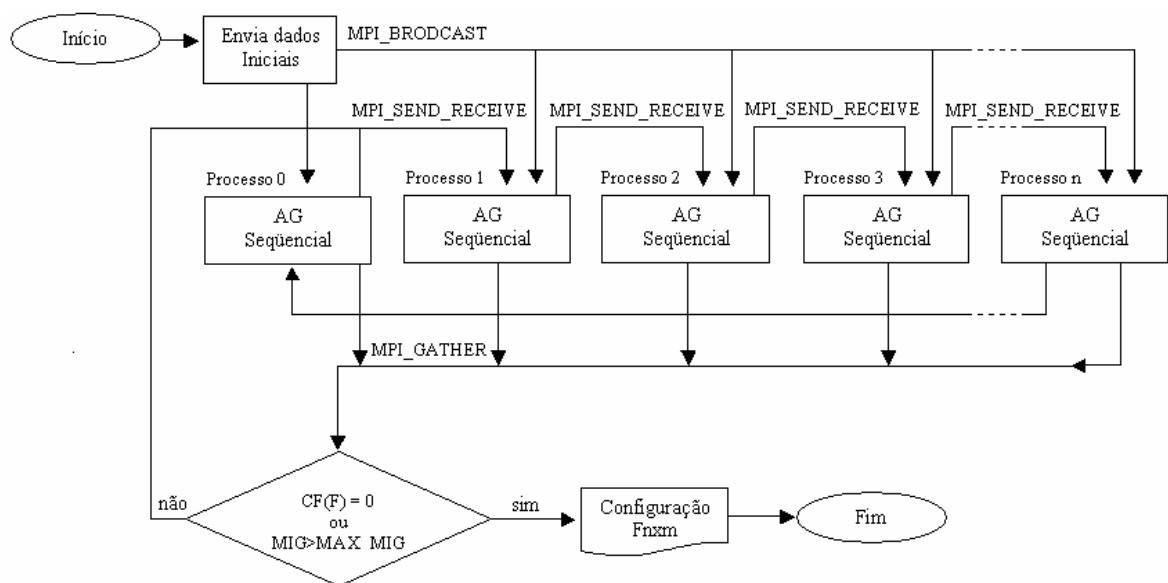


Figura 4.8: Algoritmo distribuído de migração unidirecional de alocação de canais.

O algoritmo sequencial está representado na Figura 4.9.

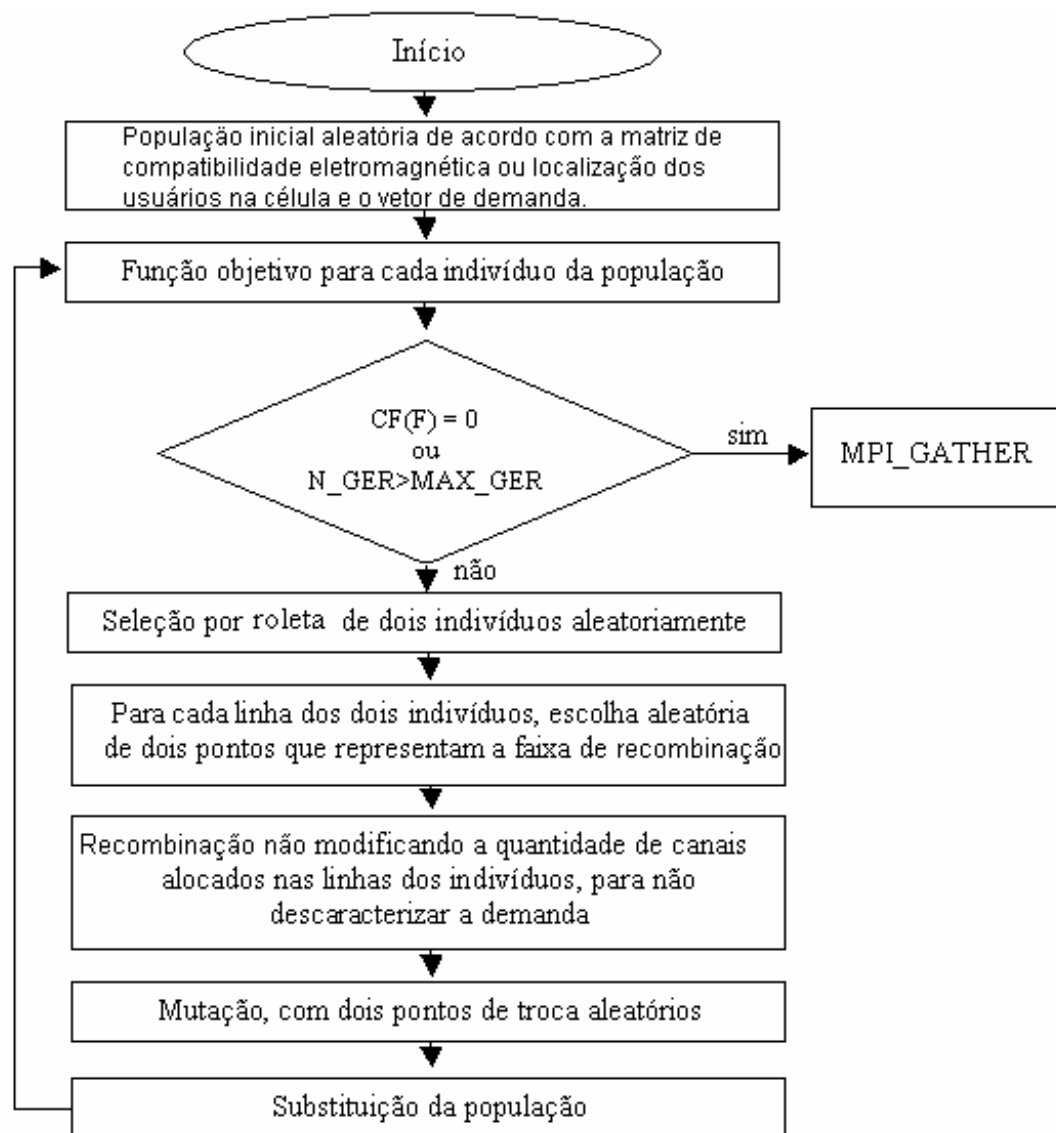


Figura 4.9: Algoritmo sequencial de alocação de canais.

Capítulo 5

Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados da abordagem da compatibilidade eletromagnética e da abordagem da mínima SIR, obtidos de uma rede celular na alocação de canais satisfazendo a demanda de tráfego com a técnica proposta.

As simulações foram feitas em um *cluster* de até quatro computadores AMD 2,6 GHz, 512 Mb de RAM interligados com comutador de 100 Mbps. A implementação foi feita utilizando-se a linguagem C, o padrão de troca de mensagens MPI para computação distribuída e o sistema operacional Linux Fedora. A utilização de bibliotecas de trocas de mensagens LAM/MPI, que implementa o padrão MPI, permitiu que todo o mecanismo de comunicação de dados entre os computadores fosse realizado em alto nível, através de chamadas de rotinas em C. Este mecanismo de comunicações é implementado dentro da biblioteca LAM/MPI fazendo uso da pilha de protocolos TCP/IP.

Este trabalho de dissertação de mestrado rendeu seis trabalhos apresentados em congressos, três com a abordagem da compatibilidade eletromagnética e três com a abordagem da mínima SIR (SHINODA; ALBUQUERQUE, 2007 (A)), (SHINODA; ALBUQUERQUE, 2007 (B)), (SHINODA; ALBUQUERQUE, 2007 (C)), (SHINODA; ALBUQUERQUE, 2008 (A)), (SHINODA; ALBUQUERQUE, 2008 (B)), (SHINODA; ALBUQUERQUE; OLIVEIRA, 2008 (C)).

5.1 Abordagem da Compatibilidade Eletromagnética

A Figura 5.1 descreve a rede celular empregada com reuso de 4 e a correspondente demanda de tráfego para cada célula.

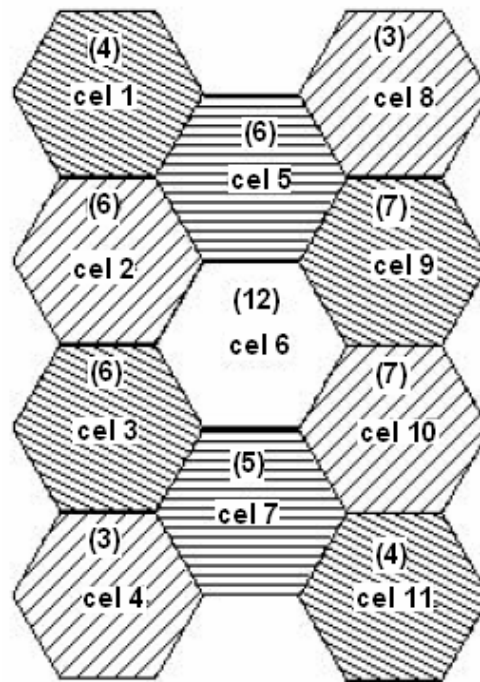


Figura 5.1: Rede celular com reuso de 4.

A Tabela 5.1 ilustra o vetor de demanda **D** da rede celular da Figura 5.1.

Tabela 5.1: Vetor de demanda.

4
6
6
3
6
12
5
3
7
7
4

A Tabela 5.2 ilustra a matriz de compatibilidade C da rede celular da Figura 5.1, onde cada elemento c_{ii} na diagonal representa a IIC, isto é, a distância mínima de separação entre quaisquer dois canais da célula i , e cada elemento c_{ij} fora da diagonal representa a distância mínima de separação de frequência entre quaisquer duas frequências alocadas para as células i e j . Nessa matriz, ICC é representado por $c_{ij} = 1$, ICA e IIC são representados por $c_{ij} = 2$ e células que não possuam restrições para empregar os mesmos canais são representadas por $c_{ij} = 0$.

Tabela 5.2: Matriz de compatibilidade eletromagnética.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	2	0	0	2	1	0	1	0	0	0
2	2	2	2	0	2	2	1	0	1	0	0
3	0	2	2	2	1	2	2	0	0	1	0
4	0	0	2	2	0	1	2	0	0	0	1
5	2	2	1	0	2	2	0	2	2	1	0
6	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1
7	0	1	2	2	0	2	2	0	1	2	2
8	1	0	0	0	2	1	0	2	2	0	0
9	0	1	0	0	2	2	1	2	2	2	0
10	0	0	1	0	1	2	2	0	2	2	2
11	0	0	0	1	0	1	2	0	0	2	2

5.1.1 Paralelização Migração Unidirecional

Na alocação de canais utilizando AG distribuído com migração unidirecional, cada processador do *cluster* ($P_0, P_1, \dots, P_n$) executa o AG sequencial. Após uma quantidade pré-definida de gerações internas, caso nenhum processador tenha atingido o valor da sua função objetivo nula, é realizada uma troca parcial de indivíduos entre os processadores de forma unidirecional, iniciando uma nova interação. Caso algum dos processadores tenha atingido o valor da função objetivo nula, significa que encontrou-se uma alocação de canais entre as

células, satisfazendo as exigências da demanda de tráfego e a compatibilidade eletromagnética.

Diversos parâmetros devem ser calibrados, inclusive o número da população por processo (N_p), a quantidade de canais disponíveis (m), a probabilidade de recombinação (p_c), a taxa de mutação (p_m), a taxa de migração (p_{mg}), o número de gerações (N_G) antes de uma nova migração e o número total de migrações (N_{mg}). Os valores utilizados nessa abordagem estão resumidos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Parâmetros de simulação.

N_p	m	p_c	p_m	p_{mg}	N_G	N_{mg}
10	76	0,5	0,01	0,5	100	1000

A Tabela 5.4 mostra a $C(F)$ inicial para os quatro casos simulados (1, 2, 3 ou 4 processadores). Como a geração dos indivíduos é aleatória, as $C(F)$'s não são necessariamente idênticas para os quatro casos.

Tabela 5.4: Valor inicial da função objetivo.

P	1	2	3	4
$C(F)$	47	36	17	17

A Figura 5.2 mostra o resultado da simulação para quatro casos. Nota-se que todos convergiram para o ponto ótimo, ou seja, sem bloqueio de chamada e satisfazendo a matriz de compatibilidade eletromagnética, $C(F) = 0$. O caso com um único processador ($P=1$) o AG sequencial demorou quase 800 migrações ou $800 \times 100 = 80.000$ gerações. Com dois processadores ($P=2$) trabalhando simultaneamente houve uma redução significativa, próxima de uma ordem de grandeza, da quantidade de migrações. Apesar de uma ligeira diminuição com três processadores ($P=3$) em relação ao *cluster* com dois, os desempenhos são muito similares. Isso não ocorre para o caso de quatro processadores ($P=4$), pois a quantidade de migrações diminuiu drasticamente atingindo o ponto ótimo com apenas 8 migrações.

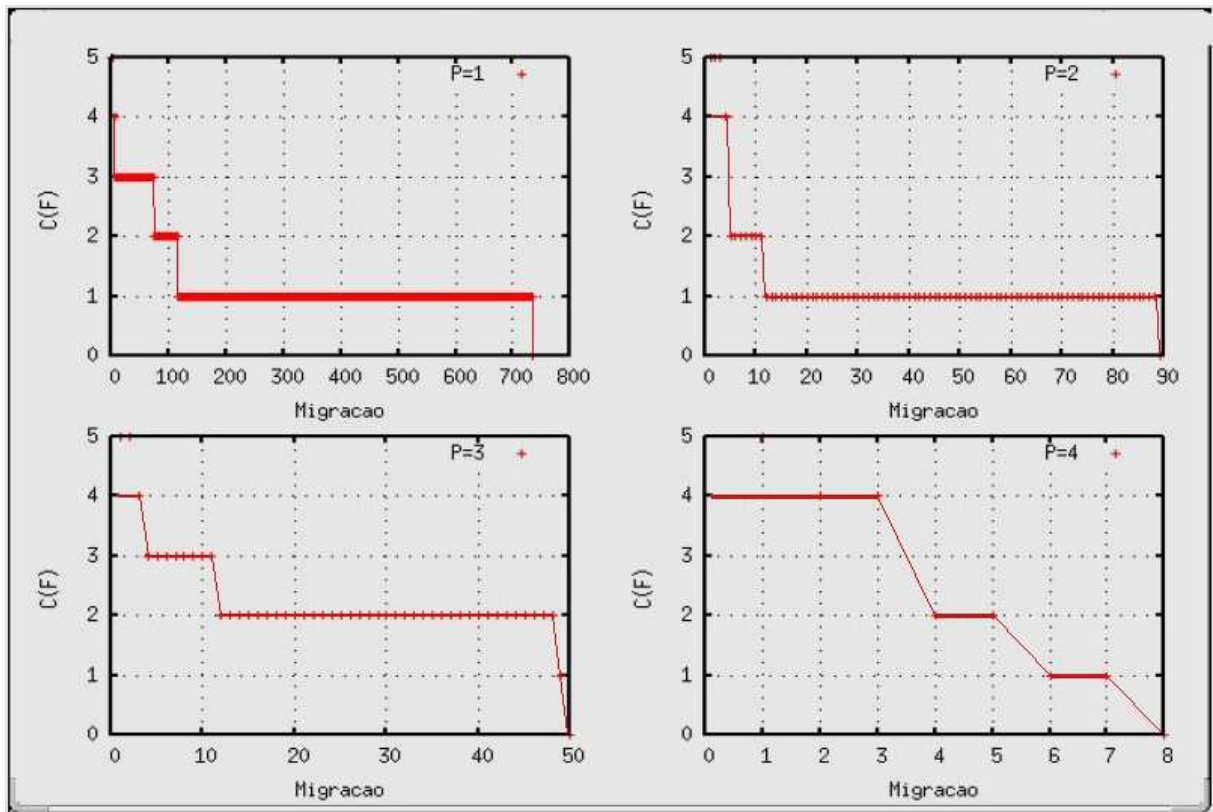


Figura 5.2: Taxa de convergência baseada no número de tentativas (migração).

A Figura 5.3 ilustra o tempo de CPU efetivamente empregado, diminuindo significativamente o tempo gasto na solução de alocação de canais com quatro processadores. Em uma aplicação real, somente o atraso do *cluster* com quatro processadores é tolerável para a rede celular.

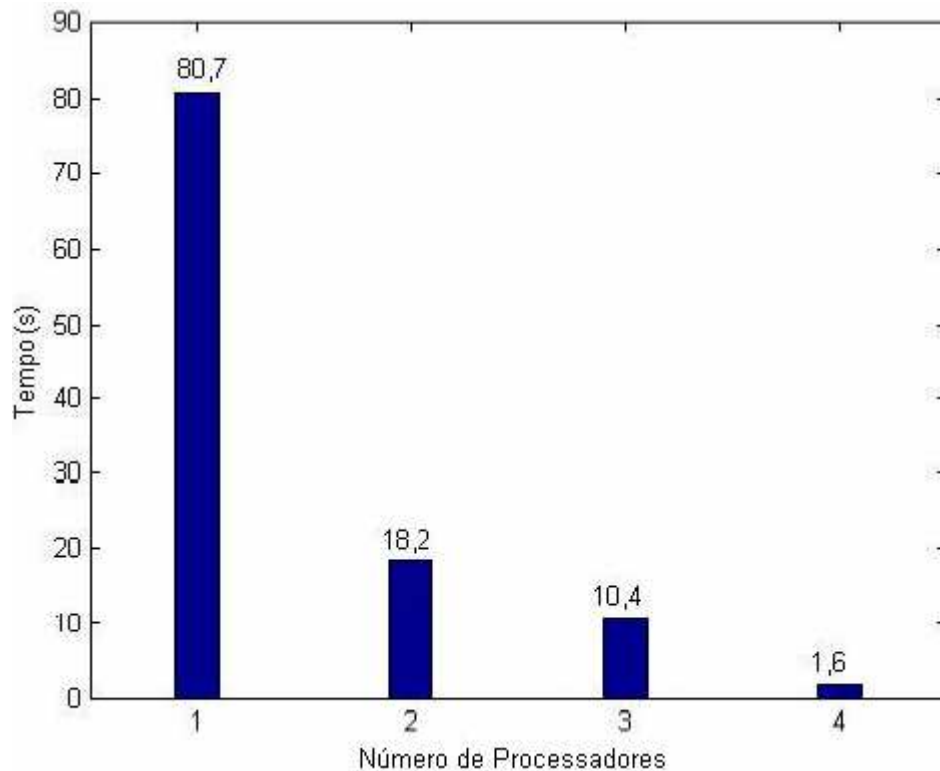


Figura 5.3: Tempo de CPU utilizada.

5.1.2 Paralelização Global

Na alocação de canais utilizando AG distribuído global, cada processador do *cluster* ($P_0, P_1, \dots, P_n$) executa o AG sequencial. Após uma quantidade pré-definida de gerações internas, se nenhum processador atingir o valor da sua função objetivo nula, a população de cada processo é enviada ao processo mestre e os melhores indivíduos são selecionados para formar uma nova população. Caso algum dos processadores tenha atingido o valor da função objetivo nula, significa que encontrou-se uma alocação de canais entre as células, satisfazendo as exigências da demanda de tráfego e a compatibilidade eletromagnética.

Os valores utilizados nessa abordagem estão resumidos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Parâmetros de simulação.

N_p	m	p_c	p_m	p_{mg}	N_G	N_{mg}
10	81	0,5	0,01	0,5	100	1000

A Tabela 5.6 mostra a $C(F)$ inicial para os quatro casos simulados (1, 2, 3 ou 4 processadores). Como a geração dos indivíduos é aleatória, as $C(F)$'s não são necessariamente idênticas para os quatro casos.

Tabela 5.6: Valor inicial da função objetivo.

P	1	2	3	4
$C(F)$	45	28	16	16

A Figura 5.4 mostra o resultado da simulação para quatro casos. Nota-se que todos convergiram para o ponto ótimo, ou seja, sem bloqueio de chamada e satisfazendo a matriz de compatibilidade eletromagnética, $C(F) = 0$. O caso com um único processador ($P=1$) o AG sequencial demorou acima de 3000 migrações ou $3000 \times 100 = 300.000$ gerações. Com dois processadores ($P=2$) trabalhando simultaneamente houve uma redução significativa, próxima de uma ordem de grandeza, da quantidade de migrações. Apesar de uma ligeira diminuição com três processadores ($P=3$) em relação ao *cluster* com dois, os desempenhos são muito similares. Isso não ocorre para o caso de quatro processadores ($P=4$), pois a quantidade de migrações diminuiu drasticamente atingindo o ponto ótimo com apenas 40 migrações.

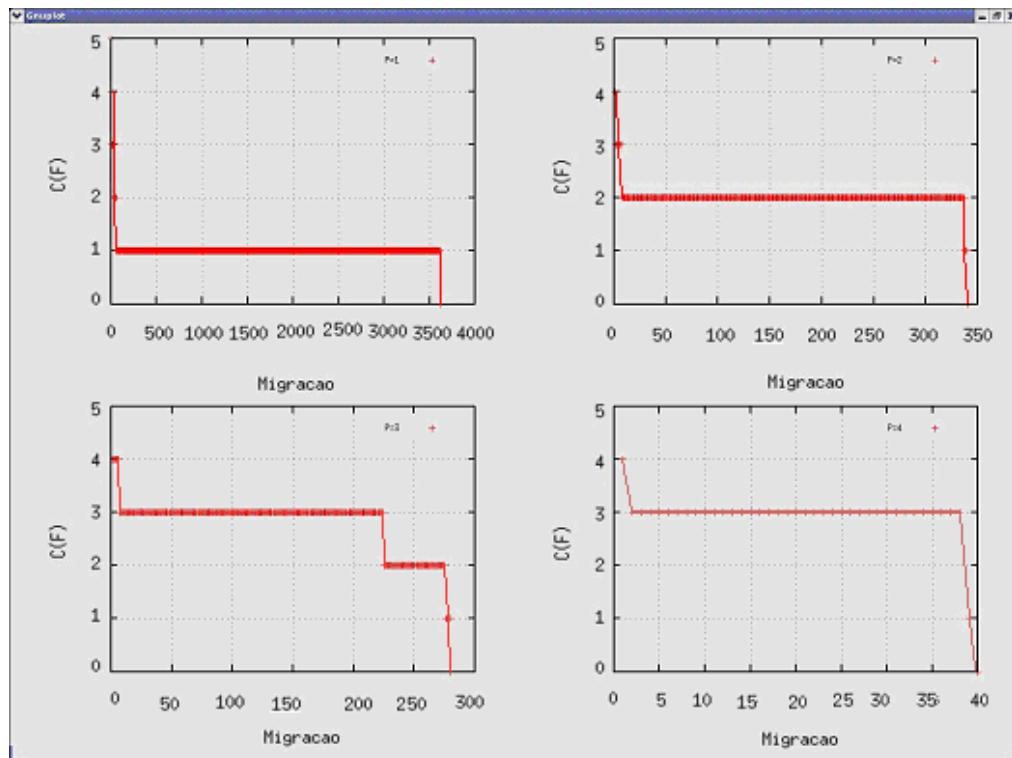


Figura 5.4: Taxa de convergência baseada no número de tentativas.

5.1.3 Paralelização Migração Unidirecional com Temporização

A alocação de canais utilizando AG distribuído com migração unidirecional e temporização, analisa vários estados preocupando-se com o tempo para determinar a função objetivo ideal, ou seja, a cada intervalo de tempo pré-determinado, o estado de chamadas do sistema é alterado. Cada processador do *cluster* ($P_0, P_1, \dots, P_n$) executa o AG sequencial. Após uma quantidade pré-definida de gerações internas, caso nenhum processador tenha atingido o valor da sua função objetivo nula e a temporização não tenha terminada, é feita uma troca parcial de indivíduos entre os processadores de forma unidirecional, iniciando uma nova interação. Caso algum dos processadores tenha atingido o valor da função objetivo nula e a temporização não tenha se esgotado, significa que encontrou-se uma alocação de canais entre as células, satisfazendo as exigências da demanda de tráfego e a compatibilidade eletromagnética. Quando há o término da temporização com a função objetivo diferente de zero, significa que o sistema está com bloqueio, ou seja, uma parte das chamadas não está sendo atendida.

Os valores utilizados nessa abordagem estão resumidos na Tabela 5.7, inclusive o tempo máximo da busca ou temporização (T).

Tabela 5.7: Parâmetros de simulação.

N_p	m	p_c	p_m	p_{mg}	N_G	$T_{(s)}$
10	160	0,5	0,01	0,5	50	1,0

A Figura 5.5 mostra os cinco primeiros estados das chamadas em cada célula, geradas através de uma distribuição de Poisson, com base no vetor de demanda ilustrado na Figura 5.1.

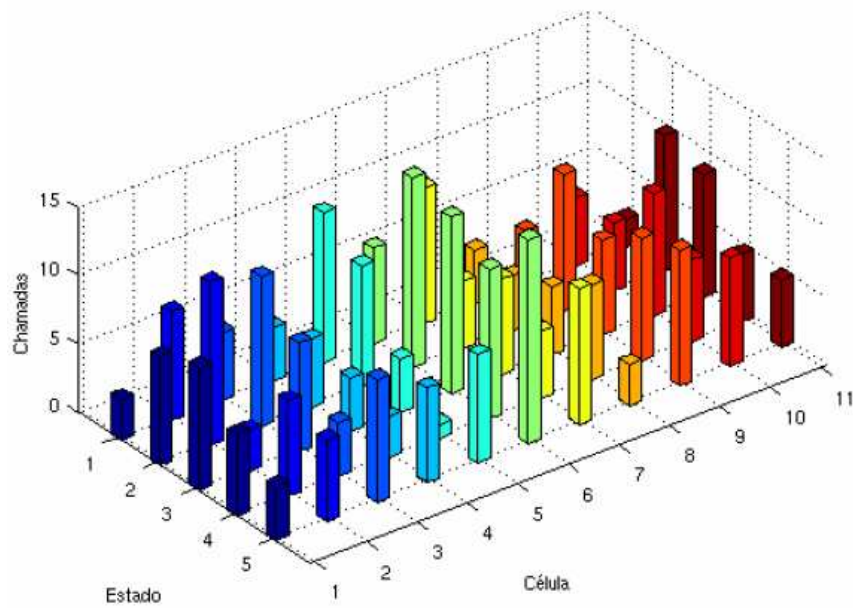


Figura 5.5: Chamadas geradas em cada célula/estado através de uma distribuição de Poisson.

A Figura 5.6 mostra a probabilidade de bloqueio, chamadas não atendidas, da rede celular para os 100 estados empregando um processador (alocação de canal AG sequencial com temporização) ou quatro processadores (alocação de canal AG distribuído com temporização).

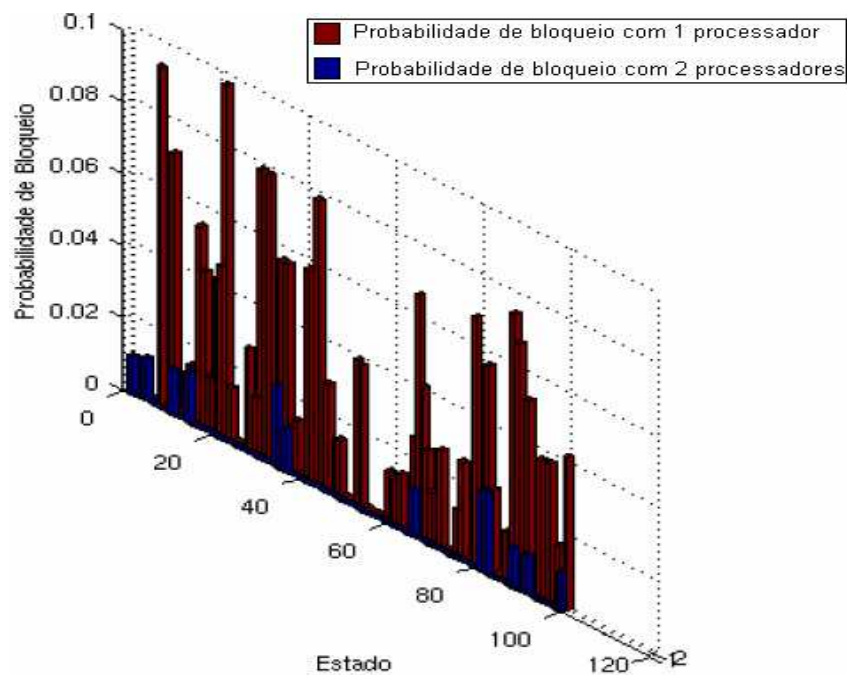


Figura 5.6: Probabilidade de bloqueio do sistema com um processador ou quatro processadores.

A Figura 5.7 mostra o desempenho do sistema, em termos da probabilidade de bloqueio, a medida que o tráfego (quantidade de chamadas) aumenta para o caso da alocação de canal AG temporizado com um ou quatro processadores. A linha tracejada indica uma limiar da qualidade de serviço, ou seja, para que o serviço seja considerado apropriado o bloqueio deve ser menor que 5%.

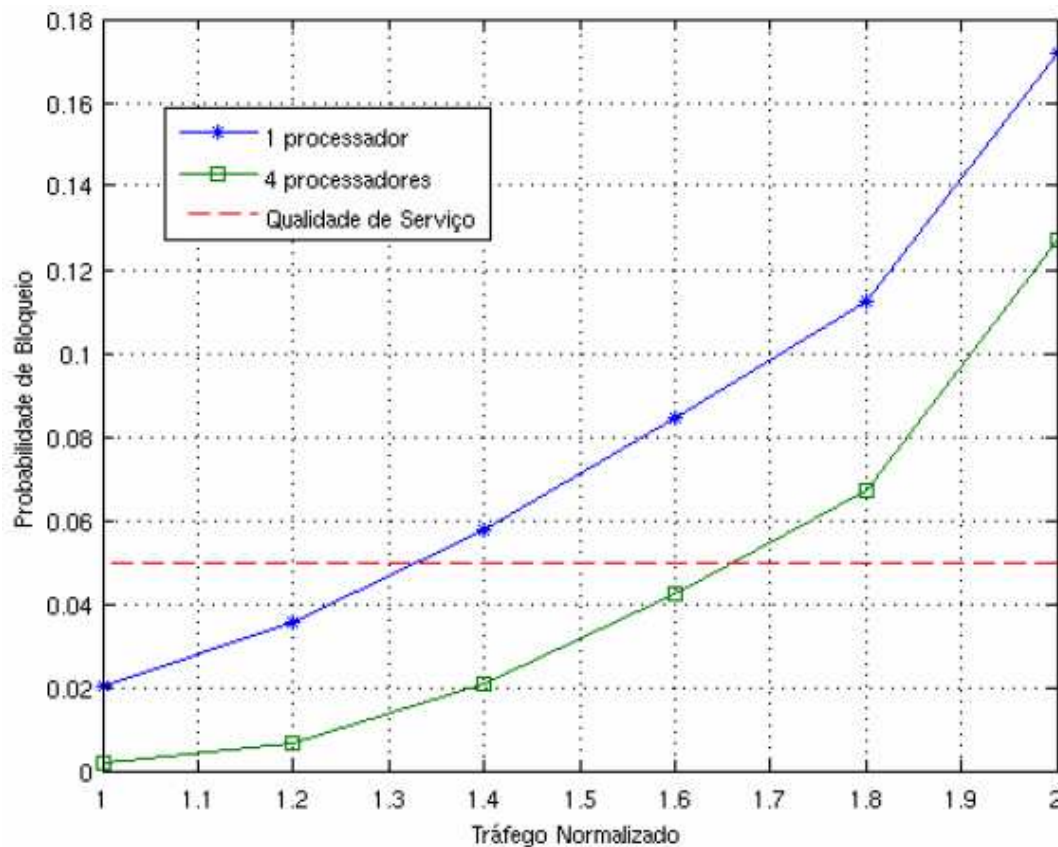


Figura 5.7: Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado.

5.1.4 Paralelização Migração Unidirecional, Bidirecional e Irrestrita com Temporização

Nesta subseção do trabalho as simulações foram feitas em um *cluster* de até seis computadores, AMD 2,6 GHz, 512 Mb de RAM interligados com comutador de 100 Mbps. A implementação foi feita utilizando-se a linguagem C, o padrão de troca de mensagens MPI para computação distribuída e o sistema operacional Linux Fedora.

Três estratégias de migração são analisadas na alocação de canais utilizando AG distribuído com temporização, analisou-se vários estados preocupando-se com o tempo para determinar a função objetivo ideal. Cada processador do *cluster* ($P_0, P_1, \dots, P_n$) executa o AG sequencial. Após uma quantidade pré-definida de gerações internas, caso nenhum processador tenha atingido o valor da sua função objetivo nula e a temporização não tenha terminada, é feita uma troca parcial de indivíduos entre os processadores de acordo com a estratégia de migração (unidirecional, bidirecional e irrestrita), iniciando uma nova interação. Na migração unidirecional os indivíduos de cada população migram somente numa direção, na bidirecional as migrações são entre os nós adjacentes e na irrestrita as migrações são em todas as direções.

Os valores utilizados nessa abordagem estão resumidos na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Parâmetros de simulação.

N_p	m	p_c	p_m	p_{mg}	N_G	$T_{(s)}$
10	160	0,5	0,01	0,5	50	1,0

As Figuras 5.8, 5.9 e 5.10 mostram o desempenho do sistema, em termos da probabilidade de bloqueio, à medida que o tráfego (quantidade de chamadas) aumenta para o caso da alocação de canal AG temporizado com um (P_1) ou seis (P_6) processadores para cada uma das estratégias de migração. A linha tracejada indica um limiar da qualidade de serviço, ou seja, para que o serviço seja considerado apropriado o bloqueio deve ser menor que 5%. O tráfego é gerado através de uma distribuição de Poisson, com base no vetor de demanda ilustrado na Figura 5.1.

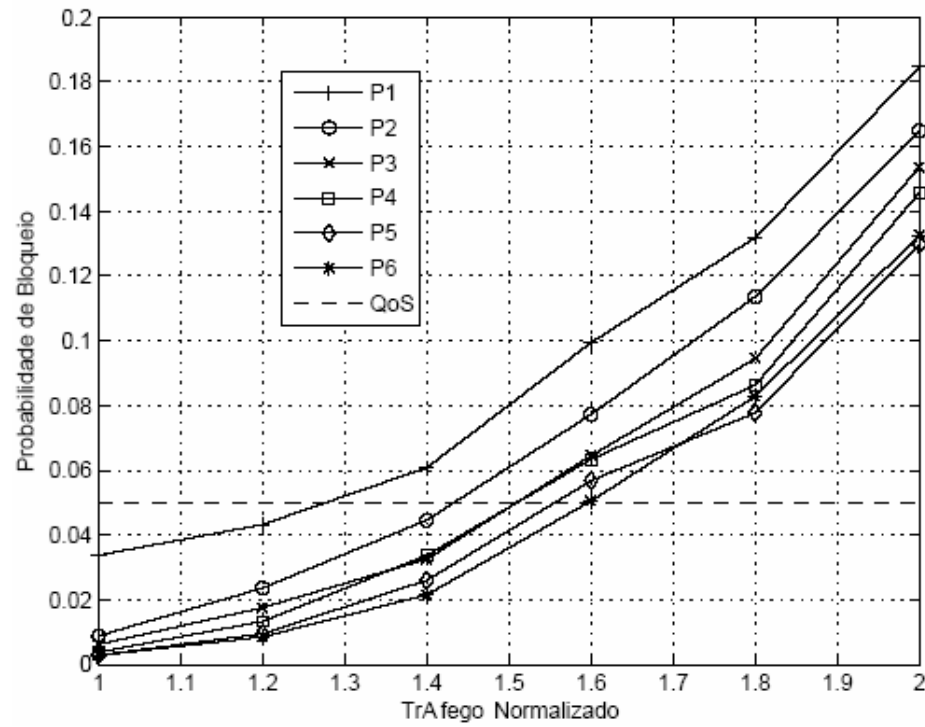


Figura 5.8: Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado com migração unidirecional.

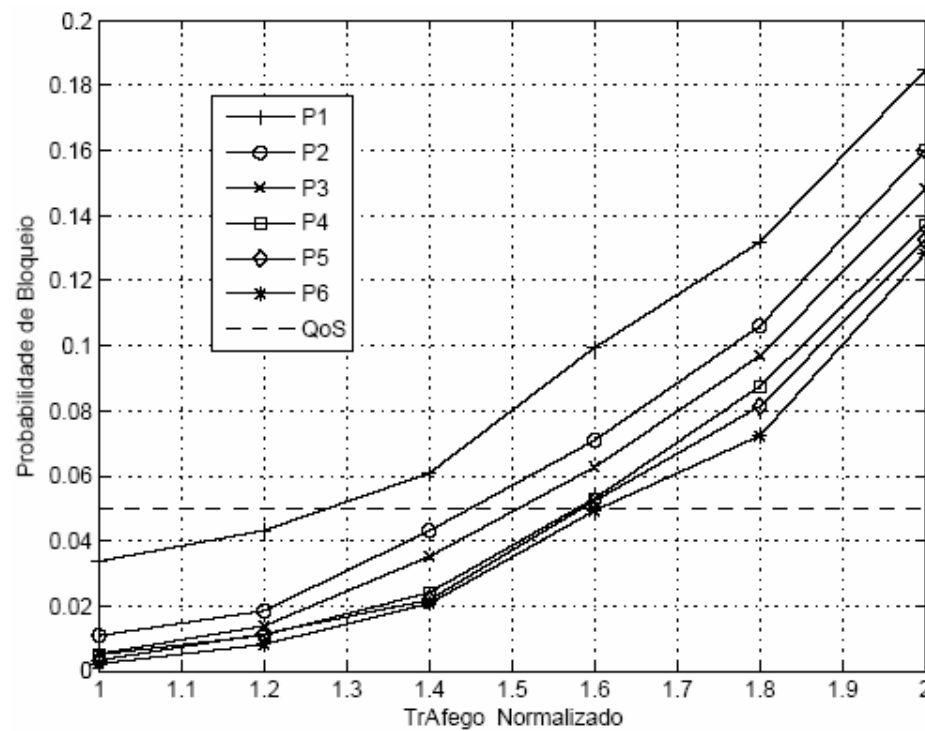


Figura 5.9: Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado com migração bidirecional.

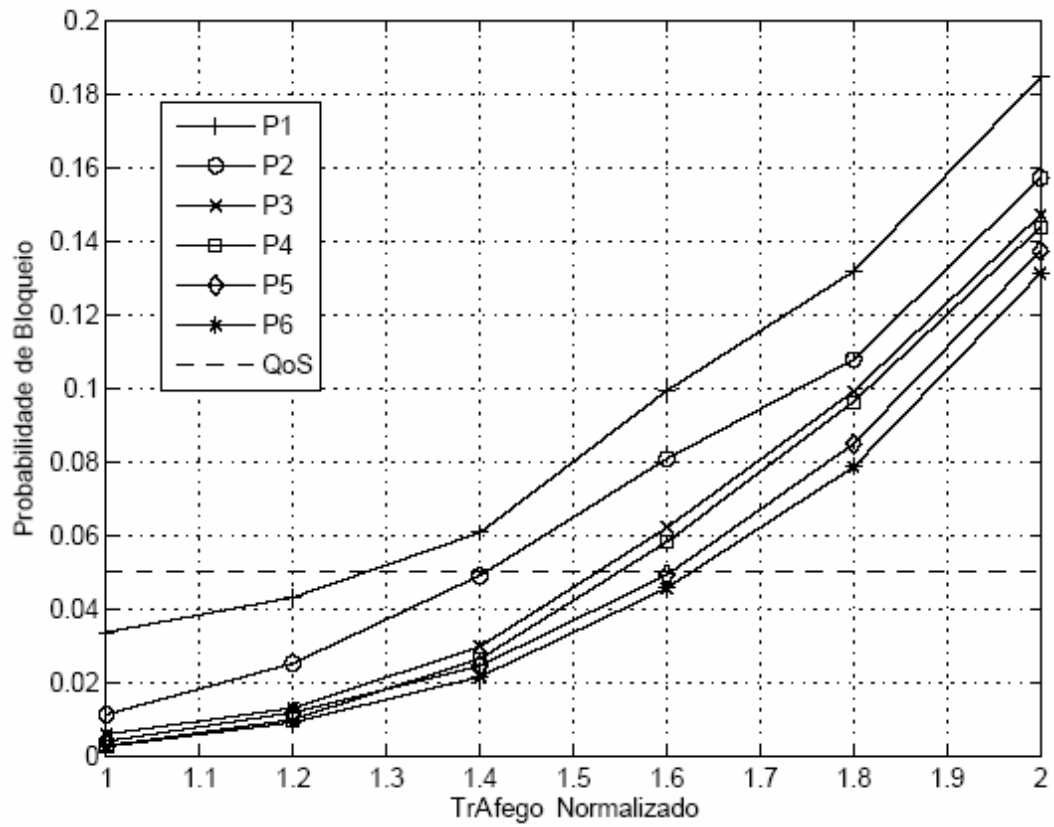


Figura 5.10: Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado com migração irrestrita.

5.2 Abordagem da Mínima SIR

A Figura 5.11 descreve a rede celular empregada.

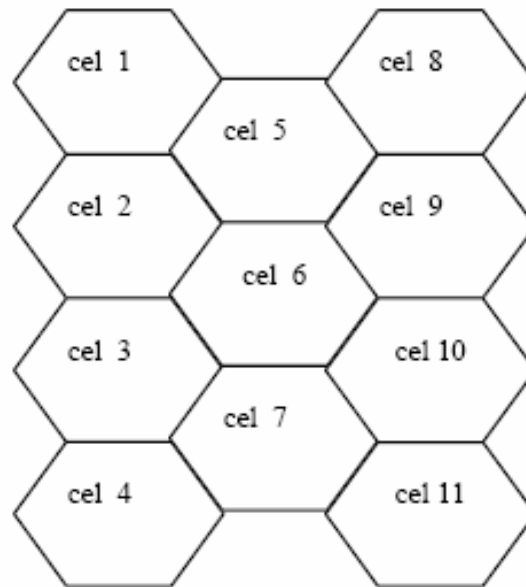


Figura 5.11: Rede celular.

A Tabela 5.9 informa a localização de cada ERB na rede para um raio de 1 km e o vetor da média de demanda da distribuição de Poisson de cada célula.

Tabela 5.9: Localização da ERB e vetor de demanda.

n	X(km)	Y(km)	D
1	1,00	6,06	6
2	1,00	4,33	9
3	1,00	2,60	9
4	1,00	0,87	6
5	2,50	5,20	9
6	2,50	3,46	12
7	2,50	1,73	9
8	4,00	6,06	6
9	4,00	4,33	9
10	4,00	2,60	6
11	4,00	0,87	9

No caso dos usuários, assumiu-se uma distribuição uniforme espacial em cada célula. O número de usuários ou chamadas em cada célula é gerada pela distribuição de Poisson com as médias da Tabela 5.9.

A Tabela 5.10 mostra a posição de cada chamada (usuário) na célula 1, gerada através de uma distribuição uniforme.

Tabela 5.10: Localização dos usuários da célula 1.

usu	X(km)	Y(km)
1	0,34	6,58
2	1,23	5,32
3	1,30	6,92
4	1,04	5,73
5	0,74	5,97
6	0,67	5,72

5.2.1 Paralelização Migração Unidirecional

Diversos parâmetros devem ser calibrados, inclusive o número da população por processo (N_p), a quantidade de canais disponíveis (m), a probabilidade de recombinação (p_c), a taxa de mutação (p_m), a taxa de migração (p_{mg}), o número de gerações (N_G) antes de uma nova migração, o número total de migrações (N_{mg}), raio da célula em km (R), a perda de propagação (p) e a mínima SIR aceitável em dB (SIR_{min}). Os parâmetros utilizados nessa abordagem estão resumidos na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Parâmetros da simulação.

N_p	m	p_c	p_m	p_{mg}	N_G	N_{mg}	R	p	SIR_{min}
10	26	0,5	0,01	0,5	100	10000	1	3	10

A Tabela 5.12 mostra a $C(F)$ inicial para os 4 casos simulados (1, 2, 3 ou 4 processadores). Como a geração dos indivíduos é aleatória, as $C(F)$'s não são necessariamente idênticas para os 4 casos.

Tabela 5.12: Valor inicial da função de custo.

P	1	2	3	4
$C(F)$	27	27	18	18

A Figura 5.12 mostra o resultado da simulação para quatro casos. Note que todos convergiram para o ponto ótimo, ou seja, sem bloqueio da chamada e satisfazendo a mínima SIR, $C(F)=0$. O caso com um único processador (P1) o AG sequencial demorou quase 800 migrações ou $800 \times 100 = 80.000$ gerações. Com dois processadores (P2) trabalhando simultaneamente houve uma pequena redução. Com 3 processadores (P3) houve uma redução significativa, em torno de uma ordem de grandeza em relação ao AG sequencial. No caso de 4 processadores (P4), houve uma redução da quantidade de gerações de menos da metade em relação ao P3.

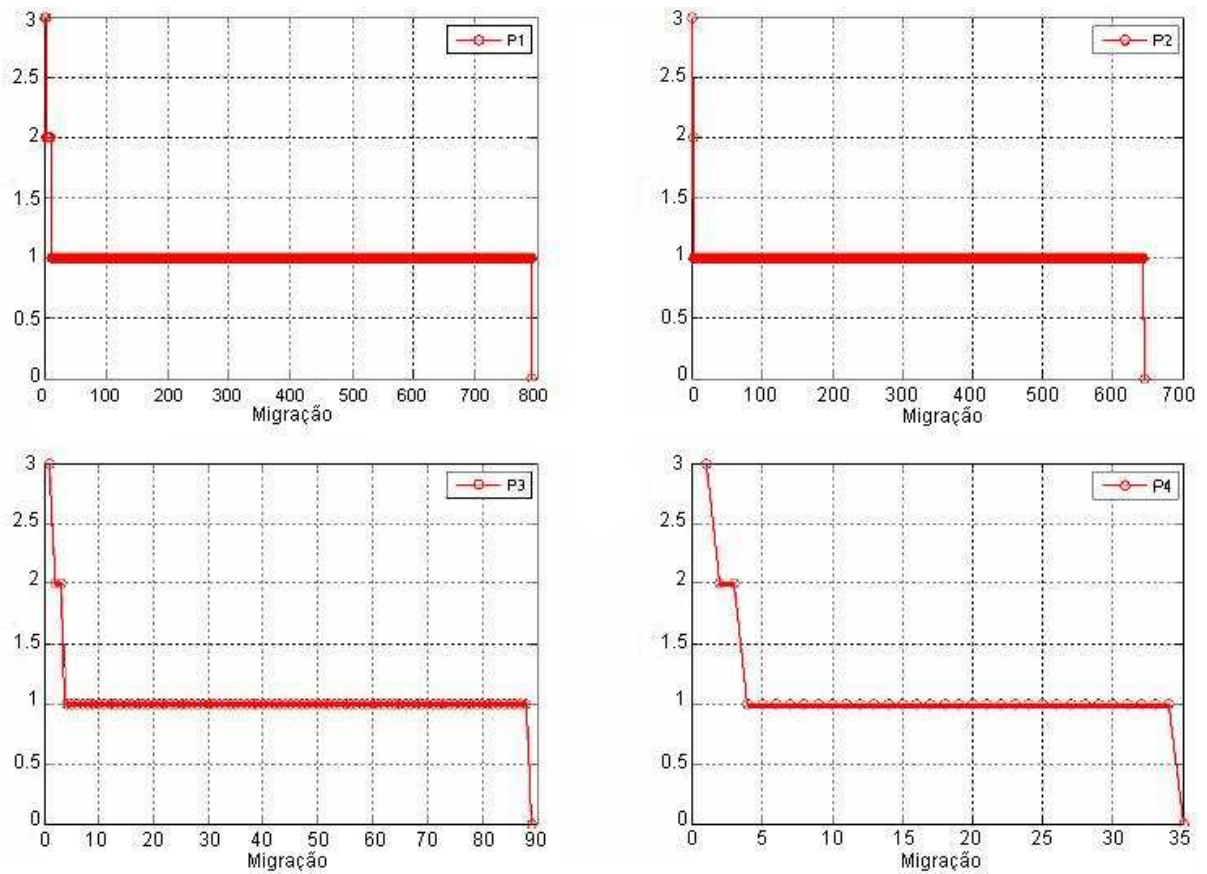


Figura 5.12: Taxa de convergência baseada no número de tentativas (migração).

A Tabela 5.13 mostra a alocação final dos canais (linha indicando o número do canal e a coluna associado à célula), de acordo com a demanda de tráfego e a SIR maior do que 10 dB, para o caso de quatro processadores (P4).

Tabela 5.13: SIR (dB) da configuração final com 4 processadores.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	10,77	16,52	-	25,83	-	-
2	-	17,65	22,33	-	17,80	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	31,35	21,89	-	24,06	-	-
4	-	62,14	11,41	-	13,52	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	11,49	17,96	-	28,44	-	-
6	14,10	-	16,31	-	38,77	-	-	16,83	-	-	-
7	-	-	-	-	-	20,08	12,05	-	-	-	-
8	-	-	22,76	-	-	-	-	26,74	-	-	-
9	-	-	-	-	23,62	53,90	14,00	-	14,37	-	-
10	14,51	44,95	22,37	13,64	-	-	-	14,93	-	11,43	44,60
11	-	-	-	-	19,70	-	14,07	-	20,69	-	-
12	10,48	11,66	-	13,58	-	-	-	17,51	-	18,29	26,93
13	-	-	-	-	11,85	10,06	21,46	-	12,14	-	-
14	-	27,88	-	-	-	-	-	33,49	-	14,55	-
15	15,81	-	-	46,73	-	19,11	-	-	14,06	-	13,64
16	-	17,88	-	-	-	-	-	52,80	-	13,67	-
17	17,89	-	-	23,94	-	14,71	-	-	11,35	-	24,20
18	-	11,87	12,11	-	-	-	-	-	-	20,45	-
19	-	-	-	12,58	-	10,68	-	-	17,84	-	14,30
20	-	40,77	-	-	-	-	-	-	-	18,33	-
21	-	-	-	35,37	-	12,23	-	-	-	-	26,87
22	-	25,67	31,86	-	21,56	-	-	-	-	16,16	-
23	-	-	-	-	-	26,50	14,73	-	-	-	-
24	-	-	10,33	-	15,53	-	-	-	-	26,96	-
25	-	-	-	-	-	10,50	11,85	-	-	-	-
26	-	-	40,46	-	17,65	-	-	-	-	15,33	-

A Figura 5.13 ilustra o tempo de CPU efetivamente empregado, diminuindo significativamente o tempo gasto na solução da alocação de canais com 4 processadores. Em uma aplicação real, somente o atraso do *cluster* com 4 processadores é tolerável para a rede celular.

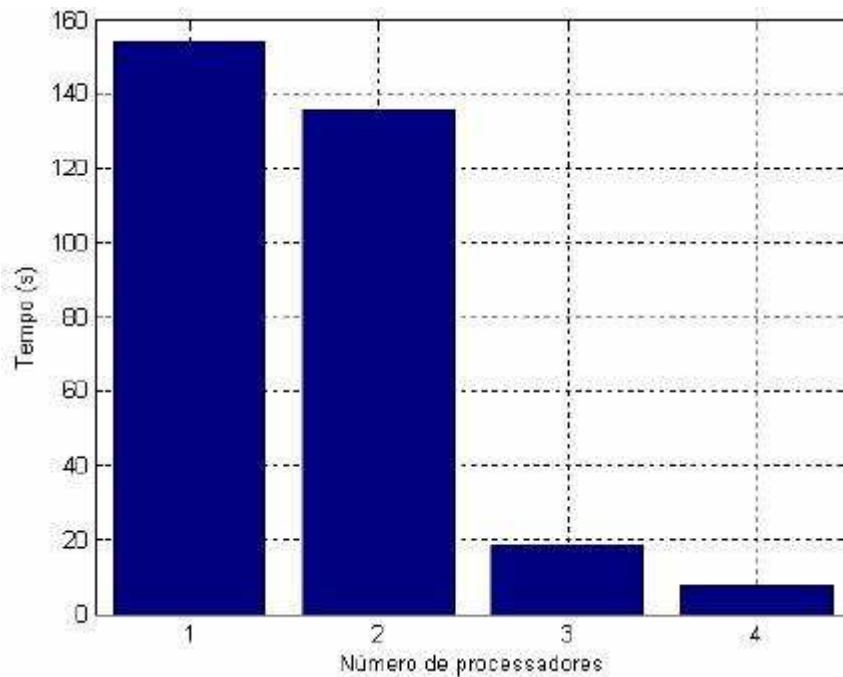


Figura 5.13: Tempo de CPU utilizada.

5.2.2 Paralelização Migração Unidirecional com Temporização

Os valores utilizados nessa abordagem estão resumidos na Tabela 5.14, inclusive o tempo máximo da busca ou temporização (T).

Tabela 5.14: Parâmetros de simulação.

N_p	m	p_c	p_m	p_{mg}	N_G	R	p	SIR_{mim}	$T_{(s)}$
16	48	0,5	0,01	0,5	50	1	3	10	1,0

A Figura 5.14 ilustra as SIR's dos canais utilizados em cada uma das células para atender a demanda de tráfego, gerado através de uma distribuição de Poisson. Nesta figura mostra-se somente as SIR's de uma determinada condição ou estado do processo de Poisson.

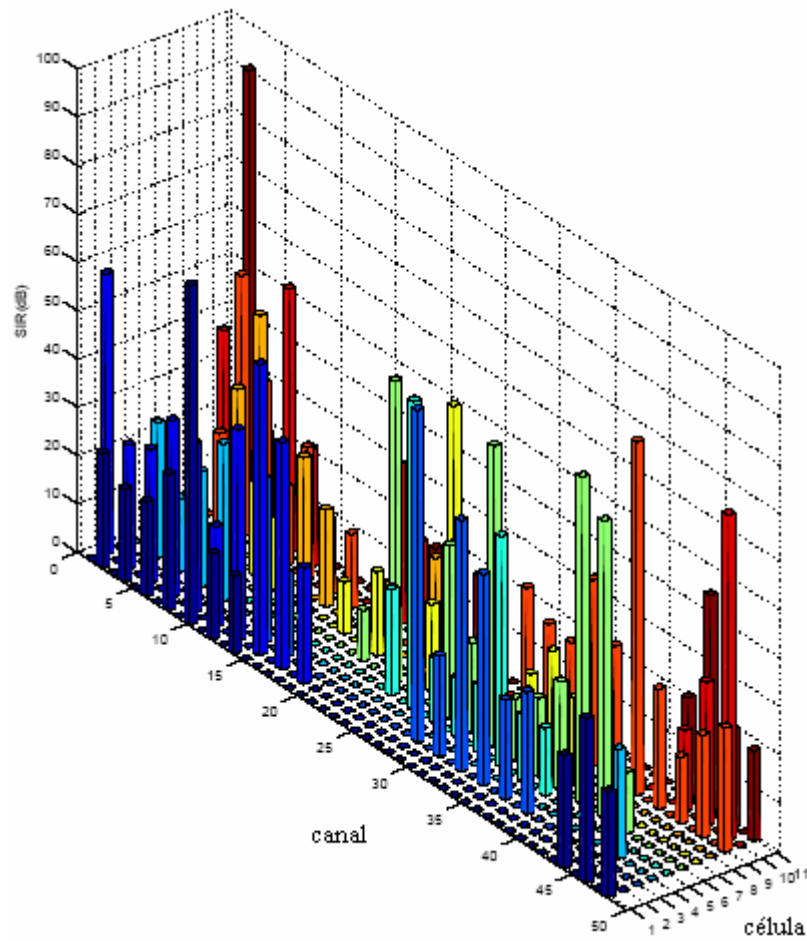


Figura 5.14: Valor da SIR final (sistema sem bloqueio) para um determinado estado do sistema gerado pela distribuição de Poisson.

A Figura 5.15 mostra o desempenho do sistema, em termos da probabilidade de bloqueio, à medida que o valor médio da distribuição de Poisson (Tabela 5.9) aumenta para o caso da alocação de canal AG distribuído com SIR limitado no tempo e também para o caso da alocação fixa de canais com reuso de 4.

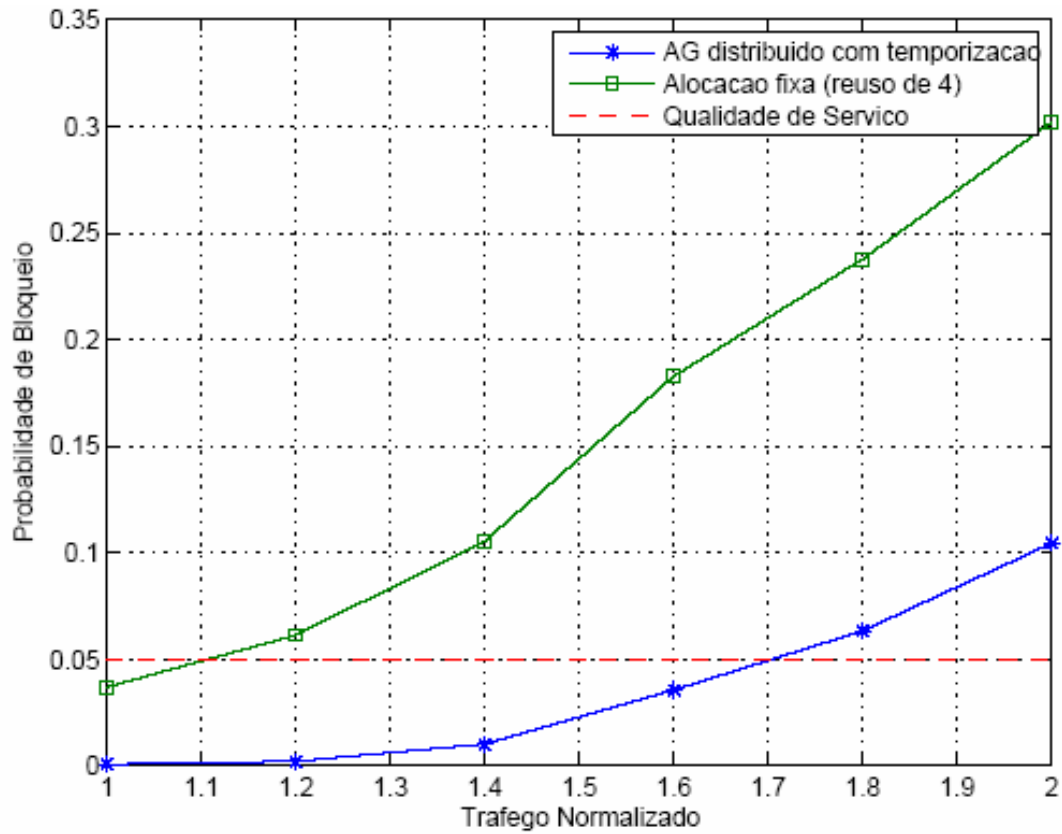


Figura 5.15: Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado.

Cada ponto da curva foi calculado através de 100 estados ou condições geradas pela distribuição de Poisson com as médias da última coluna da Tabela 5.9 multiplicadas pelo fator de normalização.

A Tabela 5.15 mostra com maiores detalhes a Figura 5.15, onde a última linha é a demanda de tráfego ou chamada gerada pela distribuição de Poisson.

Tabela 5.15: Valor da SIR final.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	58	-	-	-	-	-	-	-	37	-
2	24	-	-	-	-	-	-	-	18	-	91
3	-	26	-	28	-	-	-	-	-	15	-
4	19	-	-	-	-	-	-	-	54	-	-
5	-	28	-	15	-	-	-	33	-	22	-
6	20	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-
7	-	37	-	24	-	-	-	52	-	55	-
8	28	-	-	-	-	-	19	-	16	-	-
9	-	35	-	32	-	-	-	19	-	25	-
10	10	-	-	-	-	-	15	-	27	-	-
11	-	21	-	-	-	-	-	28	-	-	-
12	18	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
13	-	44	-	-	-	-	-	20	-	-	-
14	16	-	34	-	-	-	-	-	15	-	-
15	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	17	-	-	-	11	-	-	-	-
17	-	47	-	-	-	-	-	-	-	33	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	24	-	-	-	11	17	14	-	20	18
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	31	-	19	26
22	-	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	22	-	-	25	-	-	18
24	-	-	-	-	-	13	18	-	-	-	-
25	-	-	-	-	64	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	62	-	-	-	-
27	-	-	-	-	14	36	-	-	-	-	-
28	-	-	69	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	13	19	-	-	-	-	-
30	-	-	21	-	-	-	-	-	28	-	-
31	-	-	-	-	14	62	-	-	-	-	-
32	-	-	52	-	-	-	-	-	24	-	-
33	-	-	-	-	48	13	17	-	-	-	-
34	-	-	44	-	-	-	-	-	23	-	-
35	-	-	-	-	14	16	25	-	-	-	-
36	-	-	21	-	-	-	-	-	39	-	-
37	-	-	-	-	14	23	18	-	-	-	-
38	-	-	25	-	-	-	-	-	28	-	-
39	-	-	-	-	-	68	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	73	-	-
41	-	-	-	-	-	62	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	21
43	-	-	-	-	-	13	-	-	-	17	-
44	23	-	-	-	-	-	-	-	14	-	45
45	-	-	-	23	-	-	-	-	-	30	-
46	34	-	-	-	-	-	-	-	21	-	20
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	-
48	22	-	-	-	-	-	-	-	26	-	19
D	10	10	8	5	8	12	9	8	17	11	8

5.2.3 Paralelização Global com Temporização

Na alocação de canais utilizando AG distribuído global com temporização, analisou-se vários estados preocupando-se com o tempo para determinar a função objetivo ideal. Cada processador do *cluster* ($P_0, P_1, \dots, P_n$) executa o AG sequencial. Após uma quantidade pré-definida de gerações internas, se nenhum processador atingir o valor da sua função objetivo nula e a temporização não tenha terminada, a população de cada processo é enviada ao processo mestre e os melhores indivíduos são selecionados para formar uma nova população. Caso algum dos processadores tenha atingido o valor da função objetivo nula e a temporização não tenha se esgotado, significa que encontrou-se uma alocação de canais entre as células, satisfazendo as exigências da demanda de tráfego e a mínima SIR. Quando há o término da temporização com a função objetivo diferente de zero, significa que o sistema está com bloqueio, ou seja, uma parte das chamadas não está sendo atendida.

Os valores utilizados nessa abordagem estão resumidos na Tabela 5.16, inclusive o tempo máximo da busca ou temporização (T).

Tabela 5.16: Parâmetros de simulação.

N_p	m	p_c	p_m	p_{mg}	N_G	R	ρ	SIR_{mim}	$T_{(s)}$
16	48	0,5	0,01	0,5	50	1	3	10	1,0

A Figura 5.16 ilustra as SIR's dos canais utilizados em cada uma das células para atender a demanda de tráfego, gerado através de uma distribuição de Poisson. A Figura 5.16 mostra somente as SIR's de uma determinada condição ou estado do processo de Poisson.

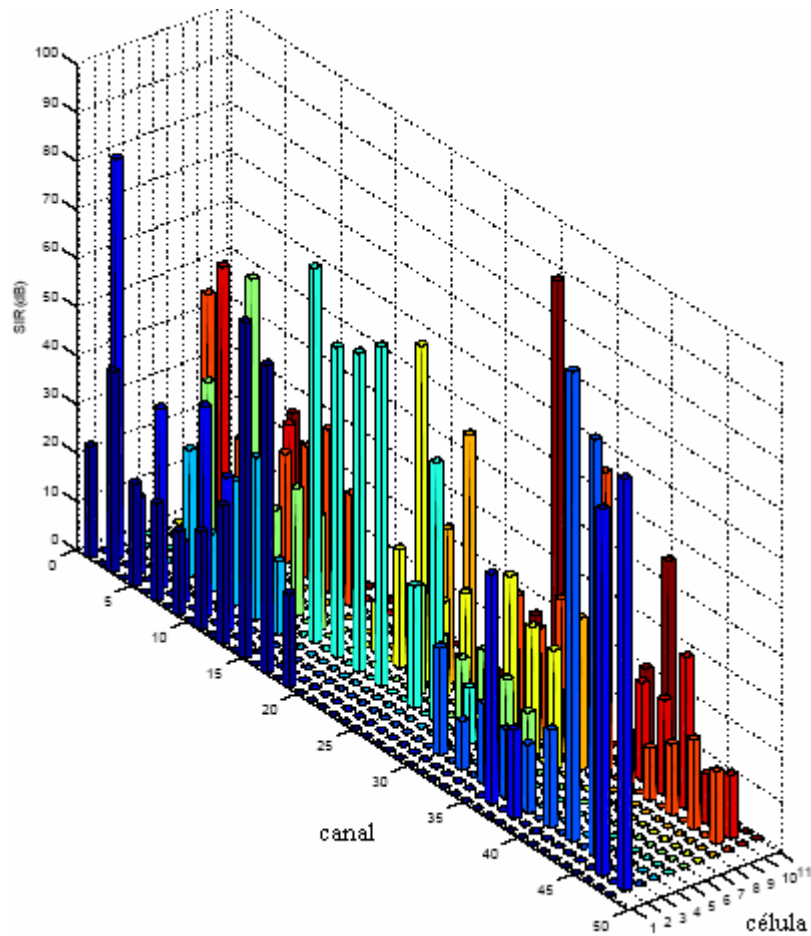


Figura 5.16: Valor da SIR final (sistema sem bloqueio) para um determinado estado do sistema gerado pela distribuição de Poisson.

A Figura 5.17 mostra o desempenho do sistema, em termos da probabilidade de bloqueio, à medida que o valor médio da distribuição de Poisson (Tabela 5.9) aumenta para o caso da alocação de canal AG distribuído com SIR limitado no tempo e também para o caso da alocação fixa de canais com reuso de 4.

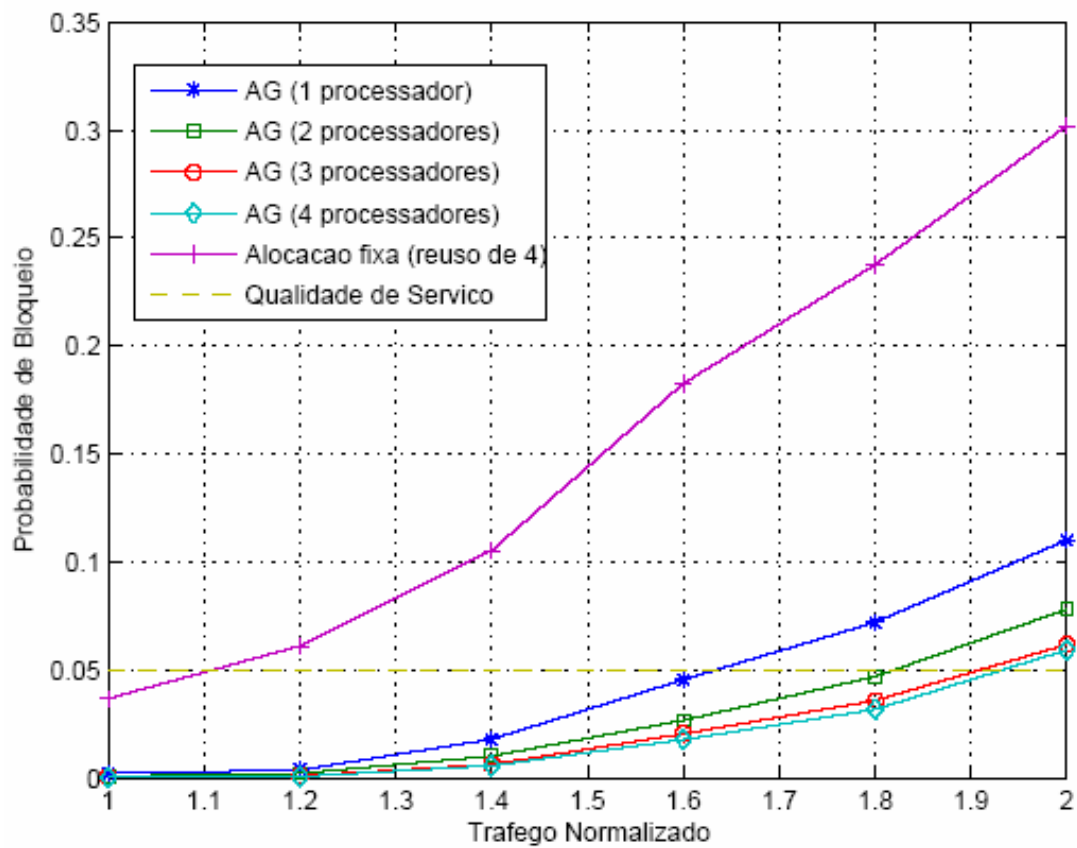


Figura 5.17: Probabilidade de bloqueio do sistema em função do tráfego normalizado.

Cada ponto da curva foi calculado através de 100 estados ou condições geradas pela distribuição de Poisson com as médias da última coluna da Tabela 5.9 multiplicadas pelo fator de normalização.

A Tabela 5.17 mostra com maiores detalhes a Figura 5.17, onde a última linha é a demanda de tráfego ou chamada gerada pela distribuição de Poisson.

Tabela 5.17: Valor da SIR final.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	23	-	-	-	-	-	-	-	45	50	-
2	-	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	41	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-
4	-	16	-	-	-	-	-	-	20	-	-
5	21	-	-	-	-	36	-	-	-	24	-
6	-	37	-	26	-	-	-	-	32	-	25
7	20	-	-	-	-	15	-	-	-	24	-
8	-	12	-	12	-	-	-	-	23	-	31
9	17	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-
10	-	43	-	26	-	-	-	-	27	-	-
11	20	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-
12	-	32	-	33	-	-	-	-	33	-	-
13	29	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-
14	-	-	-	15	-	-	-	-	23	-	13
15	69	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	77	-	-	-	-	-	-
17	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	64	-	-	-	-	-	-
19	19	-	-	-	-	-	10	-	-	18	-
20	-	-	-	-	66	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	24	-	-	14	-
22	-	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	69	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	22	-	32	-	-	-
25	-	-	-	-	25	-	19	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	15	-	54	-	-	13
27	-	-	-	-	53	-	24	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	13	-	20	-	-	17
29	-	-	-	-	-	-	14	-	25	-	-
30	-	-	22	-	12	18	-	16	-	-	88
31	-	-	-	-	-	-	34	-	21	-	-
32	-	-	10	-	14	15	-	18	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	26	-	30	-	-
34	-	-	17	-	-	11	-	13	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	24	-	16	-	-
36	-	47	14	-	-	-	-	31	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-
38	-	18	14	-	-	-	-	32	-	-	20
39	-	-	-	-	-	-	-	-	11	20	-
40	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	46
41	-	-	-	-	-	-	-	-	11	20	-
42	-	-	97	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-	-	-	15	31	-
44	-	-	86	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	19	10	-
46	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	15	13	-
48	-	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	10	10	8	5	8	12	9	8	17	11	8

Capítulo 6

Conclusão

Foram apresentados dois métodos alternativos de alocação de canal empregando AG distribuído. Uma abordagem trabalha com a compatibilidade eletromagnética e a outra com a mínima relação sinal interferência (SIR). A complexidade aumenta à medida que o número de células cresce na rede, descartando uma solução com AG sequencial, em função do atraso na determinação da solução sem bloqueio, em conjunto com a não violação da compatibilidade eletromagnética, ou na outra abordagem em conjunto com a mínima SIR.

Trabalhando com a compatibilidade eletromagnética, mesmo com uma rede celular de pequeno porte, tráfego moderado e uma quantidade de canais confortáveis o AG sequencial demorou 80 s. Empregando AG distribuído global com quatro processadores, o mesmo problema foi resolvido em menos de 11 s, já o AG distribuído migração unidirecional resolveu o mesmo problema em menos de 2 s. Isso viabiliza a técnica no caso de uma aplicação real, pois o atraso não chega a ser tão crítico para a rede celular. Empregando AG distribuído com temporização baseado na estratégia de migração, a técnica foi testada em mais de um estado (100 estados), com as chamadas em cada estado geradas por uma distribuição de Poisson. Nos resultados obtidos, o desempenho da técnica com processamento distribuído sempre foi superior ao sequencial, além disso os resultados mostraram que a performance do sistema independe do tipo da estratégia de migração considerada. No caso específico do bloqueio em função do tráfego normalizado, enquanto o AG sequencial consegue atender um aumento de tráfego de 20% o distribuído com 4 ou 6 processadores consegue atender um aumento de 60% para um grau de serviço de bloqueio de 5%.

Trabalhando com a mínima relação sinal interferência (SIR), mesmo com uma rede celular de pequeno porte e tráfego moderado o AG sequencial demorou 150 s. Empregando AG distribuído migração unidirecional com quatro processadores, o mesmo problema foi resolvido em menos de 10 s. Isso viabiliza a técnica no caso de uma aplicação real, pois o atraso não chega a ser tão crítico para a rede celular. Empregando AG distribuído migração unidirecional com temporização, a técnica foi testada em mais de um estado (100 estados), com as chamadas em cada estado fornecidas por uma distribuição de Poisson. Nos resultados obtidos, o desempenho da técnica com processamento distribuído sempre foi superior ao sequencial. No caso específico do bloqueio em função do tráfego normalizado, enquanto o AG sequencial consegue atender um aumento de tráfego de apenas 10% o distribuído com 4 processadores consegue atender um aumento de 70% para um grau de serviço de bloqueio de 5%. Já o AG distribuído global para o mesmo problema com 4 processadores conseguiu atender um aumento de tráfego de 90% para um grau de serviço de bloqueio de 5%. Neste trabalho de alocação de canais empregando técnicas evolutivas, houve a preocupação na limitação de tempo na busca do melhor conjunto de canais para atender as chamadas da rede celular, aproximando-se de um caso real.

Em trabalhos futuros sugere-se uma alocação de canais em células de tamanhos diferentes, potência das ERBs diferentes, coeficiente de propagação diferente para cada ERB, correlacionar o coeficiente de propagação com o ambiente (meio rural, meio suburbano, meio urbano) e topologia (plano, montanhoso, tipo de vegetação), inserir deslocamento do usuário (pedestre, veicular urbano/auto-via) no modelo, inserir *handoff*, trabalhar com composição de célula (pico, micro e macro célula), empregar controle de potência para cada ERB e canal utilizado, empregar outras tecnologias de sistemas celulares (GSM, CDMA, UMTS/WCDMA, WiMAX).

Referências

BALUJA, S. Structure and performance of fine grain paralelism in genetic search. In: S. FORREST, GENETIC ALGORITHMS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE, 5., 1993, San Mateo. *Proceeding...* San Mateo: [s.n.], 1993. p. 12-52.

BROWN, K.; GOPALAKRISHNAN, R.; SINGH, S. Transport state handoff in mobile cellular networks. In: COMPUTER COMMUNICATIONS AND NETWORKS PROCEEDINGS SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE, 6., 1997, Las Vegas. *Proceeding...* Washington: IEEE, 1997. p. 122-127.

CANTU-PAZ, E. Topologies: migrations rates, and multi-population parallel genetic algorithms. In: OF THE GENETIC AND EVOLUTIONARY COMPUTATION CONFERENCE-GECCO, 1999, San Francisco. *Proceeding...*San Francisco: [s.n.], 1999. v. 1, p. 91-98.

CENTRO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE ALTO DESEMPENHO- CENAPAD. *Curso de MPI.* [S.l.: s.n.], 2001. Disponível em <<ftp://ftp.cenapadne.br/pub/cenapad/mpi>>. Acesso em: 11 Jan. 2007.

CHIU, Y.; VICTOR, L. Fixed channel assignment in cellular radio networks using a modified genetic algorithm. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, New York, v. 47, n. 1. p. 163-172, 1998.

DAS, S. K.; SEN, S. K. A new location update strategy for cellular networks and its implementation using a genetic algorithm. In: ANNUAL ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING, 3., 1997, Budapest. *Proceeding...* New York: [s.n.], 1997. p. 185-194.

FONSECA JUNIOR, B. J. B. *Análise do uso da alocação dinâmica de canais em sistemas de telefonia celular*. 1999. f. 128. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP, 1999, São Paulo.

GOLDBERG, D. E. *Genetic algorithm in search, optimization and machine learning*. USA: Addison-Wesley, 1989. p. 88-108. ISBN: 0201157675.

GOLDBERG, D. E.; DEB, K. A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms. In: RAWLINS, G.J.E. *Fundamental of genetic algorithms*. Morgan Kaufmann: San Mateo, 1991. p. 69-93.

GORDON, V. S.; MATHIAS K.; WHITLEY D. Cellular genetic algorithms as function optimizers: locality effects. In: SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING, 1994, Arizona. *Proceeding...* New York: [s.n.], 1994. p. 237-241.

GUPTA, S.; VISWANATHAN, R.; MUAMMAR, R. Land mobile radio system. *A tutorial IEEE Communications Magazine*, Puerto Rico, v. 23, n. 6, p. 34-35, Jun. 1985.

HENN, R. W.; KERBY, R. S.; RUSSELL, J. E. AT & T next generation digital cellular base station technology. In: IEEE SWITCHING SYMPOSIUM INTERNATIONAL, 13, 1990. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 1990. v. 6, p. 195-198.

HIROYASU, T.; MIKI, M.; WATANABE, S. The new model of parallel genetic algorithm in mult-objective optimization problems – divided range multi-objective genetic algorithm. In: EVOLUTIONARY COMPUTATION CONGRESS, 2000. *Proceeding...*[S.l.: s.n.], 2000. v. 1, p. 333-340.

HOUCK, C.; JOINES, J.; KAY, M. *A genetic algorithm for function optimization: a matlab implementation*. USA: North Carolina State University, 1995. p. 09-19.

KAMIADAKIS, G. E.; KIRBY II, R. M. *Parallel scientific computing in C++ and MPI*. USA: Cambridge University, 2003. p. 12-58.

KASSOTAKIS, I. E.; MARKAKI, M. E.; VASILAKOS, A. V. A hybrid genetic approach for channel reuse in multiple access telecommunication networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, San Diego, v. 18, n. 2, p. 234-243, 2000.

KHANBARY, L. M. O.; VIDYARTHI, D. P. A GA-based effective fault-tolerant model for channel allocation in mobile computing. *Vehicular Technology, IEEE Transactions*, Waterloo, v. 57, n. 3, p. 1823-1833, May 2008.

MAN, K. F.; TANG, K. S.; KOWNG, S. *Genetic algorithms: concepts and designs*. London: Springer-Verlag, 1999. p. 27-33. ISBN: 1852330724.

MELLO, L. C. *Alocação de canais: análise comparativa para tecnologia TDMA*. 2002. 156f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC, Rio de Janeiro, 2002.

MICHALEWICZ, Z. *Genetic Algorithms + Data Structures: evolution programs*. New York: Springer-Verlag, 1994. p. 84-98.

MIRCHANDANI, P.; XU, Z. Performance analysis of integrated voice/data communication in cellular systems with virtually fixed channel assignment. In: *COMPUTERS AND COMMUNICATIONS ANNUAL INTERNATIONAL PHOENIX CONFERENCE*, 12, 1993, Tempe. *Proceeding...* Tempe: [s.n.], 1993. p.370-375.

MITCHELL, M. *An introduction to genetic algorithms*. London: MIT Press, 1999. p. 17-33.

PATRA, S. S. M.; ROY, K.; BANERJEE, S.; VIDYARTHI, D. P. Improved genetic algorithm for channel allocation with channel borrowing in mobile computing. *Mobile Computing, IEEE Transactions*, Los Alamitos, v. 5, n. 7, p. 884-892, July 2006.

REBONATO, M. T. Introdução a programação paralela com MPI agregados de computadores (clusters). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO. 2004. *Anais...* Itajaí: SBC, 2004. p. 938-955.

REZENDE, S. O. *Sistemas inteligentes: fundamentos de aplicações*. São Paulo: Manole, 2003. p. 66-92.

SCHWARTZ, M. *Móble wireless communications*. New York: Cambridge University Press, 2006. p. 17-41.

SHINODA, A. A.; ALBUQUERQUE, L. C. T. Otimização da alocação de canais em sistemas de comunicação celular empregando algoritmo genético distribuído com temporização. Brazilian. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS, CONTROL AND APPLICATIONS – DINCON, 7, 2008, Presidente Prudente. *Proceeding...* Presidente Prudente: SBMAC, 2008a. p. 1-5.

SHINODA, A. A.; ALBUQUERQUE, L. C. T. Alocação de canais em sistemas de comunicação celular empregando algoritmo genético distribuído e SIR com temporização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÃO – SBrT, 26, 2008, Rio de Janeiro. *Proceeding...* Rio de Janeiro: [s.n.], 2008b. p. 1-5.

SHINODA, A. A.; ALBUQUERQUE, L. C. T.; OLIVEIRA, S. A. Alocação de canais em sistemas de comunicação celular empregando algoritmo genético distribuído global e sir com timeout. In: INTERNATIONAL INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES SYMPOSIUM, 7, 2008, Foz do Iguaçu. *Proceeding...* Foz do Iguaçu: [s.n.], 2008c. p. 1-5.

SHINODA, A. A.; ALBUQUERQUE, L. C. T. Alocação de canais em sistemas de comunicação celular empregando algoritmo genético distribuído. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 4, 2007, Lavras. *Proceeding...* Lavras: [s.n.], 2007a. p. 1-5.

SHINODA, A. A.; ALBUQUERQUE, L. C. T. Alocação de canais em sistemas de comunicação celular empregando algoritmo genético distribuído Global. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE MATEMÁTICA E SUAS APLICAÇÕES, 1, 2007, Ilha Solteira. *Proceeding...* Ilha Solteira: [s.n.], 2007b. p. 1-5.

SHINODA, A. A.; ALBUQUERQUE, L. C. T. Alocação de canais em sistemas de comunicação celular empregando algoritmo genético distribuído e SIR. In: ENCONTRO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 10, 2007, Nova Friburgo. *Proceeding...* Nova Friburgo: Instituto Politécnico/UERJ, 2007c. p. 1-5.

SHINODA, A. A.; YACOUB, M. D. A new set of channel allocation algorithms providing a smooth transition from fully dynamic to totally fixed. *International Journal of Communication Systems*, Inglaterra, v. 12, n. 1, p. 143-151, 1999.

SOARES, G. L. *Algoritmos genéticos: estudos, novas técnicas e aplicações*. 1997. 143f.. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

SHENOY, N.; MONTALVO, R. A Framework for seamless roaming across cellular and wireless local area networks. *wireless communications. IEEE See Also IEEE Personal Communications*, USA, v. 12, n. 3, p. 50-57, June. 2005.

SPIRITO, M. A. On the accuracy of cellular mobile station location estimation. *Vehicular Technology, IEEE Transactions*, USA, v. 50, n. 3, p. 674-685, May. 2001.

WANG, L.; ARUNKUMAR, S.; GU, W. Genetic algorithms for optimal channel assignment in mobile communications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL INFORMATION, 9., 2002. *Processings...* [S.l.: s.n.], 2002. v. 3, p. 1221-1225.

WILLIAM, C. Y. L. *Mobile cellular telecommunications analog and digital*. 2.ed. [S.l.]: McGraw-Hill Professional, 1995. p. 15-36.

YACOUB, M. D. *Foundations of Mobile Radio Engineering*. Boca Raton: CRC Press, 1993. v.1. p. 4-96.

ZOMAYA, A. Y.; WRIGHT, M. Observations on using genetic-algorithms for channel allocation in mobile computing. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, Piscataway, v. 13, n.9, p. 948-962, Sept. 2002.