



Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Teleinformática
Curso de Graduação em Engenharia de Teleinformática

Plataformas e Aplicações da Computação Móvel

Pedro Rafael Silva Lopes

Fortaleza – Ceará
Novembro/2008



Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Teleinformática
Curso de Graduação em Engenharia de Teleinformática

Plataformas e Aplicações da Computação Móvel

Autor

Pedro Rafael Silva Lopes

Orientador

Prof. Dr. Francisco Rodrigo Porto Cavalcanti

Projeto Final de Curso submetido à
Coordenação do Programa de
Graduação em Engenharia de
Teleinformática da Universidade
Federal do Ceará como parte dos
requisitos para obtenção do grau de
Engenheiro de Teleinformática.

Fortaleza – Ceará
Novembro/2008

Pedro Rafael Silva Lopes

Plataformas e Aplicações da Computação Móvel

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro de Teleinformática e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará.

Pedro Rafael Silva Lopes

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Rodrigo Porto Cavalcanti
Orientador

Dr. Yuri Carvalho Barbosa Silva
Universidade Federal do Ceará

Dr. Walter da Cruz Freitas Júnior
Universidade Federal do Ceará

Fortaleza, 6 de Novembro de 2008.

Resumo

O uso de dispositivos móveis está em grande ascensão, conseqüentemente, também cresce a demanda dos consumidores por novos tipos de aplicações. Assim, o estudo das plataformas de computação móvel tem se intensificado bastante, de forma a procurar atender a essa demanda. Com esse estudo, novas tecnologias surgiram. Um fator limitante no desempenho da internet móvel é a interferência co-canal. Essa interferência é causada pelo reuso de frequência em células adjacentes a fim de se aumentar a capacidade do sistema. Funcionalidades especiais são adicionadas ao sistema de forma a lidar com a interferência e melhorar seu desempenho. Entre tais funcionalidades pode-se destacar: o controle de potência, diferentes padrões de reuso de frequência e antenas adaptativas. O objetivo deste trabalho é aplicar técnicas de otimização para avaliação do desempenho dessas funcionalidades. Inicialmente, será apresentada uma visão geral do que são estas funcionalidades, mostrando que elas consistem em parâmetros de técnicas de otimização das comunicações móveis da próxima geração. A metodologia utilizada foi simulações computacionais através do simulador 3G Wise do GTEL. Avaliamos o desempenho do sistema de comunicação sem fio da próxima geração e obtivemos os seguintes ganhos de desempenho para um critério de satisfação de usuários de 95%: 0,19 Erl/MHz/célula para controle de potência habilitado, 0,88 Erl/MHz/célula para reuso de frequência 1/1, taxa de bloqueio muito alta para reuso de frequência 4/12 e 3,17 Erl/MHz/célula para antena com 4 feixes de comutação. Como conclusão deste trabalho pode se destacar a utilização de otimização de parâmetros para se aumentar o desempenho de sistemas de comunicações móveis de próxima geração mitigando o efeito da interferência introduzido pelo reuso de frequência.

Abstract

The use of mobile devices is growing and, consequently, so is the demand of consumers for new types of applications. The study of mobile computing platforms has been enhanced significantly in order to try to cope with this demand. With this study, new technologies have emerged. One limiting factor in the performance of the mobile Internet is the co-channel interference. This interference is caused by the reuse of frequencies in adjacent cells in order to increase the capacity of the system. Special features are added to the system in order to deal with interference and improve performance. Among these features can be highlighted: the power control, different frequency reuse patterns and adaptive antennas. The purpose of this study is to apply optimization techniques for assessing the performance of these features. Initially, there will be an overview of what are these features, showing that they consist of technical parameters of the optimization of mobile communications for the next generation. The methodology consisted of using the 3G Wise simulator of GTEL for performing the computational simulations. We evaluated the performance of the next-generation wireless communication system and achieved the following gains in performance for a general satisfaction of users of 95%: 0.19 Erl/MHz/cell with power control enabled, 0.88 Erl/MHz/ cell with a frequency reuse of 1/1, very high blocking rates with a 4/12 frequency reuse and 3.17 Erl/MHz/ cell with 4 switched fixed beams. The conclusion of this work highlights the use of parameter optimization to increase the performance of mobile communications systems of the next generation, thus mitigating the effect of interference introduced by the frequency reuse.

Dedico este trabalho ao meu pai Sandro e à minha mãe Marly.

Agradecimentos

Agradeço a todos que colaboraram, mesmo que indiretamente, durante este período.

Primeiramente à minha família que sempre apoiou meus estudos.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI) pelos conhecimentos passados ao longo desses quatro anos.

Em especial ao meu professor orientador Francisco Rodrigo Porto Cavalcanti pela oportunidade, confiança, críticas e, sobretudo pela indispensável orientação.

Por último, mas não menos importante, ao GTEL pelo apoio do projeto.

E, finalmente, à Universidade Federal do Ceará (UFC) através do DETI pela estrutura física.

“Não há nada que seja maior evidência de insanidade do que fazer a mesma coisa dia após dia e esperar resultados diferentes.”
Albert Einstein

Sumário

Lista de Figuras	vii
1 Introdução	1
1.1 As Telecomunicações	1
1.2 A Interferência	2
1.3 O Simulador	2
1.4 Objetivo.	5
1.5 Organização do Trabalho	5
2 Metodologia Adotada	6
2.1 Simulação	6
2.1 3G Wise	6
3 Resultados Experimentais	14
4 Conclusões e Perspectivas	19

Lista de Figuras

1	Padrões de radiação de antena de 4 (a) e 8 (b) feixes fixos comutáveis	4
2	Interface gráfica orientada a web	7
3	Controle completo de simulações submetidas	8
4	Monitoramento do progresso dos resultados gerados através de gráfico (a) e tabela de dados (b)	8
5	Algumas características e funcionalidades que o módulo GSM/EDGE suporta como parâmetros gerais (a), do enlace de rádio (b), de voz (c) e de dados (d)	10
6	Modelo de atividade de voz de dois estados	12
7	Modelo de medida e envio do relatório no canal de retorno	13
8	Simulação com controle de potência habilitado	15
9	Simulação com reuso de frequência 1/1	16
10	Simulação com reuso de frequência 4/12	17
11	Simulação com antena com 4 feixes de comutação.	18

Lista de Tabelas

1	Cálculo da potência recebida em dBm	.	.	.	12
2	Parâmetros do modelo de tráfego de voz	.	.	.	13

Introdução

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta uma visão geral das plataformas e aplicações da computação móvel. Na Seção 1.1, será apresentado um breve comentário do estado atual das telecomunicações e o principal fator limitante no desempenho do simulador, descritos nas Seções 1.2 e 1.3. A Seção 1.4 apresenta o objetivo deste trabalho, cuja organização encontra-se descrita na Seção 1.5.

1.1 As Telecomunicações

O avanço tecnológico vem trilhando um caminho ímpar no ramo das telecomunicações, objetivando gerar suportes para esse novo paradigma. Nos últimos 20 anos vem crescendo a demanda por sistemas de telecomunicações ágeis e confiáveis em função do fenômeno da globalização e por diversos outros serviços surgidos com a fusão da telefonia com a informática. São muitos os sistemas existentes e a cada dia o aumento de capacidade e a qualidade de serviços desses sistemas são investigados através de Técnicas de Otimização.

Com o fenomenal crescimento dos serviços WWW (World Web Wide) não se deve dispensar esforços objetivando viabilizar conexão entre os recursos da telefonia móvel e da internet. Serviços de e-mail, conexão remota, salas de bate-papo, conferência e leitura de páginas da WWW são propostas para novos serviços que a telefonia móvel de terceira geração (3G) disponibilizará. Desse modo, a internet móvel disponibilizará informação a qualquer hora e em qualquer lugar, com maior rapidez e com razoável custo.

1.2 A Interferência

Um fator limitante no desempenho da internet móvel é a interferência co-canal. Essa interferência é causada pelo reuso de frequência em células próximas a fim de se aumentar a capacidade do sistema. Funcionalidades especiais são adicionadas ao sistema de forma a lidar com a interferência e melhorar o desempenho do sistema. Entre tais funcionalidades pode-se destacar: o controle de potência, diferentes padrões de reuso de frequência e antenas adaptativas.

O controle de potência é uma técnica comumente empregada no gerenciamento da interferência. Como seu princípio consiste em maximizar a SINR alvo, essas bases podem estimar potências menores para uso na comunicação dos móveis mais próximos às bases em relação às dos móveis mais distantes, reduzindo-se assim a interferência.

Outra técnica bastante importante é a utilização de diferentes padrões de reuso variando o número de células por cluster. Um cluster é um conjunto de células próximas que compartilham os canais existentes. Desta forma, dividindo-se todos os canais por um número maior de células por cluster, pode-se reduzir a interferência co-canal apenas diminuindo o número de canais por célula, além da distância entre as co-células também aumentar.

Já o uso de antenas inteligentes é uma das técnicas que possui melhor desempenho na redução de interferência. Existem vários tipos, porém o escolhido neste projeto para otimização foi um dos mais comuns: a antena com 4 feixes de comutação. Este tipo de antena concentra o sinal enviado em uma das quatro direções específicas, no caso a melhor. Além de reduzir a interferência aumenta a potência do sinal recebido no móvel.

1.3 O Simulador

Em geral, o controle de potência no downlink não é uma funcionalidade mandatória. No entanto, um algoritmo de controle de potência arbitrário pode ser implementado nas estações bases respeitando as restrições impostas pelo padrão. As características de potência das estações bases e móveis são descritas em [1,2].

Entre os padrões restringidos em [1,2], a faixa de potência dinâmica, limitada em 30dB para serviços de voz e 10dB para serviços de dados, e o uso de níveis de potência discretos, com um passo de 2dB, são suportados pelos simuladores. A máxima potência de transmissão é limitada em 35dBm, no entanto a faixa de potência dinâmica e o passo de potência podem ser definidos com valores diferentes dos seus padrões.

O simulador permite atualmente escolher um único algoritmo de controle de potência para todos os serviços. No entanto, os parâmetros do controle de potência podem ser configurados para cada serviço de forma independente. A máxima e mínima potência de transmissão podem ser definidas permitindo configurar adequadamente as faixas dinâmicas de controle de potência para serviços de voz e dados. Além disso, o passo de potência também pode ser configurado para qualquer nível arbitrário. No entanto, a razão $(P_{\max} - P_{\min})/dP$ deve ser um número inteiro, onde $P_{\max}$, $P_{\min}$ e dP são os níveis de potência máxima e mínima, e o passo de potência, respectivamente. Além de restrições lógicas, tais como o $P > 0$ e $P_{\max} > P_{\min}$, nenhuma restrição é imposta sobre os níveis de potência de transmissão. É preciso notar, contudo, que o link-budget do sistema também deve ser proporcionalmente ajustado.

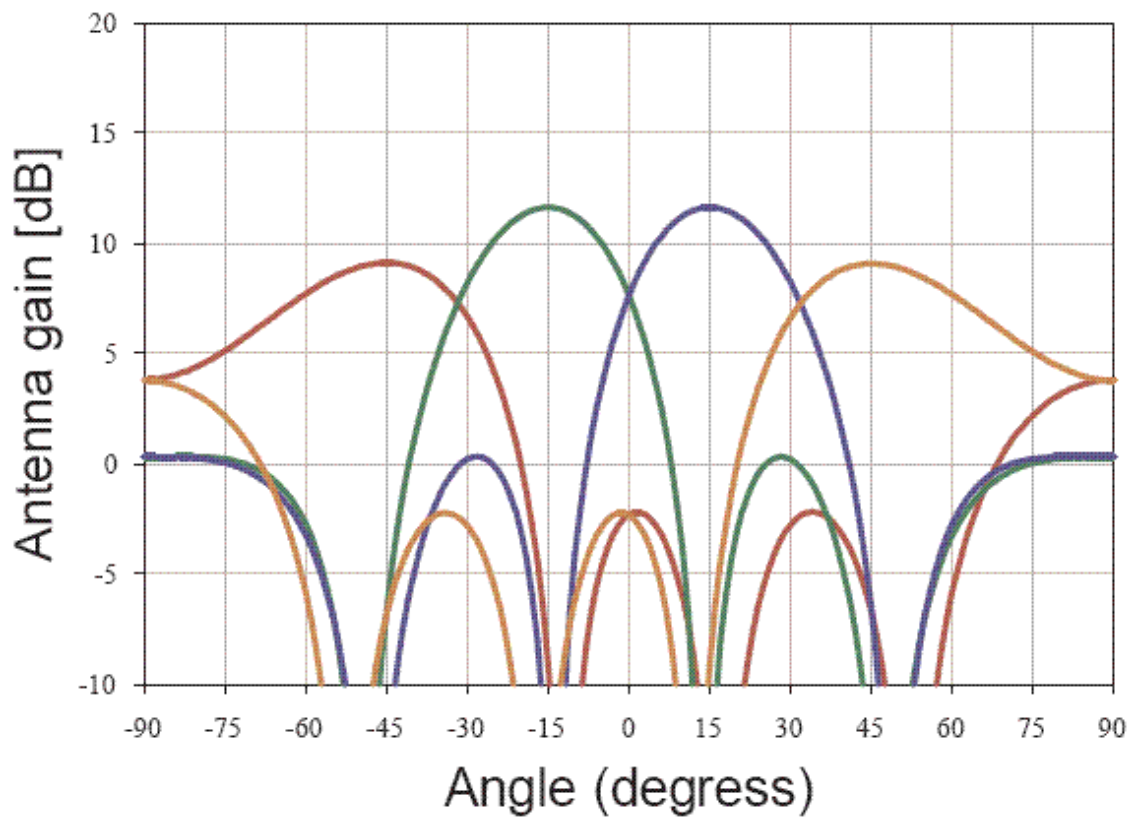
O simulador suporta o uso de antenas adaptativas no seu modo de filtragem espacial, ou seja, visando redução da potência irradiada para direções não desejadas. A redução da interferência provida pelas antenas inteligentes permite a aplicação de padrões mais rigorosos de reuso, resultando em uma maior capacidade. Como uma alternativa, antenas adaptativas podem ser empregadas para permitir que o espectro de frequência seja reutilizado dentro da mesma célula, ou seja, os usuários suficientemente distantes uns dos outros seriam capazes de compartilhar o mesmo canal simultaneamente. Esta aplicação de antenas adaptativas é chamada Reuso de Mesma Célula (SCR). Duas técnicas que permitem SCR são o Space Division Multiple Access (SDMA) e o Channel Allocation Tiering (CHAT).

A ferramenta de simulação GERAN suporta dois tipos de antenas inteligentes: feixe adaptativo e feixes fixos comutáveis. A geração do padrão efetivo de antena leva em conta aspectos como o espalhamento angular e redução de Side Lobe Level (SLL).

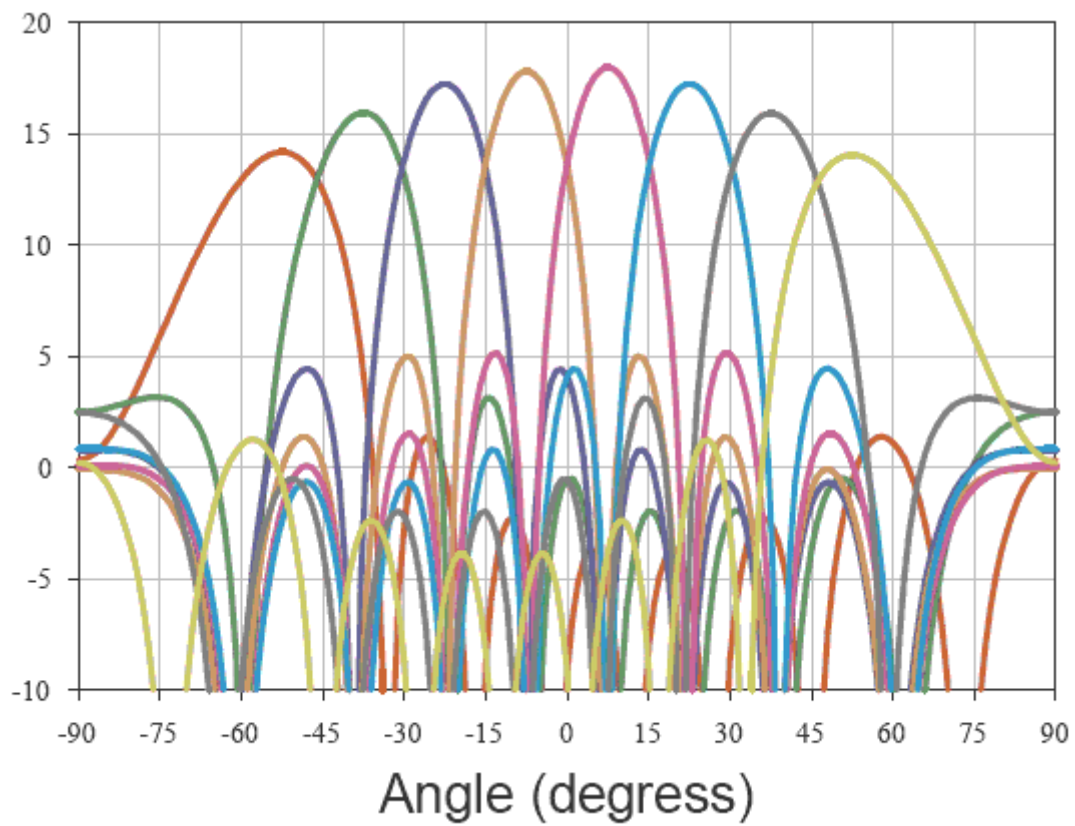
A utilização de um grupo de feixes fixos, que apontam para direções pré-definidas, e a aplicação de um algoritmo para realizar seleção de feixe, representa uma antena adaptativa aproximada muito menos complexa do que feixe adaptativo, mas ainda com um desempenho bastante razoável.

Além da menor complexidade, a sua integração com as redes celulares não requer significativas modificações no sistema. Em [3], por exemplo, o desempenho de uma antena adaptativa de feixes fixos comutáveis de oito elementos é avaliado dentro de uma rede GSM comercial.

A Figura 1 apresenta os padrões de radiação de antena adaptativa de quatro e oito feixes fixos comutáveis [4]. Os feixes foram gerados através do algoritmo Filtro Casado Espacial (SMF).



(a)



(b)

Figura 1: Padrões de radiação de antena de 4 (a) e 8 (b) feixes fixos comutáveis

1.4 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo o estudo de técnicas de otimização de parâmetros aplicadas no contexto das comunicações móveis de próxima geração, estudo das ferramentas computacionais de modelagem de sistemas de comunicações móveis de próxima geração, avaliação do desempenho das funcionalidades de controle de potência, reuso de frequência e antenas adaptativas e revisar e estudar o simulador 3G Wise utilizando técnicas de otimização para obter ganho de eficiência espectral na rede, mudando seus parâmetros e atingindo um mínimo de 95% de satisfação e um máximo de 2% de taxa de bloqueio.

1.5 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 é feita uma apresentação do método proposto e, no Capítulo 3, os resultados obtidos serão exibidos e avaliados. No Capítulo 4, encontram-se as conclusões finais e as perspectivas de trabalhos futuros.

Metodologia Adotada

Neste Capítulo, a metodologia adotada para simulações será apresentada. Na Seção 2.1 será explanado o porquê da escolha de simulações computacionais. Em seguida, na Seção 2.2, será apresentado as funcionalidades do simulador 3G Wise.

2.1 Simulação

Nos complexos sistemas de comunicação sem fio, a simulação computacional aparece como uma efetiva análise e abordagem amplamente utilizada para avaliar o desempenho do sistema e propor melhorias em suas principais funções e aspectos arquitetônicos. No entanto, esta abordagem exige um esforço substancial na seleção, desenvolvimento e aplicação de modelos capazes de fornecer informação esclarecedora sobre o sistema. Além disso, um considerável esforço deve ser também dedicado à seleção adequada de ferramentas de software que permita a utilização eficaz de recursos computacionais.

2.2 3G Wise

3G Wise é um simulador de sistema 3G sem fio desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Telecomunicações Sem Fio (GTEL) na Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada em Fortaleza, Brasil.

Este simulador é uma ferramenta de software que permite a avaliação de desempenho de duas redes de acesso de rádio UMTS diferentes, chamadas GERAN (GSM/EDGE) e UTRAN (WCDMA), através da utilização de uma coleção de modelos que vão desde funções de protocolo à gestão de recursos de algoritmos.

Essas engenhosas simulações são encapsuladas no mesmo ambiente de software e elas partilham muitos modelos de simulação de níveis do

sistema uma vez que ambos são baseados em simulações dinâmicas em tempo discreto e avalia-se o link de transmissão do canal de rádio do celular. No entanto, elas emulam o comportamento de diferentes RANs e, conseqüentemente, aspectos relativos a protocolos de interface de rádio e camada física são modelados separadamente.

3G Wise tem o objetivo de prever o desempenho de sistemas e serviços celulares 3G em termos de capacidade e Qualidade de Serviço (QoS). 3G Wise não é uma ferramenta de planejamento, mas um software capaz de gerar resultados úteis para estudantes acadêmicos e apoiar decisões tomadas no planejamento e dimensionamento de redes sem fio.

Neste momento, 3G Wise oferece um completo e dinâmico modelo de enlace de transmissão de rede GSM/EDGE, sistema padrão com várias funcionalidades e serviços sem fio além de algumas funcionalidades avançadas não-padrão, tais como antenas inteligentes.

3G Wise foi implementado em C++ e possui uma interface web (3gwise.gtcl.ufc.br). Algumas de suas funcionalidades são:

- Interface gráfica orientada a web (Figura 2);



Figura 2: Interface gráfica orientada a web

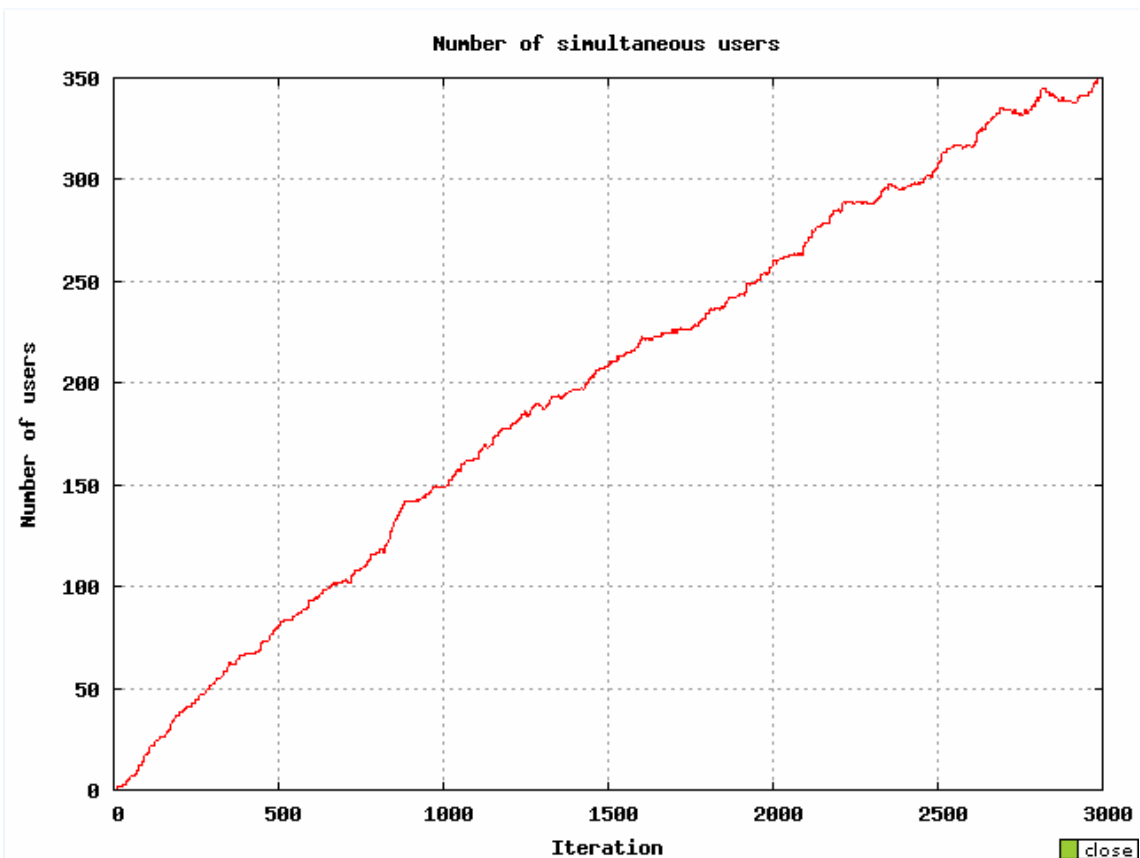
- Controle completo de simulações submetidas (Figura 3);

REFRESH

Id	Type	Label	Start date	Elapsed time	Status	Delete	Results
1	GSM/EDGE	SIMULATION	30/11/2004 - 11:07	21s	Running 10%		
2	GSM/EDGE	SIMULATION	30/11/2004 - 11:06		Running Transient Period		
3	GSM/EDGE	SIMULATION	30/11/2004 - 10:49	18min 5s	Running 1%		
4	GSM/EDGE	SIMULATION	29/11/2004 - 19:04	16min 2s	Finished 100%		
18	GSM/EDGE	SIMULATION	29/11/2004 - 18:53	6min 35s	Finished 100%		

Figura 3: Controle completo de simulações submetidas

- Monitoramento do progresso dos resultados gerados (Figura 4);



(a)

SIMULATION RESULTS SUMMARY	
VOICE RESULTS	
Number of EFR mobile stations which tried to enter the system	1152
Number of finished EFR calls	551
Number of blocked EFR calls	0
Number of dropped EFR calls	0
Number of satisfied EFR calls	542
EFR interference limitation index (%)	47.5651
EFR noise limitation index (%)	52.4349
Number of ongoing EFR calls at the end of the simulation	709
Number of active/concurrent EFR calls	412
Total number of intercell handovers	210
Total number of intracell handovers	0
Spectral efficiency in Erl/MHz/cell for the EFR traffic	4.21946
Offered load in Erl/cell for the EFR traffic	10.1267
System blocking rate for the EFR traffic	0

close

(b)

Figura 4: Monitoramento do progresso dos resultados gerados através de gráfico (a) e tabela de dados (b)

- Download dos resultados gerados;
- Documentação completa online [4].

Entre as características e funcionalidades particulares que o módulo GSM/EDGE suporta estão (Figura 5):

- Mobilidade pedestre e veicular, incluindo suporte a handovers;
- Modelagem de ambiente de radio propagação;
- Modelos de tráfego de dados (www, wap, e streaming) e voz;
- Modelagem detalhada da pilha de protocolos;
- Controle de potência;
- Diferentes padrões de reuso de frequência;
- Funcionalidades padrões do sistema:
 - o Suporte para terminais multislot;
 - o Salto em frequência (aleatório e cíclico);
 - o Algoritmo de escalonamento de pacotes;
 - o Dois codificadores de voz;
- Opções de funcionalidades:
 - o Antenas setorizadas;
 - o Sistema de antenas inteligentes;

- o Arranjo de feixes de comutação de antenas (4 ou 8 elementos);
- o Direcionamento de feixes adaptativo;
- o Ajuste de potência baseado em serviço (SBPS);
- Várias métricas de saída de nível de sinal, medições de capacidade e QoS:
 - o Vazão média de pacotes;
 - o Níveis interferentes, entre outros;
- Na verdade, a ferramenta de simulação GSM/EDGE tem diversos outros recursos que não foram disponibilizados com a interface 3G Wise, entre eles:
 - o Múltiplo acesso por divisão do espaço (SDMA);
 - o Alocação de canal prioritária para o serviço de voz;
 - o Escalonamento espaço temporal;
 - o Algoritmos de controle de potência de Foschini e Almgren com e sem compensação de tempo de atraso (TDC);
 - o Alocação Dinâmica de Canal (DCA) baseada em nível de sinal com vários modos de operação;
 - o Modos de medição e relatório ideal e não ideal para adaptação de enlace (LA), PC e DCA.

Como ilustrado na Figura 5, são mostradas telas da ferramenta de simulação nas quais os resultados deste relatório foram atualizados.

The screenshot displays the 'EDGE' simulation software interface. At the top, there is a navigation bar with the following tabs: 'General Settings', 'Radio Link Parameters', 'Voice Parameters', 'Data Parameters', and 'Run Simulation'. The 'General Settings' tab is currently selected. Below the navigation bar, the 'General Settings' section is visible, containing various configuration options:

- Mobility Profile:** Pedestrian at 3km/h (dropdown menu)
- Antenna Model:** Tri-Sectoral (dropdown menu)
- Number of Interference Layers:** 1 (input field)
- Transmission Power Control Step(dB):** 2 (input field)
- Number of sessions to be simulated:** 10000 (input field)
- Start collection of statistics at iteration:** 30000 (input field)
- Frequency Reuse Pattern:** 1/3 (dropdown menu)
- Frequency Hopping Model:** Random (dropdown menu)
- Number of Hopping Frequencies:** 12 (input field)
- TRX per sector:** 1 (input field)
- Allocable channels per TRX:** 8 (input field)
- Reserved data channels per TRX:** 1 (input field)
- Service Options (checkboxes):**
 - ☒ Enable EFR Voice Service
 - ☐ Enable AMR Voice Service
 - ☐ Enable WWW Service
 - ☐ Enable WAP Service
 - ☐ Enable STREAMING 32

(a)

EDGE Simulation Label: **SIMULATION** Default Values

> General Settings > Radio Link Parameters > Voice Parameters > Data Parameters > Run Simulation

Radio Link Specifications

Maximum Transmission Power:	35	Path Loss Model	IMT-2000
Base Station Losses [dB]	2	City size for the path loss model	Small/Me.
Base Station Antenna Gain [dBi]	13	Propagation environment	Urban
Voice Mobile Station Antenna Gain [dBi]	0	System Frequency [MHz]	1900
Data Mobile Station Antenna Gain [dBi]	2	Base Station Height [m]	15
Shadow Fading Standard Deviation [dB]	6	Mobile Station Height [m]	1.5
Shadow Fading decorrelation distance [km]	0.11	Cell Radius [km]	1
Shadow Fading spatial correlation coefficient	0.4		

(b)

EDGE Simulation Label: **SIMULATION** Default Values

> General Settings > Radio Link Parameters > Voice Parameters > Data Parameters > Run Simulation

Voice Traffic Specifications

Average Voice Call Duration (s)	120
Voice Traffic Model	Voice with DTX

EFR Voice Users interarrival time(s)	20	AMR Voice Users interarrival time(s)	20
☒ Enable Power Control for EFR Voice		☒ Enable Power Control for AMR Voice	
Maximum EFR Transmission Power	35	Maximum AMR Transmission Power	35
Minimum EFR Transmission Power	5	Minimum AMR Transmission Power	5
EFR Initial Transmission Power	35	AMR Initial Transmission Power	35

(c)

EDGE Simulation Label: **SIMULATION** Default Values

> General Settings > Radio Link Parameters > Voice Parameters > Data Parameters > Run Simulation

Data Traffic Specifications

Scheduling Algorithm	FIFS				
WWW Users interarrival time(s)	20	WAP Users interarrival time(s)	20	STR32 Users interarrival time(s)	20
WWW Traffic Model	Model 2 - ERICS				

☐ Enable Power Control for WWW	☐ Enable Power Control for WAP	☐ Enable Power Control for STR32
Maximum WWW Transmission Power	Maximum WAP Transmission Power	Maximum STR32 Transmission Power
Minimum WWW Transmission Power	Minimum WAP Transmission Power	Minimum STR32 Transmission Power
WWW Initial Transmission Power	WAP Initial Transmission Power	STR32 Initial Transmission Power

WWW Multislot Capability	WAP Multislot Capability	STR32 Multislot Capability
☒ Adjacent Multislot Allocation	☒ Adjacent Multislot Allocation	☒ Adjacent Multislot Allocation
☒ Strict Multislot Allocation	☒ Strict Multislot Allocation	☒ Strict Multislot Allocation

(d)

Figura 5: Algumas características e funcionalidades que o módulo GSM/EDGE suporta como parâmetros gerais (a), do enlace de rádio (b), de voz (c) e de dados (d)

As características mencionadas anteriormente ficaram de fora da interface, tanto porque são incompatíveis entre si, ou exigiriam um grau excessivo de sofisticação para a interface web.

Em cenários de serviços mistos, usuários de voz têm prioridade sobre os usuários de dados, mas canais arbitrários são sempre reservados para tráfego de dados a fim de evitar a interrupção completa deste serviço.

As principais atenuações do sinal consideradas para o modelo de propagação é a perda de percurso média e os desvanecimentos de grande e pequena escala. A perda de percurso média corresponde à perda média de potência sofrida pelo sinal devido à propagação através do ar e à presença de obstáculos, utilizando-se o modelo de Okumura-Hata [5].

O desvanecimento de larga escala, ou sombreamento, é a flutuação do nível potência recebida causada pela obstrução do caminho de propagação por grandes obstáculos (com centenas de metros), usualmente modelado através de uma variável aleatória com distribuição log-normal de média zero.

Já o desvanecimento de pequena escala, ou fast fading [6, 7, 8], tem como causa diversas reflexões ao longo do percurso através da chegada simultânea de múltiplas réplicas do sinal, utilizando-se o modelo de Jakes [9]. A Tabela 1 representa o resumo do cálculo da potência recebida.

Tabela 1: Cálculo da potência recebida em dBm

Parâmetro	Valor
Potência de transmissão (P_t)	35 dBm (max.)
Perda de percurso (P_L)	$128.1 + 37.6\log_{10}(d)$
Sombreamento (G_S)	$\sqrt{p}G_S^m + \sqrt{(1-p)}G_S^b$
Coef. correlação sombreamento (p)	0,4
Fast fading (G_f)	modelado nível enlace [10]
Perdas na ERB (L_{ERB})	2 dB
Ganho da antena de transmissão ($G_{a,tx}$)	13 dBi
Ganho da antena de recepção ($G_{a,rx}$)	0 dBi (voz) e 2 dBi (dados)
Potência recebida (P_r)	$P_t + G_{a,tx} + G_{a,rx} - P_L - G_S - L_{ERB}$

O modelo de tráfego de voz adotado [11] é implementado na forma de uma cadeia de Markov de dois estados e baseia-se na utilização de um detector de atividade de voz lento, conforme mostrado na figura 6.

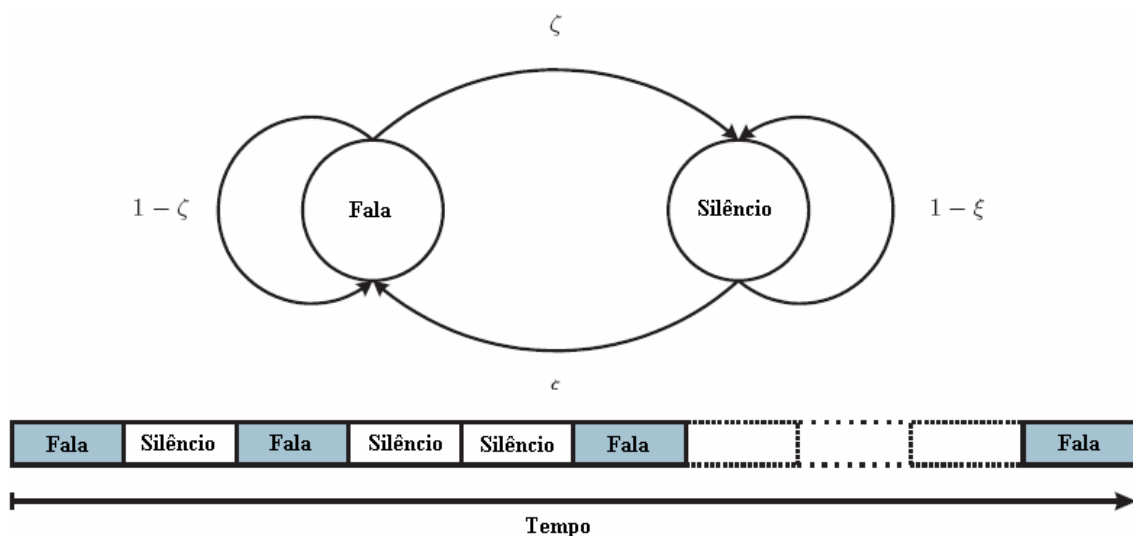


Figura 6: Modelo de atividade de voz de dois estados

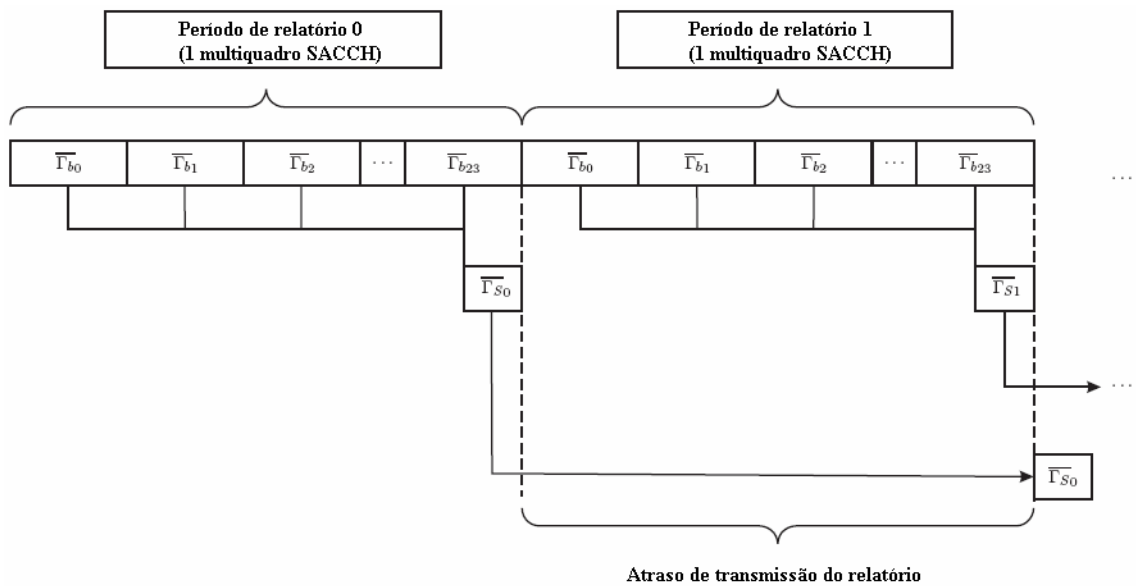
Tabela 2: Parâmetros do modelo de tráfego de voz

Parâmetro	Valor	Unidade
Número de estados	2 (Fala e Silêncio)	-
Período de fala (t_{on})	1,1	s
Período de silêncio (t_{off})	0,7	s
Probabilidade de transição de estado	0,3536	-
Probabilidade de transição de estado	0,4963	-
Período mínimo de silêncio do DTX	480 (1 multiquadro SACCH)	ms
Duração da chamada	120	s

O simulador modela dois codecs de voz, o EFR (Enhanced Full Rate) e o MR59FR (Multi-Rate at 5.9 kbps with Full Rate) [10].

Dois modelos de relatório de indicador de qualidade são implementados no simulador usando a SINR: o ideal e o não-ideal. No modo ideal, atrasos de transmissão não são considerados e as medidas de SINR estão disponíveis a cada bloco de rádio (20ms).

No não-ideal, o atraso de transmissão é capturado a cada período de relatório. A figura 7 ilustra o modelo implementado para o período de relatório padrão de 24 blocos de rádio (480ms).

**Figura 7:** Modelo de medida e envio do relatório no canal de retorno

O critério de Qualidade de Serviço (QoS) de voz [10], o qual determina a satisfação de cada usuário, é expressa em termos da taxa de apagamento de quadros (FER). Esta taxa deve ser menor que 1% para o codec EFR e menor que 0,6% para o MR59FR. O simulador mapeia, a nível de enlace, a FER através da SINR.

Resultados Experimentais

Neste Capítulo avaliamos o desempenho do sistema GSM/EDGE considerando as seguintes funcionalidades como o Cenário de Referência através dos seguintes parâmetros:

- Mobilidade pedestre a 3km/h;
- Antena tri-setorizada;
- 2 camadas interferentes;
- Passo de 1dB de controle de potência de transmissão;
- 10.000 seções simuladas;
- Estatísticas começam a ser coletadas na 30.000^a iteração;
- Reuso de frequência 1/3;
- Salto em frequência aleatório;
- 12 frequências de salto;
- Tráfego de voz com DTX;
- Controle de potência desabilitado;

Assim, comparando algumas simulações com o Cenário de Referência podemos perceber que, de um modo geral, as curvas possuem uma tendência decrescente. Isto acontece devido ao aumento da Eficiência Espectral gerando uma maior carga no sistema. Desta forma, existe uma expectativa da diminuição da Satisfação de cada usuário.

O ganho calculado em relação ao Cenário de Referência é calculado através da diferença do valor de Eficiência Espectral com 95% de usuários satisfeitos entre a curva da simulação estudada e a do Cenário de Referência. Outro parâmetro de controle de satisfação é a taxa de bloqueio, cujo valor máximo tolerado é 2%.

Na simulação com controle de potência habilitado (Figura 6) obtemos um ganho de 0,19 Erl/MHz/célula. O ganho obtido através desta funcionalidade não é tão expressivo porque a SINR alvo do controle de potência, a qual não está disponível para ajuste na interface web, não pôde ser otimizada para esse cenário específico. É esperado que, para valores adequados de SINR alvo, ganhos mais expressivos sejam obtidos.

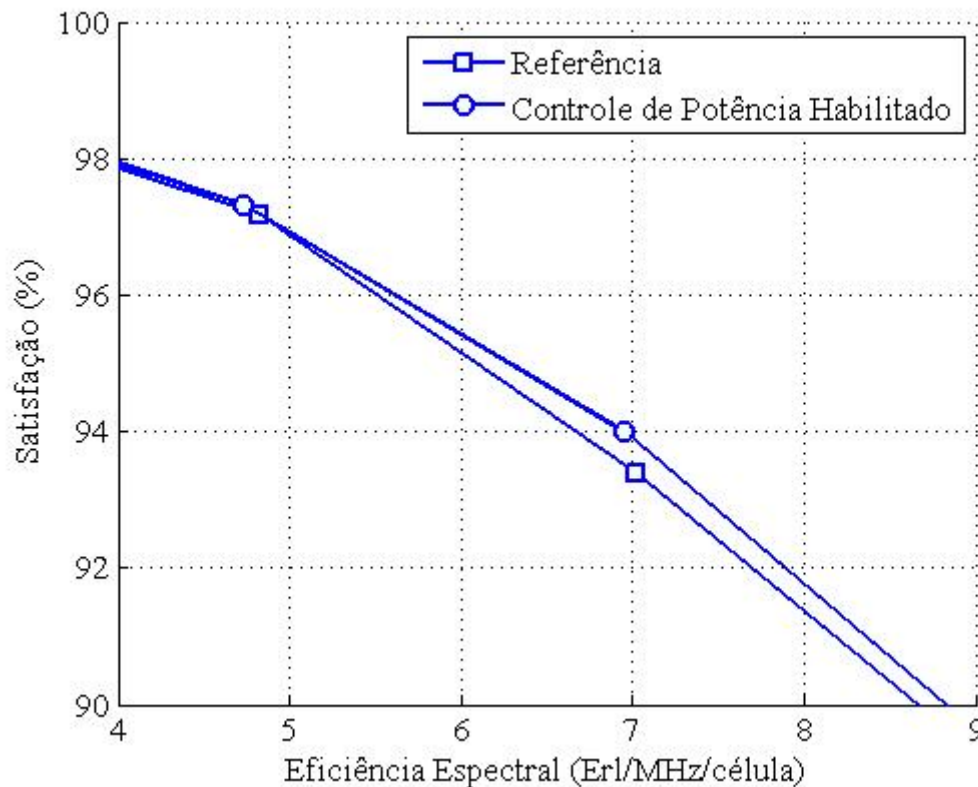


Figura 8: Simulação com controle de potência habilitado

Já na simulação com reuso de frequência 1/1 (Figura 7) obtemos um ganho de 0,88 Erl/MHz/célula. Na utilização deste padrão de reuso dividiu-se os canais existentes por um mesmo número de células de um cluster, porém um número menor de setores. Desta forma, pôde-se aumentar a Eficiência Espectral, pois, apesar da interferência co-canal ter também aumentado, a reutilização de frequência mais agressiva possui um aproveitamento dos recursos bem superior. É importante ressaltar que o reuso 1/1 foi capaz de apresentar ganhos, apesar da interferência, devido a certas técnicas já consideradas pelo Cenário de Referência, como o salto em frequência aleatório e a transmissão descontínua (DTX). Sem estas técnicas a eficiência espectral do reuso 1/1 seria pior que a do reuso 1/3.

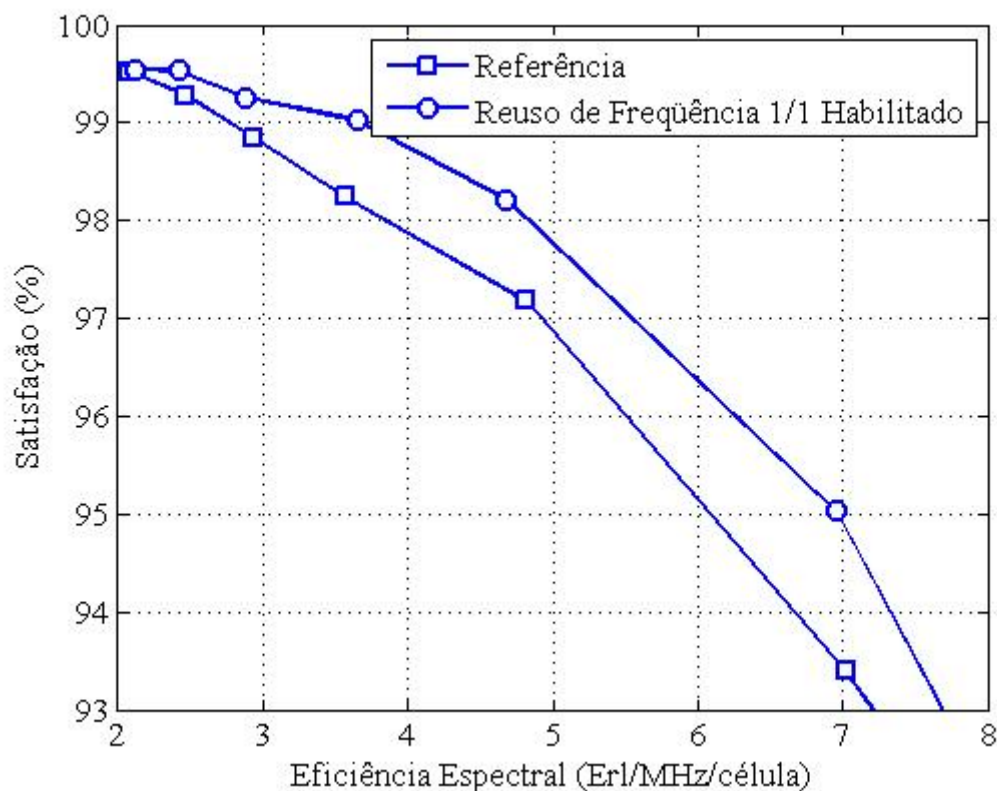


Figura 9: Simulação com reuso de frequência 1/1

Porém na simulação com reuso de frequência 4/12 (Figura 8), embora haja um ganho significativo de satisfação dos usuários para uma dada eficiência espectral, obtemos uma taxa de bloqueio superior ao limite tolerado de 2%. Isto é consequência do fato de que em um reuso menos agressivo, o número de canais disponíveis por célula é inferior e, com o aumento da carga, há um aumento da taxa de bloqueio. Esta taxa de bloqueio é superada com um pouco menos de 98% dos usuários satisfeitos e com uma Eficiência Espectral em torno de 5,5 Erl/MHz/célula, o que corresponde no reuso 1/3 à apenas 4 Erl/MHz/célula.

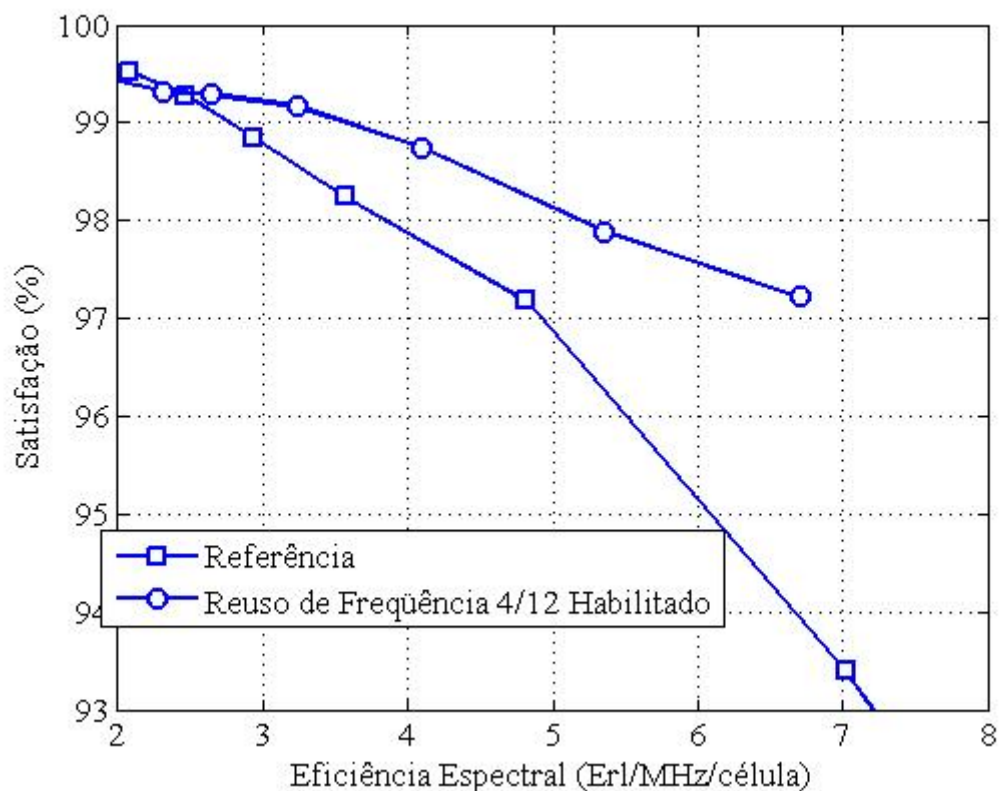


Figura 10: Simulação com reuso de frequência 4/12

Finalmente, na simulação com antena com 4 feixes de comutação (Figura 9) obtemos um ganho de 3,17 Erl/MHz/célula. Esta foi a simulação que teve melhor desempenho, pois através deste tipo de antena pode-se concentrar melhor a energia na direção do usuário. É importante observar que a antena de 4 feixes comutados é mais adequada para cenários com forte Linha de Visada (LOS). Para cenários sem ou com pouca LOS, ambientes indoor, por exemplo, antenas totalmente adaptativas seriam mais recomendadas.

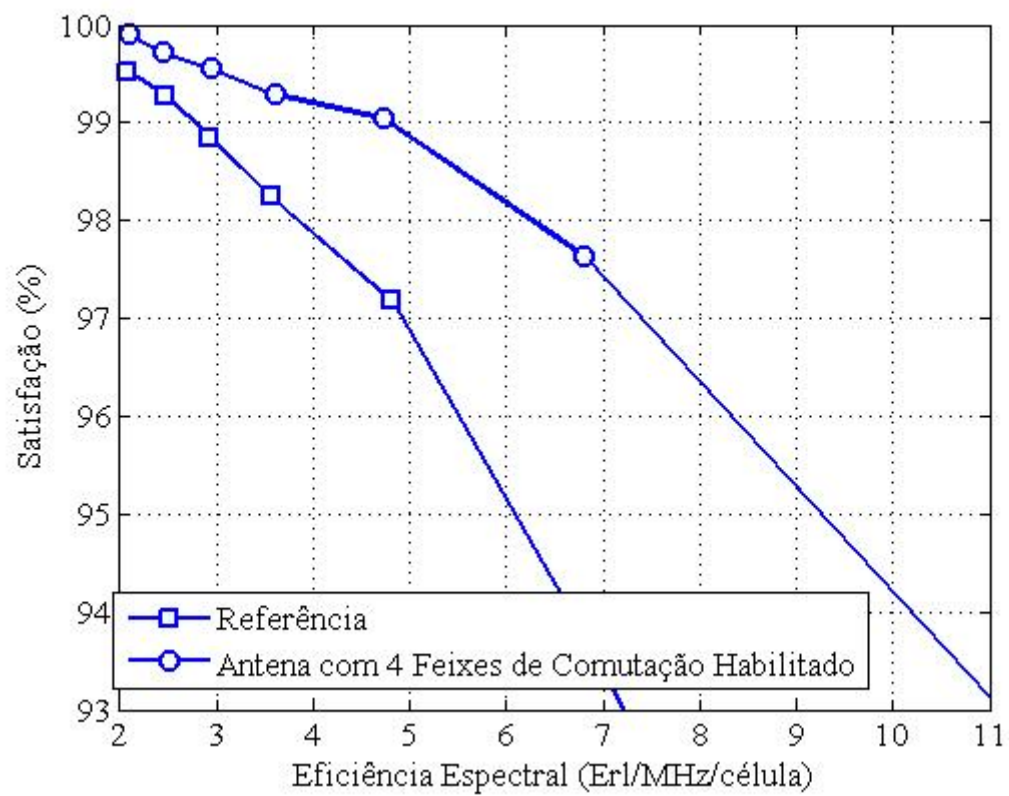


Figura 11: Simulação com antena com 4 feixes de comutação

Conclusões e Perspectivas

Como conclusão deste trabalho pode se destacar a utilização de otimização de parâmetros para se aumentar o desempenho de sistemas de comunicações móveis de próxima geração mitigando o efeito da interferência introduzida pelo reuso de frequência, atingindo assim, todos os objetivos.

Como perspectivas para trabalhos futuros podemos citar a adição do simulador UTRANSim culminando no upgrade do 3G Wise para a versão 3.0. Esse simulador já está pronto e estável, restando o trabalho de compreender seu funcionamento, criar uma interface e adicioná-lo ao 3G Wise.

Referências Bibliográficas

- [1] 3GPP, “Radio subsystem link control,” 3GPP, 3GPP 45.008 v.5.12.0 - Release 5, Tech. Rep., August 2003. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org>
- [2] —, “Radio transmission and reception,” 3GPP, 3GPP 45.005 v.6.6.0 - Release 6, Tech. Rep., June 2004. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org>
- [3] H. Dam, M. Berg, S. Andersson, R. Bormann, M. Frerich, F. Ahrens, and T. Henß, “Performance evaluation of adaptive antenna base stations in a commercial GSM network,” *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 47–51, September 1999.
- [4] F.R.P.CAVALCANTI, 3G WISE SIMULATION TOOL – GSM-EDGE REFERENCE, Technical Report, GTEL – Wireless Telecommunications Research Group, 2004, available at: <http://3gwise.gtel.ufc.br>
- [5] UMTS, “*Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*,” UMTS, ETSI TR 101.112 v.3.2.0, Tech. Rep., April 1998.
- [6] J. Zander, S.-L. Kim, M. Almgren, and O. Queseth, *Radio Resource Management for Wireless Networks*, ser. Mobile Communications. London, England: Artech House Publishers, 2001.
- [7] B. Sklar, “Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems I – characterization,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 90-100, July 1997.
- [8] —, “Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems II – mitigation,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 92-109, July 1997.
- [9] W. C. Jakes, *Microwave mobile communications*. New York: John Wiley and Sons, 1974.
- [10] A. Furuskär, “*Can 3G services be offered in existing apectrum?*” Ph.D. dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, May 2001.

- [11] D. J. Goodman, "*Efficiency of packet reservation multiple access*," IEEE Transactions on Vehicular Technology, pp. 170-176, February 1991.
- [12] Umar, A. "*Mobile Computing and Wireless Communications*", ed NGE Solutions.
- [13] "*Revista da Anatel*", Ano III, No. 3, Novembro, 2000.
- [14] Nils, R., "*Network Studies of Adaptive Antennas in EGPRS Systems*", Dissertação de Mestrado. Eurécom Institute, Sophia Antipolis, França, Julho, 2000.
- [15] Rappaport, T. S., "*Wireless Communications: Principles & Practice*", Prentice Hall, Julho, 1999.
- [16] Andersson , Sören; Carlqvist, Bengt; Hagerman, Bo; Langerholm, Robert, "*Enhancing Cellular Network Capacity with Adaptive Antennas*", Ericsson Review No 3, 1999.
- [17] Yacoub, Michel D., "*Foundations of Mobile Radio Engineering*", CRC Press. Inc., 1993.