

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS

ADRIANO ALMEIDA GOES

MÉTODO DE HANDOVER CONSIDERANDO
BALANCEAMENTO DE TRÁFEGO PARA SISTEMAS
COM MODULAÇÃO ADAPTATIVA

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
GRÃO-CHANCELER

Dom Bruno Gamberini

MAGNÍFICO REITOR

Prof. Pe. Wilson Denadai

VICE-REITORA

Profa. Dra. Angela de Mendonça Engelbrecht

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Profa. Dra. Vera Engler Cury

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

**COORDENADOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
EM ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GESTÃO DE REDES E SERVIÇOS

Prof. Dr. Marcelo Luís Francisco Abbade

ADRIANO ALMEIDA GOES

MÉTODO DE HANDOVER CONSIDERANDO
BALANCEAMENTO DE TRÁFEGO PARA SISTEMAS
COM MODULAÇÃO ADAPTATIVA

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-Graduação na área de concentração Gestão de Redes e Serviços, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho
Branquinho

PUC-CAMPINAS
2009

ADRIANO ALMEIDA GOES

**MÉTODO DE HANDOVER CONSIDERANDO
BALANCEAMENTO DE TRÁFEGO PARA SISTEMAS
COM MODULAÇÃO ADAPTATIVA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Gestão de Redes e Serviços .

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho.

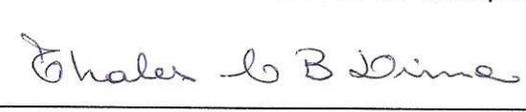
Dissertação defendida e aprovada em 30 de outubro de 2009 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Omar de Carvalho Branquinho
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof.ª Dr.ª Norma Reggiani
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Thales Coelho Borges Lima
Faculdade Politécnica de Campinas

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.3845 Goes, Adriano Almeida.
G598m Método de Handover considerando balanceamento de tráfego
para sistemas com modulação adaptativa / Adriano Almeida Goes. -
Campinas: PUC-Campinas, 2009.
124p.

Orientador: Omar Carvalho Branquinho.
Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de
Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias,
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui anexos e bibliografia.

1. Sistemas de comunicação sem fio. 2. Sistemas de telecommu-
nicação. 3. Sistemas de comunicação móvel. 4. Engenharia elétrica.
I. Branquinho, Omar Carvalho. II. Pontifícia Universidade Católica de
Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias.
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

20ed. CDD – t621.3845

Dedico este trabalho à minha amada esposa Cíntia e ao meu filho Breno, como prova de coragem e perseverança que só realizei por amor a eles.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu saúde, coragem e paz para enfrentar os momentos de dificuldade.

Aos meus pais, que me educaram e me mostraram o caminho para ser uma pessoa de bom caráter e um profissional capaz.

Em especial a minha avó Alzira, uma pessoa simples, porém grandiosa que dedicou sua vida a educar e ajudar seus filhos e netos para que tivessem uma vida melhor.

Ao Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho, mestre e amigo que orientou a minha formação profissional e me ajudou muito a entender minha profissão e o mundo.

A todos os colegas e amigos que me apoiaram nesta tarefa e acreditaram que este trabalho seria possível.

“Nenhuma grande descoberta foi feita
sem um palpite ousado.”

Isaac Newton
(1643-1727)

RESUMO

GOES, Adriano Almeida. *Método de Handover considerando balanceamento de tráfego para sistemas com modulação adaptativa*. 2009. Folhas 110f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campinas, 2008.

Este trabalho propõe uma metodologia para distribuição inteligente de usuários e tráfego entre células de uma rede móvel com modulação adaptativa. Para isso foi proposto nesta dissertação um método de *Handover* que viabiliza a proposta de balanceamento de tráfego servindo de apoio para o planejamento e dimensionamento destas redes, Como é o caso da IEEE802.16e, plataforma utilizada neste trabalho. Foi desenvolvida uma plataforma de simulação que contém os requisitos necessários para analisar e comparar o método atual de *Handover* com o método proposto sob topologias diferentes. Os resultados mostram um ganho efetivo na taxa de dados geral da célula de 25% do método de *Handover* proposto em relação a método de *Handover* atual.

Termos de Indexação: IEEE802.16e, Balanceamento de Tráfego, Handover, WiMAX Móvel.

ABSTRACT

GOES, Adriano Almeida. *Método de Handover considerando balanceamento de tráfego para sistemas com modulação adaptativa*. 2009. Folhas 110f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campinas, 2008.

This work proposes a methodology for intelligent distribution of traffic between users and cells in a mobile network with adaptive modulation. In this dissertation a new method of handover to enable the proposal for load balancing traffic, serving as support for the planning and design of these networks. An example of this case is the IEEE802.16e adopted as a platform in this work. As developed a simulation platform that contains the requirements necessary to analyze and compare the current method of handover with the proposed method under different topologies. The results show a gain in the effective data rate of the cell 25% of the proposed method of handover for the current method of handover.

Index: IEEE802.16e, Load Balance, Handover, mobile WiMAX.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de arquitetura baseada em serviços totalmente sobre IP.....	25
Figura 2 – Pilha de protocolos definido no padrão IEEE802.16e.....	26
Figura 3 – Perda na propagação segundo o modelo de Ecerg.....	36
Figura 4 – Níveis de modulação aplicados à área de propagação.....	38
Figura 5 - Detecção de <i>HO</i> baseado em nível de sinal.....	40
Figura 6 - Aumento de taxa devido aos pesos adotados ao fator α	46
Figura 7 – Perda de espaço na ERB devido aos pesos adotados ao fator α	47
Figura 8 – Ganho sobre o número de usuários VoIP simultâneos.....	48
Figura 9 – Ganho de taxa em relação à altura da ERB.....	49
Figura 10 - Ganho de taxa em relação ao ganho de antena da ERB.....	49
Figura 11 – Fluxo básico do simulador.....	53
Figura 12 – Fluxograma de parametrização da plataforma.....	54
Figura 13 – Fluxograma para envio de pacotes.....	55
Figura 14 – Fluxograma para registro de logs e resultados.....	56
Figura 15 – Fluxograma para análise dos resultados.....	57
Figura 16 – Cenário para simulação de duas células utilizando MAC IEEE802.16e.....	59
Figura 17 – Cenário de simulação para topologia de Manhattan com 4 células.....	60
Figura 18 – Imagem de satélite contendo o posicionamento das células.....	61
Figura 19 – Imagem de satélite com 9 células e grande concentração de usuários.....	62
Figura 20 – Gráficos das análises de comportamento do canal de <i>DL</i> durante o processo de <i>HO</i> em ambiente rural para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).....	66
Figura 21 – Análise de probabilidade de <i>DL</i> disponível em ambiente rural.....	67
Figura 22 – Gráficos das análises de comportamento do canal de <i>UL</i> durante o processo de <i>HO</i> em ambiente rural para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).....	68
Figura 23 – Análise de probabilidade de <i>UL</i> disponível em ambiente rural.....	69
Figura 24 – Gráficos do <i>Throughput</i> médio do usuário durante o processo de <i>HO</i> em ambiente rural para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).....	70
Figura 25 – <i>Throughput</i> médio do usuário em ambiente rural.....	71
Figura 26 – Eficiência da comunicação durante o processo de <i>HO</i> do usuário em ambiente rural.....	71
Figura 27 – Gráficos das análises de comportamento do canal de <i>DL</i> durante o processo de <i>HO</i> em ambiente suburbano para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).....	72
Figura 28 – Análise de probabilidade de <i>DL</i> disponível em ambiente suburbano.....	73
Figura 29 – Gráficos das análises de comportamento do canal de <i>UL</i> durante o processo de <i>HO</i> em ambiente suburbano para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).....	74

Figura 30 – Análise de probabilidade de <i>UL</i> disponível em ambiente suburbano.	74
Figura 31 – Gráficos do <i>Throughput</i> médio do usuário durante o processo de <i>HO</i> em ambiente suburbano para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).....	75
Figura 32 – <i>Throughput</i> médio do usuário em ambiente suburbano.	76
Figura 33 – Eficiência da comunicação durante o processo de <i>HO</i> do usuário em ambiente suburbano.....	76
Figura 34 – Gráficos das análises de comportamento do canal de <i>DL</i> durante o processo de <i>HO</i> em ambiente urbano para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).	77
Figura 35 – Análise de probabilidade de <i>DL</i> disponível em ambiente urbano.	78
Figura 36 – Gráficos das análises de comportamento do canal de <i>UL</i> durante o processo de <i>HO</i> em ambiente urbano para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).	79
Figura 37 – Análise de probabilidade de <i>UL</i> disponível em ambiente urbano.	79
Figura 38 – Gráficos do <i>Throughput</i> médio do usuário durante o processo de <i>HO</i> em ambiente urbano para os métodos de <i>HO SS</i> (a) e <i>HO Proposto</i> (b).	80
Figura 39 – <i>Throughput</i> médio do usuário em ambiente urbano.....	81
Figura 40 – Eficiência da comunicação durante o processo de <i>HO</i> do usuário em ambiente urbano.	81
Figura 41 – Evolução da eficiência de rede simulada para topologia de Manhattan 6x6 com 4 células em ambiente rural.....	85
Figura 42 – Evolução da eficiência de rede simulada para topologia de Manhattan 6x6 com 4 células em ambiente suburbano.	86
Figura 43 – Evolução na eficiência de rede simulada para ambiente real com 9 células – Primeira simulação.....	89
Figura 44 – Evolução na eficiência de rede simulada para ambiente real com 9 células – Segunda simulação.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modulações e Codificações suportadas no WiMAX Móvel	28
Tabela 2 - Parâmetros para classificação do ambiente no modelo de ERCEG	35
Tabela 3 - Sensibilidade do receptor para uma BER = 10^{-6}	37
Tabela 4 – Parâmetros para execução da simulação em duas células	65
Tabela 5 – Resumo do ganho na eficiência de rede por ambiente	82
Tabela 6 – Parâmetros para execução da simulação em topologia Manhattan	83
Tabela 7 – Parâmetros para execução da simulação em topologia real com 9 células ...	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LAN	=	REDE LOCAL
WLAN	=	REDE SEM FIO IEEE802.11B/G
PWLAN	=	WLAN PUBLICO
HTTP	=	<i>PROTOCOLO DE INTERNET</i>
VOIP	=	VOZ SOBRE PLATAFORMA IP
SNMP	=	PROTOCOLO DE GERENCIA DE REDE
MAC	=	<i>MEDIUM ACCESS CONTROL</i>
LLC	=	<i>LOGICAL LINK CONTROL</i>
OSI	=	INTERLIGAÇÃO DE SISTEMAS ABERTOS
OFDM	=	MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO DE FREQUENCIA ORTOGONAL
FDM	=	MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO DE FREQUENCIA
ADSL	=	LINHA DIGITAL DE ASSINANTE SIMÉTRICA
CDMA	=	MULTIPLO ACESSO POR DIVISÃO DE CÓDIGO
QAM	=	MODULAÇÃO DE AMPLITUDE EM QUADRATURA
ACK	=	RESPOSTA DE ACEITE PARA PACOTE RECEBIDO
AP	=	<i>ACCESS POINT</i>
PC	=	MICROCOMPUTADOR PESSOAL
HO	=	<i>HANDOVER</i>
QOS	=	<i>QUALITY OF SERVICE</i>
SS	=	<i>SIGNAL STRENGTH</i>
WIMAX	=	<i>WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS</i>
ERB	=	ESTAÇÃO RÁDIO BASE
IEEE	=	<i>INTERNATIONAL ELETRIC AND ELETRONIC ENGINEERING</i>
OFDMA	=	<i>ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS</i>
S-OFDMA	=	<i>SCALABLE OFDMA</i>
NWG	=	<i>NETWORK WORKING GROUP</i>
IP	=	<i>INTERNET PROTOCOL</i>
ASN	=	<i>ACCESS SERVICES NETWORK</i>
CSN	=	<i>CORE SERVICES NETWORK</i>
NAP	=	<i>NETWORK ACCESS PROVIDER</i>
PNS	=	<i>PROVIDER NETWORK SERVICES</i>
ASP	=	<i>ACCESS SERVICES PROVIDER</i>
IMS	=	<i>IP MULTIMEDIA SUB-SYSTEM</i>
VPN	=	<i>VIRTUAL PROVIDED NETWORKS</i>

DHCP	=	<i>DYNAMIC HOST CONTROL PROTOCOL</i>
AAA	=	<i>AUTHENTICATION, AUTHORIZATION, AND ACCOUNTING</i>
PSTN	=	<i>PUBLIC SWITCHED TELEPHONE NETWORK</i>
BSC	=	<i>BASE STATION CONTROLLER</i>
GSM	=	<i>GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE</i>
OFDM	=	<i>ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING</i>
LTE	=	<i>LONG TERM EVOLUTION</i>
MBWA	=	<i>MOBILE BROADBAND WIRELESS ACCESS</i>
CDMA2000	=	<i>CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS 2000</i>
DL	=	<i>DOWNLINK</i>
UL	=	<i>UPLINK</i>
ICC	=	<i>INTERFERENCE CO-CHANNEL</i>
CTC	=	<i>CONVOLUCIONAL TURBO CODING</i>
DCF	=	<i>DISTRIBUTED COORDINATION FUNCTION</i>
TCP	=	<i>TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL</i>
FTP	=	<i>FILE TRANSFER PROTOCOL</i>
VOIP	=	<i>VOICE OVER IP</i>
HD	=	<i>HIGH DEFINITION</i>
PER	=	<i>PACKET ERROR RATE</i>
NS	=	<i>NETWORK SIMULATION</i>
BER	=	<i>BIT ERROR RATE</i>
AWGN	=	<i>ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE</i>
ANATEL	=	<i>AGENCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES</i>

SUMÁRIO

1. <i>INTRODUÇÃO</i>	18
1.1. Definição do problema.....	18
1.2. Estrutura da dissertação.....	20
2. <i>WiMAX MÓVEL</i>	22
2.1. Histórico da tecnologia	22
2.2. Arquitetura de Rede	23
2.3. Método de acesso OFDMA	26
2.3.1. Modulação e Codificação Adaptativa	27
2.3.2. Medium Access Control (MAC)	28
3. <i>MODELO DE PROPAGAÇÃO</i>	31
3.1. Fenômenos do canal.....	31
3.2. Modelo de Erceg	34
3.3. Efeitos de propagação.....	36
4. <i>METODOLOGIA DE HANDOVER</i>	39
4.1. Tipos de Handover	39
4.2. Processo de Handover por SS	40
4.3. Processo de Handover proposto	41
4.4. Balanceamento de tráfego através do Handover.....	46
5. <i>PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO</i>	51
5.1. Desenvolvimento da plataforma de simulação	51
5.2. Estrutura da plataforma de simulação	53
5.2.1. Construção do cenário de simulação para duas células.....	59
5.2.2. Construção do cenário de simulação para quatro células.....	60
5.2.3. Construção do cenário de simulação para ambiente real	61
6. <i>AValiação POR SIMULAÇÃO</i>	63
6.1. Métricas para avaliação do desempenho	63
6.2. Topologia Linear – Duas células	64
6.2.1. Parâmetros da simulação.....	64
6.2.2. Resultados	65
a) Análise para o modelo de Erceg em Ambiente Rural.....	66
b) Análise para o modelo de Erceg em Ambiente Suburbano.....	72
c) Análise para o modelo de Erceg em Ambiente Urbano	77

6.2.3. Avaliação dos resultados.....	82
6.3. Topologia Manhattan – Quatro células	83
6.3.1. Parâmetros da Simulação	83
6.3.2. Resultados	84
a) Análise em Ambiente Rural	84
b) Análise em Ambiente Suburbano	85
6.3.3. Avaliação dos resultados.....	86
6.4. Topologia Real – Ambiente celular com 9 células	87
6.4.1. Parâmetros	87
6.4.2. Resultados	88
6.4.3. Análise dos resultados	90
7. <i>CONCLUSÃO</i>	91
7.1. Principais contribuições.....	91
7.2. Trabalhos futuros	93
8. <i>REFERENCIAS</i>	94
<i>APÊNDICE A – PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO</i>	98
<i>APÊNDICE B – ARTIGO PUBLICADO</i>	124

1. INTRODUÇÃO

Neste Capítulo é apresentado a motivação do trabalho, assim como a descrição do problema estudado. Além disso, é apresentada a estrutura da dissertação e uma breve descrição de cada capítulo.

1.1. Definição do problema

Baseado em sua própria avaliação, realizada segundo a metodologia descrita na recomendação ITU-R M.1225 (DOCUMENT 8F/1079-E, 2007), o WiMAX Fórum acredita que o IP-OFDMA atende aos requisitos e objetivos do IMT-Advanced (IMT Brazil-EG, 2007).

Sob este novo cenário e com novos tipos de serviços de dados, a maximização e aproveitamento pleno dos recursos da rede se tornaram indispensáveis. A distribuição dos usuários nas células se tornou um desafio ao planejamento de redes, uma vez que existem diferentes serviços para grupos de usuários distintos.

O processo de *Handover* (HO) permite simplesmente que uma estação migre de uma célula para outra de forma transparente ao usuário. Contudo, o HO pode se tornar uma ferramenta de auxílio na distribuição de usuários entre células, realizando assim, um balanceamento de tráfego com o intuito de criar uma reserva de banda para garantia de QoS (*Quality of Service*). (ALI-YAHIYA T., CHAOUCHI H., BEYLOT A., PUJOLLE G., 2006).

Os novos serviços de dados e a existência de diferentes taxas devido a modulação adaptativa fazem com que o processo de HO passe a ter um novo desafio para garantir o QoS.

Isto se faz necessário para diversos serviços de alta disponibilidade como Voz e *Video Streaming*, *Internet Game*, entre outros. (FERREIRA J., VELEZ F., 2006).

Normalmente, o processo de HO usa apenas o SS (*Signal Strength*) para tomar a decisão de mudar ou não de célula, ou seja, a estação permanece conectada a célula que lhe oferecer a maior potência de sinal.

A proposta deste trabalho utiliza o SS ponderado à disponibilidade de taxa nas células vizinhas, a fim de decidir o momento de HO afim de otimizar os recursos disponíveis em cada célula, ou seja, é melhor estar conectado a uma ERB com menor potência de sinal, mas com maior disponibilidade de taxa ou a uma ERB com maior potencia de sinal, mas com menor disponibilidade de taxa.

Alguns trabalhos pesquisados visam estabelecer a melhor forma de encontrar um ponto de equilíbrio entre os fatores envolvidos em uma comunicação móvel e gerenciar os usuários de forma a melhor aproveitar os recursos da rede e com isso obter uma maior eficiência.

Em (CASEY T., 2008) são apresentadas estratégias para melhorar o processo de HO no WiMAX através de um software agente que realiza um equilíbrio de tráfego considerando terminais fixos. Embora neste caso a *Medium Access Control* (MAC) limita-se apenas em considerar a quantidade de estações conectadas simultâneamente na ERB (Estação Rádio Base). Os algoritmos propostos neste caso simplificam a compreensão da topologia e, assim, aumentam a eficácia do procedimento de HO. Porém, não levam em consideração fatores como aspectos de propagação ou mobilidade.

Já em (NASCIMENTO A., RODRIGUEZ J., 2007) são apresentados aspectos para alocação dinâmica de recursos nas células, porém sem considerar nenhuma maneira de se implementar a teoria em um ambiente real.

Contudo em (SUN Y., SONG Y., SHI J., DUTKIEWICZ E., 2007) é descrito um modelo para reserva de largura de banda para atender diferentes tipos de serviço e usuários. Neste caso os autores fazem a proposta de controlar e distribuir os usuários nas células através do controle de admissão da própria ERB. Porém, também não são considerados fatores de propagação e mobilidade de usuários nos resultados de simulação.

Por fim, em (BIAN Y. Q., NIX A. R., 2008) é apresentada uma proposta para maximizar os recursos na rede, baseado na alocação inteligente dos usuários conforme a capacidade de cada ERB. Assim, são analisados os fatores de propagação, interferência e modelos de HO, assim como as características de multi-taxa particulares aos sistemas com modulação adaptativa. O que não é apresentado contudo é uma caracterização do estudo em uma rede com usuários que caracterizem de forma mais próxima uma rede celular real.

Neste trabalho é proposto um método para maximizar a eficiência da rede através do algoritmo que realize uma ponderação entre o SS e a taxa disponível na ERB para criar um ponto ideal para migração de um terminal entre células.

É apresentada ainda, uma plataforma de simulação baseada em eventos discretos para investigar e avaliar a eficácia do método proposto, através de cenários e métricas estabelecidos com base em um ambiente real de uma rede móvel celular. Assim, foi desenvolvido um simulador, baseado na plataforma *Open Source Scilab* (SCILAB, 2008), a fim de, criar e simular diversos ambientes com o intuito de comprovar a efetividade do modelo de HO Proposto neste trabalho.

Para efeito comparativo dos resultados é adotada para o método de HO que utiliza apenas intensidade do sinal recebido (SS) a sigla: HO SS. Já para o método de HO proposto neste trabalho, que adiciona a disponibilidade de taxa de dados existente em uma célula, é adotada a sigla: HO Proposto.

1.2. Estrutura da dissertação

O trabalho está organizado da seguinte forma:

No Capítulo 2 é apresentada uma breve descrição da tecnologia utilizada como base para as simulações.

No Capítulo 3 estão descritos os modelos de propagação e mobilidade utilizados para simular um ambiente celular e com isso investigar os efeitos de *Cross Layer* entre as camadas físicas e de enlace.

No Capítulo 4 é apresentada a proposta a metodologia utilizada para avaliar o processo de HO, assim como o método para realizar o balanceamento de tráfego nas células.

No Capítulo 5 é descrito o funcionamento da plataforma de simulação, assim como suas regras, modelos e fórmulas.

No Capítulo 6 são apresentados todos os resultados da avaliação por simulação em todas as topologias envolvidas.

Finalmente, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões deste trabalho, assim como possíveis trabalhos futuros para continuação da pesquisa.

2. WiMAX MÓVEL

Neste Capítulo é apresentada uma descrição da tecnologia WiMAX sob os aspectos de interesse e os principais parâmetros a serem estudados neste trabalho.

A plataforma WiMAX foi escolhida para este trabalho devido aos seguintes fatores:

- Pertencer ao grupo de tecnologias escolhidas como padrão 4G;
- Possuir modulação adaptativa, o que irá maximizar a importância da análise executada neste trabalho;
- Possuir uma ampla bibliografia, o que facilita a construção de uma plataforma de simulação.

2.1. *Histórico da tecnologia*

Em dezembro de 2005, o IEEE (*International Electric and Electronic Engineering*) ratificou o padrão IEEE802.16e (IEEE Std. 802.16e, 2005) como sendo um novo padrão complementar ao padrão IEEE802.16d (IEEE Std 802.16, 2004), adicionando características e funcionalidades necessárias para suportar a mobilidade.

Desde então, o WiMAX Fórum tem definido não somente o desempenho sistêmico e os perfis de certificação de equipamentos WiMAX móvel, mas também a arquitetura de rede necessária para a implementação de uma rede WiMAX móvel. A interface aérea do WiMAX móvel utiliza a técnica de acesso OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) que melhora o desempenho em ambientes com múltiplos percursos e sem linha de visada.

Adicionalmente, no padrão IEEE 802.16e é introduzida a técnica de acesso S-OFDMA (*Scalable OFDMA*) para suportar canais com largura de banda escalonada de 1,25 até 20 MHz.

Em novembro de 2006, o IEEE, em combinação com WiMAX Fórum, foi proposto que uma nova tecnologia de transmissão rádio terrestre baseada no padrão IEEE 802.16e, chamada IP-OFDMA fosse incluída na recomendação ITU-R M.1457 (*Detailed specifications of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 ou IMT-2000*) de acordo com os procedimentos da ITU-R para a adição de novas tecnologias de transmissão a rádio (IMT Brazil-EG, 2007)

Logo após em 2007 este mesmo padrão foi alterado a fim suportar a características necessárias para operar como uma rede celular, sendo homologado pelo IMT-Advanced neste mesmo ano, originando assim o IEEE802.16e, sendo o padrão utilizado neste trabalho.

2.2. Arquitetura de Rede

O padrão IEEE802.16g (IEEE Std 802.16g, 2007) fornece as recomendações para a interface aérea no WiMAX, mas não define como deve ser a arquitetura de rede a ser utilizada, cabendo a cada operadora encontrar a melhor maneira de se trabalhar com o padrão.

Esta versão cria as condições para a funcionalidade do *WiMAX móvel* sendo portanto a mais discutida neste capítulo para elucidar a flexibilidade do sistema e as possibilidades para trabalhar a distribuição de tráfego na rede (YAGOOBI H., 2004).

O WiMAX Fórum fornece algumas boas práticas, requisitos e protocolos da arquitetura completa de uma rede WiMAX, usando IEEE 802.16e, como a interface aérea.

O WiMAX NWG (*Network Working Group*) desenvolveu uma rede de referência para servir como um modelo de arquitetura com o intuito de garantir a interoperabilidade entre fabricantes.

Este modelo de referência prevê uma arquitetura unificada entre as implementações fixas, nômades e móveis, baseada em um modelo de serviço sobre arquitetura IP.

A rede global pode ser logicamente dividida em três partes:

- a) estações móveis, ou seja, interface de acesso do usuário;
- b) o serviço de acesso à rede, ASN (*Access Services Network*), que inclui uma ou mais células e uma ou mais *gateways* que formam a rede *backhaul* de acesso;
- c) O serviço de conectividade de *backbone*, CSN (*Core Services Network*), que fornece conectividade IP e acesso a todas as funções da rede.

Mais especificamente, a arquitetura permite que três tipos de empresas distintas operem serviços diferentes na rede:

- 1) Provedor de acesso, NAP (*Network Access Provider*), explora a ASN;
- 2) Suporte de serviços, PNS (*Provider Network Services*), que fornece conectividade IP e serviços aos assinantes que utilizam o ASN;
- 3) Provedores de conteúdo, ASP (*Access Services Provider*), que podem fornecer serviços de valor agregado, tais como aplicações multimídia utilizando IMS (*IP Multimedia Sub-System*) e serviços corporativos de VPN (*Virtual Provided Networks*).

O modelo de rede de referência desenvolvido pelo WiMAX Forum NWG (WIMAX FORUM, 2006) define uma série de entidades funcionais e as interfaces entre as redes. A Figura 1 mostra algumas das mais importantes entidades descritas pelo modelo.

A ERB é responsável por fornecer a interface aérea para o terminal. Funções de controle extras, tais como handover, protocolos de tunelamento, gestão dos recursos da interface aérea, políticas de QoS e CoS, caracterização e classificação de tráfego, DHCP (*Dynamic Host Control Protocol*), etc, podem também ser inseridas na inteligência da ERB (STALLINGS W., 2001);

Serviço de acesso ao *gateway* geralmente atua como uma camada 2 para agregação do tráfego dentro de um ponto da ASN. Assim como outras funções: gestão da capacidade de banda, controle de admissão, *cache*, controle de perfis

de assinante e criptografia chaves que também podem pertencer ao ASN (SYDIR J., TAORI R., 2009).

Por fim, o AAA (*Authentication, Authorization, and Accounting*) atua na criação e gestão de mobilidade e roteamento para a CSN, que fornece conectividade à Internet, ASP, outras redes públicas e redes corporativas.

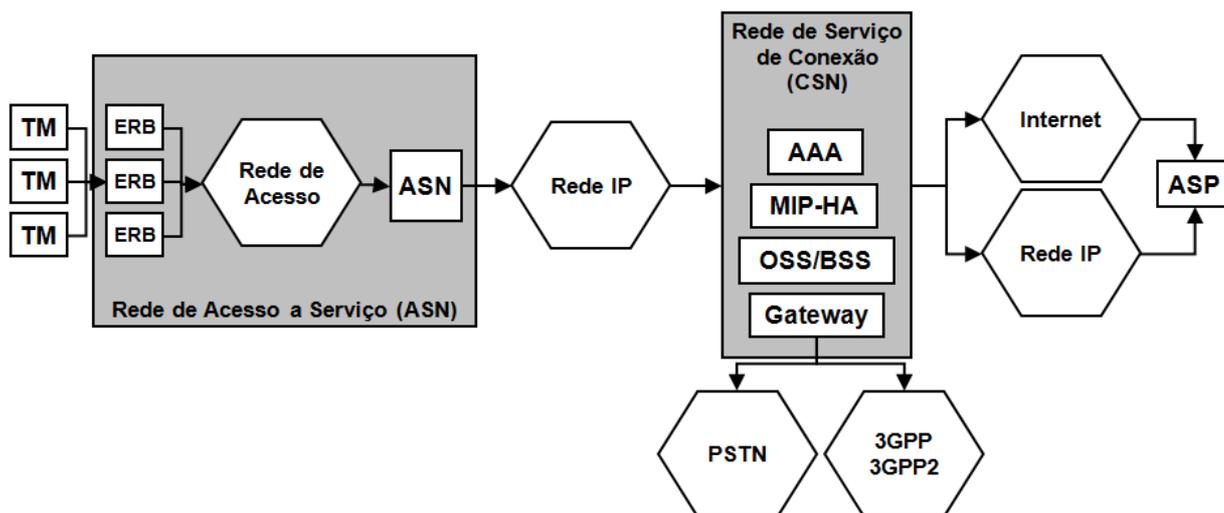


Figura 1 – Modelo de arquitetura baseada em serviços totalmente sobre IP.

A CSN também é responsável pelo endereçamento IP e apoio para o *roaming* entre diferentes áreas. Além disso, a CSN também pode fornecer *gateways* para interconexão com outras redes, como a PSTN (Rede Telefônica Pública Comutada), 3GPP e 3GPP2 (3GPP, 2009).

Uma arquitetura flexível permite a decomposição e/ou a combinação de entidades funcionais lógicas para construção de entidades físicas mais eficientes.

Por exemplo, o ASP pode ser decomposto em células mais simples ou mesmo repetidores. Com isso pode-se utilizar uma BSC (*Base Station Controller*), além de um ASN, assim como no modelo GSM.

Essa concepção é muitas vezes referida como uma implementação em objetos distribuídos ao não especificar uma única arquitetura de referência, permitindo que uma operadora trabalhe da melhor forma para se interconectar com outras redes com tecnologias legadas.

A arquitetura WiMAX foi adotada para este trabalho justamente por permitir diversas implementações. No caso específico desta dissertação o fator preponderante foi a orientação para uma rede móvel celular que permite a adequação de um modelo de HO a fim de aproveitar melhor os recursos disponíveis na rede.

Por se tratar apenas de uma investigação sobre capacidade de alocação de usuários em aspectos de propagação, o objeto do estudo deste trabalho se restringe apenas nas camadas PHY e ENLACE (mais precisamente a sub-camada MAC).

Conforme apresentado na Figura 2, o padrão IEEE802.16e fornece a base necessária para que aplicações possam ser desenvolvidas sobre ela, preocupando-se apenas com o meio físico e com o controle de acesso ao meio.

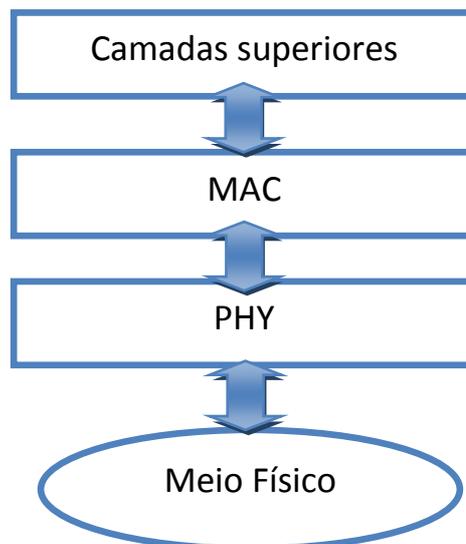


Figura 2 – Pilha de protocolos definido no padrão IEEE802.16e.

2.3. Método de acesso OFDMA

O método de acesso OFDMA origina-se do OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que é uma modulação digital adequada especialmente para transmissões terrestres por tratar de forma eficiente às questões relativas ao multipercurso.

Além disso, o OFDM é insensível às mudanças na frequência por efeito *Doppler* e pelo *fading* seletivo enquanto a estação está se movendo, fazendo com que seja a modulação adotada em redes móveis.

Como exemplos de rede que utilizam o OFDMA, podem ser mencionados o *Long Term Evolution* (LTE, 2009), *Mobile Broadband Wireless Access* (MBWA, 2008) ou o próprio WiMAX móvel (IEEE 802.16e).

O OFDMA tem várias vantagens sobre o tradicional CDMA2000 (*Code Division Multiple Access*) (CDMA2000, 1999), usado em tecnologias pós-GSM.

A eficiência espectral é maior e o desvanecimento pode ser tolerado de uma forma mais eficiente. No OFDMA, fluxos de dados provenientes de diferentes usuários são combinados a sub-canais em ambos *Downlink* (DL) e *Uplink* (UL) o que faz com que os recursos no sistema sejam mais bem aproveitados e por isso serão mais explorados neste trabalho.

No entanto, existem algumas desvantagens, como a fabricação de sistemas OFDMA serem mais complexos, aumentando assim os custos de terminais. Além disso, o *Interference Co-Channel* (ICC) de células vizinhas é menos perturbador no CDMA do que no OFDM, embora o ICC no OFDMA possa ser atenuado por meio da reutilização de frequência, conforme descrito em (ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., 2007).

2.3.1. Modulação e Codificação Adaptativa

O padrão IEEE 802.16e propõe um sistema de modulação baseado em sub-portadoras. Estas sub-portadoras podem variar sua modulação e codificação de forma a se adaptar melhor às condições de propagação no canal.

Desta forma, este trabalho realiza uma análise através da plataforma de simulação das condições de propagação e conseqüentemente diferentes taxas de dados nas estações com o intuito de proporcionar melhor aproveitamento dos recursos disponíveis na rede, dependendo do posicionamento de cada usuário na célula.

As técnicas de modulação utilizadas no WiMAX móvel nas sub-portadoras são (DOCUMENT 8F/1079-E, 2007):

- QPSK;
- 16QAM;
- 64QAM.

Já a codificação é construída através de uma *Convolucional Turbo Coding* (CTC) com taxa variável. A Tabela 1 descreve os métodos de codificação e modulação suportadas pelo padrão.

Tabela 1 - Modulações e Codificações suportadas no WiMAX Móvel (DOCUMENT 8F/1079-E, 2007)

Modulação	DL	UL
	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
Código de taxa CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
Repetição	x2, x4, x6	x2, x4, x6

A modulação e a codificação têm um impacto direto sobre a taxa na camada PHY, ou seja, atinge taxas mais elevadas com modulação 64QAM, mas o sinal é mais vulnerável a perturbações, e vice-versa para o QPSK.

Uma vez que existem várias modulações e codificações, o intervalo de taxas de dados é bastante flexível o que torna o sistema mais eficiente.

2.3.2. *Medium Access Control (MAC)*

A sub-camada MAC do padrão IEEE802.16e é flexível quanto a sua configuração e suporte a QoS, fazendo com que se possa ter uma implementação diferente para cada cenário de prestação de serviço.

Para que um terminal seja aceito em uma ERB, o processo para controle de admissão garante que os recursos são suficientes para atendimento mínimo dos requisitos de cada serviço.

Realizada a admissão e deste momento em diante é tarefa da sub-camada MAC satisfazer as garantias de QoS prometidas para o terminal no controle de admissão.

O papel da MAC, portanto pode ser dividido em dois grandes grupos:

- Gerenciamento de terminais: onde a MAC visualiza e analisa isoladamente cada terminal conectado
- Gerenciamento de tráfego: Onde a MAC atua para analisar e tomar ações baseada nas informações de todos os terminais e o tráfego gerado por eles.

Após o controle de admissão, a MAC tem de executar o re-QoS para atender às demandas de cada fluxo de serviço de forma eficiente.

Este re-QoS significa que em caso de falta de recursos de rádio, a MAC tem de descartar pacotes com menor prioridade de serviço, fazendo com que este modelo mais tradicional de MAC possa ser aplicado para balanceamento de carga e priorização de tráfego.

Desta forma, a MAC pode utilizar eficientemente os recursos de banda e conceder subsídios para cada terminal.

Este tipo de coordenação centralizada utiliza os recursos de rádio muito mais eficientemente do que o utilizado, por exemplo, no padrão IEEE802.11 DCF (*Distributed Coordination Function*) de modo que colisões ocorrem com certa frequência por não haver este gerenciamento centralizado.

A programação de algoritmos eficazes que equilibrem o requisitos de QoS de cada serviço e usuários com os recursos disponíveis, terão de ser desenvolvidos e aprimorados. Em outras palavras, a capacidade de uma rede deve ser observada de forma a se estudar as proporções de cada serviço e usuário com a interface aérea em seu ambiente de propagação, camada física taxas disponíveis, etc, conforme o índice de modulação.

Este trabalho contempla esta necessidade, onde serão observados os fatores de QoS, juntamente com as características de propagação e serviços, com o objetivo de distribuir os usuários nas ERBs de forma a otimizar os recursos da rede. Assim como mencionado anteriormente não só a questão da qualidade do sinal deve ser observada, mas sim todos os fatores que influenciam nos requisitos mínimos de QoS.

3. MODELO DE PROPAGAÇÃO

Na investigação deve ser levado em consideração o modelo de propagação para ser utilizado na simulação. Neste capítulo são estudados os modelos de propagação e mobilidade que diferencia este trabalho dos demais encontrados na pesquisa bibliográfica.

É necessário estudar o modelo de propagação mais adequado aos novos modelos de serviços e as novas redes de dados móveis. Assim, o planejamento da rede se baseia em uma plataforma de simulação mais precisa para distribuição dos usuários e tráfegos nas diversas células vizinhas. E também verificar qual é seu comportamento em relação à qualidade de serviço melhorando assim a eficiência geral da rede.

Levar em consideração os efeitos de propagação e com isso implementar um modelo na plataforma de simulação, torna os resultados encontrados neste trabalho mais próximos do real. Na simulação é utilizado o modelo de propagação de Erceg conforme recomendado pelo WiMAX Fórum (WIMAX FORUM, 2006).

3.1. Fenômenos do canal

A maioria dos modelos fornece o valor médio da intensidade do sinal. Contudo é interessante conhecer a estatística do sinal para determinar a sua variabilidade.

A abordagem do problema para estimativa do sinal não pode ser feita de modo exclusivamente determinística. A estimativa correta da intensidade de um sinal, e o desenvolvimento de modelos, implicam no conhecimento de todos os fatores que influenciam a propagação em comunicações móveis.

Em suma, o sinal está normalmente sujeito a dois tipos de desvanecimento:

- Lento: dependente essencialmente da distância, com distribuição log-normal;
- Rápido: associado ao movimento do terminal e ao multipercurso.

É necessário conhecer as distribuições estatísticas adequadas a caracterização do sinal de rádio de forma a inferir no seu comportamento no meio de propagação (PÄTZOLD M., 2002).

Desta forma os modelos de propagação dividem-se em duas grandes categorias:

- ❖ Empíricos: baseados em medidas e conduzindo as relações simples entre a atenuação e a distância;
- ❖ Teóricos: baseados em modelos matemáticos que descrevem um comportamento de um sinal.

As principais características dos modelos Empíricos são:

- ❖ Constitui as curvas e equações que melhor se ajustam às medidas;
- ❖ Possuir a vantagem de contabilizar todos os fatores que afetam a propagação;
- ❖ Sujeitos à validação para locais, freqüências e condições de diferentes ambientes.

Quanto aos modelos teóricos, temos que:

- ❖ Não contabilizam todos os fatores;
- ❖ Não levam em consideração o ambiente real em que o terminal se desloca;
- ❖ Permitem uma fácil alteração para outros valores de parâmetros como freqüência, alturas de antena, etc;

Não existe um modelo de aplicação genérico em todos os tipos de ambientes, freqüências e parâmetros.

Assim, atualmente são utilizados modelos híbridos que contemplam as características tanto dos modelos empíricos quanto dos teóricos. Estes modelos

têm certa flexibilidade podendo ser aferidos com medidas reais realizadas nos ambientes de propagação específicos onde são utilizados.

Desta forma, minimiza-se o erro entre a estimativa de intensidade do sinal previsto pelo modelo de propagação teórico e a posterior realidade através de medidas quando a implementação física da ERB for verificada.

Porém, a aplicação de modelos com uma componente empírica requer a classificação de ambientes.

É usual se distinguir três grandes categorias (ERCEG V., 1992):

- ❖ Rural
- ❖ Suburbano
- ❖ Urbano

A classificação de ambientes considera ainda, entre outros, os parâmetros seguintes:

- ❖ Ondulação do terreno
- ❖ Densidade da vegetação
- ❖ Densidade e altura dos edifícios
- ❖ Existência de áreas abertas
- ❖ Existência de superfícies aquáticas

Em áreas com uma alta densidade urbana, os edifícios vão provocar o surgimento de múltiplos raios refletidos causando desvanecimento e zonas não cobertas diretamente onde a atenuação é grande.

A atenuação e reflexão variam de acordo com os materiais de construção. A existência de ruas conduz a fenômenos de propagação guiada com características diferentes nas ruas radiais e em circunferências.

Devido a estas características, a tarefa de aferição do modelo de propagação com base em medidas reais é difícil e geralmente ocorrem desvios significativos entre a previsão de sinal e a realidade.

Estritamente falando do WiMAX móvel, adota-se normalmente o modelo de ERCEG, como recomendado pelo WiMax Fórum (WIMAX FORUM, 2006).

Este modelo é mais apropriado à simulação de aplicações envolvendo sistema WiMax devido as características envolvendo a modulação OFDM, assim como apontado em (ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., 2007).

3.2. Modelo de Erceg

Em sua versão básica o modelo de Erceg é válido somente para frequências próximas a 1900 MHz. Já as alturas de antena são válidas em 2 metros para o terminal e de 10 a 80 metros para a ERB.

Desta forma, o modelo básico foi expandido com fatores de correção para trabalhar com frequências maiores, dando origem a uma expressão mais ampla, denominado modelo de ERCEG expandido (1):

$$PL = E + 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \chi + \Delta PL_f + \Delta PL_{hMS} + \Delta PL_{\theta MS} \quad (1)$$

Sendo que d é a distância entre o terminal e a ERB; d_0 é a distância de referência e χ é uma variável aleatória normal (YACOUB M. D., 1993), cujo desvio padrão depende do tipo de ambiente.

Já β é a variável de ambiente, dada por (2):

$$\beta = \left(A - Bh_b + \frac{C}{h_b} \right) + x\sigma_x \quad (2)$$

Onde h_b é a altura da antena na ERB. Já os valores de A, B, C e σ_x estão definidos na Tabela 2 para determinar o tipo de ambiente que melhor se aproxima no qual o sinal será propagado.

Tabela 2 - Parâmetros para classificação do ambiente no modelo de ERCEG

Parâmetros	Urbano	Suburbano	Rural
A	4,6	4,0	3,6
B	0,0075	0,0065	0,005
C	12,6	17,1	20
σ_x	2,3	3,0	1,6

Além disso, pode-se definir que E é a perda no espaço livre e pode ser dado por (3):

$$E = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0 f}{c} \right) \quad (3)$$

Onde f é a frequência em MHz e c é a velocidade da luz.

A expressão (4) determina as perdas devido a frequência:

$$\Delta PL_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right) \quad (4)$$

Já a expressão (5) determina as perdas devido à altura do terminal.

$$\Delta PL_{hMS} = -10.8 \log \left(\frac{h_m}{2} \right) \quad (5)$$

A expressão (6) determina as perdas devido ao espalhamento angular.

$$\Delta PL_{\theta MS} = 0.64 \ln \left(\frac{\theta}{360} \right) + 0.54 \left(\ln \left(\frac{\theta}{360} \right) \right)^2 \quad (6)$$

Onde, θ é o ângulo de abertura da antena no setor, sendo que quanto mais diretiva for a antena menor será o ganho em dBi.

Por fim, a versão estendida do modelo ERCEG é válida para os seguintes parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1900\text{MHz} \leq f \leq 3500\text{MHz} \\ 10\text{m} \leq h_b \leq 80\text{m} \\ 1,5\text{m} \leq h_m \leq 10\text{m} \\ 0,1\text{km} \leq d \leq 8\text{km} \end{array} \right.$$

3.3. Efeitos de propagação

Para avaliar o efeito do modelo de Erceg na área de cobertura da célula é interessante observar o comportamento do sinal em relação a potencia recebida no receptor. Para isso foi desenvolvido um software analítico que simula a atenuação do sinal e como é seu comportamento sobre os níveis de modulação existentes para garantia de conectividade e BER.

A Figura 3 apresenta os gráficos segundo as expressões descritas pelo modelo de Erceg (ERCEG, 1992) estendido nos ambientes urbano, suburbano e rural respectivamente para cálculo de atenuação do sinal, combinado a equação de Friis para determinar a potência calculada no receptor (HAYKIN S., MOHER M., 2005).

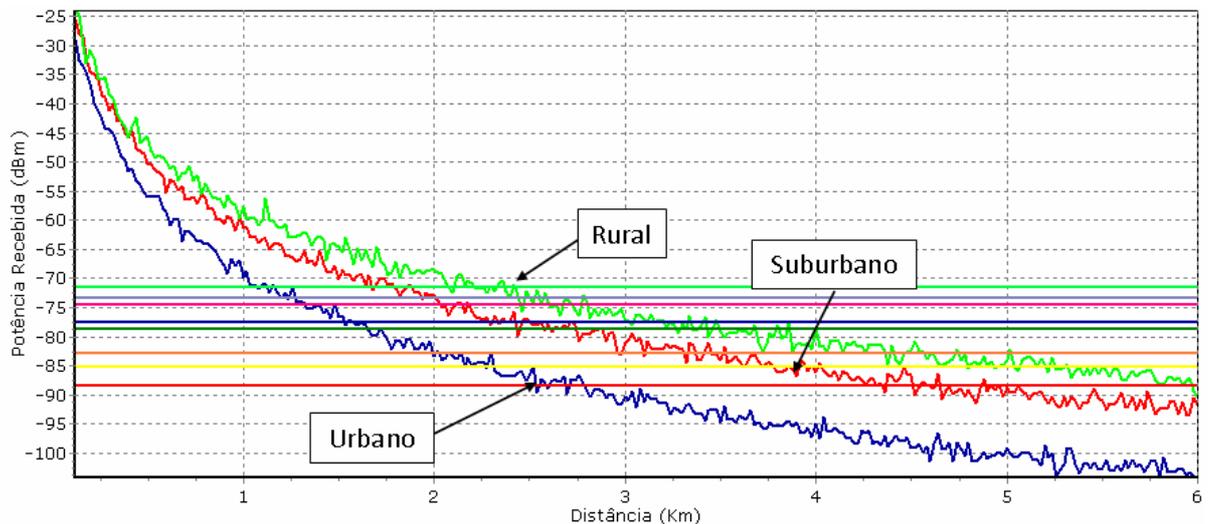


Figura 3 – Perda na propagação segundo o modelo de Erceg.

Como se observa na Figura 3 a atenuação do sinal ocorre de forma diferente para diferentes ambientes. Isso associado a um sistema de modulação adaptativa influencia a capacidade total de alocação do sistema dependendo da posição de cada terminal na célula.

Uma visão importante do ponto de vista de distribuição de taxas de dados dentro da célula, é avaliar as área de cobertura por modulação.

A Tabela 3 apresenta todos os níveis de modulação e suas respectivas taxas na camada física para o canal de 10 MHz.

Tabela 3 - Sensibilidade do receptor para uma BER = 10^{-6}

Modulação/Codificação	Sensibilidade (dBm)	Taxa PHY (Mbps)	Ambientes		
			Rural	Suburbano	Urbano
			Area (%)	Area (%)	Area (%)
QPSK 1/2	-88,5	3.03	24.43	31.15	24.43
QPSK 3/4	-85.1	9.5	15.96	15.20	9.71
16QAM 1/2	-82.8	12.07	13.25	17.80	26.27
16QAM 3/4	-78.7	19.01	5.61	1.78	4.10
64QAM 1/2	-77.6	19.01	11.47	8.91	9.73
64QAM 2/3	-74.5	26.34	3.51	2.67	2.70
64QAM 3/4	-73.4	28.51	5.53	3.33	5.72
64QAM 5/6	-71.5	31.68	20.24	19.16	17.34

Contudo é relevante levar em consideração as proporções de área observadas, pois com base nestas áreas o usuário terá uma determinada taxa de dados PHY o que impactará diretamente na distribuição de usuários e serviços na célula.

Ainda através da Tabela 5 e do modelo de propagação é possível obter um mapa de cobertura, através do programa de simulação desenvolvido para analisar as área de cobertura na célula, apresentado na Figura 6, considerando um ambiente suburbano.

Este mapa mostra a modulação em cada nível e as respectivas áreas de propagação. Esta visão é utilizada para o planejamento da rede, uma vez que os usuários da área mais clara terão uma taxa efetiva mais baixa que nas demais áreas.

O modelo proposto neste trabalho trará uma vantagem para este planejamento, pois fará um balanço de carga conforme a distribuição dos usuários nas respectivas áreas.

No mapa apresentado na Figura 4 têm-se as diferentes regiões com diferentes níveis de modulação, atribuído a uma sensibilidade específica apresentada na Tabela VI.

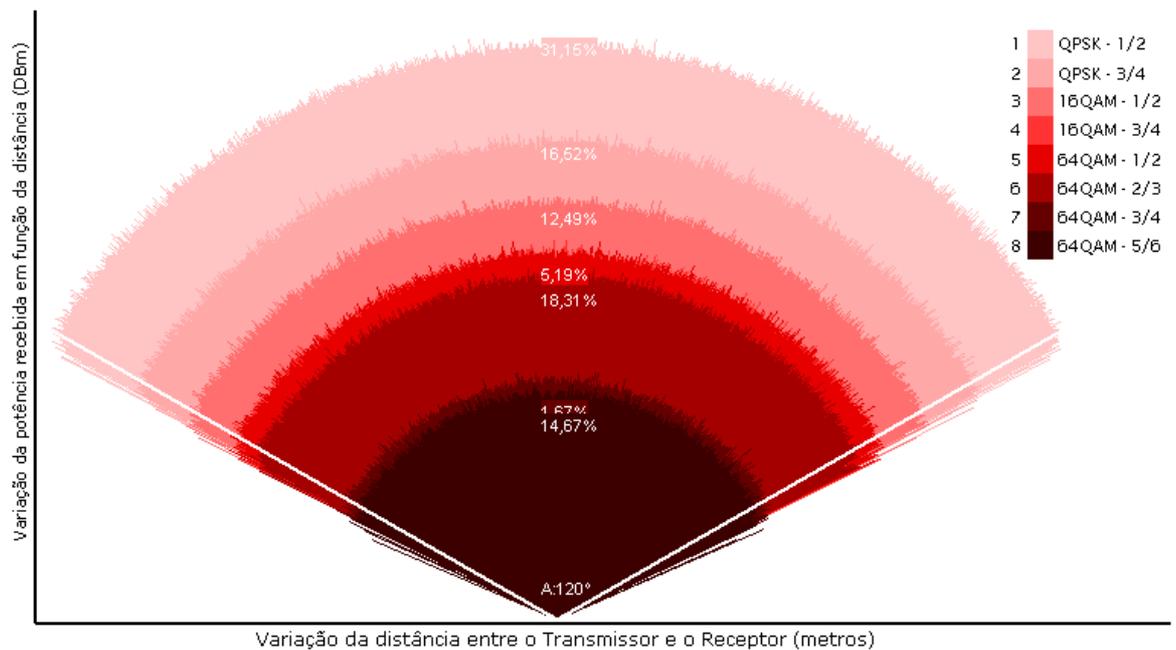


Figura 4 – Níveis de modulação aplicados à área de propagação.

A Figura 4, é resultado da simulação do modelo de propagação e atribuídas as determinadas taxas PHY especificadas na plataforma WiMAX. Pode-se então verificar que conforme o ambiente a proporção de áreas e conseqüentemente a sobreposição destas áreas entre células, onde pode claramente observar uma variação devido ao *slow fading* nos limites de taxa o que pode dificultar ainda mais o provisionamento de serviços e usuários.

Este trabalho, diferentemente dos demais, leva em consideração estas áreas e suas respectivas área com o intuito de maximizar os ganhos de eficiência de rede ou aumento de usuários, atribuído-se um peso específico a disponibilidade de uma célula.

4. METODOLOGIA DE HANDOVER

Neste capítulo são apresentados os conceitos para o processo de HO que até então se caracteriza por uma mera troca de ERBs pelo terminal (BRANQUINHO C. O., 2001).

Em outras palavras, uma vez observado que o sinal recebido por um terminal proveniente de uma determinada ERB está ficando com intensidade baixa, conseqüentemente o controlador da rede busca uma nova ERB com maior intensidade de sinal para alocar aquele terminal.

Nestes termos, este trabalho propõe um modelo de HO com o objetivo de transformá-lo em uma ferramenta para balanço de tráfego na rede e assim otimizar seus recursos.

4.1. Tipos de Handover

Em (BRANQUINHO C. O., 2001) são descritos três principais tipos de HO, estabelecidos pelo padrão IS-95B.

O primeiro é o *soft HO*, que ocorre quando um móvel passa de uma célula a outra, utilizando a mesma freqüência. Na região de sobreposição existe uma comunicação simultânea com duas ou mais ERBs com o terminal. Este tipo de *soft HO* é o mais freqüentemente tratado na literatura (GARG V., SMOLIK K., WILKES J. E., 1997) e será o objeto de estudo nesta dissertação.

O segundo tipo é o *softer HO*, o qual ocorre quando o terminal transita entre dois setores diferentes de uma mesma célula. No enlace direto, o terminal realiza o mesmo tipo de processo de combinação feito no *soft HO*. Neste caso como não há mais de uma ERB em sobreposição, portanto não será objeto de *load balance*.

O terceiro tipo é o *hard HO*, existindo dois tipos diferentes de redes, com freqüências diferentes. Contudo, não é objeto de estudo neste trabalho, uma vez que se trata de uma comunicação inter-redes.

4.2. Processo de Handover por SS

No momento, praticamente todos os sistemas móveis trabalham com HO verificando apenas o nível de SS para decidir se o terminal migra sua conexão entre as ERBs A e B.

A Figura 5 mostra um exemplo de como funciona o procedimento para identificação dos níveis de SS para decisão.

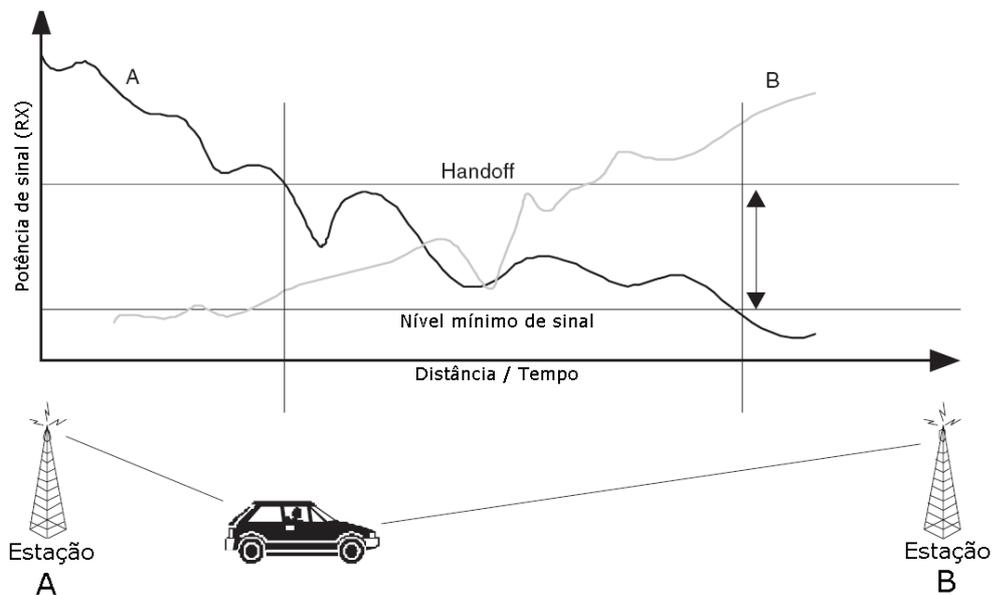


Figura 5 - Detecção de HO baseado em nível de sinal. (ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., 2007).

Pode-se supor a partir da Figura 5, que um terminal movimenta-se entre as ERBs A e B. Sendo que a partir do momento em que o nível do sinal recebido ultrapassa um limiar mínimo configurado pelo sistema, o mesmo realiza o HO.

Porém, o ponto de HO depende de vários fatores do sistema tais como potência de transmissão, ganho de antena, altura da antena, atenuação do sinal no ambiente de propagação, entre outros.

Neste caso o ambiente é um fator determinístico do ponto onde será realizado o HO, uma vez que o sinal é diretamente influenciado pelo mesmo.

Contudo, o grande problema existente neste mecanismo é que ele não leva em consideração a disponibilidade de taxa de dados na ERB. Isto pode fazer com que o usuário permaneça conectado em uma ERB com uma baixa

disponibilidade, ao invés de trocar para outra que esteja com um nível de sinal mais baixo, mas que disponha de uma taxa compartilhada maior.

No caso de redes com modulação adaptativa isto fica ainda mais evidente, uma vez que o sistema pode operar com taxas mais baixas para garantir uma BER mínima e mesmo assim ser uma boa opção devido a sua disponibilidade de banda.

Baseado neste contexto imagina-se o seguinte processo:

1. O terminal está conectado à ERB A;
2. No instante seguinte o mesmo é informado sobre a disponibilidade das ERBs A, B e C utilizando-se para isto um aplicativo que interprete qualquer protocolo de gerência, como por exemplo, o SNMP.
3. A partir daí o terminal utiliza uma comparação entre as três disponibilidades e pondera com o nível SS oferecido por cada uma das ERBs.
4. Após isto, o terminal decide por fazer ou não o HO da ERB A.
5. Por fim, o terminal migra para a ERB B que ofereceu as melhores condições entre nível de SS recebido e disponibilidade de banda.

4.3. Processo de Handover proposto

No caso do modelo de HO proposto neste trabalho, cada terminal realiza uma primeira comunicação com a ERB com o intuito de criar um fluxo de serviço para a conexão.

Para simplificar o raciocínio inicial do processo de *HO*, pode-se afirmar que o mesmo é caracterizado através da mudança de ERB quando o terminal passa de uma ERB A para uma ERB B.

A ERB A perde SS enquanto a distância em relação ao terminal aumenta, fazendo com que em determinado momento o mesmo deixe a ERB A e passe a utilizar o SS da ERB B por *soft* HO.

Uma maneira de determinar matematicamente o ponto onde o terminal deve migrar de célula, tendo em vista os valores de SS para cada estação, pode ser calculada pela expressão (7):

$$H = 10 \log \left(\frac{SS_A}{SS_B} \right) [dB] \quad (7)$$

Onde:

- ❖ SS_A e SS_B são os valores dos SS das ERBs A e B, respectivamente. Conseqüentemente o terminal migra de célula se $SS_B > SS_A$, isto é, quando H se torna negativo ou sobre um limiar pré-estabelecido.

Entre as duas ERBs, existem diferentes taxas de dados para cada área de cobertura. Existem ainda situações em que a ERB B não possui disponibilidade de banda para alocar um novo terminal, mas de acordo com o método da SS, o terminal passará assim mesmo da ERB A para B e a eficiência da rede irá diminuir ou até mesmo a conexão do usuário será bloqueada.

Nesta situação, é melhor que o terminal permaneça conectado na ERB A. Este procedimento é relevante para maximizar a capacidade global do sistema. A degradação de capacidade pode ser alterada sem afetar o desempenho do sistema.

Contudo, a expressão (7) não considera a disponibilidade das ERBs A e B. Para incluir a disponibilidade na expressão, é necessário um fator que represente a quantidade de taxa que pode ser compartilhada disponível nas células vizinhas.

A inclusão deste fator não pode alterar a informação do SS, o que continuará sendo necessário no processo HO.

A expressão (8) apresenta uma expressão empírica que considera a disponibilidade da ERB.

$$G = 10 \log \left[\frac{(A_A)^\alpha SS_A}{(A_B)^\alpha SS_B} \right] \text{ for } \begin{cases} A_B > 0 \\ H > 2 \text{ dB} \end{cases} \quad (8)$$

Onde:

- ❖ A_A e A_B é a quantidade de taxa disponível das ERBs A e B em um nível modulação específico;
- ❖ α é um fator de correção para refletir o peso do fator disponibilidade. Quando α é igual a 3, há uma otimização entre a taxa e a cobertura da ERB (GOES A. A., BRANQUINHO O. C., REGGIANI N., 2009);
- ❖ A condição $A_B > 0$ considera uma situação em que na prática ERB B tem disponibilidade;
- ❖ A condição $H > 5$ dB é um parâmetro do sistema WiMAX (ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., 2007). Assim como o fator H, o fator G pode ser positivo ou negativo, o que representa a condição para mudança de ERB.

Para calcular a taxa disponível nas ERBs A e B foi desenvolvida a seguinte expressão (9):

$$A_{A,B} = \frac{\left(\frac{T_c N_s M_b}{S_t F_s} \right) - U \text{ [bps]}}{PHY_{rate} \text{ [bps]}} \quad (9)$$

Onde:

- ❖ T_c é o número de portadoras de DL / UL;
- ❖ N_s é o número de símbolos em DL / UL;
- ❖ M_b é o número de bits no nível de modulação;
- ❖ S_t é o tempo total para cada símbolo;
- ❖ F_s é o número de símbolos por Frame;
- ❖ PHY_{rate} [bps] é a taxa física;

- ❖ U [bps] é a banda (PRASAD R., DOVROLIS C., MURRAY M, CLAFFY K., 2003) já atribuída aos usuários dada por expressão (10):

$$U = \sum_{i=1}^n B_i \text{ [bps]} \quad (10)$$

Onde:

- ❖ B_i é a largura de banda atribuída em todos os terminais;
- ❖ N é o número de terminais simultâneos em uma ERB;
- ❖ i é o índice dos terminais.

Considerando que o WiMAX móvel utiliza modulação adaptativa, a taxa de dados será afetada pela proporção de área para cada uma das modulações. Para descrever este fenômeno pode-se utilizar a expressão (11):

$$PHY_{rate} = \sum_{i=0}^n R_i * PA_i \text{ [bps]} \quad (11)$$

Onde:

- ❖ R_i é a taxa (bps) no nível de modulação;
- ❖ i é o índice de modulação;
- ❖ n é o número de modulações no sistema;
- ❖ PA_i é o fator de proporcionalidade para cada área.

Com isso o fator de proporcionalidade é a razão da área de cada modulação e a área total, conforme apresentado na expressão (12):

$$PA_i = \frac{\int_0^{\theta} \int_{r_{i-1}}^{r_i} r dr d\theta}{\int_0^{\theta} \int_0^{r_n} r dr d\theta} \cdot 100 \quad (12)$$

Onde:

- ❖ r_i é o raio de cada nível de modulação;
- ❖ θ é o ângulo de abertura da antena.

Por fim, os limites de r_i são dependentes das características de propagação e a expressão (13) mostra um limite calculado utilizando o modelo de ERCEG:

$$r_i = \left(10^{\frac{L_F + \Delta PL_f + \Delta PL_{Hms} + \Delta PL_{\theta ms} - PL}{-10\beta}} \right) d_0 [m] \quad (13)$$

Onde:

- ❖ L_F é a perda no espaço livre;
- ❖ ΔPL_f é a perda em decorrência da frequência;
- ❖ $\Delta PL_{\theta ms}$ é a perda em decorrência do ângulo de abertura da antena;
- ❖ ΔPL_{Hms} é a perda em decorrência da altura de BS;
- ❖ PL é a perda total no link;
- ❖ β é a variável de ambiente;
- ❖ d_0 é a distância referencial.

4.4. Balanceamento de tráfego através do Handover

Realizando uma análise teórica em relação aos dois métodos de HO estudados neste trabalho, podem-se verificar os ganhos relativos do método de HO proposto em função do peso aplicado ao termo α .

Para avaliar o peso da disponibilidade em relação a área de cobertura, foi desenvolvido um módulo de simulação que resultou o ganho médio de taxa de dados de um usuário durante o processo de HO. É importante mencionar que para validar este caso, adota-se que o usuário está se deslocando de uma célula com disponibilidade de taxa em 100% para outra célula sem disponibilidade de taxa de dados.

A Figura 6, mostra o resultado desta análise do ponto de vista do ganho médio na taxa de dados do usuário.

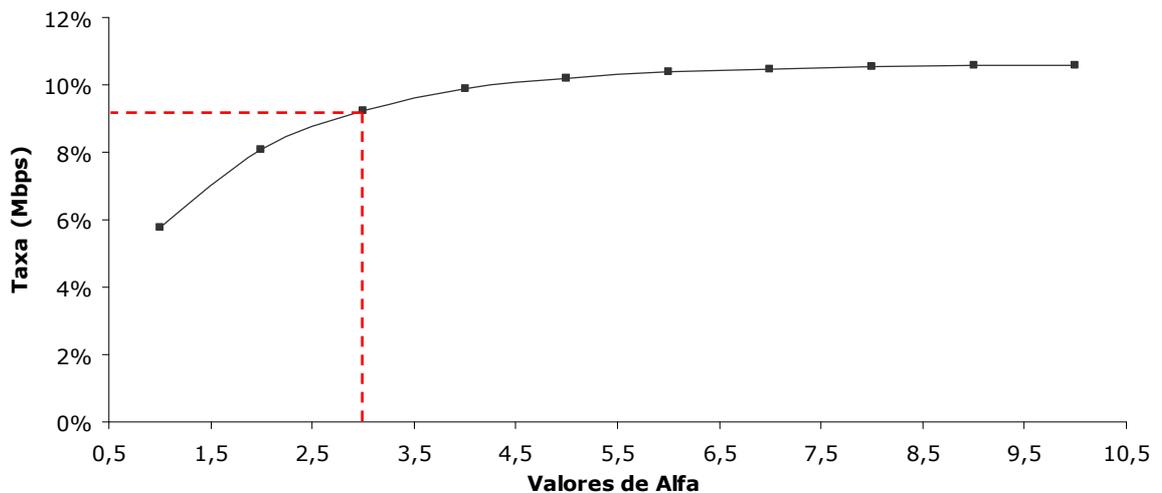


Figura 6 - Aumento de taxa devido aos pesos adotados ao fator α .

Contudo, quanto maior for o grau de importância da disponibilidade, mais cedo se dará o processo de HO. Isto faz com que a área de sobreposição entre as células seja diminuída logicamente, ou seja, o usuário migrará da célula A para a célula B, mesmo que a intensidade do sinal proveniente da célula B seja baixo.

A Figura 7, mostra a perda de área de cobertura na sobreposição em relação ao grau de importância atribuído a disponibilidade.

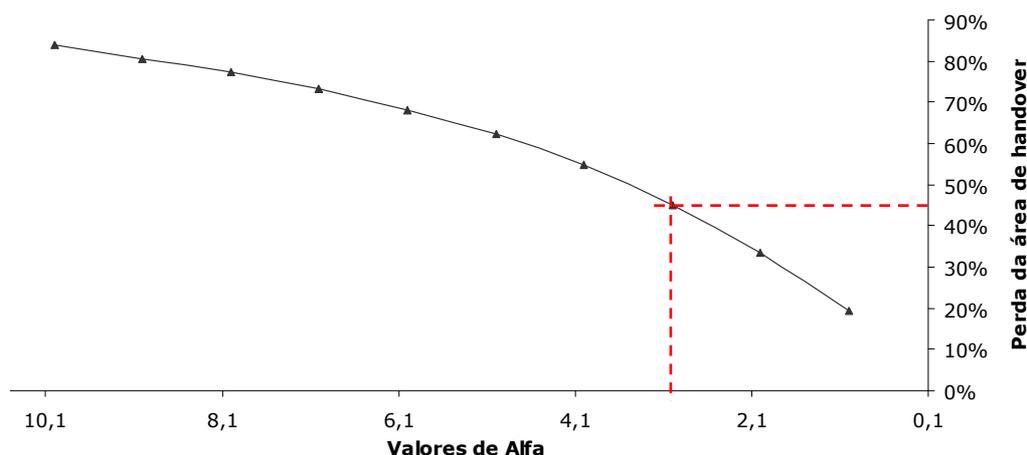


Figura 7 – Perda de espaço na ERB devido aos pesos adotados ao fator α .

Realizando uma comparação com base nos gráficos apresentados nas Figuras 6 e 7, pode-se verificar que o fator de α igual a 3 representa melhor o ganho de taxa versus a diminuição da área da célula, adotando-se a premissa de área de sobreposição entre 40% e 45%, conforme mencionado em (BRANQUINHO, 2001).

Além disso, o ganho da antena das ERBs igual a 16 dBi e a altura das ERBs equalizadas em 40m, uma vez que são valores comuns utilizados por operadoras no mercado brasileiro.

Sob o mesmo contexto de simulação apresentado anteriormente, ou seja, qual seria o ganho de taxa PHY de um usuário deslocando-se de uma célula A com 100% de disponibilidade para outra célula B com disponibilidade de 0%. Desta forma quanto mais o usuário estiver conectado a célula A, maior será o seu ganho em relação a taxa PHY média.

A Figura 8 apresenta uma consideração deste cenário, utilizando-se para isso do método HO Proposto com metodologia de *load balance* para cálculo de taxa PHY para tráfego de VoIP sobre redes TCP/IP, utilizando CODEC G.729, isto em relação ao método de HO SS.

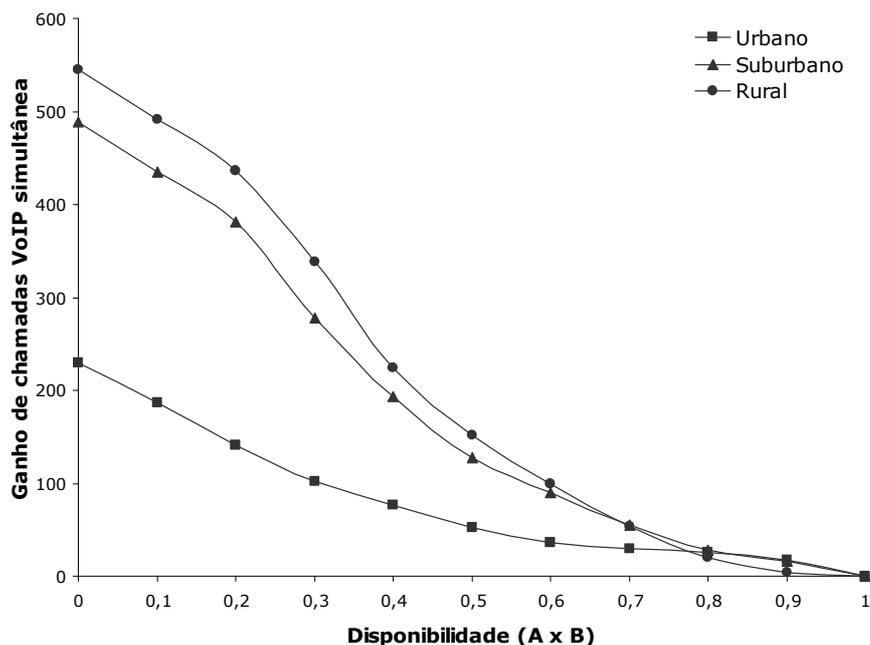


Figura 8 – Ganho sobre o número de usuários VoIP simultâneos.

Pode-se verificar um ganho de usuários simultâneos por ERB. Os gráficos ainda mostram esta evolução fixando a disponibilidade da ERB B em 100% e variando a taxa disponível na ERB A.

Nos gráficos da Figura 8 é possível verificar ganhos significativos nos três ambientes demonstrados, sendo que no ambiente urbano ainda podemos comprovar uma pequena variação na curva quando a ERB A se aproxima de 70% de disponibilidade, isto ocorre devido a propagação neste ambiente somado às características de modulação adaptativa presente no WiMAX.

Entre outros fatores, a diversidade da topologia quanto à altura e ganhos da ERB é outro fator preponderante sobre uma rede celular. Justamente devido às características de propagação é interessante verificar que também existem ganhos a serem considerados quando variamos a altura da antena de uma ERB em relação à outra.

No caso demonstrado na Figura 9, a altura da ERB B é fixada 95m, devido ser um valor máximo de altura tipicamente encontrado em redes celulares, e a altura da ERB A é variada para se verificar o comportamento do método HO proposto em relação ao método HO SS quando se há diversidade de configuração de ERBs.

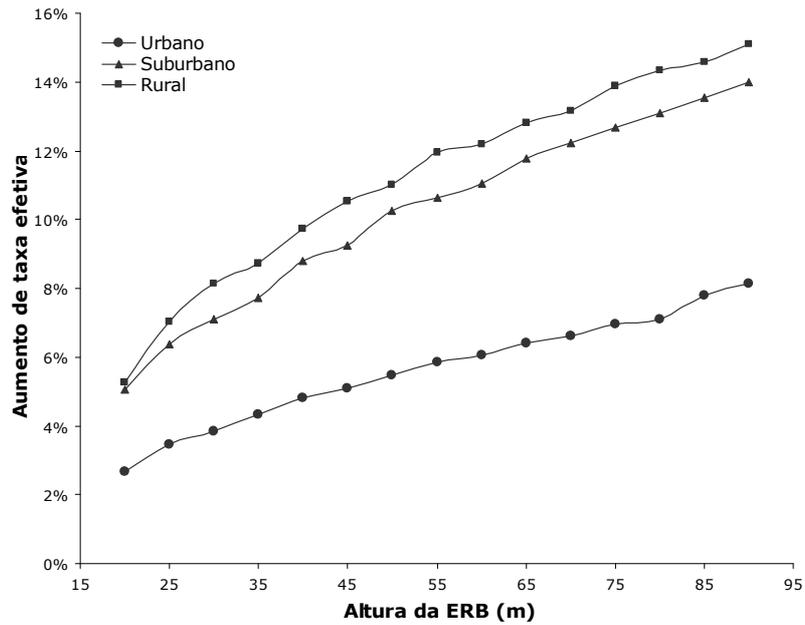


Figura 9 – Ganho de taxa em relação à altura da ERB.

Como é possível verificar na Figura 9 o ganho obtido foi de até 15% no ambiente rural em relação ao método que considera apenas a diferença de SS.

Seguindo o mesmo princípio pode-se averiguar na Figura 10 que a diversidade dos ganhos relativos à antena também influenciam positivamente na economia de taxa de dados estabelecida pelo método de HO proposto.

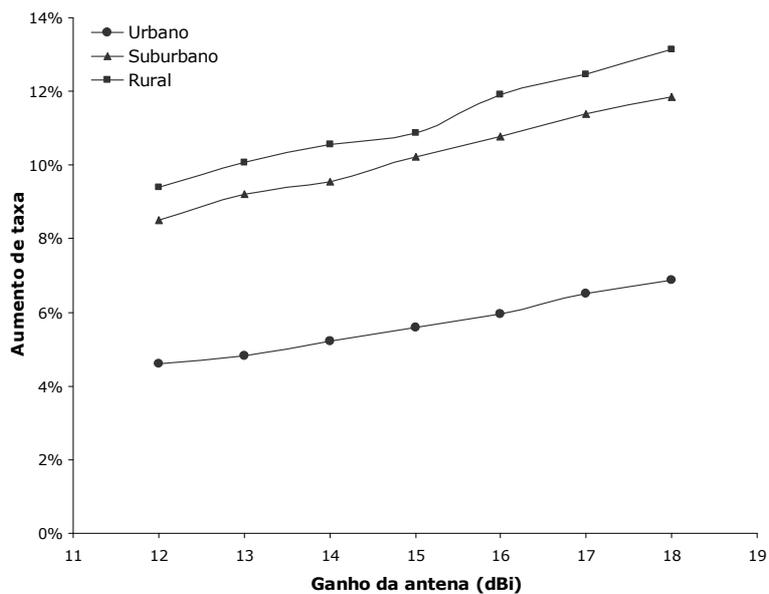


Figura 10 - Ganho de taxa em relação ao ganho de antena da ERB.

Neste caso o ganho da antena na ERB B está fixo em 18dBi, variando-se o ganho da antena na ERB A, assim como em uma rede móvel celular real.

Os resultados preliminares destas simulações mostram que é relevante se observar a diversidade de características de ERB durante o processo de simulação, uma vez que pode-se observar ganhos devido as diferentes cenários de propagação. Isto apenas reforça que para qualquer simulação neste sentido é necessário levarem consideração todos os fatores que influenciam no *link budget* o que efetivamente é realizado neste trabalho por meio da plataforma de simulação desenvolvida.

5. PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO

Este capítulo trata a estrutura da plataforma de simulação desenvolvida para avaliar a eficiência do método de HO proposto no balanceamento de tráfego em redes IEEE802.16e.

O desenvolvimento desta plataforma de simulações foi necessário visto que os simuladores estudados não possibilitavam a avaliação do método de HO proposto e muitas vezes adaptações são difíceis de serem implementadas e nem sempre bem sucedidas.

5.1. *Desenvolvimento da plataforma de simulação*

Plataformas de simulação são excelentes ferramentas e tornam possível a análise de tecnologias em função de ambientes que são difíceis de serem reproduzidos. Através de simuladores é possível testar ambientes variados e obter o controle dos fenômenos, o que dificilmente é possível em ambientes reais.

Quando se trata de tecnologias e características de ambientes muito específicos os simuladores propiciam o estudo dessas tecnologias mesclando ambientes e um número variado de elementos.

Para as redes IEEE802.16e existem poucas implementações de simuladores, que por sua vez não contemplam todas as necessidades deste trabalho.

Um simulador interessante é o NS (NS, 2008). Porém, a implementação dos conceitos apresentados neste trabalho é difícil devido a complexidade da plataforma. Outra limitação deste simulador é que não existe uma biblioteca específica que unifique a camada física e de enlace, ou seja, o desenvolvimento de efeitos de *cross layer* sob efeitos de propagação, comuns às redes móveis.

Outros simuladores ainda podem possuir estas bibliotecas, porém não disponibilizam seu código para que possam ser desenvolvidas as mudanças necessárias para a nova metodologia proposta (OPNET, 2008).

Em vista destas dificuldades foi necessário o desenvolvimento de uma plataforma de simulação para redes IEEE802.16e.

Assim, foi implementada a estrutura necessária do protocolo para envio de pacotes, implementando a camada PHY e a subcamada MAC, juntamente com o controle das transmissões necessárias para simular ambientes com mobilidade.

Foram ainda adicionadas rotinas para as questões de propagação discutidas no Capítulo 4.

Neste caso a ferramenta foi desenvolvida sobre a plataforma livre SCILab versão 4.1.2. Contudo, além disso, foi necessário o estudo e a implementações de rotinas para a simulação de eventos discretos.

Esta plataforma é constituída por quatro bibliotecas essenciais:

- *PlataformaSimulacaoIEEE80216e*: Contêm todas as informações referentes as políticas e recomendações referentes à plataforma;
- *Engine*: Contêm todas as informações referentes às regras da simulação e configuração de usuários e equipamentos;
- *Simulação*: Contêm todas as informações referentes à execução da simulação, mudanças de cenários e totalizações;
- *ResultadosGraficos*: Analisa os resultados e imprime os gráficos referentes a simulação.

5.2. Estrutura da plataforma de simulação

A plataforma de simulação desenvolvida se baseia em um simulador de eventos discretos como já mencionado anteriormente.

Seu objetivo principal é tratar os eventos de forma a garantir um estudo dos pacotes a serem enviados que ocorreram durante um período de tempo de simulação.

O fluxograma básico da estrutura do simulador é descrito pela Figura 11.

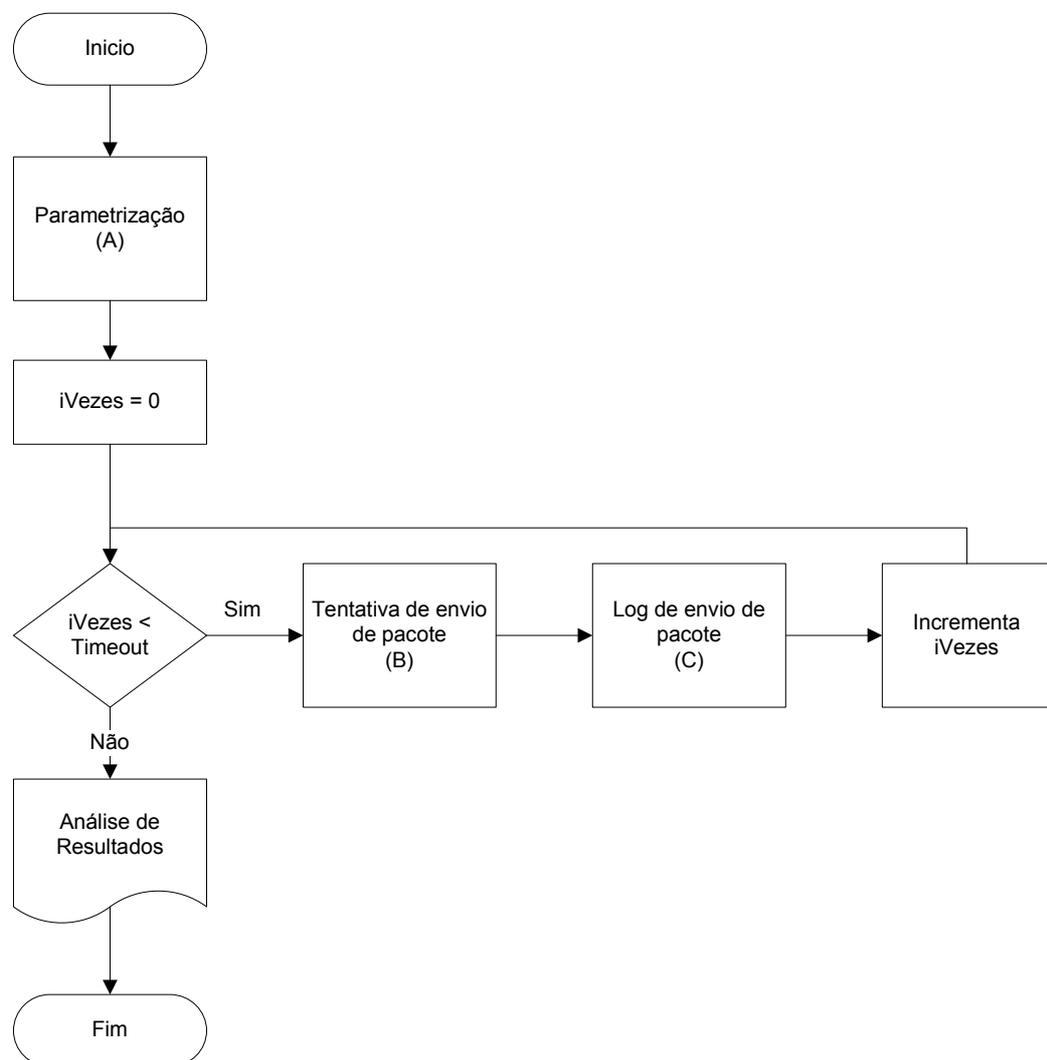


Figura 11 – Fluxo básico do simulador. (A) Parametrização do sistema e da simulação, (B) a tentativa de envio de pacotes e (C) o registro de Log das ocorrências de cada evento.

Onde o *i*Vezes é um contador do número de tentativas para envio de uma pacote, sendo que se ele for maior que o parâmetro de *Timeout* o pacote será registrado como perdido.

Com base neste fluxograma básico, pode-se detalhar o processo de parametrização da simulação (A), conforme pode ser visto na Figura 12.

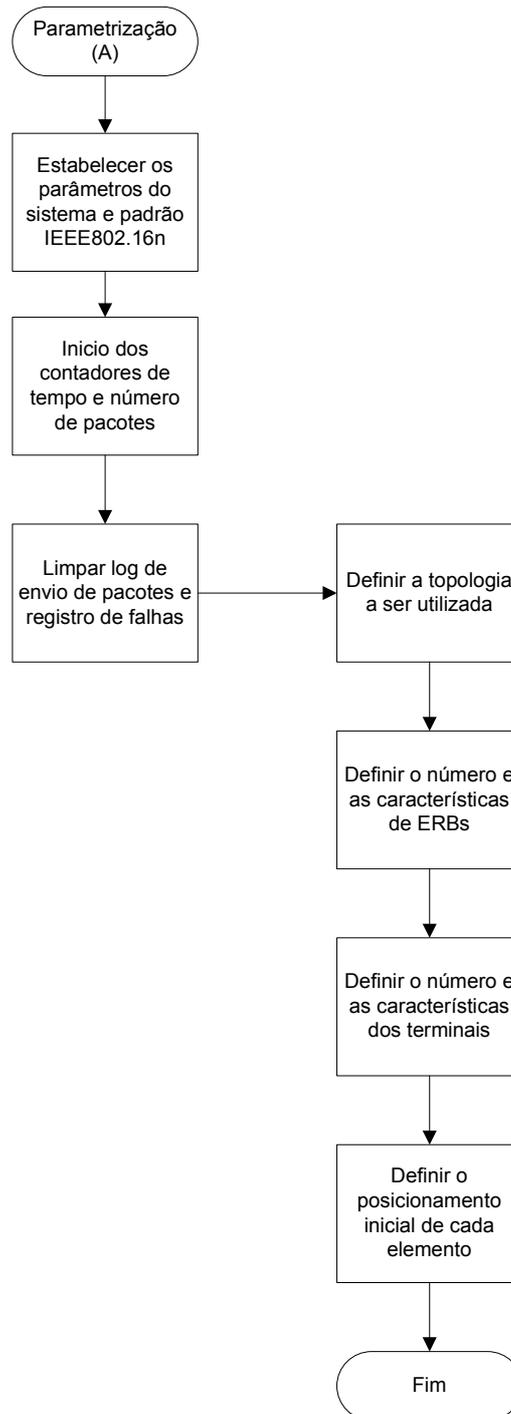


Figura 12 – Fluxograma de parametrização da plataforma.

A partir da parametrização do sistema, pode-se detalhar o processo de envio de um pacote (B), conforme pode ser visto na Figura 13.

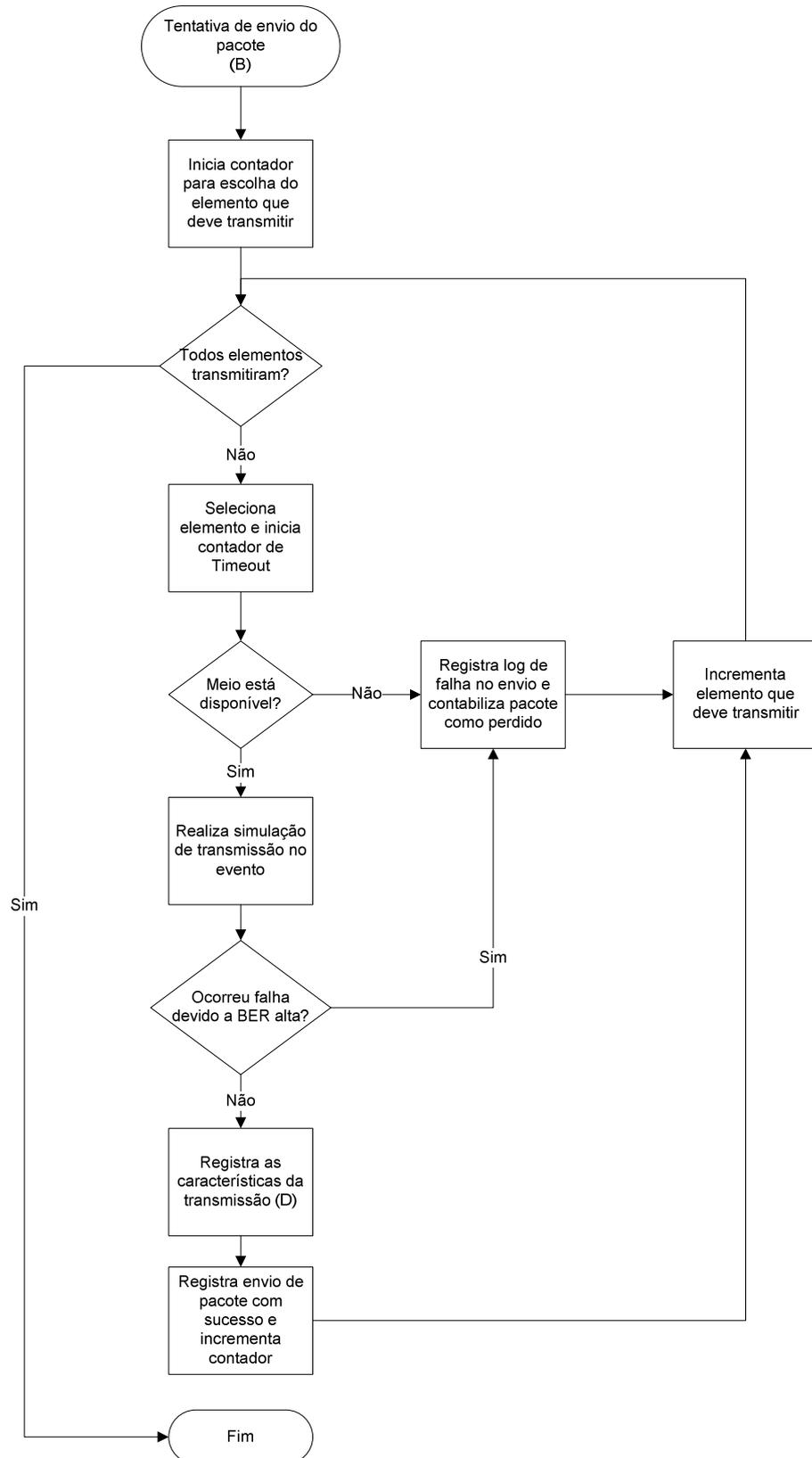


Figura 13 – Fluxograma para envio de pacotes.

Para a estrutura de registro de envio de pacotes, tem-se o seguinte fluxograma descrito pela Figura 14.

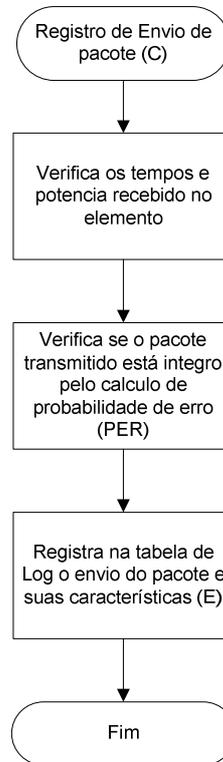


Figura 14 – Fluxograma para registro de logs e resultados.

Após a execução de todos os cálculos das efetivas ou tentativas de transmissões dos pacotes de cada elemento, a plataforma realiza uma análise dos resultados contidos em uma tabela de Log.

Esta análise dos resultados visa extrair as informações sobre o processo simulado de transmissão para cada evento, além de permitir o seu armazenamento e conseqüentemente sua consulta posterior.

A Figura 15 detalha o processo para análise de resultados:

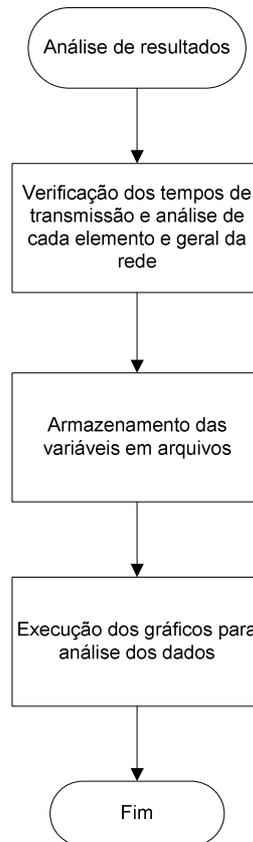


Figura 15 – Fluxograma para análise dos resultados

Como resultado da simulação a plataforma gera uma tabela contendo informações sobre cada evento de transmissão de cada elemento. Esta tabela contém em cada linha os seguintes campos referentes à tentativa de envio de pacotes.

- Índice do registro auto-incremental de cada evento realizado;
- Terminal que realizou a tentativa de envio;
- Posição X do terminal na topologia;
- Posição Y do terminal na topologia;
- ERB na qual o terminal está alocado e transmitindo;
- Potência do sinal recebido pelo Terminal segundo o modelo de ERCEG;

- Probabilidade de erro do pacote segundo uma distribuição normal, utilizado para envio dos pacotes;
- Taxa total disponível na ERB em Kbps;
- Distância em metros do Terminal em relação a ERB;
- Taxa de UL disponível na ERB em Kbps;
- Taxa de DL disponível na ERB em Kbps;
- Taxa de ocupação do serviço de todos os elementos na ERB em Kbps;
- Número de pacotes transmitidos;
- Número de pacotes com erro;
- Porcentagem de eficiência da ERB até o evento, sendo a razão entre o número de pacotes com erro e o número total de pacotes transmitidos;
- Tempo de envio de cada evento;
- *Jitter* calculado sobre as transmissões existentes para cada terminal;
- *Throughput* do serviço utilizado para cada terminal.

O resultado desta tabela pode ser analisado de maneiras distintas, a fim de estabelecer diversas métricas e cenários para análise de redes IEEE802.16e.

A forma selecionada neste trabalho para averiguar a eficácia da metodologia para *Load Balance* de tráfego através do processo de HO baseou-se em verificar a taxa de transmissão geral de todos os elementos, assim como a eficiência da rede.

Dessa maneira, foi possível verificar o desempenho da rede de acordo com o cenário escolhido para simulação nos dois métodos de HO estudados neste trabalho.

5.2.1. Construção do cenário de simulação para duas células

Como cenário de testes para duas células, foi preparado um ambiente de simulação que contempla duas interfaces áreas, ou seja, apenas dois setores das células.

Denominada ERB A, a primeira contém apenas 1 usuário conectado simultaneamente utilizando uma taxa de 384 kbps representando um vídeo-chamada.

Já na ERB B existem 20 usuários simultâneos também utilizando o serviço de vídeo-chamada e distribuídos uniformemente por toda a célula.

Para este caso foi escolhido o valor de 20 usuários, pois a somatória total da taxa utilizada é próxima do limite de capacidade da ERB no que se refere ao UL, o que neste caso atinge a capacidade máxima do serviço, uma vez que o mesmo é simétrico.

Quando se inicia a simulação o usuário que está na ERB A se desloca para ERB B, passando pelas áreas com modulação e taxas distintas. Isso faz com que o sistema tenha que decidir entre trabalhar com uma qualidade de sinal reduzido, mas com uma disponibilidade maior, ou com uma disponibilidade menor e uma qualidade de sinal melhor.

A Figura 16 mostra o cenário descrito acima.

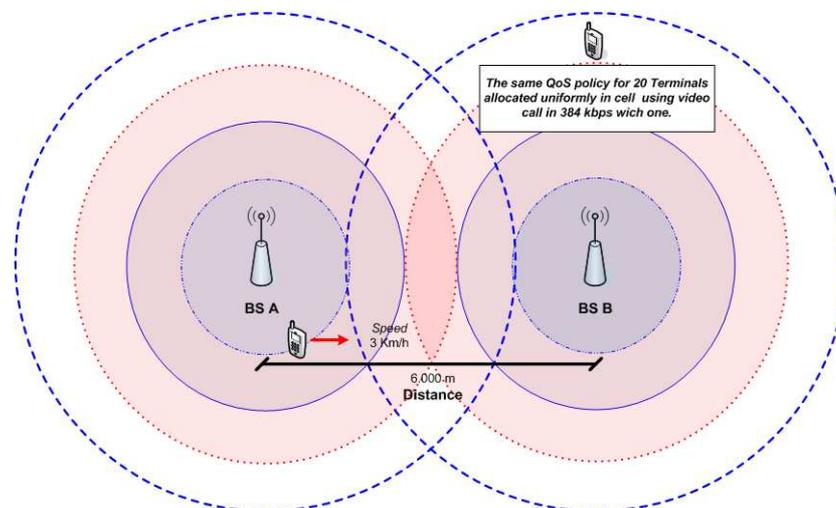


Figura 16 – Cenário para simulação de duas células utilizando MAC IEEE802.16e.

5.2.2. Construção do cenário de simulação para quatro células

Para esta análise será utilizada a topologia de Manhattan com 4 células posicionadas nas extremidades do quadrado e 6 km distante uma das outras.

A topologia possui $N \times M$ nós que compõe uma malha bidirecional, sendo que cada nó com a exceção das extremidades dá origem a 4 direções distintas. Observa-se que todos os caminhos possuem pelo menos um em paralelo, por isso o nome de *Manhattan Street*, como as ruas de *Manhattan*.

A Figura 17 mostra as ERBs A, B, C e D, assim como os caminhos por onde os usuários irão trafegar.

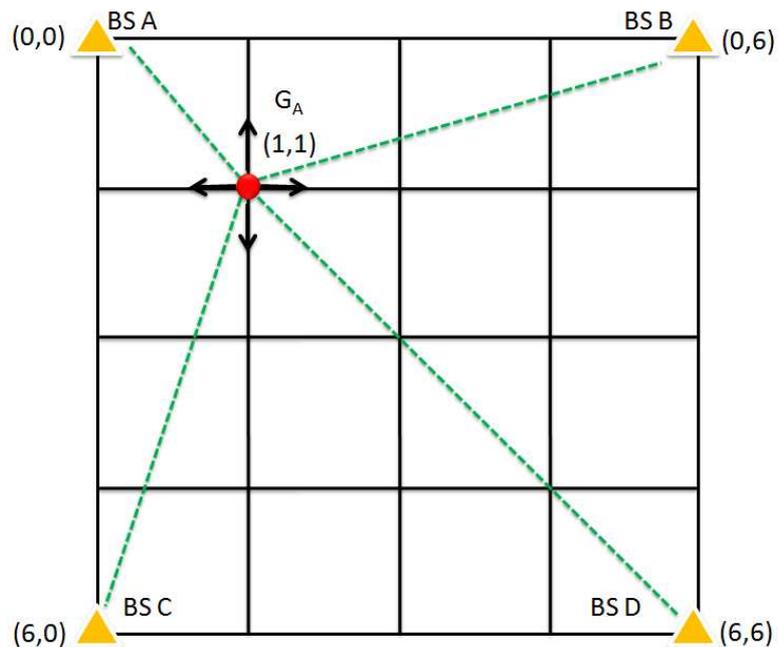


Figura 17 – Cenário de simulação para topologia de Manhattan com 4 células

Assim que se inicia uma simulação a posição de cada usuário é sorteada uniformemente nas esquinas dos caminhos contidos na topologia conforme ilustrado pela Figura 17, assim pode-se ter uma maior aproximação de uma rede real de celulares.

Neste caso todos os usuários possuem o mesmo perfil de QoS utilizam o mesmo serviço de vídeo-chamada, utilizando para isso uma taxa fixa de 384 Kbps.

A cada evento todos os usuários movem-se o equivalente a 10 metros nos caminhos estabelecidos pela topologia até que cheguem à outra esquina onde será escolhido ou não uma nova direção de forma aleatória.

5.2.3. Construção do cenário de simulação para ambiente real

Baseado em um localidade de ERB suposto em uma determinada área de cobertura, foram posicionados usuários uniformemente distribuídos e utilizando proporcionalmente os serviços de voz, vídeo e dados, sendo os dois primeiros simétricos e o último assimétrico.

A Figura 18 mostra a região onde estão posicionadas as células e o perímetro de atuação de cada uma delas.

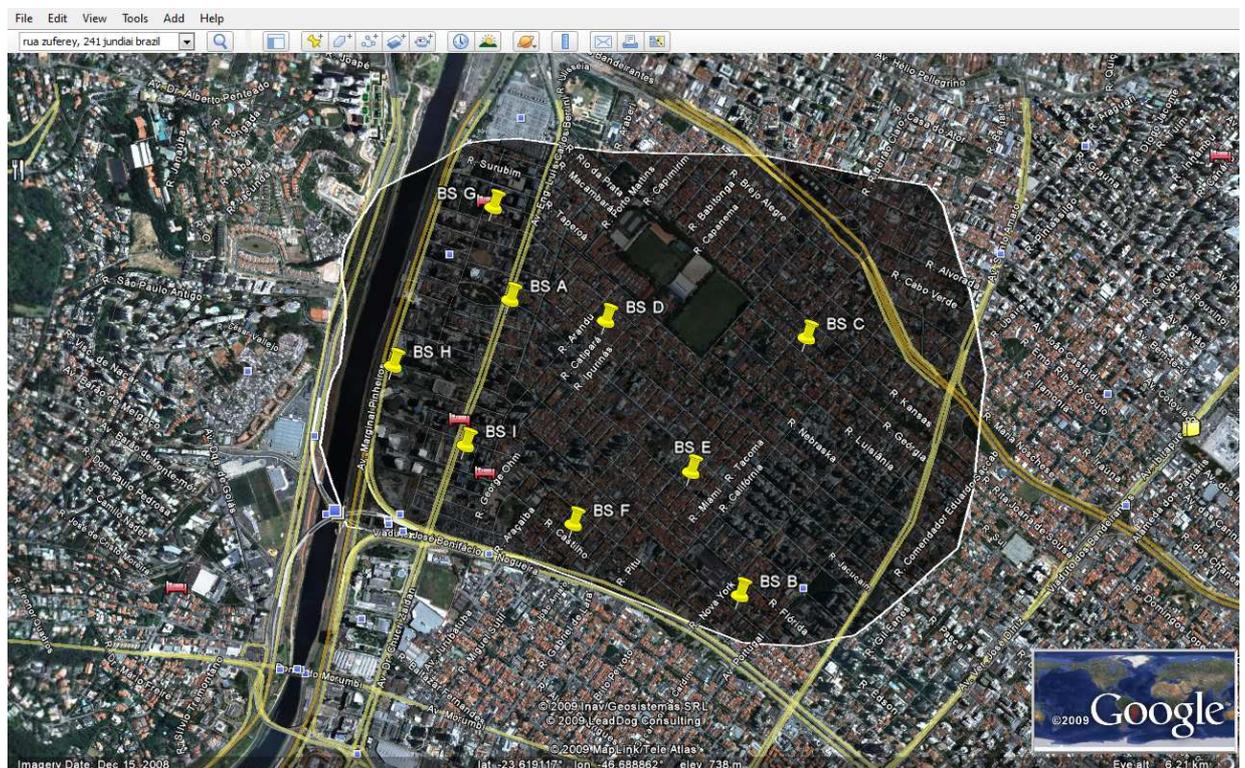


Figura 18 – Imagem de satélite contendo o posicionamento das células a serem simuladas.

Esta região foi escolhida, devido a sua grande concentração de usuários e por se tratar de uma área empresarial, ou seja, isto significa que os serviços de dados têm maior importância do que em outras regiões, além de supostamente o volume de tráfego ser elevado.

A Figura 19 mostra com mais detalhes a área de cobertura que será simulada. Uma vez que os usuários se movimentarão nas ruas existentes no mapa, onde apenas serão considerados usuários outdoor.

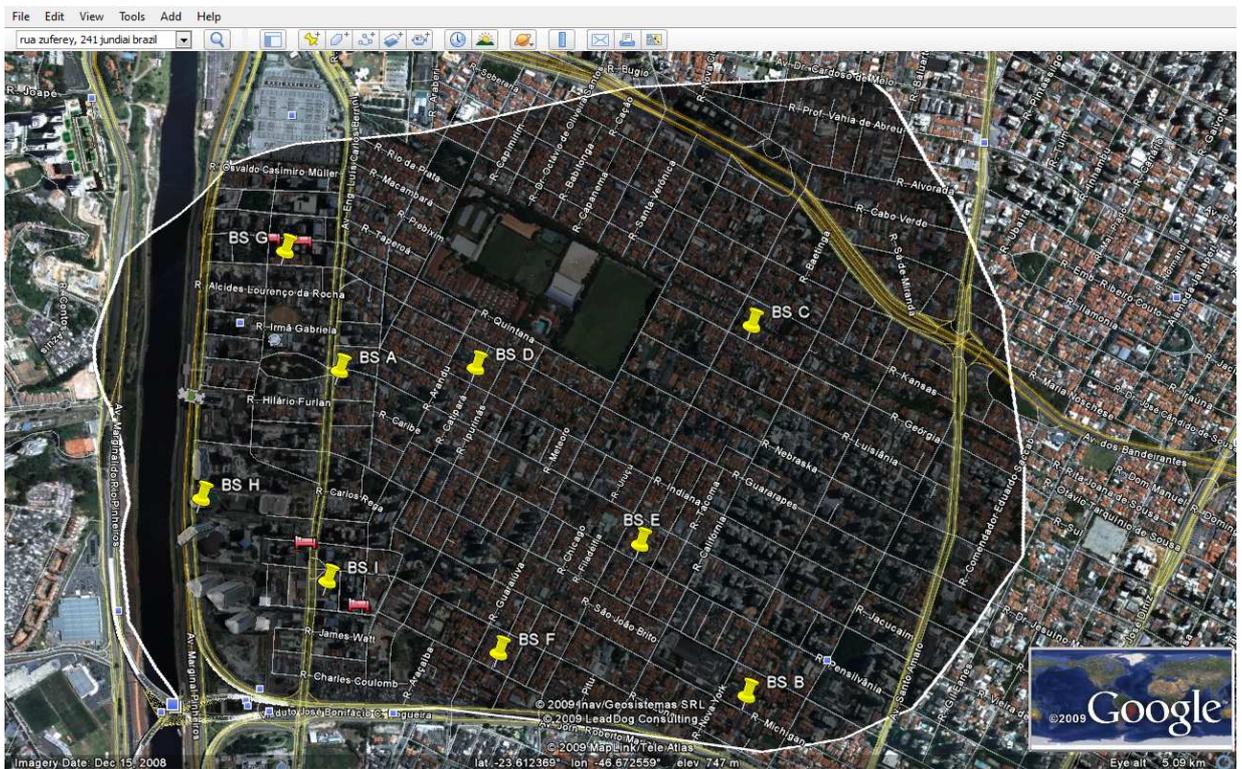


Figura 19 – Imagem de satélite com 9 células e grande concentração de usuários.

Ainda na Figura 19 é possível identificar avenidas em amarelo onde a concentração de usuários é tipicamente maior, por este motivo a simulação contempla também que 20% das conexões sejam providas destas avenidas.

6. AVALIAÇÃO POR SIMULAÇÃO

Neste Capítulo são discutidos os resultados do trabalho utilizando algumas métricas e comparando-os com outros resultados verificados na pesquisa bibliográfica.

6.1. Métricas para avaliação do desempenho

Para avaliar qualquer rede de dados móvel quanto ao seu desempenho, confiabilidade, conectividade é necessário medir alguns parâmetros que influenciam diretamente os serviços ofertados por este tipo de rede.

Neste trabalho são avaliados o comportamento das taxas de *Downlink (DL)*, *Uplink (UL)* e *Throughput* médio do usuário para investigar a conectividade e desempenho de cada usuário.

Além disso, é analisada a taxa de perda de pacotes (PER) ocasionada pela perda de conectividade ou por uma função de distribuição gaussiana conforme descrito em (YOON, D. G., SHIN S. Y., KNOW W. H., 2006).

Segue detalhadamente do escopo de medição para cada um dos itens:

- ❖ *Análise da taxa de dados do canal de DL*: Esta métrica investiga o comportamento da taxa de DL durante o processo de HO. Conforme o usuário se distancia da célula ocorre na MAC a mudança de modulação para manter a BER da conexão conforme especificado em (DOCUMENT 8F/1079-E, 2007).
- ❖ *Análise da taxa de dados do canal de UL*: Descrito conforme os mesmos termos mencionados para o canal de DL, contudo no caso da especificação IEEE 802.16e (DOCUMENT 8F/1079-E, 2007) a relação UL / DL é assimétrica de forma que alguns serviços simétricos comuns às redes celulares podem ser limitados pelo canal de *UL*, mesmo possuindo recursos disponíveis no canal de *DL*.
- ❖ *Análise da taxa de dados do usuário (throughput)*: Análise do *throughput* médio de todos os usuários simultâneos na rede. Isto

demonstra exatamente a percepção do usuário quando ao desempenho da rede.

❖ *Análise da taxa de perda de pacotes (PER):* Uma vez trafegando pacotes na simulação as perdas de pacotes são ocasionadas de duas maneiras:

- Perda de conectividade e;
- Distribuição estatística de BER.

No caso da perda de conectividade, seja por perda de cobertura ou por falta de disponibilidade de recursos para alocação do usuário na célula de destino, todos os pacotes transmitidos serão contabilizados como perdidos.

Para análise e comparação do BER foi utilizada a dedução encontrada em (YOON, D. G., SHIN S. Y., KNOW W. H., 2006). Neste caso é considerada a banda de frequência em 2,5GHz e modulações OFDM (sub-portadoras: QAM e QPSK).

Para avaliar o desempenho utilizando a BER como fator determinante foi realizado uma análise através de um canal AWGN (Additive White Gaussian Noise), normalmente utilizado para simulações com mobilidade.

6.2. Topologia Linear – Duas células

Nesta seção são descritos os parâmetros, processos e resultados envolvidos na validação da proposta utilizando um modelo simples de duas células.

6.2.1. Parâmetros da simulação

Os parâmetros utilizados nesta simulação foram adotados com base nas características das redes celulares existentes atualmente. Inclusive os valores os parâmetros da plataforma WiMAX estão descritos em (ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., 2007) como sendo um exemplo clássico de uma implementação celular.

A Tabela 4 apresenta os valores de topologia, desempenho, ambiente e tráfego para a base dos resultados apresentados nesta seção.

Tabela 4 – Parâmetros para execução da simulação em duas células

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Número de ERBs	BS	2	-
Distancia entre ERBs	-	6000	m
Largura de banda	Bw	10	MHz
UL/DL sub-canais	Tc	560/720	-
UL/DL número de símbolos	Ns	21/26	-
Símbolos por Frame	Fs	48	-
Duração do Símbolo	St	0.000103	s
Frequência portadora	F	2.5	GHz
Ganho antena ERB	Gt	18	dBi
Ângulo de abertura da antena	θ_{3dB}	120	°
Altura da antena da ERB	Ht	40	m
Figura de Ruído	NBf	4	dB
Potencia de TX ERB	PBt	23	dBm
Ganho da antena do terminal	Mr	0	dBi
Altura da antena do terminal	Mt	1.7	M
Figura de ruído do terminal	NMf	8	dB
Modelo de propagação	-	Erceg	-
Canal de multi-percurso	-	Pedestre 3km/h	km/h
Modelo de tráfego	-	Mesmo para todos os usuários	-
Número de usuários ERB A	U_A	1	-
Número de usuários ERB B	U_B	20	-
Fator de peso disponibilidade	α	3	-
Taxa do serviço (vídeo-chamada)	SR	384	Kbps

Na Tabela 4 é importante lembrar que os parâmetros envolvidos diretamente na configuração do sistema seguem os valores padrão do IEEE802.16e. Já os valores de topologia e antenas e frequência seguem os valores típicos de uma rede celular no Brasil.

6.2.2. Resultados

Conforme mencionado anteriormente os resultados a seguir foram analisados com base nos três ambientes descritos pelo modelo de ERCEG: Rural, Suburbano e Urbano.

Contudo os resultados encontrados nesta seção são similares ao encontrados em (CASEY T., 2008), porém neste caso existe uma implementação observando as características físicas de propagação.

a) **Análise para o modelo de Erceg em Ambiente Rural**

Como primeiro resultado, é observado o comportamento do canal de DL. Pode-se verificar já uma perda de taxa do usuário que se desloca em direção à ERB B a partir de 2.8km e até 3.5km aproximadamente.

A Figura 20 mostra o comportamento do canal de DL nos dois métodos avaliados.

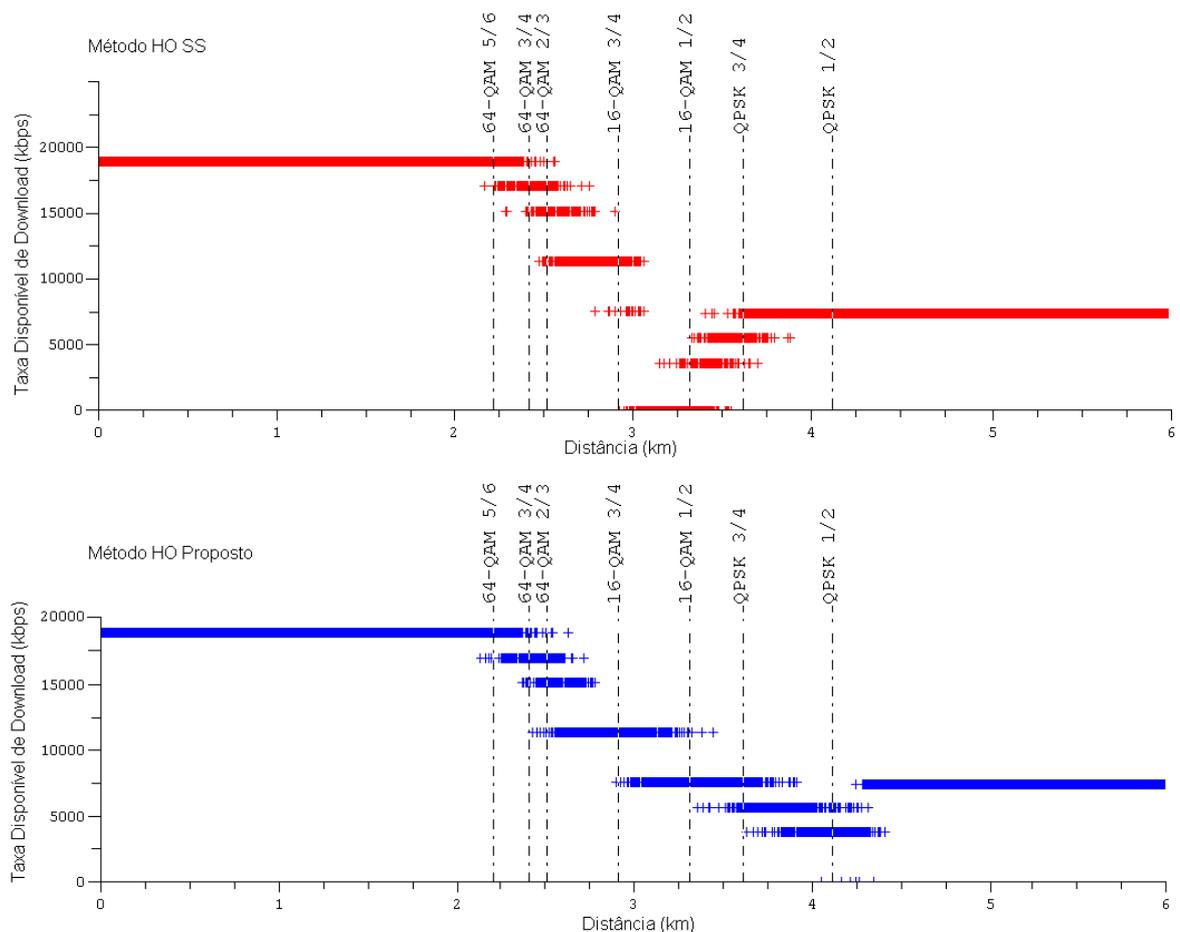


Figura 20 – Gráficos das análises de comportamento do canal de DL durante o processo de HO em ambiente rural para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Com base nestes resultados a Figura 21 mostra uma análise estatística considerando a probabilidade de que o canal esteja disponível ao novo usuário e qual sua distribuição de taxa durante o processo de HO.

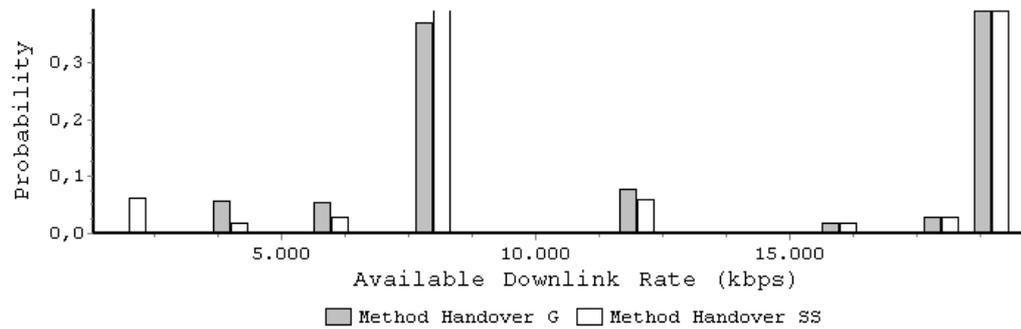


Figura 21 – Análise de probabilidade de *DL* disponível em ambiente rural.

Pode-se observar que no método proposto a conexão obteve uma maior distribuição de taxas, enquanto que pelo método SS houve uma interrupção abrupta do serviço.

A seguir, é analisado o comportamento do canal de UL. Sabendo-se que o serviço proposto é simétrico e que no caso do WiMAX a plataforma possui uma configuração assimétrica; o canal de UL será o limitante da interface aérea devido a sua menor capacidade.

Neste caso, conforme pode ser analisado na Figura 22 o método de HO Proposto mostrou ter uma eficácia maior em relação ao método HO SS.

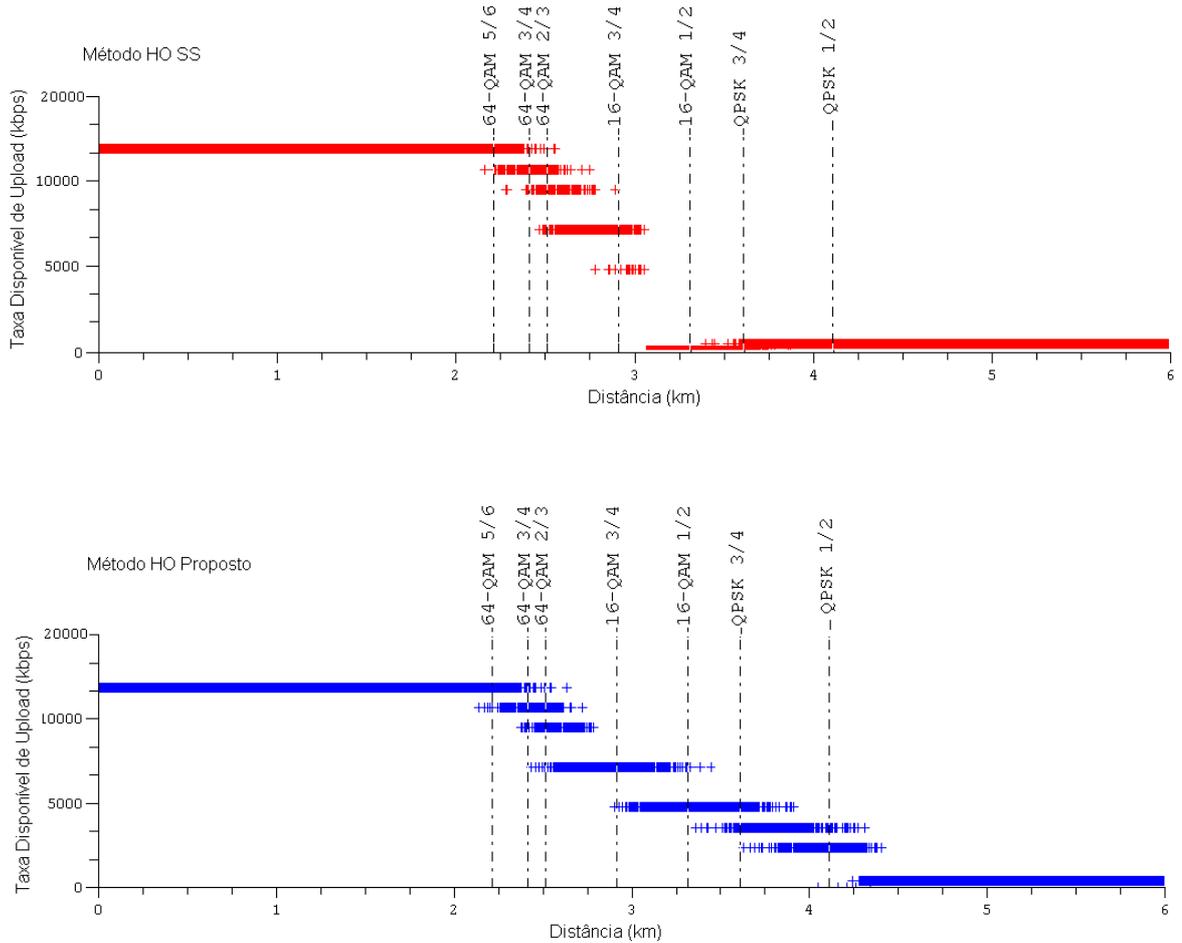


Figura 22 – Gráficos das análises de comportamento do canal de *UL* durante o processo de *HO* em ambiente rural para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Pode-se verificar que por um trecho de aproximadamente 1 km entre as ERBs houve uma descontinuidade do serviço, utilizando o método HO SS.

Enquanto, que no método HO proposto isso não ocorre, mesmo utilizando os mesmos recursos físicos.

Este fenômeno pode ser mais facilmente comprovado através da Figura 23, que traz a análise estatística para o comportamento da conexão.

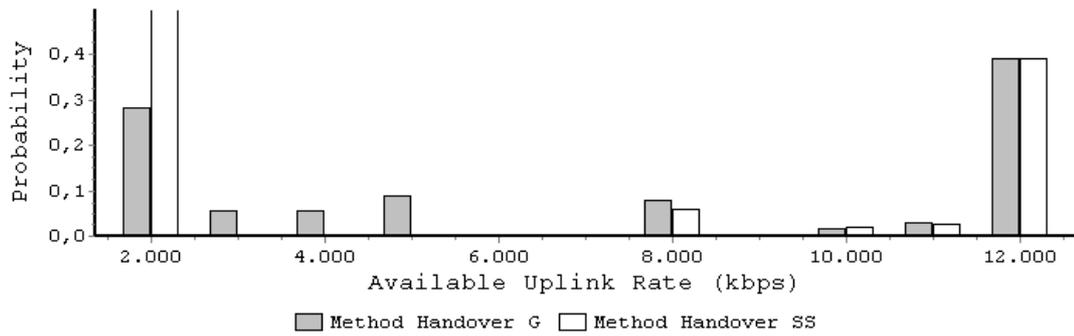


Figura 23 – Análise de probabilidade de *UL* disponível em ambiente rural.

Ainda seguindo a linha para comprovação da eficácia do método HO Proposto, pode-se verificar o comportamento da taxa consumida pelo usuário que se desloca entre as células.

Na Figura 24 existe uma falha de conectividade devido à falta de disponibilidade na ERB B para o método HO SS, visto que já no método HO proposto isso não ocorre.

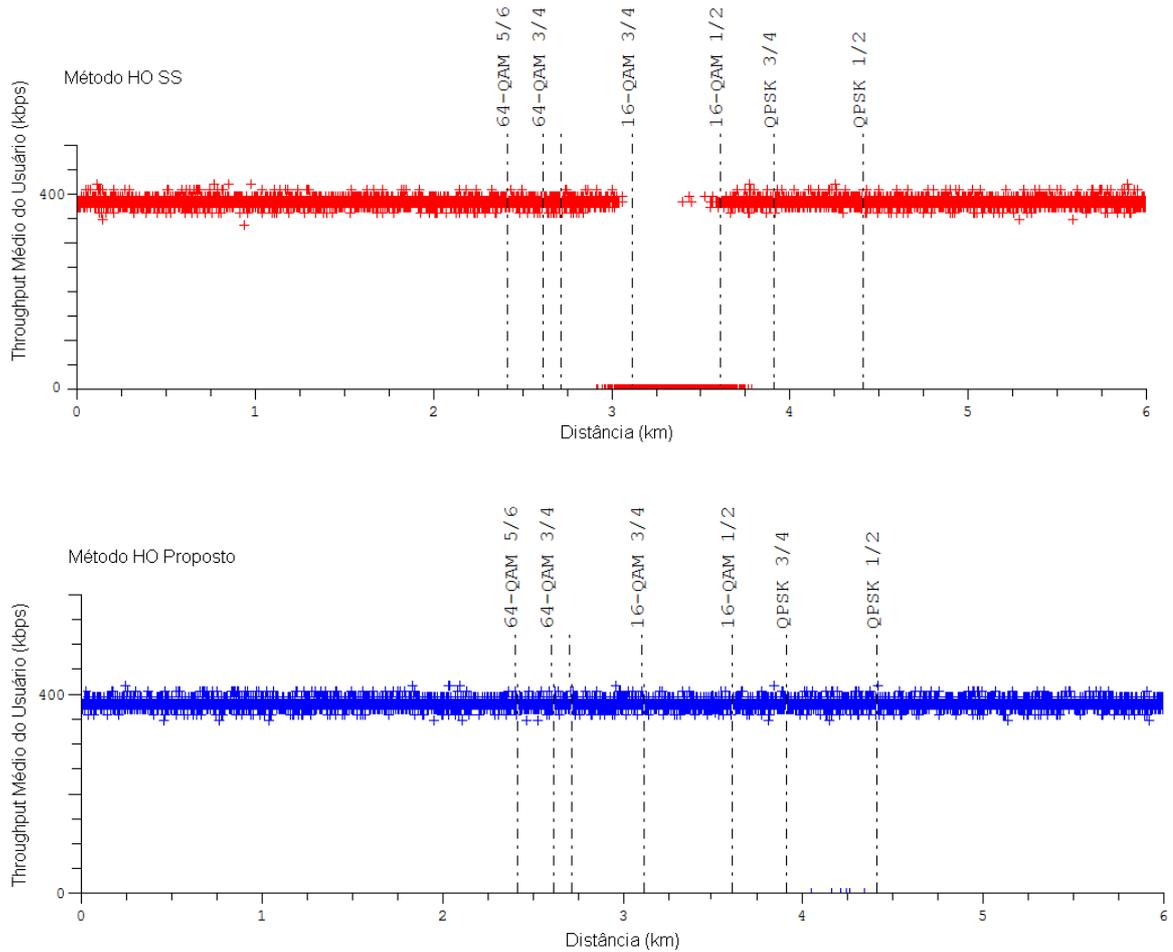


Figura 24 – Gráficos do *Throughput* médio do usuário durante o processo de *HO* em ambiente rural para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Além disso, se realizarmos uma média simples do *Throughput* utilizado pelo usuário nos dois métodos pode-se verificar um aumento da taxa efetiva no método HO Proposto, conforme mostra a Figura 25.

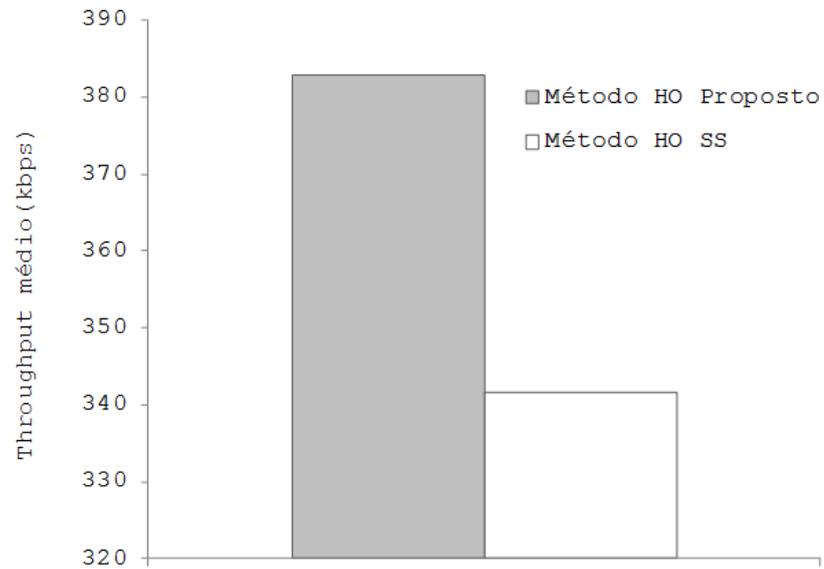


Figura 25 – *Throughput* médio do usuário em ambiente rural.

Por fim, considerando estas interrupções e quedas na conexão com a ERB, foi analisado como métrica comparativa a taxa de erro de pacotes na transmissão PER .

Tomando-se como premissa que a PER representa neste caso a eficiência do sistema, a Figura 26 comprova um aumento de 13% na eficiência utilizando o método HO Proposto em relação ao método HO SS.

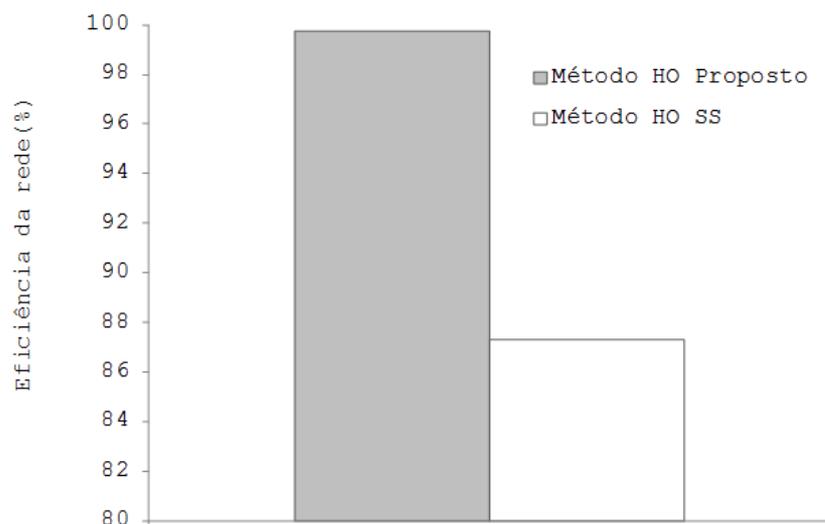


Figura 26 – Eficiência da comunicação durante o processo de *HO* do usuário em ambiente rural.

b) Análise para o modelo de Erceg em Ambiente Suburbano

Utilizando os mesmos parâmetros estabelecidos na Tabela 6, foram executadas as simulações para o ambiente suburbano.

Verifica-se neste ambiente um resultado similar ao analisado no ambiente rural. Porém, neste caso existe uma descontinuidade no serviço a partir do km 3 por aproximadamente 500 metros até restabelecer o serviço de forma degradada devido à falta de capacidade disponível na ERB B.

A Figura 26 mostra os resultados sobre o comportamento da taxa de DL disponível durante o processo de HO, para os dois métodos analisados.

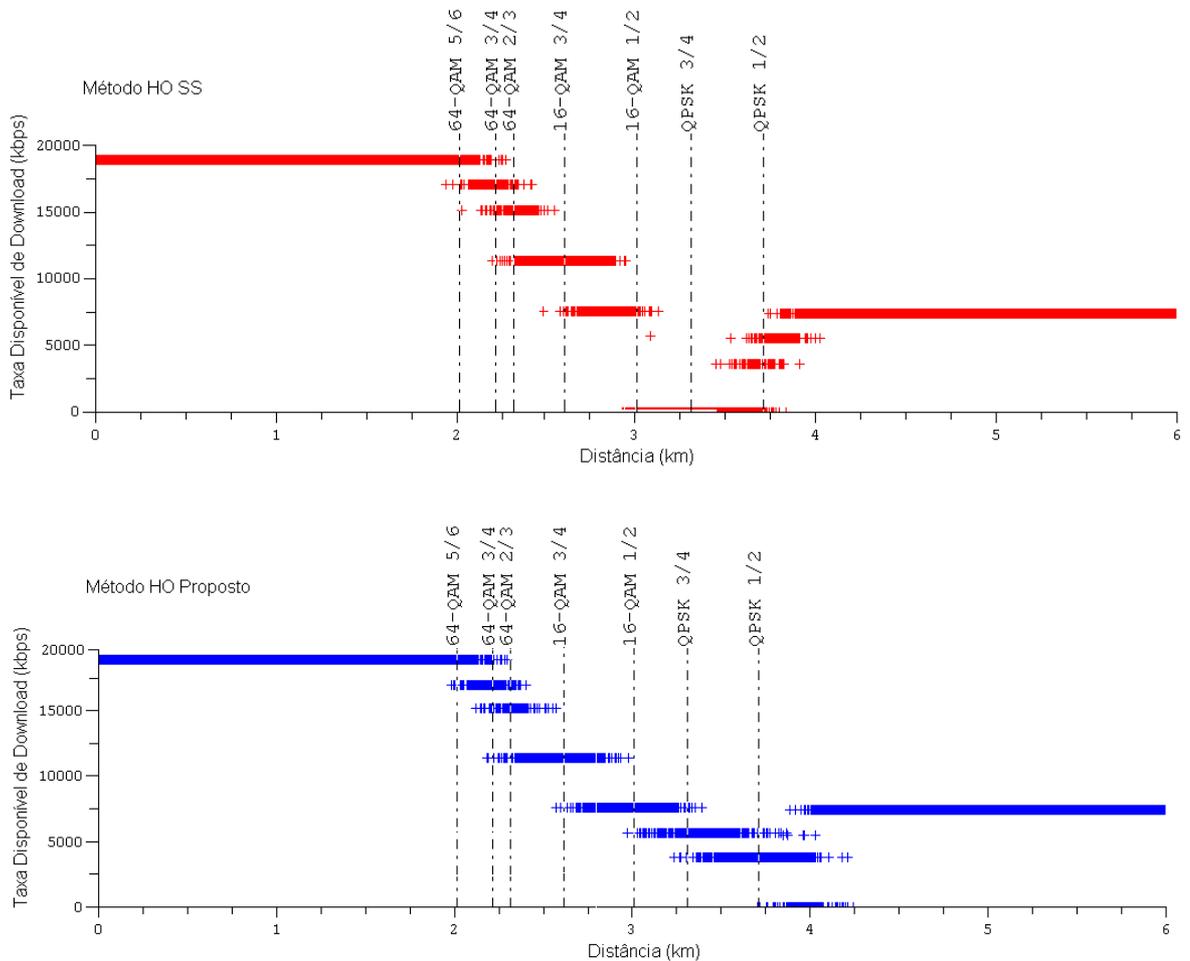


Figura 27 – Gráficos das análises de comportamento do canal de DL durante o processo de HO em ambiente suburbano para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Percebe-se nos gráficos da Figura 27 um ganho efetivo no desempenho do serviço utilizando-se o método HO proposto, porém com uma diminuição em relação ao ambiente rural.

A Figura 28 mostra o gráfico de probabilidade do canal de DL:

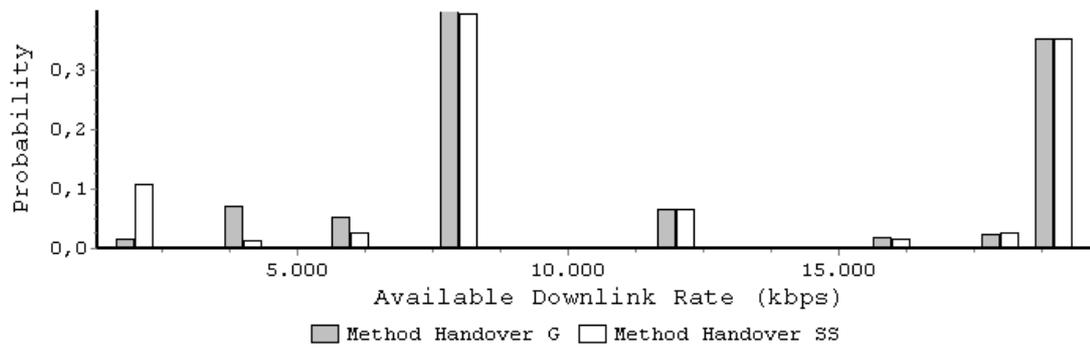


Figura 28 – Análise de probabilidade de *DL* disponível em ambiente suburbano.

Utilizando o mesmo conceito já apresentado, a análise do canal de UL mostra uma descontinuidade do serviço em 800 metros lineares na área de HO entre as células se utilizado o método HO SS, o que não ocorre no método HO proposto.

A Figura 29 mostra os gráficos para análise do comportamento do canal de UL para os dois métodos investigados.

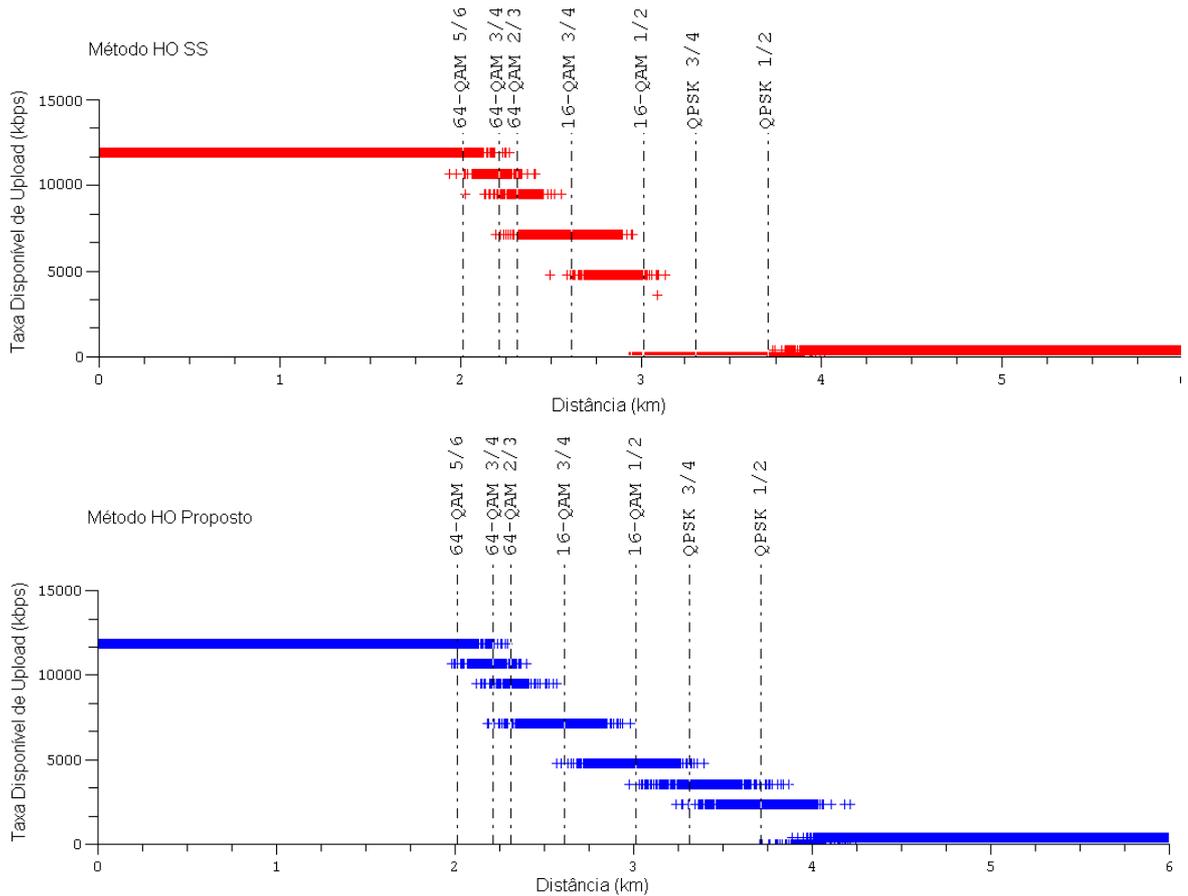


Figura 29 – Gráficos das análises de comportamento do canal de *UL* durante o processo de *HO* em ambiente suburbano para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Percebe-se que no método HO Proposto houve como nos outros casos uma diminuição gradativa da taxa do usuário, sem que haja descontinuidade no serviço, sendo que o mesmo comportamento não pode ser aferido para o método HO SS.

Isso também pode ser observado na Figura 30 que traz o gráfico de probabilidade para o comportamento do canal de *UL*.

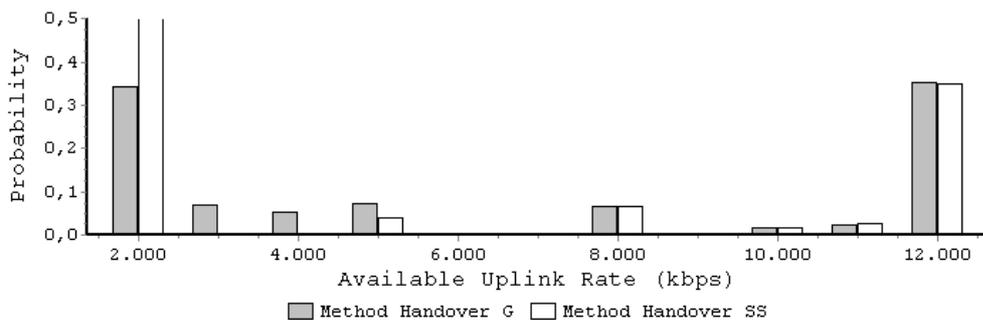


Figura 30 – Análise de probabilidade de *UL* disponível em ambiente suburbano.

Por fim, a Figura 31 mostra a análise sobre o *Throughput* médio do usuário. Também no ambiente suburbano existiu uma descontinuidade no serviço utilizando-se o método HO SS, conforme já verificado no ambiente rural, porém agravado devido ao fato de se tratar de um ambiente mais hostil.

Já pelo método HO proposto o usuário permanece indiferente as características de propagação e disponibilidade limitada imposta pelo canal de UL em um serviço simétrico.

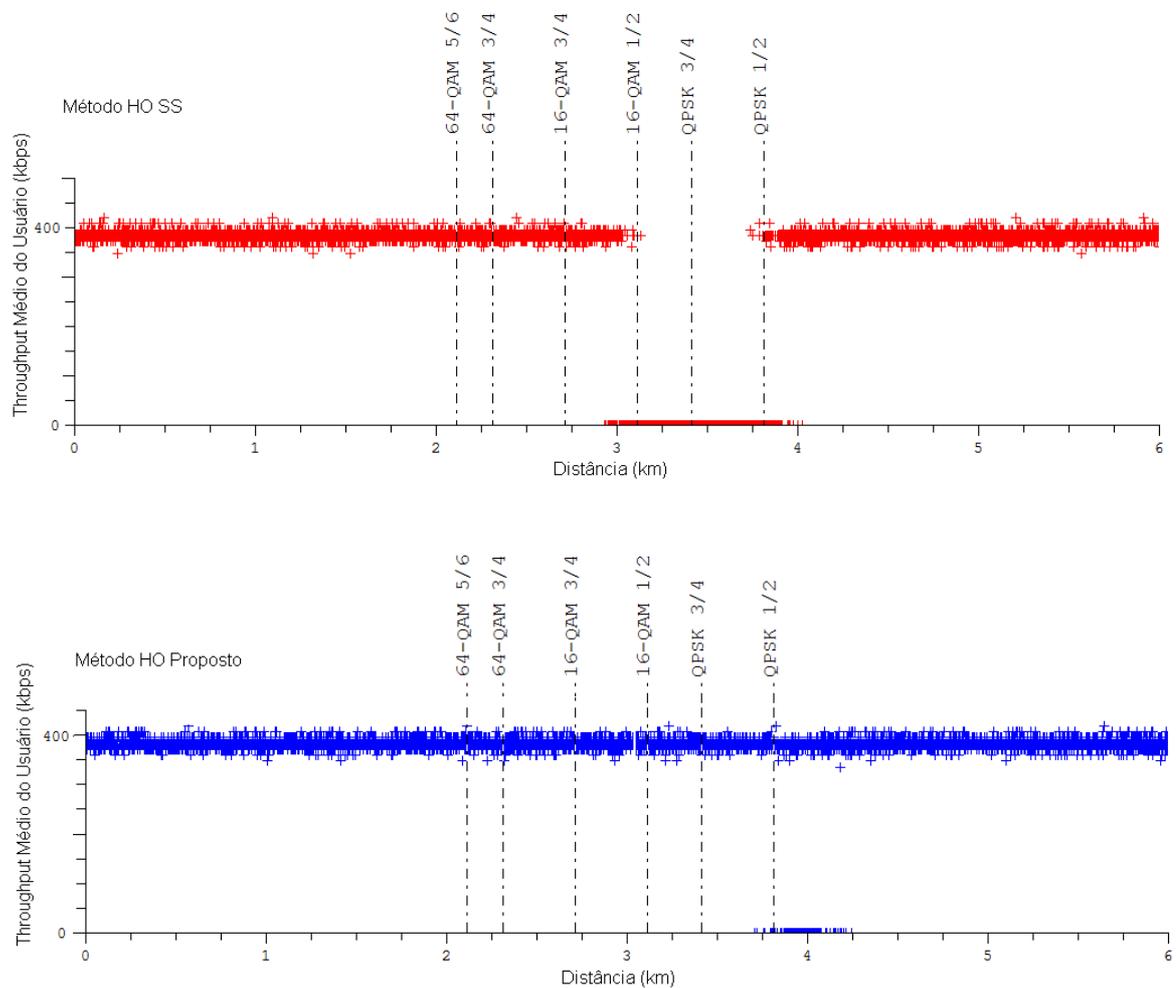


Figura 31 – Gráficos do *Throughput* médio do usuário durante o processo de *HO* em ambiente suburbano para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Baseado nestes dados pode-se extrair uma média de *Throughput* dos usuários e verificar um ganho efetivo de aproximadamente 15% pelo método HO proposto, conforme mostrado na Figura 32.

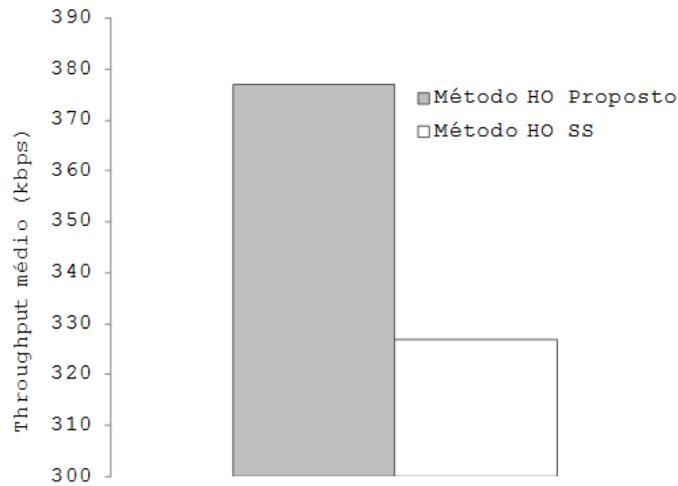


Figura 32 – *Throughput* médio do usuário em ambiente suburbano.

No caso do ambiente suburbano o método HO proposto obtém um ganho de aproximadamente 16% em relação ao método HO SS.

A Figura 33 mostra este cenário, com um ganho maior ao encontrado no ambiente rural, isto porque, em ambiente suburbano o sinal se degrada mais rapidamente, fazendo com que o método HO SS migre de célula antes e conseqüentemente com isso provoque a descontinuidade do serviço, devido à indisponibilidade da ERB B.



Figura 33 – Eficiência da comunicação durante o processo de *HO* do usuário em ambiente suburbano.

c) Análise para o modelo de Erceg em Ambiente Urbano

Ainda utilizando os mesmos parâmetros estabelecidos na Tabela 6, esta seção apresenta os resultados das simulações para o ambiente Urbano.

As mesmas características de descontinuidade, já observadas nos ambientes rural e suburbano, no comportamento do canal de DL utilizando-se o método HO SS, também foram observadas no ambiente urbano, com um aumento significativo.

Já utilizando o método HO proposto, os resultados das simulações mostram um aproveitamento melhor das taxas disponíveis nos canais de DL e UL, proporcionando assim uma estabilidade maior dos serviços.

A Figura 34 apresenta o resultado da simulação para o comportamento do canal de DL em um ambiente urbano.

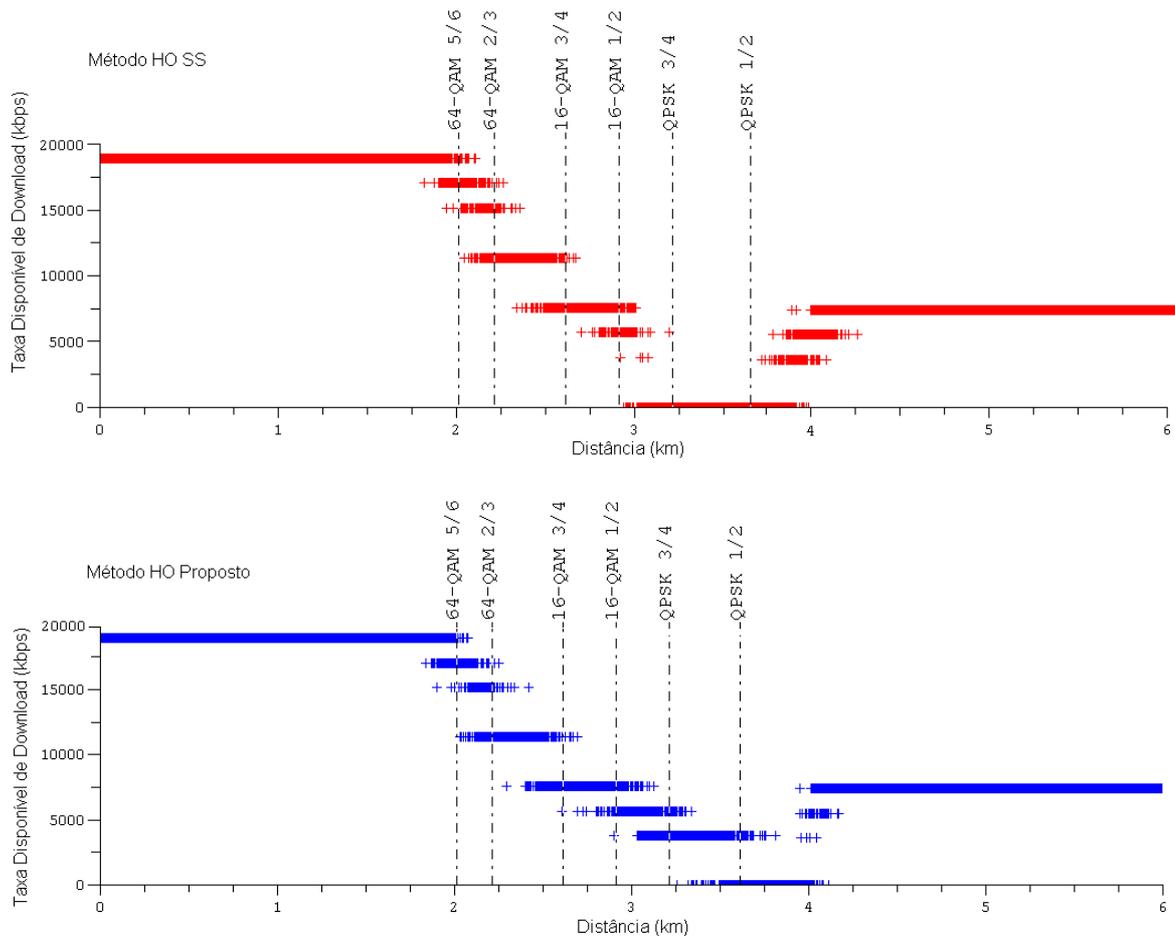


Figura 34 – Gráficos das análises de comportamento do canal de DL durante o processo de HO em ambiente urbano para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Percebe-se um ganho de estabilidade no serviço utilizando o método HO proposto, porém neste caso o serviço apresenta uma pequena descontinuidade.

Já no método HO SS existe uma perda de aproximadamente 16% de conectividade o que era esperado devido às características de propagação no ambiente rural ser mais hostil.

Assim, temos a Figura 35 que mostra o gráfico de probabilidade do canal de *DL*.

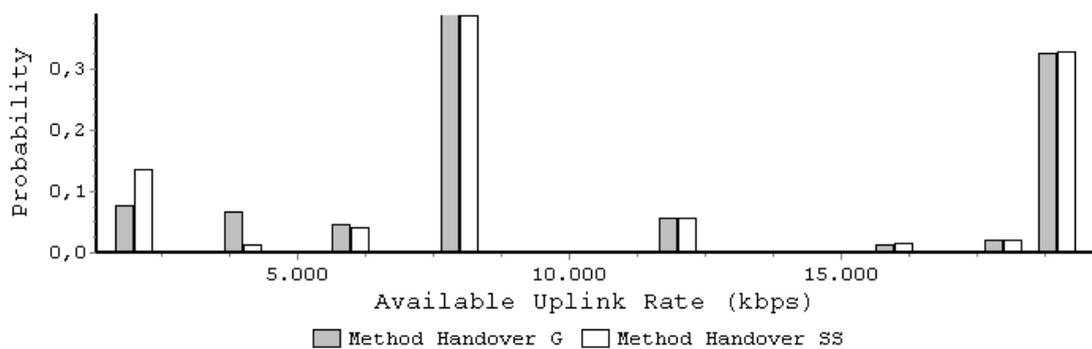


Figura 35 – Análise de probabilidade de *DL* disponível em ambiente urbano.

A análise do canal de *UL* segue a mesma linha dos outros resultados apresentados até o momento, ou seja, uma descontinuidade do serviço em aproximadamente 1000 metros lineares na área de HO entre as células se utilizado o método HO SS.

A Figura 36 apresenta o ganho relativo entre os dois métodos, porém neste caso no método HO proposto, também pode ser observado uma pequena descontinuidade do serviço.

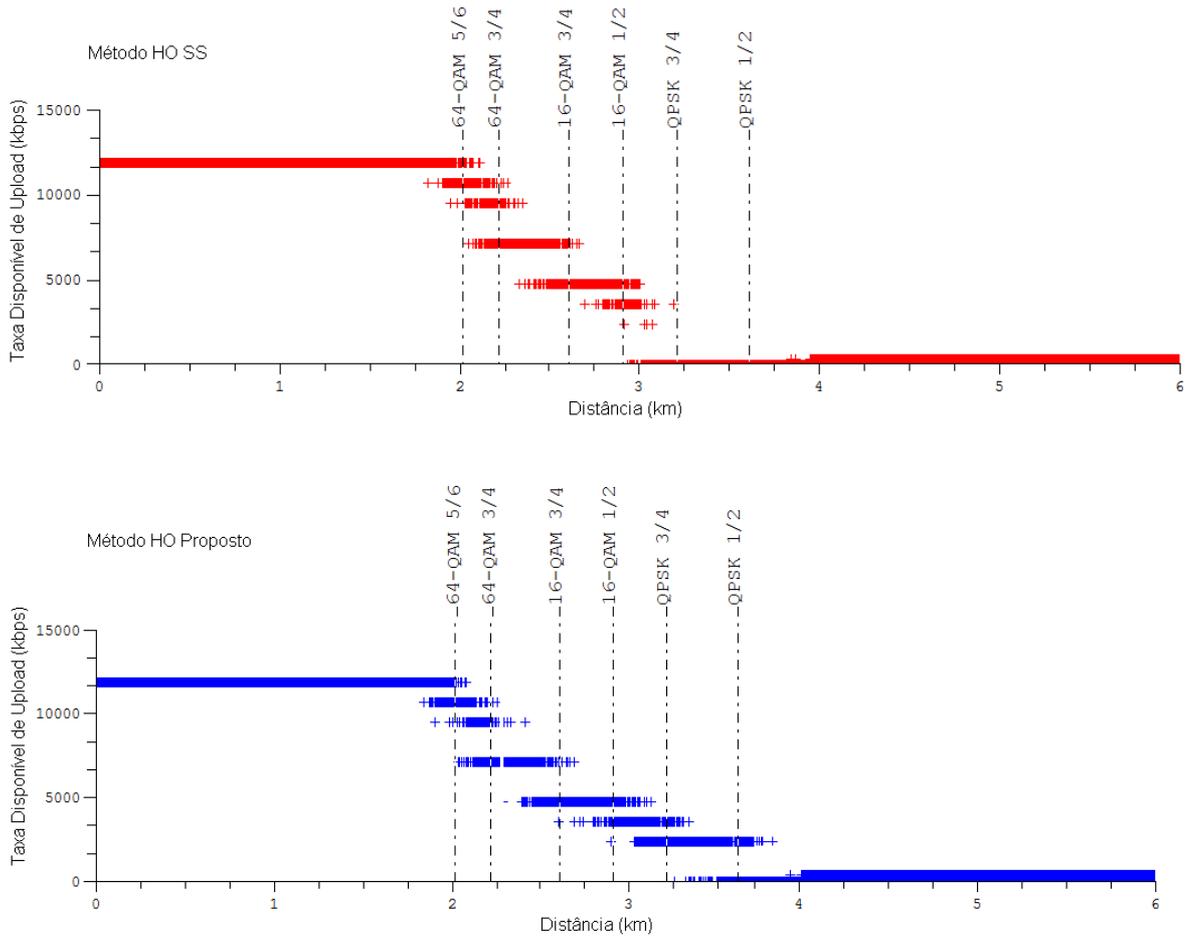


Figura 36 – Gráficos das análises de comportamento do canal de *UL* durante o processo de *HO* em ambiente urbano para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Assim, com base nestas informações a Figura 37 abaixo mostra a análise estatística para o comportamento do canal de *UL*.

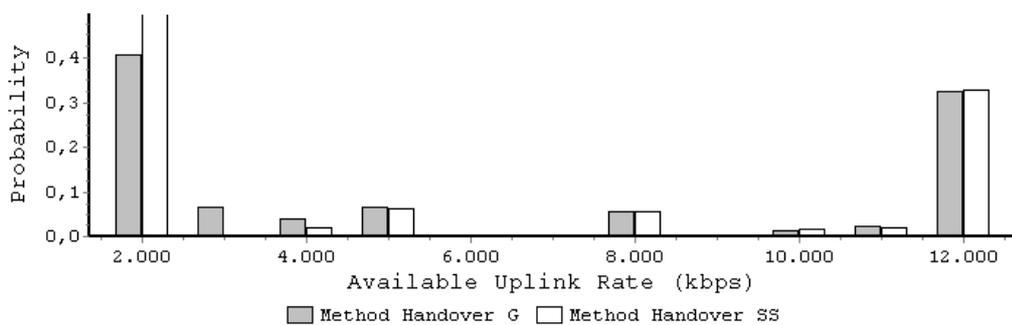


Figura 37 – Análise de probabilidade de *UL* disponível em ambiente urbano.

Também como já dito anteriormente, observa-se nos resultados de simulação sobre o *Throughput* apresentados na Figura 38 uma descontinuidade no serviço utilizando-se o método HO proposto.

Contudo, se utilizado o método HO SS observa-se um desempenho inferior em relação ao método HO Proposto.

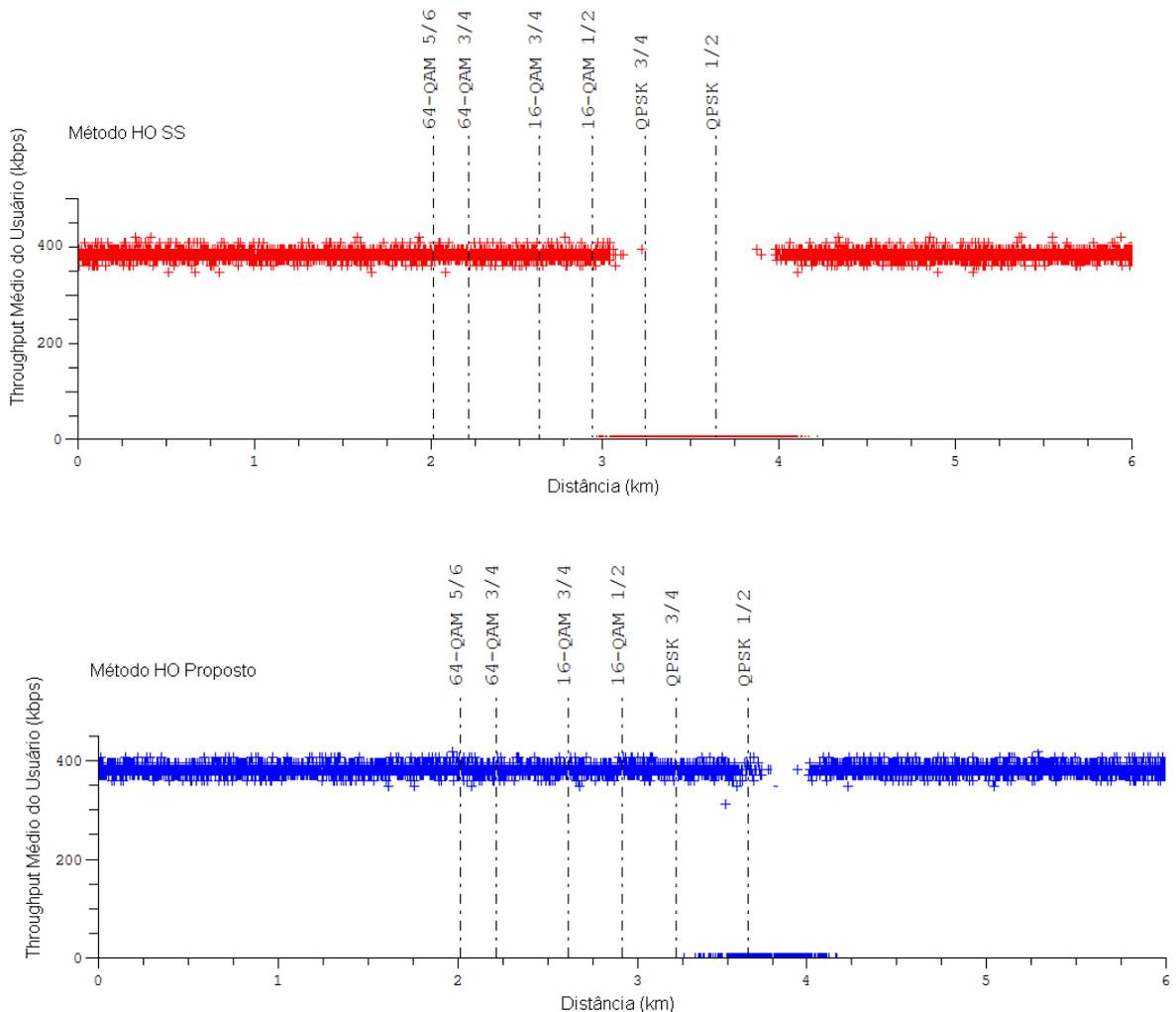


Figura 38 – Gráficos do *Throughput* médio do usuário durante o processo de *HO* em ambiente urbano para os métodos de HO SS (a) e HO Proposto (b).

Assim o método HO proposto possui um *Throughput* médio aproximadamente 10% superior ao método HO SS, conforme mostrado na Figura 39.

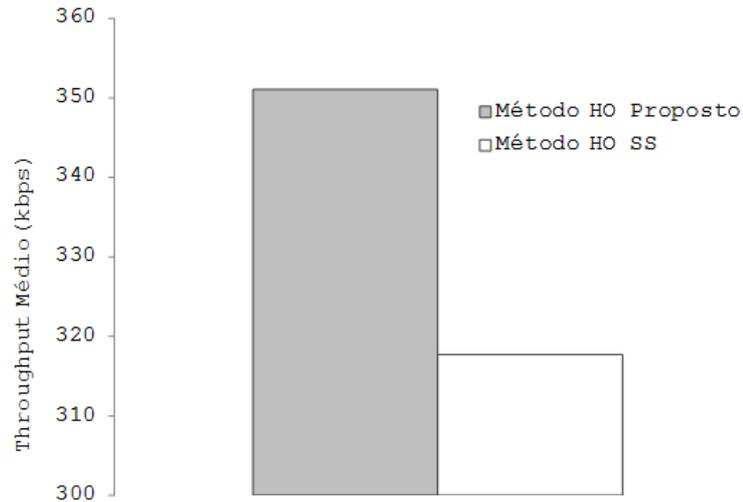


Figura 39 – *Throughput* médio do usuário em ambiente urbano.

Já a eficiência do sistema no caso do método HO SS apresenta resultados inferiores a 12% em relação ao método HO proposto.

A Figura 40 apresenta o ganho médio relativo entre os métodos HO SS e HO Proposto.

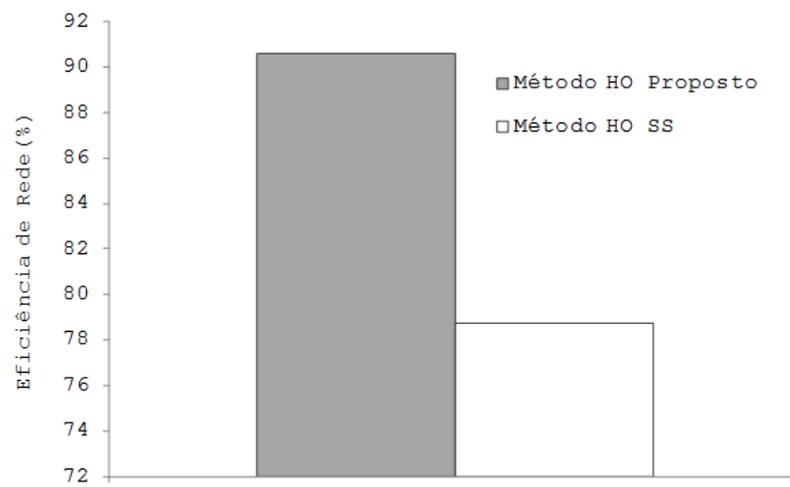


Figura 40 – Eficiência da comunicação durante o processo de *HO* do usuário em ambiente urbano.

Isso mostra que mesmo o ambiente sendo mais hostil, utilizando-se o método HO proposto, o sistema mostra-se mais estável em todos os ambientes, o que comprova parcialmente neste caso a eficiência do método proposto.

A Tabela 5 apresenta um resumo da eficiência de rede em todos os ambientes, comparando os dois métodos.

Neste caso podem-se comprovar os ganhos relacionados ao método HO proposto, utilizando-se para isso a topologia de duas células como uma análise prévia.

Tabela 5 – Resumo do ganho na eficiência de rede por ambiente

Método HO	Ambientes		
	Rural	Suburbano	Urbano
	<i>E (%)</i>	<i>E (%)</i>	<i>E (%)</i>
Método HO Proposto	99,76	98,10	90,63
Método HO SS	87,31	82,57	78,75
Ganho na Eficiência de rede	12,45	15,53	11,88

6.2.3. Avaliação dos resultados

Os resultados apresentados nesta seção, mesmo sendo um primeiro estágio de análise, devido à simplicidade da topologia e serviços agregados, indicam que o método HO proposto se mostra mais eficiente no que se refere ao aproveitamento dos recursos da rede.

Neste caso são observados ganhos de até 15,53% no desempenho.

6.3. Topologia Manhattan – Quatro células

Nesta seção são apresentados as análises e resultados para a topologia de Manhattan (MANHATTAN, 2008) com 4 células. Nesta segunda fase de análises serão introduzidos alguns fatores para aproximar o cenário de simulação de um ambiente de rede celular real.

6.3.1. Parâmetros da Simulação

Os parâmetros utilizados nesta simulação e descritos pela Tabela 8 são os mesmos estabelecidos na seção anterior e escolhidos com base nas características das redes celulares existentes atualmente. As alterações encontram-se na topologia, número de usuários e algoritmo para distribuição e movimentação dos terminais.

Abaixo a Tabela 6 apresenta os valores de topologia, desempenho, ambiente e tráfego para servirem de base aos resultados apresentados nas simulações.

Tabela 6 – Parâmetros para execução da simulação em topologia Manhattan.

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Número de ERBs	BS	4	-
Distancia entre ERBs	-	6000	m
Largura de banda	Bw	10	MHz
UL/DL sub-canais	Tc	560/720	-
UL/DL número de símbolos	Ns	21/26	-
Símbolos por Frame	Fs	48	-
Duração do Símbolo	St	0.000103	s
Frequência portadora	F	2.5	GHz
Ganho antena ERB	Gt	18	dBi
Ângulo de abertura da antena	θ_{3dB}	120	°
Altura da antena da ERB	Ht	40	m
Figura de Ruído	NBf	4	dB
Potência de TX ERB	PBt	23	dBm
Ganho da antena do terminal	Mr	0	dBi
Altura da antena do terminal	Mt	1.7	M
Figura de ruído do terminal	NMf	8	dB
Modelo de propagação	-	Erceg	-
Canal de multipercurso	-	Pedestre 3 km/h	km/h
Modelo de tráfego	-	Mesmo para todos os usuários	-
Número de usuários na matriz	U	40 a 65	-
Fator de peso disponibilidade	α	3	-
Taxa do serviço (vídeo-chamada)	SR	384	Kbps

Diferentemente da Tabela de parâmetros da seção anterior, neste caso o número de usuários é aumentado gradativamente a cada 5 usuários para que possa ser verificado o limite de capacidade do sistema para cada método estudado.

6.3.2. Resultados

Assim como na análise em topologia de duas células, os resultados na topologia de Manhattan mostram um ganho utilizando o método HO proposto em detrimento do método HO SS.

Contudo os resultados encontrados nesta seção são similares ao encontrados na seção anterior, porém neste caso existe uma variação devido às características de propagação e a distribuição dos usuários na topologia.

Por este motivo cada ambiente foi simulado três vezes, sendo que as projeções dos mesmos convergem a um resultado próximo.

a) Análise em Ambiente Rural

Os resultados baseados no ambiente rural mostram um ganho de eficiência do método HO proposto em relação ao método HO SS.

Considerando-se que em média uma rede de dados móveis celular possui uma eficiência de rede mínima em 95%, segundo mencionado na regra SMP6 da ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicações) (ANATEL, 2009), o método HO proposto suportou até 65 usuários simultâneos, conforme os parâmetros estabelecidos na Tabela 8.

Utilizando somente o serviço de vídeo-chamada o método HO Proposto proporciona uma capacidade 20% maior de usuários que no método HO SS, sem alterar ou acrescentar capacidade na infra-estrutura da rede.

A Figura 41 abaixo mostra a degradação de eficiência da rede conforme são acrescentados usuários para os dois métodos investigados.

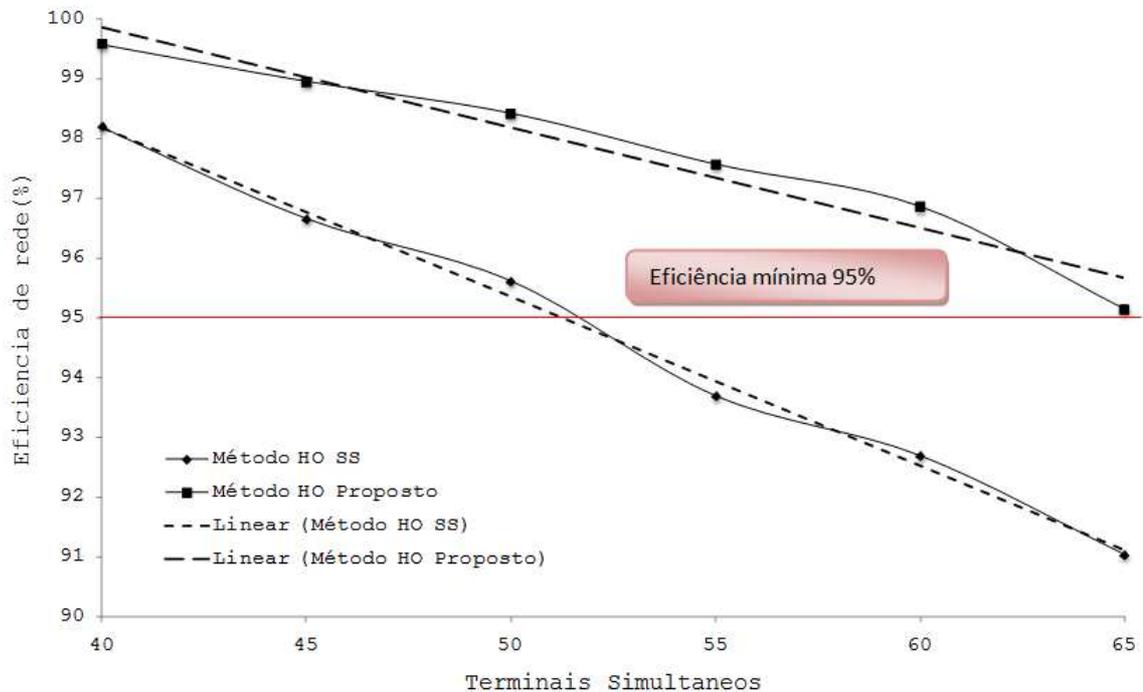


Figura 41 – Evolução da eficiência de rede simulada para topologia de Manhattan 6x6 com 4 células em ambiente rural

Pode-se verificar também na Figura 41 que a projeção da eficiência de rede em relação ao número de usuários para o método HO proposto é mais estável que para o método HO SS.

Isto se deve ao fato de que para a mesma distribuição de usuários, o método HO proposto realiza menos processos de HO entre células do que no método HO SS.

a) *Análise em Ambiente Suburbano*

Para o ambiente suburbano os resultados são similares aos encontrados no ambiente rural, uma vez que podemos verificar um aumento de 25% de usuários aproximadamente se utilizado o método HO proposto, considerando a mesma premissa de 95% para eficiência de rede.

A Figura 42 abaixo mostra os resultados comparativos das simulações entre os dois métodos e as suas respectivas projeções.

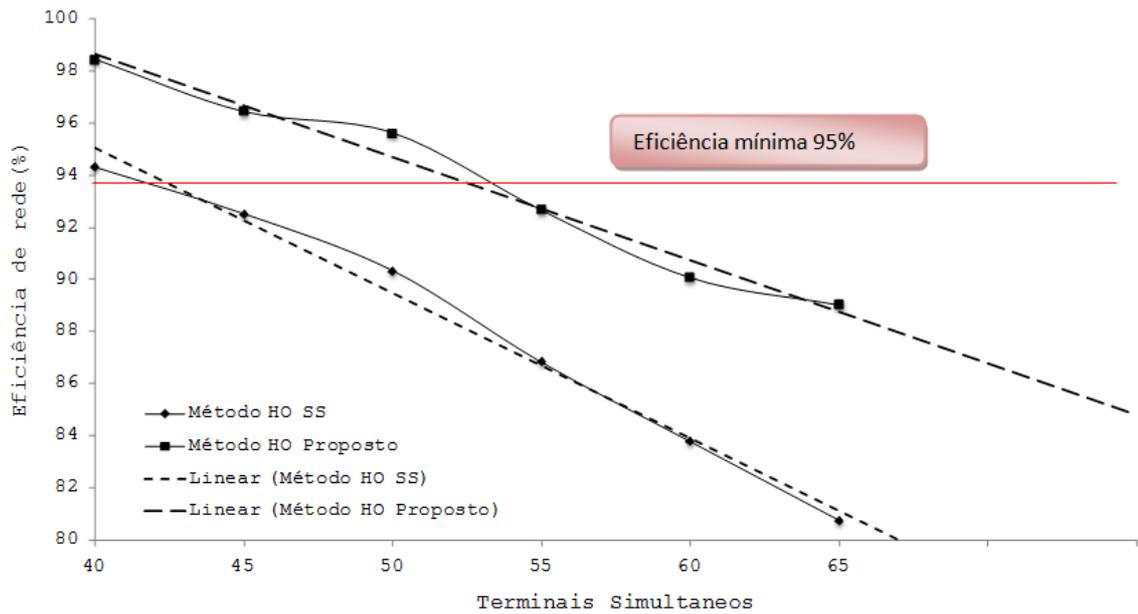


Figura 42 – Evolução da eficiência de rede simulada para topologia de Manhattan 6x6 com 4 células em ambiente suburbano.

Outra característica importante que pode ser observado nos resultados apresentados é coeficiente angular das retas de projeção.

Quanto mais obstruído for o ambiente maior será o coeficiente angular. Porém no caso do método HO proposto este fenômeno é minimizado em relação ao método HO SS.

6.3.3. Avaliação dos resultados

Observando-se as análises realizadas sob a topologia de Manhattan com 4 células, pode comprovar assim como na análise da seção anterior um aumento de capacidade ou mesmo eficiência de rede para o método HO proposto em relação ao método HO SS de até 25% a mais de usuários simultâneos.

6.4. Topologia Real – Ambiente celular com 9 células

Nesta seção são apresentados os resultados e análises para uma topologia real de rede celular.

Esta região foi adotada devido à grande concentração populacional, ambiente caracterizado como urbano e ser uma região tipicamente empresarial, onde a demanda por serviços de dados e vídeo é mais elevada.

6.4.1. Parâmetros

Os atributos de topologia seguem uma variação na distância entre as células, já não sendo mais uniformemente distribuída, como nas seções anteriores.

Já a distribuição de tráfego está diversificada entre serviços de voz, vídeo e dados, cada um deles com um taxa específica apresentados na Tabela 9.

Além disso, a população de usuários está distribuída proporcionalmente nas células em 75%, 5% e 20% sucessivamente para voz, vídeo e dados.

Contudo a distribuição espacial de usuário permanece uniforme nas células seguindo uma função log-normal.

A Tabela 7 apresenta os valores de topologia, desempenho, ambiente e tráfego para servirem de base aos resultados apresentados nestas simulações.

Tabela 7 – Parâmetros para execução da simulação em topologia real com 9 células

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Número de ERBs	<i>BS</i>	9	-
Distancia entre ERBs	-	1000 a 4000	m
Largura de banda	<i>Bw</i>	10	MHz
UL/DL sub-canais	<i>Tc</i>	560/720	-
UL/DL número de símbolos	<i>Ns</i>	21/26	-
Símbolos por Frame	<i>Fs</i>	48	-
Duração do Símbolo	<i>St</i>	0.000103	s
Frequência portadora	<i>F</i>	2.5	GHz
Ganho antena ERB	<i>Gt</i>	18	dBi
Ângulo de abertura da antena	θ_{3dB}	120	°
Altura da antena da ERB	<i>Ht</i>	40	m
Figura de Ruído	<i>NBf</i>	4	dB
Potência de TX ERB	<i>PBt</i>	23	dBm
Ganho da antena do terminal	<i>Mr</i>	0	dBi
Altura da antena do terminal	<i>Mt</i>	1.7	M
Figura de ruído do terminal	<i>NMf</i>	8	dB
Modelo de propagação	-	Erceg - Urbano	-
Canal de multipercurso	-	Pedestre 3 km/h	km/h
Modelo de tráfego	-	75%-Voz, 5%-Vídeo, 20%-Dados	
Número de usuários na matriz	<i>U</i>	100 a 300	-
Fator de peso disponibilidade	<i>α</i>	3	-
Taxa de voz	<i>RV</i>	12	kbps
Taxa de vídeo	<i>RI</i>	128	kbps
Taxa de dados	<i>RD</i>	1024	kbps

Já neste caso diferentemente das demais Tabelas de parametrização anterior os usuários foram divididos em classes de serviço conforme mencionado anteriormente. Esta proporção leva em consideração a distribuição de usuários na região selecionada para realização da simulação.

6.4.2. Resultados

Os resultados nesta seção assim como nas análises anteriores mostram um ganho significativo de capacidade ou eficiência de rede utilizando o método HO Proposto em comparação ao método HO SS.

Baseado nos mesmos parâmetros de infra-estrutura e somente alterando-se a topologia, foi investigado apenas o ambiente urbano neste caso, uma vez que a

região apresenta apenas esta característica, conforme descrito pelo modelo de Erceg.

Por conta da topologia os resultados, assim também como na seção anterior, pode ter uma variação devido a não uniformidade dos caminhos e do posicionamento dos usuários em relação às células.

Para garantir a veracidade dos resultados foram executadas duas etapas de resultado sendo que cada uma delas com três simulações. Nos dois casos existiu a convergência dos gráficos, indicando que os resultados podem ser considerados para a conclusão.

A Figura 43 apresenta a evolução da eficiência de rede em relação ao crescimento no número de usuários simultâneos na rede.

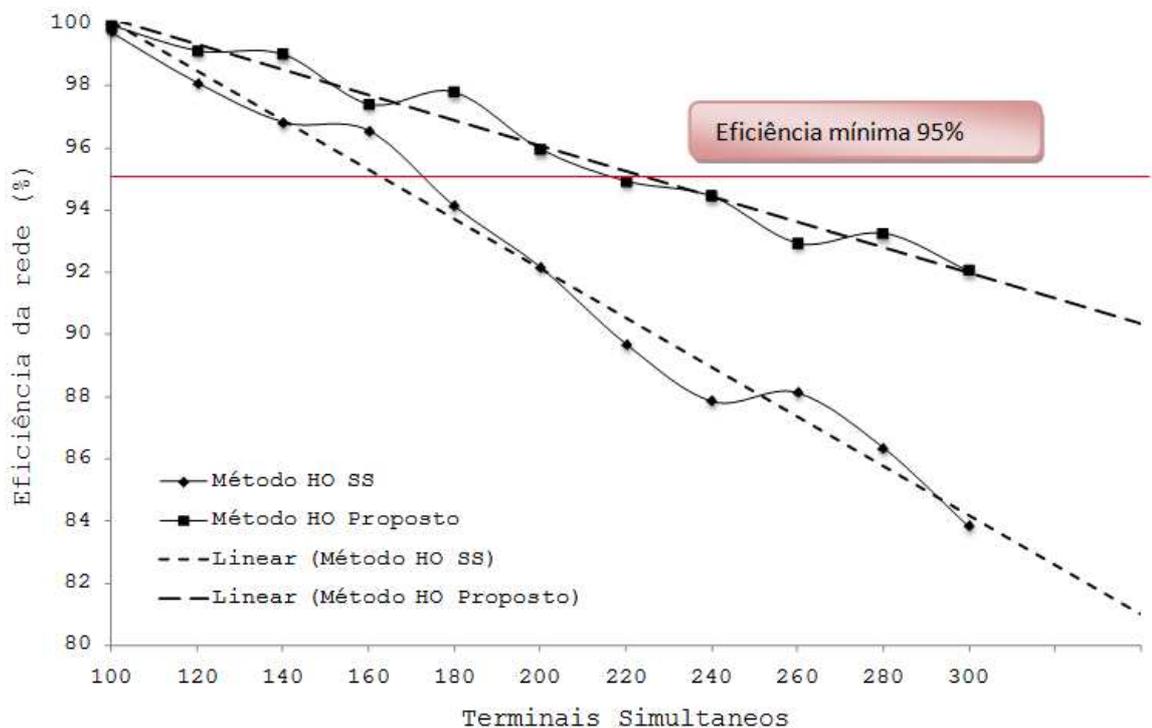


Figura 43 – Evolução na eficiência de rede simulada para ambiente real com 9 células – Primeira simulação

É possível verificar através da Figura 43 que mesmo com a topologia complexa e a distribuição de serviços mais próxima da realidade onde 75% dos usuários utilizando voz, 5% utilizando vídeo e 20% utilizando dados/internet, um

aumento na eficiência de rede utilizando o método HO Proposto em relação ao método HO SS.

Em comparação dos dois métodos, assim como indicado pela seção anterior, pode-se obter um ganho de aproximadamente 25% usuários no método HO proposto.

A Figura 43 mostra a mesma simulação executada novamente para comparação de resultados.

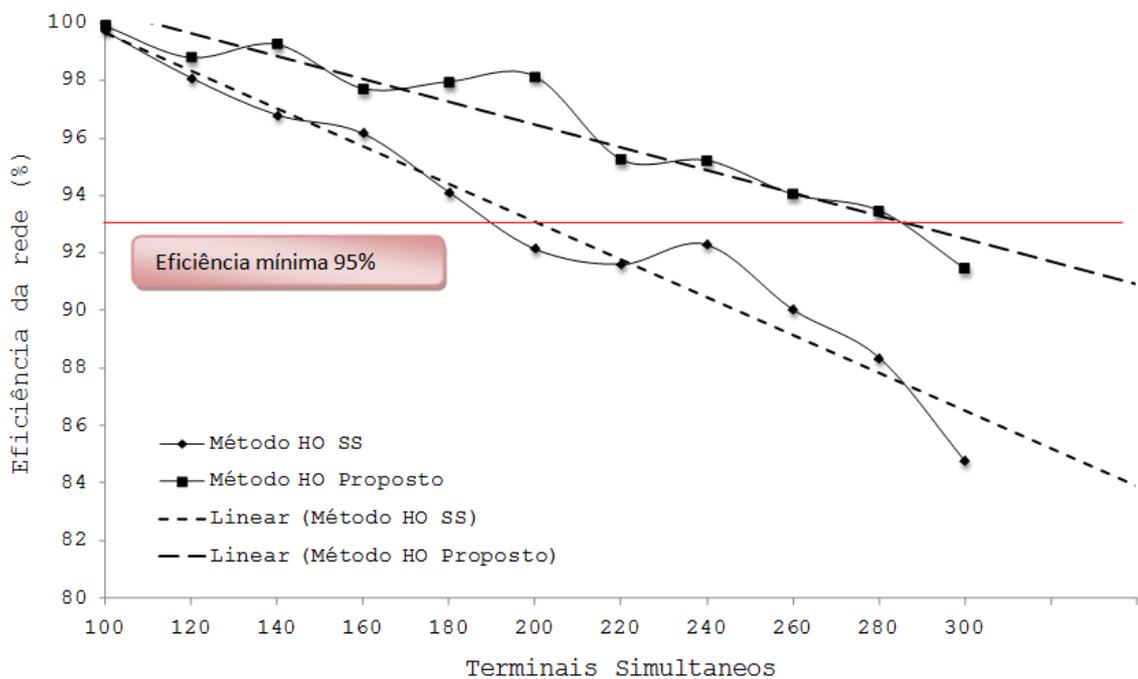


Figura 44 – Evolução na eficiência de rede simulada para ambiente real com 9 células – Segunda simulação.

Pode-se verificar através da Figura 44 que os resultados se assemelham e mostram uma convergência de curvas que garantem os ganhos mencionados anteriormente.

6.4.3. Análise dos resultados

Por fim, o último estágio de análise, com a topologia e configuração de usuários mais próxima do real, mostram que a utilização do método HO proposto neste trabalho proporciona um aumento no número de usuários simultâneos na rede, chegando até 25% a mais de usuários.

7. CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas neste trabalho, assim como os trabalhos de pesquisa que podem, como sugestão, continuar na investigação do tema.

7.1. Principais contribuições

Este trabalho teve como objetivo investigar a viabilidade de um método de HO proposto para maximizar os recursos disponíveis na rede utilizando para isso uma distribuição racional do tráfego entre as células de uma determinada região.

Também foram estudados modelos de propagação e fenômenos de *cross layer* para escolha do modelo empírico mais apropriado para a construção da ferramenta de simulação.

Contudo, como ferramenta para viabilização desta metodologia de distribuição de tráfego, foi proposto um método de HO, sendo que para efeito comparativo ao método proposto foi estudado um método de HO utilizado atualmente no mercado, que apenas observa a qualidade do sinal para decidir em migrar ou não de célula.

Foram apresentados os resultados do trabalho contendo uma comparação entre os dois métodos de HO, comparando os ganhos de taxa relativa e eficiência de rede em cada um deles.

As simulações foram divididas em etapas onde primeiramente havia apenas duas células e 1 usuário migrando de uma célula com alta disponibilidade para outra com baixa disponibilidade de recursos. Além disso, foi executada nesta etapa a análise para três tipos de ambiente: rural, suburbano e urbano, a fim de validar também a influência do ambiente em ambos os métodos.

Através desta simulação foi possível verificar um ganho significativo do método de HO proposto em relação ao método de HO SS.

É interessante observar que mesmo para ambientes mais hostis ao sinal o método HO proposto demonstrou ser mais estável que o método HO SS em situações onde existe variância de taxa.

Após os resultados em duas células, foi implementada a topologia de Manhattan. Foram posicionadas 4 ERBs nas extremidades de uma matriz 6x6 e os usuários foram alocados uniformemente observando-se uma distribuição normal, sendo todos os usuários utilizando o mesmo serviço com as mesmas características de QoS.

Nesta etapa, foram verificados ganhos de até 16% a mais de eficiência de rede no método HO proposto em relação ao método HO SS, o que demonstrou também uma vantagem da metodologia proposta.

Também é importante mencionar que neste caso para uma eficiência mínima de 95% padronizada pela ANATEL o método HO proposto alocou 25% de usuários a mais que no método HO SS.

Finalmente, foram realizadas simulações em uma topologia real, utilizando parâmetros e características reais de uma rede móvel. Assim como nas demais análises o método HO proposto se mostrou mais vantajoso que o modelo HO SS, sendo alcançados neste cenário também 25% a mais de usuários alocados na rede.

A contribuição desta pesquisa é importante para o planejamento e configuração de redes celulares móveis que possuem interface aérea com modulação adaptativa. Segundo a pesquisa bibliográfica realizada até então não havia contribuições diretas e objetivas na literatura que envolvesse em uma só análise aspectos de protocolos na subcamada MAC e efeitos físicos de propagação de sinais na camada física.

Como uma das contribuições deste trabalho foi à publicação dos artigos:

- *“Handover Method Considering Availability of Neighborhood Cells in Multi-Rate Network”*, no congresso The Sixth International Symposium on Wireless Communication Systems 2009 (ISWCS’09), Siena-

Tuscany, University of Siena, Italy, September 7–10, 2009, melhor detalhado no Apendice C.

7.2. Trabalhos futuros

Como continuação a este projeto de pesquisa pode-se levantar alguns pontos como:

- A avaliação deste método para a otimização de serviços simétricos e assimétricos;
- Análise direta do impacto da mobilidade em ambientes mais complexos, como cenário de pessoas e vias públicas.
- A implementação real deste método em um elemento central de rede e suas ERB's.
- A criação de um programa de computador para planejar e dimensionar redes de dados móveis com modulação adaptativa.
- O estudo de um algoritmo de inteligência artificial baseado em lógica *fuzzy* para determinar os parâmetros certos de decisão para o processo de HO.

8. REFERENCIAS

DOCUMENT 8F/1079-E, *Additional Technical Details Supporting IP-OFDMA as an IMT-Advanced Terrestrial Radio Interface*, 2007.

IMT Brazil-EG, *Brazil Evaluation Group, IMT-Advanced – International Telecommunication Union* http://www.ic.unicamp.br/~omar/IMT_Brazil-EG.htm, acesso em 26 de setembro de 2009.

ALI-YAHIYA T., CHAOUCHI H., BEYLOT A., PUJOLLE G., *Threshold Based WiMAX Resource Reservation*, In: The 3rd Conference on Mobile Technology, Applications and Systems — Mobility, 2006, Bangkok, Thailand, 2006.

FERREIRA J., VELEZ F., *E-UMTS Services AND Applications Characterization*, *Instituto de Telecomunicações*, Lisboa, 2009.

CASEY T., *Base Station Controlled Load Balancing with Handovers in Mobile WiMAX*. 2008. 109f. Dissertação (Master of Science in Technology), Helsinki University of Technology, Helsinki, 2008.

NASCIMENTO A., RODRIGUEZ J., GAMEIRO A., POLITIS C., *Dynamic Resource Allocation for IEEE802.16e*, In: MOBIMEDIA'07, 8, 2007, Nafpaktos, Greece, 2007.

SUN Y., SONG Y., SHI J., DUTKIEWICZ E., *Research on Bandwidth Reservation in IEEE 802.16 (WiMAX) Networks*, In: IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications, 2007, Penang, Malaysia, 2007, v1, p.14-17.

BIAN Y. Q., NIX A. R., *Mobile WiMAX: Multi-cell Network Evaluation and Capacity Optimization*, *Centre for Communications Research (CCR), University of Bristol*, UK, 2008.

SCILAB, Scilab, Disponível em: <<http://www.scilab.org>>. Acesso em: 09 nov. 2008.

IEEE Std 802.16e, *Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - IEEE P802.16e/D12*, 2005.

IEEE Std 802.16-2004, *Air interface for fixed broadband wireless access systems*, June, 2004.

IEEE Std 802.16g, *Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment 3: Management Plane Procedure and Services - IEEE IEEESTD.2007.4431839*, 2007.

WiMAX FORUM, Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, White Paper, 2006.

3GPP, *Code Division Multiple Access*, Disponível em: <<http://www.3gpp.org/>>. Acesso em: 26 set. 2009.

YAGOOBI H., *Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 Wireless MAN*, Intel Technology Journal, v.8, 2004.

LTE, *Long Term Evolution*, Disponível em: <<http://www.3gpp.org/article/lte>>. Acesso em: 26 set. 2009.

MBWA, *Mobile Broadband Wireless Access*, Disponível em: <<http://www.ieee802.org/20/>>. Acesso em: 26 set. 2009.

CDMA2000, *Code Division Multiple Access*, Disponível em: <http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/alltsgscfm.cfm>. Acesso em: 26 set. 2009.

ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., *Fundamentals of WiMAX*, New Jersey: Prentice Hall, 2007.

STALLINGS W., *Wireless Communications and Networks*, New Jersey: Prentice Hall, 2001.

SYDIR J., TAORI R., An Evolved Cellular System Architecture Incorporating Relay Stations, *IEEE Communications Magazine*, San Diego, v.47, n.6, p.115-121, 2009.

TELECO, Disponível em: <<http://www.teleco.com.br>>. Acesso em: 26 set. 2009.

KIM B., YUN J., HUR Y., SO-IN C, JAIN R., TAMIMI A., Capacity Estimation and TCP Performance Enhancement over Mobile WiMAX Networks, *IEEE Communications Magazine*, San Diego, v.47, n.6, p.132-141, 2009.

VIEIRA F. H. T., Contribuições ao Cálculo de Banda e de Probabilidade de Perda para Tráfego Multi-fractal de Rede. 2006. 256f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PÄTZOLD M., *Mobile Fading Channels*, Norway: Wiley, 2002.

ERCEG V., GHASSEMZADEH S., TAYLOR M., LI D., SCHILLING D. L., *Urban/suburban out-of-sight propagation modeling*, Communications Magazine, IEEE Volume 30, v.6, 1992, p56 – 61.

YACOUB M. D., *Foundations of mobile radio engineering*. CRC Press, 1993.

HAYKIN S., MOHER M., *Modern Wireless Communications*, New Jersey: Prentice Hall, 2005.

BRANQUINHO C. O., Metodologia de Dimensionamento de Canais para Soft Handoff em Sistemas CDMA. 2001. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

GARG V., SMOLIK K., WILKES J. E., *Applications of CDMA in Wireless/Personal Communications*. Upper Saddle River : Prentice Hall , 1997. 360p.

GOES A. A., BRANQUINHO O. C., REGGIANI N., *Handover Method Considering Availability of Neighborhood Cells in Multi-Rate Networks*, In: The Sixth IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems 2009 (ISWCS'09), 2009, Siena, Italy, 2009.

PRASAD R., DOVROLIS C., MURRAY M, CLAFFY K., *Bandwidth Estimation: Measurement Techniques, and Tools*, IEEE Network, Nov 2003.

NS, *Network Simulation*, Disponível em: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>>. Acesso em: 13 dez. 2008.

OPNET, *OPNET*, Disponível em: < <http://www.opnet.com/> >. Acesso em: 26 set. 2009.

YOON, D. G., SHIN S. Y., KNOW W. H., *Packet Error Rate Analysis of IEEE802.11b*. Vehicular Technology Conference, 2006.

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações, Disponível em: <<http://www.anatel.org.br/>>. Acesso em: 26 set. 2009.

APÊNDICE A – PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO

Nesta seção, seguem todos os códigos fonte da plataforma utilizada nas simulações apresentadas.

Biblioteca IEEE 802.16e

```

/-----
//
// Plataforma de simulação da rede IEEE 802.16e (Mobile WiMax)
//
// Autor: Adriano Almeida Goes
// Email: goes.adriano@ieee.org
// Nome do arquivo: PlataformaSimulacaoIEEE80216e.sci
//
/-----

//-----
// Definicoes de variáveis IEEE802.16e
//-----
glBandWidth = 10000000; //Largura de banda em Hz
glCarrierDL = 720; //Numero de portadoras em DL
glCarrierUL = 560; //Numero de portadoras em UL
glSymbolDL = 26; //Numero de simbolos DL
glSymbolUL = 21; //Numero de simbolos UL

glSymbolFrame = 48; //Numero de simbolos por frame

glSymbolDuration = 0.000103; //Duração do simbolo em segundos

// Valores minimo e maximo para BE
macMinBE = 3;
macMaxBE = 5;

// Numero maximo de tentativas de CSMA
macMaxCSMABackoffs = 4; // tentativas

// Unidade de backoff
aUnitBackoffPeriod = 20; // simbolos

// Tempo de espera depois do ACK
aTurnaroundTime = 12; // simbolos

// Tamanho máximo para um Short Frame
aMaxSIFSFrameSize = 18; // bytes do MPDU = payload da camada phy

// Tempo de SIFS
macMinSIFSPeriod = 12; // simbolos

// Tempo de LIFS
macMinLIFSPeriod = 40; // simbolos

// Cabeçalho da camada fisica
phyHeader = 13; // bytes

// Payload do ACK
phyPayloadAck = 5; //bytes

// Tamanho de um ACK
phyDataUnitAck = (phyHeader + phyPayloadAck) * 8; // bits

// Tempo de duracao de um CCA
slotCCA = 8; // simbolos

global Buffer;

```

```

//-----
// Inicio das definicoes de funcoes.
//-----

// -----
//                               Funcao Tempo Transmissao
// -----
// Funcao responsável por determinar quanto tempo será
// gasto para transmitir um pacote de tamanho definido.
// Retorna um valor representando o tempo em segundos.
// -----
function y=TempoTransmissao(phyDataUnit)

    //verificar esta divisao por 48 antes estava em 4

    y = ((phyDataUnit/glSymbolFrame)*glSymbolDuration); // segundos

endfunction;

function y=CalcularDistancia(MS,BS,iMS,iBS)

    xPosBS = BS(iBS,1); //pos X
    yPosBS = BS(iBS,2); //pos Y
    xPosMS = MS(iMS,1); //pos X
    yPosMS = MS(iMS,2); //pos Y

    diffX = max(xPosBS, xPosMS) - min(xPosBS, xPosMS);
    diffY = max(yPosBS, yPosMS) - min(yPosBS, yPosMS);

    // Calcular a distância entre os elementos
    y = 0;
    if (diffX == 0) then
        y = diffY;
    elseif (diffY == 0) then
        y = diffX;
    else
        y = sqrt(diffX^2 + diffY^2);
    end;

endfunction;

// -----
//                               Funcao Indice de modulacao
// -----
// Funcao responsável por determinar qual a modulacao
// em um determinado sinal RX.
// Retorna um valor representando o indice.
// -----
function y=IndiceModulacao(Prx)

    if (Prx < -88.5) then
        y=0;
    end;

    if (Prx >= -88.5) then
        y=1; //QPSK 1:2
    end;

    if (Prx >= -85.1) then
        y=2; //QPSK 3:4
    end;

    if (Prx >= -82.8) then
        y=3; //16QAM 1:2
    end;

    if (Prx >= -78.7) then

```



```

// -----
// Funcao responsável por determinar qual o nível de
// potencia recebida de acordo com o modelo de Erceg
// Retorna um valor representando a potencia (dBm).
// -----
function y = PotenciaRxShadowing(BS,iBS,MS,iMS)

    xPosBS = BS(iBS,1); //pos X
    yPosBS = BS(iBS,2); //pos Y
    xPosMS = MS(iMS,1); //pos X
    yPosMS = MS(iMS,2); //pos Y

    diffX = max(xPosBS, xPosMS) - min(xPosBS, xPosMS);
    diffY = max(yPosBS, yPosMS) - min(yPosBS, yPosMS);

    // Calcular a distância entre os elementos
    fDistancia = 0;
    if (diffX == 0) then
        fDistancia = diffY;
    elseif (diffY == 0) then
        fDistancia = diffX;
    else
        fDistancia = sqrt(diffX^2 + diffY^2);
    end;

    if fDistancia == 0 then
        fDistancia = 0.001;
    end;

    fPotTx = BS(iBS,3); //Pot TX (dBm)
    fGtx = BS(iBS,4); //Ganho Ant TX (dBi)
    fFx = BS(iBS,5); //Frequencia (MHz)
    fDesvio = BS(iBS,6); //Desvio Padrão
    fAntTx = BS(iBS,7); //Altura antena (M)
    fAnguloAntena = BS(iBS,8); //Abertura da antena (Graus)

    //fDistancia = fDistancia * 1000; //Transforma em metros

    iAmbiente = BS(iBS,9); //Coef. Ambiente

    fGrx = MS(iMS,4); //Ganho Ant RX (dBi)
    fAntRx = MS(iMS,5); //Altura antena (m)

    fLambida = (3E8/(fFx*10E8))*100;

    fPotRef = DBmToWatt(fPotTx);

    fPotRef = fPotRef * DBmToWatt(fGtx) * DBmToWatt(fGrx) * (fLambida^2);
    fPotRef = fPotRef / ((4*pi)^2);
    fPotRef = WattToDBm(fPotRef);

    y = (-10 * iAmbiente * log10(fDistancia)) + fPotRef;

    //Desconsidera os primeiros metros, desprezando possiveis perdas
    if y > fPotTx then
        y = fPotTx;
    end;

endfunction;

// -----
//                               Funcao Potencia Erceg
// -----
// Funcao responsável por determinar qual o nível de
// potencia recebida de acordo com o modelo de Erceg
// Retorna um valor representando a potencia (dBm).
// -----

```

```

function y = PotenciaRxErceg(BS,iBS,MS,iMS)

    xPosBS = BS(iBS,1); //pos X
    yPosBS = BS(iBS,2); //pos Y
    xPosMS = MS(iMS,1); //pos X
    yPosMS = MS(iMS,2); //pos Y

    diffX = max(xPosBS, xPosMS) - min(xPosBS, xPosMS);
    diffY = max(yPosBS, yPosMS) - min(yPosBS, yPosMS);

    // Calcular a distância entre os elementos
    fDistancia = 0;
    if (diffX == 0) then
        fDistancia = diffY;
    elseif (diffY == 0) then
        fDistancia = diffX;
    else
        fDistancia = sqrt(diffX^2 + diffY^2);
    end;

    if fDistancia == 0 then
        fDistancia = 0.001;
    end;

    fPotTx = BS(iBS,3); //Pot TX (dBm)
    fGtx = BS(iBS,4); //Ganho Ant TX (dBi)
    fFx = BS(iBS,5); //Frequencia (MHz)
    fDesvio = BS(iBS,6); //Desvio Padrão
    fAntTx = BS(iBS,7); //Altura antena (M)
    fAnguloAntena = BS(iBS,8); //Abertura da antena (Graus)

    iAmbiente = BS(iBS,9); //Coef. Ambiente

    fGrx = MS(iMS,4); //Ganho Ant RX (dBi)
    fAntRx = MS(iMS,5); //Altura antena (m)

    if (iAmbiente == 1) then //Urban
        A = 4.6;
        B = 0.0075;
        C = 12.6;
    end;

    if (iAmbiente == 2) then //Suburban
        A = 4;
        B = 0.0065;
        C = 17.1;
    end;

    if (iAmbiente == 3) then //Rural
        A = 3.6;
        B = 0.005;
        C = 20;
    end;

    AFreeSpace = (4*pi*fDistancia*fFx)/C;
    AFreeSpace = 20*log10(AFreeSpace);

    PL = (A-(B*fAntTx)+(C/fAntTx));
    PL = 10*PL*log10(fDistancia/0.3);
    PL = AFreeSpace + PL;

    PLf = 6*log10(fFx/1900);

    if (iAmbiente == 1) then
        PLh = -20*log10(fAntRx/2);
    else
        PLh = -10.8*log10(fAntRx/2);
    end;
end;

```

```

PLd = (0.64*log(fAnguloAntena/360))+(0.54*((log(fAnguloAntena/360)^2)));

PL = PL + PLf + PLh + PLd + 15; // +10dB por recomendação do Wimax Forum

//Equação de Friis
y = (fPotTx + fGrx + fGtx) - (PL);

//Aplica uma variação Gaussiana ao sinal RX
if Randomico(0,1) == 1 then
    y = y + (rand(1,1,'normal')*fDesvio);
else
    y = y - (rand(1,1,'normal')*fDesvio);
end;

//Desconsidera os primeiros metros, desprezando possíveis perdas
if y > fPotTx then
    y = fPotTx;
end;

endfunction;

// -----
//                               Funcao Potencia Erceg
// -----
// Funcao responsável por determinar qual o nível de
// potencia recebida de acordo com o modelo de Erceg
// Retorna um valor representando a potencia (dBm).
// -----
function y = DistanciaRxErceg(idModulacao)

    fPotTx = 23; //Pot TX (dBm)
    fGtx = 19; //Ganho Ant TX (dBi)
    fFx = 2500; //Frequencia (MHz)
    fDesvio = 0; //Desvio Padrão
    fAntTx = 30; //Altura antena (M)
    fAnguloAntena = 120; //Abertura da antena (Graus)

    iAmbiente = 3; //Coef. Ambiente

    fGrx = 0; //Ganho Ant RX (dBi)
    fAntRx = 1.7; //Altura antena (m)

    if (iAmbiente == 1) then //Urban
        A = 4.6;
        B = 0.0075;
        C = 12.6;
    end;

    if (iAmbiente == 2) then //Suburban
        A = 4;
        B = 0.0065;
        C = 17.1;
    end;

    if (iAmbiente == 3) then //Rural
        A = 3.6;
        B = 0.005;
        C = 20;
    end;

    fLimitRate = BuscaTaxa(idModulacao);

    // Calcular a distância entre os elementos
    fDistancia = 0.01;
    fRxMod=999;

    while fRxMod >= fLimitRate

```

```

AFreeSpace = (4*pi*fDistancia*fFx)/C;
AFreeSpace = 20*log10(AFreeSpace);

PL = (A-(B*fAntTx)+(C/fAntTx));
PL = 10*PL*log10(fDistancia/0.3);
PL = AFreeSpace + PL;

PLf = 6*log10(fFx/1900);

if (iAmbiente == 1) then
    PLh = -20*log10(fAntRx/2);
else
    PLh = -10.8*log10(fAntRx/2);
end;

PLd = (0.64*log(fAnguloAntena/360))+(0.54*((log(fAnguloAntena/360)^2)));

PL = PL + PLf + PLh + PLd + 5; // +10dB por recomendação do Wimax Forum

//Equação de Friis
y = (fPotTx + fGrx + fGtx) - (PL);

fRxMod = BuscaTaxa(IndiceModulacao(y));

fDistancia = fDistancia + 0.1
end;

y = fDistancia;

endfunction;

// -----
//                               Funcao Distribuicao Weibull
// -----
// Funcao responsável por determinar um valor de acordo
// com a distribuição de Weibull.
// Retorna um valor representando adimensional.
// -----
function [y]=DistribuicaoWeibull(m,n,a,b)

    y=rand(m,n,'uniform');
    y = (b*( - log(1-y)))^(TempoTransmissao1/a);

endfunction

// -----
//                               Funcao Fatorial
// -----
// Funcao responsável por determinar o fatorial de um valor.
// Retorna um valor representando o fatorial de n.
// -----
function y = Fatorial(n)
    p = 1;
    for i=n:-1:2
        p = p*i;
    end;
    y=p;
endfunction;

// -----
//                               Funcao BER
// -----
// Funcao responsável por determinar a taxa de erro de bit
// da IEEE 802.16e considerando a relação sinal ruído passada como parametro.
// Retorna um valor representando o BER.
// -----

```

```

function y = FuncaoBER(snr)

    sinr=10^(snr/10);

    somatoria=0;

    for k=2:16
        a=20*sinr*((1/k)-1)
        b=exp(a)
        c=(Fatorial(16)/(Fatorial(k)*Fatorial(16-k)))*b
        somatoria=somatoria + ((-1)^k)*c
    end

    y=(8/15)*(1/16)*somatoria;

endfunction

// -----
//                               Funcao PER
// -----
// Funcao responsável por determinar a taxa de erro de
// pacote da IEEE 802.16 considerando a relação sinal
// ruído passada como parametro.
// Retorna um valor representando o BER.
// -----
function y = FuncaoPER(snr, bits)

    y=1-(1-FuncaoBER(snr))^(bits);

endfunction

// -----
//                               Funcao Escolher BE
// -----
// Funcao responsável por selecionar um valor para a
// janela de backoff.
// Retorna um valor representando o tempo em segundos.
// -----
function y=EscolherBE(valorBE)

    y = grand(1,1,'uin',0,(2^valorBE - 1)).*(aUnitBackoffPeriod*symbolPeriod);

endfunction;

// -----
//                               MAC Aquisition
// -----
// Funcao responsável por selecionar um valor para a
// janela de backoff.
// Retorna um valor representando o tempo em segundos.
// fBSRate = Ocupação de banda atual em kbps
// fServiceRate = Ocupação em kbps do serviço requerido
// idModulation = Índice de modulação
// Mode = 0=UL 1=DL
// -----
function y=MACAquisition(fBSRate,idModulation,Mode)

    glBitSymbol = 0;
    select idModulation,
        case 1 then glBitSymbol = log2(4)*(1/2),
        case 2 then glBitSymbol = log2(4)*(3/4),
        case 3 then glBitSymbol = log2(16)*(1/2),
        case 4 then glBitSymbol = log2(16)*(3/4),
        case 5 then glBitSymbol = log2(64)*(1/2),
        case 6 then glBitSymbol = log2(64)*(2/3),
        case 7 then glBitSymbol = log2(64)*(3/4),
        case 8 then glBitSymbol = log2(64)*(5/6)
    end;

```

```

glRateModulationDL = (glCarrierDL/glSymbolDuration)*glBitSymbol;
glRateModulationUL = (glCarrierUL/glSymbolDuration)*glBitSymbol;

glRateDL = (glRateModulationDL * (glSymbolDL / glSymbolFrame))/1000; //Taxa
de UL em kbps na MAC
glRateUL = (glRateModulationUL * (glSymbolUL / glSymbolFrame))/1000; //Taxa
de UL em kbps na MAC

if Mode == 0 then
    y = glRateUL - fBSRate //Verifica se a banda solicitada é maior que a
disponível no sistema em UL
else
    y = glRateDL - fBSRate ; //Verifica se a banda solicitada é maior que a
disponível no sistema em DL
end;

endfunction;

// -----
//          Transmitir pacotes
// -----
// Funcao responsável por selecionar um valor para a
// janela de backoff.
// Retorna um valor representando o tempo em segundos.
// fBSRate = Ocupação de banda atual em kbps
// fServiceRate = Ocupação em kbps do serviço requerido
// Control = 0=Decrementa 1=Incrementa
// idModulation = Índice de modulação
// -----
function
[y]=TransmitirPacotes(nPacotes,MS,idMS,BS,glTempoGlobal,FreeBandwidth)

    iTentativas = 2;
    tempoInicial = 0;

//*****
//*****
//Aplica uma variação Gaussiana no número de pacotes transferidos devido ao
canal

//*****
//*****
    fVar = int((rand(1,1,'normal')*1));
    nPacotes = nPacotes + fVar;

    phyPayload = MS(idMS,16); // Tamanho do pacote
    phyDataUnit = (phyHeader + phyPayload) * 8; // bits

//Soma o delay se nao houver banda suficiente
//*****
    if FreeBandwidth < MS(idMS,11) then

        if FreeBandwidth < 0 then
            FreeBandwidth = FreeBandwidth * (-1);
        end;

        tempoInicial = TempoTransmissao(FreeBandwidth*1000); // segundos
    end;

    for j=1:nPacotes

        // Considerar o ruído fixo verificar aqui o calculo do ruído
//*****
        ruído = -100 // dBm

```

```

/*****
*****

// Calculando o per de acordo com o tamanho da transmissao
per = FuncaoPER((MS(idMS,17) - ruido), (phyDataUnit));

// Calcular tempo de transmissao do pacote
tempoTransmissao = tempoInicial + TempoTransmissao(phyDataUnit); //
segundos
tempoInicial = 0;

PacotesTransmitidos(j,2) = 1; //Numero de pacotes OK
PacotesTransmitidos(j,3) = per; //Per do pacote

if (per > 0) then

// Escolher um número aleatorio como forma de escolher um pacote
errado
aleatorio = rand(1,1,'uniform') .* (1/per);

// Verificar se esse numero eh (1/per)/2, isto eh, a metade do
intervalo
if (ceil(aleatorio(1)) == ceil((1/per)/2)) then
// Ocorreu um erro na recepção no coordenador considerando o BER
PacotesTransmitidos(j,2) = 0; // Erro considerando BER
tempoTransmissao = tempoTransmissao + TempoTransmissao(phyDataUnit);
// segundos
end;

end;

PacotesTransmitidos(j,1) = tempoTransmissao; //Tempo de TX do pacote
PacotesTransmitidos(j,4) = glTempoGlobal; //Tempo inicial de transmissao
PacotesTransmitidos(j,5) = glTempoGlobal + tempoTransmissao; //Tempo
final de transmissao
PacotesTransmitidos(j,6) = nPacotes

glTempoGlobal = glTempoGlobal + tempoTransmissao;

end;

y = PacotesTransmitidos;

endfunction;

//-----
// Fim da plataforma de simulacao.
//-----

```

Engine da plataforma

```

// -----
//                               Funcao Randomico
// -----
// Funcao responsável por formatar o resultado e exibir no
// console o resumo dos testes.
// -----
function y=Randomico(iMin,iMax)

v1Ok = 0;
while (v1Ok == 0)

if iMax > 10 then
iMultiplicador = 100;
else

```

```

        iMultiplicador = 10;
    end;

    y = round(rand(1,1,'uniform')*iMultiplicador);

    if (y > iMin) then
        if (y < iMax) then
            vlOk = 1;
        end;
    end;

    if ((iMax-iMin) < 2) then
        if (y <= 5) then
            y = iMax;
        else
            y = iMin;
        end;

        vlOk = 1;
    end;

end;

endfunction;

//funcao movimenta terminal utilizando modelo de linha
function [matriz]=MovimentaLinear(MS,id)

    x = iPasso / 1000; //multiplica por 1.11 para chegar a uma velocidade
pedestre 4 km/h
    y = iPasso / 1000; //multiplica por 1.11 para chegar a uma velocidade
pedestre 4 km/h

    PosX = MS(id,1);
    PosY = MS(id,2);

    if (MS(id,9) == 1) then
        PosX = PosX + x;
    else
        PosX = PosX - x;
    end;

    MS(id,1) = PosX;
    MS(id,2) = PosY;

    if (PosX <= 0) then
        MS(id,9) = 1;
    end;

    if (PosX >= 6) then
        MS(id,9) = 0;
    end;

    //Realiza processo de HO
    Aux = MS(id,17); //inicializa com potencia muito baixa

    if iHandover == 0 then
        for k=1:iBS
            Prx = PotenciaRxErceg(BS,k,MS,id);

            if (Aux < Prx) then
                Aux = Prx;
                MS(id,6) = k;
            end;
        end;
    else

```

```

for k=1:iBS
    Prx = PotenciaRxErceg(BS,k,MS,id);

    DispA =
(MACAquisition(BS(MS(id,6),10),IndiceModulacao(Aux),0)/1000)^iPesoDisponibili
dade;
    DispB =
(MACAquisition(BS(k,10),IndiceModulacao(Prx),0)/1000)^iPesoDisponibilidade;

    RxA = DBmToWatt(Aux);
    RxB = DBmToWatt(Prx);

    G = log10((1+(DispB*RxB))/(1+(DispA*RxA)));

    if (G > 0) then
        Aux = Prx;
        MS(id,6) = k;
    end

end;

end;

matriz = MS;

endfunction;

//funcao movimenta terminal utilizando modelo de Manhattan aplicando matriz N
x M
function [matriz]=MovimentaTerminal(MS,id)

    linha = 6/MatrizN;
    coluna = 6/MatrizM;

    vDistance = 0;

    x = iPasso / 1000; //multiplica por 1.11 para chegar a uma velocidade
pedestre 4 km/h
    y = iPasso / 1000; //multiplica por 1.11 para chegar a uma velocidade
pedestre 4 km/h

    PosX = MS(id,1);
    PosY = MS(id,2);

    if MS(id,19) == 0 then
        if (MS(id,9) == 1) then
            PosX = PosX + x;
        else
            PosX = PosX - x;
        end;
    else
        if (MS(id,10) == 1) then
            PosY = PosY + y;
        else
            PosY = PosY - y;
        end;
    end;

    MS(id,1) = PosX;
    MS(id,2) = PosY;

    if MS(id,19) == 1 then //Orientação para coluna
        for i=0:MatrizM+1,
            vDistance = (coluna*i) - PosY;
            if (vDistance < 0.001) then //estou na esquina
                if (vDistance >= 0) then
                    MS(id,19) = Randomico(0,1);
                end
            end
        end
    end
end

```

```

MS(id,9) = Randomico(0,1);
MS(id,10) = Randomico(0,1);
if (PosX <= 0) then
    MS(id,9) = 1;
end;
if (PosX >= 6) then
    MS(id,9) = 0;
end;
if (PosY <= 0) then
    MS(id,10) = 1;
end;
if (PosY >= 6) then
    MS(id,10) = 0;
end;

break;

end
end
end
else
for i=0:MatrizN+1
    vDistance = (linha*i) - PosX;
    if (vDistance < 0.001) then //estou na esquina
        if vDistance >= 0 then
            MS(id,19) = Randomico(0,1);
            MS(id,9) = Randomico(0,1);
            MS(id,10) = Randomico(0,1);
            if (PosX <= 0) then
                MS(id,9) = 1;
            end;
            if (PosX >= 6) then
                MS(id,9) = 0;
            end;
            if (PosY <= 0) then
                MS(id,10) = 1;
            end;
            if (PosY >= 6) then
                MS(id,10) = 0;
            end;

            break;

        end;
    end;
end;
end;

if (PosX <= 0) then
    MS(id,9) = 1;
end;

if (PosX >= 6) then
    MS(id,9) = 0;
end;

if (PosY <= 0) then
    MS(id,10) = 1;
end;

if (PosY >= 6) then
    MS(id,10) = 0;
end;

//Realiza processo de HO
Aux = MS(id,17); //inicializa com potencia muito baixa

```

```

if iHandover == 0 then
  for k=1:iBS
    Prx = PotenciaRxErceg(BS,k,MS,id);

    if (Aux < Prx) then
      Aux = Prx;
      MS(id,6) = k;
    end;
  end;

else
  for k=1:iBS
    Prx = PotenciaRxErceg(BS,k,MS,id);

    DispA =
(MACAquisition(BS(MS(id,6),10),IndiceModulacao(Aux),0)/1000)^iPesoDisponibili
dade;
    DispB =
(MACAquisition(BS(k,10),IndiceModulacao(Prx),0)/1000)^iPesoDisponibilidade;

    RxA = DBmToWatt(Aux);
    RxB = DBmToWatt(Prx);

    G = log10((1+(DispB*RxB))/(1+(DispA*RxA)));

    if (G > 0) then
      Aux = Prx;
      MS(id,6) = k;
    end

  end;

end;

matriz = MS;

endfunction;

// -----
//                               Funcao Potencia Erceg
// -----
// Funcao responsável por determinar qual o nível de
// potencia recebida de acordo com o modelo de Erceg
// Retorna um valor representando a potencia (dBm).
// -----
// Parametros:
fPotTx,fGrx,fGtx,fFx,fDesvio,fAntRx,fAntTx,fAnguloAntena,iAmbiente
// -----
// BS 1
// -----
BS(1,1) = 0; //pos X
BS(1,2) = 0; //pos Y
BS(1,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(1,4) = 18; //Ganho Ant TX dbi
BS(1,5) = 2500;//Frequencia MHz
BS(1,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(1,7) = 40; //Altura antena m
BS(1,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(1,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(1,10) = 0; //Ocupação de Banda UL ***** BANDA OCUPADA UL
*****
BS(1,11) = 0; //Pacotes TX

```

```

BS(1,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(1,13) = 0; //Janela TDM

BS(1,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 2
// -----
BS(2,1) = 6; //pos X
BS(2,2) = 0; //pos Y
BS(2,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(2,4) = 18; //Ganho Ant TX dbi
BS(2,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(2,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(2,7) = 40; //Altura antena m
BS(2,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(2,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(2,10) = 0; //Ocupação de Banda sendo Valor para 20 users 384kbps = 11520
BS(2,11) = 0; //Pacotes TX
BS(2,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(2,13) = 0; //Janela TDM

BS(2,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 3
// -----
BS(3,1) = 0; //pos X
BS(3,2) = 6; //pos Y
BS(3,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(3,4) = 18; //Ganho Ant TX dbi
BS(3,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(3,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(3,7) = 40; //Altura antena m
BS(3,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(3,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(3,10) = 0; //Ocupação de Banda
BS(3,11) = 0; //Pacotes TX
BS(3,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(3,13) = 0; //Janela TDM

BS(3,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 4
// -----
BS(4,1) = 6; //pos X
BS(4,2) = 6; //pos Y
BS(4,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(4,4) = 18; //Ganho Ant TX dbi
BS(4,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(4,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(4,7) = 40; //Altura antena m
BS(4,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(4,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(4,10) = 0; //Ocupação de Banda
BS(4,11) = 0; //Pacotes TX
BS(4,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(4,13) = 0; //Janela TDM

```

```

BS(4,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 5
// -----

BS(5,1) = 3; //pos X
BS(5,2) = 3; //pos Y
BS(5,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(5,4) = 18; //Ganho Ant TX dbi
BS(5,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(5,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(5,7) = 40; //Altura antena m
BS(5,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(5,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(5,10) = 0; //Ocupação de Banda
BS(5,11) = 0; //Pacotes TX
BS(5,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(5,13) = 0; //Janela TDM

BS(5,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 6
// -----

BS(6,1) = 3; //pos X
BS(6,2) = 0; //pos Y
BS(6,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(6,4) = 18; //Ganho Ant TX dbi
BS(6,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(6,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(6,7) = 40; //Altura antena m
BS(6,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(6,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(6,10) = 0; //Ocupação de Banda
BS(6,11) = 0; //Pacotes TX
BS(6,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(6,13) = 0; //Janela TDM

BS(6,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 7
// -----

BS(7,1) = 3; //pos X
BS(7,2) = 6; //pos Y
BS(7,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(7,4) = 18; //Ganho Ant TX dbi
BS(7,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(7,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(7,7) = 40; //Altura antena m
BS(7,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(7,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(7,10) = 0; //Ocupação de Banda
BS(7,11) = 0; //Pacotes TX
BS(7,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(7,13) = 0; //Janela TDM

```

```

BS(7,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 8
// -----
BS(8,1) = 0; //pos X
BS(8,2) = 3; //pos Y
BS(8,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(8,4) = 18; //Ganho Ant TX dBi
BS(8,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(8,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(8,7) = 40; //Altura antena m
BS(8,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(8,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(8,10) = 0; //Ocupação de Banda UL
BS(8,11) = 0; //Pacotes TX
BS(8,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(8,13) = 0; //Janela TDM

BS(8,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// BS 9
// -----
BS(9,1) = 6; //pos X
BS(9,2) = 3; //pos Y
BS(9,3) = 23; //Pot TX dbm
BS(9,4) = 18; //Ganho Ant TX dBi
BS(9,5) = 2500; //Frequencia MHz
BS(9,6) = 1; //Desvio Padrão
BS(9,7) = 40; //Altura antena m
BS(9,8) = 120; //Abertura da antena (Graus)
BS(9,9) = 1; //Coef. Ambiente
BS(9,10) = 0; //Ocupação de Banda
BS(9,11) = 0; //Pacotes TX
BS(9,12) = 0; //Pacotes perdidos
BS(9,13) = 0; //Janela TDM

BS(9,14) = 0; //Ocupação de Banda DL ***** BANDA OCUPADA DL
*****

// -----
// Cria todos os terminais
// -----
for k=1:iTerminais

if Topologia == 0 then //Se tiver orientação horizontal
MS(k,1) = 0; //Pos X
MS(k,2) = 0; //Pos Y

//Inicialização da orientação
MS(k,9) = 1; //Orientação X 1=Positivo 0=Negativo
MS(k,10)= 0; //Orientação Y 1=Positivo 0=Negativo
else
MS(k,1) = Randomico(0,MatrizN)*(6/MatrizN); //Pos X
MS(k,2) = Randomico(0,MatrizM)*(6/MatrizM); //Pos Y

//Inicialização da orientação
MS(k,9) = Randomico(0,1); //Orientação X 1=Positivo 0=Negativo
MS(k,10)= Randomico(0,1); //Orientação Y 1=Positivo 0=Negativo

```

```

end;

MS(k,3) = 2500; // Frequencia MHz
MS(k,4) = 2; // Ganho Ant RX dbi
MS(k,5) = 1.7; // Altura antena m
MS(k,6) = 1; // BS no qual MS conectado

//Pular 7 e 8 pois estão com outros parametros abaixo

MS(k,11) = fCodecVoz; //Taxa utilizada pelo serviço 12 kbps
MS(k,30) = 0; //Tipo Servico UL

if k <= (iTerminais*iInternet)
    MS(k,11) = fTaxaInternet; //Taxa utilizada pelo serviço 1024 kbps
    MS(k,30) = 1; //Tipo Servico DL
end;

if k <= (iTerminais*iVideoChamada)
    MS(k,11) = fCodecVideo; //Taxa utilizada pelo serviço 128 kbps
    MS(k,30) = 0; //Tipo Servico UL
end;

MS(k,12)= 0; //Pacotes TX
MS(k,13)= 0; //Pacotes perdidos
MS(k,14)= 0; //Número de pacotes
MS(k,15)= 0; //Flag de TX 0:Busy 1:Transmite
MS(k,16)= 1498; //Tamanho do pacote em bytes
MS(k,17)= 0; //Potencia de RX no MS em dBm
MS(k,18)= 0; //ACK
MS(k,19)= 1; //Orientação linha=0 e coluna=1
MS(k,20)= 0; //Buffer de arquivos perdidos

end;

//Fim da inicialização -----
-----
if iMostraResultados > -1 then
    mprintf('\n-----');
    mprintf('\nInício da simulação');
    mprintf('\n-----\n');
end;

if iMostraResultados == 1 then
    fd = mopen(sArquivo, 'wb');

mfprintf(fd, 'indice;terminal;PosX;PosY;BS;Rx;Per;BW;Distancia;UpLink;DownLink
;OcupacaoUL;OcupacaoDL;PacotesTX;PacotesPE;Eficiencia;Tempo;Jitter;Throughput
\n');
end;

fMedPrx = 0;
fMedBER = 0;
fMedJitter = 0;
fMedRate = 0;
fMedTime = 0;
fTotPkgTx = 0;
fTotPkgPe = 0;
fMedThroughput = 0;
fMediaUL = 0;
fMediaDL = 0;

//Inicializa taxa dos terminais nas BS
for g=1:iTerminais

    if Topologia == 0 then
        MS = MovimentaLinear(MS,g);
    end;
end;

```

```

else
  MS = MovimentaTerminal(MS,g);
end;

Prx = PotenciaRxErceg(BS,MS(g,6),MS,g);
//Prx = PotenciaRxShadowing(BS,MS(g,6),MS,g);

MS(g,17) = Prx; //Potencia RX em dbm
MS(g,7) = IndiceModulacao(Prx); //Busca indice de modulacao

MS(g,15) = 0; //Inicia como acesso OK como default

end;

glTempoGlobal = 0;
per = 0;
pkgTempo = 0; // Total de tempo gasto para transmissao dos pacotes
uDownLink = 0;
uUpLink = 0;

for k=1:iEventos //Eventos do escalonador

  for t=1:iTerminais

    pkgTransmitido = 0;

    //Desaloca os recursos de UL e DL -----
    if MS(t,15) == 1 then //Se já estava com acesso

      if MS(t,30) == 0 then
        BS(MS(t,6),10) = BS(MS(t,6),10) - MS(t,11); //Desaloca recursos até o
        próximo evento
        BS(MS(t,6),14) = BS(MS(t,6),14) - MS(t,11); //Desaloca recursos até o
        próximo evento
      else
        BS(MS(t,6),14) = BS(MS(t,6),14) - MS(t,11); //Desaloca recursos até o
        próximo evento
      end;

    end;
    //-----

    //Realiza a movimentação do terminal
    if Topologia == 0 then
      MS = MovimentaLinear(MS,t);
    else
      MS = MovimentaTerminal(MS,t);
    end;

    Prx = PotenciaRxErceg(BS,MS(t,6),MS,t);
    //Prx = PotenciaRxShadowing(BS,MS(t,6),MS,t);

    MS(t,17) = Prx; //Potencia RX em dbm
    MS(t,7) = IndiceModulacao(Prx); //Busca indice de modulacao
    MS(t,8) = BuscaTaxa(MS(t,7)); //Busca taxa de TX
    uUpLink = MACAquisition(BS(MS(t,6),10),IndiceModulacao(Prx),0);
    uDownLink = MACAquisition(BS(MS(t,6),14),IndiceModulacao(Prx),1);

    fMediaUL = fMediaUL + uUpLink;
    fMediaDL = fMediaDL + uDownLink;

    if (MS(t,7) == 0 ) then
      MS(t,15) = 0; //Acesso negado..área de sombra
    else
      if MS(t,30) == 0 then
        FreeBandwidth = uUpLink;
      else
        FreeBandwidth = uDownLink;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

end;

if FreeBandwidth >= 0 then //deteriora o jitter mas deixa conectar
mais 1 usuario

    if (MS(t,30) == 0)
        BS(MS(t,6),10) = BS(MS(t,6),10) + MS(t,11); //Aloca novamente UL
os recursos em kbps
        BS(MS(t,6),14) = BS(MS(t,6),14) + MS(t,11); //Aloca novamente UL
os recursos em kbps
    else
        BS(MS(t,6),14) = BS(MS(t,6),14) + MS(t,11); //Aloca novamente DL
os recursos em kbps
    end;

    MS(t,15) = 1; //Tem acesso, pois ha banda livre

else
    MS(t,15) = 0; //Nao tem acesso, pois nao ha banda livre
end;
end;

pkgTransmitido = 0; // Total de pacotes transmitidos com sucesso
delay = 0;
jitter = 0;
throughput = 0;

//zera os pacotes perdidos da BS e MS
BS(MS(t,6),12) = 0;
MS(t,13) = 0;

iPkgEventos = ((MS(t,11)*1000)/8)/MS(t,16)*iPasso;

if MS(t,15) == 1 then

    fBuffer = MS(t,20);
    PacotesTransmitidos = TransmitirPacotes(iPkgEventos+fBuffer, MS, t, BS,
glTempoGlobal, FreeBandwidth);
    nRxPacotes = PacotesTransmitidos(1,6);

    MS(t,20) = 0;

    glTempoGlobal = PacotesTransmitidos(nRxPacotes,5);

    for p=1:nRxPacotes

        delay(p,1) = PacotesTransmitidos(p,5) - PacotesTransmitidos(p,4);

        pkgTempo = pkgTempo + PacotesTransmitidos(p,1);
        pkgTransmitido = pkgTransmitido + PacotesTransmitidos(p,2);
        per = PacotesTransmitidos(p,3);

    end;

//verifica o desvio padrao do delay para retirar o jitter
jitter = st_deviation(delay);

//contabilizar os pacotes transmitidos
MS(t,12) = MS(t,12) + pkgTransmitido;
BS(MS(t,6),11) = BS(MS(t,6),11) + pkgTransmitido;

throughput = (pkgTransmitido * 8 * MS(t,16))/1000;
fMedThroughput = fMedThroughput + throughput;

//contabilizar os pacotes perdidos
MS(t,13) = MS(t,13) + nRxPacotes - pkgTransmitido; // Se nao teve
acesso todos os pacotes foram perdidos
BS(MS(t,6),12) = BS(MS(t,6),12) + nRxPacotes - pkgTransmitido;

```

```

else
    //contabilizar os pacotes perdidos
    MS(t,13) = MS(t,13) + iPkgEventos; // Se nao teve acesso todos os
    pacotes foram perdidos
    BS(MS(t,6),12) = BS(MS(t,6),12) + iPkgEventos;
    //MS(t,20) = MS(t,20) + iPkgEventos; //Incrementa o Buffer para
    transmitir quando nao houver conectividade se for TCP
    end;

// Considerar o ruído fixo
dist = CalcularDistancia(MS,BS,t,MS(t,6));

fMedPrx = fMedPrx + Prx;
fMedBER = fMedBER + per;
fMedJitter = fMedJitter + jitter;
fMedTime = fMedTime + (pkgTempo/iPkgEventos);
fMedRate = fMedRate + MS(t,8);

fTotPkgTx = fTotPkgTx + pkgTransmitido;
fTotPkgPe = fTotPkgPe + nRxPacotes - pkgTransmitido;

if iMostraResultados > -1 then

    if iMostraResultados == 1 then
        mfprintf(fd,'%i;',k);
        mfprintf(fd,'%i;',t);
        mfprintf(fd,'%5.3f;',MS(t,1));
        mfprintf(fd,'%5.3f;',MS(t,2));

        mfprintf(fd,'%1.0f;',MS(t,6));
        mfprintf(fd,'%5.2f;',Prx);
        mfprintf(fd,'%3.1fE6;',per*1000000);
        mfprintf(fd,'%3.2f;',MS(t,8));

        mfprintf(fd,'%1.3f;',dist);

        mfprintf(fd,'%5.3f;',uUpLink);
        mfprintf(fd,'%5.3f;',uDownLink);

        mfprintf(fd,'%i;',BS(MS(t,6),10)); //Ocupacao de UL
        mfprintf(fd,'%i;',BS(MS(t,6),14)); //Ocupacao de DL

        mfprintf(fd,'%i;',BS(MS(t,6),11));
        mfprintf(fd,'%i;',BS(MS(t,6),12));

        //Verifica a eficiencia da conexao
        if BS(MS(t,6),11) > 0 then
            mfprintf(fd,'%2.2f;',(1-(BS(MS(t,6),12)/BS(MS(t,6),11)))*100);
        else
            mfprintf(fd,'%2.2f;',0);
        end;

        mfprintf(fd,'%5.4f;',pkgTempo);

        mfprintf(fd,'%i;',jitter*1000); //Jitter em ms
        mfprintf(fd,'%5.3f;',throughput/iPasso); //throughput em kbps

        mfprintf(fd,'\n');
    else
        mprintf('E:%i;',k);
        mprintf('M:%i;',t);
        mprintf('X:%5.3f;',MS(t,1));
        mprintf('Y:%5.3f;',MS(t,2));

        mprintf('BS:%1.0f;',MS(t,6));
        mprintf('Rx:%5.2f;',Prx);
        mprintf('BW:%3.2f;',MS(t,8));
    end;
end;

```

```

mprintf('UL:%i;',uUpLink);
mprintf('DL:%i;',uDownLink);

mprintf('OU:%i;',BS(MS(t,6),10));
mprintf('OD:%i;',BS(MS(t,6),14));

mprintf('Ppe:%i;',BS(MS(t,6),12));

//Verifica a eficiencia da conexao
if BS(MS(t,6),11) > 0 then
    mprintf('Ef:%2.2f;',(1-(BS(MS(t,6),12)/BS(MS(t,6),11)))*100);
else
    mprintf('Ef:%2.2f;',0);
end;

//mprintf('T:%5.4f;',pkgTempo);

mprintf('J:%i;',jitter*1000); //Jitter em ms
mprintf('Thr:%5.3f;',throughput/iPasso); //throughput em kbps

mprintf('\n');
end;
end;

end;

end;

if iMostraResultados > -1 then
    mprintf('\n-----');
    mprintf('\nRelatório final da simulação');
    mprintf('\n-----\n');
end;

mprintf('Rx:%5.2f;',(fMedPrx/iEventos)/iTerminais);
mprintf('Per:%f;',(fMedBER/iEventos)/iTerminais);
mprintf('Rate:%5.2f;',(fMedRate/iEventos)/iTerminais);
mprintf('UL:%5.2f;',(fMediaUL/iEventos)/iTerminais);
mprintf('DL:%5.2f;',(fMediaDL/iEventos)/iTerminais);
mprintf('PTx:%i;',fTotPkgTx);
mprintf('Ppe:%i;',fTotPkgPe);
mprintf('Ef:%5.2f pp;',(1-(fTotPkgPe/fTotPkgTx))*100);
mprintf('Tp:%5.4f;',(fMedTime/iEventos)/iTerminais);
mprintf('Thr:%5.3fkbps;',(fMedThroughput/iEventos)/iTerminais/iPasso);
mprintf('\n');

if iMostraResultados == 1 then

    //Fecha o arquivo de dados aberto
    mclose(fd);

    rel = mopen(sRelatorio,'wb');
    mfprintf(rel,'rx;per;rate;ul;dl;ptx;ppe;ef;tp;thr;\n');
    mfprintf(rel,'%5.2f;',(fMedPrx/iEventos)/iTerminais);
    mfprintf(rel,'%f;',(fMedBER/iEventos)/iTerminais);
    mfprintf(rel,'%5.2f;',(fMedRate/iEventos)/iTerminais);
    mfprintf(rel,'%5.2f;',(fMediaUL/iEventos)/iTerminais);
    mfprintf(rel,'%5.2f;',(fMediaDL/iEventos)/iTerminais);
    mfprintf(rel,'%i;',fTotPkgTx);
    mfprintf(rel,'%i;',fTotPkgPe);
    mfprintf(rel,'%5.2f;',(1-(fTotPkgPe/fTotPkgTx))*100);
    mfprintf(rel,'%5.4f;',(fMedTime/iEventos)/iTerminais);
    mfprintf(rel,'%5.3f;',(fMedThroughput/iEventos)/iTerminais/iPasso);
    mfprintf(rel,'\n');
    mclose(rel);
end;
end;

```

Cenários de simulação

```

clearglobal(); // limpa variaveis globais
clear; // limpa variaveis

exec('PlataformaSimulacaoIEEE80216e.sci');

// -----
//          Parametros iniciais da simulação
// -----
iEventos = 1000;
iBS = 9;

global iHandover;

iPesoDisponibilidade = 3;

MatrizN = 40; //Linhas de Manhattan
MatrizM = 30; //Colunas de Manhattan
iMostraResultados = 1; // -1=Só mostra resultado final / 0=Tela / 1=Arquivo

iPasso = 10; //Variação de distancia percorrida por evento (metro)
Topologia = 1; //Topologia para simulação 1=Manhatan e 0=Linear

iVoz=0.75; //em % (ex 75%)
fCodecVoz = 12; //kbps

iVideoChamada=0.05; //5%
fCodecVideo=128; //kbps

iInternet=0.20; //20%
fTaxaInternet=1024; //kbps

//-----
//SIMULAÇÃO PARA VARIOS TERMINAIS E VARIANDO O METODO DE HANDOVER
//-----
iHandover = 0; //Processo de Handover SNR=0 G=1
j=100;
while j <= 300
    sArquivo = sprintf('out\OutHandoverSNR%i.txt',j);
    sRelatorio = sprintf('out\RelHandoverSNR%i.txt',j);
    iTerminais = j;
    exec('Engine.sce');
    j = j + 20;
end;

iHandover = 1; //Processo de Handover SNR=0 G=1
j=100;
while j <= 300
    sArquivo = sprintf('out\OutHandoverG%i.txt',j);
    sRelatorio = sprintf('out\RelHandoverG%i.txt',j);
    iTerminais = j;
    exec('Engine.sce');
    j = j + 20;
end;

//-----
//SIMULAÇÃO NUMERO FIXO DE TERMINAIS E VARIANDO O METODO DE HANDOVER
//-----
//iHandover = 1; //Processo de Handover SNR=0 G=1
//iPesoDisponibilidade = 3;
//sArquivo = 'out\OutHandoverGLinear.txt';
//sRelatorio = 'out\RelHandoverGLinear.txt';
//iTerminais = 1;

```

```

//exec('Engine.sce');
//
//iHandover = 0; //Processo de Handover SNR=0 G=1
//sArquivo = 'out\OutHandoverSNRLinear.txt';
//sRelatorio = 'out\RelHandoverSNRLinear.txt';
//iTerminais = 1;
//exec('Engine.sce');

//-----
//SIMULAÇÃO NUMERO FIXO DE TERMINAIS E VARIANDO O ALFA (PESO DE
DISPONIBILIDADE)
//-----
//iHandover = 1; //Processo de Handover SNR=0 G=1
//iTerminais = 1;
//for j=1:8
//  iPesoDisponibilidade = j;
//  sArquivo = sprintf('out\OutHandoverGPeso%i.txt',j);
//  sRelatorio = sprintf('out\RelHandoverGPeso%i.txt',j);
//  exec('Engine.sce');
//end;

```

Análise de resultados

```

//-----
//CONSTRUCAO DOS RESULTADOS GRAFICOS
//-----

clear;
exec('PlataformaSimulacaoIEEE80216e.sci');

Sheets =
readxls('d:\Home\pessoais\PUC\MESTRADO\Softwares\SCILab\Plataforma\data\Sim
Linear 20-1 Amb-Rural\Throughput.xls');
//Sheets =
readxls('d:\Home\pessoais\PUC\MESTRADO\Softwares\SCILab\Plataforma\data\Sim
Linear 20-1 Amb-Suburban\uplink.xls');
typeof(Sheets);
s1=Sheets(1);
typeof(s1);

x = s1(:,1);
t = s1(:,2);
//plot(x,t,'b');
plot(x,t,'b+');

t = s1(:,3);
//plot(x,t,'r');
plot(x,t,'ro+');

clear;
exec('PlataformaSimulacaoIEEE80216e.sci');

Sheets =
readxls('d:\Home\pessoais\PUC\MESTRADO\Softwares\SCILab\Plataforma\data\Sim
Linear 20-1 Amb-Rural\Throughput.xls');
//Sheets =
readxls('d:\Home\Pessoais\PUC\MESTRADO\Softwares\SCILab\Plataforma\data\Sim
Linear 20-1 Amb-Suburban\uplink.xls');
typeof(Sheets);
s1=Sheets(1);
typeof(s1);

t = s1(:,3);
y(:,1) = 1:max(t+220);

m = DistanciaRxErceg(8);

```

```

for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

plot(x,y,'k-.');

xset("font",2,3);
xstring(m+0.05,max(y),['64-QAM 5/6'],270); // angle

m = DistanciaRxErceg(7);
for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

plot(x,y,'k-.');

xstring(m+0.05,max(y),['64-QAM 3/4'],270); // angle

m = DistanciaRxErceg(6);
for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

plot(x,y,'k-.');

xstring(m+0.05,max(y),['64-QAM 2/3'],270); // angle

m = DistanciaRxErceg(5);
for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

plot(x,y,'k-.');

//xstring(m+0.05,max(y),['64-QAM 1/2'],270); // angle

m = DistanciaRxErceg(4);
for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

plot(x,y,'k-.');

xstring(m+0.05,max(y),['16-QAM 3/4'],270); // angle

m = DistanciaRxErceg(3);
for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

plot(x,y,'k-.');

xstring(m+0.05,max(y),['16-QAM 1/2'],270); // angle

m = DistanciaRxErceg(2);
for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

plot(x,y,'k-.');

xstring(m+0.05,max(y),['QPSK 3/4'],270); // angle

m = DistanciaRxErceg(1);
for i=1:max(y);
    x(i,1) = m;
end;

```

```
plot(x,y,'k-.');

xstring(m+0.05,max(y),['QPSK 1/2'],270); // angle

a=gca(); // Handle on axes entity
a.x_location = "middle";
a.y_location = "middle";

a.x_label.text = "Distance (Km)";
a.y_label.text = "Available Uplink Rate (kbps)";

a.x_label.font_size=4;
a.y_label.font_size=4;

hl=legend(['Handover G';'Handover SS'],a=4);
hl.font_size = 4;
```

APÊNDICE B – ARTIGO PUBLICADO

Handover Method Considering Availability of Neighbourhood Cells in Multi-Rate Network

Branquinho Omar C.^{#1}, Goes Adriano^{*2}, Reggiani Norma^{#3}, IEEE Member

[#] *Electrical Engineering, Catholic University of Campinas
Campinas – São Paulo - Brazil*

¹ omar.branquinho@puc-campinas.edu.br

² goes.adriano@ieee.com

³ nreggiani@puc-campinas.edu.br

Abstract — The performance in all mobile networks, in special multi-rate system as WiMAX (IEEE 802.16e), is highly dependent on the environment. This article presents a traffic load balance technique considering a Handover process to maximize the average throughput. The principle considers the capacity of the neighbour cells as parameter of the handover. The proposal is based on the utilization of the Base Station (BS) availability that will support the Mobile Station (MS) in the Handover area in different environments. In order to achieve high coverage and throughput to a large number of users and link adaptation strategies are addressed. The results show the improvement in the throughput average up to 18% per sector, compared with the traditional handover procedure. This is based on a 10MHz (512-FFT) OFDMA TDD profile (using one-third fractional reuse) deployed in licensed 2.5 GHz spectrum.

Index—Handover, WiMAX, QoS, OFDMA, Load Balance

I. INTRODUCTION

The handover (HO) process permits that MS (Mobile Station) change from a cell to another without losing the connection. In the new data services, with different rates, the HO process has the new challenge of providing the necessary QoS [1].

Usually, the HO process uses only the SS (Signal Strength) to change between cells. The MS is connected with the BS with the better SS. The presented proposition additionally uses the bandwidth availability in the neighbour's cells in order to decide the HO.

The HO process introduces a large number of interactions between the MS and adjacent (neighbouring) BSs for the purpose of scanning, ranging, parameter negotiation and information exchanging.

The literature presents strategies [1] to improve the mobile WiMAX HOs through an agent to load balance traffic, considering fixed users. While the scheme in [1] is limited to the downstream (from BS to MS) direction, the algorithms proposed in [2] oversimplify the network topology acquisition procedure and thus decrease the accuracy of HO. The present proposal

identify a new method to maximize the network efficiency through algorithm that handle the available bandwidth and SS, using a discrete events simulation framework in the SCiLab open source software.

The article is organized as follows. The Section II presents the HO mechanisms, describing all process involved in this operation; Section III shows the proposed method; Section VI shows the results and the final considerations are presented in the Section IV.

II. HANDOVER MECHANISM

Currently, the cellular systems, including the WiMAX technology, use the SS to decide the position to change the MS between two BS.

In the Figure 1 characterize the handover process through the change of BS's SS where the MS is moving from the BS A to BS B. The BS A SS decreases with the distance, resulting in a change from the BS A to BS B, somewhere between these two BS.

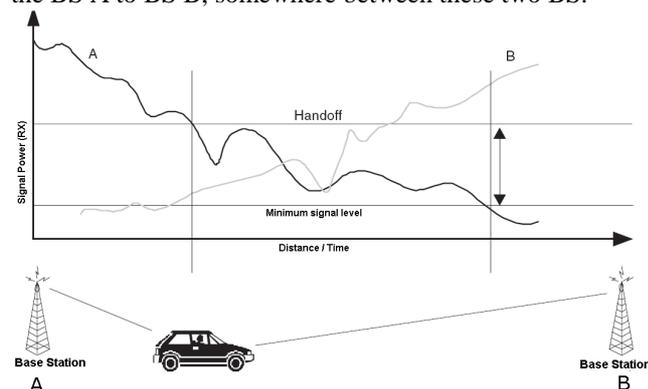


Fig. 1. A sample of HO using a method based only in SS [3]

One way to determine the point of changing the MS from BS A to BS B, taking into account the values SS of each station, can be calculated by the expression (1):

$$H = 10 \log \left(\frac{SS_A}{SS_B} \right) [dB] \quad (1)$$

where, SS_A and SS_B are the values of the SS of the BS A and B, respectively. If a MS is moving from BS A to

BS B, it changes from BS A to BS where $SS_B > SS_A$, that is, when H becomes negative.

III. PROPOSED HANDOVER METHOD

In the multi-rate systems, like mobile WiMAX, the environment characteristics determine the mobile data rate. Between the two BS, in the Figure 1, there are different data rates areas from each BS. There is situation where BS B has not bandwidth available to support the MS the SS method is poor because the MS will change from BS A to BS B and the network efficiency decrease. In this situation is better that MS stay in the BS A. This procedure is relevant to maximize the overall system capacity. The data rate can be changed without affecting the performance of the system, though it depends of the type of service required.

The expression (1) does not consider the availability of BS A and B. To include the availability in the expression, it is necessary a factor that represents the available bandwidth in the neighbours BS. The inclusion of this factor cannot change the SS information, which is necessary in the HO process. The expression (2) presents an empirical formula that considers the BS's availability.

$$G = 10 \log \left[\frac{(A_A)^\alpha SS_A}{(A_B)^\alpha SS_B} \right] \text{ for } \begin{cases} A_B > 0 \\ H > 2 \text{ dB} \end{cases} \quad (2)$$

where, A_A and A_B are the available bandwidth of BS A and B in a specific modulation level; α is a correction factor to ponder the effect of the availability factor. When α is equal to 3, there is an optimization between the HO area and the rate gain [9]. The condition $A_B > 0$ considers a practical situation where the BS B has availability. The condition $H > 2$ dB is a WiMAX system parameter [6]. As the H factor, the G factor can be positive or negative, that represents the condition to change the BS.

In order to calculate the available bandwidth of the BS A and B was developed the expression (3):

$$A_{A,B} = \frac{\left(\frac{TcNsMb}{StFs} \right) - U \text{ [bps]}}{PHY_{rate} \text{ [bps]}} \quad (3)$$

where:

- Tc is the number of carriers in DL/UL;
- Ns is the number of symbols in DL/UL;
- Mb is the number of bits in modulation level;
- St is the total time for each symbol;
- Fs is the number of symbols per Frame;
- PHY_{rate} [bps] is the physical rate and
- U [bps] is the bandwidth already allocated given

by:

$$U = \sum_{i=1}^n B_i \text{ [bps]} \quad (4)$$

where:

- B_i : Bandwidth allocated for each MS;
- n : Number of simultaneous MS from one BS;
- i : MS index.

Considering that in this scenario the modulation is adaptative, the proportional physical rate must consider the rate in each modulation area:

$$PHY_{rate} = \sum_{i=0}^n R_i * PA_i \text{ [bps]} \quad (5)$$

where :

- R_i is the rate (bps) in which modulation index;
- I is the index of modulation;
- n is the number of modulations in the system

and

- PA_i is the proportionality factor for each modulation.

This proportionality factor is the ratio of the area of each modulation to the total area:

$$PA_i = \frac{\int_0^{\theta} \int_{r_{i-1}}^{r_i} r dr d\theta}{\int_0^{\theta} \int_0^{r_n} r dr d\theta} \cdot 100 \quad (6)$$

where, r_i are the area the limit of each modulation level, and θ is an antenna angle. The limits r_i are environment dependent and the expression (7) shows a distance calculated by ERCEG model [6]:

$$r_i = \left(10^{\frac{L_F + \Delta PL_f + \Delta PL_{Hms} + \Delta PL_{\theta ms} - PL}{-10\beta}} \right) d_0 \text{ [m]} \quad (7)$$

where, L_F is a loss in a free space, ΔPL_f is loss in frequency, $\Delta PL_{\theta ms}$ variance loss in an antenna angle, ΔPL_{Hms} variance loss in an antenna high, PL is a total path loss, β is a environment variable, and d_0 is the reference distance.

IV. SIMULATION SCENARIO

The simulation scenario considers the throughput gains due to the new method. All users have the same QoS and use the same service in this case a video call with data rate of 384kbps. Furthermore, the BS A has 1 MS moving to BS B at 3 km/h, corresponding to the pedestrian speed, with 20 MS are uniformly distributed. This scenario is illustrated in Figure 2 and the Table I presents the parameters used in the

simulation considering the WiMAX parameters values [6] with some adaptation to regard Brazilian attributes.

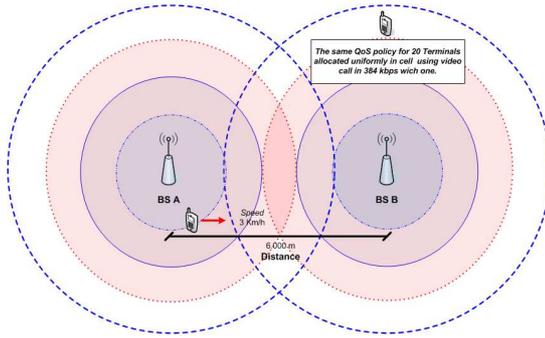


Fig. 2. Simulation scenario in Multi-rate system with two sectors [3].

TABLE I
SIMULATION PARAMETERS

Parameter	Symbol	Value	Unit
Number of sites	BS	2	-
Site-to-site distance	-	6000	m
Channel bandwidth	Bw	10	MHz
UL/DL sub-channels	Tc	560/720	-
UL/DL symbol number	Ns	21/26	-
Symbols per Frame	Fs	48	-
Symbol duration	St	0.000103	s
Frequency	F	2.5	GHz
BS antenna gain	Gt	18	dBi
BS antenna pattern	θ_{SUB}	120	°
BS antenna height	Ht	40	m
BS noise figure	NBf	4	dB
BS transmit power	PBt	23	dBm
MS antenna gain	Mr	0 (for Handheld)	dBi
MS antenna height	Mt	1.7	M
MS noise figure	NMf	8	dB
Path loss model	-	Erceg	-
Multipath channel	-	Pedestrian 3km/h	km/h
Traffic model		Same QoS for all Users	-
Number of users BS_A	U_A	1	-
Number of users BS_B	U_B	20	-
Available importance	α	3	-
Service Rate (video call)	SR	384	Kbps

The Table II shows for all modulation levels the proportional areas in different environments using a Table I parameters. In another words, the Table II,

shows the environment influence on the modulation areas, and consequently, on the physical rate.

TABLE II
MODULATION LEVELS AND AREAS

Modulation Level	Sensibility Channel 10MHz [dBm]	PHY Rate (Mbps)	Environments		
			Rural	Suburban	Urban
			A (%)	A (%)	A (%)
QPSK 1/2	-88,5	3.03	24.43	31.15	24.43
QPSK 3/4	-85.1	9.5	15.96	15.20	9.71
16QAM 1/2	-82.8	12.07	13.25	17.80	26.27
16QAM 3/4	-78.7	19.01	5.61	1.78	4.10
64QAM 1/2	-77.6	19.01	11.47	8.91	9.73
64QAM 2/3	-74.5	26.34	3.51	2.67	2.70
64QAM 3/4	-73.4	28.51	5.53	3.33	5.72
64QAM 5/6	-71.5	31.68	20.24	19.16	17.34

The Figure 3 presents an interesting view of different regions with different modulations level and bit rate, considering an urban environment. It is possible to identify the difference between the areas of each modulation level, which change for different environment. In this calculation it is used the IEEE802.16e sensitivity characteristic presented in the reference [6]. This figure can be interpreted as a data rate map for each level modulation.

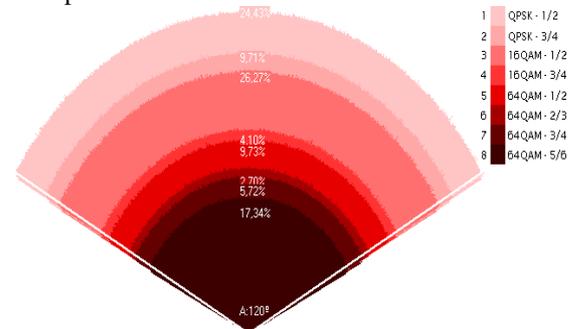


Fig. 3. Proportion area in IEEE802.16e using ERCEG propagation model for urban environment.

V. RESULTS

A. Network Efficiency

Defined as percentage of error packets received. This metric is important due to the fact that whenever a user fails to allocate the bandwidth required for the service, all packets will be discarded.

Table III present the simulation results of network efficiency with the SS HO method and using the factor G (G HO method) for rural, suburban and urban environments respectively. In all figures is observed that the use of the G factor increases the efficiency in comparison with the results using the SS HO method.

In rural environment this increase is up to 13%, in suburban one is up to 15% and in urban one is up to 11%.

In the SS HO method, the network efficiency for a rural environment is higher than for a Suburban, which is higher than for an urban environment. This shows that the efficiency of the network can be different depending on the environment when using the H HO. With the G HO is possible to maintain the network performance independent of the environment, using the same infrastructure.

TABLE III
EFFICIENCY NETWORKS SIMULATION RESULTS

HO Method	Environments		
	Rural	Suburban	Urban
	E (%)	E (%)	E (%)
G HO method	99,76	98,10	90,63
SS HO method	87,31	82,57	78,75
Efficiency increase	12,45	15,53	11,88

B. Uplink channel

The uplink is the channel that limits data rate in the symmetric services, because the uplink has a lower data rate compared with downlink. So the results use the uplink to show the improvement of the method proposed.

Figures 4, 5 and 6 present the average uplink data rate versus the distance, with SS HO and G HO for rural, suburban and urban environments respectively. The figures present the distance where change the modulation level of BS A. The results shows that the MS stay connected more time in the BS A than it does if the SS HO method is applied, resulting in a better uplink data rate.

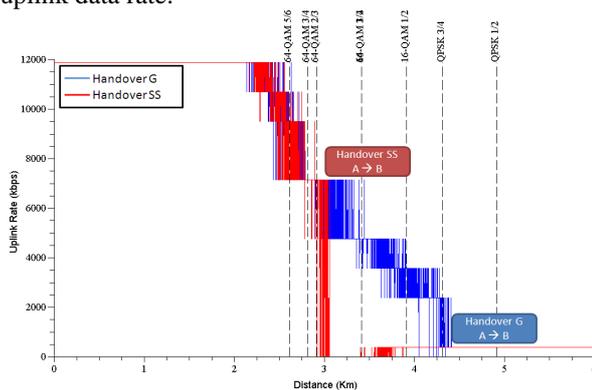


Fig. 4. Uplink channel relation between SS and G methods for Rural environment.

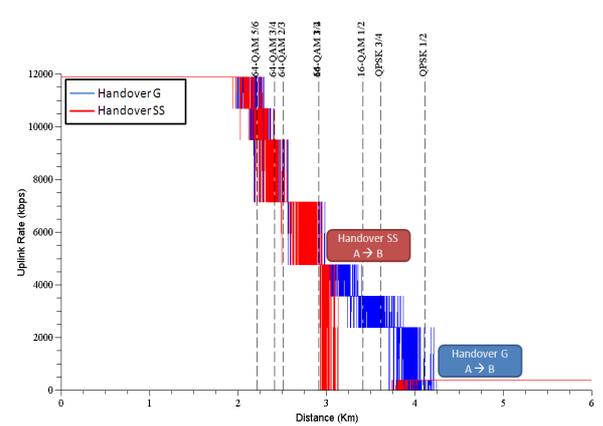


Fig. 5. Uplink channel relation between SS and G methods for Suburban environment.

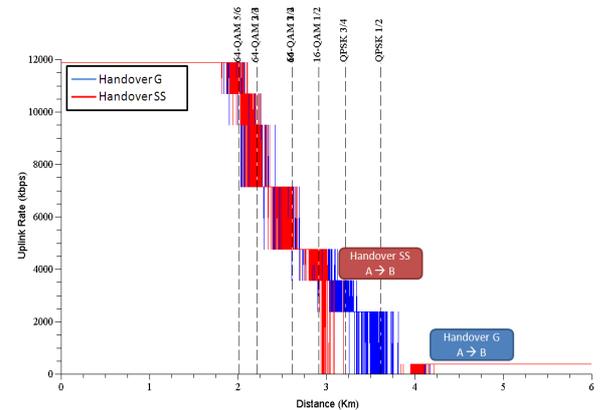


Fig. 6. Uplink channel relation between SS and G methods for Urban environment.

C. Throughput

The throughput for each environment for SS HO and G HO is presented in Figures 7, 8 and 9. The figures shows that with G HO the throughput is more constant without discontinuous points as presented in the SS HO. For rural area the G HO presents a continuous throughput and the SS HO present a discontinuous behaviour. For suburban and urban environment the G HO presents discontinuous points, but less than the SS HO, with the same infrastructure, as described.

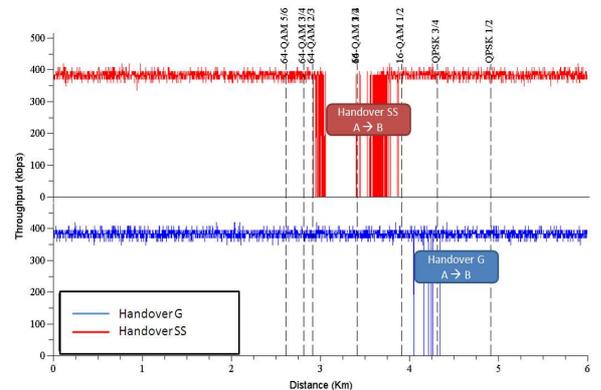


Fig. 7. Throughput average relation between SS and G methods for Rural environment.

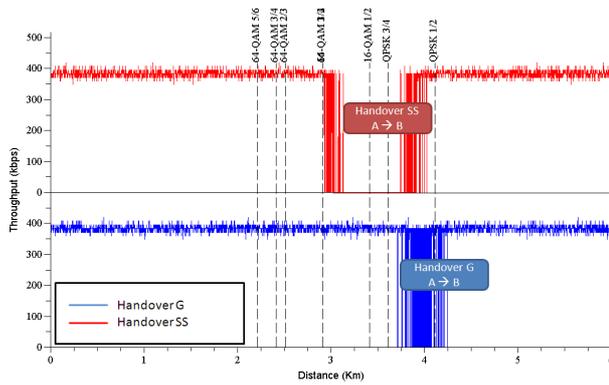


Fig. 8. Throughput average relation between SS and G methods for Suburban environment.

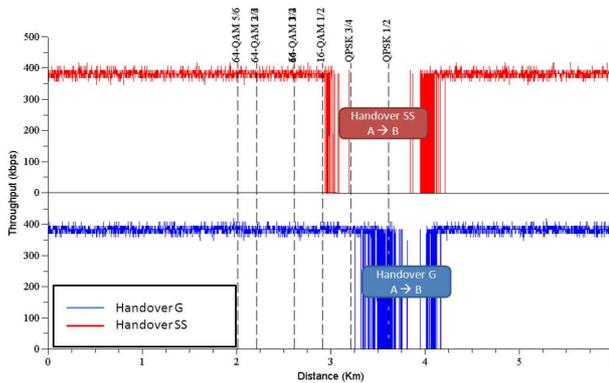


Fig. 9. Throughput average relation between SS and G methods for Urban environment.

VI. CONCLUSION

This paper proposed a handover method considering the neighbours cells availability, useful for multi rate systems, where cell coverage presents different data rate areas. The original handover method using the signal strength is not adequate for multi rate systems. The proposed method, namely G HO, was compared with the traditional signal strength, which considers only the position of the mobile station in the cell

sector. The proposal was evaluated with different environment, urban, suburban, and urban, using the Erceg propagation model. The results show a significant increase in the performance considering the network efficiency, up link data rate, and mobile station throughput. The implantation of this method in real systems need only the capacity availability of each base station, that information is available in the system.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the FINEP (Funding of Studies and Projects) that support this project.

REFERENCES

- [1] Tomas Casey, "Base Station Controlled Load Balancing with Handovers in Mobile WiMAX," Masters's Thesis, Helsinki University of Technology, January 2008.
- [2] Prasad R., Dovrolis C., Murray M, Claffy K., "Bandwidth Estimation: Measurement Techniques, and Tools" IEEE Network Nov/Dec 2003.
- [3] Document 8F/1079-E: Additional Technical Details Supporting IP-OFDMA as an IMT-2000 Terrestrial Radio Interface, ITU, Jan-10- 2007.
- [4] Hassan Yagoobi, "Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 WirelessMAN", Intel Technology Journal, Vol 08, August 2004.
- [5] Circular Letter 8/LCCE/153: Announcement of the submission of a candidate radio interface technology for consideration for inclusion in Recommendation ITU-R M.1457 as the sixth radio interface in the IMT-2000 terrestrial radio interfaces under the 8/LCCE/95 process.
- [6] Andrews J., Ghosh A., Muhamed R., "Fundamentals of WiMAX", 2007 1st edition – Prentice Hall.
- [7] K. Wu, "Load balancing of elastic data streams in cellular networks," Masters's Thesis, Helsinki University of Technology, January 2005.
- [8] H. Velayos, V. Aleo, and G. Karlsson, "Load balancing in overlapping wireless LAN cells," 2004 IEEE International Conference on Communications, Volume 7, pp. 3833 - 3836, June 2004.
- [9] Goes A. A., Branquinho O C, "Handover Strategy Considering Neighbours BS Availability for Multi Rate Air Interfaces", The 6th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2008) Liz, Austrian, November 2008.