



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO



**PLANEAMENTO ÓPTIMO DE REDES CELULARES UMTS
PARA SERVIÇOS DE DADOS BASEADAS EM HSDPA**

Diana Ladeira, nº 49323, AE de Telecomunicações
Pedro Costa, nº 49464, AE de Telecomunicações

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES
Relatório de Trabalho Final de Curso
050/2005/L

Prof. Orientador: Luís M. Correia

Junho de 2006

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a oportunidade que o Prof. Luís M. Correia nos proporcionou de trabalhar e aprender com ele, tendo partilhado connosco a sua experiência e conhecimentos, assim como o incentivo que nos deu e disponibilidade nas reuniões e fora delas, para discussão do trabalho. O facto de nos ter dado a oportunidade de pertencer ao grupo GROW, onde pudemos aprender e alargar a nossa visão do universo *wireless*.

Agradecemos também à Optimus por nos ter facultado esta colaboração e os dados fornecidos. Em especial ao Eng. Luís Santo que nos acompanhou neste trabalho, partilhando connosco a sua experiência e boa disposição contagiante, sendo que com as suas críticas e sugestões, permitiu que nós tivéssemos um contacto com a realidade de uma operadora de telecomunicações.

Aos membros do GROW um obrigado pela forma calorosa com que nos receberam, o seu companheirismo e a disponibilidade para nos ajudar no trabalho.

Ao Eng. Daniel Sebastião e Eng. João Cardeiro pela sua disponibilidade e paciência nas dúvidas que surgiram ao longo da discretização do seu trabalho.

Ao Eng. Luís Pires pela disponibilização rápida e prestativa de informação no início deste trabalho.

Aos nossos colegas do RF2, Mário Pereira e Hugo Esteves, pelo apoio ao longo do progresso do trabalho, dando verdadeiro sentido à palavra companheirismo, tornando o trabalho mais fácil nos momentos difíceis.

Ao Piter e Michael que partilharam connosco as suas experiências e nos deram a conhecer alguns dos modos e costumes do seu país.

Diana:

Aos meus amigos e colegas que conheci neste percurso, em especial à Sara com quem sempre pude contar para descontrair e ajudar.

Ao Pedro, um grande amigo, o melhor, com quem posso sempre contar e é sempre um prazer trabalhar, por não perder a paciência, manter a calma e nos piores momentos ter a capacidade de nos levar em frente, de nos motivar, incentivar e realizar críticas construtivas que só ajudaram, quer na concretização do trabalho, quer na minha postura face à vida.

Acima de tudo tenho de agradecer à minha família, os meus melhores amigos, os meus pais e o meu irmão por todo o apoio que sempre me deram, por todas as condições que me proporcionaram a todos os níveis, por todo o amor e carinho e por me incentivarem sempre a ser e fazer melhor. Sem o apoio incondicional e a paciência deles, não sei o que seria.

Pedro:

Gostaria de agradecer à Diana o apoio que me deu, batalhando a meu lado com o objectivo de terminar este trabalho; mesmo nos momentos mais difíceis nunca desistiu e sempre me encorajou, mostrando o espírito de lutadora que a caracteriza.

À Tânia Lamas e ao Fernando Lamas agradece-vos a vossa amizade e apoio no percurso deste trabalho.

Aos amigos que fiz no meu percurso académico, pois eles fizeram parte desta jornada.

Aos meus Pais, que nem sempre partilharam comigo os mesmos pontos de vista, mas nunca se recusaram ajudar naquilo que podiam.

A todos um muito obrigado
Diana Ladeira
Pedro Costa

Resumo

Este trabalho teve como objectivo realizar o planeamento óptimo da rede celular UMTS para serviços de dados através de HSDPA (*High Speed Data Packet Access*). Desenvolveu-se um simulador baseado num já existente, [Card06], para UMTS Rel99 (*Release'99*), tendo sido realizadas alterações neste e implementada a técnica HSDPA.

A aplicação *SIM* é utilizada para gerar uma lista de utilizadores, considerando uma dada taxa de penetração de serviços e a distribuição de tráfego correspondente do projecto MOMENTUM. A lista de utilizadores e outros parâmetros que definem as condições de simulação da rede são ficheiros de entrada no simulador. Este simulador consiste numa aplicação denominada *UMTS_Simul*, desenvolvida em MapBasic (associado ao software de sistemas de informação geográfica MapInfo). Esta aplicação interage ainda com um módulo desenvolvido em C++ designado *Net_Opt*, onde é feito o dimensionamento da rede. O utilizador pode definir as condições de simulação da rede, e.g., serviço mínimo para HSDPA e número de portadoras disponíveis por sector, para cada uma das simulações. O simulador não realiza qualquer análise temporal correspondendo antes a uma situação média da rede. No final da simulação são apresentados alguns parâmetros de avaliação da rede.

Foram efectuadas diversas simulações sobre uma rede co-localizada com GSM, tendo sido alterados alguns parâmetros de simulação da rede para assim se observar o comportamento desta. As simulações foram realizadas considerando a existência de quatro portadoras disponíveis, o modo *Release'99* e HSDPA onde é realizada uma gestão dinâmica da potência de HSDPA no caso da portadora ser partilhada (utiliza a potência remanescente da *Release'99*) e 8 serviços possíveis (Voz, Vídeo Telefonía, M-Entertainment, Messaging, Serviços de Localização, MMS, Acesso Internet e *Browsing*).

Realizou-se um estudo sobre o comportamento da rede com a variação do número de utilizadores, a variação das margens de atenuação de penetração em ambientes interiores, a mudança do débito binário mínimo para os utilizadores HSDPA, a alteração de um cenário constituído maioritariamente por utilizadores a realizar voz e dados a ritmos baixos, para um cenário de dados onde existem mais utilizadores a realizar serviços de dados a ritmos baixos, e ainda a alteração do cenário anterior para um cenário de dados mais exigente em que os ritmos para os serviços de dados são mais elevados (até 1024kbps).

Para o cenário de referência considerou-se a existência de 10305 utilizadores na rede, um serviço mínimo para HSDPA de 384kbps e uma predominância de serviços com ritmos baixos, e.g., 12.2kbps (voz). Para este cenário é obtida uma percentagem média de 30% de sectores com 3 e 4 portadoras.

Verifica-se que a atenuação de penetração em ambiente interior é um factor condicionante do HSDPA, podendo variar a percentagem de utilizadores não cobertos entre 25% e 51% para 11dB e 25dB de atenuação, respectivamente.

Através da realização de uma extrapolação temporal dos resultados obtidos, visto o simulador ser estático e pretender-se analisar uma das vantagens do HSDPA (baixo TTI), verifica-se que na cidade de Lisboa onde existem 180 EBs trisectorizadas, conseguem-se servir 755 515 utilizadores numa hora no cenário corrente, enquanto no cenário de dados exigente são servidos 1 422 420 utilizadores, verificando-se que apesar de existir uma maior exigência no cenário de dados exigente, a rede consegue suportar bastante mais utilizadores devido à existência de HSDPA.

Palavras Chave

UMTS, HSDPA, Planeamento, Simulador, Multi-serviço.

Abstract

This project had the goal of making an optimum planning of UMTS cellular networks for data services by implementing HSDPA (High Speed Data Packet Access). A simulator has been developed, based on [Card06], which deals only with UMTS Rel99 (Release'99), some changes having been performed in order to implement HSDPA.

The *SIM* application is used to generate a list of users, considering a given service penetration and the corresponding traffic distributions of the MOMENTUM project. The list of users and other parameters defining the network simulation settings are input files to the simulator. The simulator is composed of an application named *UMTS_Simul* developed in MapBasic (associated to the geographical information system software MapInfo). This application interacts with another module, a C++ based program named *Net_Opt*, where the network dimensioning is performed. The user can choose the network simulation settings for each simulation, e.g., the reference scenario and the minimum service bearer for HSDPA. The simulator does not perform any time analysis, rather corresponding to an average behaviour of the network. At the end of the simulation, network evaluation parameters are presented.

Several simulations were performed on a network co-located with GSM, some simulation settings having been changed in order to analyse their impact in the performance of the network. These simulations consider the availability of four carriers, the Rel99 (Release'99) and HSDPA modes, where in the case of a shared carrier there is a dynamic HSDPA power management (it uses the remaining power of Rel99), and 8 possible services (Voice, Video Telephony, M-Entertainment, Messaging, Location Based Services, MMS, Internet Access and Browsing).

A study was conducted on the network behaviour with the varying number of users in the network, the increase of indoor penetration attenuation, the modification of the minimum service bearer for HSDPA users, the change of a light scenario, meaning a scenario where users are mainly voice and low data service bearer, to a data scenario where there is an increase of data users but still at low rates, and to an aggressive data scenario where data service bearers are increased (up to 1024kbps) but still maintaining the data scenario users.

For the reference scenario, 10305 users are considered in the network, a minimum service bearer for HSDPA of 384kbps is considered and a predominance of low service bearers, e.g., 12.2kbps (voice). For this scenario, 30% of sectors with 3 and 4 carriers is achieved.

It is observed that the indoor penetration attenuation is a predominant factor of HSDPA, in the sense that if the indoor penetration attenuation increases from 11 to 25dB the percentage of uncovered users may vary from 25 to 51%.

Through an extrapolation, in order to be able to analyse the HSDPA impact in a period of time because it is a static simulator, and considering that in the city of Lisbon 180 trisectorized base stations exist, 755 515 users per hour are served in the light scenario, while for the aggressive data scenario there are 1 422 420 users per hour served, meaning that despite the demanding services of the aggressive data scenario, the network can serve several users due to HSDPA implementation.

Keywords

UMTS, HSDPA, Planning, Simulator, Multi-service

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Palavras Chave	iii
Abstract	iv
Keywords.....	iv
Índice	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	xi
Lista de Siglas	xv
Lista de Símbolos.....	xviii
Lista de Programas	xxi
1. Introdução	1
2. Visão Geral das Características do UMTS	3
2.1. Estrutura da Rede	3
2.2. WCDMA	4
2.3. Serviços e Aplicações	7
3. Planeamento e Optimização de uma Rede UMTS	9
3.1. HSDPA e HSUPA.....	9
3.2. Planeamento de uma Rede	13
3.3. Cenários e Tráfego	17
3.4. Optimização Rádio.....	19
3.5. Parâmetros de Desempenho	21
4. Descrição do Simulador	23
4.1. Estrutura Base	23
4.2. Implementação HSDPA.....	27
4.3. Dados de Entrada e Saída.....	30
4.4. Aferição do Simulador	32
5. Análise dos Resultados.....	35
5.1. Cenário de Referência.....	35
5.2. Influência da Atenuação de Penetração em Ambientes Interiores	37
5.3. Impacto Devido à Variação do Serviço Mínimo HSDPA	39
5.4. Análise de Cenários mais Exigentes em Serviços de Dados	43

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Arquitectura da rede UMTS (extraído de [Corr05]).	3
Figura 2.2 – Relação entre <i>channelisation</i> e <i>scrambling</i> (extraído de [HoTo04]).	4
Figura 2.3 – Distribuição de frequências para os modos FDD e TDD na Europa (baseado em [MaCo05]).	5
Figura 3.1 – O impacto do escalonamento rápido na variância do incremento de ruído (extraído de [Noki05b]).	12
Figura 3.2 – Etapas de planeamento e optimização de uma rede.	14
Figura 3.3 – Principais etapas no processo de optimização (baseado em [HoTo04]).	20
Figura 4.1 – Estrutura do simulador (extraído de [SeCa04]).	23
Figura 4.2 – Mapa de Lisboa com 10305 utilizadores a requerer diversos serviços.	26
Figura 4.3 – Mapa de Lisboa com EBs e respectivas áreas de cobertura nominal para um serviço de referência Rel99 de 128kbps (PS) e cenário interior.	26
Figura 4.4 – Algoritmo de atribuição de frequências HSDPA.	31
Figura 4.5 – Evolução do número de portadoras com o aumento do número de utilizadores HSDPA por sector.	33
Figura 4.6 – Valores de potência máxima por portadora para diferente número de utilizadores HSDPA por sector.	34
Figura 4.7 – Análise do número de simulações necessárias para os resultados terem relevância estatística.	34
Figura 5.1 – Mapa de Lisboa com a representação da rede.	35
Figura 5.2 – Distribuição de tráfego para o cenário corrente.	36
Figura 5.3 – Evolução da percentagem de sectores com 3 e 4 portadoras com o aumento do número de utilizadores na rede.	37
Figura 5.4 – Evolução das probabilidades de atraso e utilizadores HSDPA não cobertos com o aumento da atenuação de penetração em ambientes interiores.	38
Figura 5.5 – Caracterização dos utilizadores HSDPA e evolução com o aumento da atenuação de penetração em ambientes interiores.	38
Figura 5.6 – Evolução da distribuição global do número de portadoras por sector com o aumento da atenuação da penetração em ambientes interiores.	39
Figura 5.7 – Probabilidade de atraso e utilizadores não cobertos de HSDPA para diferentes ritmos mínimos.	40
Figura 5.8 – Caracterização dos utilizadores HSDPA para diferentes ritmos mínimos.	41
Figura 5.9 – Caracterização dos utilizadores Rel99 não servidos para diferentes ritmos mínimos de HSDPA.	41
Figura 5.10 – Distribuição global de portadoras por sector para diferentes ritmos mínimos de HSDPA.	42
Figura 5.11 – Caracterização do ritmo médio de serviço que os utilizadores conseguem realizar face ao pretendido para diferentes ritmos mínimos de HSDPA.	43
Figura 5.12 – Distribuição de tráfego para o cenário de dados e de dados exigente.	43
Figura 5.13 – Evolução da potência média da EB utilizada para portadoras HSDPA partilhadas e não partilhadas com o tipo de cenário.	44

Figura 5.14 – Evolução da distribuição do número de utilizadores HSDPA com a alteração do tipo de cenário.	45
Figura 5.15 – Distribuição do número de portadoras HSDPA e Rel99 por sector para cada tipo de cenário.	46
Figura 5.16 – Distribuição dos utilizadores servidos na rede pelos ritmos pretendidos para cada tipo de cenário.	46
Figura 5.17 – Redução média do ritmo pretendido que cada utilizador experimenta.	47
Figura A. 1 – Ilustração dos parâmetros de entrada do modelo COST 231 Walfisch-Ikegami (extraído de [Corr05]).	A.1
Figura C. 1 – Caracterização do terreno da cidade de Lisboa (extraído de [SeCa04]).	C.2
Figura C. 2 – Clientes UMTS por categorias de utilizador na cidade de Lisboa (extraído de [Card06]).	C.2
Figura C. 3 – Distribuição do tráfego para o serviço de voz (extraído de [SeCa04]).	C.3
Figura C. 4 – Distribuição do tráfego para o serviço de vídeo telefonia (extraído de [SeCa04]).	C.3
Figura C. 5 – Distribuição do tráfego para o serviço de <i>M-Entertainment</i> (extraído de [SeCa04]).	C.4
Figura C. 6 – Distribuição do tráfego para o serviço de <i>Messaging</i> (extraído de [SeCa04]).	C.4
Figura C. 7 – Distribuição do tráfego para o serviço de Localização (LBS) (extraído de [SeCa04]).	C.5
Figura C. 8 – Distribuição do tráfego para o serviço de MMS (extraído de [SeCa04]).	C.5
Figura C. 9 – Distribuição do tráfego para o serviço de Acesso Internet (extraído de [SeCa04]).	C.6
Figura C. 10 – Distribuição do tráfego para o serviço de <i>Browsing</i> (extraído de [SeCa04]).	C.6
Figura D. 1 – Relação SINR vs. ritmo binário (extraída de [HoTo04]).	D.1
Figura G. 1 – Representação do algoritmo de geração de utilizadores.	G.1
Figura G. 2 – Representação da aplicação <i>Net_Opt</i>	G.2
Figura G. 3 – Algoritmo de inserção de utilizadores na lista de utilizadores.	G.2
Figura G. 4 – Algoritmo de dimensionamento da rede.	G.3
Figura G. 5 – Algoritmo de atribuição de frequências HSDPA.	G.4
Figura G. 6 – Dimensionamento do número de portadoras HSDPA.	G.5
Figura H. 1 – Algoritmo de geração de utilizadores (extraído de [FCXV03]).	H.2
Figura I. 1 – Ecrã principal do programa de geração de utilizadores.	I.1
Figura I. 2 – Menu de abertura de ficheiros.	I.2
Figura I. 3 – Menu de adição/remoção de serviços.	I.2
Figura I. 4 – Menu de alteração das atenuações/percentagens dos diferentes cenários considerados.	I.2
Figura I. 5 – Menu de alteração dos parâmetros geográficos das grelhas.	I.3
Figura I. 6 – Menu de apresentação dos resultados.	I.3
Figura I. 7 – Exemplo de uma execução do programa.	I.4

Figura J. 1 – Janela de abertura do programa.....	J.1
Figura J. 2 – Aspecto do simulador depois de iniciado e das opções do menu <i>Edit Parameters</i>	J.1
Figura J. 3 – Parâmetros de simulação relativos ao modelo de propagação.	J.2
Figura J. 4 – Designação dos serviços considerados.....	J.2
Figura J. 5 – Ritmos e correspondentes percentagens dos serviços PS.....	J.3
Figura J. 6 – Parâmetros de definição das condições de simulação da rede e cenário de referência.	J.4
Figura J. 7 – Opções disponíveis no menu <i>Run</i> antes da colocação dos utilizadores.	J.5
Figura J. 8 – Mapa de Lisboa depois do <i>Deploy Network</i>	J.5
Figura J. 9 – Janela final com alguns parâmetros de desempenho da rede para Rel99.....	J.6
Figura J. 10 – Janela final com alguns parâmetros de desempenho da rede para HSDPA.	J.6
Figura K. 1 – Diagrama de radiação da antena de abertura horizontal de 65° para um ganho máximo de 17dBi (extraído de [Sant04]).	K.1
Figura O. 1 – Valores de potência máxima por portadora para diferente número de utilizadores HSDPA por sector.....	O.1
Figura P. 1 – Análise do número de simulações necessárias para os resultados terem relevância estatística.	P.1
Figura R. 1 – Distribuição do número de portadoras pelos sectores mediante o aumento do número de utilizadores na rede.....	R.1
Figura R. 2 – Distribuição de sectores com 3 e 4 portadoras mediante o aumento do número de utilizadores na rede.....	R.1
Figura S. 1 – Evolução da probabilidade de atraso e de utilizadores não cobertos de HSDPA com o aumento da atenuação de penetração em ambiente interior.	S.1
Figura S. 2 – Evolução do número de utilizadores HSDPA atrasados, servidos e não cobertos com L_{int}	S.2
Figura S. 3 – Evolução do número de utilizadores Rel99 atrasados, bloqueados, servidos e não cobertos com L_{int}	S.3
Figura S. 4 – Evolução da distribuição global do número de portadoras por sector, com o aumento de L_{int}	S.4
Figura S. 5 – Evolução da distribuição do número de portadoras por sector HSDPA, partilhada e Rel99, com o aumento de L_{int}	S.4
Figura S. 6 – Evolução da taxa média de redução de ritmo por utilizador HSDPA com o aumento de L_{int}	S.6
Figura S. 7 – Evolução do ritmo de serviço médio por utilizador com o aumento de L_{int}	S.6
Figura S. 8 – Evolução da potência média da EB por portadora para HSDPA com o aumento do L_{int}	S.7
Figura S. 9 – Evolução do factor de carga em UL para HSDPA com o aumento do L_{int}	S.8
Figura T. 1 – Probabilidade de atraso e de utilizadores não cobertos em HSDPA com diferentes ritmos mínimo de HSDPA.....	T.1
Figura T. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA como atrasados, servidos e não cobertos para ritmos mínimo de HSDPA diferentes.	T.2
Figura T. 3 – Caracterização dos utilizadores Rel99 não servidos na rede para ritmo mínimo de HSDPA diferentes.	T.2

Figura T. 4 – Distribuição global do número de portadoras para diferente ritmo mínimo de HSDPA.	T.3
Figura T. 5 – Distribuição de portadoras HSDPA, partilhada e Rel99 para diferentes ritmos mínimo HSDPA.	T.3
Figura T. 6 – Taxa de quantificação média da rede do ritmo por utilizador HSDPA para diferentes ritmos mínimo HSDPA.....	T.4
Figura T. 7 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferente ritmo mínimo de HSDPA.	T.5
Figura T. 8 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferente ritmo mínimo de HSDPA em percentagem.....	T.5
Figura T. 9 – Potência média da EB para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA.	T.6
Figura T. 10 – Potência média da EB para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA em relação ao máximo disponível (19.9W).....	T.6
Figura T. 11 – Potência média da EB para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA e diferente tipo de portadora em relação ao máximo disponível (19.9W).....	T.7
Figura T. 12 – Factor de carga em UL para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA.	T.7
Figura U. 1 – Probabilidade de atraso e de utilizadores HSDPA não cobertos para diferentes cenários.	U.1
Figura U. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA para diferente cenário.....	U.2
Figura U. 3 – Caracterização dos utilizadores Rel99 para diferentes cenários.....	U.3
Figura U. 4 – Caracterização dos ritmos requeridos pelos utilizadores para diferentes cenários.....	U.4
Figura U. 5 Ritmos requeridos pelos utilizadores Rel99 para diferentes cenários.	U.4
Figura U. 6 – Distribuição global de portadoras por sector para diferentes cenários.	U.5
Figura U. 7 Distribuição de portadoras por sector para HSDPA, partilhada e Rel99 para diferentes cenários.	U.6
Figura U. 8 – Taxa de quantificação média da redução de ritmo por utilizador HSDPA para diferentes cenários.	U.7
Figura U. 9 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferentes cenários.....	U.7
Figura U. 10 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferentes cenários em relação ao seu valor nominal.	U.8
Figura U. 11 – Potência média da EB para HSDPA para diferente tipo de cenário.	U.8
Figura U. 12 – Potência média da EB para HSDPA para diferente tipo de cenário em relação ao máximo disponível (19.9W).....	U.9
Figura U. 13 – Potência média da EB para portadora partilhada ou não para HSDPA para diferente tipo de cenário em relação ao máximo disponível (19.9W)...	U.9
Figura U. 14 – Factor de carga médio em UL para HSDPA para diferentes cenários.....	U.10

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Comparação de sistemas (extraído de [Corr05]).	6
Tabela 2.2 – Classificação de serviços (extraído de [Corr05] e [3GPP05a]).	7
Tabela 2.3 – Serviços e suas características.	8
Tabela 3.1 – Débitos de pico para utilizadores com terminais das categorias HSDPA definidas pelo 3GPP (extraído de [Noki05a]).	10
Tabela 3.2 – Débitos de pico para utilizadores com terminais das categorias HSUPA definidas pelo 3GPP (extraído de [Opti05]).	12
Tabela 3.3 – Comparação entre técnicas de UMTS.	13
Tabela 3.4 – Correspondência entre ritmo e códigos.	15
Tabela 3.5 – Valores típicos considerados para factor de carga e margem de interferência.	16
Tabela 3.6 – Classificação do tipo de células (extraído de [Corr05]).	17
Tabela 3.7 – Classes de terrenos considerados no projecto MOMENTUM (extraído de [SeCa04]).	19
Tabela 4.1 – Distribuição dos utilizadores de cada ambiente pelos diferentes cenários (extraído de [SeCa04]).	24
Tabela 4.2 – Caracterização do cenário corrente.	28
Tabela 4.3 – Caracterização do cenário de dados exigente.	28
Tabela 4.4 – Raios máximos de cobertura obtidos considerando o ganho máximo da antena EB (17dBi) e o modelo de propagação COST 231 Walfish-Ikegami.	32
Tabela 4.5 – Transições de número de portadoras com o aumento do número de utilizadores HSDPA por sector.	33
Tabela 4.6 – Ritmo médio de HSDPA e respectivo desvio padrão para diferente número de simulações.	34
Tabela 5.1 – Correspondência entre serviços e ritmos possíveis para o cenário de dados e de dados exigente.	44
Tabela 5.2 – Caracterização do volume de sessão em DL por serviço (baseado em [Rodr05]).	48
Tabela B. 1 – Valores típicos do P_{Tx} [Corr05].	B.1
Tabela B. 2 – Valores típicos de algumas grandezas em UL e DL.	B.2
Tabela B. 3 – Valores de E_b/N_0 para diferentes serviços (extraído de [Corr05]).	B.2
Tabela C. 1 – Valores de percentagem médios utilizados por omissão para os diferentes serviços do projecto MOMENTUM (extraído de [SeCa04]).	C.1
Tabela C. 2 – Correspondência entre ambiente e mobilidade de utilizador (baseado em [Card06]).	C.1
Tabela C. 3 – Correspondência entre serviços e designação dos ficheiros de tráfego.	C.2
Tabela E. 1 – Valores de alguns parâmetros rádio.	E.1
Tabela E. 2 – Valores de potência máxima de transmissão em DL para cada serviço Rel99.	E.1

Tabela E. 3 – Valores de margem de desvanecimento lento e rápido, de penetração em ambientes interiores e ganho de <i>soft handover</i> para diferentes cenários de utilização.....	E.2
Tabela E. 4 – Valores de E_b/N_0 (baseado em [Sant04]).	E.2
Tabela E. 5 – Frequências utilizadas nas simulações (extraído de [SeCa04]).	E.2
Tabela F. 1 – Correspondência entre serviços definidos e serviços Optimus.	F.1
Tabela F. 2 – Caracterização do cenário corrente.	F.2
Tabela F. 3 – Caracterização do cenário de dados exigente.....	F.3
Tabela H. 1 – Distribuição dos utilizadores de cada ambiente pelos diferentes cenários (extraído de [SeCa04]).....	H.2
Tabela K. 1 – Valores do diagrama de radiação, relativos ao máximo, para antenas de 65° e 120° (extraído de[Sant04])......	K.2
Tabela L. 1 – Caracterização dos serviços para o cenário corrente.	L.1
Tabela L. 2 – Caracterização dos serviços para o cenário de dados exigente.....	L.2
Tabela L. 3 – Número de utilizadores que estão a realizar um dado ritmo binário para os dois cenários considerados.	L.2
Tabela N. 1 – Atenuação de penetração de interiores consoante o cenário de utilização.	N.1
Tabela N. 2 – Valores de margem e atenuação em UL e em DL para os diferentes cenários.	N.1
Tabela N. 3 – Valores dos raios máximos de cobertura para utilizadores HSDPA.	N.1
Tabela O. 1 – Valores de potência obtidos no estudo da evolução do número de portadoras com o aumento do número de utilizadores.	O.1
Tabela P. 1 – Resultados obtidos do ritmo médio em HSDPA para 5,10 e 15 simulações. ...	P.1
Tabela P. 2 – Dados das 15 simulações.	P.1
Tabela Q. 1 – Número de utilizadores HSDPA por sector no cenário de referência.	Q.1
Tabela Q. 2 – Número de utilizadores a pretender realizar serviço a um determinado ritmo no cenário de referência.	Q.1
Tabela Q. 3 – Caracterização dos utilizadores HSDPA no cenário de referência.	Q.1
Tabela Q. 4 – Caracterização dos utilizadores Rel99 no cenário de referência.	Q.1
Tabela Q. 5 – Probabilidade de atraso, bloqueio e de utilizadores não cobertos no cenário de referência.....	Q.1
Tabela Q. 6 – Distribuição do número de frequências global por sector no cenário de referência.	Q.2
Tabela Q. 7 – Distribuição do número de frequências HSDPA por sector no cenário de referência.	Q.2
Tabela Q. 8 – Distribuição do número de frequências por sector com portadora partilhada no cenário de referência.....	Q.2
Tabela Q. 9 – Distribuição do número de frequências Rel99 por sector no cenário de referência.	Q.2
Tabela Q. 10 – Taxa de redução de ritmo por utilizador HSDPA no cenário de referência.	Q.2
Tabela Q. 11 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um determinado serviço pretendido no cenário de referência.....	Q.2
Tabela Q. 12 – Potência média da EB por portadora no cenário de referência.	Q.3

Tabela Q. 13 – Factor de carga em UL no cenário de referência.....	Q.3
Tabela R. 1 – Percentagem de sectores com n portadoras para diferente número de utilizadores na rede.....	R.2
Tabela S. 1 – Probabilidade de atraso e utilizadores não cobertos de HSDPA para diferente atenuação de penetração em ambiente interior.....	S.1
Tabela S. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA com atenuação de penetração de 15dB.....	S.2
Tabela S. 3 – Caracterização dos utilizadores HSDPA com atenuação de penetração de 20dB.....	S.2
Tabela S. 4 – Caracterização dos utilizadores HSDPA com atenuação de penetração de 25dB.....	S.2
Tabela S. 5 – Caracterização dos utilizadores Rel99 com atenuação de penetração de 15dB.....	S.3
Tabela S. 6 – Caracterização dos utilizadores Rel99 com atenuação de penetração de 20dB.....	S.3
Tabela S. 7 – Caracterização dos utilizadores Rel99 com atenuação de penetração de 25dB.....	S.3
Tabela S. 8 – Distribuição do número de frequências global por sector com 1 e 2 portadoras para diferentes L_{int}	S.4
Tabela S. 9 – Distribuição do número de frequências global por sector com 3 e 4 portadora para diferentes L_{int}	S.5
Tabela S. 10 – Distribuição do número de frequências por sector com 1 e 2 portadoras HSDPA para diferentes L_{int}	S.5
Tabela S. 11 – Distribuição do número de frequências por sector com 3 e 4 portadoras HSDPA para diferentes L_{int}	S.5
Tabela S. 12 – Distribuição do número de frequências por sector com portadora partilhada para diferentes L_{int}	S.5
Tabela S. 13 – Distribuição do número de frequências por sector com 1 e 2 portadoras Rel99 para diferentes L_{int}	S.5
Tabela S. 14 – Distribuição do número de frequências por sector com 3 e 4 portadoras Rel99 para diferentes L_{int}	S.5
Tabela S. 15 – Taxa de redução de ritmo por utilizador HSDPA para diferentes L_{int}	S.6
Tabela S. 16 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um serviço de 512kbps com diferentes L_{int}	S.7
Tabela S. 17 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um serviço de 384kbps com diferentes L_{int}	S.7
Tabela S. 18 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um serviço de 128kbps com diferentes L_{int}	S.7
Tabela S. 19 – Potência média da EB por portadora para HSDPA com diferentes L_{int}	S.7
Tabela S. 20 – Factor de carga em UL para HSDPA com diferentes L_{int}	S.8
Tabela T. 1 – Probabilidade de atraso, utilizadores não cobertos e bloqueados para HSDPA e Rel99 com ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.....	T.1
Tabela T. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA para um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.....	T.2

Tabela T. 3 – Caracterização dos utilizadores Rel99 para um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.....	T.3
Tabela T. 4 – Distribuição do número de frequências global para ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.....	T.3
Tabela T. 5 – Distribuição do número de frequências HSDPA por sector para ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.....	T.4
Tabela T. 6 – Distribuição do número de frequências partilhadas e R99 por sector para ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.....	T.4
Tabela T. 7 – Valores de taxa média de redução de ritmo por utilizador, ritmo médio para HSDPA e potência da EB necessária com um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.....	T.6
Tabela T. 8 – Potência da EB necessária para HSDPA em casos que a portadora é partilhada ou exclusiva.	T.7
Tabela T. 9 – Factor de carga em UL para um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.	T.8
Tabela U. 1 – Número de utilizadores HSDPA por sector no cenário de dados exigente.	U.1
Tabela U. 2 – Probabilidade de atraso e utilizadores não cobertos para HSDPA em diferentes cenários de dados.	U.1
Tabela U. 3 – Probabilidade de atraso, utilizadores não cobertos e bloqueados para Rel99 em diferentes cenários de dados.....	U.1
Tabela U. 4 – Caracterização dos utilizadores HSDPA no cenário de dados.	U.2
Tabela U. 5 – Caracterização dos utilizadores HSDPA no cenário de dados exigente.....	U.2
Tabela U. 6 – Caracterização dos utilizadores Rel99 no cenário de dados.....	U.3
Tabela U. 7 – Caracterização dos utilizadores Rel99 no cenário de dados exigente.	U.3
Tabela U. 8 – Número de utilizadores a pretender realizar serviço a um determinado ritmo no cenário de dados.....	U.4
Tabela U. 9 – Número de utilizadores a pretender realizar serviço a um determinado ritmo no cenário de dados exigente.	U.5
Tabela U. 10 – Distribuição global do número de frequências por sector para diferentes cenários de dados.....	U.5
Tabela U. 11 – Distribuição do número de frequências HSDPA, Rel99 e partilhada por sector no cenário de dados.....	U.6
Tabela U. 12 – Distribuição do número de frequências HSDPA, Rel99 e partilhada por sector no cenário de dados exigente.	U.6
Tabela U. 13 – Taxa de redução de ritmo por utilizador HSDPA para diferentes cenários de dados.	U.7
Tabela U. 14 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um determinado serviço pretendido para cenários de dados.....	U.8
Tabela U. 15 – Potência média da EB por portadora para cenários de dados.....	U.9
Tabela U. 16 – Potência da EB necessária para HSDPA em casos que a portadora é partilhada ou exclusiva para cenários de dados.....	U.10
Tabela U. 17 – Factor de carga em UL para diferentes cenários de dados.	U.10

Lista de Siglas

16QAM	16Quadrature Amplitude Modulation
2G	2ª Geração
3G	3ª Geração
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
ACK	Acknowledgment
A-DCH	Associated Dedicated Channel
AICH	Acquisition Indication Channel
AMC	Adaptive Modulation and Coding
ARQ	Automatic Repeat Request
BCH	Broadcast Channel
BHCA	Busy Hour Call Attempt
BLER	Block Error Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CPICH	Common Pilot Channel
CQI	Channel Quality Indicator
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Circuit Switched
DCH	Dedicated Channel
DL	Downlink
DP	Desvio Padrão
DSL	Digital Subscriber Line
E-AGCH	E-DCH Absolute Grant Channel
EB	Estação Base
E-DCH	Enhanced uplink Dedicated Channel
E-HICH	E-DCH HARQ acknowledgement Indicator Channel
E-RGCH	E-DCH Relative Grant Channel
FACH	Forward Access Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FTP	File Transfer Protocol
GPRS	General Packet Radio Service
GRS-1980	Geodetic Reference System 1980
GSM	Global System for Mobile communications
HARQ	Hybrid ARQ
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSDPA-MAC	HSDPA Medium Access Control
HS-DPCCH	High Speed Dedicated Physical Control Channel
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel

HSOPA	<i>High Speed OFDM Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HS-SCCH	<i>High Speed Shared Control Channel</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
Interior_HL	<i>Interior com high loss</i>
Interior_LL	<i>Interior com low loss</i>
LBS	<i>Location Based Services</i>
LoS	<i>Line-of-Sight</i>
M2M	<i>Mobile to Mobile</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
Max	<i>Máximo</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
Min	<i>Mínimo</i>
MMS	<i>Multimedia Messaging Service</i>
MSS	<i>Mobile Satellite Service</i>
NACK	<i>Negative Acknowledgment</i>
NLoS	<i>Non-Line-of-Sight</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OVSF	<i>Orthogonal Variable Spreading Factor</i>
PCH	<i>Paging Channel</i>
PCMCIA	<i>Personal Computer Memory Card International Association</i>
PICH	<i>Paging Indicator Channel</i>
PS	<i>Packet Switched</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
Rel99	<i>Release'99</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNS	<i>Radio Network Sub-system</i>
RTD	<i>Round Trip Delay</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
S-CCPCH	<i>Secondary Common Control Physical Channel</i>
SF	<i>Spreading Factor</i>
SIG	<i>Sistemas de Informação Geográfica</i>
SINR	<i>Signal to Interference and Noise Ratio</i>
SIR	<i>Signal to Interference Ratio</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
SOHO	<i>Small Office/Home Office</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>

TM	Terminal Móvel
TMA	<i>Tower Mounted Amplifier</i>
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UL	<i>Uplink</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication Services</i>
USIM	<i>UMTS Subscriber Identity Module</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>

Lista de Símbolos

α_j	Factor de ortogonalidade dos códigos para o utilizador j
η_{max}	Factor de carga máximo
η_{DL}	Factor de carga em DL
η_{UL}	Factor de carga em UL
v_j	Factor de actividade do utilizador j
ϕ	Ângulo de orientação
$\bar{\tau}$	Duração média da chamada
Δf	Largura de banda do sinal
Δh	Altura das antenas em relação aos edifícios circundantes
d	Distância entre o emissor e o receptor
f	Frequência
h_b	Altura da EB
h_m	Altura do TM
i	Quociente entre as interferências intra- e inter-celular
i_j	Quociente entre as interferências intra- e inter-celular do utilizador j
k_a	Perdas devido à antena da EB estar abaixo do nível dos edifícios
k_d	Perdas por difracção multilâmina com a distância
k_f	Perdas por difracção multilâmina com a frequência
n	Número de portadoras
w_B	Separação entre edifícios
w_s	Largura das ruas
C_{traf}	Percentagem de potência utilizada para o tráfego
E_b	Energia de bit
E_c	Sinal de potência de código recebido
$EIRP$	Potência isotrópica radiada equivalente
F	Factor de ruído
G_{div}	Ganho de diversidade
G_e	Ganho da antena de emissão
G_p	Ganho de processamento
G_r	Ganho da antena de recepção
G_{rdiv}	Ganho total na recepção com diversidade
G_{SH}	Ganho de <i>soft handover</i>
H_B	Altura dos edifícios
H_{tel}	Constante que depende da inclinação do terreno onde a EB está localizada
I_0	Interferência na própria célula

L_0	Atenuação em espaço livre
L_{bsh}	Atenuação relativa da altura da EB
L_c	Perdas no cabo entre o emissor e a antena em DL
L_{int}	Atenuação de penetração em interiores
L_{ori}	Atenuação devida à mudança de orientação do raio
L_p	Atenuação de propagação
$L_{p \max DL}$	Atenuação de propagação máxima em DL
$L_{p \max UL}$	Atenuação de propagação máxima em UL
$L_{p \text{ total}}$	Atenuação total
L_{SP}	Perdas de espalhamento
L_{tm}	Atenuação devido à difracção no telhado e à dispersão
L_{tt}	Atenuação devida às multilâminas que intersectam com o primeiro elipsóide de Fresnel
L_u	Perdas devidas à presença do utilizador em UL
M	Margem de segurança
M_{FF}	Margem de desvanecimento rápido
M_I	Margem de interferência
M_{SF}	Margem de desvanecimento lento
N	Potência total de ruído
N_0	Densidade espectral de ruído
N_{ut}	Número de utilizadores servidos pela rede na hora de pico
N_{util}	Número de utilizadores por célula
$N_{utilizadores}$	Número de utilizadores a realizar um dado ritmo efectivo
P_a	Probabilidade de atraso
P_b	Probabilidade de bloqueio
P_e	Potência de emissão aos terminais da antena
pen_n	Penetração de um dado ritmo para o serviço n
P_{nc}	Probabilidade de utilizadores não cobertos
P_r	Potência disponível na recepção aos terminais da antena
$P_{Rx \min DL_{HS}}$	Sensibilidade do receptor em DL para HSDPA
$P_{Rx \min UL}$	Sensibilidade do receptor em UL
P_{Rx_DL}	Potência à entrada do receptor em DL
P_{Rx_UL}	Potência à entrada do receptor em UL
P_{Rxmin}	Sensibilidade do receptor
P_{traf}	Potência utilizada para sinalização
P_{Tx}	Potência de saída do emissor
R	Raio da célula
R_b	Ritmo de transmissão
$R_{b_efectivo}$	Ritmo binário a que o utilizador está a realizar serviço
$R_{b_nominal}$	Ritmo binário a que o utilizador pretende realizar serviço
R_{bj}	Ritmo de transmissão do utilizador j

R_C	Ritmo de chip
$R_{global da rede}$	Ritmo médio global em HSDPA que a rede se encontra a suportar
R_j	Ritmo do utilizador j
R_{max}	Raio máximo da célula
TR	Taxa de quantificação média da redução de ritmo por utilizador HSDPA
V	Volume gerado pelo utilizador por serviço
$V_{eq\ n}$	Volume equivalente que um utilizador gera por serviço numa sessão
$V_{eq\ total}$	Volume equivalente total gerado por utilizador numa sessão
V_{eq_CS}	Volume equivalente que um utilizador gera por serviço CS numa sessão
V_{eq_PS}	Volume equivalente que um utilizador gera por serviço PS numa sessão
V_n	Volume gerado para o serviço n numa sessão
V_{tot}	Volume total gerado na rede numa sessão

Lista de Programas

Borland C++ Builder 6	Ferramenta de desenvolvimento de <i>software</i> em C++ para aplicações Windows
Excel	Aplicação que permite trabalhar num ambiente de folha de cálculo
MapBasic	Ferramenta de desenvolvimento de <i>software</i> em MapBasic para a aplicação MapInfo
MapInfo	Aplicação de sistemas de informação geográfica para Windows que possibilita a visualização da relação entre dados e geografia
Word	Processador de texto

1. Introdução

Com o surgimento da segunda geração de comunicações móveis celulares, GSM (*Global System for Mobile Communications*), deu-se o início das comunicações móveis celulares digitais e da sua massificação, algo que nunca se tinha conseguido até então, pois os sistemas analógicos existentes até essa data eram muito dispendiosos e com pouca mobilidade e portabilidade. O GSM, o primeiro sistema digital europeu a ser implementado que se impôs a nível mundial, as evoluções ao nível de hardware para os TMs (Terminais Móveis) e EBs (Estações Base), e o baixo custo dos terminais tornou possível uma elevada adesão do mercado, tendo sido um dos sectores que mais cresceu nos últimos anos na área das telecomunicações. No entanto o sistema GSM foi dimensionado para voz, sendo o seu desempenho medíocre para serviços de dados. Com a necessidade de providenciar uma maior variedade ao nível dos serviços, pois essa variedade possibilita atingir diferentes tipos de público aumentando assim as receitas e a origem de onde estas são geradas, tornou-se necessária a evolução para sistemas que possibilitem transporte de dados com ritmos mais elevados, sendo que com a introdução do GPRS – *General Packet Radio Service* (segunda geração e meia) é possível transferir dados em PS (*Packet Switched*) sobre o GSM. No entanto, os ritmos máximos possíveis de atingir continuaram baixos tornando-se uma limitação para a evolução dos serviços e aplicações. Esta contínua necessidade de ritmos mais elevados e de se ter uma tecnologia que pudesse aproveitar as infra-estruturas do GSM, por motivos financeiros, foi a rampa de lançamento para o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*, terceira geração).

O UMTS utiliza a tecnologia de acesso WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). O dimensionamento de uma rede rádio UMTS e de uma GSM é bastante diferente, pois ao contrário do GSM, no UMTS não é possível determinar *à priori* o número de canais disponíveis numa dada célula para todos os serviços disponíveis [HoTo04]. Outra diferença que torna difícil uma perspectiva analítica é a existência conjunta de tráfego de comutação de circuitos e de pacotes. Este sistema trouxe uma maior largura de banda disponível permitindo débitos consideráveis. No entanto, para que haja uma massificação dos serviços de dados, a eficiência espectral e o preço são factores muito importantes, sendo neste cenário que entra a terceira geração e meia [Noki05a].

Muitas das evoluções que apareceram para UMTS não tinham um bom desempenho que rentabilizasse o investimento feito. No entanto o problema do desempenho, que tornaria o custo por bit mais barato, por si só não resolve as dificuldades financeiras, como é o caso do TDD (*Time Division Duplex*). O TDD tem um desempenho considerável e superior ao de outras normas, mas acabou por não ser implementado pela maior parte dos operadores, devido à primeira norma aplicada nas redes de UMTS ter sido o FDD (*Frequency Division Duplex*), sendo o custo de adicionar o TDD superior ao tentar encontrar uma alternativa que se baseasse em FDD. Apareceu assim o HSPA (*High Speed Packet Access*) como a imagem da terceira geração e meia.

Como enunciado anteriormente, o factor financeiro é condição necessária para o sucesso de uma tecnologia, pois cada vez mais os operadores se debatem com a forma de obter maiores débitos e melhores desempenhos dos serviços mais exigentes na transmissão de dados, a um preço acessível, para que seja possível competir com as tecnologias existentes, e.g., DSL (*Digital Subscriber Line*). O HSPA é uma técnica de transmissão de dados, estando definida pelo 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) na *Release 5* para o sentido DL (*Downlink*, HSDPA - *High Speed Downlink Packet Access*) e na *Release 6* para o UL (*Uplink*, HSUPA - *High Speed Uplink Packet Access*). Apesar da norma de DL ser independente da de UL, o aumento dos ritmos em DL traduz-se na necessidade de implementar o HSUPA a curto prazo, visto o tráfego que irá ser gerado pelo HSDPA em UL ser impossível de satisfazer com

apenas o UMTS-FDD, Rel99. Logo apesar de independentes e ligeiramente diferentes, visto o sentido de UL ter particularidades diferentes da de DL, estas duas normas complementam-se e torna-se necessário que ambas coexistam.

Para além do 3.5G (terceira geração e meia) virá muito provavelmente o HSOPA (*High Speed OFDM Packet Access*). O conceito do HSOPA baseia-se na combinação do OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) com a tecnologia de emissão/recepção MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Esta combinação é a chave para obter ritmos elevados para as aplicações que irão cada vez mais tornar-se exigentes ao nível de largura de banda, diminuindo ainda mais o custo por bit que o HSPA consegue. A norma deverá estar concluída durante o ano de 2007 [Dupl05].

Espera-se que os serviços de dados tenham um crescimento significativo nos próximos anos e, provavelmente, irão tornar-se os serviços dominantes no tráfego 3G, [Qual04], devendo-se analisar o impacto que este crescimento terá na rede, não existindo no entanto algoritmos maduros de atribuição de portadoras que analisem o desempenho desta, e os custos associados ao aumento da capacidade da rede, de forma a suportar esta intensificação do tráfego.

O objectivo deste trabalho é avaliar o impacto que o HSDPA tem numa rede UMTS-FDD co-localizada com a de GSM, considerando cenários de tráfego com distribuições não uniformes.

No capítulo 2 é feita uma introdução às características principais do UMTS, para uma melhor compreensão do sistema. Começa-se por introduzir a estrutura básica da rede física e os princípios do WCDMA, assim como os canais básicos existentes. Finalmente são referidos os tipos de aplicações e serviços.

No capítulo 3 são apresentados o conceito e as características do HSPA, de seguida enumeram-se as diferentes etapas e considerações a ter no planeamento de uma rede assim como os cenários e tráfego considerados. Por fim é feita uma descrição de algumas formas para otimizar uma rede, sendo também descritos os parâmetros de desempenho considerados no trabalho.

No capítulo 4 faz-se uma descrição do simulador que foi alterado neste trabalho, assim como das modificações efectuadas e das funcionalidades adicionadas. Por último, é feita a aferição da validade do simulador, sendo também descritos os dados de entrada e de saída deste.

No capítulo 5 começa-se por descrever o cenário de referência considerado e analisar o número de utilizadores que se irá usar nas simulações. É feita a análise da influência devida à alteração da atenuação de penetração em ambientes interiores e devida à variação do limiar de HSDPA (serviço mínimo a partir do qual um utilizador está a realizar serviço em HSDPA), no comportamento da rede. Por fim é realizada uma análise para cenários em que os serviços de dados se tornam mais exigentes.

As principais contribuições deste trabalho são o desenvolvimento de um simulador que usa o HSDPA, permitindo verificar a sua influência numa rede já implementada e o seu desempenho para diversos cenários de tráfego considerados. Foram ainda introduzidas diversas opções que podem ser seleccionadas pelo utilizador, permitindo assim uma maior variedade de cenários possíveis de simulação.

2. Visão Geral das Características do UMTS

Neste capítulo introduz-se conceitos básicos do UMTS relevantes para uma melhor compreensão deste trabalho, dando-se uma maior ênfase à parte rádio do sistema. Começa-se por dar uma noção dos elementos do sistema, passando para uma descrição da sua técnica de acesso WCDMA. Por fim referem-se alguns tipos de aplicações e serviços.

2.1. Estrutura da Rede

O esquema da rede UMTS encontra-se representado na Figura 2.1, sendo constituída por três grandes blocos, [HoTo04], em que cada um desempenha uma tarefa específica:

- *Core Network* (CN);
- *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN);
- *User Equipment* (UE).

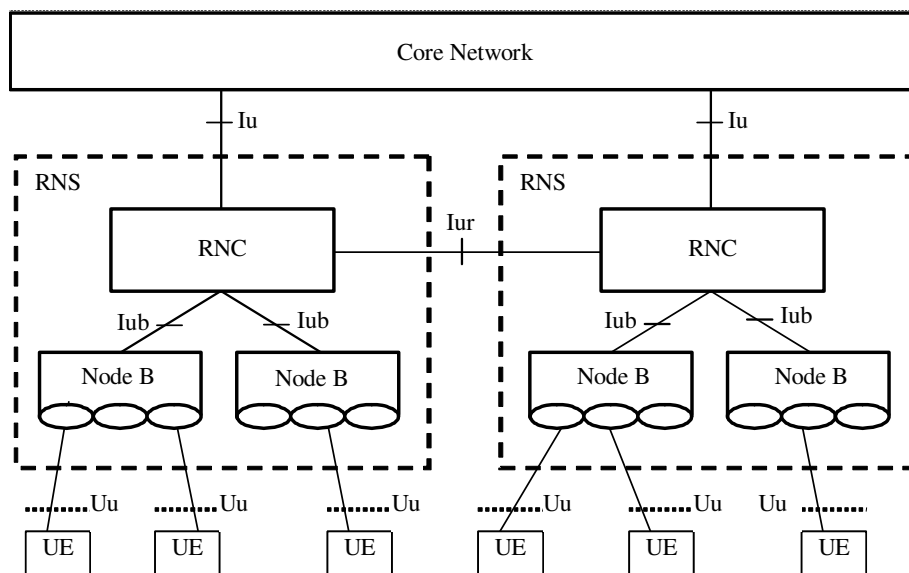


Figura 2.1 – Arquitectura da rede UMTS (extraído de [Corr05]).

O CN é responsável pela comutação e o encaminhamento de tráfego entre a rede de acesso UTRAN e as redes exteriores (PSTN, ISDN, etc.), tendo também uma base de dados dos utilizadores assim como outras definições da rede.

A UTRAN gere as ligações rádio da rede e é constituída por um ou mais *Radio Network Sub-systems* (RNSs), sendo que cada um é composto por um *Radio Network Controller* (RNC) e um ou vários *Node B* (vulgarmente designados por estação base). O RNC tem como finalidade a gestão dos recursos rádio (gere o fluxo, o congestionamento, decisão de *handover*, etc.) do seu conjunto de células. A estação base (EB) pode operar em FDD ou TDD ou ambos, tendo como principal função a interligação da parte fixa da rede com a interface rádio, uma das mais importantes.

O UE estabelece a ligação entre o utilizador e a rede sendo constituído por duas partes, o *Mobile Equipment* (terminal móvel, TM) e o *UMTS Subscriber Identity Module* (USIM), que é um dispositivo que contém a identidade do utilizador e realiza algoritmos de autenticação e cifra de informação.

O esquema de ligações que é mostrado na Figura 2.1 é concretizado através de interfaces definidas para fazer a inter-operação e/ou troca de informação entre as diversas subredes. A interface Iu, liga a UTRAN ao CN, é uma interface aberta que possibilita aos

operadores poder adquirir CNs e UTRANs de diferentes fabricantes. A Uu é uma interface rádio WCDMA que permite ao UE o acesso à parte física da rede. A interface Iur liga os RNCs de diferentes RNSs tornando assim possível a realização de *handover* ao nível dos RNCs, não necessitando de ir ao nível do CN como acontece no GSM (*Global System for Mobile communications*). A Iub liga a EB ao RNC, sendo esta também uma interface aberta, permitindo assim uma maior concorrência entre fabricantes.

O UMTS possui os três tipos de *handover*:

- *Hard handover* – quando a ligação passa de uma EB para outra sem se manter simultaneamente nas duas;
- *Soft handover* – quando o UE se encontra numa região em que existe sobreposição de duas ou mais células, este passa a comunicar com duas ou mais EBs. O número de EBs a que o UE se pode ligar é denominado *active set* sendo a combinação dos sinais feita a um nível hierárquico superior;
- *Softer handover* – quando o UE se encontra numa zona de sobreposição de dois sectores da mesma EB, comunicando simultaneamente com estes. Dando-se a passagem do UE exclusivamente para um destes sectores quando um dos sinais for muito superior ao outro.

2.2. WCDMA

A interface rádio do UMTS baseia-se em WCDMA, [HoTo04]. Esta técnica de banda larga de acesso múltiplo por divisão no código com sequência directa, baseia-se em códigos ortogonais. Os códigos são atribuídos a cada um dos utilizadores, possibilitando assim o uso total da banda disponível por cada um destes, visto no receptor os códigos dos outros utilizadores serem interpretados como interferência. Este sistema permite atingir débitos até 2 Mbps (Rel99).

A técnica WCDMA usa dois tipos de códigos, *channelisation* e *scrambling*, na codificação e decodificação, Figura 2.2. A informação transmitida por uma fonte vai ser separada (código de *channelisation*) originando o espalhamento (*spreading*) desta, aumentando assim o seu rimo binário e consequentemente a largura de banda. De seguida, o sinal vai ser submetido a um código de *scrambling* para separar sinais de terminais diferentes, no caso do UL, ou de EBs diferentes, no caso do DL. O *scrambling* não altera a largura de banda do sinal proveniente da fase de *channelisation*, servindo apenas para tornar os sinais provenientes de fontes diferentes distinguíveis.

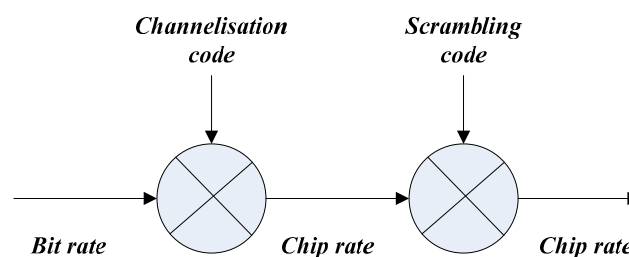


Figura 2.2 – Relação entre *channelisation* e *scrambling* (extraído de [HoTo04]).

O WCDMA recorre ao *Orthogonal Variable Spreading Factor* (OVSF) para atribuir os códigos de espalhamento baseando-se numa estrutura em árvore, permitindo assim alterar o factor de espalhamento (*Spreading Factor*, SF) dos códigos mantendo-os ortogonais entre si. Esta técnica implica que um código só pode ser usado ao mesmo tempo por uma só fonte para transmitir, e esta só pode usar esse código se mais nenhuma fonte estiver a usar um código do ramo inferior. No entanto, como no topo de cada árvore de códigos está associado

um *scrambling code*, é possível que diferentes TMs ou EBs funcionem independentes uns dos outros, não sendo necessário coordenar os códigos de árvores entre fontes diferentes.

Um dos aspectos mais importantes em WCDMA é o controlo de potência. Este permite minimizar o efeito perto-longe entre EB e o TM, ou seja, faz com que os TMs, independentemente da sua distância à EB, tenham o mesmo nível de potência recebida na EB diminuindo os níveis de interferência e mantendo o nível de qualidade de serviço necessário.

Existem três tipos de controlo de potência:

- Ciclo aberto (*open loop*) – que só é usado no início da ligação TM-EB para estimar um valor inicial de potência, ou nos casos comuns;
- Ciclo fechado rápido (*fast closed loop*, cujo procedimento vem especificado no 3rd Generation Partnership Project, 3GPP, como *inner loop power control*) – em UL a EB estima o *Signal to Interference Ratio* (SIR) compara-o com um valor limite e consoante for superior ou inferior, regula a potência do TM. Este ciclo tem de ser executado mais rápido do que qualquer alteração de canal. Em DL não existe o efeito perto-longe (o cenário é de um para muitos) mas o controlo de potência também é importante para melhorar o desempenho da ligação e a capacidade;
- Ciclo externo (*outer loop*) – ajusta o SIR limite da EB, que é usado no ciclo fechado rápido (quer em UL quer em DL), segundo as necessidades de cada móvel, e.g., a velocidade e percurso, de forma a garantir uma qualidade constante, e.g., BLER (*Block Error Rate*). Este encontra-se implementado no RNC, pois este controlo deve ser realizado em operações de *soft handover* devido à possível necessidade de uma combinação dos vários comandos de potência das diferentes EBs.

Todos os serviços numa única ligação física têm um só controlo de potência, logo o SIR limite tem de ser seleccionado de acordo com o serviço mais restritivo.

Como já foi referido anteriormente, o UMTS suporta dois modos de operação, FDD e TDD, Tabela 2.1. No modo FDD são usadas duas portadoras diferentes, uma para UL outra para DL, permitindo assim uma transmissão simultânea nos dois sentidos; no entanto este modo é pouco eficaz no controlo de tráfego assimétrico. O modo TDD usa uma portadora partilhada no tempo em ambos os sentidos, UL e DL, sendo assim possível controlar as comunicações assimétricas, adaptando os recursos rádio às necessidades.

O espectro do UMTS na Europa está entre as frequências 1900 e 2025 MHz e entre as frequências 2110 e 2200 MHz. Dentro destas, foram reservadas duas sub-bandas para serviços de satélite (*Mobile Satellite Service*, MSS), uma para UL e outra para DL. Existem ainda sub-bandas para os dois modos descritos anteriormente, Figura 2.3. Para o FDD existem duas sub-bandas iguais separadas por uma de guarda; para o UL é usada [1920, 1980]MHz, para o DL [2110, 2170]MHz. Para o TDD as sub-bandas reservadas situam-se entre 1900 e 1920 MHz, e entre 2010 e 2025 MHz.

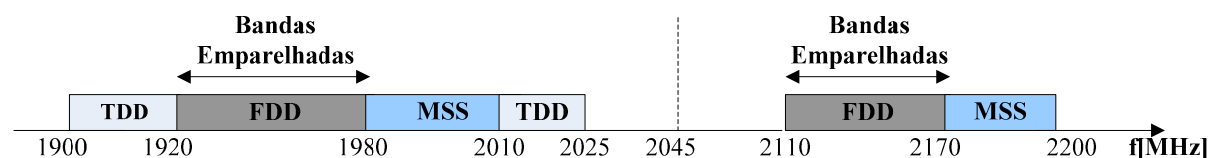


Figura 2.3 – Distribuição de frequências para os modos FDD e TDD na Europa (baseado em [MaCo05]).

Existem três tipos básicos de canais:

- Canais rádio – são canais associados a portadoras de frequência e obtêm-se por divisão da banda do espectro;
- Canais físicos – são canais que transportam qualquer tipo de informação do sistema, podendo estar associado a uma frequência, *time-slot*, ou código, consoante o tipo de

acesso; no caso do UMTS, estes canais possuem características diferentes e dependem do sentido da comunicação;

- Canais lógicos – são canais que transportam um tipo específico de informação do sistema, podendo estar associados a funções de tráfego ou de controlo, e definem a transferência de um tipo específico de informação entre o TM e a rede.

Tabela 2.1 – Comparação de sistemas (extraído de [Corr05]).

	UMTS	
	Modo FDD	Modo TDD
Acesso	WCDMA (FDMA)	TDMA/CDMA (FDMA)
Duplex	FDD	TDD
Banda	Emparelhada	Desemparelhada
Banda Total	2 × 60 MHz	35 MHz
Chip rate [Mcps]	3.84	3.84, 1.28
SF	4, ..., 512	1, ..., 16
Multi-ritmo	Multi-código OVSF	Multi-código <i>multi-slot</i> , OVSF
Handover	<i>Soft/Hard</i>	<i>Hard</i>

Pode-se ainda fazer a distinção dos canais consoante o tipo de informação que estes transportam:

- Canais de tráfego – contêm informação dos utilizadores (voz, dados, etc.);
- Canais de controlo – contêm a informação necessária ao sistema (sinalização, sincronização, etc.).

Outra forma de distinguir os canais é de acordo com o modo de endereçamento:

- Canais comuns – trocam informação entre as EBs e os TMs de um modo geral;
- Canais dedicados – trocam informação entre as EBs e TMs específicos (um ou mais).

Em UMTS existem ainda os canais de transporte que fazem interface entre o UE e o RNC.

Existem tecnologias que permitem melhorar o sistema rádio de UMTS no modo FDD para atingir maiores débitos no uso de serviços de dados (*Packet Switched*, PS), através de técnicas que aumentam a eficiência do espectro, tais como [ETSI05]:

- o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) que consiste num canal de transmissão partilhado de DL, em que o acesso a este é feito no domínio do tempo e código. Permite atingir ritmos teóricos até 14.4Mbps;
- o HSUPA¹ (*High Speed Uplink Packet Access*) que complementa o HSDPA na ligação UL, permitindo ritmos teóricos até 5.76Mbps.

A combinação destas técnicas torna-se indispensável para aplicações com elevadas quantidades de dados, bem como elevada taxa de transferência em ambos os sentidos (UL e DL), e.g., *web-browsing*, *file sharing*.

¹ Também designado por FDD Enhanced Uplink ou E-DCH.

2.3. Serviços e Aplicações

O UMTS, na sua versão base, caracteriza-se por utilizar débitos binários (384kbps para FDD e 2Mbps para TDD) mais elevados que o GSM, tornando assim possível uma maior variedade de aplicações e serviços com diferentes qualidade de serviço (*Quality of Service*, QoS).

Os serviços podem ser classificados em diferentes categorias, de acordo com os parâmetros que os caracterizam. Neste trabalho vamos considerar as recomendações do 3GPP, [3GPP05a] e [3GPP05b]. Devido à existência de uma grande variedade de aplicações e serviços, o modo de classificá-los terá de passar necessariamente pela distinção da QoS que é necessária garantir.

A classificação proposta pelo 3GPP, Tabela 2.2, consiste numa separação em classes dos serviços e aplicações consoante a sensibilidade e atraso que apresentam, sendo estas:

- *Conversational* – aplica-se principalmente a serviços de tráfego simétrico ou quase simétrico como voz e vídeo telefonia, tendo por isso de ter especial cuidado no atraso permitido;
- *Streaming* – adequa-se à transmissão de dados assimétricos em CS (*Circuit Switched*) e PS, na qual o atraso ainda é importante mas tolera algumas variações, sendo estas atenuadas devido à utilização de *buffers* pelo receptor. Este tipo de classe permite que a informação possa ser acedida antes desta ter sido totalmente recebida;
- *Interactive* – caracteriza-se por um padrão de pedidos e respostas entre dois utilizadores (humano ou máquina), numa ligação entre o utilizador que gerou o pedido e o que lhe responde, o que o originou aguarda a resposta num dado período de tempo; nesta classe o tráfego é assimétrico sendo mais tolerante a atrasos;
- *Background* – assume que numa transferência de informação entre aplicações, o destino não espera uma resposta num tempo limitado; nesta classe o tempo de atraso é muito variável podendo ser de muitos segundos ou mesmo de vários minutos.

Tabela 2.2 – Classificação de serviços (extraído de [Corr05] e [3GPP05a]).

	Classe de Serviço			
	<i>Conversational</i>	<i>Streaming</i>	<i>Interactive</i>	<i>Background</i>
Tempo-Real	Sim	Sim	Não	Não
Simétrico	Sim	Não	Não	Não
Comutação	CS	CS/PS	PS	PS
Ritmo garantido	Sim	Sim	Não	Não
Atraso	Mínimo Fixo ($<< 1$ seg)	Mínimo Variável (≈ 1 seg)	Moderado Variável (< 10 seg)	Grande Variável (> 10 seg)
Buffer	Não	Sim	Sim	Sim
Bursty	Não	Não	Sim	Sim
Exemplo	voz	vídeo-clip	www	e-mail

Para que no planeamento da rede sejam considerados os requisitos dos serviços, estes tem de estar diferenciados e bem caracterizados. Na Tabela 2.3 pode-se ver alguns serviços, bem como algumas das suas características e classificação segundo a Tabela 2.2.

Tabela 2.3 – Serviços e suas características.

Classe de Serviço	Serviço	Aplicação	Intervalo de Débito [kps]	Tipo de Comutação
<i>Conversational</i>	Voz	Privado	12.2	CS
	Comunicações Vídeio	video-telefonía	64	
<i>Streaming</i>	M-Entertainment	Vídeo <i>streaming</i> Download de jogos	128-384	PS
<i>Interactive</i>	<i>Messaging</i>	E-Mail	128-384	PS
	LBS Information	Posicionamento LBS e posterior <i>Info push</i>	64-128	
	M-Commerce	M-Ticketing	128-384	
	Internet Access	Acesso via PCMCIA card	384-1024	
	Browsing	Acesso via Móvel	128-384	
<i>Interactive/Background</i>	Telematics	M2M automático	64-128	PS
<i>Background</i>	MMS (SMS)	MMS Alertas MMS Parceiros	64-128	PS

3. Planeamento e Optimização de uma Rede UMTS

Neste capítulo começa-se por descrever as técnicas de evolução do WCDMA, HSDPA e HSUPA, sendo de seguida apresentadas as diferentes etapas e considerações a ter no planeamento de uma rede. Refere-se ainda o tipo de cenários e tráfego que são analisados neste trabalho, assim como algumas estratégias de optimização.

3.1. HSDPA e HSUPA

Com a implementação do HSDPA as características mais fundamentais do WCDMA, o SF variável e o rápido controlo de potência, são substituídas, [HoTo04]. A sua implementação traduz-se na:

- introdução de novos canais que necessitam de reserva de potência podendo ou não coexistir com os canais já existentes (Rel99, e.g., DCH, *Dedicated Channel*);
- utilização de AMC (*Adaptive Modulation and Coding*);
- transferência de grande parte do controlo da interface rádio do RNC para a EB permitindo assim um escalonamento (*fast scheduling*) e uma estratégia de retransmissão mais rápidas e eficientes, conseguindo-se um aumento do débito de transmissão de pacotes de dados em DL e a redução do atraso;
- combinação rápida de transmissão e retransmissão de pacotes (HARQ, *Hybrid Automatic Repeat Request*).

A implementação desta técnica torna assim necessário alterar a arquitectura da rede, para que cumpra os requisitos de memória e também altere o controlo de adaptação ao canal para a EB. Nomeadamente, adicionando mais inteligência na forma de HSDPA-MAC (HSDPA *Medium Access Control*) na EB, podendo esta tratar os pedidos automáticos de retransmissão (*Automatic Repeat Request*, ARQ) e o escalonamento, assim como adicionando três novos canais:

- HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared Channel*) – canal de transporte partilhado que transporta os dados do utilizador em DL. Caracteriza-se por um TTI (*Transmission Time Interval*) de 2ms (três *slots*), menor que o valor suportado na Rel99 (10ms), atingindo assim menores períodos de RTT (*Round Trip Time*) entre a EB e o TM nas retransmissões, e por uma modulação 16QAM ou QPSK. No domínio dos códigos tem-se um SF fixo de 16, o que possibilita que o número de códigos máximo reservados seja de 15, visto ser necessário pelo menos um código para o canal HS-SCCH (*High Speed Shared Control Channel*). Dependendo da capacidade do TM, cada terminal pode suportar o uso de 5, 10 ou 15 códigos, Tabela 3.1.
- HS-SCCH – canal lógico que transporta a informação de controlo que permite a descodificação dos dados contidos no canal HS-DSCH e a combinação destes no caso de retransmissão devido a pacotes errados. Cada TM, apesar da rede poder ter vários canais HS-SCCH, considera no máximo quatro destes canais, sendo estes indicados pela rede para um determinado instante. Este canal é constituído por três *slots*, usando um SF de 128 que permite transportar 40bits/slot, estando dividido em duas partes. Na primeira parte (primeiro *slot*) reside a informação mais crítica em termos temporais, referente ao processo de desmodulação (tipo de modulação e quais os códigos a desmodular). A segunda parte contém a informação menos crítica, e.g., CRC (*Cyclic Redundancy Check*) para o processo de descodificação do HS-DSCH.
- HS-DPCCH (*High Speed Dedicated Physical Control Channel*) – canal físico que transporta a informação de controlo em UL, estando dividido em duas partes. Na primeira são transmitidos os ACKs/NACKs (*Acknowledgments/Negative Acknowledgments*)

referentes ao resultado obtido na verificação do CRC depois da decodificação da informação em DL, na segunda parte encontra-se o *feedback* de qualidade da ligação, CQI (*Channel Quality Indicator*) de DL. É necessário criar este canal tendo em vista a operacionalidade do sistema em *soft handover*, pois nem todas as EBs suportam HSDPA. Como este canal necessita de uma parte de potência de transmissão de UL precisa de ser considerado na realização do dimensionamento da rede (balanço de potência), traduzindo-se numa ligeira redução do raio de cobertura em UL.

A modulação e codificação adaptativas (AMC) têm como principal objectivo compensar as variações do canal rádio. Para cumprir este objectivo ajustam-se os parâmetros referentes à modulação e codificação, a partir da informação recebida pelos TMs sobre o nível de qualidade dos canais, não sendo assim necessário controlo de potência, ou seja, para um utilizador que esteja muito próximo da EB é escolhida uma codificação e modulação que conduzam a uma maior relação sinal interferência (E_c/I_0 , como consequência tem-se maior débito). É melhorada assim a utilização da potência da EB, e ao não existir limite de potência para o HSDPA este pode, em teoria, utilizar toda a potência que não esteja reservada para os canais da Rel99.

Tabela 3.1 – Débitos de pico para utilizadores com terminais das categorias HSDPA definidas pelo 3GPP (extraído de [Noki05a]).

Categoria	Modulação	Inter-TTI	5 Códigos [Mbps]	10 Códigos [Mbps]	15 Códigos [Mbps]
1	QPSK/16QAM	3	1.2	-	-
2	QPSK/16QAM	3	1.2	-	-
3	QPSK/16QAM	2	1.8	-	-
4	QPSK/16QAM	2	1.8	-	-
5	QPSK/16QAM	1	3.6	-	-
6	QPSK/16QAM	1	3.6	-	-
7	QPSK/16QAM	1	-	7.2	-
8	QPSK/16QAM	1	-	7.2	-
9	QPSK/16QAM	1	-	-	10.8
10	QPSK/16QAM	1	-	-	14.4
11	QPSK	2	0.9	-	-
12	QPSK	1	1.8	-	-

A combinação rápida de transmissão e retransmissão, HARQ, detecta erros nos pacotes que recebe, pedindo a sua retransmissão. Esta funcionalidade tem dois modos de operação. O primeiro modo consiste na retransmissão integral (igual) dos dados que foram recebidos erroneamente. Como o TM tem um *buffer* onde armazena as várias retransmissões que pediu para um determinado número de pacotes, torna possível que as diferentes “versões” dos pacotes sejam combinadas de modo a obter a melhor correcção de erros possível (*soft combining*), permitindo ganhos de diversidade e uma maior eficiência de decodificação. O segundo modo consiste na retransmissão dos dados que foram recebidos erroneamente em várias partes, acrescentando mais bits de redundância a cada uma dessas partes (*incremental redundancy*). Este método tem um desempenho ligeiramente mais eficiente face ao primeiro, mas requer uma maior memória (*buffer*) por parte do receptor.

O escalonamento rápido é um dos factores que condiciona o desempenho do HSDPA, consistindo no controlo da atribuição dos recursos rádio da EB pelos vários utilizadores (tendo em consideração vários factores, tais como o tipo de serviço, QoS, a quantidade de recursos rádios disponíveis, etc.). Existe uma dependência entre a QoS e a tentativa de servir todos os utilizadores com o mesmo débito (para um determinado número de utilizadores). Um

escalonamento que atribui a mesma quantidade de recursos para todos aos utilizadores não tem em conta as mudanças momentâneas no canal rádio, não maximizando assim o débito binário total da célula. No entanto, ao maximizar o débito binário total da célula, não se consegue garantir a qualidade de serviços para todos os utilizadores dessa célula. Por esta razão, os algoritmos que se usam no escalonamento são muito importantes para gerir a relação existente entre a QoS e a capacidade total da célula.

O débito binário em DL também aumentará se os atrasos em UL forem diminuídos, visto o desempenho de aplicações TCP ser dependente do RTT (*Round Trip Time*), o que é conseguido com a introdução do HSUPA, [PPTS05].

O objectivo do HSUPA [3GPP05c] é melhorar o desempenho em UL, reduzindo o atraso e aumentando a disponibilidade de débitos elevados assim como a capacidade, dando mais ênfase ao aumento da cobertura para débitos mais elevados de transmissão do que ao aumento do pico máximo teórico do débito.

Infelizmente, não é possível introduzir o HSDPA no UL visto existirem diferenças entre o caminho ascendente e descendente. A grande diferença consiste na gestão do recurso potência, visto em DL a potência estar centralizada na EB, enquanto em UL a potência encontrar-se dispersa por cada um dos TMs, estando estes limitados pelas capacidades do amplificador do terminal. Esta limitação impossibilita o uso eficiente de modelações de ordem elevada. O modo de abordagem é no entanto semelhante ao feito no HSDPA, passando algumas das tarefas de controlo do RNC para a EB, possibilitando assim [ShKu05]:

- uma combinação rápida de transmissão e retransmissão (HARQ);
- o escalonamento rápido em UL;
- um TTI mais pequeno.

Com estas propriedades é possível ter um menor RTT e ter um factor de carga mais próximo do seu valor limite, pois existe um controlo mais eficaz do incremento do factor de ruído, sem aumentar a probabilidade de sobrecarga em UL (escalonamento rápido), Figura 3.1.

A implementação do HSUPA passa por realizar algumas modificações no TM, na EB e no RNC, nomeadamente a introdução de novas entidades MAC que permitem lidar com as novas propriedades, e.g., reordenação de pacotes, escalonamento, HARQ. Na *Release 6* é introduzido um novo canal dedicado de transporte, E-DCH (*Enhanced uplink Dedicated Channel*), que suporta TTIs de 2ms, permitindo uma redução significativa do atraso, e 10ms, já definido em versões anteriores. O número de códigos de *channelisation* usados durante um TTI depende do ritmo instantâneo e da categoria do TM, Tabela 3.2, sendo estes códigos disjuntos dos já usados nas versões anteriores, garantindo assim compatibilidade e inexistência de interferência com EBs que não suportem HSUPA, na introdução do E-DCH. Apesar de só um E-DCH poder estar configurado para um TM, podem existir múltiplos fluxos de diferentes prioridades multiplexados num só bloco de transporte por TTI.

A combinação rápida de transmissão e retransmissão (HARQ) tem uma função semelhante à desempenhada no HSDPA, permitindo fazer *soft combining* em caso de retransmissão. Para cada bloco de transporte recebido no UL, é retransmitido um único bit da EB para o TM, para indicar se os dados estão corrompidos (NACK e há uma retransmissão) ou não (ACK). Este bit é transportado no canal físico dedicado E-HICH (E-DCH HARQ *acknowledgement Indicator Channel*).

O escalonamento pode lidar com vários TMs simultaneamente por TTI (mais que o escalonamento do HSDPA), sendo baseado em *scheduling grants* que são enviados pela EB para controlar a transmissão do TM, e em *scheduling requests* que são enviados pelos TMs para pedir recursos rádio.

Existem dois tipos de *scheduling grants*, os absolutos (*absolute grants*) e os relativos (*relative grants*). Os absolutos servem para estabelecer o limite máximo da potência (débito) que os TMs podem utilizar para a transmissão de dados, sendo usados tipicamente para

grandes alterações pouco frequentes dos recursos estabelecidos para os TMs. O canal onde é transmitida esta informação é o E-AGCH (E-DCH *Absolute Grant Channel*), sendo este canal partilhado por todos os TMs de uma determinada célula/sector. Os relativos são usados para actualizar a atribuição dos recursos rádio para um determinado TM informando o terminal para aumentar, diminuir ou manter os recursos de potência que este está a utilizar. O canal usado para transportar esta informação é o E-RGCH (E-DCH *Relative Grant Channel*), que é individual existindo um para cada TM de uma dada célula/sector.

Os *scheduling request* introduzem a sinalização de controlo em UL, permitindo que o TM disponibilize informações sobre o seu estado, e.g., estado do *buffer*, potência disponível. Esta informação é explorada pelo escalonamento para as decisões de atribuição de recursos. Os *scheduling requests* são transmitidos no canal E-DCH.

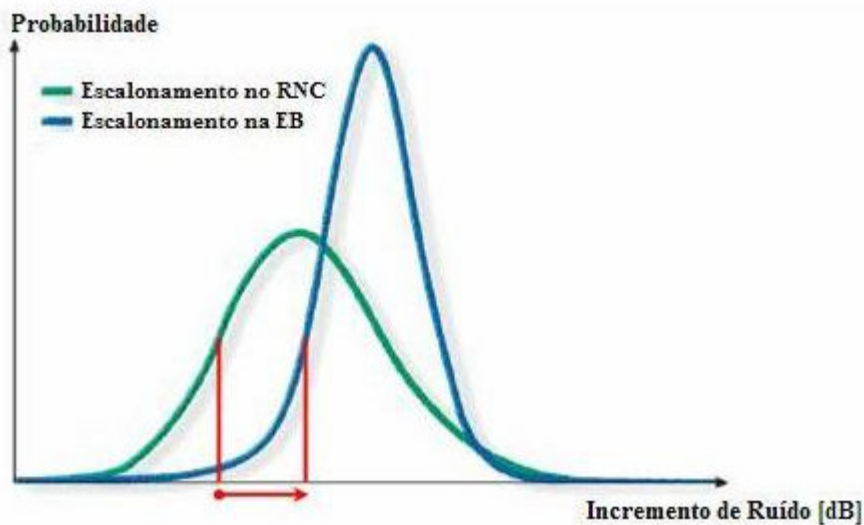


Figura 3.1 – O impacto do escalonamento rápido na variância do incremento de ruído (extraído de [Noki05b]).

Tabela 3.2 – Débitos de pico para utilizadores com terminais das categorias HSUPA definidas pelo 3GPP (extraído de [Opti05]).

Categoria	Codes $\times$ Spreading	TTI [ms]	Débito [Mbps]
1	1 $\times$ SF4	10	0.73
2	2 $\times$ SF4	10	1.46
2	2 $\times$ SF4	2	1.46
3	2 $\times$ SF4	10	1.46
4	2 $\times$ SF2	10	2
4	2 $\times$ SF2	2	2.9
5	2 $\times$ SF2	10	2
6	2 $\times$ SF2 + 2 $\times$ SF4	10	2
6	2 $\times$ SF2 + 2 $\times$ SF4	2	5.76

No HSUPA, um controlo de potência eficiente é essencial para que este consiga lidar com o efeito perto-longe e se consiga assegurar a coexistência com terminais e serviços que não utilizem esta técnica (Rel99), logo a adaptação rápida do canal é feita de forma distinta da realizada no HSDPA (AMC), Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Comparação entre técnicas de UMTS.

	Rel99	HSDPA	HSUPA
Canal(is) de tráfego	Dedicado e partilhado	Partilhado	Dedicado
Novo(s) canal(is)	-	Sim	Sim
Controlo de potência	Sim	Não	Sim
SF	Variável	Fixo	Variável
AMC	Não	Sim	Não
Operação multi-código	Não	Sim	Sim
HARQ	Não	Sim	Sim
Localização dos processos de escalonamento e retransmissões	RNC	EB	EB
TTI [ms]	10,20,40 e 80	2	2 e 10
Handover	<i>Soft/Hard</i>	<i>Hard</i>	<i>Soft</i>
Débito de pico [Mbps]	UL 0.384 DL 2	14.4	5.76
Modulação	QPSK	QPSK/16QAM	QPSK
Débito binário	Fixo ao longo da ligação	Variável entre TTIs	Variável entre TTIs
RTT [ms]²	200	<100	50 ³

3.2. Planeamento de uma Rede

Todas as redes necessitam de planeamento, sendo que a rede UMTS não é excepção. Este é constituído por várias etapas, Figura 3.2, a fim de obter a melhor relação qualidade/custo. Uma rede representa um elevado investimento de recursos humanos e tecnológicos. Em termos de tecnologia, esta tem de ser ajustada de forma a ir de encontro às necessidades de cobertura, qualidade, tráfego e requisitos económicos. Os principais desafios no planeamento de uma rede 3G são [LaWN02]:

- a compatibilidade com os sistemas actuais, assim como a possibilidade de futuro desenvolvimento;
- o desconhecimento das futuras necessidades de tráfego, e.g., tipo de tráfego e sua proporção;
- novos serviços com débitos elevados que requerem métodos avançados de aperfeiçoamento ao nível de cobertura e capacidade;
- a necessidade de co-localizar as EBs nos locais já existentes na rede 2G (2ª Geração), devido a factores económicos, técnicos ou de planeamento;
- a necessidade de considerar não só as restrições de propagação mas também o factor de carga da célula (requisitos de capacidade vs. cobertura).

No planeamento de qualquer rede é importante ter em conta diversos factores, entre os quais a capacidade do sistema, a interferência que os diferentes utilizadores provocam e a cobertura necessária por EB. É necessário conjugar estes factores para que se consigam cumprir os objectivos pretendidos em termos de qualidade e tipo de serviço.

² Valores referentes a um pacote de 32 Byte [Laus05] mas exemplificativos da melhoria com a introdução de cada técnica.

³ Valor obtido em conjunto com a técnica HSDPA.

A interferência é um dos factores mais importantes pois limita a capacidade do sistema, o que por sua vez afecta a cobertura. Existem dois tipos de interferência:

- intra-celular – em UL é a interferência causada na EB pelos TMs da célula que esta serve. Em DL é a interferência que a EB provoca no TM causada pela perda de ortogonalidade dos códigos (multi-percurso);
- inter-celular – em UL é a interferência causada pelos TMs das células adjacentes na EB. Em DL é a interferência causada no TM das EBs das células adjacentes.

Nos sistemas FDD, a interferência só pode ocorrer entre o TM e a EB, pois existem duas portadoras diferentes uma para UL e outra para DL, ou seja os canais de UL só interferem com outros canais de UL, e os canais de DL só interferem com outros canais de DL. No modo TDD a análise da interferência complica-se, visto ser usada a mesma portadora em UL e em DL, criando a possibilidade de mais cenários de interferência (interferência entre a EB-EB, EB-TM e TM-TM).

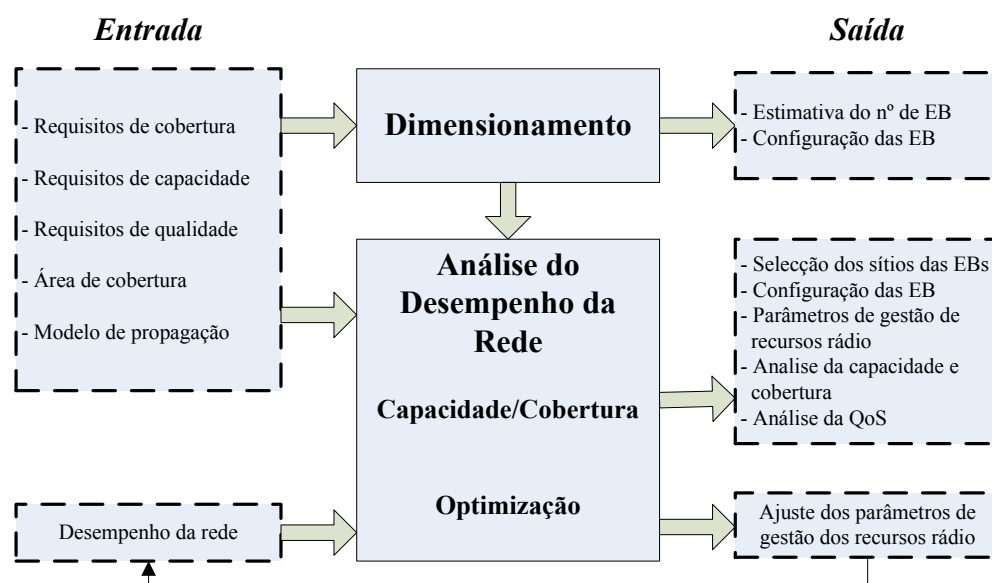


Figura 3.2 – Etapas de planeamento e optimização de uma rede.

O número de utilizadores suportados por uma EB baseia-se na utilização de códigos ortogonais diferentes para cada utilizador. No entanto, devido à interferência existente entre os utilizadores pela perda de ortogonalidade dos códigos (como consequência do multi-percurso), o seu número é limitado, ou seja, a capacidade do UMTS é determinada principalmente pelo número de utilizadores e o tipo de serviços que estes realizam.

O número de códigos disponíveis é um dos factores limitativos da capacidade da célula sendo que em UL a separação dos TMs é realizada pelos códigos de *scrambling* e em DL pelos de *channelisation*, como referido na Secção 2.2. Os códigos em DL são o factor limitativo existindo 512 códigos de *channelisation* disponíveis, havendo uma correspondência entre ritmo binário e SF, sendo que um SF de 512 corresponde a um ritmo muito baixo, por isso considera-se um SF máximo de 256 para os códigos do utilizador, Tabela 3.4. Destes 256 códigos alguns são reservados para sinalização e controlo, sendo neste trabalho considerados:

- para Rel99, um código de SF256 para CPICH (*Common Pilot Channel*), um código de SF256 para BCH (*Broadcast Channel*), um código de SF256 para AICH (*Acquisition Indication Channel*), um código de SF256 para PICH (*Paging Indicator Channel*) e um código de SF64 para S-CCPCH (*Secondary Common Control Physical Channel, multiplex PCH, Paging Channel*, e FACH, *Forward Access Channel*), ou seja, 4 códigos SF256 e 1 código para SF64;

- para HSDPA   reservado um código SF128 para HS-SCCH se forem utilizados até cinco códigos de SF16 para tráfego ou quatro códigos se forem necessários mais do que cinco códigos SF16 para tr fego⁴, e um código SF256 por utilizador para A-DCH.

Tabela 3.4 – Correspondência entre ritmo e códigos.

Ritmo [kbps]	SF	#c�digos SF256 equivalente
12.2 (CS)	128	2
64 (CS)	32	8
64 (PS)	32	8
128 (PS)	16	16
384 (PS)	8	32

Como mostra a Figura 3.2 o primeiro passo do planeamento é o dimensionamento, que providencia uma primeira aproximação da densidade e configuração de EBs. Nesta etapa realiza-se o balanço de potência (*link budget*), análise de cobertura e estimação de capacidade.

No balanço de potência determina-se a atenuação de propagação máxima permitida, Anexo B, tendo em conta os ganhos das antenas, ganhos de diversidade, margens de desvanecimento, etc.. Em relação ao balanço de potência feito nas redes 2G (GSM), existem alguns parâmetros que nestas não são considerados, mas que no caso em estudo são incontornáveis, sendo os mais importantes, a margem de interferência, a margem de desvanecimento rápido e o ganho de *soft handover*.

A margem de interferência, (3.1),   necessária para limitar o ruído máximo na célula. Quanto maior for o factor de carga, η , maior terá de ser a margem de interferência e menor será a cobertura. O factor de carga de UL (3.2)   diferente do de DL (3.3) traduzindo-se numa diferente influência na cobertura [HoTo04].

$$M_I = -10 \cdot \log_{10} (1 - \eta_{DL/UL}) \quad (3.1)$$

$$\eta_{UL} = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^{N_{util}} \frac{1}{1 + \frac{R_C}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \quad (3.2)$$

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^{N_{util}} v_j \cdot \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}{R_C / R_j} [(1 - \alpha_j) + i_j] \quad (3.3)$$

em que:

- N_{util} : número de utilizadores por célula;
- v_j : factor de actividade do utilizador j ;
- E_b : energia de bit;
- N_0 : densidade espectral de ruído;
- R_C : ritmo de chip (3.84Mcps);
- R_j : ritmo do utilizador j ;
- i : quociente entre as interferências intra- e inter-celular;

⁴ Formalmente para assumir 15 utilizadores no mesmo TTI teria de se ter 15 canais HS-SCCH, sendo a consideração de 1 canal HS-SCCH uma aproximação do efeito no tempo.

- i_j : quociente entre as interferências intra- e inter-celular do utilizador j ;
- α_j : factor de ortogonalidade dos códigos em DL do utilizador j .

O factor de ortogonalidade, α_j , representa a influência do multi-percurso na ortogonalidade dos códigos. Tipicamente usam-se como valores máximos para o factor de carga os apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Valores típicos considerados para factor de carga e margem de interferência.

	UL	DL
Factor de carga máximo (η_{max})	0.5	0.7
Margem de interferência (M_I) [dB]	3.0	5.2

Na potência de transmissão que o TM precisa é necessário ter em conta a margem de desvanecimento rápido, para manter um controlo de potência de ciclo fechado rápido adequado em condições de propagação desfavoráveis, tal como nos limites da célula.

O *soft handover* proporciona um ganho adicional, que atenua os efeitos do desvanecimento lento reduzindo a margem necessária, visto este ser parcialmente incorrelacionado entre diferentes EBs. Propicia também macro diversidade que reduz o valor de E_b/N_0 necessário para a ligação, concedendo um ganho adicional contra os efeitos do desvanecimento rápido.

Após o cálculo da atenuação de propagação máxima permitida para um determinado serviço, deve-se escolher o modelo de propagação que mais se adequa ao ambiente em análise, a fim de obter uma estimativa do alcance da célula. De entre os vários modelos de propagação existentes, neste trabalho é considerado o modelo semi-empírico COST 231 Walfish-Ikegami, [DaCo99], específico para ambientes urbanos, Anexo A. Com a atenuação de propagação máxima estima-se a área de cobertura, e tendo em conta o número de portadoras, número de sectores e a densidade de EBs, de forma a ir de encontro aos requisitos de tráfego, obtém-se uma estimativa da capacidade para o tipo de serviço considerado nos cálculos do balanço de potência. Deve-se ter também em conta que é necessário dimensionar o equipamento da rede, como os RNCs, para que possa haver uma gestão eficiente do tráfego.

Como referido anteriormente, cada utilizador influencia os outros alterando a sua potência de transmissão. Cada uma destas alterações provoca novas mudanças na potência de transmissão dos utilizadores, repetindo-se sucessivamente este processo. Torna-se assim necessário que a análise da potência de transmissão seja feita iterativamente até que as potências de transmissão de cada utilizador estabilizem. Também se deve ter em conta outros factores como a velocidade do TM, o tipo de serviço e a sensibilidade do receptor (sendo que esta varia com o tipo de serviço e consequentemente o alcance máximo da célula obtido no balanço de potência irá variar). Utiliza-se para tal ferramentas de planeamento, podendo ser feita assim uma análise mais específica e detalhada, da capacidade e da cobertura para uma maior variedade de cenários, do que a que se obtém na etapa do balanço de potência.

Para o estudo do HSDPA não é adequado considerar exclusivamente o conceito de E_b/N_0 , como referido anteriormente, visto tratar-se de um canal partilhado e o sinal ser ajustado às condições deste dinamicamente, escolhendo a modulação e codificação que permite um maior ritmo binário. Deve-se antes considerar o valor de SNR (relação sinal ruído) que pode ser aproximado por SINR (relação sinal ruído interferência). É importante referir que não existe um dimensionamento definido para HSDPA, sendo neste trabalho realizada uma estimativa, com diversos pressupostos, para uma ligação HSDPA, Anexo M. Esta estimativa é realizada com base numa curva que relaciona o débito binário com o SINR, Anexo D, sendo necessário considerar que:

- a relação débito binário vs. SINR não é influenciada pelo tipo de mobilidade do utilizador (interior, pedestre ou veicular);
- um utilizador tem sempre disponíveis 15 códigos (SF16) a não ser que esteja numa portadora partilhada, considerando-se que neste caso tem 5 códigos (SF16) sendo o débito binário diminuído em 1/3;
- não tem em conta a dependência existente entre número de códigos e a potência necessária para realizar um dado serviço, sendo então considerado que um utilizador utiliza 1 código (SF16) para efeitos de contabilização do número de códigos.

É ainda de referir que a análise do factor de carga de DL em HSDPA não é adequado, visto tratar-se agora de um canal partilhado dinamicamente, não sendo possível determiná-lo analiticamente.

3.3. Cenários e Tráfego

Existem três grandes categorias para classificação de ambientes: rural, suburbano e urbano. As classificações dos diferentes cenários estão geralmente associadas a modelos de tráfego e propagação distintos. Cada modelo, seja ele empírico ou teórico, só é válido numa dada gama de valores e cenários, criando diversas categorias, como os tipos de ambientes e intervalos de validade onde o erro seja mínimo. Este trabalho vai incidir sobre o cenário urbano, mais especificamente, a zona da grande Lisboa não sendo considerados os restantes ambientes.

Para ambientes urbanos e suburbanos é habitual classificar as células de acordo com a sua dimensão (R), e posição das antenas de estação base relativamente aos edifícios circundantes (Δh), Tabela 3.6. As macro-células permitem maior cobertura de terreno, proporcionando uma elevada mobilidade, evitando assim taxas de *handover* elevadas, no entanto, estas não comportam ligações de débitos elevados. As micro-células são mais propícias a ambientes urbanos, possibilitando ligações com maior débito binário que as macro-células, tendo uma mobilidade ainda considerável. As pico-células possibilitam ligações com débitos elevados, sendo mais usadas para ambientes interiores, permitindo uma mobilidade reduzida.

Tabela 3.6 – Classificação do tipo de células (extraído de [Corr05]).

Célula		R [km]	Δh
Macro	grande	> 3	> 0
	pequena	$1 - 3$	> 0
Micro		$0.1 - 1$	≥ 0
Pico		< 0.1	$<< 0$

O tráfego pode ser diferenciado segundo as seguintes classes [HoTo04]:

- Classe 12.2kbps – esta classe é vocacionada para assegurar o serviço de voz;
- Classe 64kbps – permite o serviço de voz e dados simultaneamente e vídeo telefonia;
- Classe 128kbps – esta classe tem a capacidade de fornecer *streaming* e outros serviços de dados;
- Classe 384kbps – é um melhoramento da classe de 144kbps, tendo por exemplo a capacidade de multicódigo (HSDPA);
- Classe 768kbps – esta é uma classe intermédia entre a classe de 384kbps e 2Mbps;
- Classe 2Mbps – está somente definida para DL.

O tráfego, seja em CS ou em PS, não é uniforme, no tempo e no espaço. Para CS, a duração do serviço, e.g., voz, vídeo telefonia, é caracterizada por uma distribuição

exponencial, enquanto para PS a dimensão do volume já não o é, havendo modelos de previsão de tráfego que caracterizam este tipo de serviços, e.g., *e-mail* e FTP [SeCa04].

Para se obter estimativas de tráfego é usual recorrer-se a modelos que representem o comportamento dos utilizadores e dos serviços. A partir destes modelos pode-se fazer o planeamento da rede dimensionando-a correctamente. Existem modelos de tráfego analíticos que permitem dimensionar uma rede com base em certos parâmetros, como o número de canais disponíveis, a taxa de chegada de pedidos e tempos de serviço, entre outros.

Os modelos mais comuns de tráfego utilizados para obter uma primeira estimativa do bloqueio/atraso da rede são Erlang-B para CS e Pollaczek-Khinchin para PS [SeCa04]. No entanto, estes modelos não são adequados à rede móvel UMTS. De facto numa rede móvel UMTS existem aspectos que vão influenciar bastante o dimensionamento da rede, como a variação da população e a variação do número de canais durante a ligação, pois este vai depender da interferência, que por sua vez depende do número e das características dos utilizadores. Sendo assim, para obter um dimensionamento correcto da rede, é necessário recorrer a dados obtidos por simulação, pois as características de cada aplicação são diferentes.

Os modelos de tráfego são caracterizados por uma distribuição (disposição espacial dos utilizadores), perfis de utilizador (proporcionam uma descrição de como as chamadas são geradas por cada tipo de utilizador), e tipo de terreno (em que os utilizadores se encontram inseridos), entre outros, sendo que normalmente utilizam distribuições de Poisson para modular a geração de pedidos de recursos à rede, [Corr05] e [Virt02].

A informação referente à distribuição espacial do tráfego pode ser obtida, por exemplo, do projecto MOMENTUM [MOME04], Anexo C, onde os dados são apresentados em grelhas de *pixels*, uma para cada serviço, com valores correspondentes ao tráfego em cada local. Estas grelhas foram criadas com base em informações de operadores, e tendo em conta:

- perfis de utilizador – diferenciam os utilizadores considerando as suas diferentes características. Neste caso, são consideradas três categorias de utilizador [FCXV03]: empresarial (*business*), com uso intensivo e maioritariamente profissional durante o horário de expediente; escritório pequeno/doméstico (*Small Office/Home Office*, SOHO), para uso doméstico e profissional independentemente do horário; e residencial (*mass market*), com uso esporádico e níveis de tráfego baixos. A informação referente a cada perfil encontra-se organizada em ficheiros, para um máximo de oito serviços e para cada zona, contendo o número médio de chamadas que é efectuado por utilizador na hora de ponta (*Busy Hour Call Attempt*, BHCA). Os valores da tabela BHCA dependem de vários factores, entre os quais, a área de estudo e a estratégia do operador;
- ambiente do utilizador – corresponde às características do terreno sendo estas representadas por uma grelha, em que cada *pixel* corresponde a um dado tipo de terreno. O MOMENTUM considera onze classes de terreno, Tabela 3.7;
- distribuição espacial dos utilizadores – consiste na estimação do número de utilizadores de um certo perfil para cada *pixel* da grelha. É estimada considerando a percentagem de população que tem um determinado perfil e respectivo ambiente em que se inserem as pessoas, a percentagem de utilizadores na população que pertencem a um determinado perfil, a cota de mercado do operador e a distribuição da população.

Tabela 3.7 – Classes de terrenos considerados no projecto MOMENTUM (extraído de [SeCa04]).

Valor associado ao pixel	Tipo de Terreno	Descrição
1	Água	Mar, lagos e rios
2	Caminho-de-ferro	Caminho-de-ferro
3	Auto-estrada	Auto-estrada
4	Auto-estrada com engarrafamento	Auto-estrada com engarrafamento
5	Estrada	Estrada principal com utilizadores movendo-se a uma velocidade relativamente elevada
6	Rua	Rua com utilizadores movendo-se a velocidades relativamente reduzidas
7	Rural	Área rural com poucos edifícios, bastante vegetação e com pouca densidade populacional
8	Suburbano	Área suburbana com uma densidade média de edifícios e de vegetação e com uma densidade populacional média
9	Área aberta	Área aberta como parques e praças, normalmente reservadas a peões
10	Urbano	Área com uma densidade elevada de edifícios, pouca vegetação e elevada densidade populacional
11	Zona de serviços densa (CBD)	Área com uma densidade bastante elevada de edifícios, quase sem vegetação e uma densidade populacional bastante elevada

3.4. Optimização Rádio

A optimização é um processo que tem em vista o melhoramento da rede maximizando os seus recursos. O processo de optimização, Figura 3.3, inclui:

- caracterizar o desempenho da rede através de medidas, feitas pela mesma, de grandezas consideradas chave;
- a análise dos resultados provenientes das medidas;
- actualizar os parâmetros e configurações da rede.

É necessário ter no processo de optimização uma visão geral que caracterize o comportamento da rede, para que seja possível obter o melhor desempenho desta. Para isso são usadas medidas provenientes de elementos da rede e do TM, e.g., potência de transmissão em UL, a taxa e probabilidade de *soft handover*, e a taxa de erros em DL BLER (*Block Error Rate*).

A primeira fase do processo de optimização consiste em definir os indicadores de desempenho que permitem analisar a qualidade de serviço da rede, e.g., medidas do sistema de gestão da rede. As medidas podem ser referentes a uma ligação em concreto, e.g., potência de transmissão em DL, ou podem ser medidas que caracterizem o estado da célula, e.g., potência total transmitida pela EB. As medidas que caracterizam uma ligação promovem a QoS necessária para os utilizadores, ao passo que as que caracterizam a célula são importantes para a optimização dos recursos que esta dispõe, ou seja, maximiza a capacidade. Para que o processo de análise se torne mais rápido é necessário que sejam identificadas as medidas mais importantes (os parâmetros chave), de forma a poder caracterizar o estado da rede mais rápida e eficazmente, e.g., potência total de transmissão da EB e taxa de chamadas perdidas. A etapa intermédia passa pela análise dessas medidas chave para decidir quais os elementos que necessitam de ser alterados, a fim de obter uma rede optimizada e funcional. A última fase

deste processo culmina com o ajustar dos parâmetros provenientes da análise das medidas e desempenho da rede.

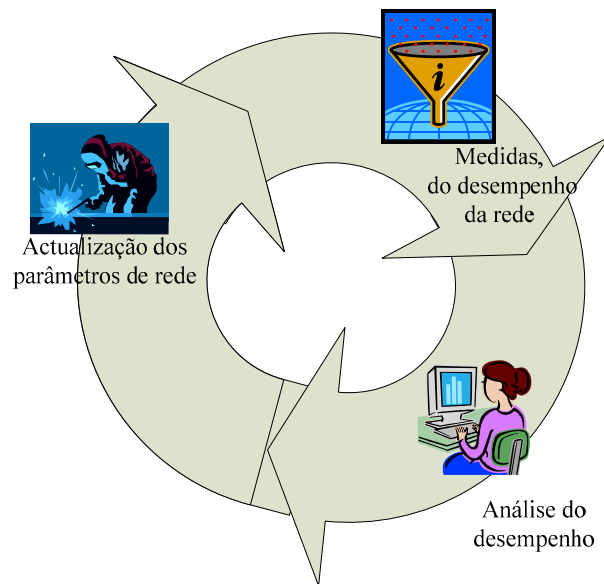


Figura 3.3 – Principais etapas no processo de optimização (baseado em [HoTo04]).

Neste trabalho pretende-se analisar uma rede UMTS já existente para determinadas *snapshots* de tráfego (não considerando assim a mobilidade dos utilizadores) tendo em conta a ligação (UL ou DL) mais restritiva, que é condicionada pelo tipo de serviço na avaliação de cobertura. A análise consiste no estudo do impacto que o HSDPA tem na rede, ao nível dos recursos rádio, e.g., número de portadoras, sendo feito o dimensionamento dos recursos da rede para um dado cenário de tráfego de um modo eficiente.

Podem encontrar-se na literatura diferentes abordagens na optimização de uma rede, dependendo do seu desempenho. Destas destacamos algumas que nos parecem ilustrativas do que está a ser estudado.

Amaldi et al. [AmCM03] descreve um modelo que tem em conta a distribuição de tráfego e o SIR (utilizado como medida de qualidade) para uso no controlo de potência, de forma a optimizar a localização das EBs para uma determinada área de cobertura. Os algoritmos desenvolvidos só têm em conta o UL, serviços simétricos, e.g., voz, sendo este sentido o mais restritivo em termos de cobertura para este tipo de serviços e os custos associados à instalação de EBs, dando a possibilidade de tornar mais ou menos forte a componente financeira na optimização. Não têm em conta a existência de uma rede UMTS-FDD, na escolha da localização das EBs.

Amaldi et al. [ACMS03] descreve um modelo de optimização para localização de EBs considerando como medida de qualidade o SIR e tendo como objectivo conjugar a cobertura máxima com a minimização dos custos de instalação. Os algoritmos propostos destinam-se a DL tendo em conta tráfego assimétrico, visto ser este o mais relevante para serviços de dados. No entanto este trabalho não considera a existência prévia de uma rede.

Bejero et al. [BINS03] tem como objectivo minimizar a porção de largura de banda consumida pela gestão da mobilidade da rede, que consome uma parte significativa da banda. Esta minimização tem de ser feita tendo em conta a mobilidade dos utilizadores (dinamicamente) e diversas componentes, e.g., gestão de *handover*, para que seja assegurada a QoS para determinado tipo de serviço. Considera a existência de uma rede.

Gerdenitsch et al. [GJCT04] apresenta um algoritmo focado na optimização do *tilt* das antenas (ângulo de elevação do raio principal em relação ao plano de azimute) e da potência

do canal piloto comum (CPICH) para a EB, sendo estes alguns dos parâmetros que influenciam e determinam a capacidade de uma rede. Ajustando estes parâmetros consegue-se reduzir a interferência inter-celular, optimizando assim os recursos de potência de transmissão da EB e áreas de *soft handover*.

Tendo em conta os objectivos propostos neste trabalho nenhum dos modelos que apresentamos é adequado, pelo menos na sua totalidade, sendo por isso necessário desenvolver um algoritmo que venha de encontro a estes.

No entanto, a optimiza o de uma rede não se traduz apenas pela rentabiliza o dos seus recursos.   necessário ter t mb m em conta o aspecto econ mico, sendo este um dos principais condicionantes na implementa o de uma dada tecnologia, por ser o mais limitativo. Este ponto é mesmo o factor que mais peso tem no sucesso de uma tecnologia, mesmo que esta tenha muita qualidade. Como o HSPA tem uma maior eficiência espectral que a Rel99, possibilita um menor custo por bit com um melhor desempenho.

3.5. Parâmetros de Desempenho

Para que a rede possa ser avaliada existem diversos parâmetros fulcrais que nos auxiliam. Estes parâmetros de análise variam consoante se esteja a considerar Rel99 ou HSDPA, sendo a avalia o da rede efectuada ao nível do sector (célula). Visto o simulador desenvolvido ser est tico, ou seja, de *snapshots* os parâmetros permitem avaliar a rede num TTI, indicando o seu comportamento naquele instante.

A avalia o dos utilizadores de Rel99 é realizada de acordo com os parâmetros indicados em [Card06]:

- Probabilidade de utilizadores bloqueados, usada para utilizadores a realizar serviços em CS:

$$P_b = \frac{\text{número de chamadas bloqueadas}}{\text{número total de chamadas}} \quad (3.4)$$

Tipicamente é considerado no dimensionamento de uma rede um valor na ordem de 1%;

- Probabilidade de utilizadores atrasados, correspondente a utilizadores a realizar liga o em PS que não conseguem realizar o serviço pretendido nesse instante:

$$P_a = \frac{\text{número de chamadas atrasadas}}{\text{número total de chamadas}} \quad (3.5)$$

- Probabilidade de utilizadores não cobertos, correspondente ao número de utilizadores na rede sem cobertura:

$$P_{nc} = \frac{\text{número de utilizadores sem cobertura}}{\text{número total de utilizadores na rede}} \quad (3.6)$$

Os parâmetros considerados para HSDPA são:

- a probabilidade de atraso, (3.5), visto o canal ser partilhado, pois os utilizadores podem não ter os seus pacotes de informa o entregues no momento que pretendiam (TTI). Este valor pode ser elevado caso não exista capacidade na rede;
- a probabilidade de não cobertura, (3.6), para se ter uma estimativa da cobertura dos utilizadores. Sendo a rede considerada, uma rede co-localizada com GSM, é de esperar que esta probabilidade seja elevada, pois o UMTS é mais exigente a nível de cobertura;
- uma taxa de quantifica o média da redu o de ritmo por utilizador HSDPA (TR), que permite avaliar o quanto cada utilizador HSDPA v  o seu ritmo reduzido:

$$TR = 1 - \frac{1}{\text{número utilizadores HSDPA}} \cdot \sum_{i=1}^{\#HSDPA} \left(\frac{R_{b_efectivo}}{R_{b_nominal}} \right)_i \quad (3.7)$$

em que:

- $R_{b_efectivo}$: Ritmo binário a que o utilizador está a realizar serviço;
- $R_{b_nominal}$: Ritmo binário a que o utilizador pretende a realizar serviço;

Quanto maior for a redução do ritmo dos utilizadores e o número de utilizadores que tiverem o seu ritmo reduzido, maior será a TR, ou seja, mais próximo de 1 é o seu valor, enquanto no caso de não existir redução do ritmo dos utilizadores, este apresenta o valor 0.

- o ritmo médio global em HSDPA, que a rede se encontra a suportar:

$$R_{global\ da\ rede} = \sum_{j=1}^{N_{utilizadores}} R_{bj} \quad (3.8)$$

- R_{bj} : Ritmo de transmissão do utilizador j ;

4. Descrição do Simulador

Neste capítulo começa-se por descrever a estrutura do simulador em que este trabalho se baseia, são depois descritas as novas funcionalidades e alterações efectuadas no simulador assim como o algoritmo desenvolvido. Especificam-se os dados de entrada e saída do novo simulador, para compreender melhor o seu funcionamento e necessários para a sua execução, concluindo-se com uma análise da validade deste.

4.1. Estrutura Base

Este trabalho tem como base o simulador desenvolvido na tese de mestrado [Card06], que por sua vez foi baseada no trabalho final de curso [SeCa04], cuja estrutura se encontra descrita na Figura 4.1.

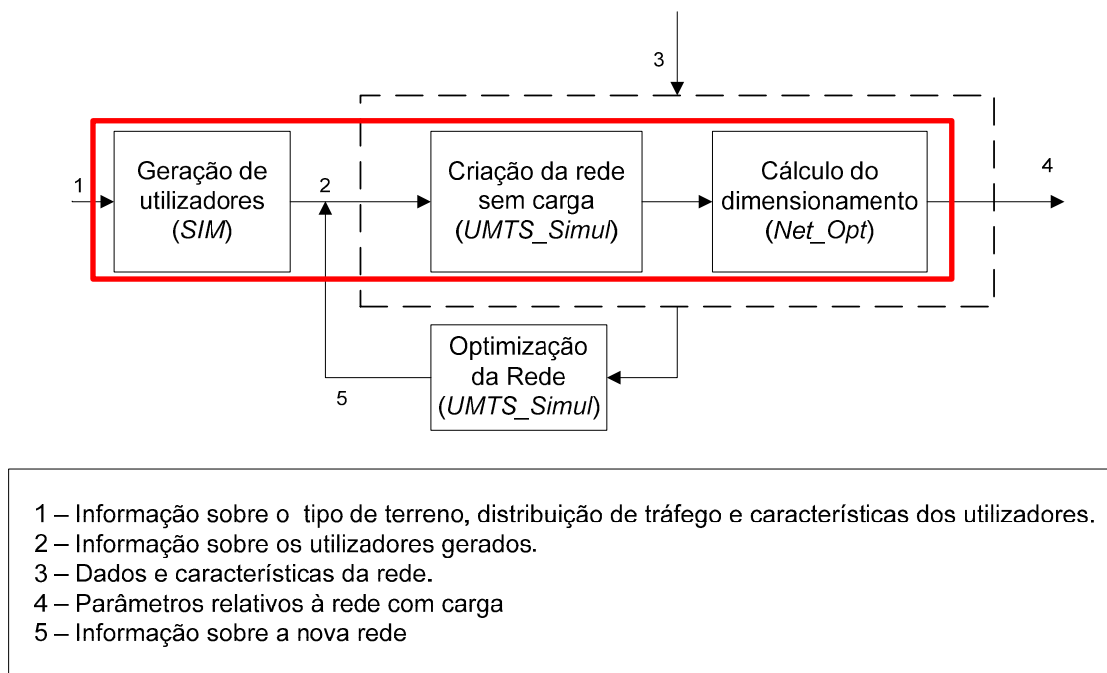


Figura 4.1 – Estrutura do simulador (extraído de [SeCa04]).

Este simulador tem como objectivo realizar uma análise do desempenho de uma rede UMTS-FDD, e caso se pretenda melhorar a cobertura é possível adicionar EBs de forma automática, sem localizações possíveis predefinidas.

O simulador é constituído por três grandes blocos:

- gerador de utilizadores;
- dimensionamento da rede;
- optimização da rede.

O bloco de optimização da rede é opcional. Este é realizado caso se verifique que o sistema não tem o desempenho desejado para um determinado cenário de utilização e se queira melhorar a rede. O bloco irá então adicionar EBs como referido anteriormente.

Dos blocos assinalados na Figura 4.1 que constituem o simulador, foram alterados principalmente os blocos de criação e dimensionamento da rede, não tendo sido realizada nenhuma modificação ao bloco de optimização da rede, visto este referir-se somente à colocação de novas EBs, não sendo utilizado neste trabalho.

O gerador de utilizadores é um programa independente responsável pela criação de utilizadores mediante um conjunto de parâmetros de entrada, sendo designado por *SIM* e desenvolvido em C++.

Para a geração dos utilizadores é necessário ter em conta a informação sobre:

- tráfego, nomeadamente a sua distribuição na área em estudo, utilizando-se os ficheiros do projecto MOMENTUM com informação referente às BHCA para cada um dos oito serviços considerados, obtendo-se assim um cenário mais próximo da realidade; “serviço.rst”, Anexo C.
- tipo de terreno, utilizando-se neste caso o ficheiro obtido pelo projecto MOMENTUM “terreno.trr” referente à cidade de Lisboa, Tabela 3.7;
- características de atenuação dos cenários considerados na área de estudo, ou seja, distribuição e valores de atenuação de penetração de interiores para cada classe de terreno, Tabela 4.1.

Para que o ficheiro com a informação do tipo de terreno seja interpretado correctamente, tem de ser introduzida a dimensão da grelha que o ficheiro representa, a área de cada *pixel* e as coordenadas geográficas do primeiro *pixel* no sistema de projecção cartesiana UTM (*Universal Transverse Mercator*) baseado no esferóide GRS-1980 (*Geodetic Reference System* 1980). Todavia, as grelhas originais do projecto MOMENTUM eram demasiado grandes, pelo que foram modificadas de forma a se ajustarem apenas à cidade de Lisboa, reduzindo-se assim o tempo gasto na geração de utilizadores.

No programa, é possível alterar a distribuição de utilizadores pelos diferentes cenários (exterior, urbano interior, etc.) assim como as correspondentes atenuações e também o número de utilizadores a gerar, e percentagens de penetração dos serviços.

Tendo em conta os dados introduzidos, são gerados os utilizadores, Anexo H, sendo possível guardá-los num ficheiro “utilizadores.txt”. Este ficheiro contém o número de identificação do utilizador, a sua posição em coordenadas geográficas do sistema cartesiano, o serviço que o utilizador está a efectuar, a atenuação devida ao cenário em que o utilizador está inserido, e o tipo de mobilidade.

No Anexo I encontra-se um manual de utilização deste bloco.

Tabela 4.1 – Distribuição dos utilizadores de cada ambiente pelos diferentes cenários (extraído de [SeCa04]).

Terreno	Distribuição de utilizadores [%]				
	Exterior	Interior			
		Total	Urbano	Suburbano	Rural
Água	100	0	-	-	-
Área aberta	100	0	-	-	-
Caminho-de-ferro	0	100	100	0	0
Auto-estrada	0	100	0	100	0
Auto-estrada com engarrafamento	0	100	0	100	0
Estrada	20	80	0	100	0
Rua	50	50	0	100	0
Rural	60	40	0	0	100
Suburbano	50	50	0	100	0
Urbano	30	70	100	0	0
Zona de serviços densa (CBD)	10	90	100	0	0

No dimensionamento da rede existem duas aplicações, a primeira desenvolvida em MapBasic utilizando-se a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) MapInfo [MAPI06], denominada *UMTS_Simul*, onde é estabelecida a interface para simulação da rede

e é realizada uma primeira avaliação desta, através da conjugação de informações relativas aos utilizadores e EBs. De seguida é utilizada a segunda aplicação, desenvolvida em C++ e designada *Net_Opt*, onde é realizada a avaliação da rede ao nível da sua cobertura e capacidade.

Na aplicação *UMTS_Simul* é necessário introduzir informação referente:

- ao diagrama de radiação das antenas utilizadas pelas EBs, através do ficheiro “Ant65deg.tab”;
- aos valores da relação sinal ruído para o caso de uso de Rel99, ficheiro “Eb_N0.tab”;
- a população da zona em estudo, neste caso referente à cidade em estudo, contendo informação variada sobre as freguesias da cidade, ficheiro “Dados.tab”;
- a caracterização da zona em estudo nomeadamente ruas, espaços verdes entre outros detalhes, ficheiro “Zonas.tab”;
- aos utilizadores presentes na rede, através do ficheiro “utilizadores.txt” do programa *SIM*;
- à rede em estudo com informação sobre a localização das EBs e identificação das mesmas, ficheiro “Lisboa.tab”.

Também é possível, caso se deseje, alterar diversos parâmetros da rede, como as características dos dados do modelo de propagação e a potência máxima das EBs, podendo ser avaliados simultaneamente até oito serviços diferentes.

O simulador começa por apresentar, a partir da informação contida nos ficheiros “Dados.tab” e “Zonas.tab”, a área onde será colocada a rede. Seguidamente, cria uma lista de utilizadores a partir do ficheiro “utilizadores.txt”. É realizada então uma verificação sobre a localização de cada utilizador. Se algum estiver fora da área em que o simulador está a trabalhar é automaticamente removido da lista de utilizadores existentes. Por fim, é apresentada, sobre o mapa já criado, a posição dos utilizadores, através de bandeiras cuja cor representa o serviço que o respectivo utilizador pretende usufruir. Os serviços dos utilizadores podem ser modificados através de uma janela existente no programa. Se o nome de um dos serviços definidos na janela não coincidir com o nome do serviço existente no ficheiro “utilizadores.txt”, então o simulador não reconhece esse serviço, não considerando os correspondentes utilizadores na simulação. A Figura 4.2 mostra o mapa de Lisboa, obtido pela aplicação, com os utilizadores a requererem diversos serviços.

Na fase seguinte são adicionadas as EBs ao mapa, sendo determinada a área de cobertura nominal que estas proporcionam (com serviço e cenário de referência), Figura 4.3, obtida através do modelo de propagação, Anexo A. É realizada então uma análise para determinar a que EBs cada utilizador pode estabelecer ligação, considerando como área de cobertura que estas proporcionam a obtida para o serviço menos exigente (Voz) e nas condições menos restritivas a nível de margem de interferência e atenuação de penetração. É de notar que as EBs têm três sectores podendo estes encontrar-se orientados somente a 0 °, 120 ° e 240 ° a partir de Norte. Com os dados obtidos nesta avaliação são criados dois ficheiros:

- “data.dat”, que contém informação relativa às EBs, respectivos sectores e utilizadores presentes em cada um, e.g., a distância a que se encontram da EB, coordenadas geográficas;
- “definitions.dat”, que indica as características de simulação introduzidas pelo utilizador (parâmetros de simulação da rede), e.g., potência máxima da EB e ritmos possíveis.

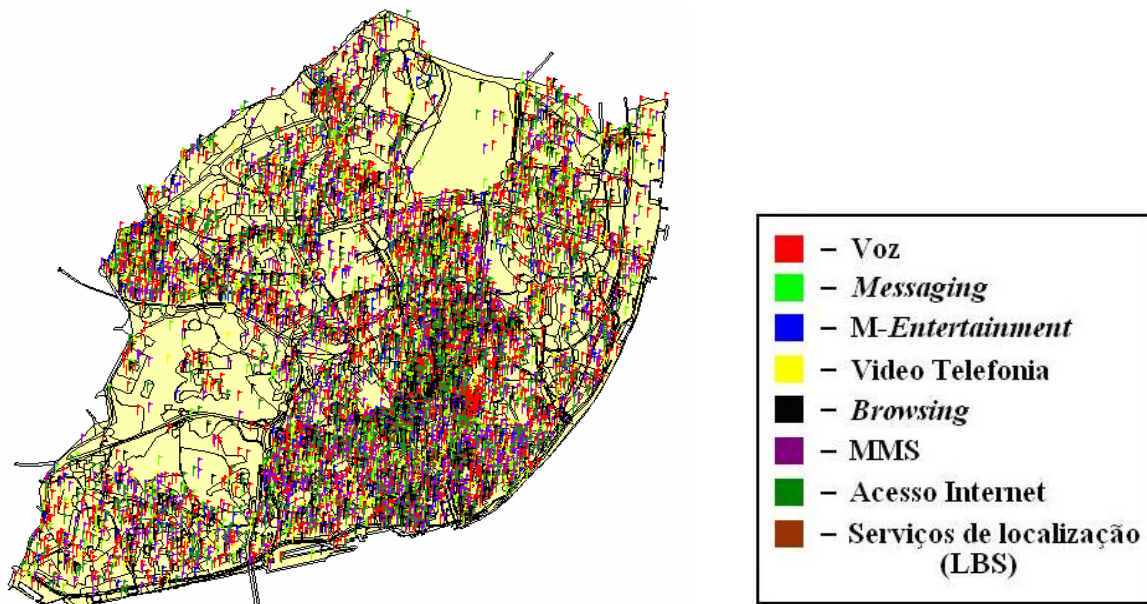


Figura 4.2 – Mapa de Lisboa com 10305 utilizadores a requerer diversos serviços.

Estes ficheiros são utilizados no programa *Net_Opt* para realizar a análise da rede, ou seja, é nesta aplicação que é realizada a avaliação final da rede atribuindo o número de portadoras necessárias para cada sector e determinando os parâmetros de desempenho. Esta aplicação cria ficheiros com informação referente ao estudo realizado, nomeadamente:

- “user.out”, tem informação relativa aos utilizadores Rel99 na rede, número de utilizadores bloqueados, atrasados, sem cobertura, número total de utilizadores com serviço CS e os de serviço PS;
- “data.out”, contém informação relativa a cada sector e cada portadora da Rel99, e.g., valores do factor de carga e número de utilizadores de cada serviço;

A informação presente nestes ficheiros é então processada pela aplicação *UMTS_Simul* determinando o máximo, mínimo e a média de alguns parâmetros de desempenho no domínio dos sectores, sendo mostrada alguma da informação na finalização da simulação e escrita no ficheiro “Output.out”.

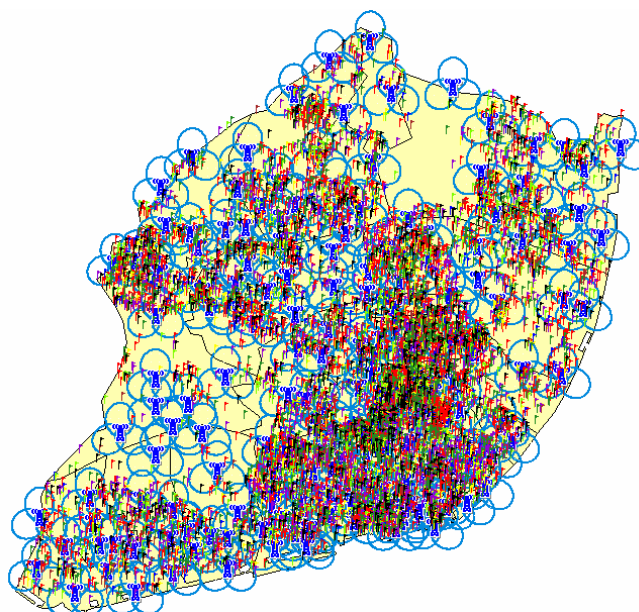


Figura 4.3 – Mapa de Lisboa com EBs e respectivas áreas de cobertura nominal para um serviço de referência Rel99 de 128kbps (PS) e cenário interior.

4.2. Implementação HSDPA

Ao simulador descrito na Secção 4.1 foi necessário adicionar novas funcionalidades que pudessem permitir a simulação com HSDPA. Para a sua implementação foi modificado o bloco de dimensionamento da rede da Figura 4.1.

Uma das alterações realizadas foi ao nível dos ficheiros de entrada da aplicação *UMTS_Simul* que estavam a ser usados no simulador de [Card06], passando a considerar-se um novo diagrama de radiação das antenas, outros valores de E_b/N_0 e uma nova configuração da rede. Foi também alterada a designação dos serviços existentes assim como os seus ritmos e a sua taxa de penetração, tendo sido criados dois cenários predefinidos, Tabela 4.2 e Tabela 4.3. Todos estes dados foram fornecidos pela Optimus.

A interface do bloco *UMTS_Simul* foi modificada para tornar possível ao utilizador executar simulações com HSDPA podendo escolher diversas opções relacionadas com esta. As opções são:

1. a possibilidade de escolha de um ritmo mínimo e um máximo em DL para cada um dos serviços considerados e a percentagem de utilizadores, que para um dado serviço, fazem cada um desses ritmos (máximo e o mínimo), Figura J. 5;
2. a possibilidade de escolha do ritmo mínimo (limiar) para HSDPA, Figura J. 6; na qual se decide a partir de que ritmo é que se considera que um dado serviço se encontra a usar HSDPA;
3. a possibilidade de escolha da topologia que se pretende simular, Figura J. 6, podendo-se optar por fazer simulações sem o uso de HSDPA, utilizar só HSDPA (neste caso todos os utilizadores deverão estar a realizar serviços com ritmos superiores ao limiar de HSDPA), utilizar HSDPA em que no caso do sector ter uma portadora partilhada este usa a potência remanescente, e utilizar HSDPA escolhendo o valor de potência que se pretende reservar caso a portadora do sector seja partilhada;
4. a possibilidade de escolha do tipo de cenário corrente ou dados exigente, Figura J. 6;

Cada uma destas opções tem uma dada influência sobre a simulação. Existem dois cenários predefinidos o cenário de dados exigente (*Aggressive*) e o cenário corrente (*Light*), sendo que cada uma das suas características, e.g., ritmo binário, pode ser alterada na opção descrita em 1.. Caso se pretendam alterar os ritmos a que os utilizadores podem realizar serviços, os valores disponíveis só excedem o valor de 384kbps se se pretender efectuar a simulação com HSDPA, ou seja, terá de se escolher uma topologia que use HSDPA (opção 3.). Por fim a escolha do valor para o limiar de HSDPA indica que todos os serviços a partir desse ritmo estarão a usar HSDPA, e na avaliação de cobertura o utilizador tem de conseguir realizar o serviço do limiar no mínimo, existindo dois valores definidos ($\geq 384\text{kbps}$, $\geq 512\text{kbps}$). Este valor também estabelece o ritmo mínimo até ao qual os utilizadores de HSDPA podem ser reduzidos.

No início da simulação, após se introduzirem os ficheiros de entrada, é possível alterar qualquer uma das novas opções anteriormente referidas, assim como as já existentes, e.g., potência máxima da EB, potência máxima para dados, valor limite para o factor de carga (UL e DL), e ritmo de UL. Após a introdução dos utilizadores e da rede a simulação tem o seu início, sendo que a aplicação *UMTS_Simul*, depois de executar o procedimento descrito na Secção 4.1, chama a aplicação *Net_Opt* onde se vai fazer o dimensionamento do número de portadoras por sector tanto para Rel99 como para HSDPA. Para isso, como foi referido anteriormente, foram executadas alterações nas rotinas do simulador em que nos baseamos, estando estas apresentadas no Anexo G, e a descrição/implementação do algoritmo para a atribuição de portadoras HSDPA representado na Figura 4.4 e Figura G. 6.

Tabela 4.2 – Caracterização do cenário corrente.

Serviço	Penetração do Serviço [%]	Débito [kbps]	Percentagem [%]
Voz	35.0	12.2 (CS)	100
Vídeo Telefonía	7.5	64.0 (CS)	100
M-Entertainment	5.0	384.0 (PS)	20
		128.0 (PS)	80
Messaging	10.0	384.0 (PS)	20
		128.0 (PS)	80
LBS (Serviços de Localização)	7.5	128.0 (PS)	20
		64.0 (PS)	80
MMS (Multimedia Messaging Service)	10.0	128.0 (PS)	20
		64.0 (PS)	80
Acesso Internet	15.0	512.0 (PS)	50
		384.0 (PS)	50
Browsing	10.0	384.0 (PS)	20
		128.0 (PS)	80

Tabela 4.3 – Caracterização do cenário de dados exigente.

Serviço	Penetração do Serviço [%]	Débito [kbps]	Percentagem [%]
Voz	25.0	12.2 (CS)	100
Vídeo Telefonía	7.5	64.0 (CS)	100
M-Entertainment	5.0	384.0 (PS)	80
		128.0 (PS)	20
Messaging	15.0	384.0 (PS)	80
		128.0 (PS)	20
LBS (Serviços de Localização)	7.5	128.0 (PS)	80
		64.0 (PS)	20
MMS (Multimedia Messaging Service)	10.0	128.0 (PS)	80
		64.0 (PS)	20
Acesso Internet	20.0	1024.0 (PS)	80
		512.0 (PS)	20
Browsing	10.0	384.0 (PS)	80
		128.0 (PS)	20

A aplicação *Net_Opt* começa por fazer a atribuição dos ritmos aos utilizadores consoante o serviço que lhes está atribuído, separando-se posteriormente os utilizadores que irão fazer HSDPA para iniciar a atribuição de portadoras Rel99 em cada um dos sectores. Esta atribuição é feita a cada um dos utilizadores que não foram retirados da lista e que tenham cobertura, Anexo B, sendo prioritária face à do HSDPA, ou seja, os utilizadores que estão a realizar serviços com ritmos do tipo Rel99 (este ritmo depende do limiar de HSDPA escolhido nas opções da simulação) têm prioridade, mesmo que os utilizadores de HSDPA de um dado sector após a atribuição das portadoras de Rel99 não tenham recursos rádio para realizar serviço. É adicionada uma portadora Rel99 caso:

- o número de códigos usados exceda o número de códigos disponíveis (16 códigos de SF16 por portadora);
- o factor de carga de UL seja superior a 0.5;

- o factor de carga de DL seja superior a 0.7;
- o valor de potência usada seja superior à disponível.

Após as portadoras de Rel99 terem sido atribuídas em todos os sectores, começa a atribuição de portadoras HSDPA aos utilizadores que previamente tinham sido separados, e tenham passado no teste de cobertura. É de notar que na cobertura o balanço de potência realizado para os utilizadores de HSDPA não é igual ao efectuado na Rel99. Como se pode verificar no Anexo M, o balanço de potência feito para HSDPA tem em conta pressupostos que de outra forma, ao não serem considerados, não seria possível calcular, pois não existe nenhum método de cálculo definido.

Caso o sector onde se está a fazer a atribuição tenha só uma portadora Rel99 e haja utilizadores de HSDPA, esta portadora irá ser sempre considerada como uma portadora partilhada (usando ou não a potência remanescente consoante a opção escolhida); caso contrário, todos os sectores com um número portadoras Rel99 diferente de um, vão ser adicionadas portadoras exclusivas de HSDPA. É de notar, que na opção da potência remanescente, a portadora é considerada como partilhada não só pelo número de portadoras Rel99 do sector em questão, mas também pelo valor de potência remanescente disponível para HSDPA, que tem de ser superior a 15% da potência disponível da EB. Após determinado o tipo de portadora a inserir as condições para adicionar mais portadoras HSDPA são:

- o número de códigos usados excede o número de códigos disponíveis (16 códigos de SF16 por portadora);
- o factor de carga de UL é superior a 0.5;
- o valor de potência usada é superior à disponível.

No caso de a limitação que leva a ter de se adicionar uma portadora ser a potência, esta não é adicionada de imediato, Figura G. 6. Antes, e ao contrário da Rel99, que só reduz o ritmo dos utilizadores após ter esgotado o número de portadoras disponíveis, há uma tentativa de ir reduzindo os utilizadores já ligados até ser conseguida potência suficiente para dar serviço ao último utilizador que se está a tentar inserir. Se tal não for possível os utilizadores que já estavam ligados mantêm o seu ritmo, e é adicionada outra portadora HSDPA, continuando o algoritmo de atribuição de portadoras. Outra diferença no procedimento de redução de HSDPA é que, ao contrário da Rel99, que reduz os utilizadores por patamares (ou seja, um utilizador que tenha um ritmo de 384kbps é reduzido para 128kbps e numa segunda fase para 64kbps caso seja necessário), no HSDPA a redução do ritmo é feita de uma forma linear, ou seja, um utilizador a realizar 1024kbps ao ser reduzido pode tomar qualquer valor inteiro no intervalo [384;1024]kbps (considerando o limiar de HSDPA 384kbps). Esta característica torna mais eficiente a utilização dos recursos de potência da EB, conferindo uma maior granularidade no método de redução.

Para o cálculo do número de códigos que são usados pelos utilizadores, usam-se os valores especificados na Secção 3.2 para sinalização e para o canal de dados. Este valor não pode ultrapassar os 256 códigos de SF256 por portadora.

No caso do cálculo do factor de carga de UL é usada a expressão (3.2) não podendo o seu valor ultrapassar 0.5 por portadora.

No cálculo da potência é tida em conta a expressão obtida através de uma regressão linear, Anexo D, a partir da qual se obtém o valor de SINR, para um dado ritmo binário, necessário no receptor (D.2), e através do balanço de potência, Anexo M, obtém-se a potência pedida pelo utilizador à EB. Existem duas expressões que relacionam o ritmo binário com o SINR, em que, para o mesmo SINR o valor do ritmo obtido numa é três vezes menor do obtido na outra, sendo a expressão com ritmos menores usada para o caso em que a portadora é partilhada. Mais uma vez é de notar que o balanço de potência usado é apenas uma aproximação, pois não seria possível efectuar o seu cálculo sem, por exemplo, ter sido considerada uma relação onde se pudesse determinar a sensibilidade do receptor.

Caso não existam mais portadoras disponíveis no sector em análise para inserir (o número de portadoras é definido pelo utilizador até um máximo de quatro) e algum dos pontos anteriormente referidos ocorrerem, todos os utilizadores desse sector que até àquele momento não conseguiram realizar serviço, serão atrasados. Depois de terminado o algoritmo de atribuição de portadoras HSDPA, são criados diversos ficheiros de saída pela aplicação *Net_Opt* que depois serão processados pelo módulo *UMTS_Simul*, obtendo-se assim os resultados finais da simulação.

No Anexo J encontra-se um manual do simulador.

4.3. Dados de Entrada e Saída

Para realizar simulações é necessário introduzir inicialmente na aplicação *UMTS_Simul* os seguintes ficheiros:

- “utilizadores.txt”, que contém informação sobre os utilizadores;
- “terreno.trr”, com informação referente ao tipo de terreno, Figura C. 1;
- “serviço.rst”, com a distribuição de tráfego, Figura C. 3 a Figura C. 10;
- “Ant65deg.tab”, com o diagrama de radiação das antenas utilizadas pelas EBs, Tabela K. 1;
- “Eb_N0.tab”, com os valores da relação sinal ruído, Tabela E. 4;
- “Dados.tab”, com a população da zona em estudo, neste caso referente à cidade de Lisboa contendo informação variada sobre as freguesias da cidade;
- “Zonas.tab”, com a caracterização da zona em estudo nomeadamente ruas, espaços verdes entre outros detalhes;
- “utilizadores.txt”, com os utilizadores presentes na rede, do programa *SIM*;
- “Lisboa.tab”, com a rede em estudo, nomeadamente informação sobre a localização das EBs e identificação das mesmas.

A aplicação *UMTS_Simul* cria os seguintes ficheiros de interface com a aplicação *Net_Opt*:

- “data.dat”, que contém informação relativa às EBs, respectivos sectores e utilizadores presentes em cada um, e.g., a distância a que se encontram da EB, coordenadas geográficas;
- “definitions.dat”, indica as características de simulação introduzidas pelo utilizador (parâmetros da rede), e.g., potência máxima da EB.

Por sua vez, o *Net_Opt* cria ficheiros com informação referente à análise realizada, nomeadamente:

- “user.out”, tem informação relativa aos utilizadores Rel99 na rede, número de utilizadores bloqueados, atrasados, sem cobertura, número total de utilizadores com serviço CS e os de serviço PS;
- “data.out”, contém informação relativa a cada sector e cada portadora da Rel99, e.g., valores do factor de carga, raio e número de utilizadores de cada serviço;
- “rede_HSDPA.out”, especifica informação relativa a HSDPA na totalidade da rede, nomeadamente o número de utilizadores presentes, atrasados, e não cobertos;
- “estatistica_HS_sector.xls”, tem informação sobre cada sector como o número de portadoras HS, factor de carga UL e taxa de redução de ritmo por utilizador;
- “estatistica_HS_user.xls”, tem informação de cada utilizador HS como a sua distância à EB, o ritmo nominal do serviço que pretendia e o ritmo que efectivamente está a realizar.

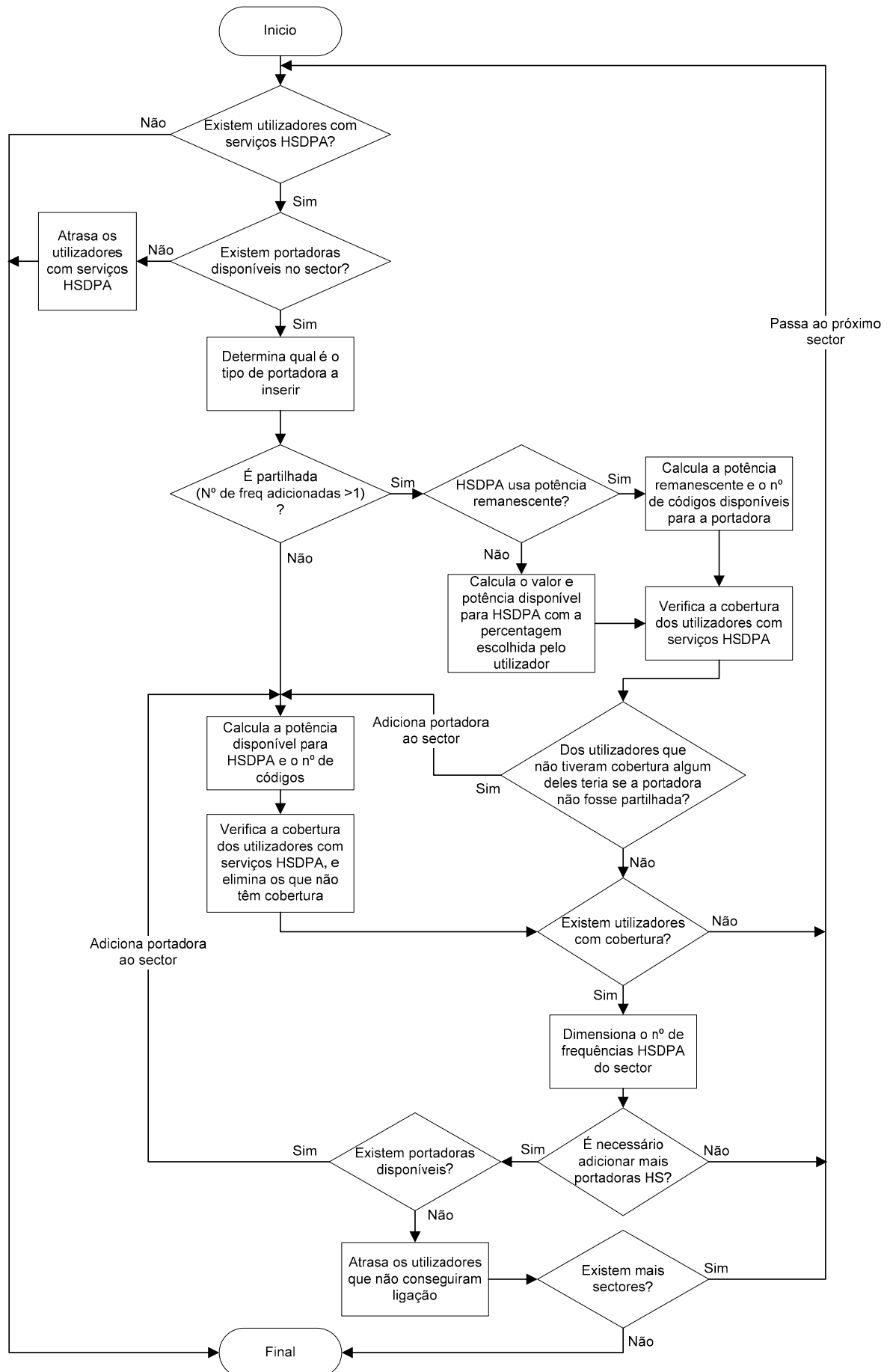


Figura 4.4 – Algoritmo de atribuição de frequências HSDPA.

Os dados presentes nestes ficheiros são processados no *UMTS_Simul* de forma a permitir analisar o desempenho da rede, sendo esta informação guardada em ficheiros:

- “Output.out”, refere-se a informações sobre a Rel99, nomeadamente, probabilidade de atraso, bloqueio, potência, factor de carga, etc.;
- “Output_HSDPA.out”, contém informação sobre parâmetros de avaliação de HSDPA, e.g., probabilidade de atraso, taxa de redução média do ritmo do utilizador.

4.4. Aferição do Simulador

Realizaram-se algumas simulações para verificar a validade do simulador. Numa primeira fase consideraram-se as mesmas condições de simulação que em [Card06] para verificar se o novo simulador tinha o mesmo comportamento. Verificou-se que se obtinham os mesmos resultados do simulador original.

Posteriormente, foi realizada uma análise do comportamento do simulador desenvolvido, considerando-se uma só EB e variando o número de utilizadores. Por se obter uma elevada probabilidade de utilizadores não cobertos, foi realizada uma análise a nível de cobertura, Tabela 4.4. Verifica-se que os utilizadores encontram-se limitados principalmente pelo UL, sendo os do tipo interior_HL (*high loss*) a ter o menor raio de cobertura, precisando de se encontrar a uma distância da EB de 0.37km, enquanto os utilizadores pedestres podem encontrar-se a uma distância máxima de 1.54km. Esta diferença tão significativa de distância de cobertura, deve-se ao valor de atenuação de penetração considerado em cada caso, 21dB interior_HL, 11 dB interior_LL (*low loss*), 0dB pedestre e 11dB veicular. Como referido na Secção 3.2, devido a não ser possível realizar o balanço de potência de DL em HSDPA para um dado nível, os valores obtidos são estimativas que têm em conta diversos pressupostos, Anexo N.

Tabela 4.4 – Raios máximos de cobertura obtidos considerando o ganho máximo da antena EB (17dBi) e o modelo de propagação COST 231 Walfish-Ikegami.

	Raio máximo [km]			
	Interior_HL	Interior_LL	Veicular	Pedestre
UL_HSDPA	0.37	0.68	0.66	1.54
DL_HSDPA	0.48	0.89	0.86	2.02

Depois de verificada a questão de cobertura, analisa-se a vertente de capacidade, através da alteração do número de utilizadores por sector. Considera-se que o limiar de HSDPA é de 384kbps e os utilizadores:

- são todos pedestres;
- encontram-se a realizar o mesmo serviço a um ritmo de 512kbps;
- estão igualmente distribuídos pelos sectores;
- têm todos cobertura.

Pode-se observar na Figura 4.5 que à medida que o número de utilizadores aumenta também o número médio de portadoras necessário por sector aumenta, sendo a variação desse aumento igual nos três sectores da EB. O aumento do número de portadoras nesta simulação deve-se ao número de códigos disponíveis ser o factor limitativo, pois como se verá o factor de carga e a potência utilizada não influenciam este aumento. Considerando que:

- existem 16 códigos reservados para sinalização e controlo ao nível de SF256 (8 códigos para Rel99 e 8 para os canais HS-SCCH, considerando que a portadora não é partilhada), como referido na Secção 3.2;

- é reservado por utilizador um código de SF16 para HS-DSCH (16 códigos ao nível de SF256) e um código SF256 para o canal A-DCH.

Se só for reservado um código SF16 para sinalização e controlo não se consegue ter utilizadores a realizar serviço, devido ao canal A-DCH (16 disponíveis-16 sinalização=0 códigos ao nível SF256 para A-DCH). Sendo assim é necessário reservar 2 códigos (SF16) para sinalização (tendo-se então 16 códigos disponíveis para A-DCH ao nível SF256) sendo então possível, e caso não haja limitação de potência, servir catorze utilizadores no máximo, Tabela 4.5. Caso seja uma portadora partilhada um código de SF16 para sinalização e controlo é suficiente, visto no máximo serem utilizados 5 códigos para HSDPA (SF16) logo 1 código de HS-SCCH (SF128) é suficiente. Como referido anteriormente, a limitação nesta simulação é devida ao número de códigos, pois o factor de carga em UL (3.2) para um valor máximo de 0.5 (com um ritmo de 64kbps, e um factor de actividade de 0.7) permite até 16 utilizadores por portadora, e a potência máxima usada pelos utilizadores por sector, Figura 4.6, não é superior ao valor limite disponível (19.9W) Anexo O, logo não são factores limitativos.

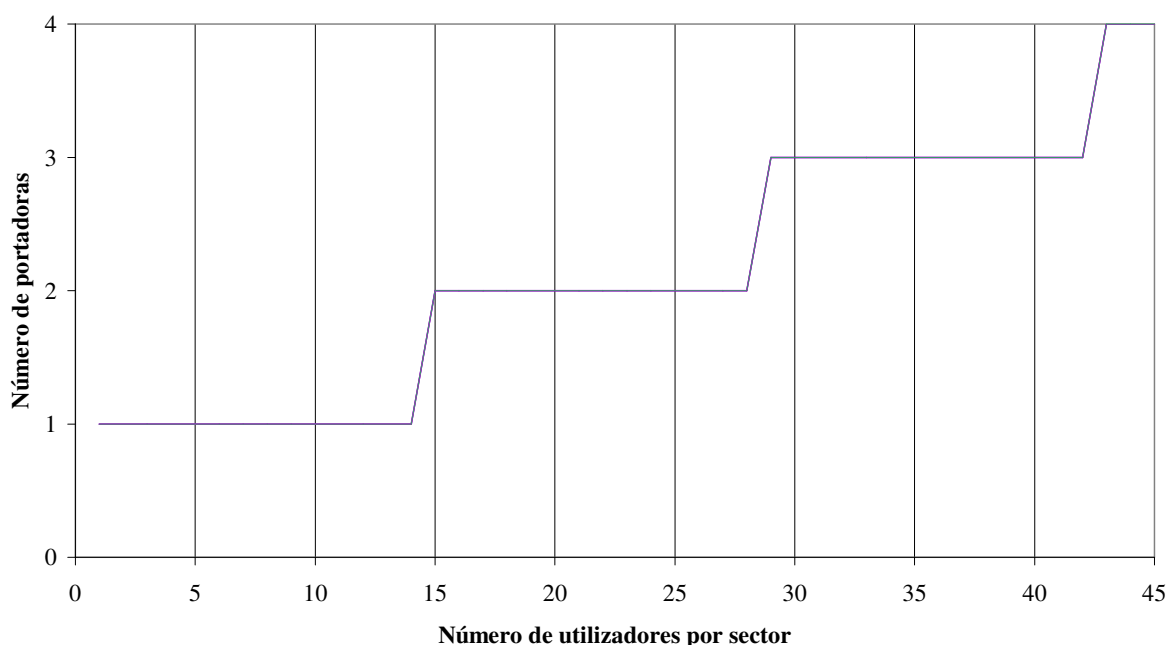


Figura 4.5 – Evolução do número de portadoras com o aumento do número de utilizadores HSDPA por sector.

Tabela 4.5 – Transições de número de portadoras com o aumento do número de utilizadores HSDPA por sector.

Número de portadoras	Número de utilizadores por sector
1→2	14
2→3	28
3→4	42

Tendo em conta que existem factores aleatórios no simulador, nomeadamente no serviço que cada utilizador está a realizar, é importante executar várias simulações nas mesmas condições de modo a que os dados obtidos pelo simulador possam ser considerados uma boa aproximação da realidade. Considerou-se então uma rede com 10305 utilizadores, Figura 4.2, e um cenário corrente, Tabela 4.2. Por análise da Figura 4.7 verifica-se que o desvio padrão do ritmo médio por utilizador HSDPA diminui à medida que o número de simulações aumenta, Tabela 4.6. Tendo em conta que com a passagem de 10 para 15 simulações não se obtém uma melhoria significativa e o tempo de cada simulação é significativo (num *Pentium* III 800MHz corresponde a aproximadamente 6 horas e num

Pentium IV 3GHz a 4 horas e meia, onde o processo do MapInfo de determinação a que EBs os utilizadores podem estar ligados demora cerca de 3horas e 30min. e 2horas, respectivamente) considera-se que 10 simulações são o suficiente para que os resultados obtidos tenham relevância estatística.

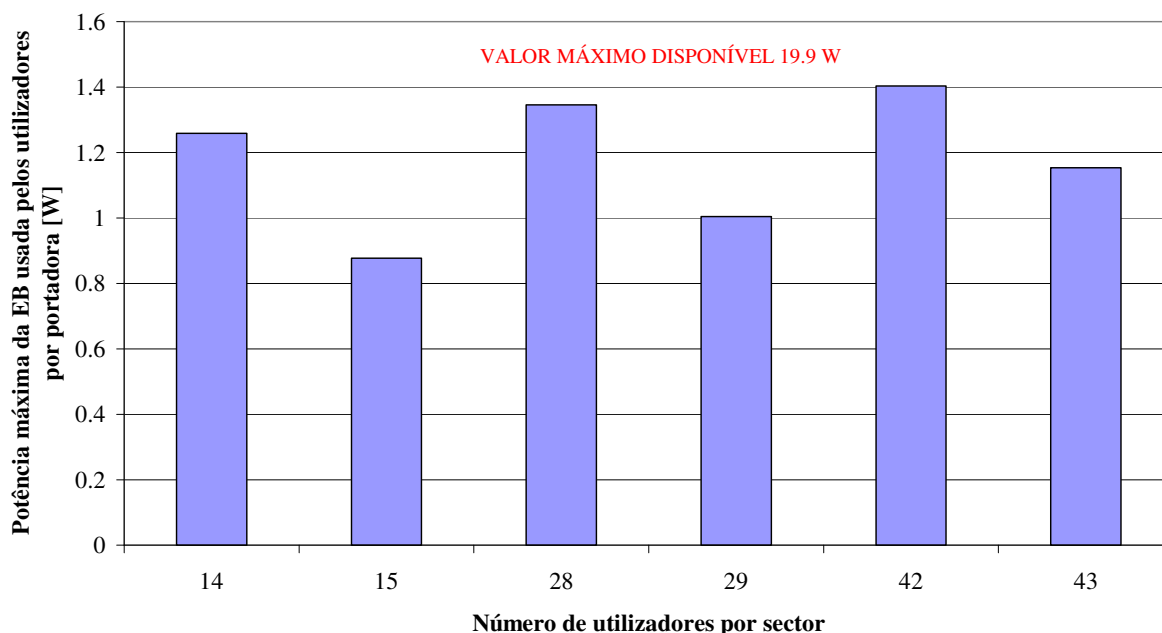


Figura 4.6 – Valores de potência máxima por portadora para diferente número de utilizadores HSDPA por sector.

Tabela 4.6 – Ritmo médio de HSDPA e respectivo desvio padrão para diferente número de simulações.

#simulações	Valor médio [kbps]	Desvio Padrão
5	430.22	2.38
10	430.82	2.03
15	430.91	1.85

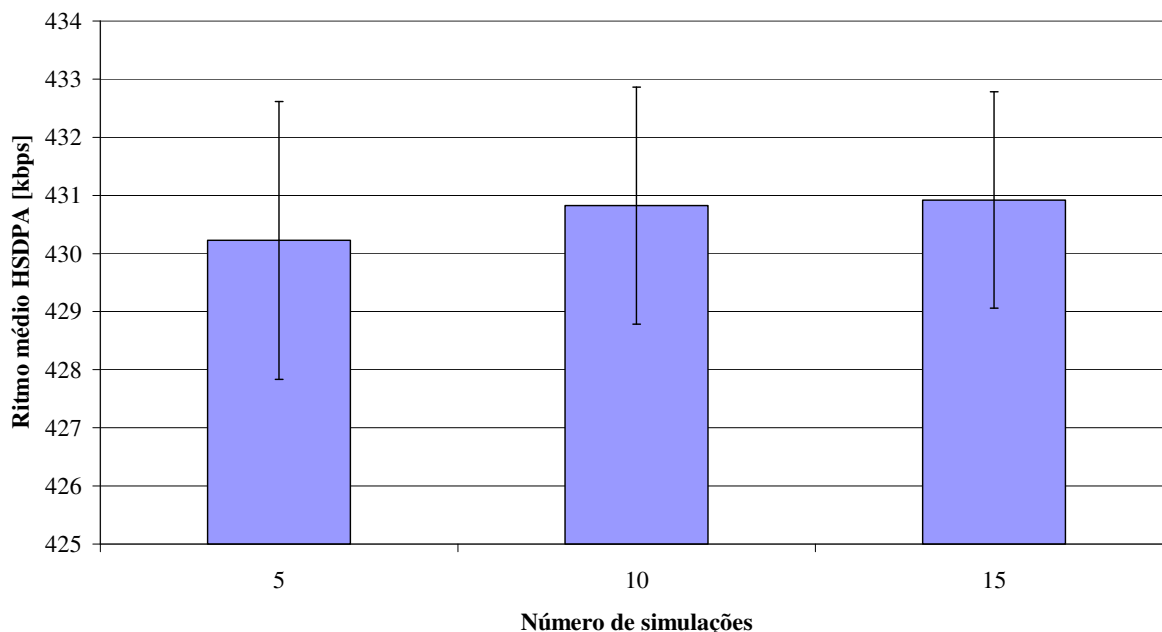


Figura 4.7 – Análise do número de simulações necessárias para os resultados terem relevância estatística.

5. Análise dos Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o simulador desenvolvido neste trabalho. Primeiro, é definido o cenário de referência, para que seja realizado o estudo do impacto de alterações nas condições de simulação no desempenho da rede. São então analisados os resultados obtidos modificando a atenuação de penetração em interiores, o ritmo mínimo para os utilizadores realizarem um serviço HSDPA, a distribuição de tráfego pelos utilizadores e os ritmos de cada serviço, sendo em cada fase realizada uma análise dos resultados.

5.1. Cenário de Referência

Ao realizar diferentes simulações para o estudo de uma rede, é necessário definir um ponto de comparação, ou seja, um cenário de referência que nos permita analisar o impacto que as alterações das condições de simulação têm.

Para realizar as simulações é necessário definir diversas características sobre a zona geográfica em estudo. Neste trabalho considera-se que:

- a zona geográfica em estudo é a cidade de Lisboa, representada na forma referida na Secção 4.1, notando que na cidade de Lisboa não existe um dos tipos de terreno considerados (auto-estrada com engarrafamento);
- a distribuição de tráfego é a definida pelo projecto MOMENTUM, como referido na Secção 3.2, e observável no Anexo C, verificando-se que as zonas com maior tráfego são a Baixa, e as Avenidas Novas como era de esperar, devido à grande densidade de edifícios;
- a rede UMTS é a fornecida pela Optimus, Figura 5.1, que corresponde à rede GSM visto haver interesse em co-localizar as EBs para assim aproveitar recursos já existentes, verificando-se que nas zonas onde existe uma maior densidade de tráfego existe um maior número de EBs;

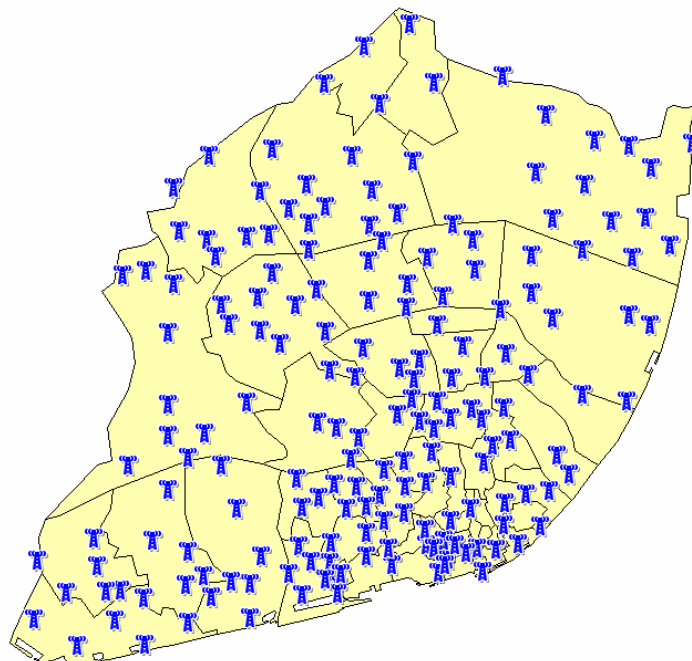


Figura 5.1 – Mapa de Lisboa com a representação da rede.

O cenário de referência é caracterizado por diversos parâmetros que servem para aproximar os cenários de simulação a uma situação real na rede. Estes parâmetros foram definidos em conjunto com a Optimus, sendo os seguintes:

- a topologia considerada é a de Rel99 e HSDPA, em que é realizada uma gestão dinâmica da potência, ou seja, os utilizadores a realizar serviços HSDPA utilizam a potência remanescente de Rel99, caso a portadora seja partilhada (só a primeira portadora é considerada como podendo ser partilhada);
- o ritmo de referência para Rel99 é de 128kbps;
- o ritmo mínimo para o utilizador estar a realizar um serviço de HSDPA é de 384kbps;
- o cenário de referência é interior_LL, ou seja, a atenuação de penetração é de 11dB;
- a potência máxima de emissão da EB é definida como 30W (44.7dBm), sendo necessário reservar 25% para sinalização e controlo de Rel99 e ainda 10% para sinalização e controlo de HSDPA, e considera-se a existência de TMA (*Tower Mounted Amplifier*). Logo para tráfego tem-se no máximo 19.9W (42.9dBm) para uma portadora HSDPA;
- o factor de carga máximo em DL para a Rel99 é de 0.7;
- o factor de carga máximo em UL é de 0.5;
- o diagrama de radiação é igual para todos os sectores, Anexo K;
- a estratégia para lidar com casos de *soft handover* em Rel99 é a de seleccionar a ligação que permite maior ritmo ao utilizador das disponíveis (sendo o seu número definido pelo *active set*);
- o *active set* considerado é de 3;
- a distribuição da penetração dos serviços na população é a de um cenário corrente, Figura 5.2, em que os serviços suportados em Rel99 são em maior percentagem;
- os ritmos possíveis para cada serviço são os apresentados na Tabela 4.2, verificando-se a predominância dos ritmos mais baixos.

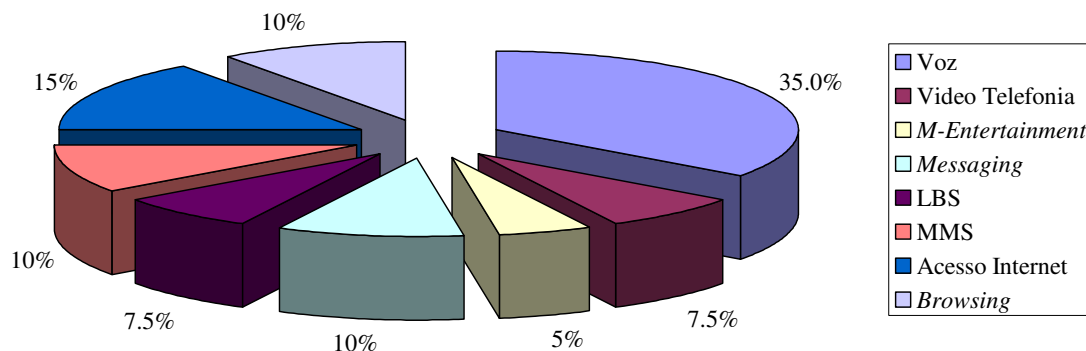


Figura 5.2 – Distribuição de tráfego para o cenário corrente.

Mas o cenário de referência não fica completo se não se souber o número de utilizadores que vão ser inseridos na rede para que seja possível avaliá-la. É realizado então um estudo sobre o número de utilizadores que deve ser considerado.

O objectivo deste trabalho é analisar o impacto da técnica HSDPA na rede, logo o principal factor a considerar é o número de portadoras por sector, sendo assim interessa que o número de sectores com 3 e 4 portadoras tenha alguma relevância, para que os resultados obtidos tenham significado. Na Figura 5.3 encontra-se a evolução da percentagem de sectores que têm 3 e 4 portadoras com o número de utilizadores considerados na simulação. Foi então escolhido para o cenário de referência um universo de utilizadores de 13000 (10305 efectivamente na rede), visto a percentagem total de sectores com 3 e 4 portadoras ser aceitável (30.%), Anexo R.

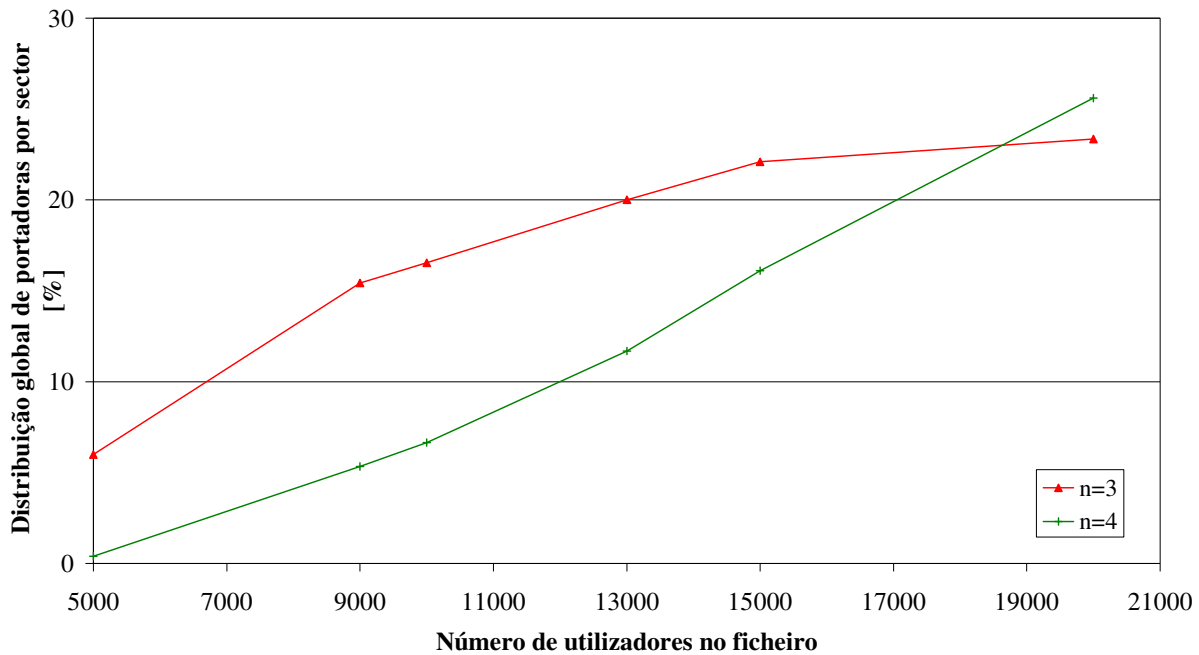


Figura 5.3 – Evolução da percentagem de sectores com 3 e 4 portadoras com o aumento do número de utilizadores na rede.

5.2. Influência da Atenuação de Penetração em Ambientes Interiores

Após a realização das simulações para o cenário de referência, Anexo Q, o primeiro parâmetro a ser analisado é a atenuação de penetração em ambientes interiores, tomando-se os valores seguintes 15, 20 e 25dB.

Na Figura 5.4 encontra-se a variação da probabilidade de atraso e da probabilidade de utilizadores não cobertos em HSDPA com a atenuação de penetração (L_{int}). Verifica-se que à medida que L_{int} aumenta a probabilidade de atrasados diminui e a probabilidade de não cobertos aumenta, pois ao estar-se a aumentar o valor de L_{int} está-se a tornar o cenário mais exigente, fazendo com que haja menos utilizadores cobertos e a realizar serviço, diminuindo assim o número de utilizadores HSDPA na globalidade da rede, Figura 5.5, e consequentemente a probabilidade de atraso.

O número de portadoras usadas por sector está directamente relacionado com o número de utilizadores. Ao aumentar o L_{int} está-se a reduzir tanto o número de utilizadores HSDPA como os de Rel99 que estão a realizar serviço, havendo uma maior probabilidade de não cobertos. Esta redução tem proporções diferentes entre os dois tipos de utilizador pois os de HSDPA deverão ter uma maior redução que os utilizadores Rel99 visto os serviços serem mais exigentes. No entanto os valores obtidos parecem ser contrários, como por exemplo no caso em que o L_{int} passou de 15 para 20dB, onde houve um aumento na Rel99 de 1435 utilizadores não cobertos ao passo que no HSDPA este foi de apenas 379 utilizadores, Figura S. 3 e Figura S. 2. Mas como o universo de utilizadores HSDPA é muito menor que o da Rel99, devido à distribuição de tráfego ser maioritariamente de serviços com ritmos baixos, o aumento dos utilizadores não cobertos em HSDPA no seu universo é muito superior ao da Rel99. Pode-se então verificar que as percentagens de não cobertos em HSDPA são muito superiores às obtidas para a Rel99.

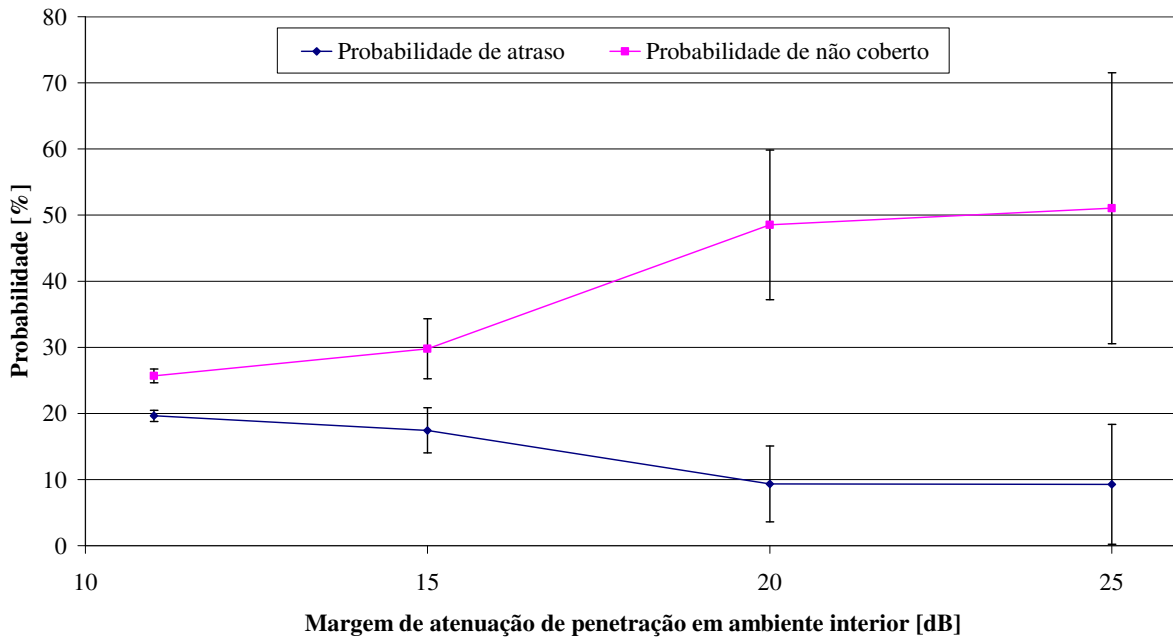


Figura 5.4 – Evolução das probabilidades de atraso e utilizadores HSDPA não cobertos com o aumento da atenuação de penetração em ambientes interiores.

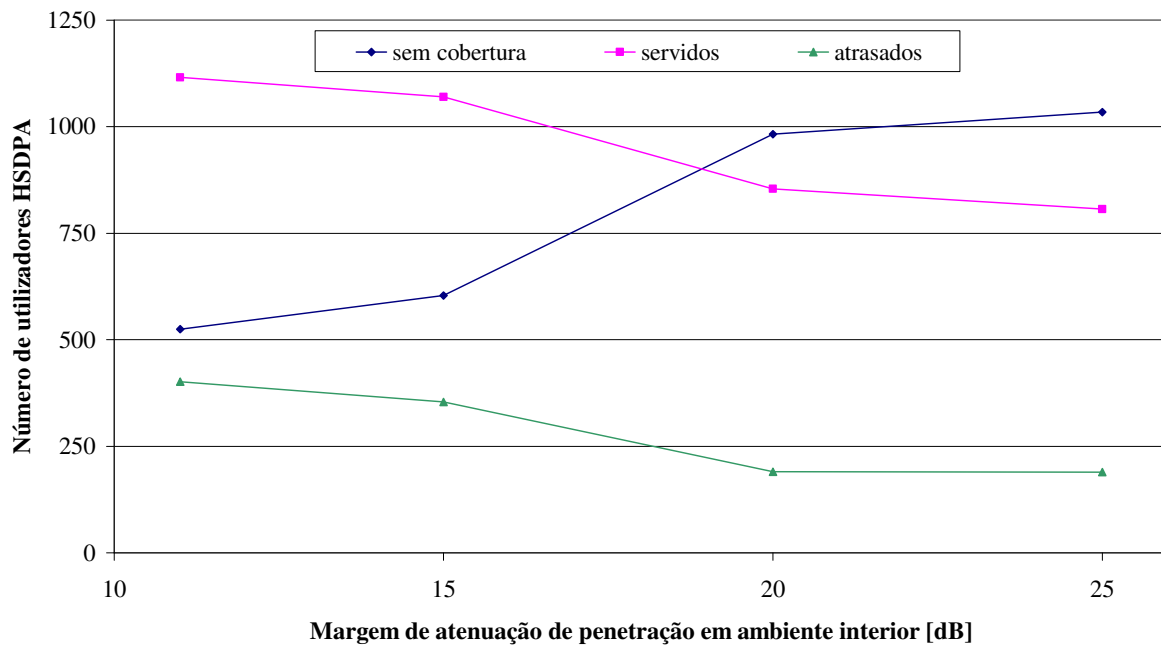


Figura 5.5 – Caracterização dos utilizadores HSDPA e evolução com o aumento da atenuação de penetração em ambientes interiores.

Na Figura 5.6 encontra-se a variação da percentagem de sectores com n portadoras com o valor de L_{int} . O número de sectores com uma portadora vê o seu valor aumentar pois existem cada vez menos utilizadores a conseguirem realizar serviço, devido à probabilidade de não cobertos também aumentar com L_{int} , como verificado anteriormente. Este aumento, como consequência, é acompanhado de um decréscimo do número de sectores com mais de uma portadora.

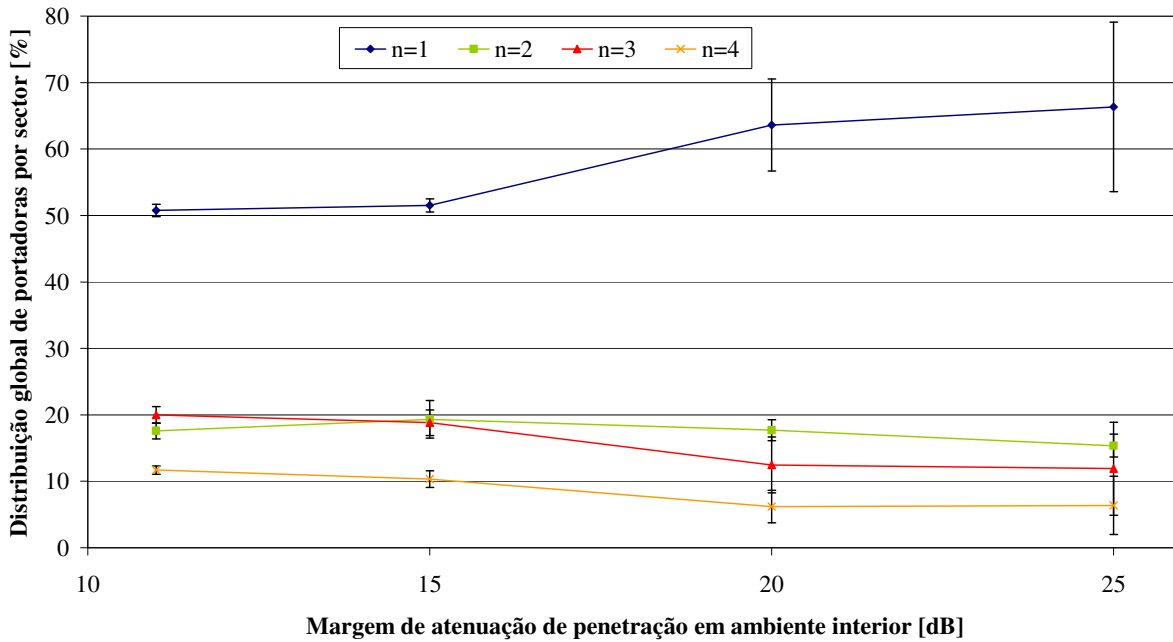


Figura 5.6 – Evolução da distribuição global do número de portadoras por sector com o aumento da atenuação da penetração em ambientes interiores.

No caso da potência média usada pela EB, o seu valor mantém-se aproximadamente constante com o aumento da margem de atenuação de penetração, Figura S. 8, pois o facto de o cenário se tornar cada vez mais exigente, sendo necessário mais potência para cada um dos utilizadores de modo a realizar um dado serviço, enquanto o número de utilizadores diminui, faz com que estes factores se compensem, tornando em média a potência usada por cada uma das EBs pouco influenciável com o aumento do L_{int} .

É de notar que, como a distribuição de tráfego não é uniforme, ir-se-á ter um maior número de portadoras em sectores que estão em zonas com um volume de tráfego elevado. No entanto essas zonas são apenas uma pequena porção da cidade de Lisboa, existindo muitos mais sectores em que o número de portadoras é reduzido. Sendo assim o aumento do número de sectores com uma portadora devido ao aumento de L_{int} , é provocado principalmente pelas zonas onde o volume de tráfego é mais elevado.

Nestas simulações considera-se que existem 4 portadoras disponíveis por sector; caso se diminuísse o seu valor, o impacto seria maioritariamente na probabilidade de atraso traduzindo-se num aumento desta. No entanto, como a percentagem de sectores com mais de uma portadora vai diminuindo com o agravamento de L_{int} , o aumento da probabilidade de atraso na rede não é muito significativo. Verificando-se que devido à prioridade existente da Rel99 sobre os utilizadores HSDPA, o aumento da probabilidade de atraso em HSDPA vai ser mais significativo do que no caso da Rel99.

Verifica-se então que a atenuação de penetração é um factor que condiciona grandemente a QoS fornecida aos utilizadores, sendo importante realizar uma boa estimativa do seu valor adaptando-o a cada caso, para que a rede não seja sub- ou sobre-dimensionada, visto para um valor de L_{int} a variar entre 11 a 25dB obtém-se probabilidades de utilizadores não cobertos entre 25 e 51% em média, condicionando assim o desempenho da rede.

5.3. Impacto Devido à Variação do Serviço Mínimo HSDPA

Efectuaram-se simulações para analisar o impacto da alteração do limiar de HSDPA; até aqui todos os utilizadores que tivessem um serviço com um ritmo igual ou superior a

384kbps estavam a usar HSDPA, passando-se a considerar que somente os utilizadores com ritmos iguais ou superiores a 512kbps é que estão a usar HSDPA.

Na Figura 5.7 está representado os valores da probabilidade de não cobertos e da probabilidade de atraso dos utilizadores HSDPA para os limiares HSDPA de 384kbps e de 512kbps. Quando se transfere todos os utilizadores que tinham serviços com ritmos de 384kbps em HSDPA para a Rel99, existe um aumento bastante acentuado do valor da probabilidade de atraso. Isto deve-se à existência de uma maior exigência de capacidade, ou seja, para um cenário em que o limiar de HSDPA é de 384kbps o utilizador HSDPA, caso houvesse limitação de potência, podia ser reduzido até ao valor do limiar, no entanto se observarmos a Tabela 4.2 o ritmo máximo que um utilizador poderá realizar é de 512kbps logo, para o cenário em que o limiar HSDPA é 512kbps não poderá existir redução tornando-o mais exigente.

A probabilidade de não cobertos decresce devido a haver uma diminuição significativa do número de utilizadores HSDPA⁵ (como consequência da alteração do limiar) como é evidenciado na Figura 5.8. Esta diminuição tem como consequência o aumento de utilizadores a realizar serviços Rel99, visto todos os utilizadores a fazer 384kbps passarem a usar a Rel99, havendo uma maior exigência a nível de capacidade, provocando assim o aumento de utilizadores que não conseguiram serviço, Figura 5.9.

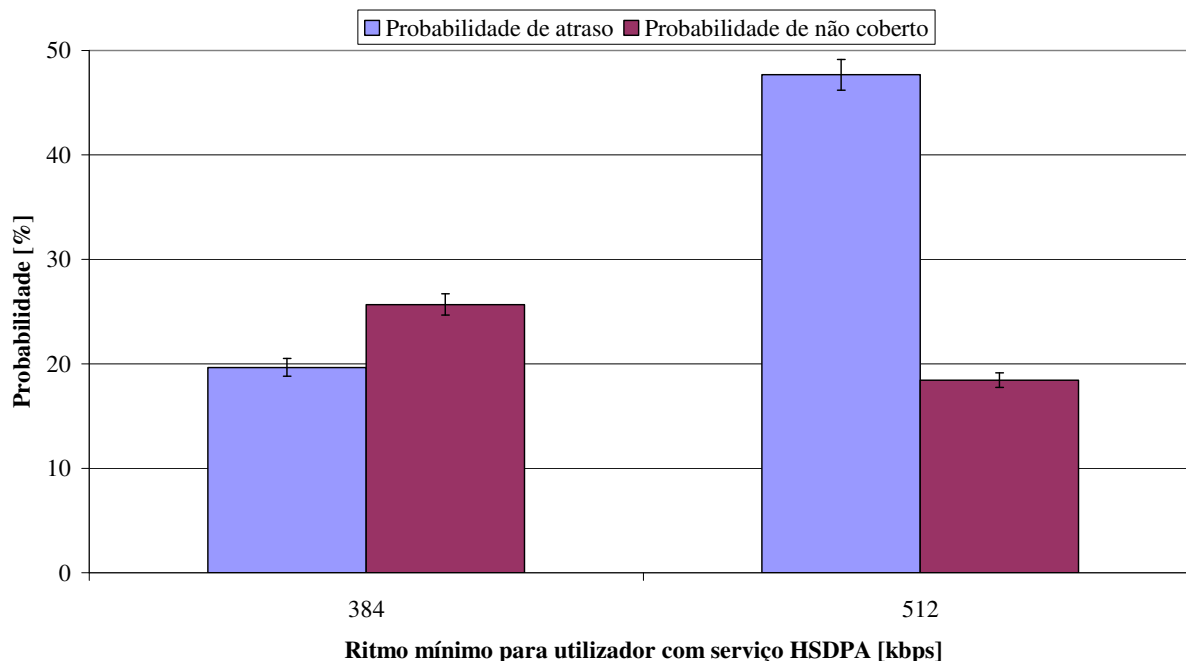


Figura 5.7 – Probabilidade de atraso e utilizadores não cobertos de HSDPA para diferentes ritmos mínimos.

Em relação ao número de portadoras necessárias por sector, verifica-se que com o limiar de HSDPA de 512kbps o seu número aumenta significativamente, visto não só a Rel99 ter uma maior exigência de capacidade, devido aos utilizadores com ritmos de 384kbps, como também os utilizadores de HSDPA não poderem ser reduzidos no caso de limitação de potência, como referido anteriormente. Esta exigência de capacidade é visível na Figura 5.10, onde a percentagem de sectores com 4 portadoras tem um aumento significativo, em contraste com o número de sectores com uma portadora. É de notar que novamente, o facto dos utilizadores Rel99 terem prioridade na atribuição de recursos sobre utilizadores com serviços

⁵ Enquanto no serviço de referência existem 15 a 40% de utilizadores HSDPA, com a alteração do limiar para 512kbps passam a existir um máximo de 15% de utilizadores HSDPA.

HSDPA, também contribui para o aumento da probabilidade de atraso destes utilizadores, pois na eventualidade de após a conclusão da atribuição das portadoras para Rel99 não existir mais nenhuma disponível, todos os utilizadores HSDPA vão ser atrasados. Esta possibilidade é bem visível na Figura 5.9, onde há um aumento do número de utilizadores a usar Rel99 bloqueados e atrasados, ou seja, o número de sectores sem capacidade antes de se realizar o dimensionamento do HSDPA aumenta. O agravar do número de utilizadores atrasados e bloqueados da Rel99 e o facto de esta ser prioritária, reflecte-se da percentagem de sectores com portadoras HSDPA (partilhada ou não), Figura T. 5, observando-se uma diminuição significativa do seu número com a alteração do limiar de HSDPA de 384 para 512kbps, devido à percentagem de sectores com mais de duas portadoras Rel99 ter um grande aumento.

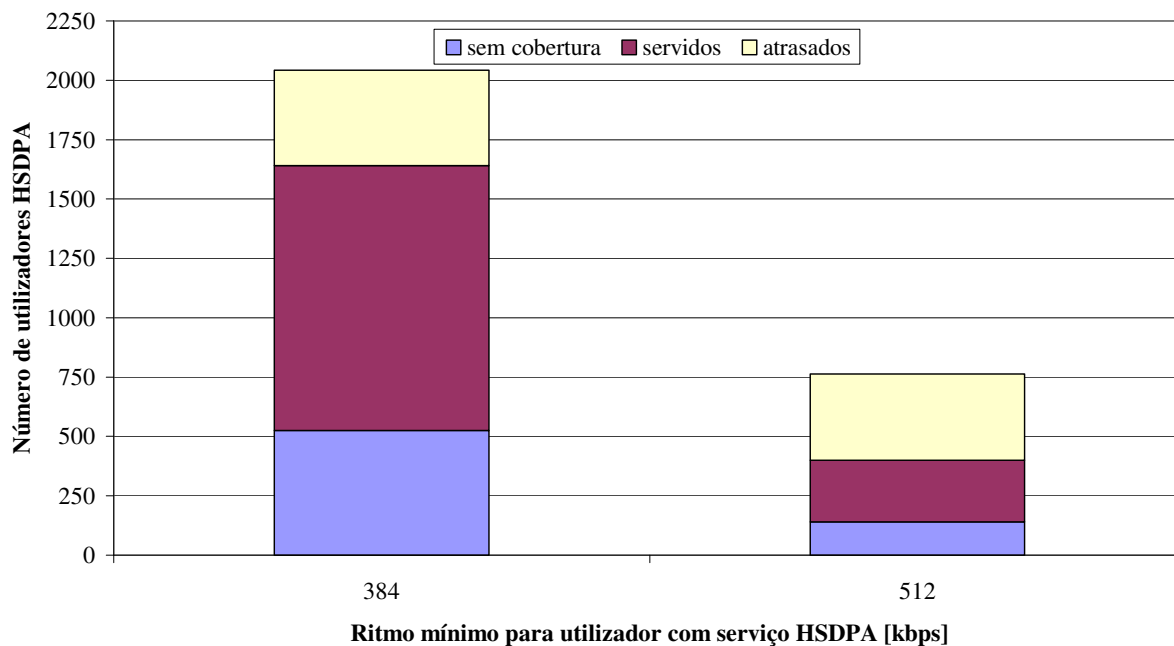


Figura 5.8 – Caracterização dos utilizadores HSDPA para diferentes ritmos mínimos.

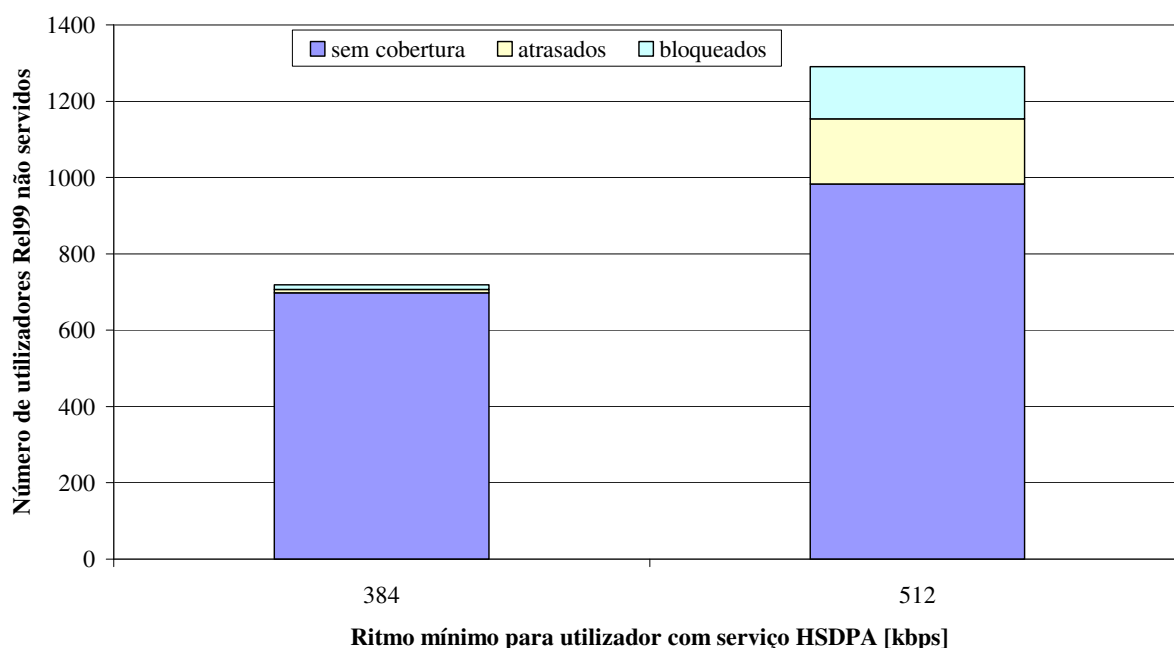


Figura 5.9 – Caracterização dos utilizadores Rel99 não servidos para diferentes ritmos mínimos de HSDPA.

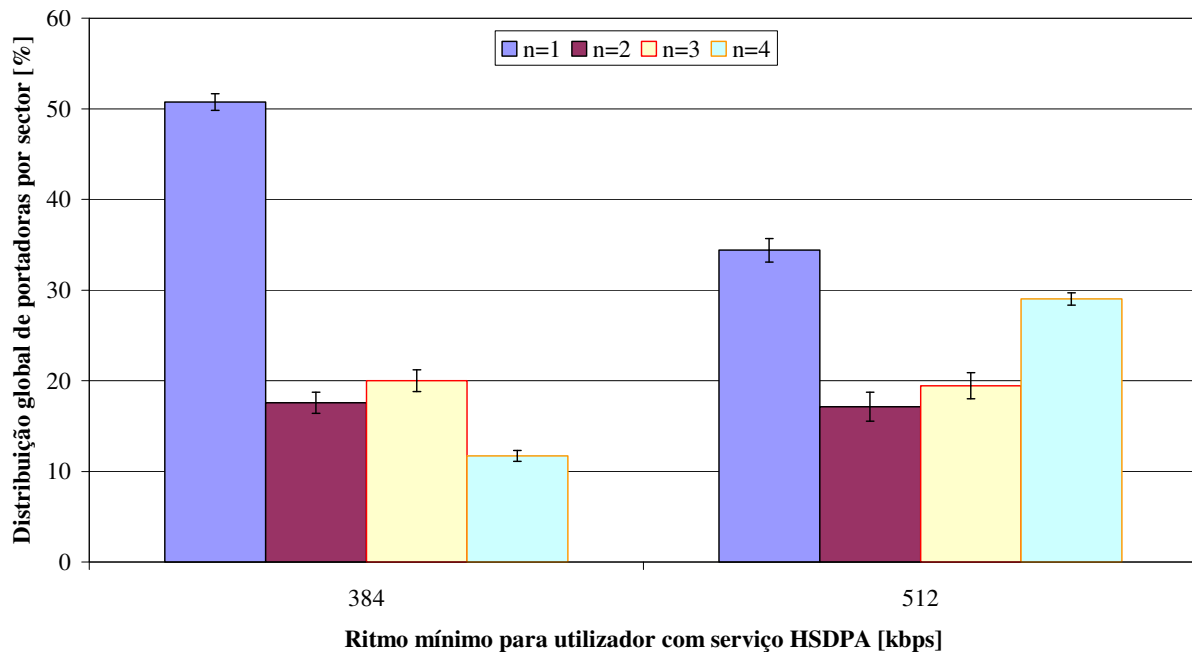


Figura 5.10 – Distribuição global de portadoras por sector para diferentes ritmos mínimos de HSDPA.

Devido às diferenças entre a Rel99 e o HSDPA no procedimento de redução dos utilizadores, referido na Secção 4.2, e à falta de capacidade da Rel99, pode-se verificar pela Figura 5.11 que os utilizadores com ritmos de 384kbps ao usarem Rel99, em média, sofrem uma redução do seu ritmo efectivo, o que comparando com o cenário em que o limiar de HSDPA é de 384kbps não é vantajoso, pois neste caso têm-se um valor de ritmo efectivo igual ao ritmo nominal.

O facto do procedimento de redução da Rel99 só reduzir os utilizadores após ter esgotado todas as portadoras que o sector tem disponíveis limita o HSDPA, pois sectores onde são utilizadas 4 portadoras Rel99 vão ver todos os seus utilizadores HSDPA sempre reduzidos, diminuindo assim a percentagem de sectores com portadoras exclusivas de HSDPA.

No caso da potência de HSDPA, devido ao número de utilizadores HS ser menor para o cenário com o limiar de 512kbps (pois todos os utilizadores de 384kbps passaram para Rel99), tem o seu valor diminuído, passando-se o mesmo com o factor de carga de UL de HSDPA, Figura T. 10 e Figura T. 12. Analogamente na Rel99, a potência usada em média é ligeiramente maior para o limiar de 512kbps assim como o factor de carga de UL, devido ao aumento do número de utilizadores na Rel99, Tabela T. 7 e Tabela Q. 12.

Verifica-se também que existe uma maior redução da potência média de HSDPA para as portadoras não partilhadas, após a mudança do limiar de HSDPA. Este factor está também relacionado com a passagem dos utilizadores com ritmos 384kbps para Rel99, Figura T. 11.

Se o número de portadoras disponíveis por sector for reduzido (nas simulações foram consideradas 4), para o cenário em que o limiar de HSDPA é de 512kbps, existirá um aumento substancial da probabilidade de atraso de HSDPA, visto existir um número elevado de sectores com 4 portadoras sendo que grande parte destes terão somente portadoras Rel99, pois os utilizadores desta têm prioridade sobre os de HSDPA.

Constata-se então, que o facto do HSDPA realizar uma redução do ritmo binário dos seus utilizadores de forma gradual é extremamente vantajosa face à Rel99, pois permite que estes consigam atingir ritmos médios mais elevados, e.g., quando utilizadores com ritmos de 384kbps passam de HSDPA para Rel99 em média realizam um serviço 20% abaixo do ritmo pretendido.

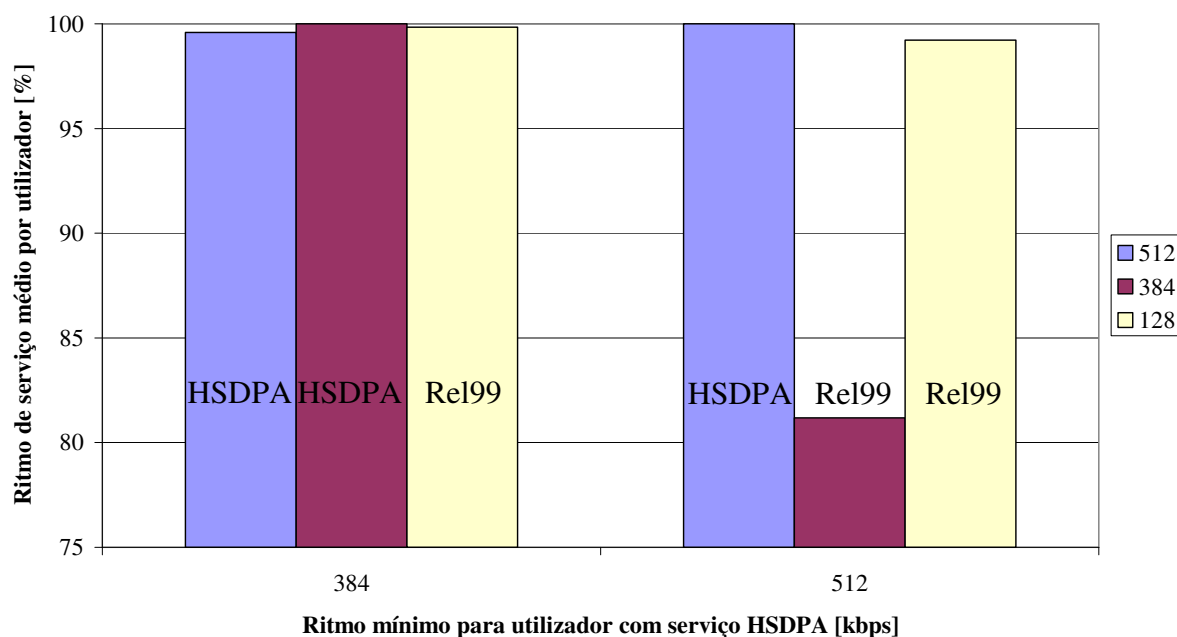


Figura 5.11 – Caracterização do ritmo médio de serviço que os utilizadores conseguem realizar face ao pretendido para diferentes ritmos mínimos de HSDPA.

5.4. Análise de Cenários mais Exigentes em Serviços de Dados

Neste ponto analisam-se duas alterações realizadas aos parâmetros do cenário de referência. Num dos cenários foi feita uma alteração da distribuição dos utilizadores pelos diferentes serviços em relação à distribuição usada no cenário corrente, passando a ter uma distribuição com um maior número de utilizadores a realizar serviços de dados, Figura 5.12, sendo este cenário denominado cenário de dados. No outro cenário é utilizada a mesma distribuição de utilizadores que no de dados, Figura 5.12, mas consideram-se ritmos mais elevados para cada um dos serviços, Tabela 5.1, sendo este o cenário de dados exigente.

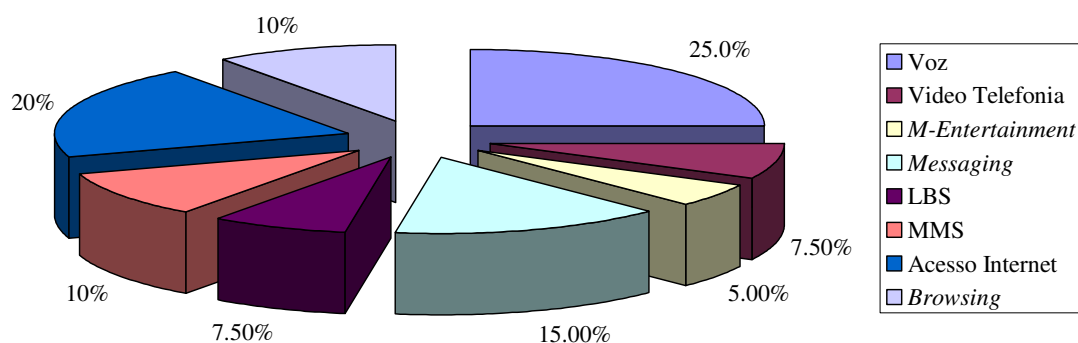


Figura 5.12 – Distribuição de tráfego para o cenário de dados e de dados exigente.

Na Figura 5.13 encontra-se representada a percentagem de potência usada por portadora para HSDPA em relação ao máximo (19.9W, como referido na Secção 5.1) para três cenários, o de referência, o de dados e o de dados exigente. Verifica-se que a potência usada por uma portadora no cenário de dados, tanto para a partilhada como para a não partilhada, sofre um pequeno aumento face ao cenário de referência devido à existência de menos utilizadores a fazer voz sendo estes redistribuídos por serviços de dados (nomeadamente os serviços de *Messaging* e *Acesso Internet*, Tabela 5.1). No entanto o aumento é mais significativo quando passamos para o cenário de dados exigente, pois não só

os utilizadores que estavam a fazer voz passaram para serviços de dados como ainda foram aumentados os ritmos e as probabilidades de os utilizadores estarem a realizar os ritmos mais elevados, Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Correspondência entre serviços e ritmos possíveis para o cenário de dados e de dados exigente.

Serviço	Dados		Dados exigente	
	Débito [kbps]	Percentagem [%]	Débito [kbps]	Percentagem [%]
Voz	12.2 (CS)	100	12.2 (CS)	100
Vídeo Telefonía	64.0 (CS)	100	64.0 (CS)	100
M-Entertainment	384.0 (PS)	20	384.0 (PS)	80
	128.0 (PS)	80	128.0 (PS)	20
Messaging	384.0 (PS)	20	384.0 (PS)	80
	128.0 (PS)	80	128.0 (PS)	20
LBS (Serviços de Localização)	128.0 (PS)	20	128.0 (PS)	80
	64.0 (PS)	80	64.0 (PS)	20
MMS (Multimedia Messaging Service)	128.0 (PS)	20	128.0 (PS)	80
	64.0 (PS)	80	64.0 (PS)	20
Acesso Internet	512.0 (PS)	50	1024.0 (PS)	80
	384.0 (PS)	50	512.0 (PS)	20
Browsing	384.0 (PS)	20	384.0 (PS)	80
	128.0 (PS)	80	128.0 (PS)	20

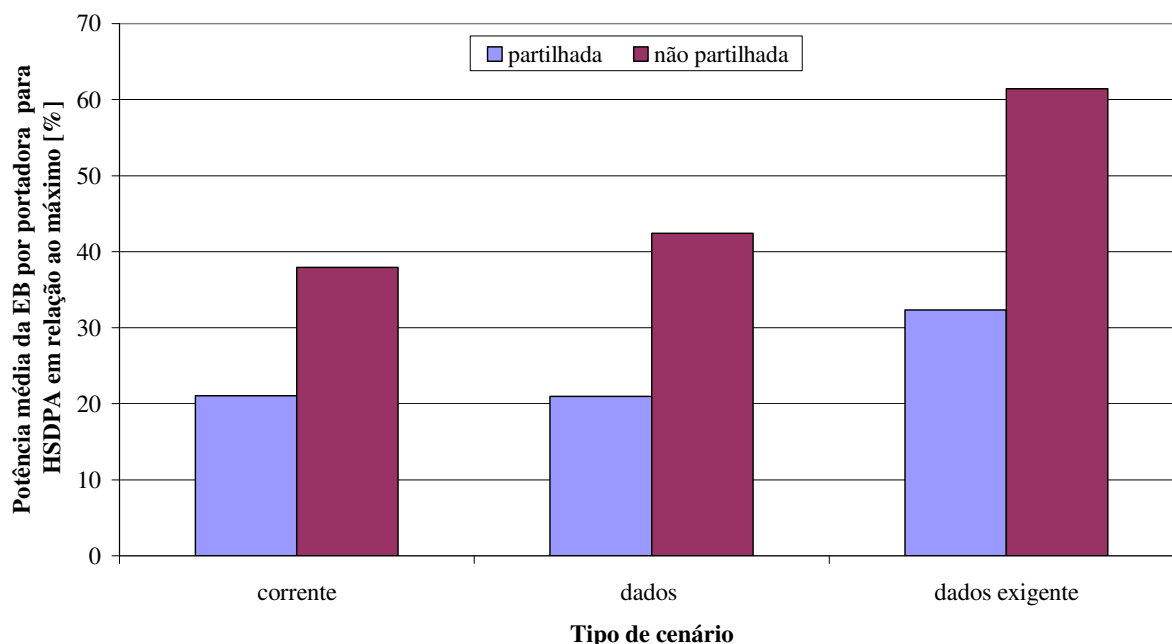


Figura 5.13 – Evolução da potência média da EB utilizada para portadoras HSDPA partilhadas e não partilhadas com o tipo de cenário.

À medida que é aumentada a taxa de penetração dos serviços e os seus ritmos, verifica-se que a probabilidade de utilizadores não cobertos em HSDPA não sofre uma grande oscilação, no entanto o mesmo já não se pode afirmar sobre a probabilidade de atraso, pois no caso em que são introduzidos ritmos mais elevados, cenário de dados exigente, esta decresce, não por o número de utilizadores diminuir, mas devido ao universo de utilizadores HSDPA ter praticamente duplicado, Figura 5.14. Em relação à probabilidade de atraso no cenário de

dados, Figura U. 1, onde apenas é modificada a taxa de penetração dos utilizadores passando a existir uma maior percentagem de utilizadores a realizar serviços de dados tanto em Rel99 como em HSDPA, verifica-se que esta é superior à dos restantes cenários, devido aos utilizadores Rel99 terem prioridade sobre os de HSDPA, ou seja, como existe uma maior exigência da rede pelos serviços de Rel99 o número de portadoras disponíveis para HSDPA diminui, traduzindo-se assim no aumento da probabilidade de atraso, como referido anteriormente. Este aumento no número de portadoras de Rel99 é visível na Figura 5.15.

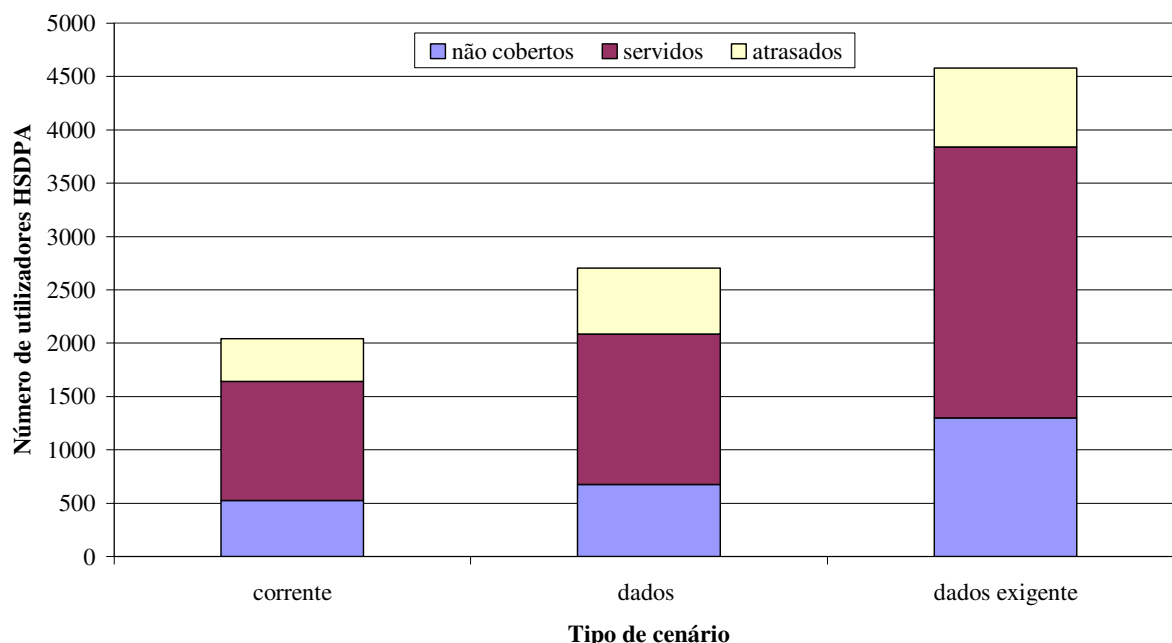


Figura 5.14 – Evolução da distribuição do número de utilizadores HSDPA com a alteração do tipo de cenário.

Verifica-se que no cenário de dados exigente o número de utilizadores HSDPA aumenta consideravelmente, sendo perceptível pelas Figura 5.14 e Figura 5.16 o aumento que o HSDPA introduz ao nível da capacidade da rede, possibilitando ritmos e um número de utilizadores bastante elevados. Este aumento de capacidade torna-se mais evidente ao analisar a Figura 5.17, onde a taxa de redução média do ritmo por utilizador HDSPA é bastante reduzida. No entanto é de notar que existe ainda um número de utilizadores não cobertos considerável, muito devido à rede ser uma rede co-localizada com GSM, não tendo portanto em conta a limitação de cobertura do UMTS.

Em relação ao número de portadoras, Figura 5.15, confirma-se que, para o cenário mais exigente de dados, existe um acréscimo substancial de sectores com mais de uma portadora de HSDPA, tendo como consequência existido um aumento do número de sectores com uma portadora Rel99, ou seja, o número de utilizadores a realizar serviços Rel99 diminuiu.

Tendo em conta que estas simulações foram realizadas considerando que estão 4 portadoras disponíveis por sector, se este valor for diminuído iria observar-se um incremento da probabilidade de utilizadores atrasados, mas não na mesma proporção da que se verifica nas secções anteriores, visto haver uma maior incidência de serviços de dados com ritmos HSDPA. É de notar que, no limite em que só existe uma portadora disponível, o valor vai ser necessariamente substancial pois a Rel99 continua a ser prioritária.

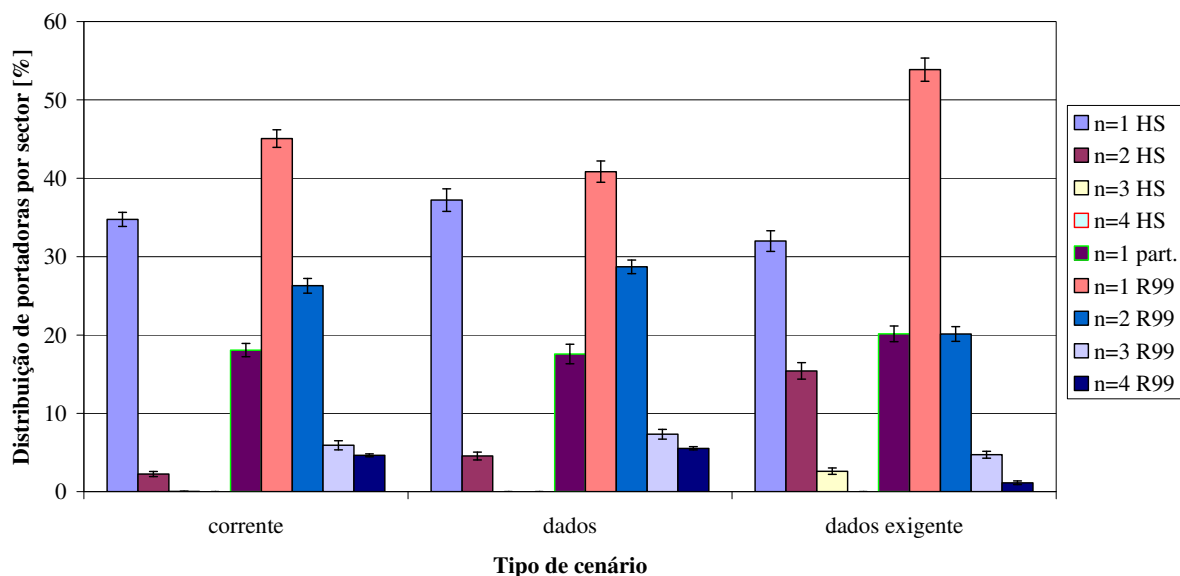


Figura 5.15 – Distribuição do número de portadoras HSDPA e Rel99 por sector para cada tipo de cenário.

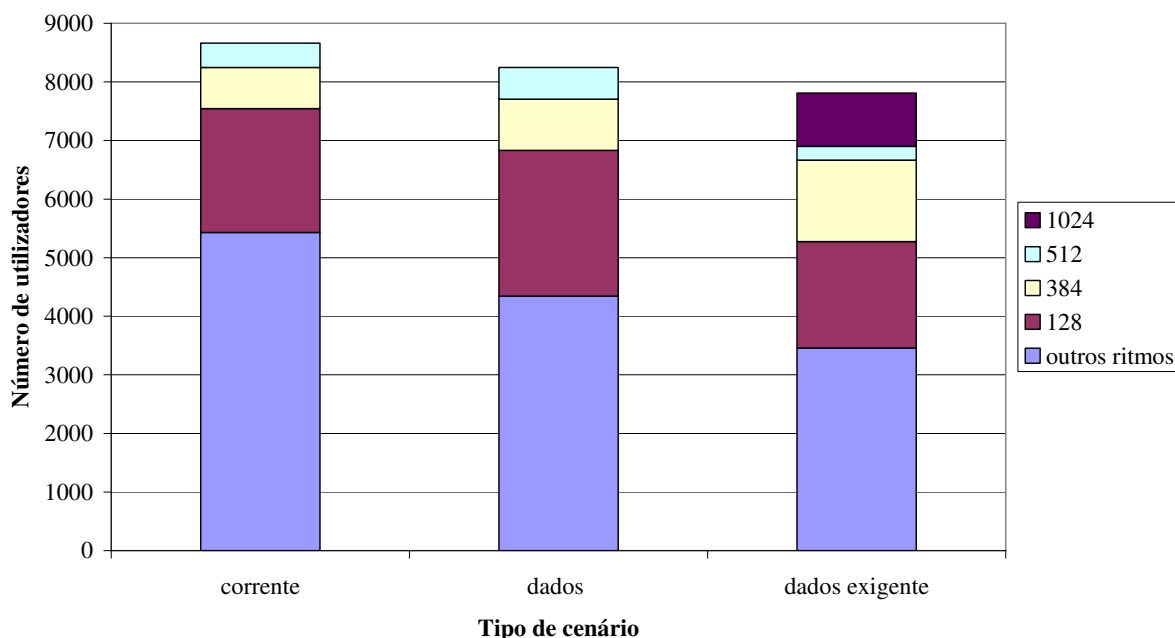


Figura 5.16 – Distribuição dos utilizadores servidos na rede pelos ritmos pretendidos para cada tipo de cenário.

O simulador desenvolvido é um simulador estático, ou seja, avalia a rede mediante *snapshots* desta, e por isso os resultados obtidos referentes ao número de utilizadores na rede não são os reais. No caso do HSDPA, não é considerado um dos principais factores que lhe confere um bom desempenho, que é a partilha dos recursos no tempo tendo um baixo valor de TTI, mas somente a partilha do código. No entanto, é possível realizar uma extrapolação dos resultados obtidos, sendo esta realizada para o cenário corrente e o de dados exigente, Anexo L. Através de (5.1), (5.2), considerando os valores da duração e volume dos serviços, Tabela 5.2, e a taxa de penetração de cada serviço, Figura 5.2 e Figura 5.12, é possível determinar um volume de tráfego equivalente por sessão para cada utilizador, Tabela L. 1 e Tabela L. 2. Tendo em conta o número de utilizadores a realizar o serviço a um dado ritmo nominal, o ritmo médio que é conseguido, Tabela L. 3, e considerando o período de hora de pico, é determinado o volume de tráfego que existe na rede. Considerando então:

- que estão disponíveis para UMTS até 4 portadoras,

- existem 540 sectores na rede (180 EBs trisectorizadas),
- o volume de tráfego equivalente numa sessão por utilizador,
- o volume de tráfego existente na rede,

obtém-se que na hora de pico se consegue servir 1399 utilizadores por sector no cenário corrente, e 2634 utilizadores por sector no cenário de dados exigente, valores que demonstram a melhoria que a implementação do UMTS tem face ao GSM em termos de capacidade (660 utilizadores por sector por hora considerando 3 portadoras disponíveis, Anexo L).

$$V_{eq\ total} = \frac{\sum_{n=1}^{Nserviços} pen_n \times V_n}{\sum_{n=1}^{Nserviços} pen_n} \quad (5.1)$$

$$N_{ut} = \frac{V_{tot}}{V_{eq\ total}} \quad (5.2)$$

em que:

- $V_{eq\ total}$: volume equivalente total gerado por utilizador numa sessão;
- pen_n : penetração de um dado ritmo para o serviço n ;
- V_n : volume gerado para o serviço n numa sessão;
- V_{tot} : volume total gerado na rede numa sessão;
- N_{ut} : número de utilizadores servidos pela rede na hora de pico.

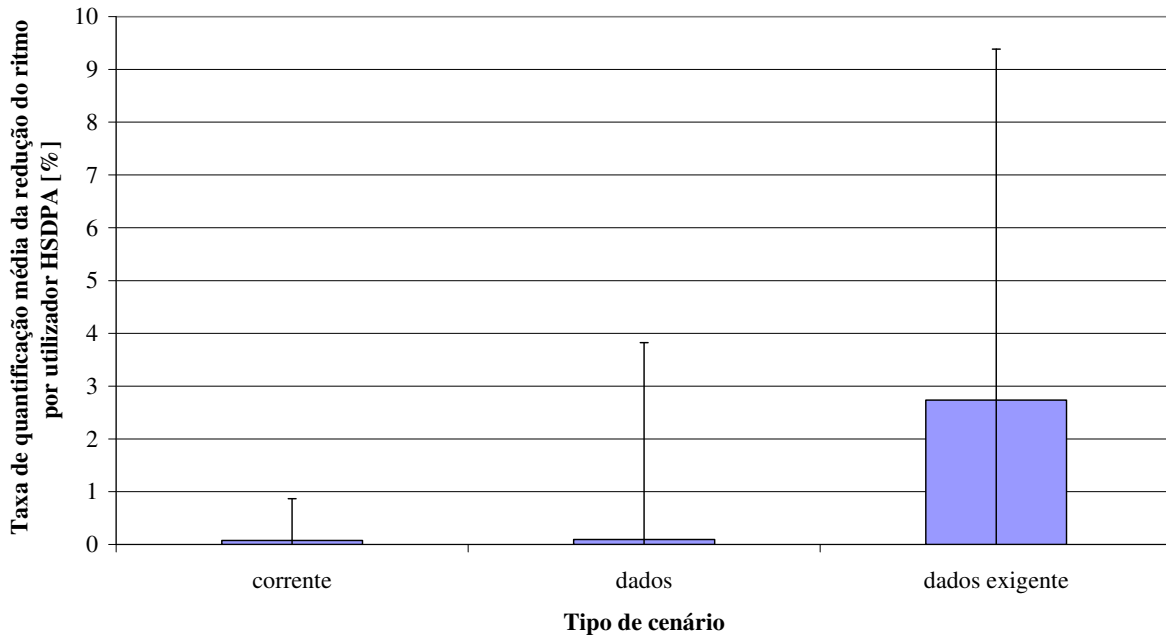


Figura 5.17 – Redução média do ritmo pretendido que cada utilizador experimenta.

É possível também realizar uma extrapolação para os utilizadores a realizar serviço HSDPA considerando os pressupostos referidos anteriormente, sendo que se se pretender ter um ritmo médio de 384kbps para o cenário corrente, consegue-se servir 405 utilizadores por sector na hora de pico e para o cenário de dados exigente consegue-se servir 1412 utilizadores por sector na hora de pico.

Tabela 5.2 – Caracterização do volume de sessão em DL por serviço (baseado em [Rodr05]).

Serviço	$\bar{\tau}$ [s]	V [kB]
Voz	120	-
Vídeo Telefonía	120	-
M-Entertainment	-	2300
Messaging	-	10
LBS (Serviços de Localização)	-	230
MMS (Multimedia Messaging Service)	-	60
Acesso Internet	-	1000
Browsing	-	1200

Na cidade de Lisboa existem 180 EBs trisectorizadas, conseguindo-se servir 755 515 utilizadores numa hora no cenário corrente, enquanto no cenário de dados exigente são servidos 1 422 420 utilizadores, verificando-se que apesar de existir uma maior exigência no cenário de dados exigente, a rede consegue suportar bastante mais utilizadores devido à existência de HSDPA.

Verifica-se então que a mudança para cenários mais exigentes, aumentando o número de utilizadores a usar HSDPA, através da introdução de mais e melhores serviços de dados, melhora a capacidade da rede permitindo ritmos mais elevados por utilizador com uma taxa de redução média do ritmo baixa.

6. Conclusões

O objectivo deste trabalho é realizar o planeamento óptimo de uma rede celular UMTS para serviços de dados, sendo por isso desenvolvido um simulador que permite realizar o estudo sobre a rede fornecida pela Optimus (co-localizada com a de GSM) avaliando-se o seu desempenho mediante diferentes cenários de tráfego e considerando a técnica de evolução de UMTS, HSDPA.

Este simulador foi desenvolvido sob um já existente [Card06] que foca somente a Rel99. Foram realizadas várias alterações ao nível da interface para permitir ter mais funcionalidades no simulador, obtendo-se assim uma maior variedade de cenários possíveis de simulação. Foram também modificadas algumas das rotinas do simulador base de forma a ser possível implementar o algoritmo desenvolvido para atribuição de portadoras HSDPA, sendo que este pode adicionar dois tipos de portadoras (partilhadas ou não partilhadas) consoante a realidade em questão. As portadoras partilhadas podem ser de dois tipos, podem usar a potência remanescente da Rel99, ou então usar a percentagem de potência disponível indicada pelo utilizador. O modelo usado no algoritmo tem em conta diversos pressupostos para o cálculo da potência da EB usada pelos utilizadores. No processo de atribuição de portadoras, os utilizadores de serviços com ritmos do tipo Rel99 têm prioridade sobre os utilizadores HSDPA.

A avaliação do comportamento da rede é realizada considerando diversos factores, entre os quais:

- a probabilidade de utilizadores não cobertos e atrasados;
- o número de portadoras por sector;
- a potência da EB necessária;
- o ritmo binário dos utilizadores.

No trabalho, começou-se por consolidar conhecimentos sobre UMTS e pesquisar informação sobre a evolução do UMTS, nomeadamente o HSPA. De seguida foi escolhido o modo de implementação da técnica HSDPA e respectivas considerações. Foram feitas simulações com 13000 utilizadores (10305 efectivamente na rede), oito serviços tendo sido também realizada uma aferição de validade do simulador. Os serviços considerados foram Voz, Vídeo Telefonía, M-Entertainment, Messaging, LBS (Serviços de Localização), MMS, Acesso Internet, *Browsing*.

Foi estabelecido o número de simulações necessárias para que exista uma amostragem de resultados que permitam uma relevância estatística, visto no simulador existirem componentes aleatórias que modificam as características de simulação na rede (e.g., ritmos dos utilizadores), tendo-se verificado que dez simulações para cada cenário em estudo são suficientes.

Define-se um cenário de referência para que se possa analisar o impacto que alterações dos parâmetros de simulação têm no desempenho da rede. Este cenário é caracterizado principalmente por:

- uma distribuição de tráfego corrente, ou seja, maioritariamente de serviço de voz e serviços de dados a ritmos baixos;
- ritmos binários não superiores a 384kbps, salvo no serviço de Acesso Internet, existindo uma predominância dos ritmos mais baixos;
- um ritmo mínimo para realizar serviço HSDPA de 384kbps.

Foi então realizado um estudo modificando:

- a atenuação de penetração em interiores;
- o ritmo mínimo de serviço HSDPA;
- a distribuição de tráfego;

- os ritmos binários e predominância dos mesmos.

Com base nos resultados das simulações realizadas concluiu-se que:

- a atenuação de penetração é um factor que condiciona grandemente a QoS fornecida aos utilizadores, sendo importante realizar uma boa estimativa do seu valor adaptando-o a cada caso, para que a rede não seja sub- ou sobre-dimensionada, visto para um valor de L_{int} a variar entre 11 a 25dB obtém-se probabilidades de utilizadores não cobertos entre 25 e 51% em média, condicionando assim o desempenho da rede.
- o facto do HSDPA realizar uma redução do ritmo binário dos seus utilizadores de forma gradual é extremamente vantajosa face à Rel99, pois permite que estes consigam atingir ritmos médios mais elevados, e.g., quando utilizadores com ritmos de 384kbps passam de HSDPA para Rel99 em média realizam um serviço 20% abaixo do ritmo pretendido;
- a mudança para cenários mais exigentes, aumentando o número de utilizadores a usar HSDPA, através da introdução de mais e melhores serviços de dados, melhora a capacidade da rede permitindo ritmos mais elevados por utilizador com uma taxa de redução média do ritmo baixa;
- é visível que o HSDPA é uma boa solução para o aumento da capacidade de UMTS visto ter um bom desempenho e a migração do UMTS para o HSDPA ser pacífica, tendo custos mais reduzidos face a outras evoluções.

O simulador desenvolvido permite então avaliar o comportamento de uma rede mediante um dado cenário com a técnica HSDPA, havendo no entanto limitações devido às considerações que foram tomadas para a implementação deste.

Pelo facto de a probabilidade de não cobertos ser elevada, devido à rede ser co-localizada, e o simulador ser estático, ou seja, analisa a rede baseado em *snapshots*, o número de utilizadores que se está a considerar não é o real, visto cada *snapshot* corresponder a um TTI. Sendo assim, não se pode avaliar uma das vantagens do HSDPA que é a partilha dos recursos no tempo, mas somente a partilha do código. No entanto, pode-se realizar uma extrapolação dos resultados obtendo-se que na hora de pico consegue-se servir 1399 utilizadores por sector no cenário corrente e 2634 utilizadores por sector no cenário de dados exigente. Para HSDPA consegue-se servir 405 utilizadores por sector no cenário corrente e 1412 utilizadores por sector no cenário de dados exigente.

Na cidade de Lisboa existem 180 EBs trisectorizadas, conseguindo-se servir 755 515 utilizadores numa hora no cenário corrente, enquanto no cenário de dados exigente são servidos 1 422 420 utilizadores, verificando-se que apesar de existir uma maior exigência no cenário de dados exigente, a rede consegue suportar bastante mais utilizadores devido à existência de HSDPA.

Actualmente, a técnica HSDPA já se encontra implementada nas redes suportando ritmos máximos de 1.8Mbps, sendo principalmente utilizada em computadores (*mobile broadband*), ou seja, não se encontram terminais a utilizar HSDPA. Visto os utilizadores no presente realizarem HSDPA em computadores, e no futuro com o aumento dos ritmos possíveis esta tendência deverá massificar-se, o factor mobilidade não considerado neste trabalho, não será o factor preponderante para a maioria dos clientes de um operador.

Algumas indicações que podem ser consideradas para trabalho futuro são:

- melhor adequação do modelo de HSDPA;
- realizar simulações não com a rede co-localizada GSM mas sim com uma rede mais densa, com a possibilidade de adicionar EBs para HSDPA;
- implementar uma priorização de serviços e tarifários;
- implementar a técnica HSUPA;
- analisar o impacto económico da implementação do HSPA;
- considerar no modelo a influência da interferência sobre o HSDPA, tanto dos canais que não estão a ser utilizados por este, como a proveniente de sectores adjacentes.

Anexo A – Modelo de Propagação

O modelo COST 231 Walfisch-Ikegami [DaCo99] combina os modelos de Ikegami e de Walfisch-Bertoni com os resultados de medidas realizadas em cidades europeias, tendo sido desenvolvido no âmbito do projecto COST 231 [Corr05]. Este modelo tem em conta parâmetros de caracterização do meio urbano, tais como a altura dos prédios e a largura das ruas, que melhoram a estimativa da atenuação de propagação. Os parâmetros de entrada deste modelo são:

- Altura da estação base (h_b);
- Altura dos edifícios (H_B);
- Altura do TM (h_m);
- Largura das ruas (w_s);
- Separação entre edifícios (w_b);
- Distância entre o emissor e o receptor (d);
- Ângulo de orientação (ϕ);
- Frequência (f).

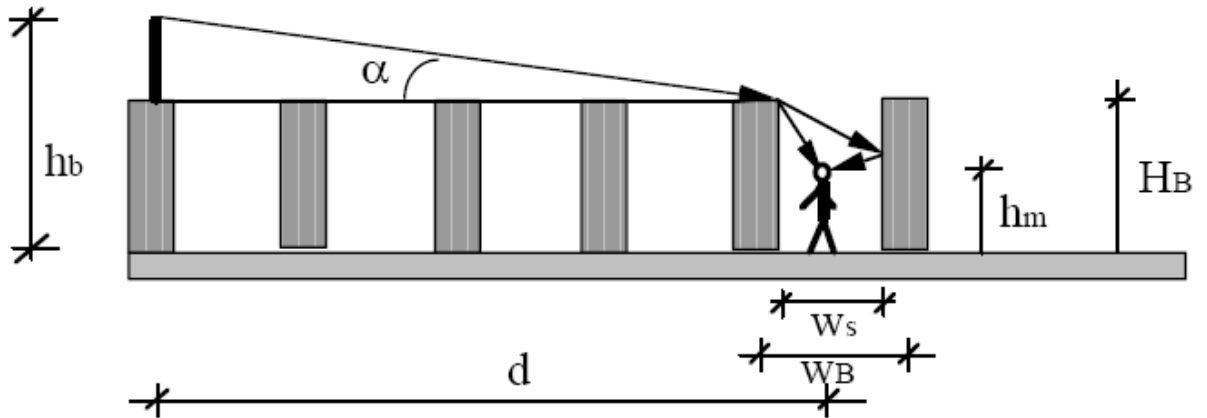


Figura A. 1 – Ilustração dos parâmetros de entrada do modelo COST 231 Walfisch-Ikegami (extraído de [Corr05]).

Este modelo distingue entre linha de vista (*Line-of-Sight*, LoS) e sem linha de vista (*Non-Line-of-Sight*, NLoS).

Para o caso de NLoS a atenuação determina-se por (A.1) sendo esta composta pelos termos:

- L_0 – atenuação de espaço livre;
- L_{tt} – atenuação devida às multilâminas que intersectam com o primeiro elipsóide de Fresnel;
- L_{tm} – atenuação devido à difracção no telhado e à dispersão;

$$L_{p[dB]} = \begin{cases} L_{0[dB]} + L_{tt[dB]} + L_{tm[dB]} & , L_{tt} + L_{tm} > 0 \\ L_{0[dB]} & , L_{tt} + L_{tm} \leq 0 \end{cases} \quad (A.1)$$

onde

$$L_{0[dB]} = 32.4 + 20 \cdot \log(d_{[km]}) + 20 \cdot \log(f_{[MHz]}) \quad (A.2)$$

$$L_{tm[dB]} = -16.9 - 10 \cdot \log(w_{s[m]}) + 10 \cdot \log(f_{[MHz]}) + 20 \cdot \log(H_{B[m]} - h_{m[m]}) + L_{ori[dB]} \quad (A.3)$$

com

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \cdot \phi_{[deg]} & , 0^\circ \leq \phi \leq 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \cdot (\phi_{[deg]} - 35) & , 35^\circ \leq \phi \leq 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \cdot (\phi_{[deg]} - 55) & , 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (A.4)$$

e onde

$$L_{tr[dB]} = L_{bsh[dB]} + k_a + k_d \log(d_{[km]}) + k_f \log(f_{[MHz]}) - 9 \log(w_{B[m]}) \quad (A.5)$$

com

- k_a correspondente a perdas devido à antena da EB estar abaixo do nível dos edifícios;
- k_d e k_f representando a dependência das perdas por difracção multilâmina com a distância e a frequência, respectivamente.

$$k_d = \begin{cases} 18 & , h_b > H_B \\ 18 - 15 \frac{h_b - H_B}{H_B} & , h_b \leq H_B \end{cases} \quad (A.6)$$

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log(h_{b[m]} - H_{B[m]} + 1) & , h_b > H_B \\ 0 & , h_b \leq H_B \end{cases} \quad (A.7)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & , h_b > H_B \\ 54 - 0.8 \cdot (h_{b[m]} - H_{B[m]}) & , d \geq 0.5 \text{km e } h_b \leq H_B \\ 54 - 1.6 \cdot (h_{b[m]} - H_{B[m]}) \cdot d_{[km]} & , d < 0.5 \text{km e } h_b \leq H_B \end{cases} \quad (A.8)$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \cdot \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right) & , \text{zonas urbanas e suburbanas} \\ -4 + 1.5 \cdot \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right) & , \text{centros urbanos} \end{cases} \quad (A.9)$$

Na ausência de dados concretos, são recomendados os seguintes valores:

- $w_B \in [20, 50]$ m ;
- $w_s = w_B / 2$;
- $\phi = 90^\circ$;
- $H_{B[m]} = 3 \times (n^\circ \text{ pisos}) + H_{tel}$;
- $H_{tel[m]} = \begin{cases} 3, \text{inclinado} \\ 0, \text{plano} \end{cases}$.

Este modelo assume que a estrutura urbana é regular e que todos os edifícios têm a mesma altura. Se a irregularidade da estrutura urbana e das alturas dos edifícios for elevada, o erro nos resultados será substancial tendo-se de adoptar outro modelo de propagação. O erro também aumenta quando h_b diminui em relação a H_B . A validade dos resultados só pode ser assegurada se os parâmetros de entrada satisfizerem as condições de aplicabilidade:

- $f \in [800, 2000]$ MHz ;
- $d \in [0.02, 5]$ km ;
- $h_b \in [4, 50]$ m ;
- $h_m \in [1, 3]$ m .

Neste trabalho considera-se que não existe linha de vista entre a EB e o utilizador, um H_B de 24m, w_s de 24m, w_B de 48m, h_m de 1.8m e um ϕ de 90° .

Anexo B – Balanço de Potência

A atenuação de propagação é dada por [Corr05]:

$$L_p[\text{dB}] = P_e[\text{dBm}] + G_e[\text{dBi}] - P_r[\text{dBm}] + G_r[\text{dBi}] = EIRP_{[\text{dBm}]} - P_r[\text{dBm}] + G_r[\text{dBi}] \quad (\text{B.1})$$

onde

- P_e é a potência de emissão aos terminais da antena;
- G_e é o ganho da antena de emissão;
- P_r é a potência disponível na recepção aos terminais da antena;
- G_r é o ganho da antena de recepção;
- $EIRP$ é a potência isotrópica radiada equivalente.

O valor do $EIRP$ depende do sentido da ligação, seja em UL (B.3) ou em DL (B.4). No UL tem de se ter em conta a atenuação provocada pela presença do utilizador, enquanto no DL tem de se ter em conta as perdas dos cabos que ligam os emissores às antenas. Na Tabela B. 1 encontram-se valores típicos do $EIRP$ para a EB e TM.

$$EIRP_{[\text{dBm}]} = P_{e[\text{dBm}]} + G_{e[\text{dBi}]} \quad (\text{B.2})$$

$$EIRP_{[\text{dBm}]} = P_{Tx[\text{dBm}]} - L_u[\text{dB}] + G_{e[\text{dBi}]} \quad (\text{B.3})$$

$$EIRP_{[\text{dBm}]} = P_{Tx[\text{dBm}]} - L_c[\text{dB}] + G_{e[\text{dBi}]} \quad (\text{B.4})$$

onde

- P_{Tx} é a potência de saída do emissor;
- L_u são as perdas devidas à presença do utilizador em UL;
- L_c são as perdas no cabo entre o emissor e a antena em DL.

Tabela B. 1 – Valores típicos do P_{Tx} [Corr05].

$P_{Tx[\text{dBm}]}$			
Estação Base			Terminal Móvel
Macro Célula	Micro Célula	Pico Célula	
[40, 43]	[30, 33]	[20, 23]	[10, 33]

O ganho da antena de recepção G_r aumenta caso se use diversidade, diminuindo assim o E_b/N_0 , necessário no receptor. O uso de diversidade é feito apenas nas EBs devido a limitações tecnológicas. O ganho total com diversidade é dado por:

$$G_{rdiv[\text{dB}]} = G_{r[\text{dB}]} + G_{div[\text{dB}]} \quad (\text{B.5})$$

onde

- G_{rdiv} é o ganho total na recepção com diversidade;
- G_{div} é o ganho de diversidade;

O valor da potência no receptor também depende do sentido da ligação. Para UL tem-se:

$$P_{Rx[\text{dBm}]} = P_{r[\text{dBm}]} - L_c[\text{dB}] \quad (\text{B.6})$$

onde

- P_{Rx} é a potência à entrada do receptor;

enquanto em DL P_{Rx} é dado por:

$$P_{Rx[\text{dBm}]} = P_{r[\text{dBm}]} - L_u[\text{dB}] \quad (\text{B.7})$$

Estas grandezas apresentam valores típicos de acordo com [HoTo04] e [MaCo05], apresentados na Tabela B. 2.

Tabela B. 2 – Valores típicos de algumas grandezas em UL e DL.

Parâmetros	Valores típicos	
	UL	DL
$P_{Tx[dBm]}$	[10, 33]	[20, 43]
$G_{e[dBi]}$	0	18.5
$L_{c[dB]}$	2	2
$L_{u[dB]}$ Voz Dados	3	3
	1	1
$G_{r[dB]}$	18.5	0
$G_{div[dB]}$	2	-
$F_{[dB]}$	5	9

A sensibilidade do receptor em UMTS calcula-se por:

$$P_{Rx\min[dBm]} = N_{[dBm]} - G_{p[dB]} + (E_b/N_0)_{[dB]} \quad (B.8)$$

onde

- N é a potência total de ruído;
- G_p é o ganho de processamento.

O ganho de processamento e a potência total de ruído (que contabiliza o ruído térmico e a interferência causada pelos utilizadores), podem ser determinadas a partir das expressões (B.9), (B.10) respectivamente.

$$G_{p[dB]} = 10 \cdot \log(R_c/R_b) \quad (B.9)$$

$$N_{[dBm]} = -174 + 10 \cdot \log(\Delta f_{[Hz]}) + F_{[dB]} + M_{I[dB]} \quad (B.10)$$

onde

- Δf é a largura de banda do sinal, tomada neste caso como o ritmo de codificação, R_c ;
- F é o factor de ruído;
- M_I é a margem de interferência, dependente da carga no sistema;
- R_b é o ritmo de transmissão associado ao serviço.

Os valores típicos da relação sinal ruído, segundo [Corr05] para os diferentes tipos de serviço encontram-se na Tabela B. 3.

Tabela B. 3 – Valores de E_b/N_0 para diferentes serviços (extraído de [Corr05]).

Serviços	$R_{b[kb/s]}$	$E_b/N_0 [dB]$
Voz	12.2	[4.8, 8.8]
Dados	64	[1.1, 3.8]
	144	[0.9, 3.5]
	384	[0.4, 3.2]
	2000	[0.2, 3.0]

Os valores de E_b/N_0 dependem do tipo de serviço, da QoS necessária, da velocidade do TM e do tipo de ambiente. O facto de se considerar a EB, ou o TM leva também a diferentes

valores de E_b/N_0 , visto não se conseguir no TM atingir sensibilidades tão boas como as das EBs.

É ainda necessário ter em conta as variações em torno do valor médio da potência, devido à mobilidade do utilizador, ao multi-percurso e pelas características do meio de propagação, i.e., desvanecimento, que pode ser rápido ou lento. O desvanecimento rápido pode ser estimado pela distribuição de Rayleigh, podendo ser compensado através do controle de potência para utilizadores que se desloquem a baixas velocidades, estabelecendo-se uma margem de segurança entre os 2 e os 5dB [MaCo05]. O desvanecimento lento pode ser caracterizado por uma distribuição log-normal; para compensar este tipo de desvanecimento deve-se guardar uma margem de segurança na ordem dos 6dB [MaCo05].

Há ainda que contabilizar para a margem de segurança outras margens, para além das do desvanecimento, tais como a margem que compensa as perdas suplementares que os edifícios provocam no sinal. A margem de segurança é calculada por:

$$M_{[dB]} = M_{SF[dB]} + M_{FF[dB]} + L_{int[dB]} - G_{SH[dB]} \quad (B.11)$$

onde

- M_{SF} é a margem de desvanecimento lento;
- M_{FF} é a margem de desvanecimento rápido;
- L_{int} é a atenuação de penetração em interiores;
- G_{SH} é o ganho de *soft handover*.

Outro factor a ter em conta são as “perdas de espalhamento”, que são dadas por:

$$L_{SP[dB]} = P_{traf[dB]} \quad (B.12)$$

onde

- P_{traf} é a potência utilizada para sinalização;

A potência utilizada na sinalização vem dada por:

$$P_{traf} = 10\log(C_{traf}) \quad (B.13)$$

onde

- C_{traf} é a percentagem de potência utilizada para o tráfego.

A atenuação total calcula-se pela expressão:

$$L_{p\ total[dB]} = L_p + M_{[dB]} + L_{SP} \quad (B.14)$$

Anexo C – Dados do projecto MOMENTUM

Como foi referido na Secção 3.3 os dados de geração de utilizadores considerados são os do projecto MOMENTUM. A geração é realizada considerando:

- as percentagens de serviços (caso não seja especificada uma distribuição diferentes), Tabela C. 1;
- considerando a correspondência existente entre ambientes e mobilidade da Tabela C. 2;
- a caracterização do terreno da área em estudo, Figura C. 1;
- a distribuição de tráfego (BHCA, número médio de chamadas na hora de pico) na área em estudo para cada serviço, Tabela C. 3, Figura C. 3 a Figura C. 10;

Qualquer um destes valores e correspondências pode ser alterado pelo utilizador no programa que gera os utilizadores (*SIM*).

Tabela C. 1 – Valores de percentagem médios utilizados por omissão para os diferentes serviços do projecto MOMENTUM (extraído de [SeCa04]).

Serviço	Percentagem [%]
<i>Messaging</i>	4.65
Acesso Internet	3.91
LBS (Serviços de Localização)	0.30
MMS	2.19
Voz	45.65
<i>M-Entertainment</i>	15.39
Vídeo Telefonía	20.04
<i>Browsing</i>	7.87

Tabela C. 2 – Correspondência entre ambiente e mobilidade de utilizador (baseado em [Card06]).

Terreno	Mobilidade do utilizador
Água	Pedestre
Área aberta	Pedestre
Caminho-de-Ferro	Veicular
Auto-Estrada	Veicular
Auto-Estrada com engarrafamento	Veicular
Estrada	Veicular
Rua	Pedestre
Rural	Interior
Suburbano	Interior
Urbano	Interior
Zona de serviços densa (CBD)	Interior

Tabela C. 3 – Correspondência entre serviços e designação dos ficheiros de tráfego.

Serviço	Ficheiro de distribuição de tráfego (.rst)
<i>Messaging</i>	<i>E-Mail</i>
Acesso Internet	<i>File_down</i>
LBS (Serviços de Localização)	<i>Location</i>
MMS	MMS
Voz	<i>Speech</i>
M-Entertainment	<i>Streaming</i>
Vídeo Telefonía	Vídeo_Tel
<i>Browsing</i>	WWW

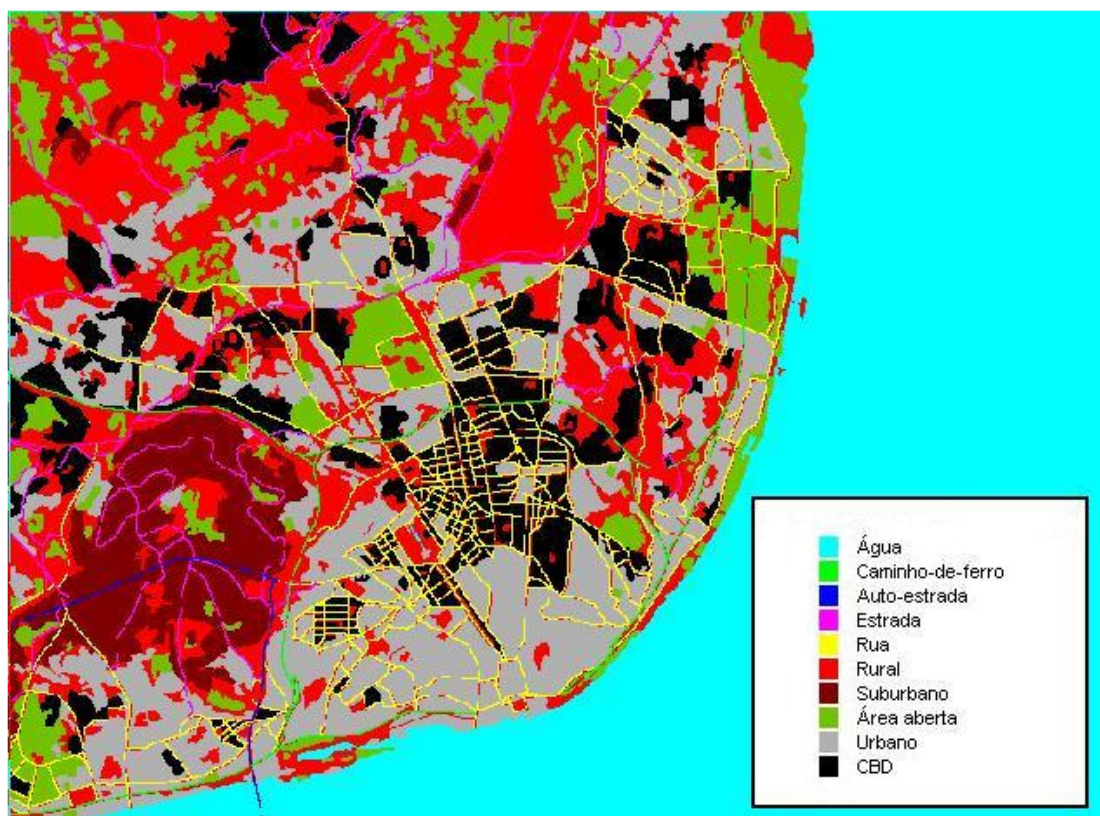


Figura C. 1 – Caracterização do terreno da cidade de Lisboa (extraído de [SeCa04]).

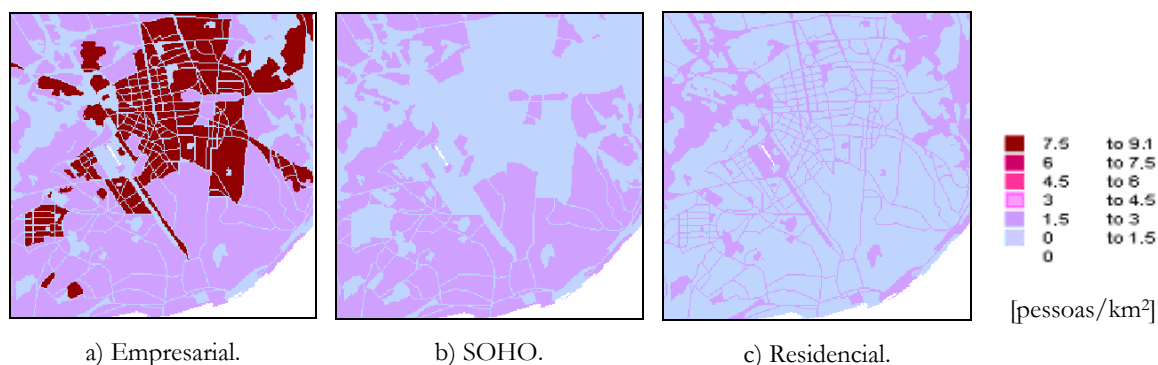


Figura C. 2 – Clientes UMTS por categorias de utilizador na cidade de Lisboa (extraído de [Card06]).

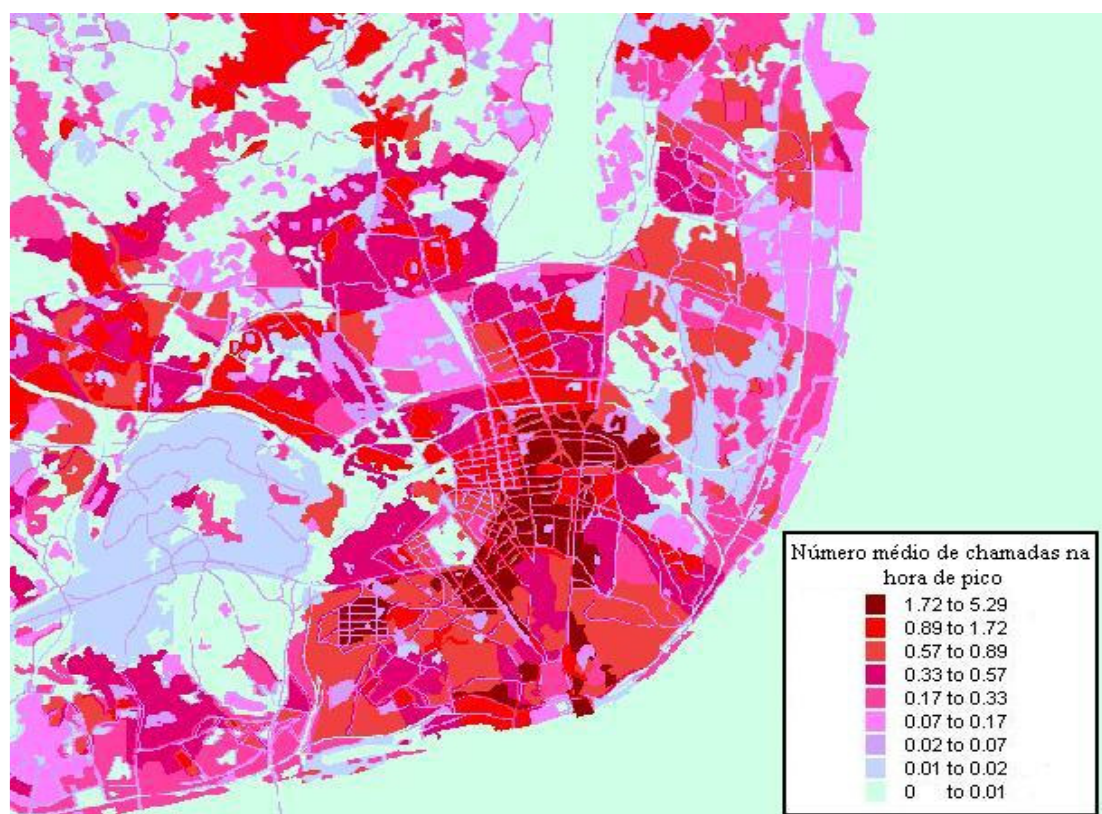


Figura C. 3 – Distribuição do tráfego para o serviço de voz (extraído de [SeCa04]).

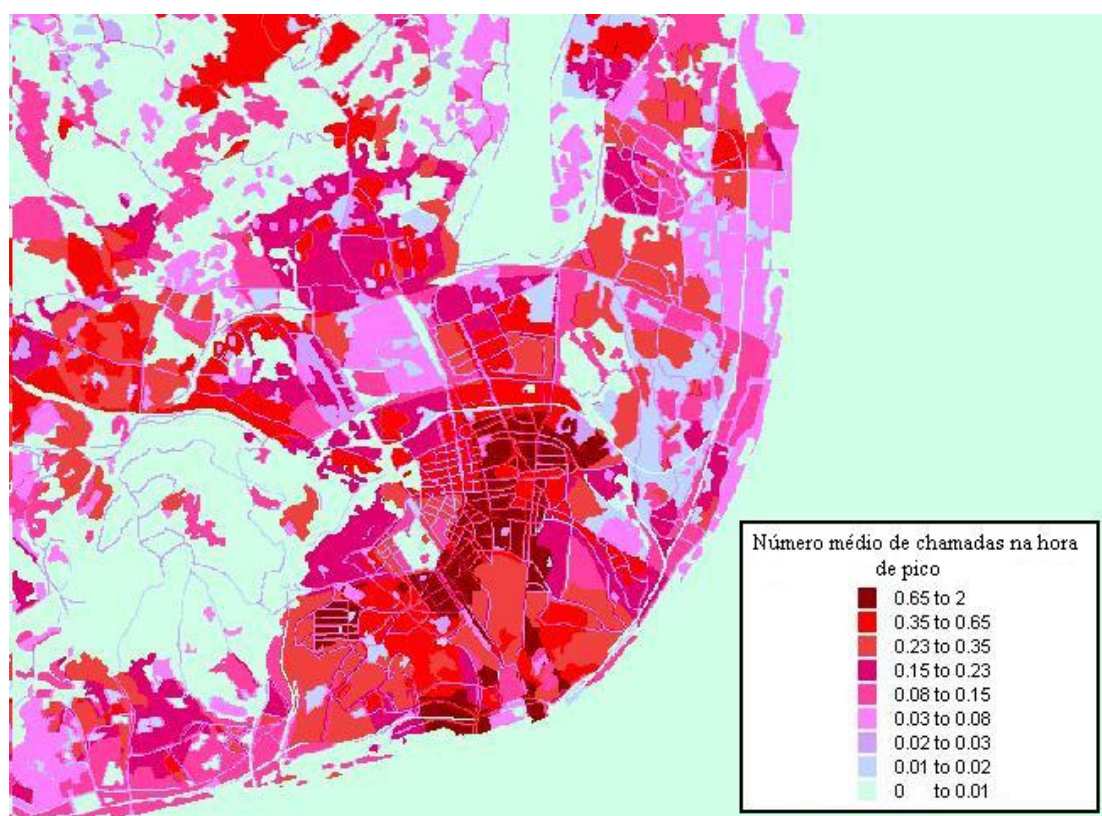


Figura C. 4 – Distribuição do tráfego para o serviço de vídeo telefonia (extraído de [SeCa04]).

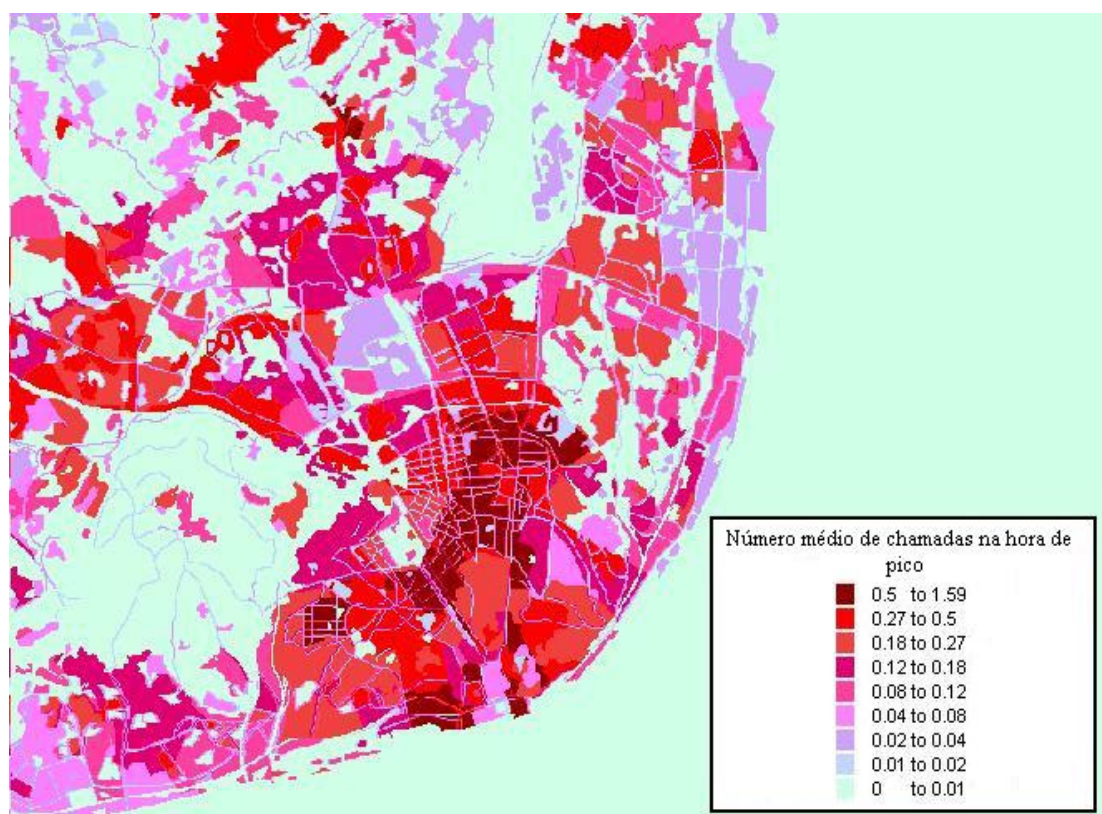


Figura C. 5 - Distribuição do tráfego para o serviço de *M-Entertainment* (extraído de [SeCa04]).

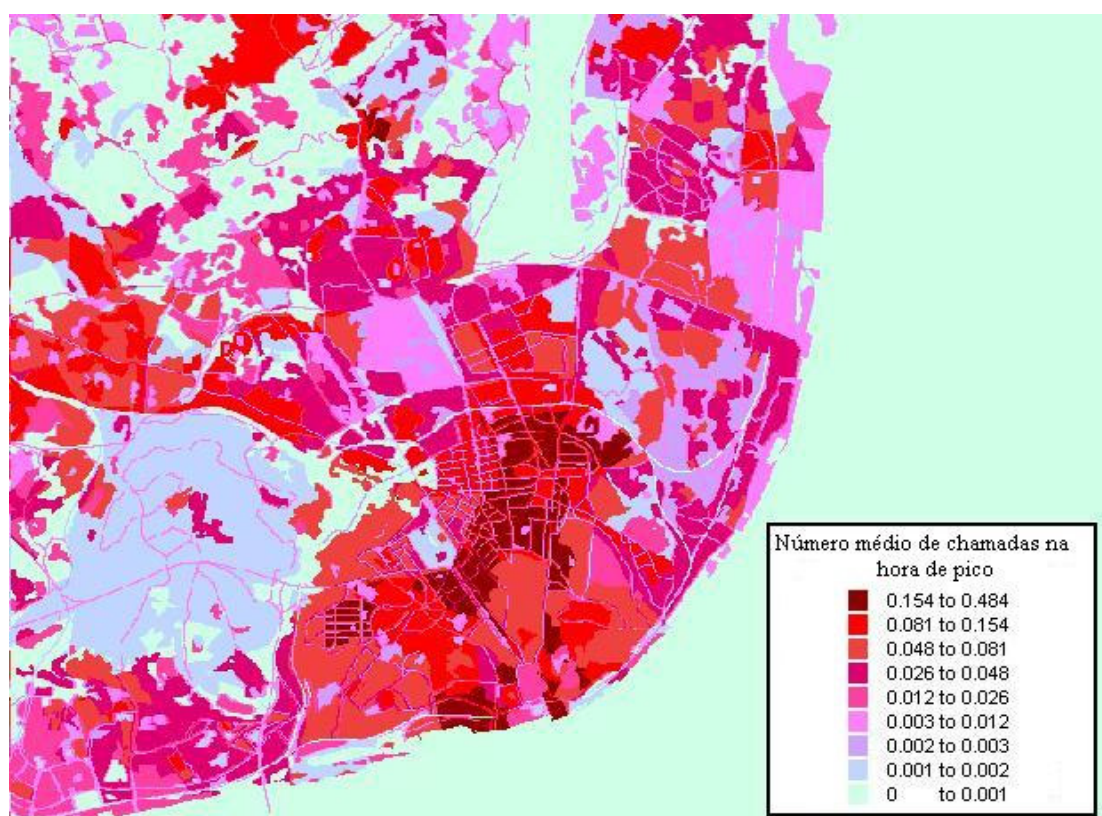


Figura C. 6 – Distribuição do tráfego para o serviço de *Messaging* (extraído de [SeCa04]).

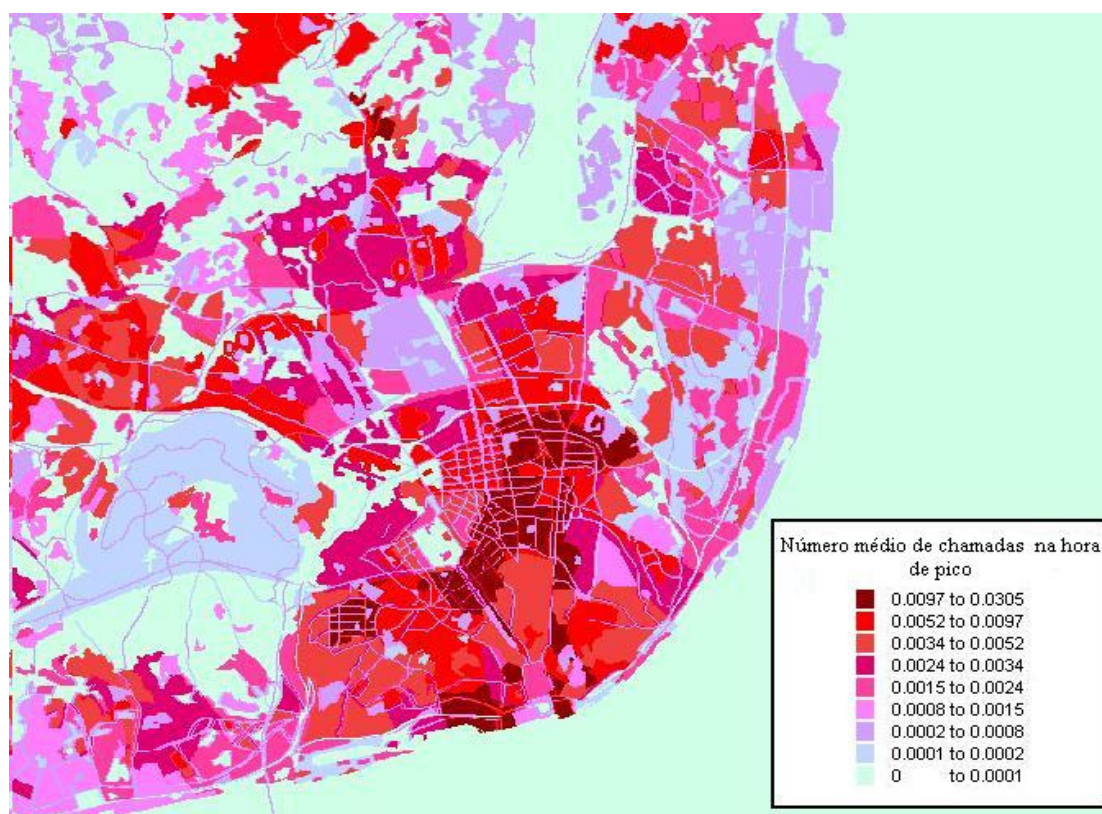


Figura C. 7 – Distribuição do tráfego para o serviço de Localização (LBS) (extraído de [SeCa04]).

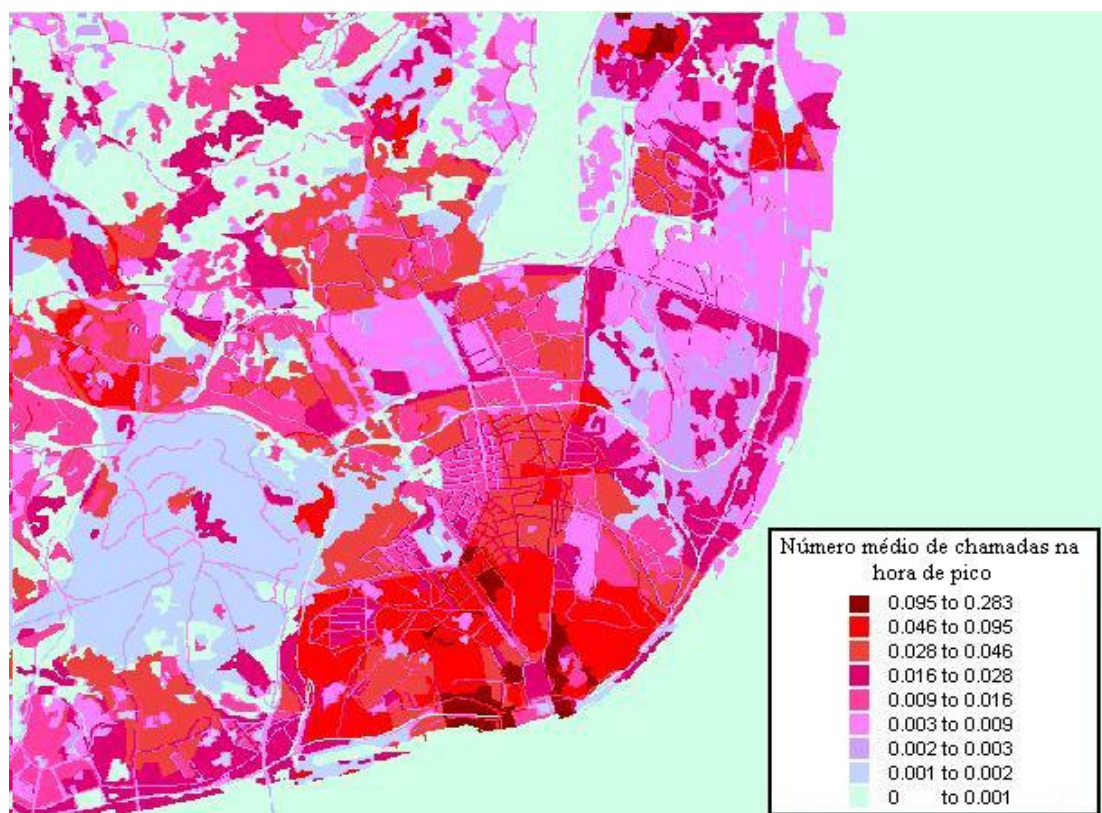


Figura C. 8 – Distribuição do tráfego para o serviço de MMS (extraído de [SeCa04]).

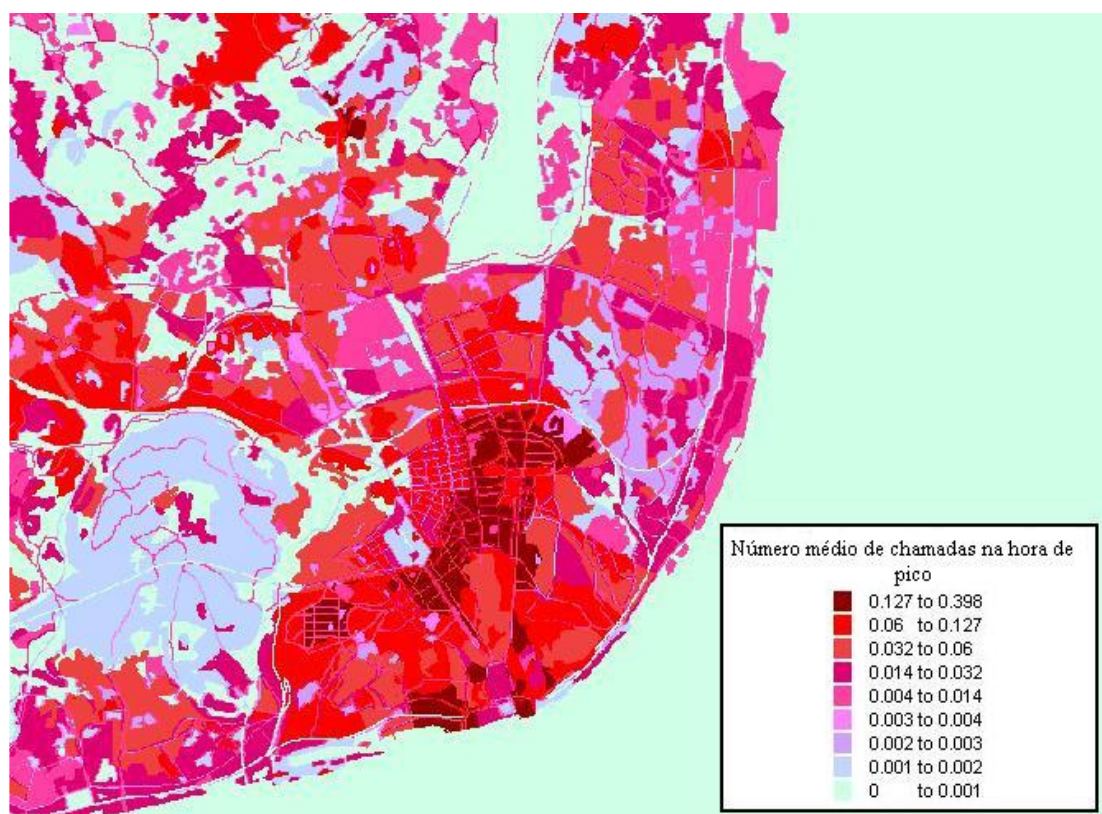


Figura C. 9 – Distribuição do tráfego para o serviço de Acesso Internet (extraído de [SeCa04]).

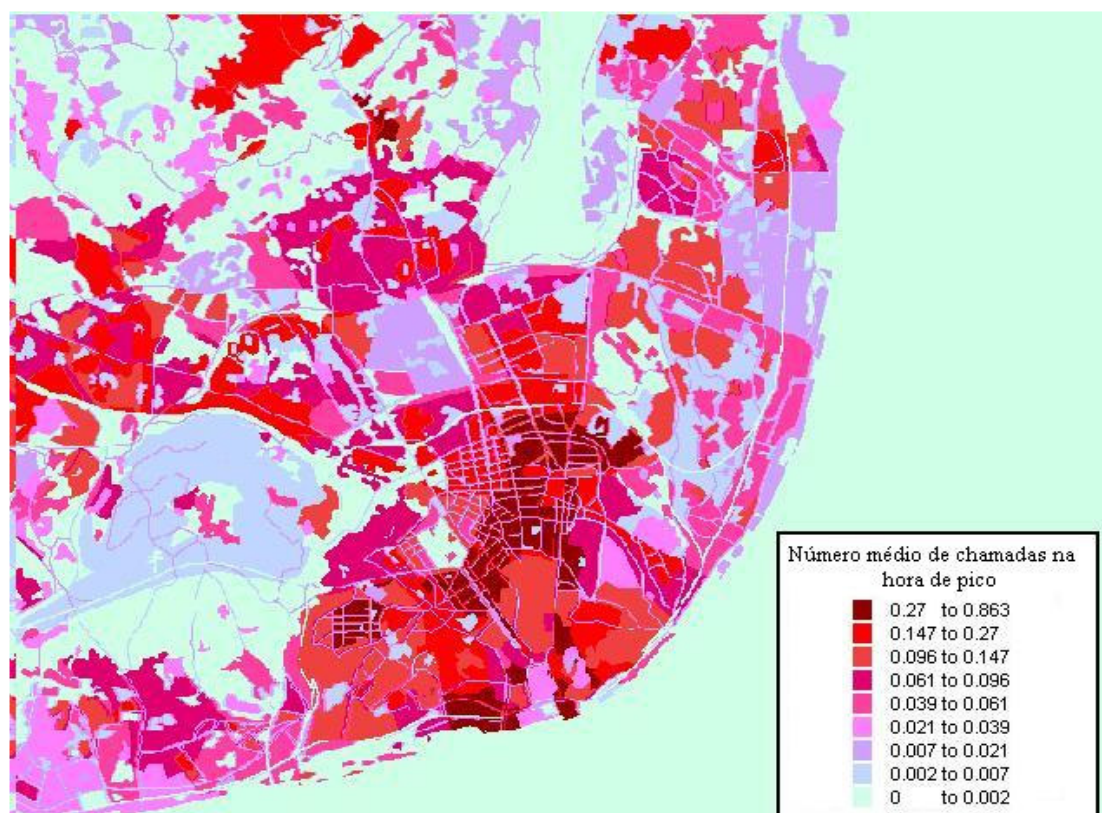


Figura C. 10 – Distribuição do tráfego para o serviço de *Browsing* (extraído de [SeCa04]).

Anexo D – SINR para HSDPA

Na técnica HSDPA recorre-se aos valores de SINR para realizar o estudo da rede, sendo estes determinados, neste trabalho, com base na Figura D. 1.

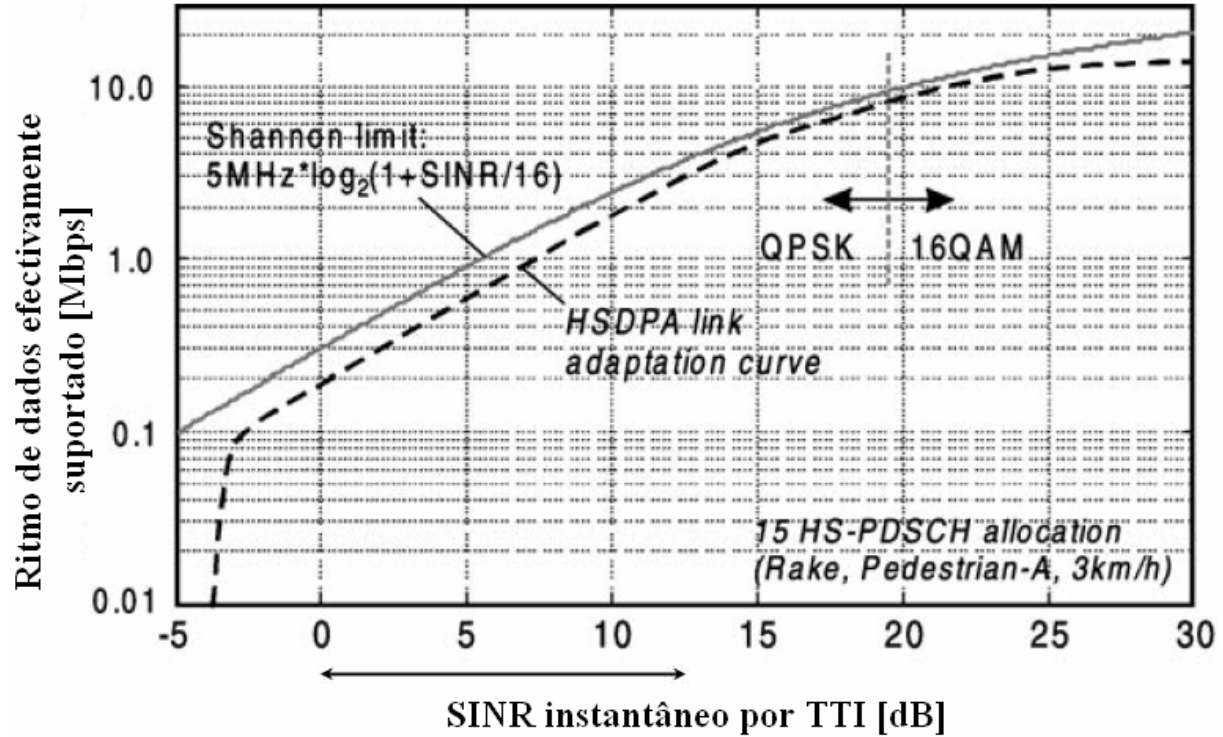


Figura D. 1 – Relação SINR vs. ritmo binário (extraída de [HoTo04]).

Esta curva foi obtida considerando o utilizador pedestre com um receptor RAKE a deslocar-se a uma velocidade de 3km/h com 15 códigos disponíveis, inclui ainda o mecanismo mais básico de HARQ, para a primeira ocorrência de BLER.

Como se pode observar no intervalo de $SINR \in [0; 12.5]$ dB encontram-se ritmos de $[0.191; 3]$ Mbps que contém o intervalo de ritmos para HSDPA considerados neste trabalho, Tabela 4.2 e Tabela 4.3. A relação $R_b(SINR)$ pode ser, neste intervalo, aproximada por uma recta (D.2).

$$\log(R_{b \text{ [Mbps]}}) = m \cdot SINR_{\text{[dB]}} + b \quad (D.1)$$

resultando

$$R_{b \text{ [Mbps]}} = 10^{(0.095 \cdot SINR_{\text{[dB]}} + \log(0.191))} \quad (D.2)$$

Considerando-se que estão 15 códigos disponíveis na relação (D.2), para esta poder ser utilizada em portadoras partilhadas é necessário reduzir a relação num factor de 1/3 visto em portadoras partilhadas o número de códigos considerado estar limitado a 5.

Anexo E – Dados para balanço de potência

Para realizar o balanço de potência (Anexo B) é considerado:

- que o EIRP de UL, o ganho de recepção em DL (do TM) e as perdas de cabo existentes são os apresentados na Tabela E. 1;
- o ganho de emissão em DL e de recepção em UL (da EB) é igual ao da antena de emissão, determinado pelo diagrama de radiação (Anexo K);
- a potência máxima de transmissão para cada serviço é correspondente à Tabela E. 2;
- é utilizado TMA (*Tower Mounted Amplifier*) nas EBs, que faz com que em DL as perdas devido ao cabo sejam acrescidas em 0.7dB e em UL as perdas do cabo sejam compensadas na sua totalidade, não existindo perdas devidas ao cabo;
- o factor de ruído utilizado em (B.10) é definido com sendo 8dB em DL e 2.5dB em UL;
- o ganho de processamento determinado por (B.9) é considerado um ritmo de codificação de 3.84Mcps;
- uma largura de banda do sinal (Δf) de 3.84MHz;
- uma margem de interferência de 3dB em DL e 5.2 em UL para Rel99;
- as margens de atenuação de desvanecimento lento, rápido, de atenuação de penetração em interiores e ganho de *soft handover* da Tabela E. 3 (valores fornecidos pela Optimus);
- os valores de E_b/N_0 da Tabela E. 4 no caso da Rel99 para (B.8) ou os valores de SINR obtidos através de (D.2) (Anexo D) para utilizadores a realizar serviço HSDPA;
- e que a potência máxima da EB é de 30W sendo aproximada no simulador por 44.7dBm (29.51W) da qual é necessário retirar 25% para sinalização e controlo da Rel99 ficando disponível 22.13W para tráfego. Caso se trate de uma portadora partilhada ou só de HSDPA será ainda reservada 10% da potência disponível para sinalização e controlo de HS, ficando-se na situação de portadora só HSDPA com 19.91W (42.9dBm) disponível para tráfego.

Tabela E. 1 – Valores de alguns parâmetros rádio.

	Voz Dados	
EIRP de UL [dBm]	21	24
G_r de DL [dB]	0	0
Perdas do cabo [dB]	3	3

Tabela E. 2 – Valores de potência máxima de transmissão em DL para cada serviço Rel99.

Serviço [kbps] (tipo de comutação UL/DL)	P_{Tx} em DL [dBm]
Voz	33.0
CS 64/64	35.0
PS 64/64	33.0
PS 64/128	36.0
PS 64/384	38.0

Tabela E. 3 – Valores de margem de desvanecimento lento e rápido, de penetração em ambientes interiores e ganho de *soft handover* para diferentes cenários de utilização.

	Cenário de Utilização			
	Interior_HL	Interior_LL	Veicular	Pedestre
M_{SF} [dB]	7.0	7.0	7.5	4.5
M_{FF} [dB]	0.3	0.3	1	0.3
L_{int} [dB]	21	11	11	0
G_{SHO} [dB]	3.5	3.5	3.5	3.5

Tabela E. 4 – Valores de E_b/N_0 (baseado em [Sant04]).

Ritmo binário (tipo de comutação) [kbps]	Tipo de propagação	E_b/N_0 [dB]	
		UL	DL
12.2 (CS)	Interior	5.8	7.7
12.2 (CS)	Pedestre	5.8	7.7
12.2 (CS)	Veicular	6.9	8.0
64 (CS)	Interior	4.1	6.7
64 (CS)	Pedestre	4.2	6.7
64 (CS)	Veicular	5.8	7.8
64 (PS)	Interior	2.5	6.6
64 (PS)	Pedestre	2.5	6.6
64 (PS)	Veicular	2.5	7.3
128 (CS)	Interior	4.0	5.9
128 (CS)	Pedestre	4.2	6.0
128 (CS)	Veicular	5.8	7.5
128 (PS)	Interior	4.0	5.9
128 (PS)	Pedestre	4.2	5.9
128 (PS)	Veicular	5.5	6.3
384 (PS)	Interior	4.0	6.5
384 (PS)	Pedestre	4.2	6.7
384 (PS)	Veicular	5.5	7.7

Tabela E. 5 – Frequências utilizadas nas simulações (extraído de [SeCa04]).

Portadora	Frequência [MHz]	
	UL	DL
1	1 922.5	2 112.5
2	1 927.5	2 117.5
3	1 932.5	2 122.5
4	1 937.5	2 127.5

Anexo F – Serviços considerados

As características dos diferentes serviços da Tabela 2.3 estão definidas na Tabela F. 2 e Tabela F. 3. No entanto para que se possa ter uma maior aproximação à realidade através da utilização das grelhas de tráfego do projecto MOMENTUM, conferindo ao trabalho uma distribuição de tráfego não uniforme, foram definidos neste trabalho oito serviços, Tabela F. 1, cujas características são definidas por associação de serviços indicados pela Optimus.

Tabela F. 1 – Correspondência entre serviços definidos e serviços Optimus.

Serviços definidos	Serviços Optimus	Penetração do serviço [%]	
		Cenário corrente	Cenário dados exigente
Voz	<i>Speech</i>	35.0	25.0
Vídeo Telefonía	<i>Vídeo Communication</i>	7.5	7.5
<i>M-Entertainment</i>	<i>M-Entertainment</i>	5.0	5.0
<i>Messaging</i>	<i>Messaging</i> <i>M-Commerce</i>	10.0	15.0
LBS	<i>Telematics</i> <i>Push Services</i> <i>LBS Information</i>	7.5	7.5
MMS	MMS	10.0	10.0
Acesso Internet	<i>Internet Access</i>	15.0	20.0
<i>Browsing</i>	<i>Browsing</i>	10.0	10.0

Tabela F. 2 – Caracterização do cenário corrente.

ID	Categoria do Serviço	QoS	Penetração do Serviço [%]	Ritmo DL [kbps]	DL%	Ritmo UL [kbps]	UL%	Serviços
1	Messaging	Interactive	5.0	PS128	80	PS64	100	E-Mail; PTT; IM; excludes SMS & MMS
				PS384	20	PS64		
2	Video Communication	Conversational	7.5	CS64	100	CS64	100	Video Telephony; Video Conference; Video Mail; Video Portal, Video Customer Care
3	Telematics	I/B	2.5	PS64	80	PS64	100	Automated M2M
				PS128	20	PS64		
4	Push Services	Background	2.5	PS64	80	PS64	100	MMS Alerts; MMS Partners
				PS128	20	PS64		
5	LBS Information	Interactive	2.5	PS64	80	PS64	100	Info Push after LBS positioning
				PS128	20	PS64		
6	M-Commerce	Interactive	5.0	PS128	80	PS64	100	M-Ticketing; M-Payments (Micro)
				PS384	20	PS64		
7	M-Entertainment	Streaming	5.0	PS128	80	PS64	100	Video Streaming; Downloads: Game, Application, Music, Ringtones, Wallpapers ;
				PS384	20	PS64		
8	Internet Access	Interactive	15.0	PS384	50	PS64	100	Internet Access via PCMCIA card
				PS512	50	PS64		
9	Browsing	Interactive	10.0	PS128	80	PS64	100	Internet Access via Mobile
				PS384	20	PS64		
10	MMS (SMS)	Background	10.0	PS64	80	PS64	100	MMS Alerts; MMS Partners
				PS128	20	PS64		
11	Speech	Conversational	35.0	CS12.2	100	CS12.2	100	
	Total		100					

Tabela F. 3 – Caracterização do cenário de dados exigente.

ID	Categoria do Serviço	QoS	Penetração do Serviço [%]	Ritmo DL [kbps]	DL %	Ritmo UL [kbps]	UL %	Serviços
1	Messaging	Interactive	10.0	PS128	20	PS64	20	E-Mail; PTT; IM; excludes SMS & MMS
				PS384	80	PS384	80	
2	Video Communication	Conversational	7.5	CS64	100	CS64	100	Video Telephony; Video Conference; Video Mail; Video Portal, Video Customer Care
3	Telematics	I/B	2.5	PS64	20	PS64	100	Automated M2M
				PS128	80	PS64		
4	Push Services	Background	2.5	PS64	20	PS64	100	MMS Alerts; MMS Partners
				PS128	80	PS64		
5	LBS Information	Interactive	2.5	PS64	20	PS64	100	Info Push after LBS positioning
				PS128	80	PS64		
6	M-Commerce	Interactive	5.0	PS128	20	PS64	80	M-Ticketing; M-Payments (Micro)
				PS384	80	PS384	20	
7	M-Entertainment	Streaming	5.0	PS128	20	PS64	80	Video Streaming; Downloads: Game, Application, Music, Ringtones, Wallpapers ;
				PS384	80	PS384	20	
8	Internet Access	Interactive	20.0	PS512	20	PS64	20	Internet Access via PCMCIA card
				PS1024	80	PS384	80	
9	Browsing	Interactive	10.0	PS128	20	PS64	100	Internet Access via Mobile
				PS384	80	PS64		
10	MMS (SMS)	Background	10.0	PS64	20	PS64	100	MMS Alerts; MMS Partners
				PS128	80	PS64		
11	Speech	Conversational	25.0	CS12.2	100	CS12.2	100	
	Total		100					

Anexo G – Fluxogramas

Neste anexo são apresentados os fluxogramas que representam os algoritmos utilizados e desenvolvidos neste trabalho.

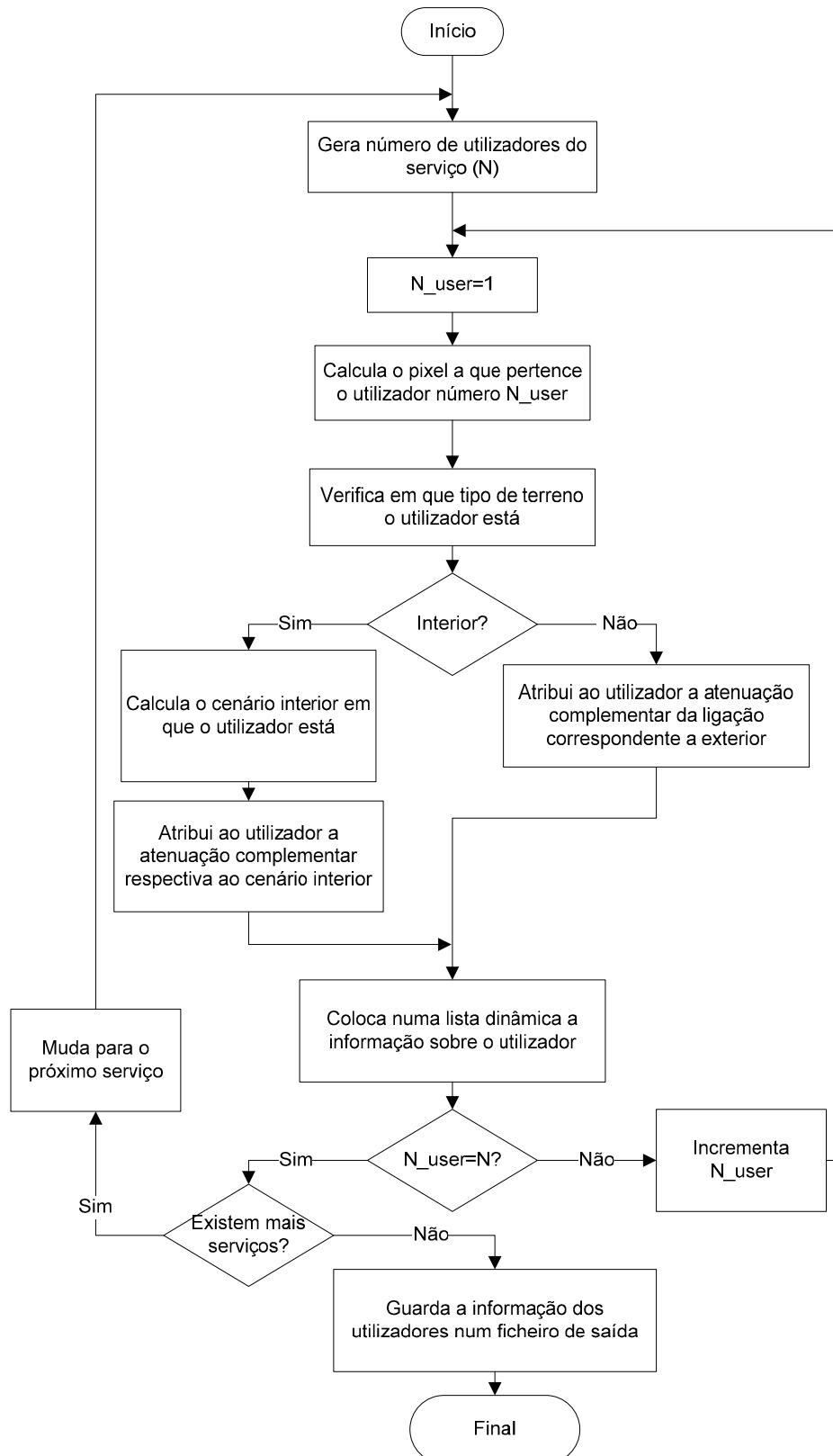


Figura G. 1 – Representação do algoritmo de geração de utilizadores.



Figura G. 2 – Representação da aplicação *Net_Opt*.

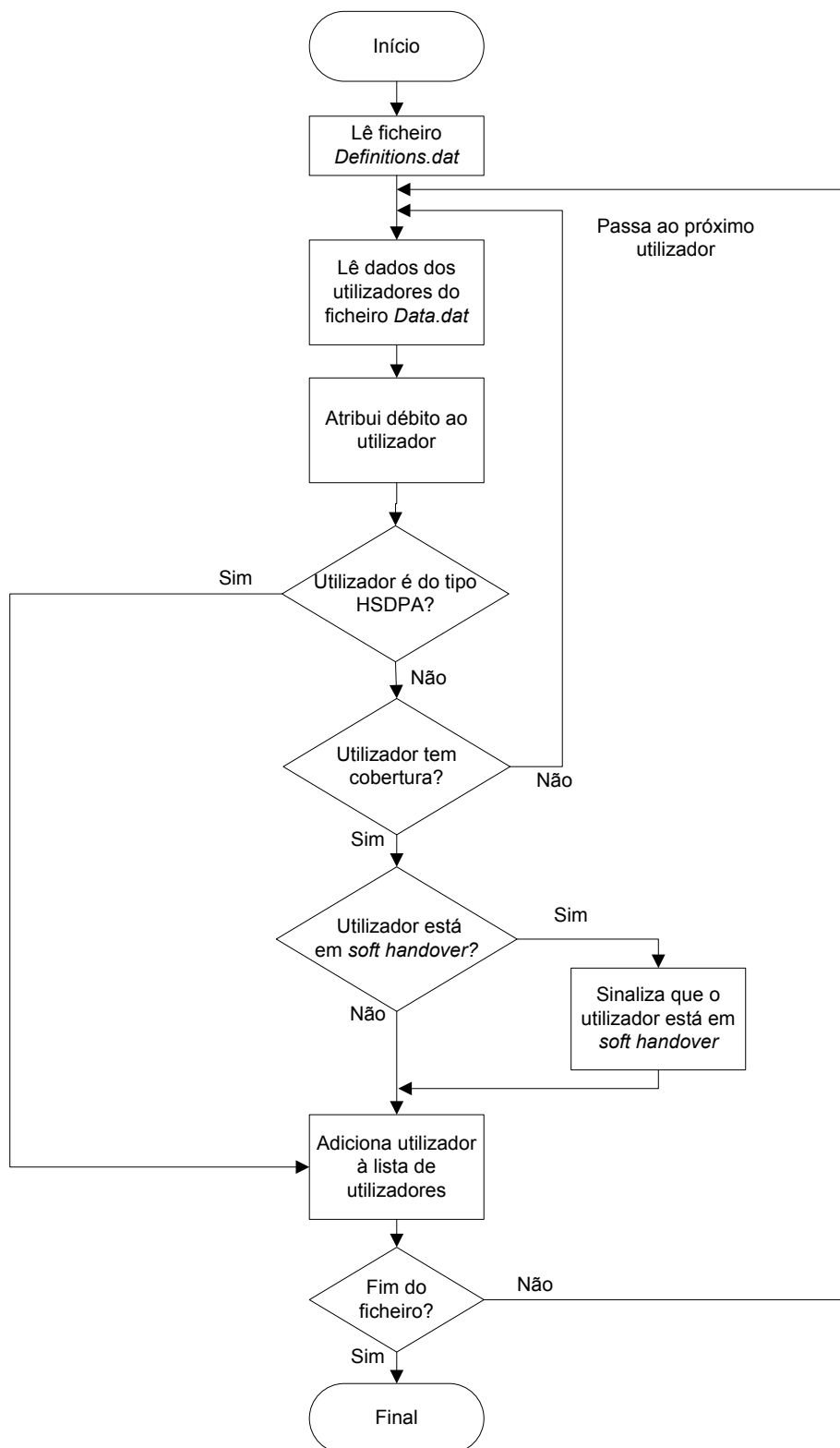


Figura G. 3 – Algoritmo de inserção de utilizadores na lista de utilizadores.

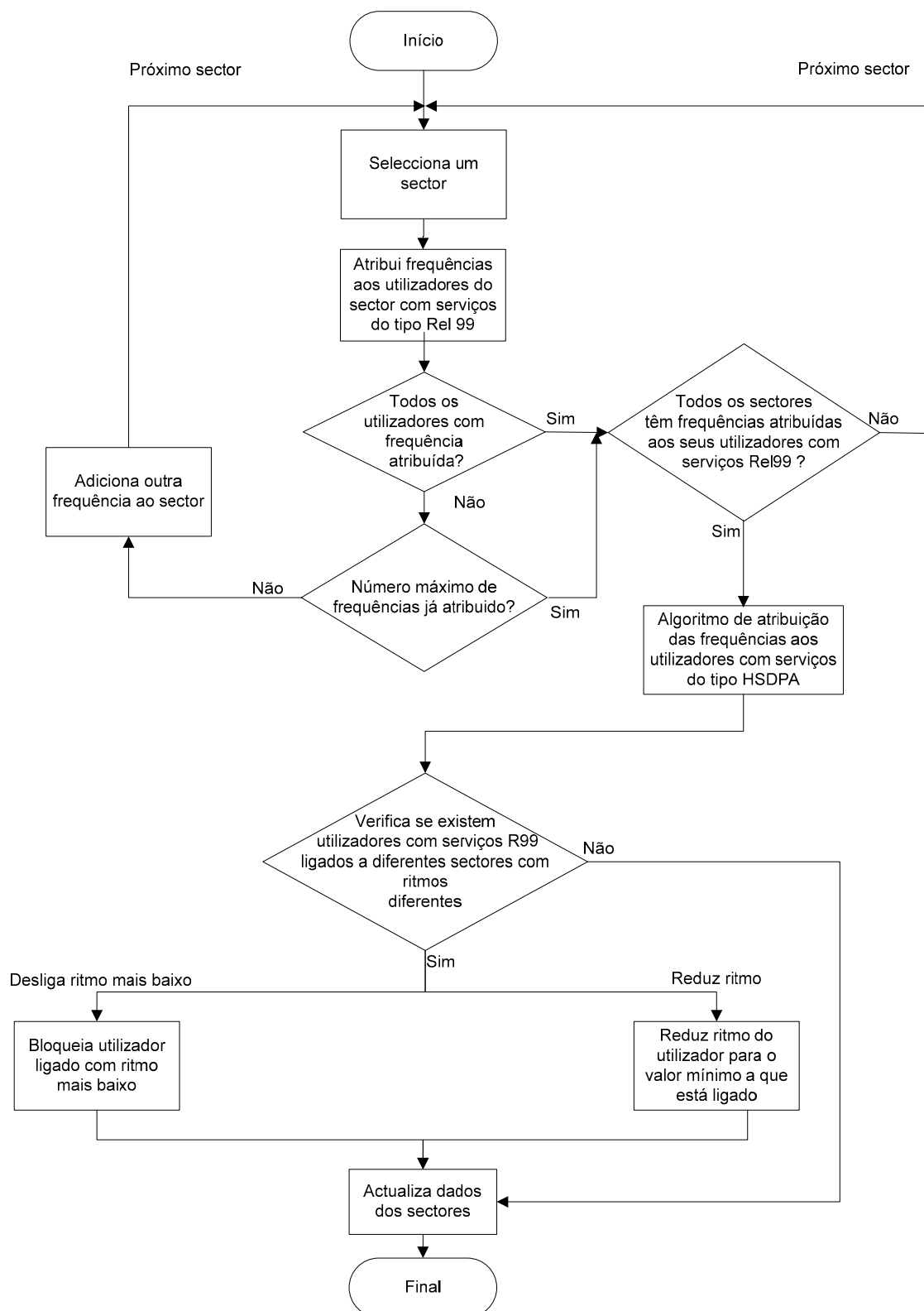


Figura G. 4 – Algoritmo de dimensionamento da rede.

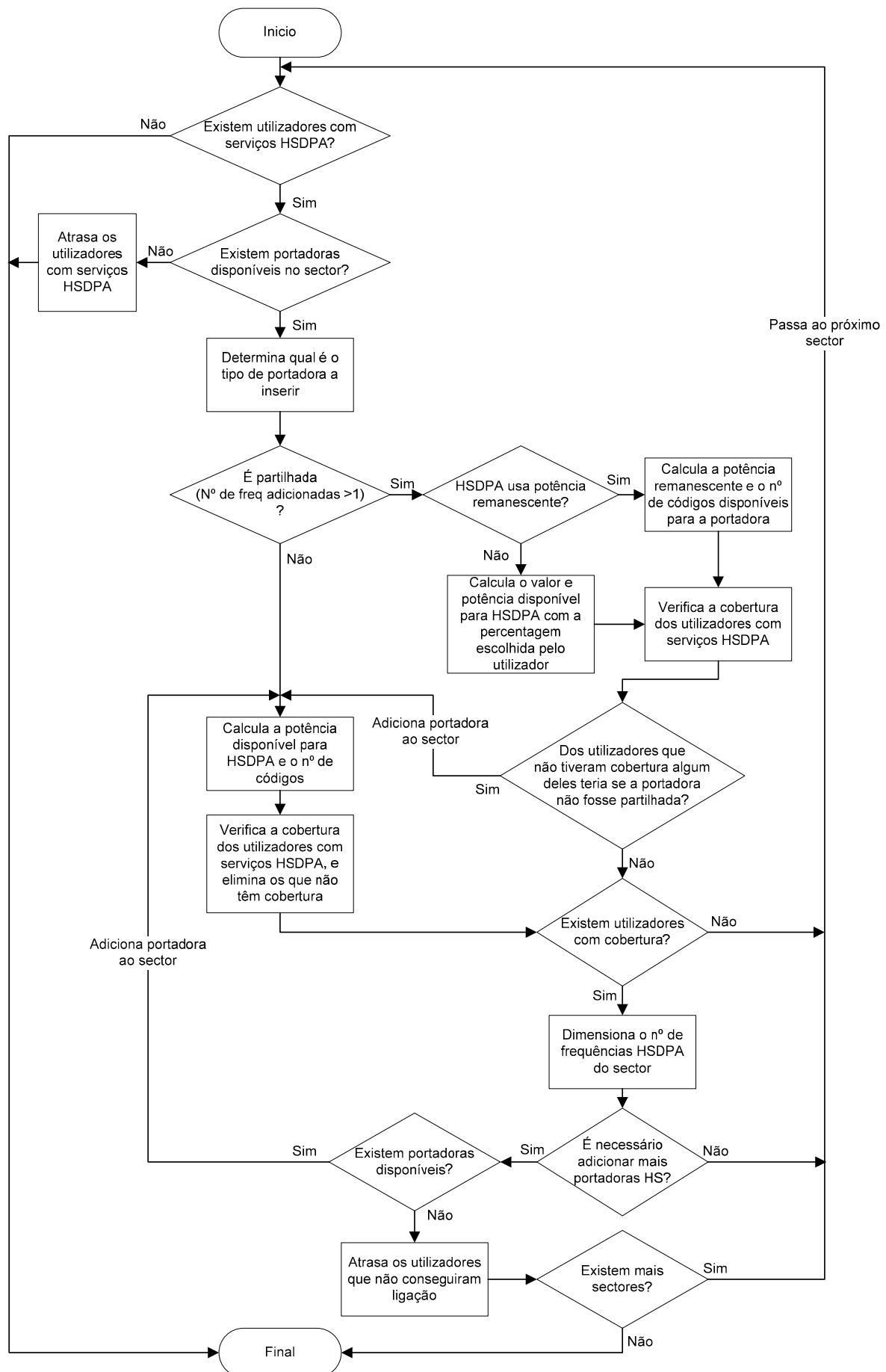


Figura G. 5 – Algoritmo de atribuição de frequências HSDPA.

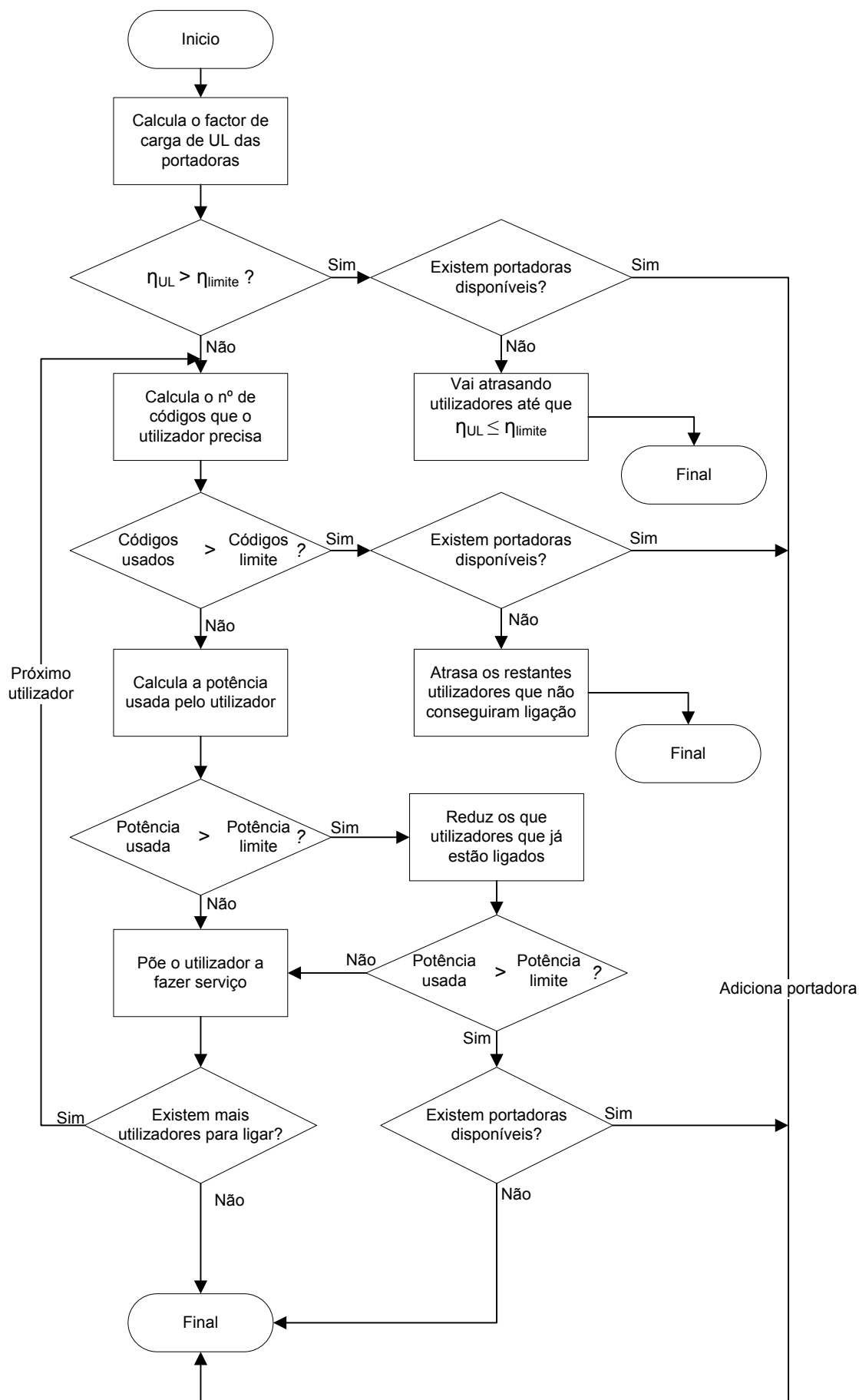


Figura G. 6 – Dimensionamento do número de portadoras HSDPA.

Anexo H – Algoritmo de geração de utilizadores

Inicialmente, o algoritmo, Figura G. 1, calcula o número de utilizadores que efectuem um determinado serviço. Um dos dados de entrada é o valor médio de chamadas na hora de pico, λ_i , para cada *pixel* i . Pode-se calcular, através de um processo de Poisson com média λ_i , o número de utilizadores para cada um dos *pixels* da grelha de entrada em questão, tendo-se então a distribuição espacial dos utilizadores para o terreno considerado. Todavia, os valores de λ_i são, na maioria dos casos, demasiado pequenos, sendo muito difícil gerar o número de utilizadores que siga a distribuição pretendida. Optou-se então por um conceito um pouco diferente, sendo, a geração feita segundo um processo de Poisson cuja média é igual à soma dos valores de todos os *pixels* da grelha. O valor que se obtém corresponde ao número de utilizadores localizados em todo o terreno e não apenas num único *pixel*. Neste caso, a distribuição espacial dos utilizadores terá de ser calculada posteriormente, proporcionalmente, de certo modo.

Sabendo-se já o número de utilizadores do serviço, o algoritmo começa a gerar os utilizadores de um determinado serviço, definindo as suas características. Para cada utilizador é atribuída a sua posição, a atenuação suplementar a que está sujeita a sua ligação devido ao cenário em que está inserido, o serviço que está a usar, bem como o cenário de mobilidade. A posição é calculada determinando a que *pixel* pertence o utilizador, através do seguinte método, proposto em [FCXV03], Figura H. 1:

1. Atribui-se, para cada *pixel*, uma probabilidade de o utilizador estar nesse *pixel* igual ao valor médio de chamadas na hora de pico correspondente;
2. Constrói-se um vector com as probabilidades acumuladas dos *pixels*;
3. Gera-se uma variável com uma distribuição uniforme X entre 0 e 1;
4. Obtém-se o valor Y multiplicando-se o valor obtido de X pela soma de todas as probabilidades (valor da probabilidade acumulada para o último *pixel*);
5. O *pixel*, a que pertence o utilizador, é o primeiro cuja probabilidade acumulada correspondente é igual ou superior a Y .

Sabendo o *pixel* a que pertence o utilizador, a sua posição é calculada através de (H.1).

$$x = \left\lfloor \left(n_{\text{pixel}} \% \dim_x \right) \cdot \dim_{\text{pixel}} \right\rfloor + x_1 \quad y = y_1 - \left(\frac{n_{\text{pixel}}}{\dim_x} \right) \cdot \dim_{\text{pixel}} \quad (\text{H.1})$$

onde x e y são as coordenadas geográficas, horizontal e vertical respectivamente, do sistema cartesiano projecção UTM, baseado no esferóide GRS-1980, n_{pixel} é o número do *pixel* em que o utilizador está inserido, $\dim_x$ é a dimensão horizontal da grelha em número de *pixels*, x_1 e y_1 são as coordenadas geográficas do primeiro *pixel* da grelha, n_{pixel} é a dimensão do *pixel* em metros, $\dim_{\text{pixel}}$ é a dimensão do *pixel* e $(n_{\text{pixel}} \% \dim_x)$ é o resto da divisão inteira de n_{pixel} por $\dim_x$.

A atenuação suplementar da ligação, entre o TM do utilizador e a EB, é calculada sabendo-se qual o cenário em que o utilizador está inserido. Para tal basta aceder ao tipo de terreno representado no *pixel* questão da grelha com a informação do terreno. De seguida, de acordo com o tipo de terreno, gera-se o cenário através das percentagens apresentadas na Tabela H. 1, atribuindo-se a respectiva atenuação suplementar ao utilizador. O serviço utilizado é definido de uma forma determinística, pois a distribuição de utilizadores é feita por serviço e assim, todos os utilizadores aqui gerados estão a usar o mesmo serviço.

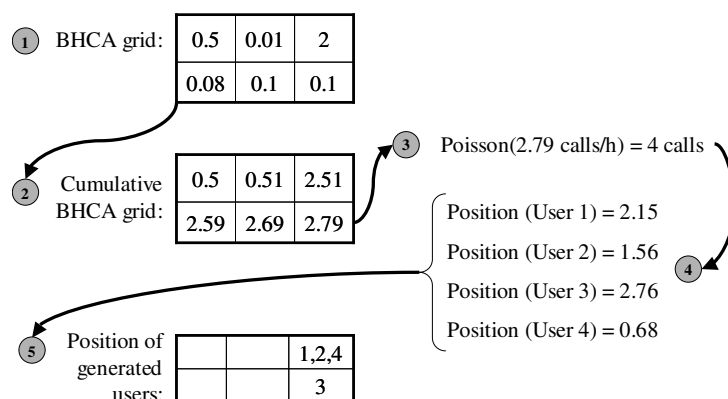


Figura H. 1 – Algoritmo de geração de utilizadores (extraído de [FCXV03]).

Tabela H. 1 – Distribuição dos utilizadores de cada ambiente pelos diferentes cenários (extraído de [SeCa04]).

Terreno	Distribuição de utilizadores [%]				
	Exterior	Interior			
		Total	Urbano	Suburbano	Rural
Água	100	0	-	-	-
Área aberta	100	0	-	-	-
Caminho-de-ferro	0	100	100	0	0
Auto-estrada	0	100	0	100	0
Auto-estrada com engarrafamento	0	100	0	100	0
Estrada	20	80	0	100	0
Rua	50	50	0	100	0
Rural	60	40	0	0	100
Suburbano	50	50	0	100	0
Urbano	30	70	100	0	0
Zona de serviços densa (CBD)	10	90	100	0	0

Depois de os utilizadores de um certo serviço estarem todos gerados, o algoritmo verifica se existem outros serviços disponíveis na rede. Se sim, o algoritmo repetirá todos os passos anteriores para o novo serviço. Caso contrário, é então possível guardar a informação num ficheiro de saída, a ser especificado pelo utilizador [SeCa04].

Anexo I – Manual da aplicação SIM

O *software* de geração de utilizadores utilizado é composto por uma janela principal, de onde se pode aceder a todos os botões que permitem executar as diferentes opções do programa. Na Figura I. 1 está representada a janela principal do programa, onde se podem verificar as opções presentes. De referir que alguns dos comandos só ficam activos quando se carregam os ficheiros dos serviços e o ficheiro com a caracterização do terreno.

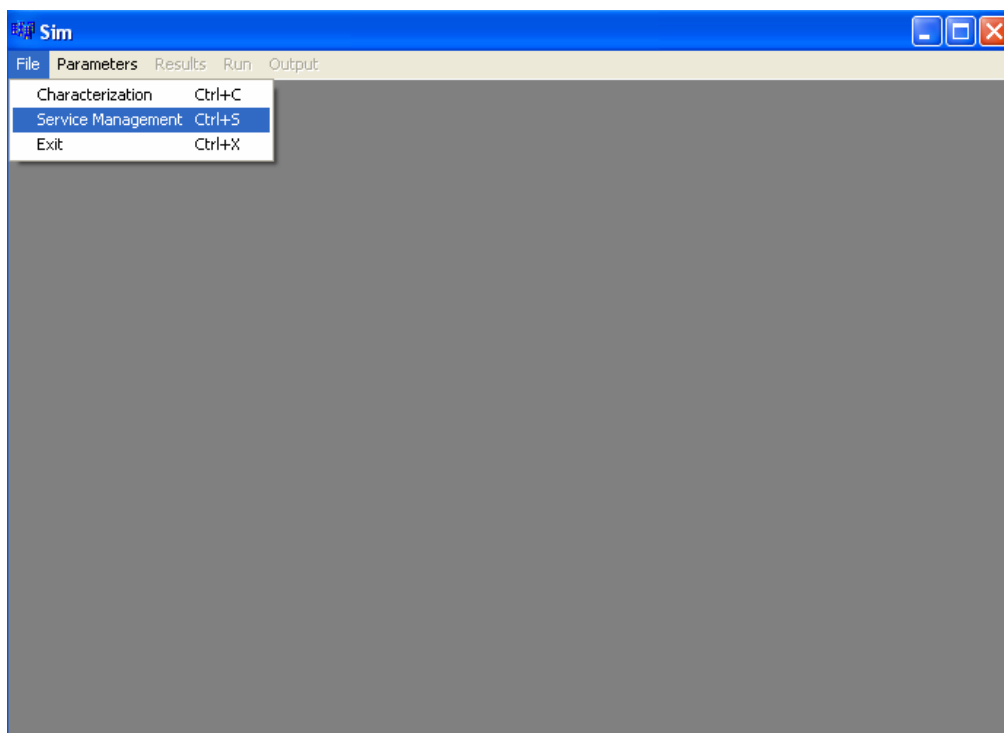


Figura I. 1 – Ecrã principal do programa de geração de utilizadores.

As opções existentes quando o programa é iniciado são as de abrir o ficheiro de caracterização de terreno (*File* → *Characterization*, Figura I. 2), adicionar/remover serviços (*File* → *Service Management*, Figura I. 3) e alterar as opções do programa (*Parameters*, Figura I. 4 e Figura I. 5). Ao adicionar serviços, é necessário inserir o nome de cada um, para depois esse nome ser escrito na lista de utilizadores gerada pelo programa.

Assim que se adicionam serviços, fica automaticamente disponível a opção *Results* do menu principal do programa. Nesse menu, Figura I. 6, é possível verificar os resultados obtidos com a execução do programa e especificar novos valores para o número total de utilizadores gerados e as percentagens atribuídas a cada serviço. De referir também que estes valores podem ser especificados logo à partida, sem executar previamente o algoritmo.

Nos menus de opções do programa é possível ver e modificar as características dos diferentes cenários definidos, alterando os valores de atenuação e percentagem associados a cada cenário. Estes valores foram definidos em conjunto com a Optimus. É também ainda possível alterar os valores predefinidos relativos às dimensões e posição geográfica das grelhas utilizadas, permitindo assim utilizar outras grelhas diferentes.

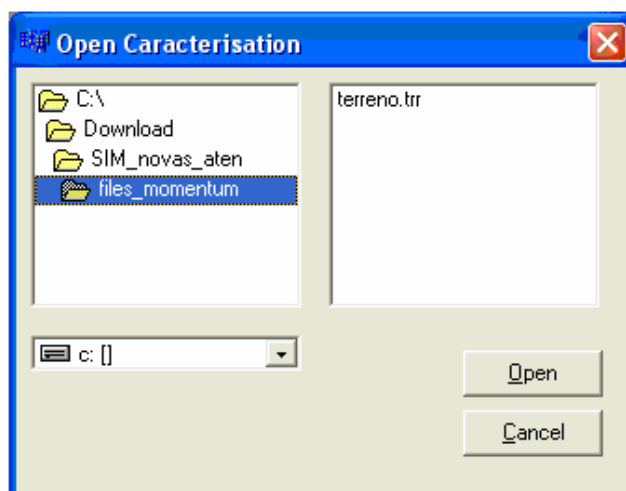


Figura I. 2 – Menu de abertura de ficheiros.

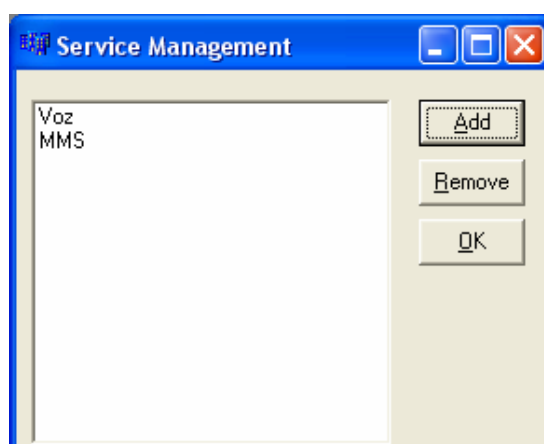


Figura I. 3 – Menu de adição/remoção de serviços.

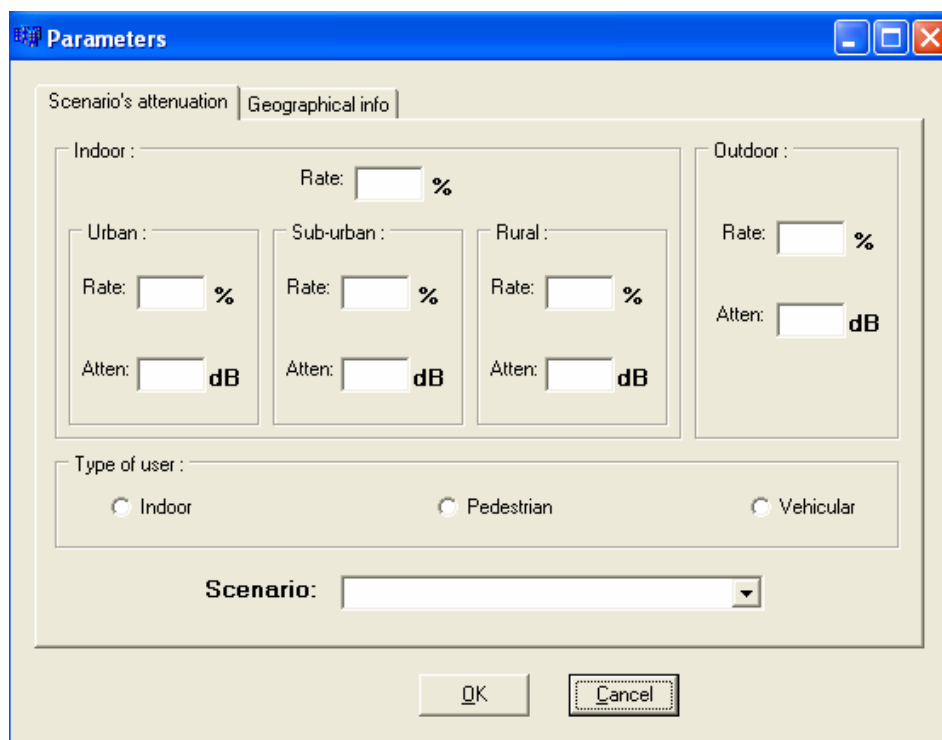


Figura I. 4 – Menu de alteração das atenuações/percentagens dos diferentes cenários considerados.

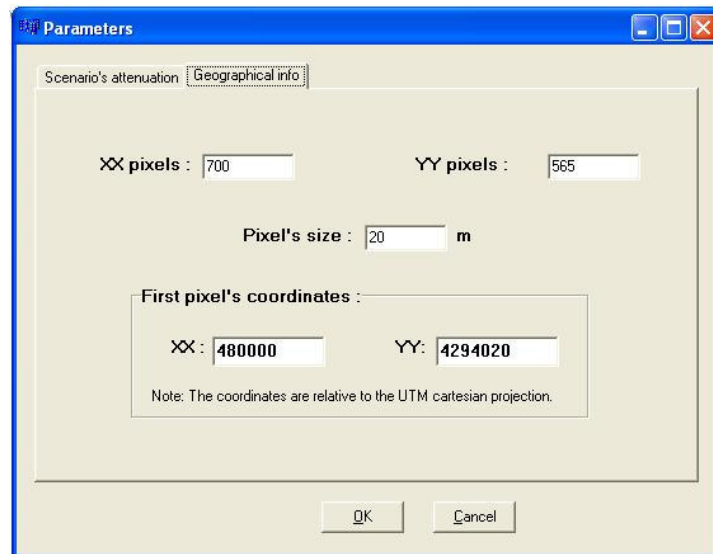


Figura I. 5 – Menu de alteração dos parâmetros geográficos das grelhas.

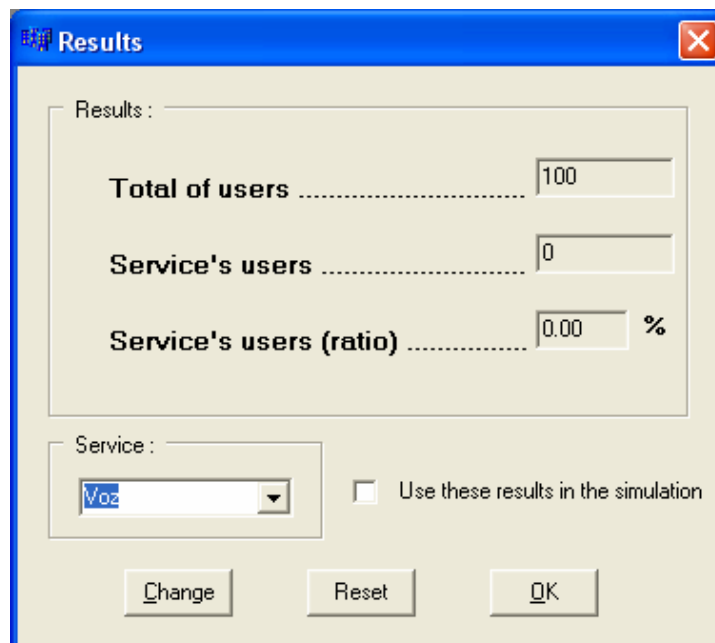


Figura I. 6 – Menu de apresentação dos resultados.

Carregando na opção *Run* é executado o algoritmo de geração de utilizadores, Figura I. 7, podendo os resultados ser visualizados através da opção *Results*. Por fim, a lista de utilizadores gerada pode ser escrita num ficheiro de texto com a opção *Output*, [SeCa04].

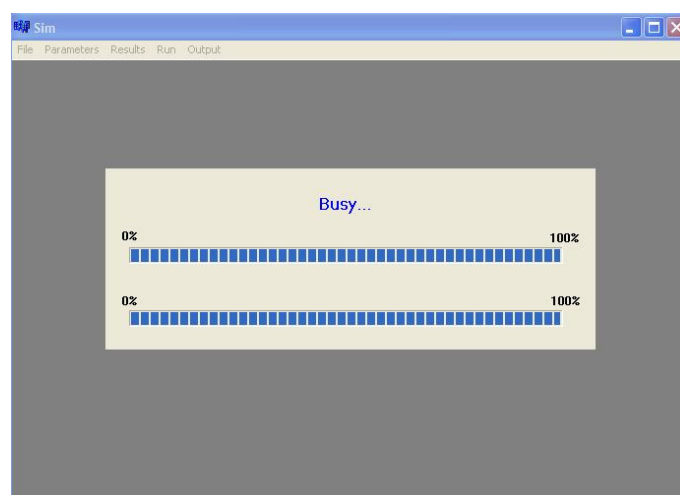


Figura I. 7 – Exemplo de uma execução do programa.

Anexo J – Manual do utilizador

Ao iniciar a aplicação *UMTS_Simul* é necessário introduzir alguns ficheiros de dados, Figura J. 1. Estes ficheiros são referentes ao ganho da antena da EB utilizada, os valores de E_b/N_0 para Rel99 e os dados geográficas da cidade de Lisboa (Anexo C).

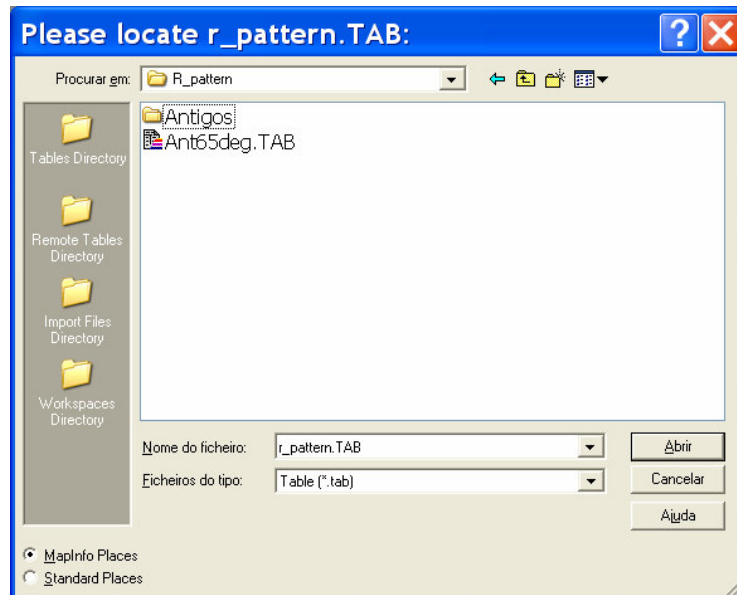


Figura J. 1 – Janela de abertura do programa.

Após a introdução da informação geográfica, esta é visualizada e surge uma nova opção na barra MapInfo designada por UMTS que permite definir características da simulação, Figura J. 2, assim como novos botões para aceder às funções do programa.

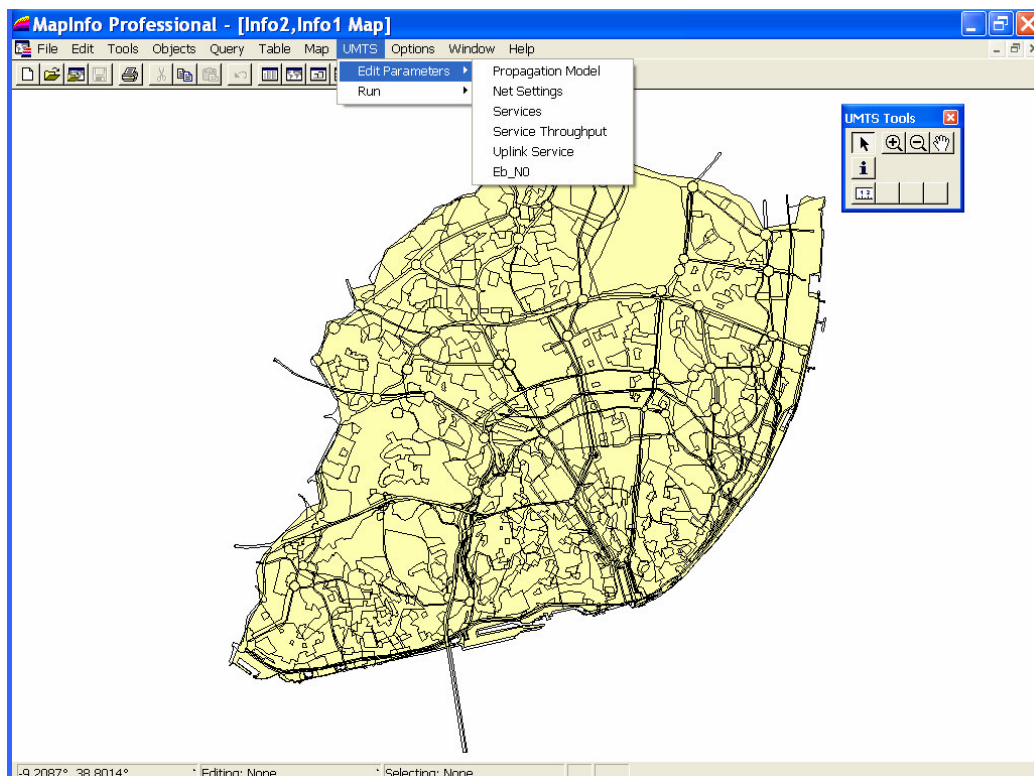


Figura J. 2 – Aspecto do simulador depois de iniciado e das opções do menu *Edit Parameters*.

No menu UMTS pode-se escolher entre alterar diferentes opções do simulador ou começar com uma nova simulação. Entre as opções disponíveis estão os parâmetros do modelo de propagação, Figura J. 3, os serviços disponibilizados pelo simulador, Figura J. 4, os valores de percentagem das correspondências entre serviços e débitos, Figura J. 5, e também os parâmetros de configuração da rede e do serviço de referência, Figura J. 6.

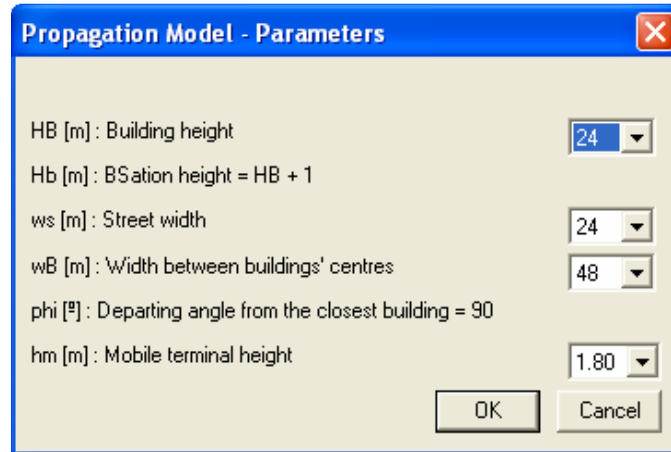


Figura J. 3 – Parâmetros de simulação relativos ao modelo de propagação.

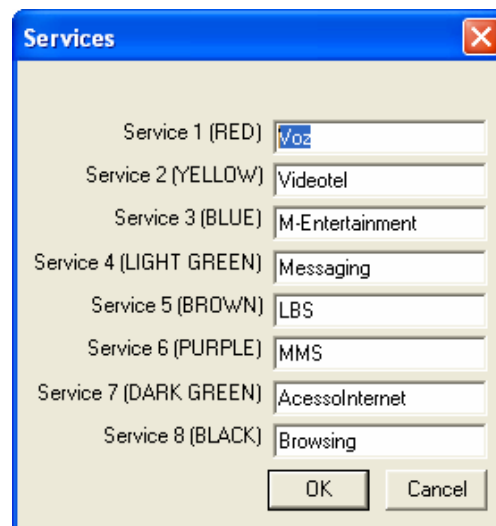


Figura J. 4 – Designação dos serviços considerados.

A simulação é iniciada através do menu UMTS→*Run*, Figura J. 7, com a introdução dos utilizadores na rede através do menu *Insert Users*, aparecendo uma janela a pedir a inserção do ficheiro com os utilizadores. Depois de serem colocados no mapa os utilizadores fica disponível no menu *Run* a opção de *Deploy Network*, que pede ao utilizador que insira o ficheiro com o mapa da localização das EBs na rede sendo estas representadas no mapa bem como a área de cobertura nominal de Rel99, Figura J. 8, ficando de seguida disponíveis as opções de dimensionamento da rede através de *Run Simulation*. De notar que depois do *Deploy Network* ser realizado deixa de ser possível alterar as características de simulação da rede (UMTS→*Edit Parameters*→*Propagation Models* e *Net Settings*). Existem outras opções disponíveis, nomeadamente a possibilidade de utilizar uma área de cobertura de uma rede já existente através de UMTS→*Load Network*, e a de executar o algoritmo de colocação de novas EBs por UMTS→*Add BSs in Open Spaces* mas estas não são consideradas neste trabalho.

Service's Percentage		
	DL Lower	DL Higher
M-Entertainment :	80	20
Messaging :	80	20
LBS :	80	20
MMS :	80	20
AcessolInternet :	50	50
Browsing :	80	20

Service's data rate [Mbps]		
	DL Lower	DL Higher
M-Entertainment :	0.128	0.384
Messaging :	0.128	0.384
LBS :	0.064	0.128
MMS :	0.064	0.128
AcessolInternet :	0.384	0.384
Browsing :	0.128	0.384

OK

Figura J. 5 – Ritmos e correspondentes percentagens dos serviços PS.

No final da simulação é mostrada uma janela com informação de alguns parâmetros de desempenho da rede para Rel99, Figura J. 9, e outra para HSDPA, Figura J. 10, sendo que a de HSDPA só surge caso tenha sido seleccionada topologia com HSDPA e depois da janela de Rel99.

Simulation Settings

Load Factors [%]
 L_MAX_UL : 50
 L_MAX_DL : 70

Node B Maximum Power [dBm] : 44.7
 Power Voice [dBm] : 33
 Power Data [dBm] : 35
 Active Set : 3
 Power Data PS64/64 [dBm] : 33
 Power Data PS64/128 [dBm] : 36
 Power Data PS64/384 [dBm] : 38

Reference Service
☐ Rb = 12.2kbps (CS)
☐ Rb = 64.0kbps (CS)
☐ Rb = 64.0kbps (PS)
☒ Rb = 128.0kbps (PS)
☐ Rb = 384.0kbps (PS)

BS Placement
 Traffic threshold : eta= 25 %
 Hot-spot threshold : eta= 68 %
 SHO area : 30 %

Reference Scenario
☒ Indoor
☐ Pedestrian
☐ Vehicular

Services Scenario
☒ Light
☐ Agressive

HSDPA Service Threshold [kbps]
☒ >= 384
☐ > 384

Frequencies
 # frequencies: 4
 First Frequency: FDD:1922.5/2112.5
 Second Frequency: FDD:1927.5/2117.5
 Third Frequency: FDD:1932.5/2122.5
 Fourth Frequency: FDD:1937.5/2127.5

Topology
☒ FDD
☐ FDD+HSDPA same carrier: remaining power
☐ FDD+HSDPA same carrier: X% HSDPA power

Radius
 Alfa r [dB]: 3

HSDPA power [%]
 Power HSDPA : 30 %

Soft Handover Strategy:
☐ Reduce the throughput
☒ Block users with lower throughput

OK Cancel

Figura J. 6 – Parâmetros de definição das condições de simulação da rede e cenário de referência.

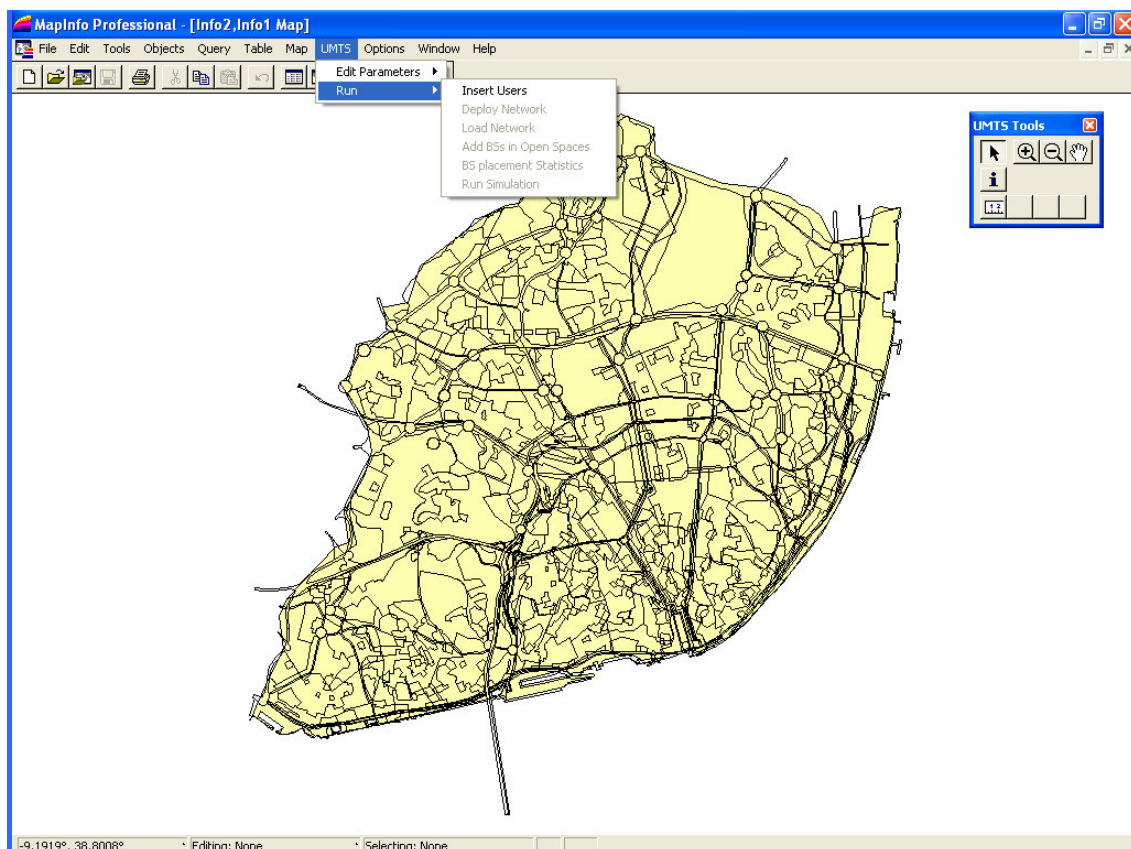


Figura J. 7 – Opções disponíveis no menu *Run* antes da colocação dos utilizadores.

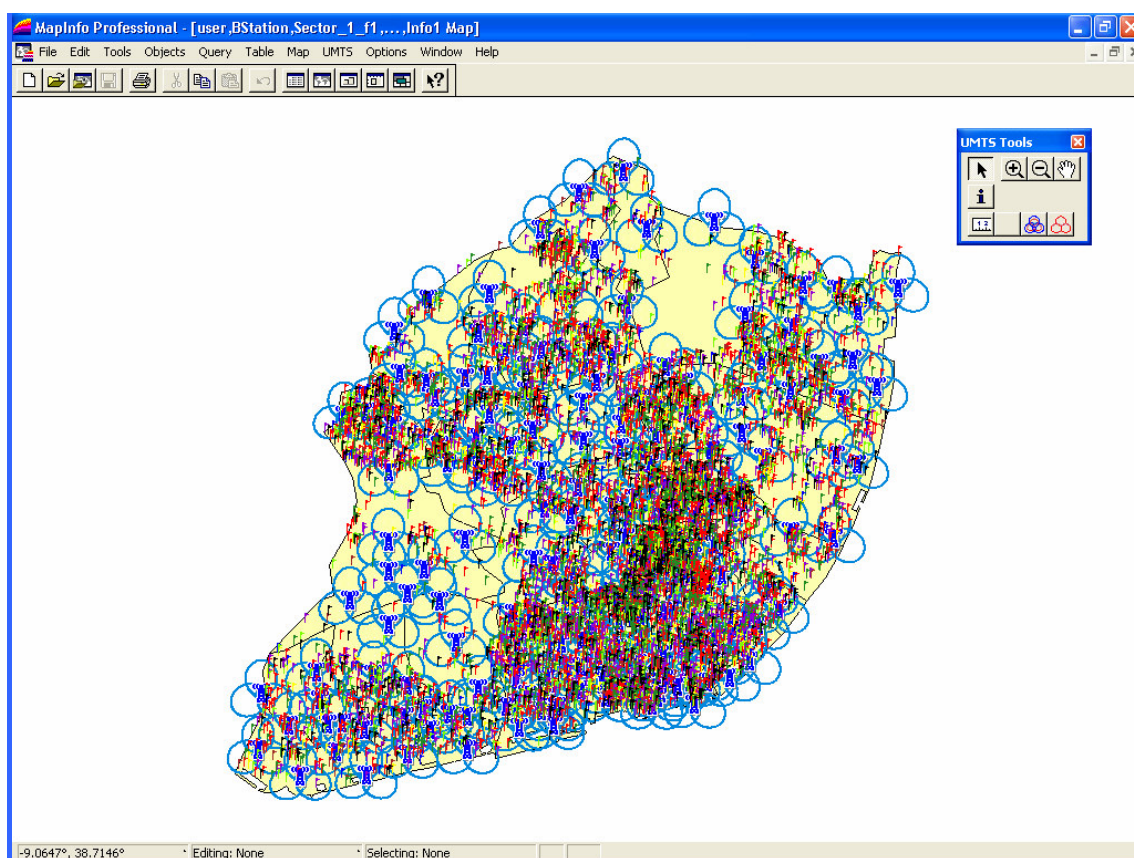


Figura J. 8 – Mapa de Lisboa depois do *Deploy Network*.

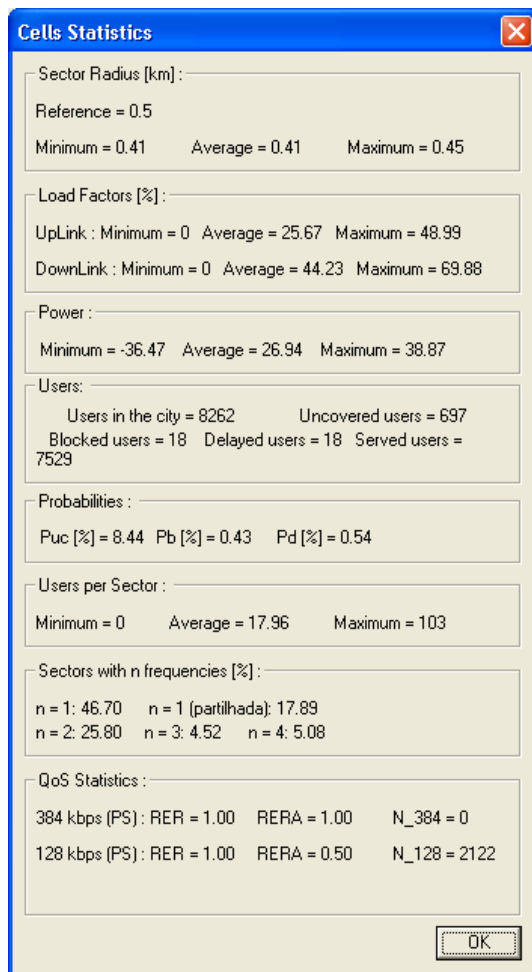


Figura J. 9 – Janela final com alguns parâmetros de desempenho da rede para Rel99.

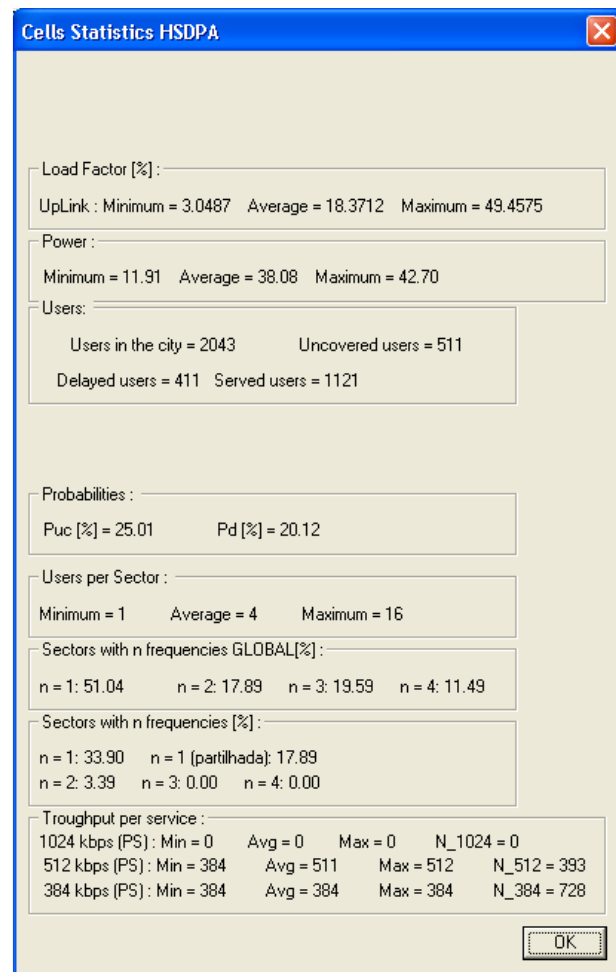


Figura J. 10 – Janela final com alguns parâmetros de desempenho da rede para HSDPA.

Anexo K – Diagrama de radiação

A antena das EBs utilizada neste simulador é caracterizada pela Tabela K. 1, sendo que é considerado um ganho máximo de 17dBi, tendo-se então o diagrama de radiação da Figura K. 1.

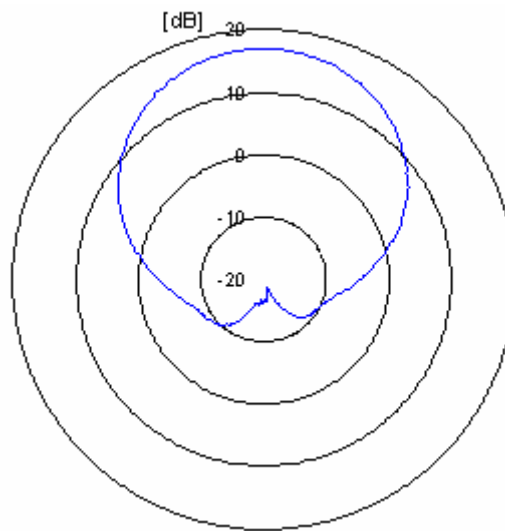


Figura K. 1 – Diagrama de radiação da antena de abertura horizontal de 65° para um ganho máximo de 17dBi (extraído de [Sant04]).

Tabela K. 1 – Valores do diagrama de radiação, relativos ao máximo, para antenas de 65° e 120°
(extraído de[Sant04]).

Az.	65°	120°	Az.	65°	120°	Az.	65°	120°	Az.	65°	120°	Az.	65°	120°	Az.	65°	120°
0	0.02	0	60	10.65	3.4	120	27.3	12.3	180	33.78	26	240	25.83	12	300	10.63	3.4
1	0.03	0.05	61	10.99	3.54	121	27.4	12.32	181	33.45	26	241	25.71	11.74	301	10.32	3.27
2	0.03	0.1	62	11.33	3.68	122	27.55	12.68	182	33.22	26	242	25.7	11.53	302	9.98	3.14
3	0.05	0.14	63	11.69	3.82	123	27.66	13.09	183	33.16	26	243	25.64	11.35	303	9.71	3.03
4	0.05	0.17	64	12.03	3.96	124	27.57	13.54	184	33.11	26	244	25.48	11.18	304	9.35	2.91
5	0.08	0.2	65	12.37	4.1	125	27.68	14	185	33.2	26	245	25.45	11	305	9.07	2.8
6	0.11	0.22	66	12.73	4.23	126	27.59	14.48	186	33.14	26	246	25.44	10.81	306	8.77	2.69
7	0.17	0.25	67	13.09	4.35	127	27.78	14.97	187	33.26	26	247	25.34	10.6	307	8.48	2.59
8	0.21	0.26	68	13.46	4.47	128	27.79	15.47	188	33.34	26	248	25.21	10.4	308	8.21	2.49
9	0.27	0.28	69	13.81	4.59	129	27.82	15.98	189	33.66	26	249	25.1	10.19	309	7.89	2.39
10	0.34	0.3	70	14.21	4.7	130	28	16.5	190	33.24	26	250	24.94	10	310	7.62	2.3
11	0.39	0.32	71	14.55	4.81	131	28.04	17.03	191	33.37	26	251	24.79	9.83	311	7.33	2.21
12	0.47	0.34	72	14.96	4.93	132	28.02	17.57	192	33.31	26	252	24.65	9.66	312	7.05	2.13
13	0.54	0.36	73	15.31	5.05	133	28.19	18.11	193	32.92	26	253	24.42	9.49	313	6.77	2.05
14	0.61	0.38	74	16	5.17	134	28.36	18.65	194	32.75	26	254	24.25	9.31	314	6.5	1.98
15	0.71	0.4	75	16.35	5.3	135	28.56	19.2	195	33	26	255	24.05	9.1	315	6.24	1.9
16	0.81	0.42	76	16.72	5.43	136	28.51	19.75	196	33.08	26	256	23.89	8.86	316	5.98	1.82
17	0.89	0.44	77	17.06	5.57	137	28.64	20.29	197	33.03	26.01	257	23.64	8.6	317	5.72	1.75
18	0.99	0.47	78	17.41	5.71	138	28.76	20.83	198	32.97	26.01	258	23.37	8.34	318	5.47	1.67
19	1.11	0.48	79	17.81	5.86	139	29.24	21.37	199	33.1	26.01	259	23.15	8.1	319	5.23	1.59
20	1.23	0.5	80	18.17	6	140	29.49	21.9	200	32.88	26	260	22.95	7.9	320	4.99	1.5
21	1.35	0.51	81	18.56	6.14	141	29.77	22.43	201	32.58	25.99	261	22.76	7.75	321	4.76	1.41
22	1.5	0.52	82	18.89	6.27	142	30.13	22.95	202	32.33	25.98	262	22.51	7.63	322	4.5	1.32
23	1.63	0.54	83	19.24	6.38	143	30.05	23.45	203	31.85	25.97	263	22.26	7.53	323	4.27	1.24
24	1.79	0.56	84	19.62	6.46	144	30.25	23.94	204	31.77	25.97	264	22.07	7.43	324	4.05	1.16
25	1.92	0.6	85	19.95	6.5	145	30.72	24.4	205	31.68	26	265	21.78	7.3	325	3.84	1.1
26	2.07	0.65	86	20.34	6.5	146	31.41	24.83	206	31.48	26.05	266	21.53	7.14	326	3.62	1.05
27	2.24	0.71	87	20.67	6.48	147	31.44	25.22	207	31.12	26.09	267	21.26	6.95	327	3.42	1.01
28	2.4	0.78	88	20.97	6.45	148	31.43	25.55	208	30.68	26.12	268	20.99	6.77	328	3.22	0.98
29	2.55	0.84	89	21.29	6.45	149	32.17	25.82	209	30.15	26.09	269	20.68	6.61	329	3.03	0.94
30	2.73	0.9	90	21.62	6.5	150	32.52	26	210	29.76	26	270	20.43	6.5	330	2.85	0.9
31	2.92	0.94	91	21.91	6.61	151	32.9	26.09	211	29.52	25.82	271	20.15	6.45	331	2.66	0.84
32	3.1	0.98	92	22.22	6.77	152	33.25	26.12	212	29.24	25.55	272	19.86	6.45	332	2.48	0.78
33	3.31	1.01	93	22.54	6.95	153	33.73	26.09	213	29.03	25.22	273	19.53	6.48	333	2.3	0.71
34	3.5	1.05	94	22.83	7.14	154	34.33	26.05	214	28.81	24.83	274	19.24	6.5	334	2.14	0.65
35	3.71	1.1	95	23.13	7.3	155	34.67	26	215	28.66	24.4	275	18.94	6.5	335	1.98	0.6
36	3.92	1.16	96	23.43	7.43	156	34.76	25.97	216	28.49	23.94	276	18.68	6.46	336	1.83	0.56
37	4.13	1.24	97	23.7	7.53	157	35.18	25.97	217	28.24	23.45	277	18.38	6.38	337	1.69	0.54
38	4.37	1.32	98	23.96	7.63	158	35.66	25.98	218	28.02	22.95	278	18.09	6.27	338	1.56	0.52
39	4.59	1.41	99	24.27	7.75	159	35.8	25.99	219	27.79	22.43	279	17.78	6.14	339	1.43	0.51
40	4.83	1.5	100	24.5	7.9	160	35.87	26	220	27.63	21.9	280	17.48	6	340	1.31	0.5
41	5.06	1.59	101	24.74	8.1	161	35.98	26.01	221	27.42	21.37	281	17.15	5.86	341	1.17	0.48
42	5.32	1.67	102	25.07	8.34	162	35.45	26.01	222	27.25	20.83	282	16.82	5.71	342	1.05	0.47
43	5.56	1.75	103	25.24	8.6	163	35.36	26.01	223	27.05	20.29	283	16.13	5.57	343	0.92	0.44
44	5.82	1.82	104	25.39	8.86	164	35.38	26	224	26.91	19.75	284	15.81	5.43	344	0.82	0.42
45	6.07	1.9	105	25.55	9.1	165	35.59	26	225	26.9	19.2	285	15.51	5.3	345	0.72	0.4
46	6.34	1.98	106	25.76	9.31	166	35.16	26	226	26.88	18.65	286	15.19	5.17	346	0.63	0.38
47	6.63	2.05	107	25.93	9.49	167	34.8	26	227	26.72	18.11	287	14.89	5.05	347	0.55	0.36
48	6.92	2.13	108	26.13	9.66	168	34.6	26	228	26.69	17.57	288	14.56	4.93	348	0.49	0.34
49	7.2	2.21	109	26.3	9.83	169	34.05	26	229	26.57	17.03	289	14.24	4.81	349	0.42	0.32
50	7.5	2.3	110	26.46	10	170	33.77	26	230	26.48	16.5	290	13.9	4.7	350	0.34	0.3
51	7.78	2.39	111	26.6	10.19	171	33.84	26	231	26.45	15.98	291	13.57	4.59	351	0.27	0.28
52	8.07	2.49	112	26.69	10.4	172	33.48	26	232	26.39	15.47	292	13.21	4.47	352	0.2	0.26
53	8.37	2.59	113	26.82	10.6	173	33.59	26	233	26.32	14.97	293	12.92	4.35	353	0.17	0.25
54	8.68	2.69	114	26.94	10.81	174	33.58	26	234	26.25	14.48	294	12.58	4.23	354	0.11	0.22
55	8.97	2.8	115	27.04	11	175	33.63	26	235	26.18	14	295	12.25	4.1	355	0.11	0.2
56	9.31	2.91	116	27.11	11.18	176	33.97	26	236	26.11	13.54	296	11.94	3.96	356	0.08	0.17
57	9.63	3.03	117	27.09	11.35	177	33.92	26	237	26.04	13.09	297	11.58	3.82	357	0.05	0.14
58	9.97	3.14	118	27.23	11.53	178	33.54	26	238	25.98	12.68	298	11.28	3.68	358	0.01	0.1
59	10.33	3.27	119	27.34	11.74	179	33.63	26	239	25.93	12.32	299	10.94	3.54	359	0.02	0.05

Anexo L – Extrapolação do número de utilizadores

Neste anexo são apresentados os cálculos efectuados para realizar uma extrapolação temporal. Esta foi realizada para dois cenários, o de referência ou corrente, e o de dados exigente.

Considerando a taxa de penetração, a percentagem de um utilizador realizar um dado ritmo e o volume equivalente gerado pelo utilizador por serviço (este é calculado de forma diferente caso o serviço em causa seja CS (L.2), ou PS, (L.1)), é possível determinar o volume equivalente gerado numa sessão por utilizador, $V_{eq\ total}$ (L.4).

$$V_{eq_PS} = pen \times V \quad (L.1)$$

$$V_{eq_CS} = pen \times R_b \times \bar{\tau} \quad (L.2)$$

$$pen_n = percentagem_do_ritmo \times penetração_do_serviço \quad (L.3)$$

$$V_{eq\ total} = \frac{\sum_{n=1}^{Nserviços} V_{eq\ n}}{\sum_{n=1}^{Nserviços} pen_n} \quad (L.4)$$

em que:

- $V_{eq\ n}$: volume equivalente que um utilizador gera por serviço numa sessão;
- pen_n : penetração de um dado ritmo para o serviço n ;
- V_n : volume gerado para o serviço n numa sessão;
- $\bar{\tau}$: duração média da chamada;
- $V_{eq\ total}$: volume equivalente total gerado por utilizador numa sessão;

Tabela L. 1 – Caracterização dos serviços para o cenário corrente.

Serviço	R_b [kbps]	Percentagem [%]	Penetração do serviço [%]	$\bar{\tau}$ [s]	V [kB]	$V_{eq\ n}$ [kB]
Voz	12.2	100	35.0	120	-	64.05
Vídeo Telefonía	64	100	7.5	120	-	72
M-Entertainment	384	20	5.0	-	2300	23
	128	80				92
Messaging	384	20	10.0	-	10	0.2
	128	80				0.8
LBS (Serviços de Localização)	128	20	7.5	-	230	3.45
	64	80				13.8
MMS (Multimedia Messaging Service)	128	20	10.0	-	60	1.2
	64	80				4.8
Acesso Internet	512	50	15.0	-	1000	75
	384	50				75
Browsing	384	20	10.0	-	1200	24
	128	80				96

Tabela L. 2 – Caracterização dos serviços para o cenário de dados exigente.

Serviço	R_b [kbps]	Percentagem [%]	Penetração do serviço [%]	$\bar{\tau}$ [s]	V [kB]	$V_{eq\ n}$ [kByte]
Voz	12.2	100	25	120	-	45.75
Vídeo Telefonía	64	100	7.5	120	-	72
M-Entertainment	384	80	5.0	-	2300	92
	128	20				23
Messaging	384	80	15.0	-	10	1.2
	128	20				0.3
LBS (Serviços de Localização)	128	80	7.5	-	230	17.25
	64	20				
MMS (Multimedia Messaging Service)	128	80	10.0	-	60	6
	64	20				
Acesso Internet	1024	80	20.0	-	1000	200
	512	20				
Browsing	384	80	10.0	-	1200	96
	128	20				24

O volume total gerado na rede na hora de pico, V_{tot} , calcula-se considerando o número de utilizadores na rede, para cada um dos ritmos possíveis presentes na Tabela L. 3, dos 8 serviços considerados (L.5). O número de utilizadores servidos pela rede na hora de pico, determina-se dividindo o volume de tráfego total gerado na rede numa sessão, pelo volume equivalente total gerado por utilizador numa sessão (L.6).

Tabela L. 3 – Número de utilizadores que estão a realizar um dado ritmo binário para os dois cenários considerados.

R_b [kbps]	Número de utilizadores			
	$R_{b_efectivo}$ [kbps]	Corrente	$R_{b_efectivo}$ [kbps]	Dados exigente
12.2	12.2	3523	12.2	2454
64(CS)	64	668	64	697
64(PS)	64	1236	64	307
128	127.8	2115	127.9	1814
384	384	700	384	1390
512	509.8	415	499.7	235
1024	0	0	930.7	911

$$V_{tot} = \sum_{i=1}^{Nr_{itmos}} N_{utilizadores} \times R_{b_efectivo} \quad (L.5)$$

$$N_{ut} = \frac{V_{tot}}{V_{eq\ total}} \quad (L.6)$$

em que:

- V_{tot} : volume total gerado na rede numa sessão;
- $N_{utilizadores}$: número de utilizadores a realizar um dado ritmo efectivo;
- $R_{b_efectivo}$: ritmo binário a que o utilizador está a realizar serviço;

- $V_{eq\ total}$: volume equivalente total gerado por utilizador numa sessão;
- N_{ut} : número de utilizadores servidos pela rede na hora de pico.

Tendo em conta que:

- existem 180 EBs trisectorizadas;
- consegue-se servir 755 515 utilizadores numa hora no cenário corrente (L.6);
- consegue-se servir 1 422 420 utilizadores no cenário de dados exigente (L.6);

obtém-se então, que na hora de ponta são servidos 1399 utilizadores por sector no cenário corrente, e 2634 utilizadores por sector no cenário de dados exigente.

Para uma rede GSM, considerando que os utilizadores estão a realizar 120s/hora (consegue-se servir 30 utilizadores numa hora), e se está a usar 3 portadoras (considera-se que 2 *time-slots* são reservados para sinalização e controlo), obtém-se que numa hora 660 utilizadores por sector, em GSM são servidos, verificando-se então, que os resultados obtidos para a rede UMTS são realistas, visto o UMTS ter uma maior capacidade que o GSM. Isto pode-se facilmente verificar se compararmos o número de canais de voz em UMTS e em GSM:

- 1 portadora UMTS têm 126 canais de voz;
- 3 portadoras GSM têm 22 canais de voz;

podendo-se concluir que a $Capacidade_UMTS_voz \sim 5 \times Capacidade_GSM_voz_{3portadora}$.

Considerando somente os utilizadores que estão a usar HSDPA e os correspondentes ritmos, tendo em conta que na determinação do volume total gerado na rede, se pretende ter um ritmo médio de 384kbps, e as mesmas considerações anteriormente referidas, verifica-se que a rede suporta 405 utilizadores por sector na hora de ponta no cenário de referência, e 1412 utilizadores por sector na hora de ponta para o cenário de dados exigente.

Anexo M – Balanço de potência de HSDPA

Para HSDPA, ao contrário da Rel99, não existe à partida um balanço de potência definido em termos dos serviços. Desta forma, para este trabalho foi adaptado o modelo usado na Rel99 com algumas alterações e diferentes pressupostos. Os valores obtidos pelo balanço elaborado são assim uma estimativa. Neste anexo encontram-se as alterações e considerações que foram estabelecidas em relação ao modelo descrito no Anexo B.

Não é adequado considerar o valor de E_b/N_0 para ritmos superiores a 384kbps, visto tratar-se de um canal partilhado com actualizações do tipo de modulação e codificação a cada TTI. Deve-se então considerar o valor de SNR que pode ser aproximado por SINR. Com este pressuposto, obtém-se a partir da curva referida no Anexo D uma expressão que relaciona o ritmo binário com o SINR (D.2). Sendo assim, se na equação (M.1), usada no balanço de potência de UMTS Rel99 se fizer uma aproximação do valor de E_b/N_0 ao valor de SINR, é possível determinar a sensibilidade do receptor, (M.2).

A utilização do valor de SINR, obtido a partir de (D.2), tem em conta os seguintes pressupostos:

- a relação $R_b(\text{SINR})$ não é influenciada pelo tipo de mobilidade do utilizador (interior, pedestre ou veicular);
- o utilizador tem sempre disponíveis 15 códigos (SF16) a não ser que esteja numa portadora partilhada, neste caso considera-se que tem 5 códigos (SF16), sendo a relação $R_b(\text{SINR})$ diminuída em 1/3;
- não se tem em conta a dependência existente entre número de códigos e potência necessária para realizar um dado serviço, considerando-se que um utilizador usa um código (SF16) na contabilização do número de códigos.

$$P_{Rx\min[\text{dBm}]} = N_{[\text{dBm}]} - G_{P[\text{dB}]} + (E_b/N_0)_{[\text{dB}]} \quad (\text{M.1})$$

$$P_{Rx\min\text{ DL_HS}[\text{dBm}]} = N_{[\text{dBm}]} - G_{P[\text{dB}]} + \text{SINR}_{[\text{dB}]} \quad (\text{M.2})$$

onde:

- N é a potência total de ruído;
- G_p é o ganho de processamento.

Para calcular a potência de ruído (M.3) é necessário estabelecer a margem de interferência a usar. No entanto, ao contrário da Rel99, não é possível estimar analiticamente o factor de carga de DL para analisar o impacto do utilizador na carga da célula visto, mais uma vez, se tratar de um canal partilhado, logo a margem de interferência também não se consegue determinar. Considerou-se então que esta margem era inexistente.

$$N_{[\text{dBm}]} = -174 + 10 \cdot \log(\Delta f_{[\text{Hz}]}) + F_{[\text{dB}]} \quad (\text{M.3})$$

onde:

- Δf é a largura de banda do sinal, tomada neste caso como o ritmo de codificação, R_c ;
- F é o factor de ruído;
- R_b é o ritmo de transmissão associado ao serviço.

A contabilização das restantes margens é em tudo idêntico ao balanço de potência da Rel99, no entanto como o canal de dados HS-DSCH não suporta *soft handover* não é contabilizado o ganho para o cálculo da margem (M.4).

$$M_{[\text{dB}]} = M_{SF[\text{dB}]} + M_{FF[\text{dB}]} + L_{\text{int}[\text{dB}]} \quad (\text{M.4})$$

onde:

- M_{SF} é a margem de desvanecimento lento;
- M_{FF} é a margem de desvanecimento rápido;
- L_{int} é a atenuação de penetração em interiores;

Anexo N – Raios máximos de cobertura

Para justificar a obtenção da probabilidade de utilizadores não cobertos elevada durante a aferição da validade do simulador, analisa-se o raio de cobertura que se obtém para cada cenário de utilização, Tabela N. 1.

Tabela N. 1 – Atenuação de penetração de interiores consoante o cenário de utilização.

	Cenário de Utilização			
	Interior_HL	Interior_LL	Veicular	Pedestre
L_{int} [dB]	21	11	11	0

O raio de cobertura é determinado através da realização de um balanço de potência (Anexo M), considerando-se os valores estipulados para o mesmo e nas condições mais favoráveis que um utilizador a realizar serviço HSDPA pode ter, ou seja:

- encontrar-se na direcção do máximo da antena da EB, $G_a=17\text{dB}$;
- a realizar um serviço de dados a 384kbps;
- a realizar serviço em UL a 64kbps tendo um ganho de processamento de 17.7dB (B.9);
- ser do tipo pedestre;
- encontra-se a utilizar a frequência 2112.5MHz em DL.
- encontra-se a utilizar a frequência 1922.5MHz em UL.

Para ser possível que um utilizador realize um serviço de dados a 384kbps em HSDPA, é necessário que tenha no mínimo uma potência de -111.74dB na recepção (obtido através de (M.2) e (D.2) considerando um factor de ruído de 8dB) e em UL a EB necessita de ter na sua recepção um mínimo de -120.9dB (determinado através de (B.10), (N.1)).

A atenuação de propagação é determinada em DL por (N.2) e em UL por (N.3), tendo em conta que M varia com o tipo de cenário em que se encontra, Tabela N. 2.

$$P_{Rx \text{ min UL [dBm]}} = (-174 + 10 \cdot \log(3840000) + 2.5) - 10 \cdot \log(3840000/128000) + 2.5 \quad (\text{N.1})$$

$$L_{p \text{ max DL [dB]}} = (42.99 + 17 - 3.7) + 0 - M - (-111.77) \quad (\text{N.2})$$

$$L_{p \text{ max UL [dB]}} = 24 + 17 - M - (-120.9) \quad (\text{N.3})$$

Tabela N. 2 – Valores de margem e atenuação em UL e em DL para os diferentes cenários.

	Cenário de Utilização			
	Interior_HL	Interior_LL	Pedestre	Veicular
M [dB]	28.3	18.3	4.8	19.5
$L_{p \text{ max UL [dB]}}$	133.6	143.6	157.1	142.4
$L_{p \text{ max DL [dB]}}$	139.7	149.7	163.2	148.2

Sabendo a atenuação de propagação que a ligação vai ter e tendo em conta que se está a utilizar o modelo de propagação COST 231 Walfish-Ikegami (Anexo A), determina-se a distância máxima a que o utilizador se pode encontrar através da manipulação de (A.1), caso em que $L_{tr}+L_{tm}>0$, Tabela N. 3.

Tabela N. 3 – Valores dos raios máximos de cobertura para utilizadores HSDPA.

	Raio máximo [km]			
	Interior_HL	Interior_LL	Veicular	Pedestre
UL_HSDPA	0.371	0.681	0.660	1.542
DL_HSDPA	0.488	0.895	0.869	2.029

Anexo O – Aferição do simulador: limitação de potência

No caso em que é analisado o impacto do número de utilizadores por sector na rede, nomeadamente através do estudo do número de portadoras necessárias, é possível afirmar que a limitação da rede é devida ao número de códigos disponíveis, porque a potência que os utilizadores necessitam encontra-se sempre abaixo do limite máximo de 19.9W (42.9dBm), Tabela O. 1.

Tabela O. 1 – Valores de potência obtidos no estudo da evolução do número de portadoras com o aumento do número de utilizadores.

Utilizadores por sector	Potência por sector			
	Média [dBm]	Máximo		Desvio padrão [W]
		[dBm]	[W]	
14	30.11	31	1.25	0.16
15	28.82	29.43	0.87	0.11
28	30.86	31.29	1.34	0.10
29	28.82	30.02	1.00	0.17
42	30.8	31.47	1.40	0.16
43	29.85	30.62	1.15	0.13

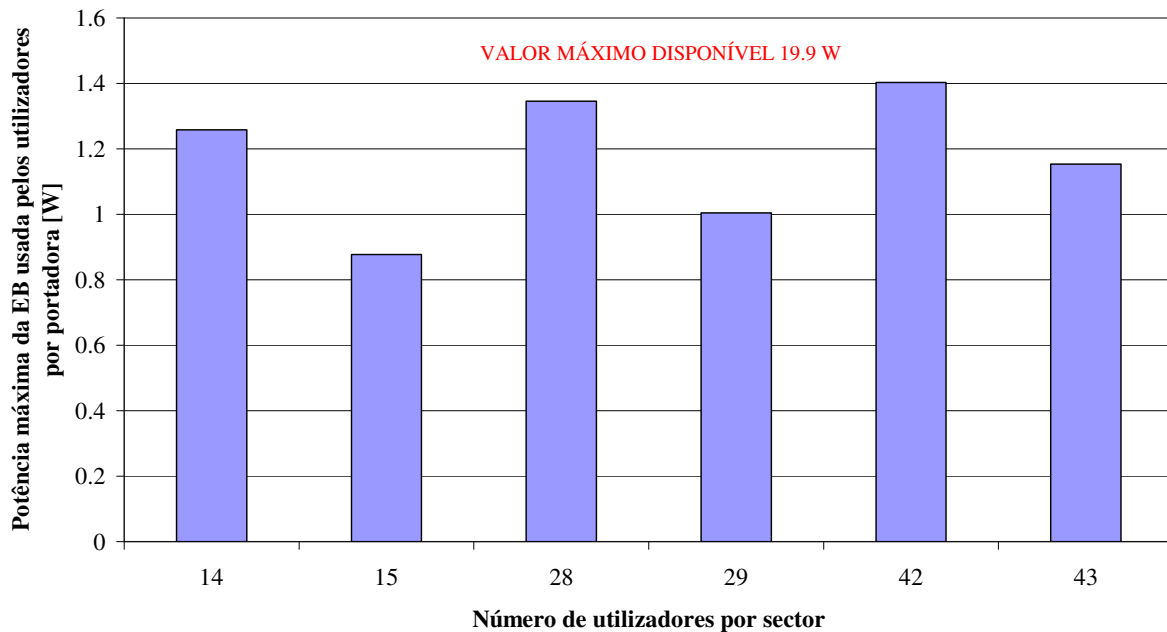


Figura O. 1 – Valores de potência máxima por portadora para diferente número de utilizadores HSDPA por sector.

Anexo P – Aferição de resultados: número de simulações

Neste anexo apresentam-se os resultados alcançados nas 5, 10 e 15 simulações, que permitiram a escolha do número necessário a realizar para que os resultados obtidos tenham relevância estatística.

Tabela P. 1 – Resultados obtidos do ritmo médio em HSDPA para 5,10 e 15 simulações.

#simulações	Max	Média	Min	DP
5	433.5	430.2	427.3	2.3
10	433.5	430.8	427.3	2.0
15	433.5	430.9	427.3	1.8

Tabela P. 2 – Dados das 15 simulações.

Capacidade [Mbps]	#utilizadores servidos	$\bar{R}_b$ [kbps]
491.9	1150	427.7
489.4	1133	431.9
488.1	1134	430.4
487.2	1140	427.3
479.5	1106	433.5
477.9	1106	432.1
475.2	1097	433.2
473.2	1103	429.0
472.5	1096	431.1
472.1	1094	431.5
471.5	1091	432.1
468.1	1093	428.3
466.4	1081	431.5
465.7	1078	432.0
459.9	1066	431.5

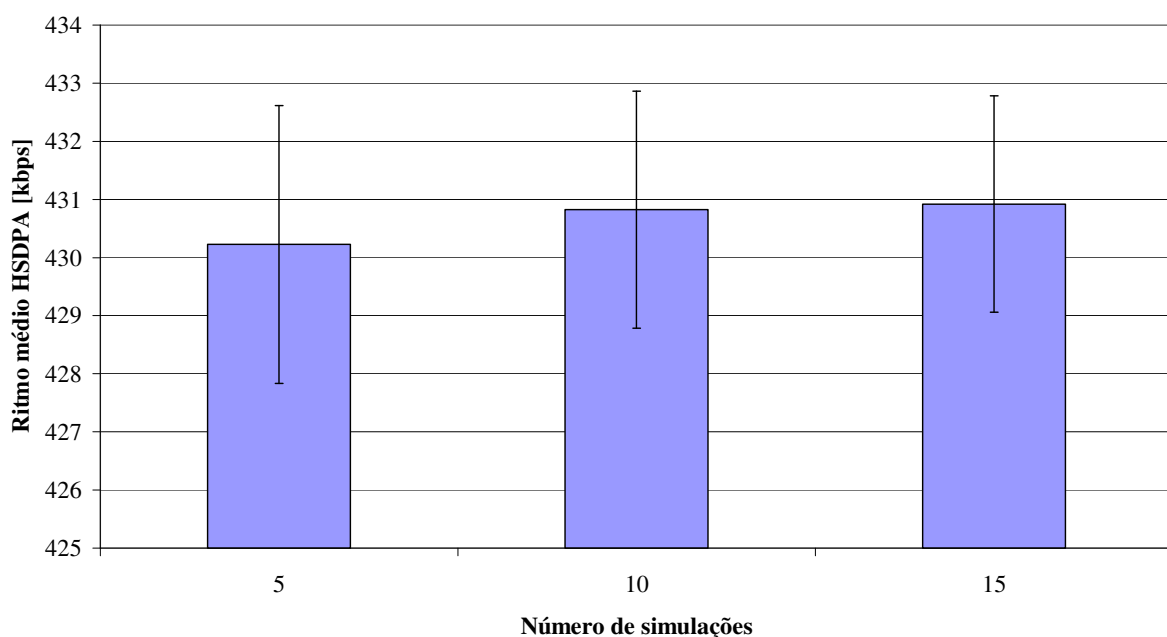


Figura P. 1 – Análise do número de simulações necessárias para os resultados terem relevância estatística.

Anexo Q – Resultados do cenário de referência

Neste anexo apresentam-se os resultados obtidos nas simulações do cenário de referência.

Tabela Q. 1 – Número de utilizadores HSDPA por sector no cenário de referência.

#utilizadores HSDPA por sector	Cobertos	Servidos
Min	1	1
Média	5.5	3.8
Max	37	25
DP	2.1	1.6

Tabela Q. 2 – Número de utilizadores a pretender realizar serviço a um determinado ritmo no cenário de referência.

#utilizadores servidos	1024kbps	512kbps	384kbps	128kbps	64kbps (PS)	64kbps (CS)	12.2kbps
Min	0	393	669	2067	1208	666	3519
Média	0	415	700.9	2115.3	1236.8	668.7	3523.5
Max	0	437	748	2159	1276	670	3526
DP	0	14.33	26.75	27.51	19.35	1.26	2.10

Tabela Q. 3 – Caracterização dos utilizadores HSDPA no cenário de referência.

Utilizadores HSDPA	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados
Min	2008	485	1094	382
Média	2042	524.5	1115.9	401.6
Max	2068	552	1150	438
DP	19.46	22.00	19.89	17.69

Tabela Q. 4 – Caracterização dos utilizadores Rel99 no cenário de referência.

Utilizadores Rel99	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados	Bloqueados
Min	8237	681	7515	5	9
Média	8263	697.7	7544.3	8.9	12.8
Max	8297	714	7578	16	18
DP	19.46	9.1	16.46	3.50	2.44

Tabela Q. 5 – Probabilidade de atraso, bloqueio e de utilizadores não cobertos no cenário de referência.

Probabilidade [%]	HSDPA		Rel99		
	P_a	P_{ncob}	P_a	P_{ncob}	P_b
Min	18.50	23.77	0.15	8.26	0.21
Média	19.66	25.68	0.26	8.43	0.30
Max	21.30	26.79	0.47	8.63	0.43
DP	0.84	1.01	0.10	0.11	0.05

Tabela Q. 6 – Distribuição do número de frequências global por sector no cenário de referência.

%sectores com n portadoras	1	2	3	4
Min	48.68	15.69	18.23	10.51
Média	50.73	17.56	20.01	11.69
Max	51.6	19.74	21.99	12.59
DP	0.92	1.16	1.20	0.61

Tabela Q. 7 – Distribuição do número de frequências HSDPA por sector no cenário de referência.

%sectores com n portadoras HSDPA	1	2	3	4
Min	33.84	1.88	0	0
Média	34.75	2.25	0.01	0
Max	36.84	3.02	0.19	0
DP	0.90	0.32	0.057	0

Tabela Q. 8 – Distribuição do número de frequências por sector com portadora partilhada no cenário de referência.

%sectores com portadora partilhada	1
Min	17.11
Média	18.07
Max	19.7
DP	0.85

Tabela Q. 9 – Distribuição do número de frequências Rel99 por sector no cenário de referência.

%sectores com n portadoras Rel99	1	2	3	4
Min	42.78	25.24	5.07	4.32
Média	45.07	26.28	5.93	4.65
Max	47.18	28.14	6.95	5.08
DP	1.13	0.93	0.58	0.18

Tabela Q. 10 – Taxa de redução de ritmo por utilizador HSDPA no cenário de referência.

TR [%]	HSDPA
Min	0
Média	0.07
Max	15.45
DP	0.78

Tabela Q. 11 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um determinado serviço pretendido no cenário de referência.

$\bar{R}_b$ [kbps]	512	384	128
Min	384	384	64
Média	509.8	384	127.8
Max	512	384	128
DP	15.80	0	3.57

Tabela Q. 12 – Potência média da EB por portadora no cenário de referência.

Potência [W]	HSDPA			Rel99
	total	Portadora		
		partilhada	não partilhada	
Min	1.6E-03	4.9E-03	1.6E-03	2.25E-07
Média	6.45	4.19	7.55	0.48
Max	19.42	19.42	19.27	7.70
DP	4.85	4.01	4.84	-

Tabela Q. 13 – Factor de carga em UL no cenário de referência.

Factor de carga UL [%]	HSDPA	Rel99
Min	1.8	0
Média	17.3	24.1
Max	49.9	49.9
DP	11.7	-

Anexo R – Resultados para diferente número de utilizadores

Neste anexo são apresentados os resultados obtidos para as simulações em que foi alterado o número de utilizadores presentes na rede, podendo assim ser realizada a escolha do ficheiro de utilizadores a utilizar nas simulações seguintes e no cenário de referência.

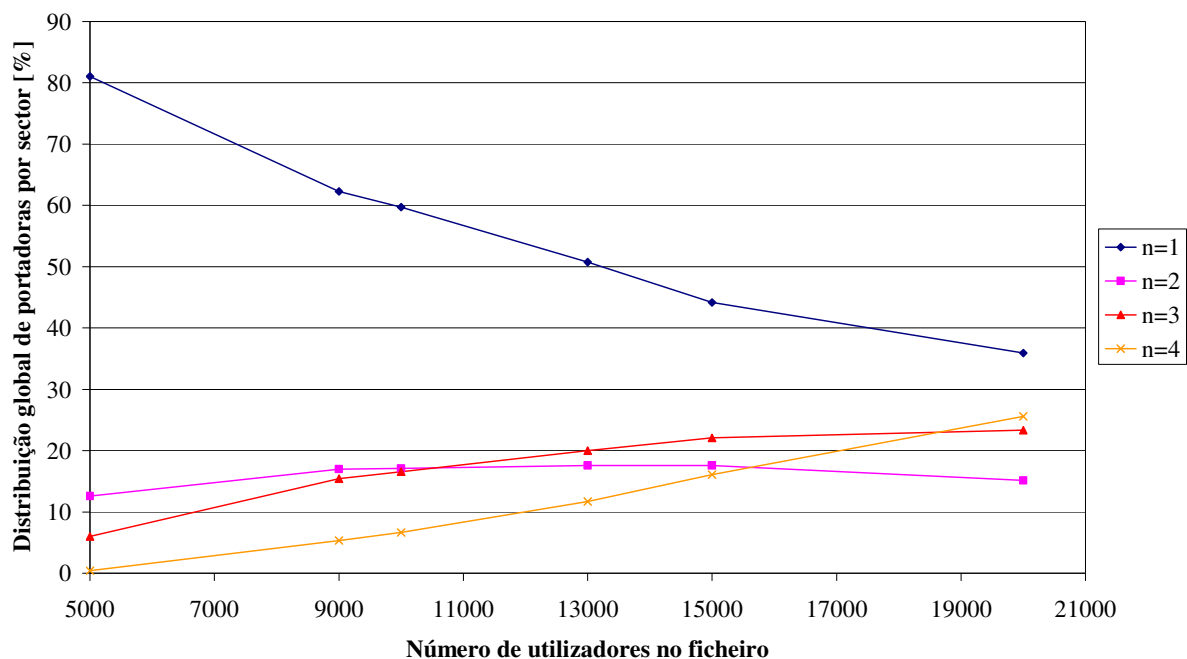


Figura R. 1 – Distribuição do número de portadoras pelos sectores mediante o aumento do número de utilizadores na rede.

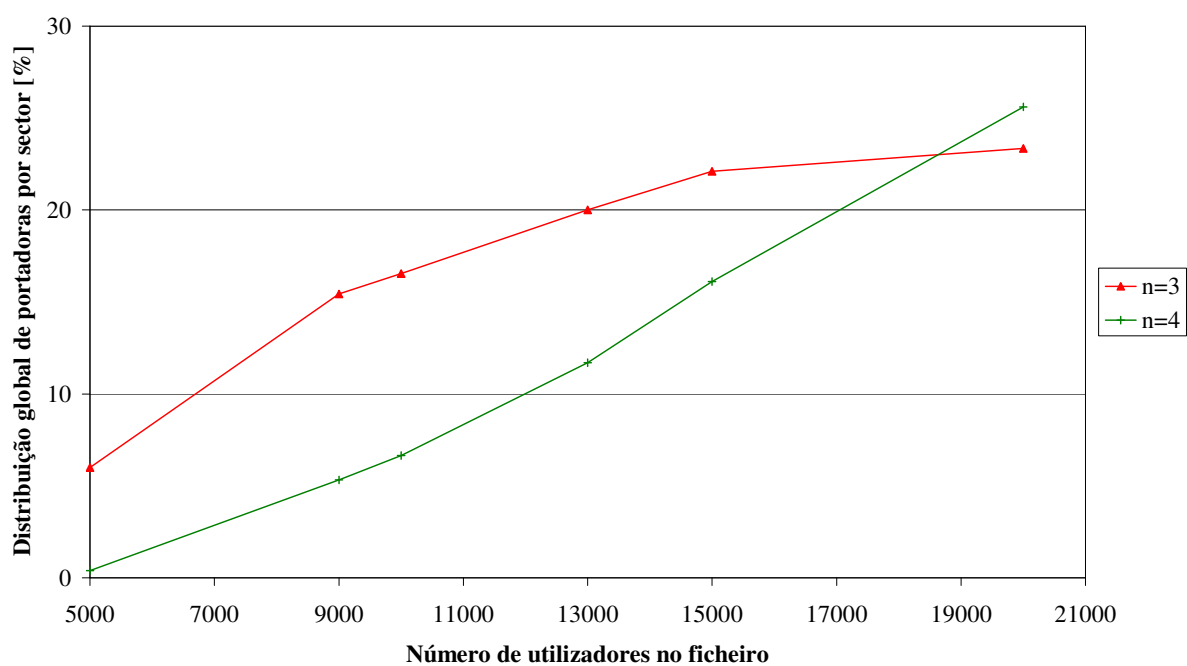


Figura R. 2 – Distribuição de sectores com 3 e 4 portadoras mediante o aumento do número de utilizadores na rede.

Tabela R. 1 – Percentagem de sectores com n portadoras para diferente número de utilizadores na rede.

n portadoras #utilizadores	1	2	3	4
5000	81.04	12.57	6	0.39
9000	62.29	16.95	15.43	5.33
10000	59.7	17.11	16.54	6.65
13000	50.73	17.56	20.01	11.69
15000	44.19	17.6	22.1	16.1
20000	35.89	15.14	23.36	25.61

Anexo S – Resultados para diferentes atenuações de penetração em ambiente interior

Neste anexo são apresentados os resultados das simulações em que foi alterada a atenuação de penetração em ambiente interior, sendo o cenário de referência representado pela sua atenuação de penetração, 11dB.

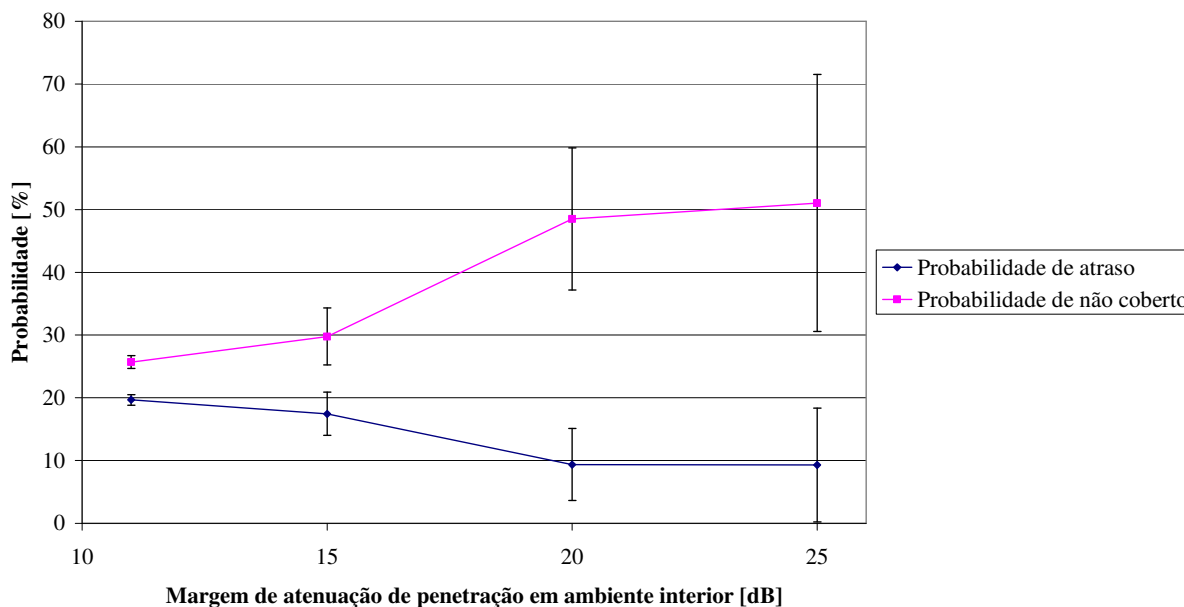


Figura S. 1 – Evolução da probabilidade de atraso e de utilizadores não cobertos de HSDPA com o aumento da atenuação de penetração em ambiente interior.

Tabela S. 1 – Probabilidade de atraso e utilizadores não cobertos de HSDPA para diferente atenuação de penetração em ambiente interior.

Probabilidade [%]	P_a			P_{ncob}		
	15	20	25	15	20	25
Min	12.3	5.5	0.8	25.7	25.4	25.2
Média	17.4	9.3	9.2	29.7	48.4	51.0
Max	21.2	21.0	21.1	36.4	55.3	68.8
DP	3.4	5.7	9.0	4.5	11.3	20.4

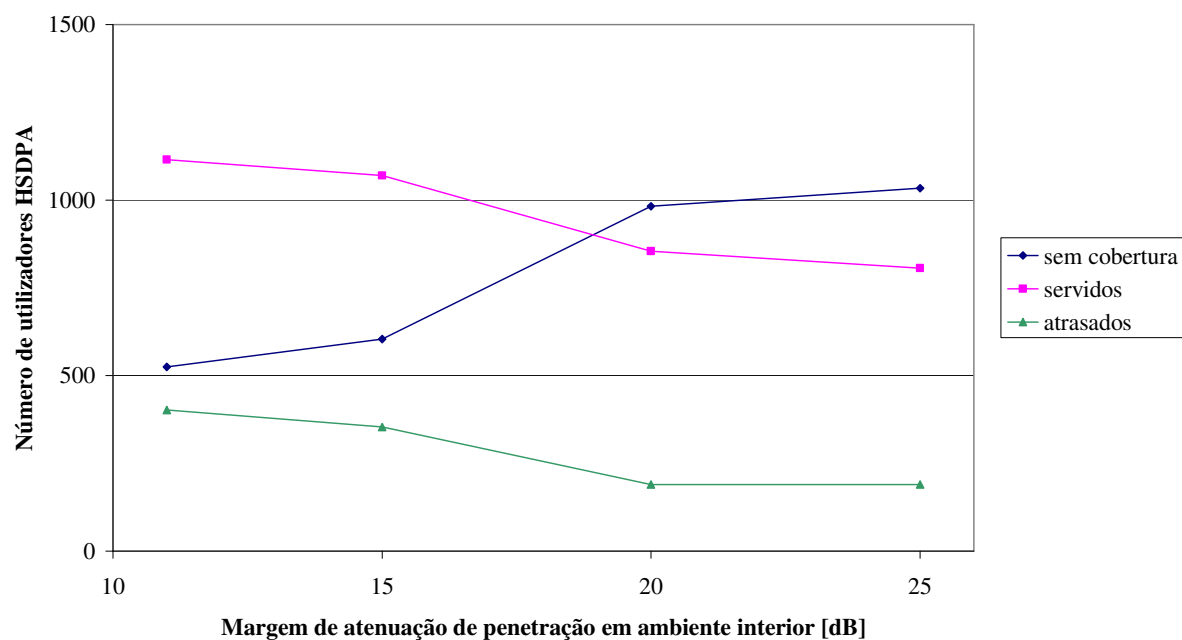
Figura S. 2 – Evolução do número de utilizadores HSDPA atrasados, servidos e não cobertos com L_{int} .

Tabela S. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA com atenuação de penetração de 15dB.

#utilizadores HSDPA	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados
Min	1998	515	1017	250
Média	2028.1	603.9	1070.3	353.9
Max	2060	750	1130	425
DP	19.95	93.20	31.21	68.93

Tabela S. 3 – Caracterização dos utilizadores HSDPA com atenuação de penetração de 20dB.

#utilizadores HSDPA	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados
Min	1999	512	775	114
Média	2027.6	982.8	854.6	190.2
Max	2068	1130	1086	435
DP	20.80	228.08	116.83	117.65

Tabela S. 4 – Caracterização dos utilizadores HSDPA com atenuação de penetração de 25dB.

#utilizadores HSDPA	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados
Min	1997	510	604	17
Média	2030.2	1034.4	806.5	189.3
Max	2071	1387	1120	430
DP	18.36	411.91	236.74	185.10

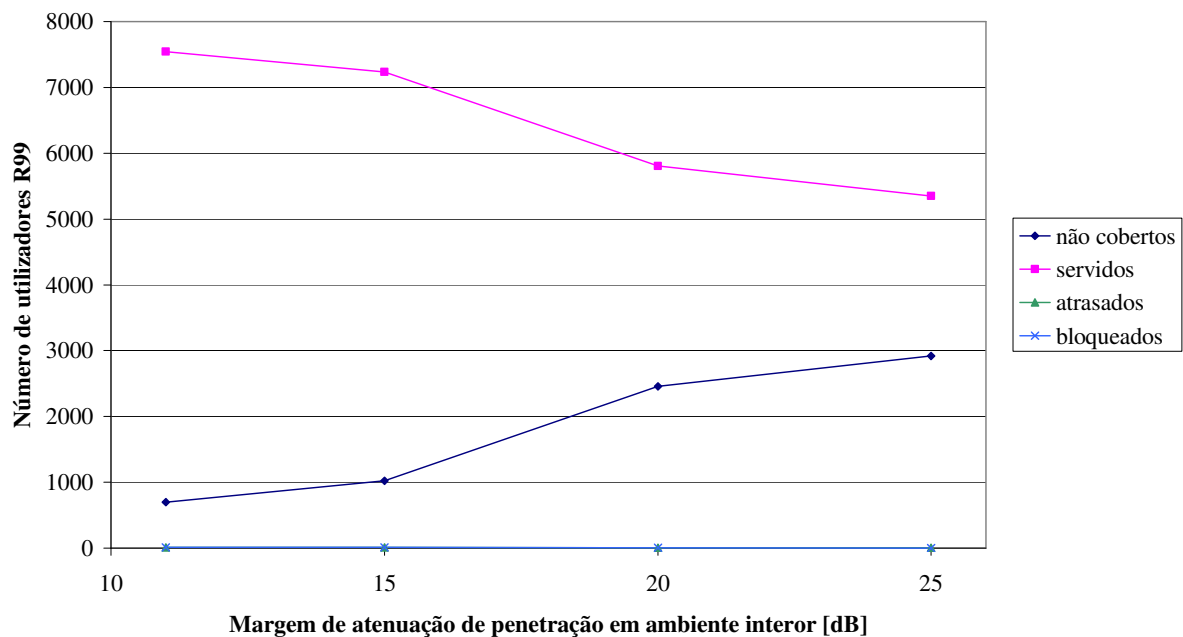


Figura S. 3 – Evolução do número de utilizadores Rel99 atrasados, bloqueados, servidos e não cobertos com L_{int} .

Tabela S. 5 – Caracterização dos utilizadores Rel99 com atenuação de penetração de 15dB.

#utilizadores Rel99	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados	Bloqueados
Min	8245	691	6717	3	2
Média	8276.9	1022.5	7235.9	9.5	9
Max	8307	1521	7581	19	16
DP	19.95	400.31	400.31	4.34	4.33

Tabela S. 6 – Caracterização dos utilizadores Rel99 com atenuação de penetração de 20dB.

#utilizadores Rel99	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados	Bloqueados
Min	8237	684	5352	2	0
Média	8275.4	2457.9	5808.4	7.9	3.2
Max	8306	2926	7584	12	9
DP	21.13	886.07	876.16	2.77	3.05

Tabela S. 7 – Caracterização dos utilizadores Rel99 com atenuação de penetração de 25dB.

#utilizadores Rel99	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados	Bloqueados
Min	8234	680	3856	0	0
Média	8274.8	2919.1	5347.2	6	2.5
Max	8308	4418	7578	23	12
DP	18.36	1823.74	1803.95	8.01	4.31

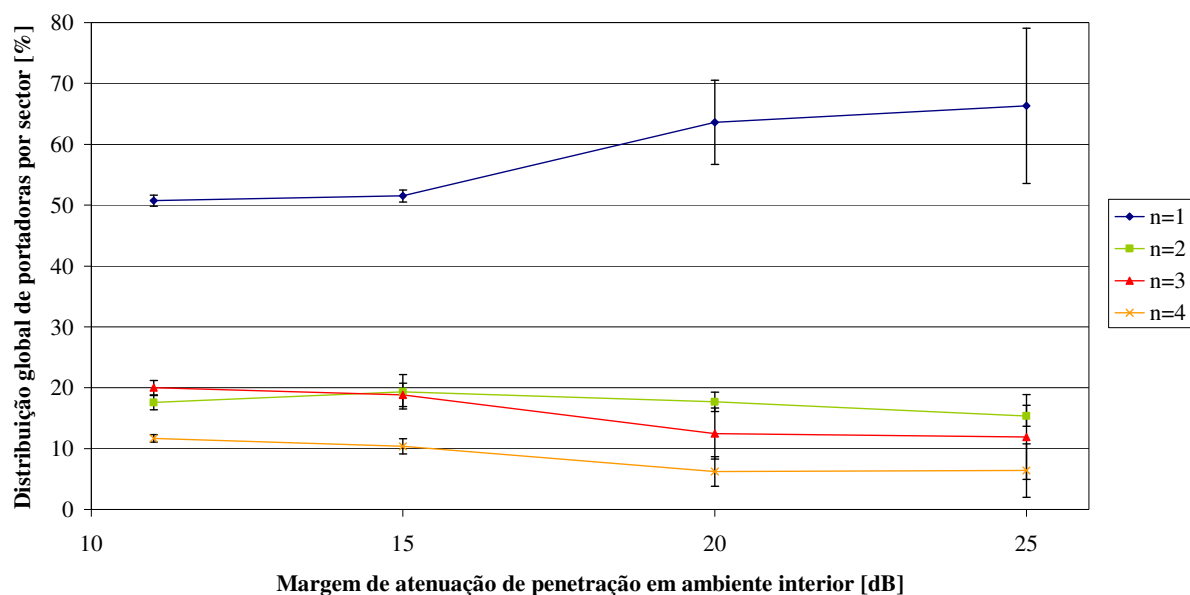


Figura S. 4 – Evolução da distribuição global do número de portadoras por sector, com o aumento de L_{int} .

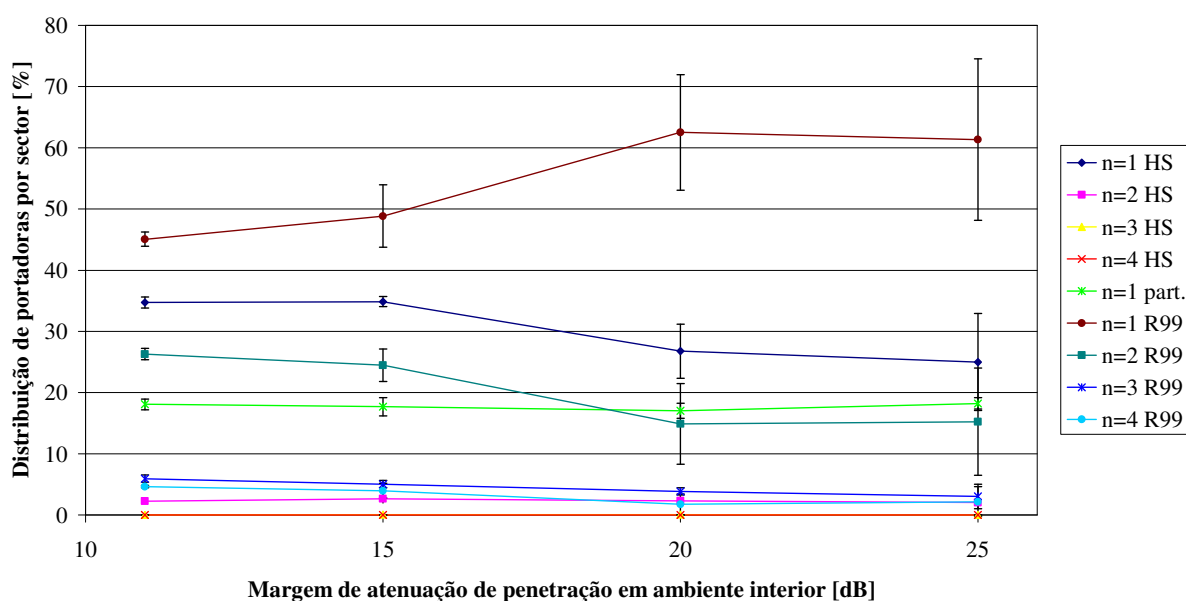


Figura S. 5 – Evolução da distribuição do número de portadoras por sector HSDPA, partilhada e Rel99, com o aumento de L_{int} .

Tabela S. 8 – Distribuição do número de frequências global por sector com 1 e 2 portadoras para diferentes L_{int} .

%sectores com n portadoras	1			2		
	15	20	25	15	20	25
Min	49.8	49.4	49.7	15.9	15.3	13.4
Média	51.5	63.6	66.3	19.3	17.7	15.3
Max	53.2	68.9	77.6	24.1	20.5	18.6
DP	0.9	6.9	12.7	2.8	1.5	1.7

Tabela S. 9 – Distribuição do número de frequências global por sector com 3 e 4 portadora para diferentes L_{int} .

%sectores com n portadoras	3			4		
	15	20	25	15	20	25
Min	15.2	9.4	5.6	8.4	4.7	2.0
Média	18.8	12.4	11.9	10.3	6.2	6.3
Max	20.9	20.8	21.5	12.0	11.2	12.4
DP	1.9	4.1	6.9	1.2	2.4	4.3

Tabela S. 10 – Distribuição do número de frequências por sector com 1 e 2 portadoras HSDPA para diferentes L_{int} .

%sectores com n portadoras HSDPA	1			2		
	15	20	25	15	20	25
Min	33.6	22.1	17.9	1.6	0.9	0.9
Média	34.8	26.7	24.9	2.6	2.3	2.0
Max	36.3	35.3	35.2	4.1	3.0	3.4
DP	0.8	4.4	7.92	0.7	0.6	0.7

Tabela S. 11 – Distribuição do número de frequências por sector com 3 e 4 portadoras HSDPA para diferentes L_{int} .

%sectores com n portadoras HSDPA	3			4		
	15	20	25	15	20	25
Min	0	0	0	0	0	0
Média	0.05	0.03	0	0	0	0
Max	0.38	0.19	0	0	0	0
DP	0.12	0.07	0	0	0	0

Tabela S. 12 – Distribuição do número de frequências por sector com portadora partilhada para diferentes L_{int} .

%sectores com portadora partilhada	15	20	25
Min	15.0	14.9	16.9
Média	17.6	17.0	18.2
Max	20.1	18.6	19.7
DP	1.4	1.2	0.9

Tabela S. 13 – Distribuição do número de frequências por sector com 1 e 2 portadoras Rel99 para diferentes L_{int} .

%sectores com n portadoras Rel99	1			2		
	15	20	25	15	20	25
Min	42.6	43.4	43.6	19.4	10.3	7.2
Média	48.8	62.5	61.3	24.4	14.8	15.2
Max	56.6	68.4	73.6	27.4	28.2	26.3
DP	5.1	9.4	13.1	2.6	6.5	8.7

Tabela S. 14 – Distribuição do número de frequências por sector com 3 e 4 portadoras Rel99 para diferentes L_{int} .

%sectores com n portadoras Rel99	3			4		
	15	20	25	15	20	25
Min	4.1	3.2	1.1	2.4	0.7	0
Média	5.0	3.8	3.0	3.9	1.7	2.1
Max	6.5	4.8	5.8	5.4	5.0	5.4
DP	0.6	0.5	2.0	1.2	1.6	2.4

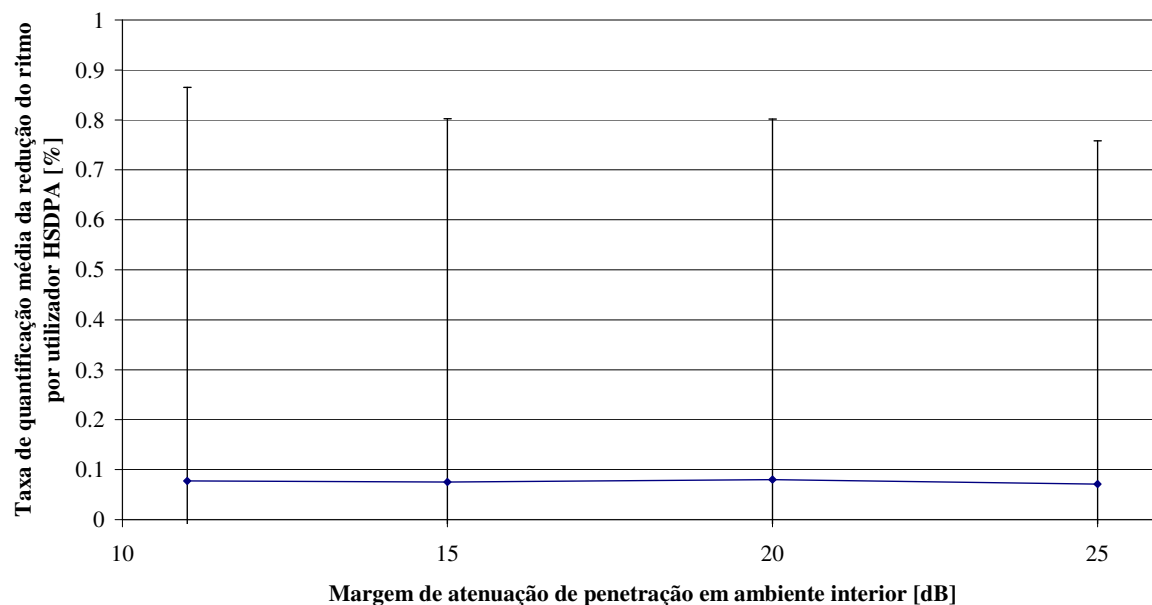


Figura S. 6 – Evolução da taxa média de redução de ritmo por utilizador HSDPA com o aumento de L_{int} .

Tabela S. 15 – Taxa de redução de ritmo por utilizador HSDPA para diferentes L_{int} .

TR [%]	15	20	25
Min	0	0	0
Média	0.07	0.07	0.07
Max	15.62	12.5	13.34
DP	0.72	0.72	0.68

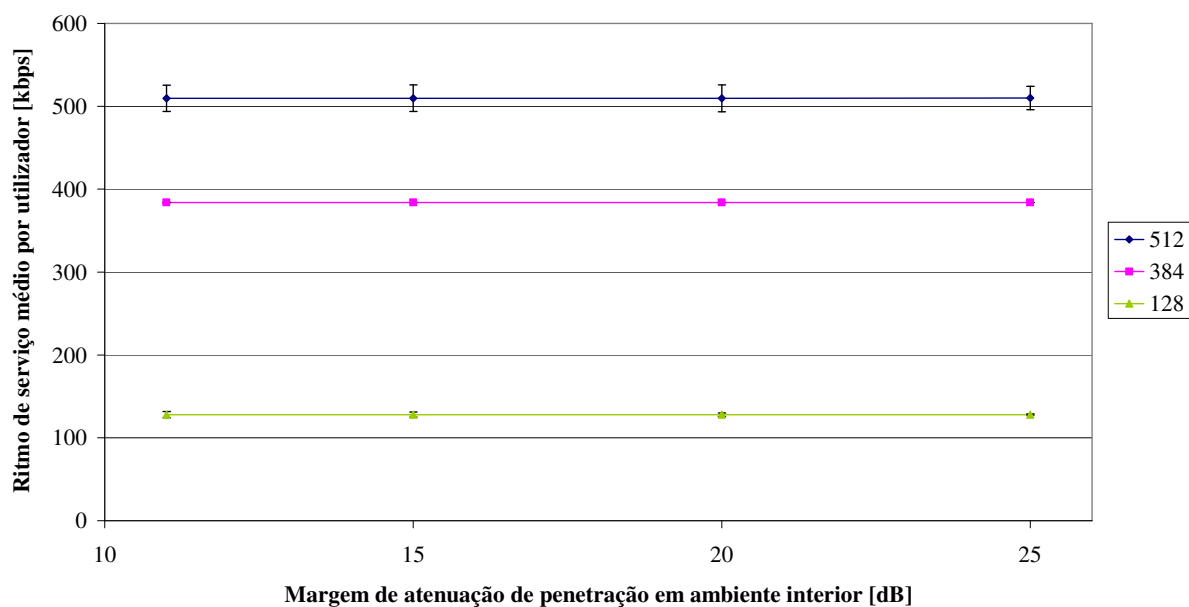


Figura S. 7 – Evolução do ritmo de serviço médio por utilizador com o aumento de L_{int} .

Tabela S. 16 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um serviço de 512kbps com diferentes L_{int} .

$\bar{R}_b$ [kbps]	15	20	25
Min	384	384	384
Média	509.7	509.6	510.1
Max	512	512	512
DP	16.0	16.3	14.2

Tabela S. 17 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um serviço de 384kbps com diferentes L_{int} .

$\bar{R}_b$ [kbps]	15	20	25
Min	384	384	384
Média	384	384	384
Max	384	384	384
DP	0	0	0

Tabela S. 18 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um serviço de 128kbps com diferentes L_{int} .

$\bar{R}_b$ [kbps]	15	20	25
Min	64	64	64
Média	127.8	127.9	127.9
Max	128	128	128
DP	3.1	2.0	0.6

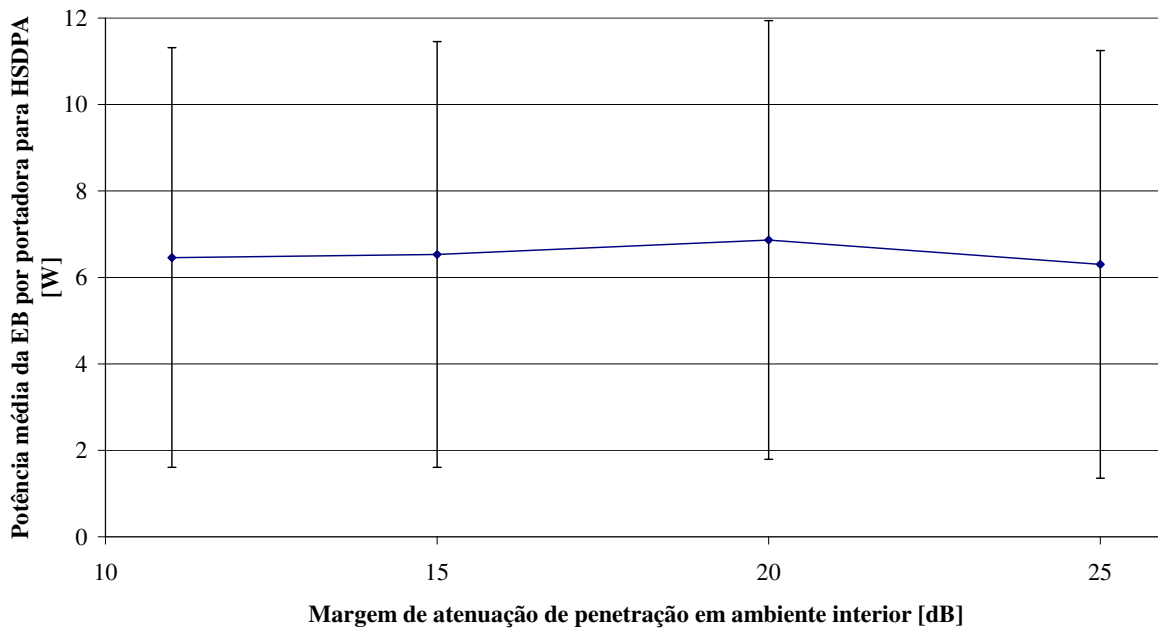


Figura S. 8 – Evolução da potência média da EB por portadora para HSDPA com o aumento do L_{int} .

Tabela S. 19 – Potência média da EB por portadora para HSDPA com diferentes L_{int} .

Potência [W]	15	20	25
Min	1.3E-4	5.19E-5	3.81E-3
Média	6.52	6.86	6.30
Max	19.40	19.18	19.40
DP	4.92	5.07	4.94

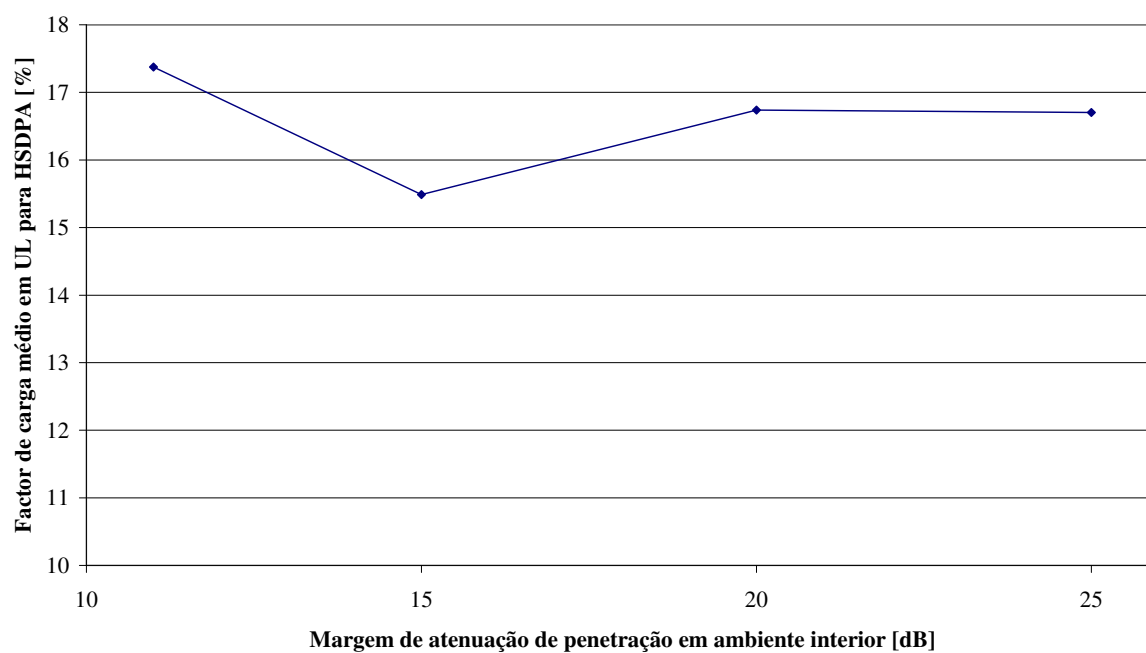


Figura S. 9 – Evolução do factor de carga em UL para HSDPA com o aumento do L_{int} .

Tabela S. 20 – Factor de carga em UL para HSDPA com diferentes L_{int} .

Factor de carga em UL [%]	15	20	25
Min	1.85	1.85	1.85
Média	15.48	16.73	16.70
Max	49.95	49.92	49.95

Anexo T – Resultados para diferente ritmo mínimo de HSDPA

Neste anexo são apresentados os resultados das simulações realizadas alterando o limiar de HSDPA para 512kbps, sendo o cenário de referência denominado, 384kbps.

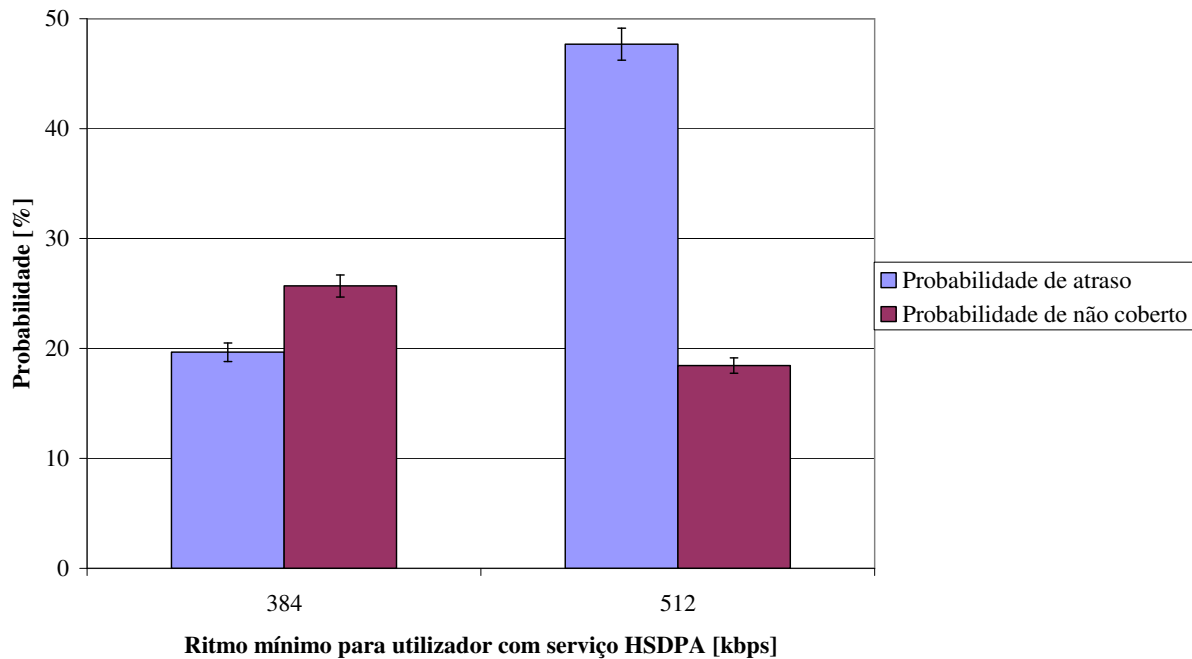


Figura T. 1 – Probabilidade de atraso e de utilizadores não cobertos em HSDPA com diferentes ritmos mínimo de HSDPA.

Tabela T. 1 – Probabilidade de atraso, utilizadores não cobertos e bloqueados para HSDPA e Rel99 com ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.

Probabilidade [%]	HSDPA		Rel99		
	P_a	P_{ncob}	P_a	P_{ncob}	P_b
Min	44.8	17.5	3.5	10.0	2.8
Média	47.6	18.4	3.9	10.3	3.2
Max	49.8	19.7	4.3	10.5	3.6
DP	1.4	0.6	0.2	0.1	0.2

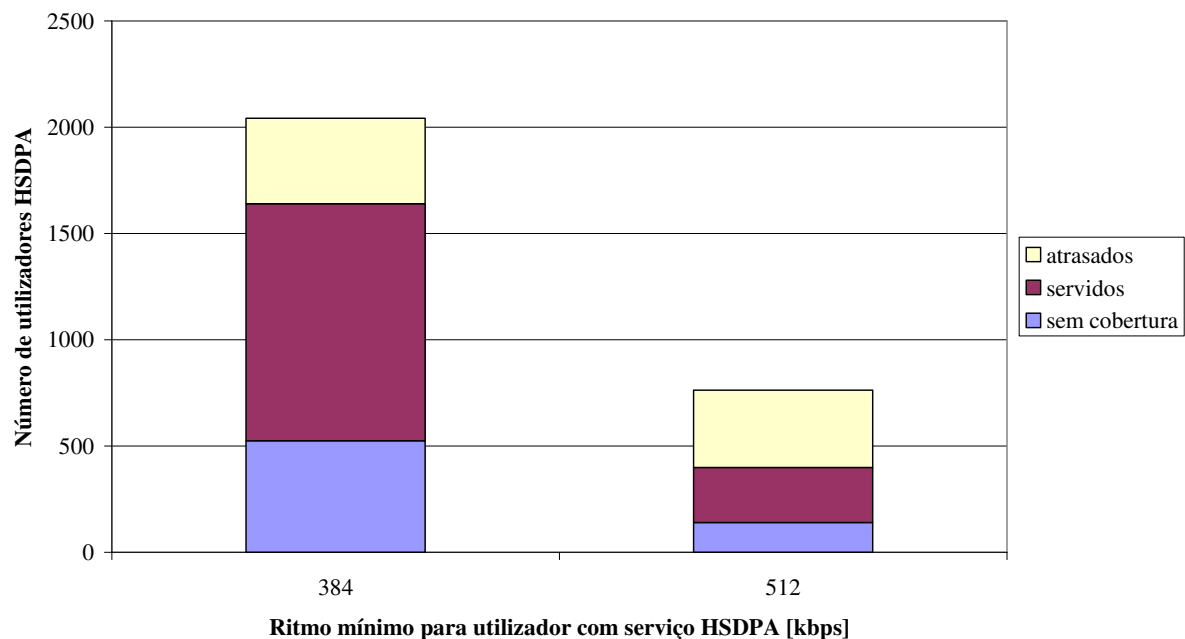


Figura T. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA como atrasados, servidos e não cobertos para ritmos mínimo de HSDPA diferentes.

Tabela T. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA para um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.

#utilizadores HSDPA	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados
Min	722	128	236	345
Média	762.8	140.6	258.6	363.6
Max	805	155	279	387
DP	25.5	7.3	13.8	14.7

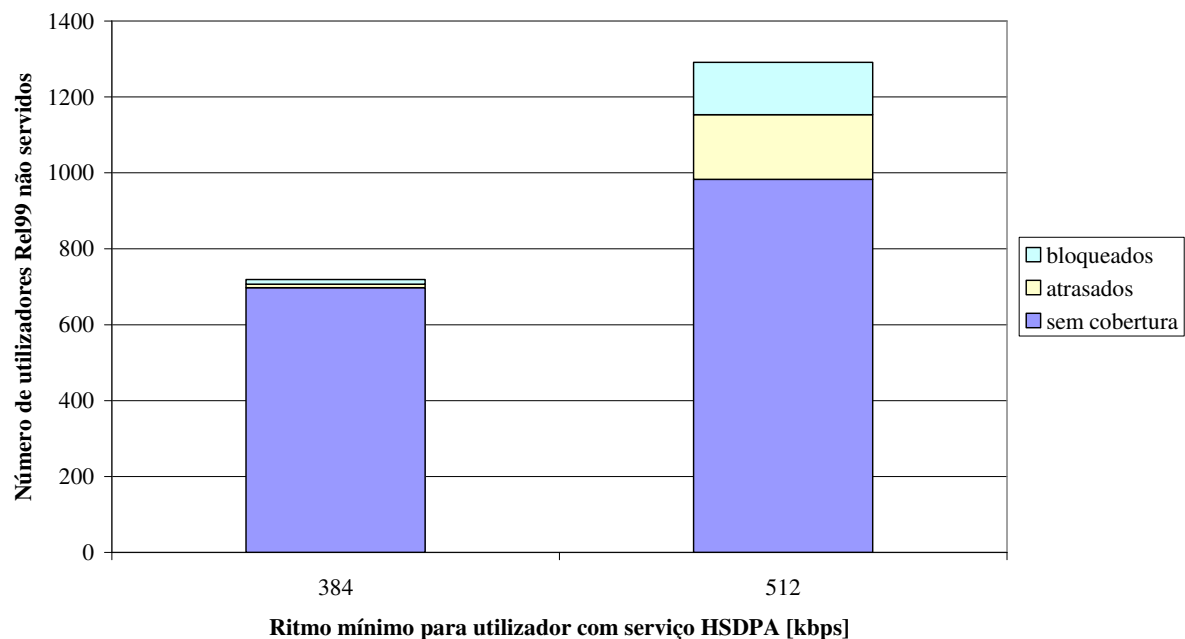


Figura T. 3 – Caracterização dos utilizadores Rel99 não servidos na rede para ritmo mínimo de HSDPA diferentes.

Tabela T. 3 – Caracterização dos utilizadores Rel99 para um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.

#utilizadores Rel99	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados	Bloqueados
Min	9500	958	8206	157	121
Média	9542.2	983	8253.2	170.7	137.3
Max	9583	1003	8295	190	152
DP	25.5	15.1	22.5	9.3	9.7

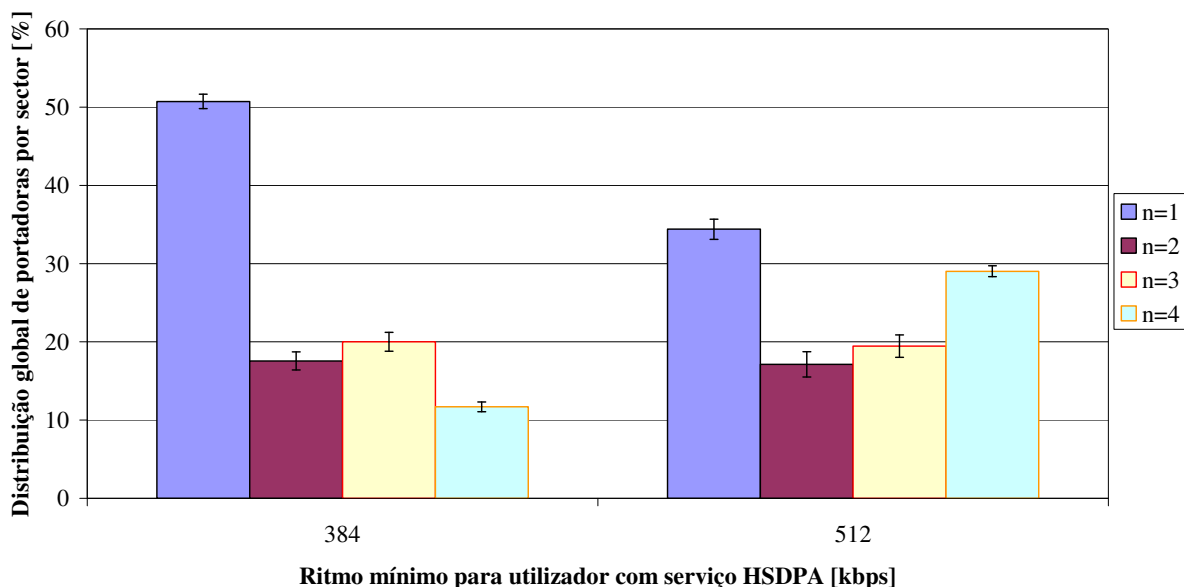


Figura T. 4 – Distribuição global do número de portadoras para diferente ritmo mínimo de HSDPA.

Tabela T. 4 – Distribuição do número de frequências global para ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.

%sectores com <i>n</i> portadoras	1	2	3	4
Min	31.3	14.1	17.5	27.7
Média	34.3	17.1	19.4	29.0
Max	36.6	19.4	22.0	30.0
DP	1.3	1.6	1.4	0.6

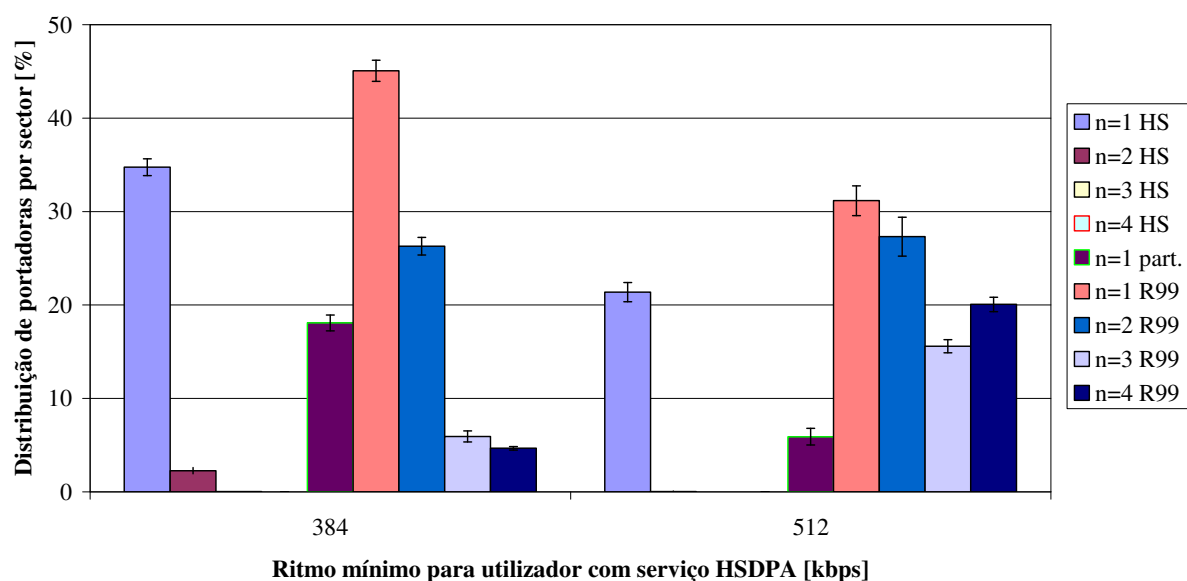


Figura T. 5 – Distribuição de portadoras HSDPA, partilhada e Rel99 para diferentes ritmos mínimo HSDPA.

Tabela T. 5 – Distribuição do número de frequências HSDPA por sector para ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps

%sectores com n portadoras HSDPA	1	2	3	4
Min	19.2	0	0	0
Média	21.3	0.01	0	0
Max	23.1	0.19	0	0
DP	1.0	0.05	0	0

Tabela T. 6 – Distribuição do número de frequências partilhadas e R99 por sector para ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps

%sectores com n portadoras	Part.	1	2	3	4
Min	4.1	28.7	23.3	14.5	18.0
Média	5.8	31.1	27.3	15.5	20.0
Max	7.3	34.7	31.0	17.2	20.9
DP	0.8	1.5	2.0	0.6	0.7

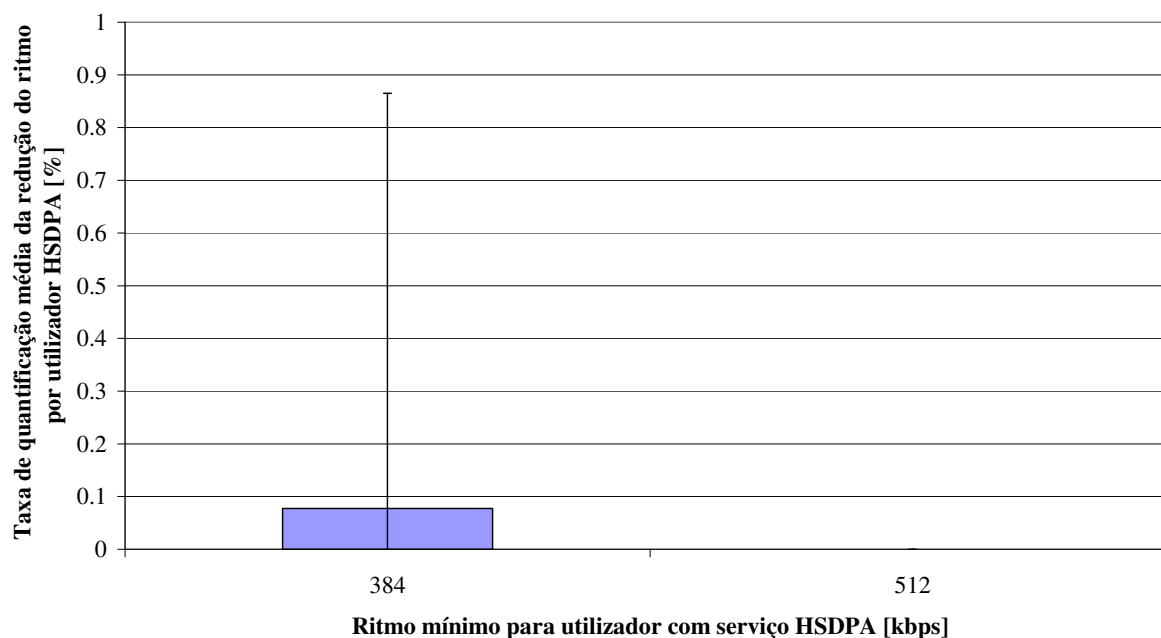


Figura T. 6 – Taxa de quantificação média da rede do ritmo por utilizador HSDPA para diferentes ritmos mínimo HSDPA.

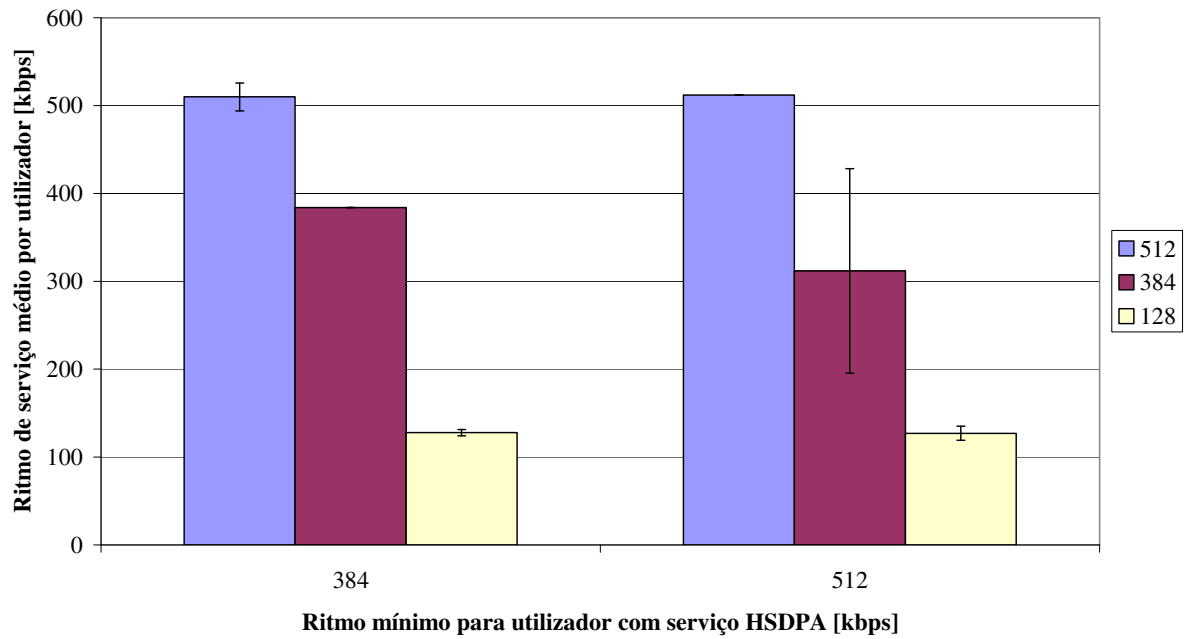


Figura T. 7 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferente ritmo mínimo de HSDPA.

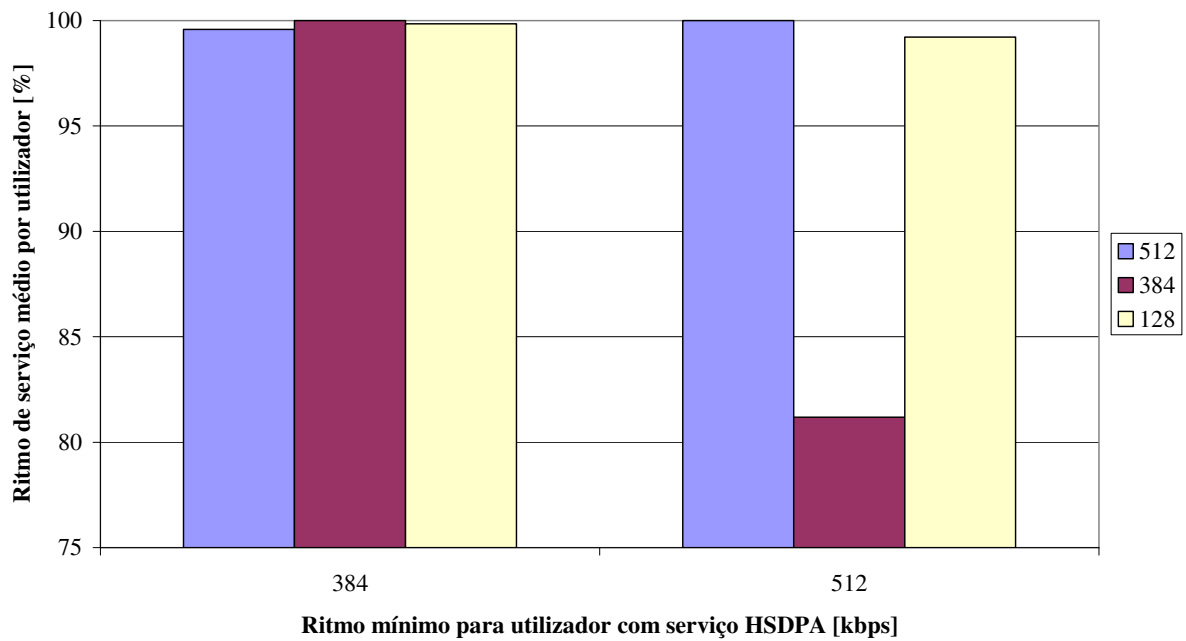


Figura T. 8 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferente ritmo mínimo de HSDPA em percentagem.

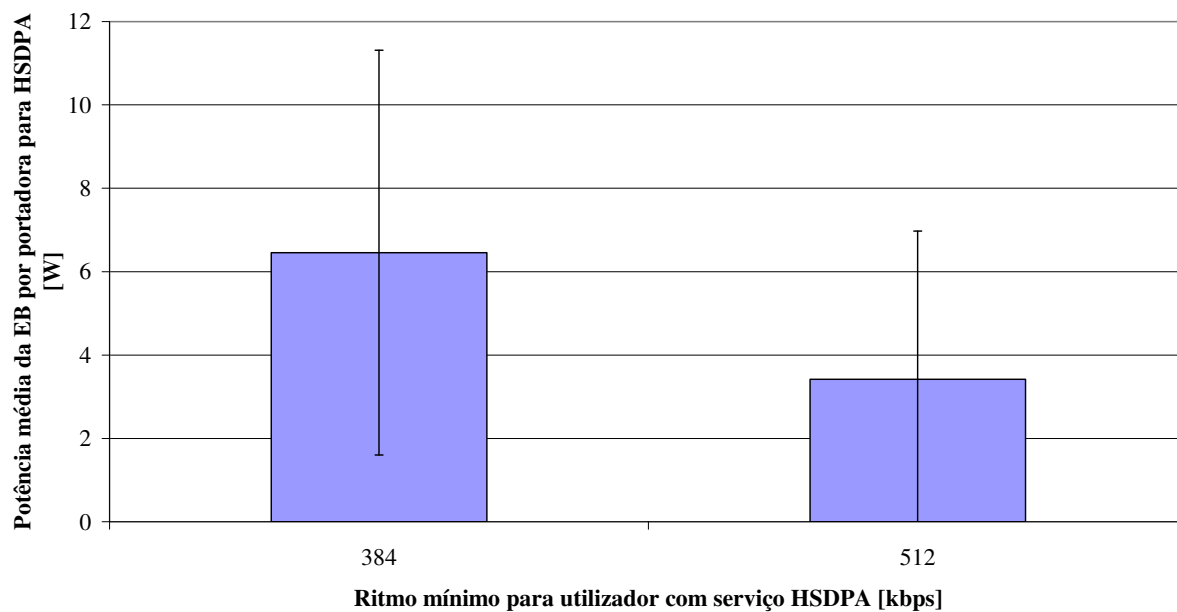


Figura T. 9 – Potência média da EB para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA.

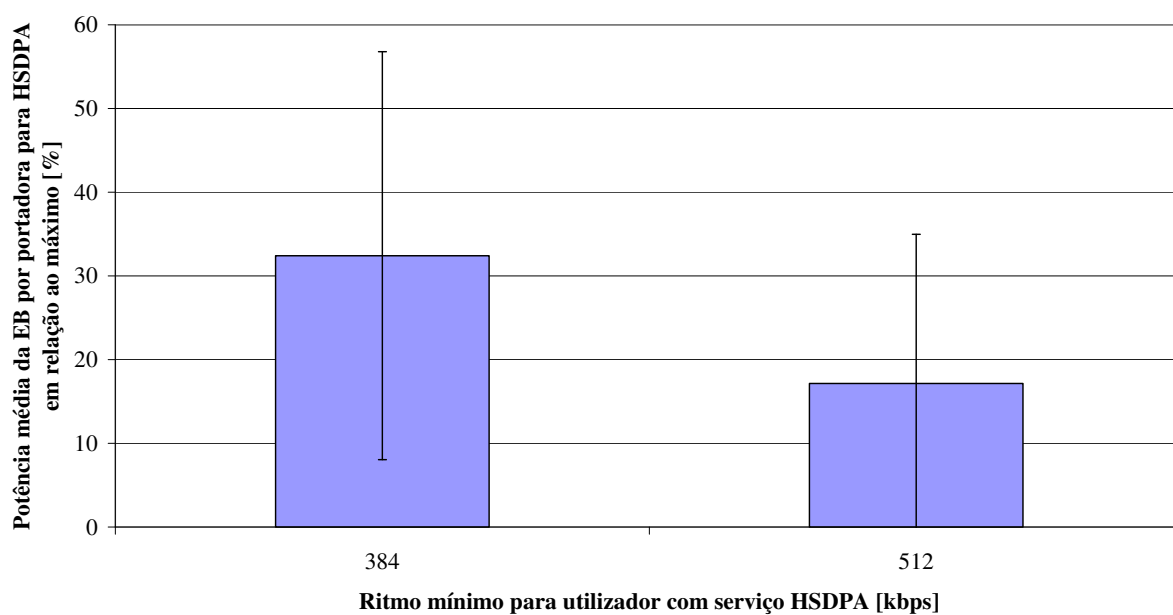


Figura T. 10 – Potência média da EB para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA em relação ao máximo disponível (19.9W).

Tabela T. 7 – Valores de taxa média de redução de ritmo por utilizador, ritmo médio para HSDPA e potência da EB necessária com um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.

	TR [%]	$\bar{R}_b$ [kbps]			Potência [W]	
		512	384	128	HSDPA	Rel99
Min	0	512	64	64	4.4E-5	2.2E-7
Média	0	512	311.7	126.9	3.4	1.0
Max	0	512	384	128	18.6	15.1
DP	0	0	116.4	7.9	3.5	-

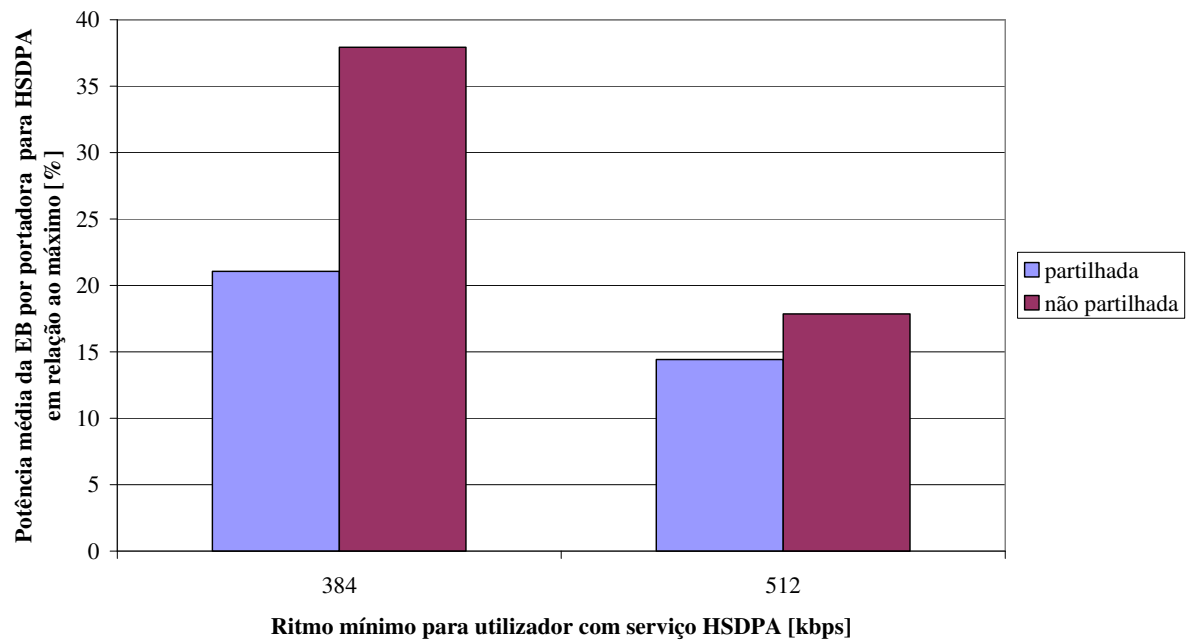


Figura T. 11 – Potência média da EB para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA e diferente tipo de portadora em relação ao máximo disponível (19.9W).

Tabela T. 8 – Potência da EB necessária para HSDPA em casos que a portadora é partilhada ou exclusiva.

Potência [W]	Portadora	
	partilhada	não partilhada
Min	1.88E-3	0.45E-4
Média	2.87	3.55
Max	15.49	18.65
DP	3.05	3.64

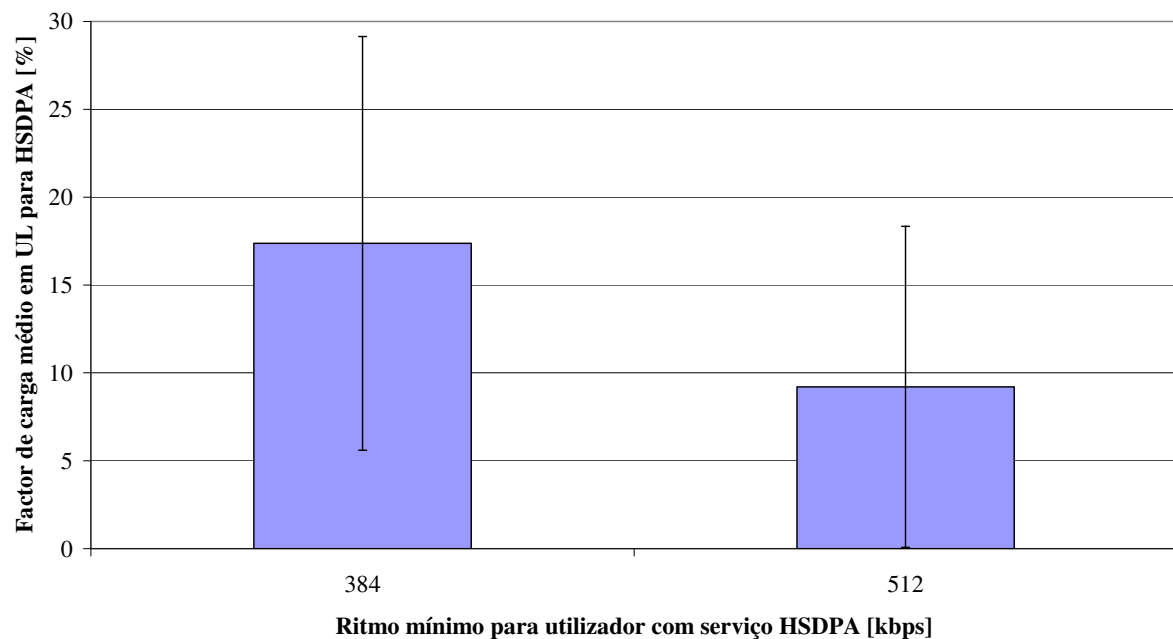


Figura T. 12 – Factor de carga em UL para HSDPA para diferente ritmo mínimo HSDPA.

Tabela T. 9 – Factor de carga em UL para um ritmo mínimo de HSDPA de 512kbps.

Factor de carga em UL [%]	HSDPA	Rel99
Min	1.85	0
Média	9.20	29.06
Max	48.29	49.71
DP	9.13	-

Anexo U – Resultados para diferentes cenários mais exigentes em serviços de dados

Neste anexo são apresentados os resultados obtidos através de simulações de cenários de dados, em que o cenário de referência é denominado cenário corrente por ser caracterizado por serviços de ritmos baixos e elevada percentagem de utilizadores de voz.

Tabela U. 1 – Número de utilizadores HSDPA por sector no cenário de dados exigente.

#utilizadores HSDPA por sector	Cobertos	Servidos
Min	1	1
Média	11.38	6.74
Max	98	28
DP	12.89	5.95

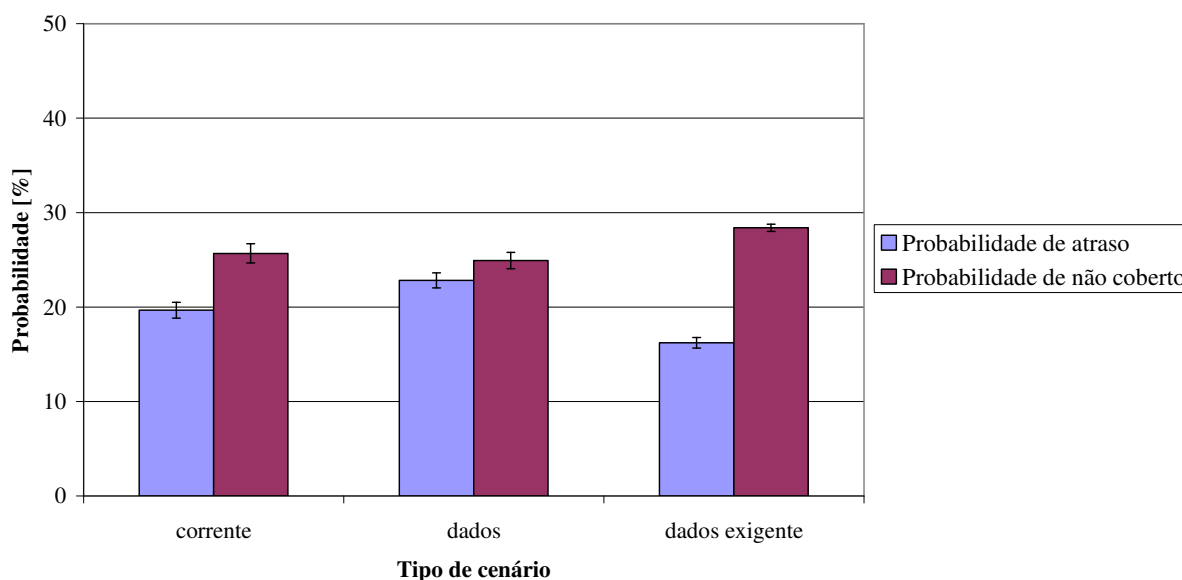


Figura U. 1 – Probabilidade de atraso e de utilizadores HSDPA não cobertos para diferentes cenários.

Tabela U. 2 – Probabilidade de atraso e utilizadores não cobertos para HSDPA em diferentes cenários de dados.

Probabilidade [%]	P_a		P_{ncob}	
	Dados	Dados exigente	Dados	Dados exigente
Min	21.8	15.3	23.5	27.7
Média	22.8	16.2	24.9	28.3
Max	24.6	17.0	26.2	28.9
DP	0.8	0.5	0.8	0.3

Tabela U. 3 – Probabilidade de atraso, utilizadores não cobertos e bloqueados para Rel99 em diferentes cenários de dados.

Probabilidade [%]	P_a		P_{ncob}		P_b	
	Dados	Dados exigente	Dados	Dados exigente	Dados	Dados exigente
Min	0.72	0	9.91	8.84	0.89	0
Média	0.98	5E-3	10.09	9.02	1.01	3E-3
Max	1.27	0.05	10.23	9.12	1.24	0.03
DP	0.18	0.01	0.09	0.07	0.10	9E-3

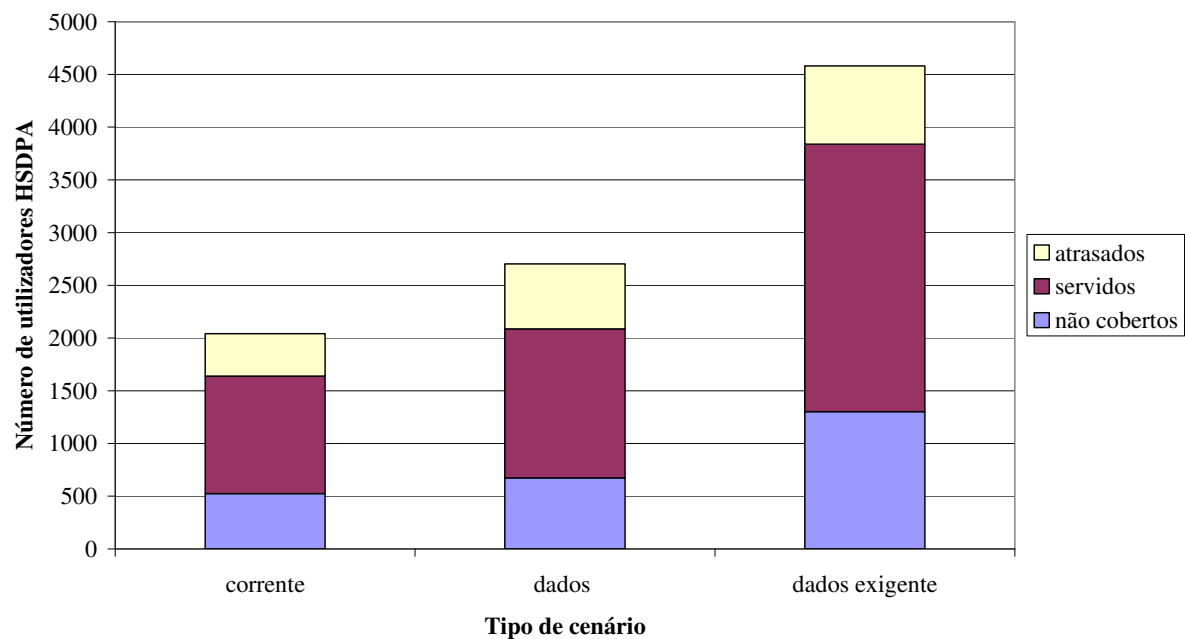


Figura U. 2 – Caracterização dos utilizadores HSDPA para diferente cenário.

Tabela U. 4 – Caracterização dos utilizadores HSDPA no cenário de dados.

#utilizadores HSDPA	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados
Min	2672	636	1358	590
Média	2702.7	673.6	1412.3	616.8
Max	2761	709	1462	667
DP	25.4	22.3	35.8	21.7

Tabela U. 5 – Caracterização dos utilizadores HSDPA no cenário de dados exigente.

#utilizadores HSDPA	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados
Min	4533	1260	2497	706
Média	4581	1300.6	2537.7	742.7
Max	4634	1326	2576	792
DP	31	20.2	26.9	25.7

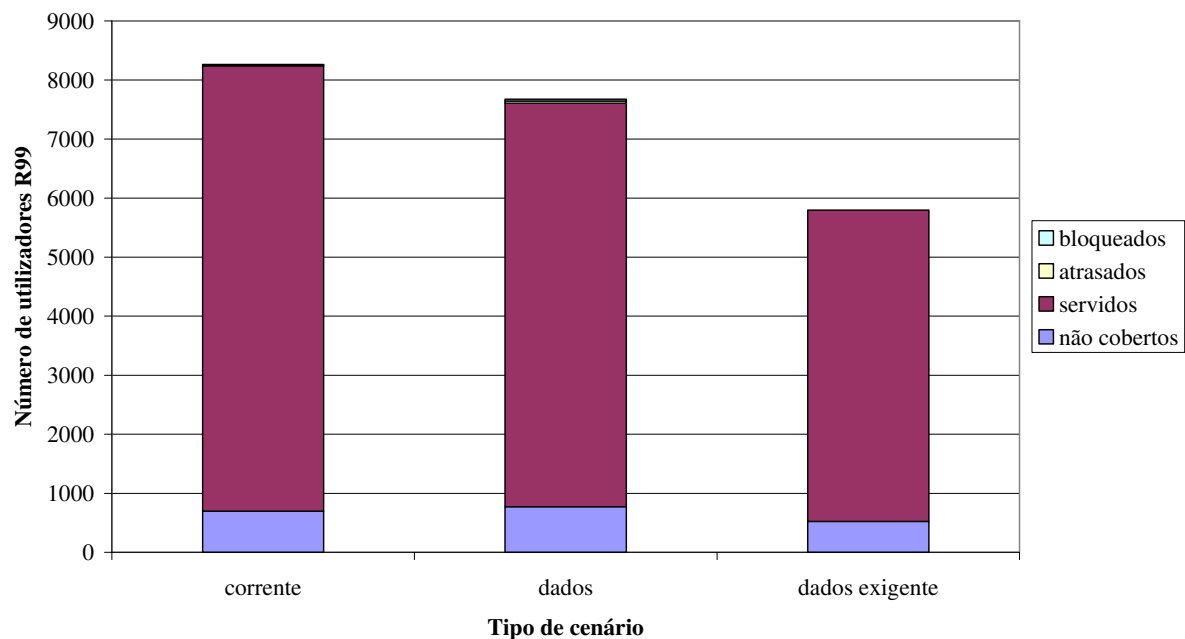


Figura U. 3 – Caracterização dos utilizadores Rel99 para diferentes cenários.

Tabela U. 6 – Caracterização dos utilizadores Rel99 no cenário de dados.

#utilizadores Rel99	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados	Bloqueados
Min	7617	760	6793	27	28
Média	7675.3	774.8	6831.6	36.8	32.1
Max	7706	787	6854	48	39
DP	25.4	8.8	19.5	6.9	3.4

Tabela U. 7 – Caracterização dos utilizadores Rel99 no cenário de dados exigente.

#utilizadores Rel99	Na rede	Sem cobertura	Servidos	Atrasados	Bloqueados
Min	5744	511	5224	0	0
Média	5797	523.1	5273.7	0	0
Max	5845	529	5318	0	0
DP	31	5.1	28.9	0	0

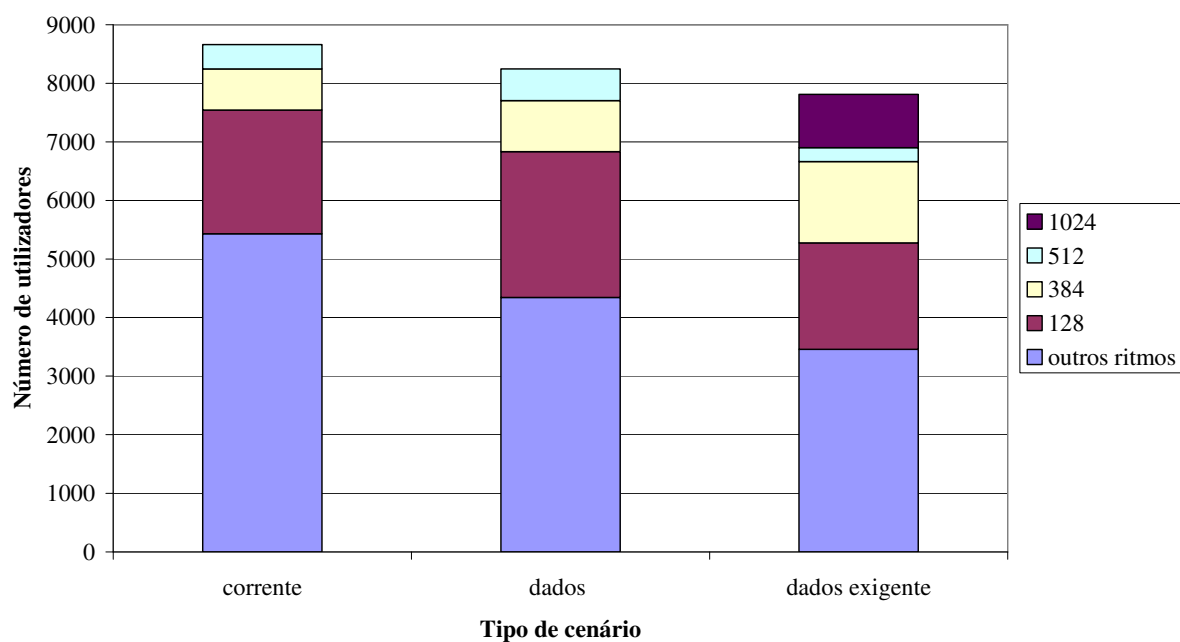


Figura U. 4 – Caracterização dos ritmos requeridos pelos utilizadores para diferentes cenários.

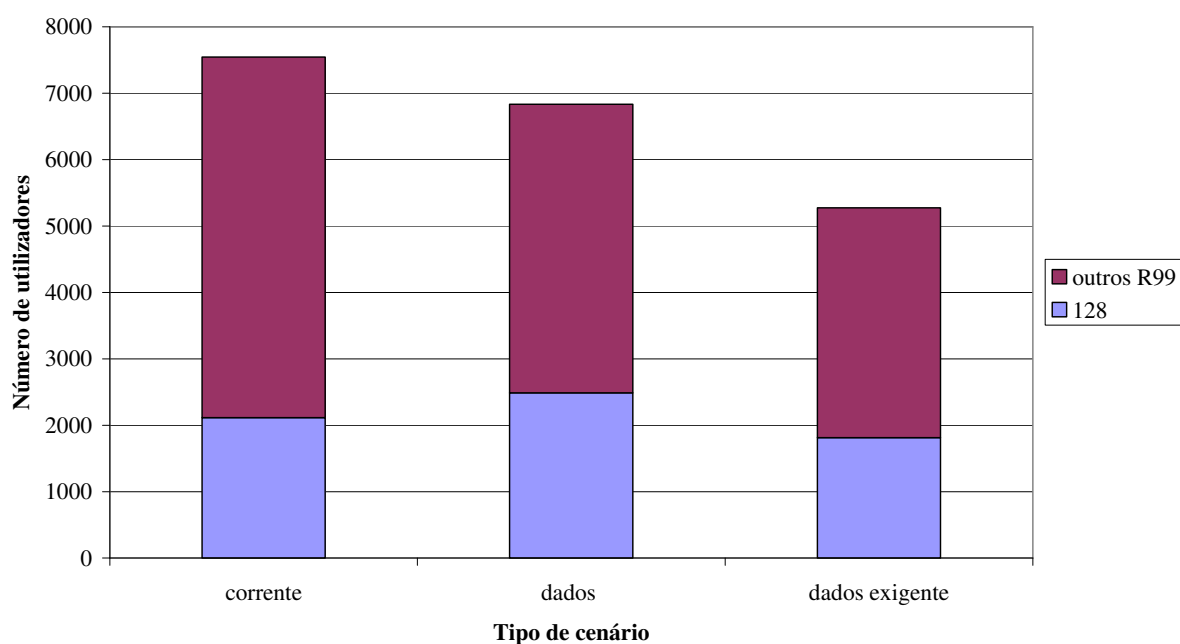


Figura U. 5 Ritmos requeridos pelos utilizadores Rel99 para diferentes cenários.

Tabela U. 8 – Número de utilizadores a pretender realizar serviço a um determinado ritmo no cenário de dados.

#utilizadores servidos	1024kbps	512kbps	384kbps	128kbps	64kbps (PS)	64kbps (CS)	12.2kbps
Min	0	497	817	2450	1212	685	2428
Média	0	539.4	872.9	2487.4	1224.3	686.7	2433.2
Max	0	559	913	2515	1245	688	2438
DP	0	19.8	31.3	17.1	9.7	1.2	3

Tabela U. 9 – Número de utilizadores a pretender realizar serviço a um determinado ritmo no cenário de dados exigente.

#utilizadores servidos	1024kbps	512kbps	384kbps	128kbps	64kbps (PS)	64kbps (CS)	12.2kbps
Min	889	215	1353	1779	283	697	2455
Média	911.8	235.3	1390.6	1814.8	307	697	2455
Max	935	267	1421	1875	337	697	2455
DP	12.8	15.6	22.6	27	15.6	0	0

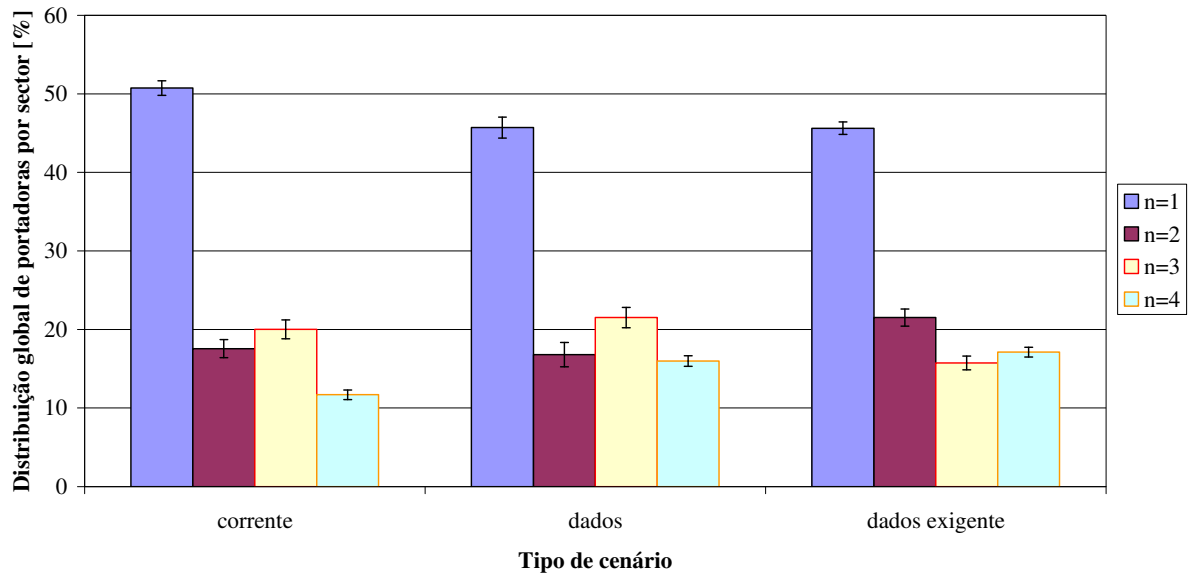


Figura U. 6 – Distribuição global de portadoras por sector para diferentes cenários.

Tabela U. 10 – Distribuição global do número de frequências por sector para diferentes cenários de dados.

%sectores com <i>n</i> portadoras	Dados				Dados exigente			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Min	44.01	14.79	19.1	15.17	44.3	18.99	14.34	15.89
Média	45.69	16.80	21.51	15.98	45.61	21.52	15.74	17.12
Max	47.38	19.1	23.18	17.23	47.3	22.99	17.32	18.13
DP	1.32	1.55	1.30	0.67	0.79	1.08	0.87	0.62

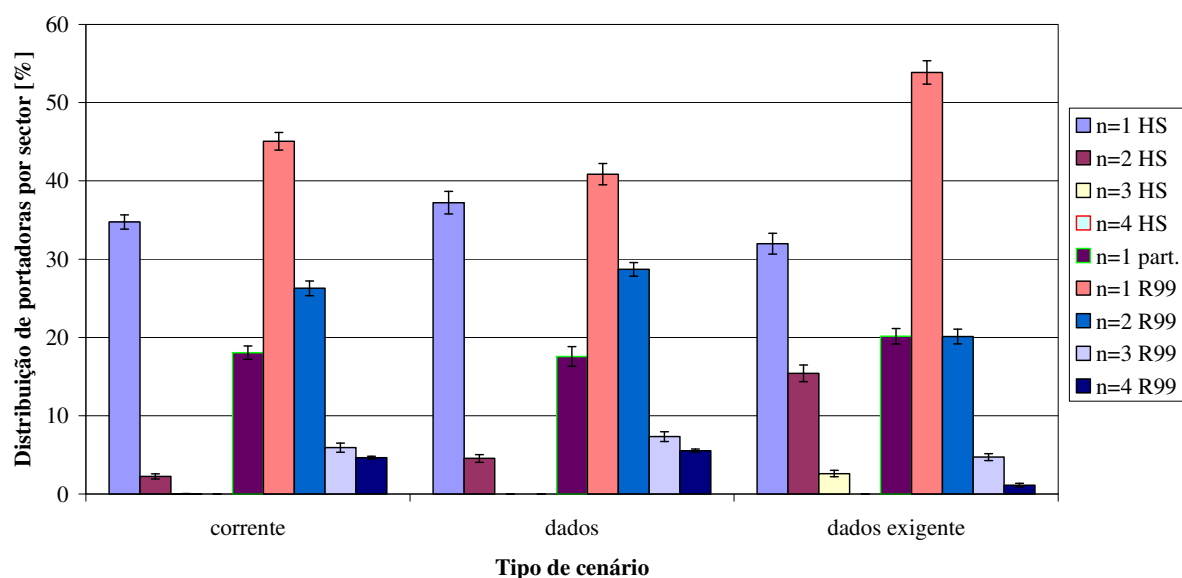


Figura U. 7 Distribuição de portadoras por sector para HSDPA, partilhada e Rel99 para diferentes cenários.

Tabela U. 11 – Distribuição do número de frequências HSDPA, Rel99 e partilhada por sector no cenário de dados.

%sectores com <i>n</i> portadoras	HSDPA				Part.	Rel99			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Min	34.7	3.75	0	0	16.1	37.94	27.34	5.97	5.23
Média	37.22	4.54	0	0	17.57	40.84	28.70	7.33	5.53
Max	38.95	5.06	0	0	19.63	42.88	30.22	8.05	5.81
DP	1.44	0.50	0	0	1.25	1.36	0.87	0.62	0.19

Tabela U. 12 – Distribuição do número de frequências HSDPA, Rel99 e partilhada por sector no cenário de dados exigente.

%sectores com <i>n</i> portadoras	HSDPA				Part.	Rel99			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Min	29.05	13.41	1.87	0	18.62	50.37	18.81	4.1	0.74
Média	31.98	15.42	2.61	0	20.15	53.86	20.12	4.71	1.13
Max	33.89	16.95	3.17	0	21.79	55.49	22.2	5.4	1.49
DP	1.31	1.06	0.40	0	0.99	1.49	0.93	0.43	0.22

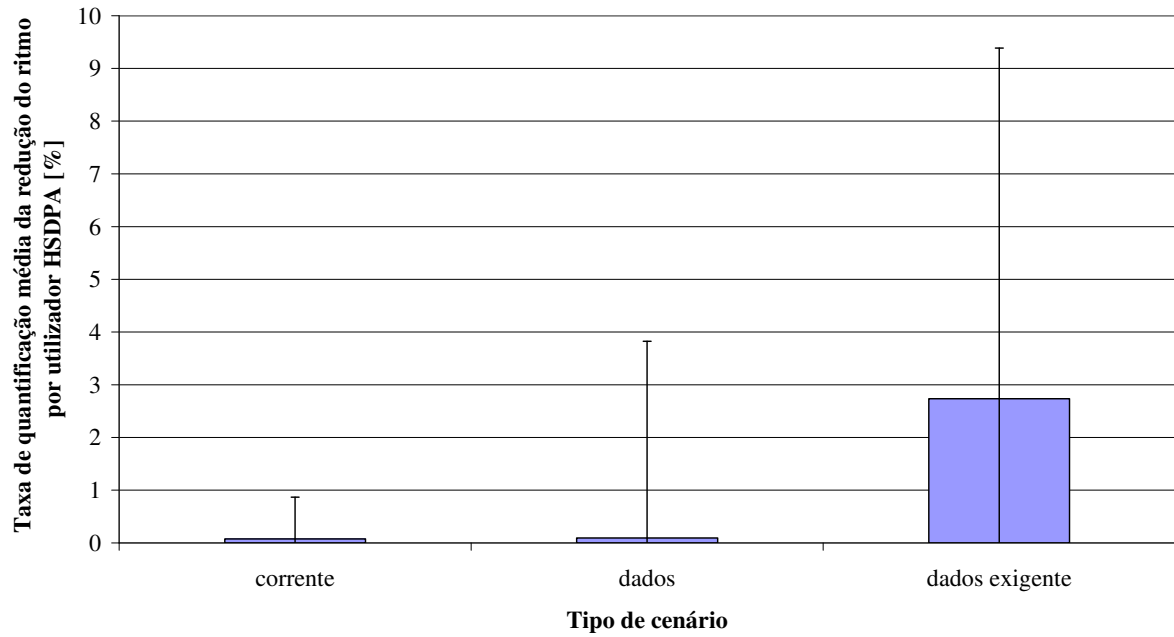


Figura U. 8 – Taxa de quantificação média da redução de ritmo por utilizador HSDPA para diferentes cenários.

Tabela U. 13 – Taxa de redução de ritmo por utilizador HSDPA para diferentes cenários de dados.

TR [%]	Dados	Dados exigente
Min	0	0
Média	0.09	2.73
Max	16.17	49.21
DP	3.73	6.65

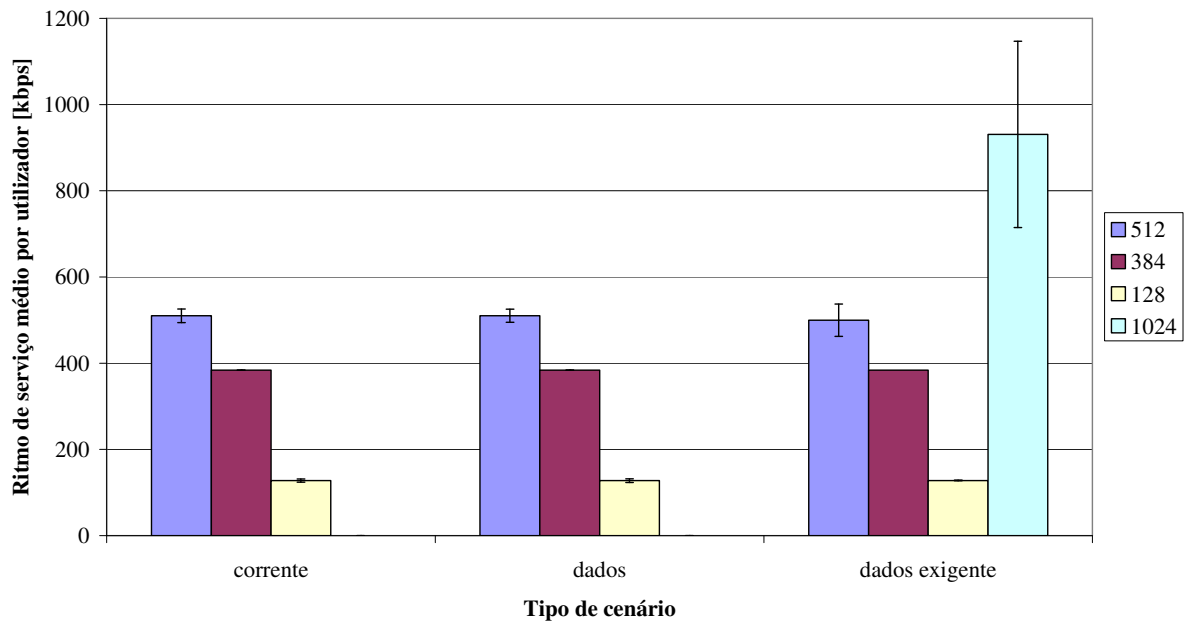


Figura U. 9 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferentes cenários.

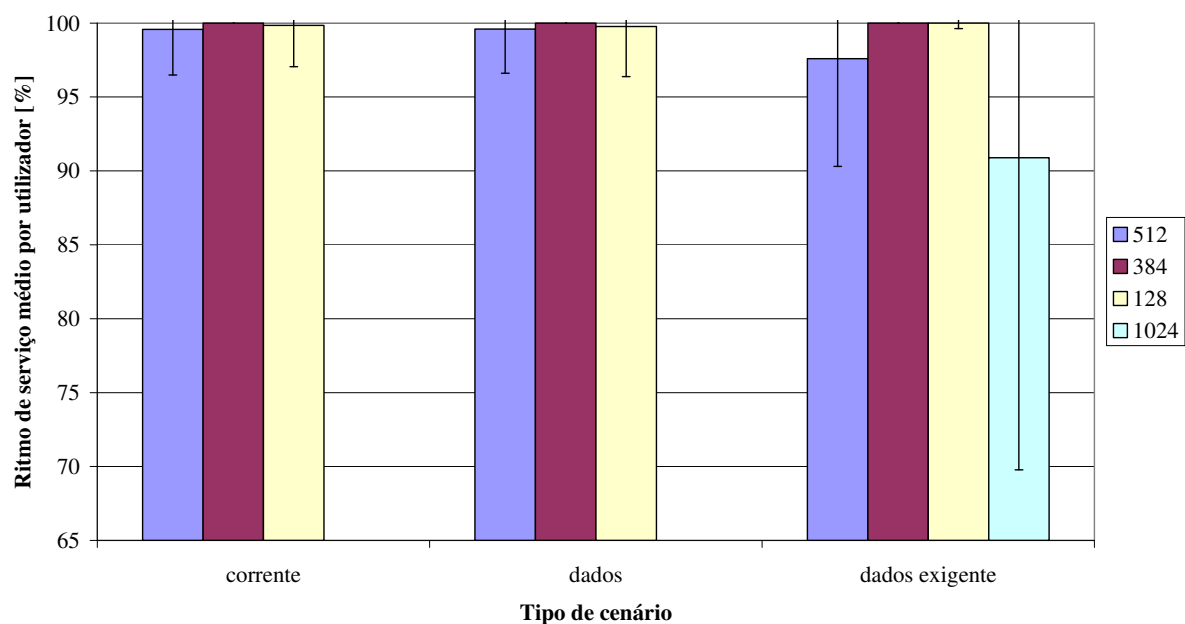


Figura U. 10 – Ritmo de serviço médio por utilizador para diferentes cenários em relação ao seu valor nominal.

Tabela U. 14 – Ritmo de serviço médio por utilizador para um determinado serviço pretendido para cenários de dados.

$\bar{R}_b$ [kbps]	Dados				Dados exigente			
	1024	512	384	128	1024	512	384	128
Min	0	384	384	64	384	384	384	64
Média	0	509.9	384	127.7	930.7	499.6	384	127.9
Max	0	512	384	128	1024	512	384	128
DP	0	15.2	0	4.3	216.2	37.3	0	0.5

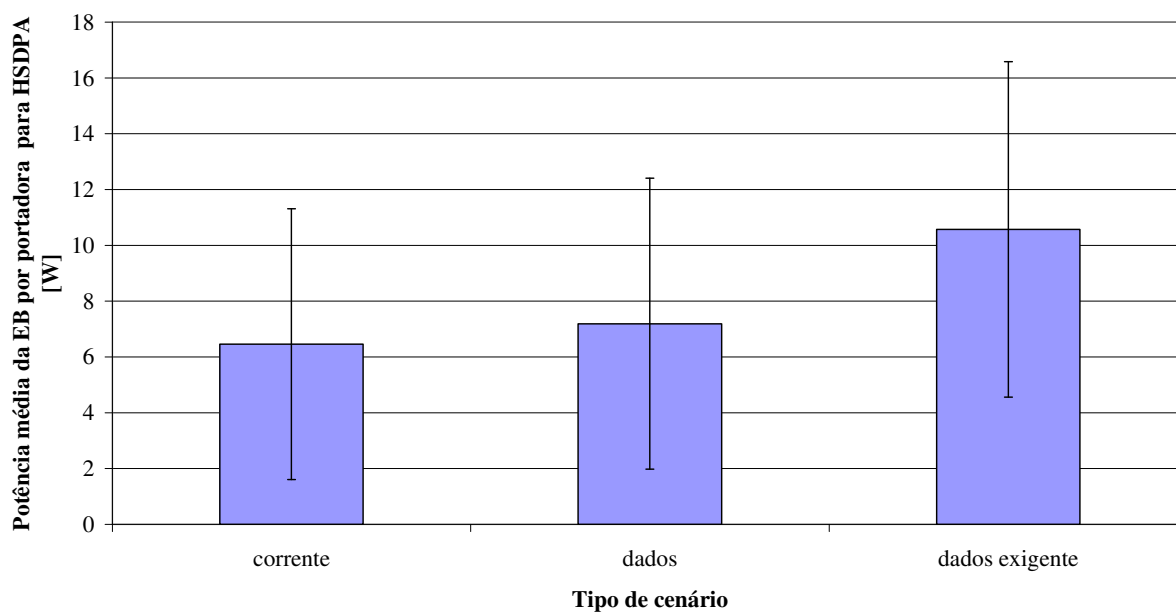


Figura U. 11 – Potência média da EB para HSDPA para diferente tipo de cenário.

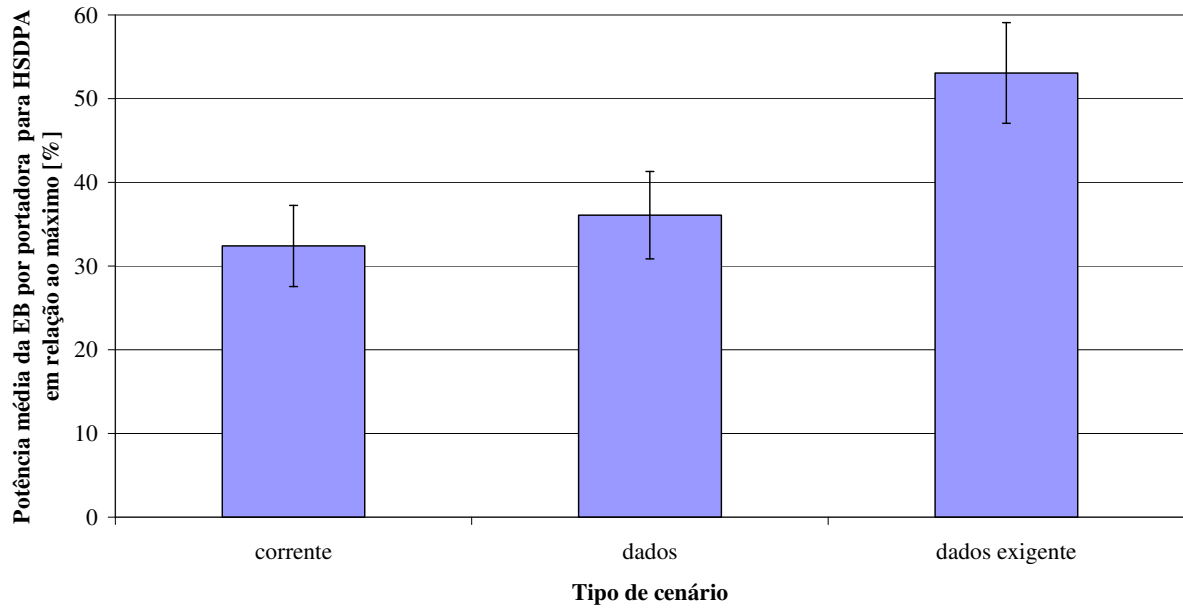


Figura U. 12 – Potência média da EB para HSDPA para diferente tipo de cenário em relação ao máximo disponível (19.9W).

Tabela U. 15 – Potência média da EB por portadora para cenários de dados.

Potência [W]	HSDPA		Rel99	
	Dados	Dados exigente	Dados	Dados exigente
Min	2.60E-5	3.31E-4	1.05E-7	1.05E-7
Média	7.18	10.57	0.50	0.43
Max	19.40	19.64	19.45	12.35
DP	5.21	6.01	-	-

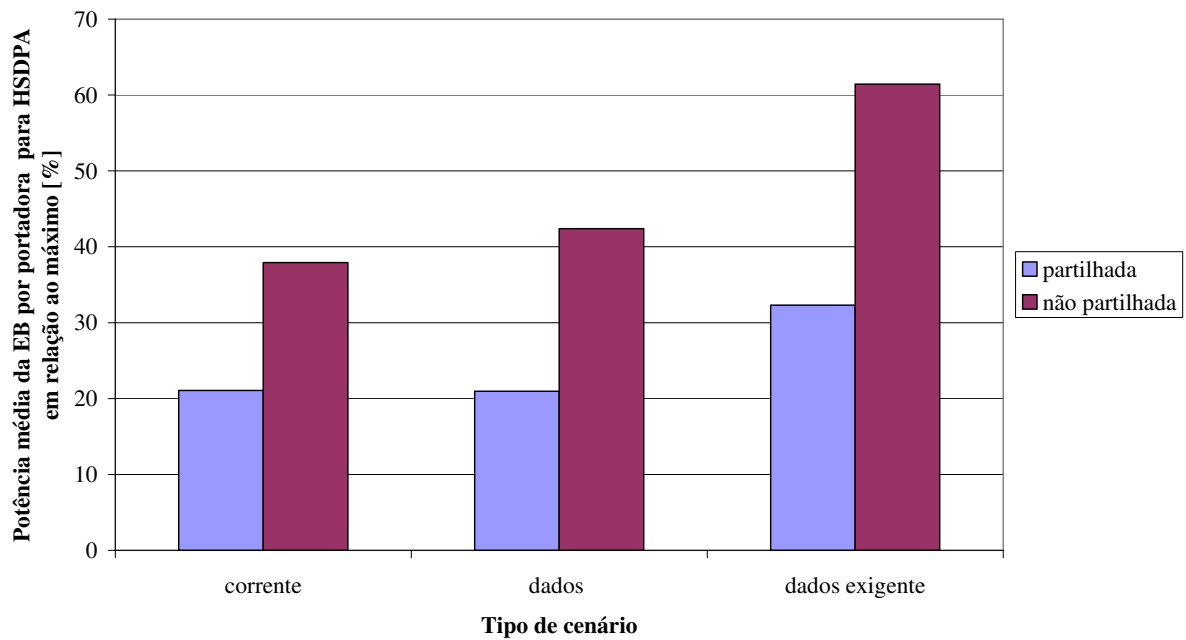


Figura U. 13 – Potência média da EB para portadora partilhada ou não para HSDPA para diferente tipo de cenário em relação ao máximo disponível (19.9W).

Tabela U. 16 – Potência da EB necessária para HSDPA em casos que a portadora é partilhada ou exclusiva para cenários de dados.

Potência [W]	Portadora			
	Dados		Dados exigente	
	partilhada	não partilhada	partilhada	não partilhada
Min	0.4E-4	1.97E-3	3.32E-4	6.17E-3
Média	4.17	8.44	6.43	12.23
Max	19.13	19.42	19.67	19.67
DP	4.21	5.07	6.01	5.15

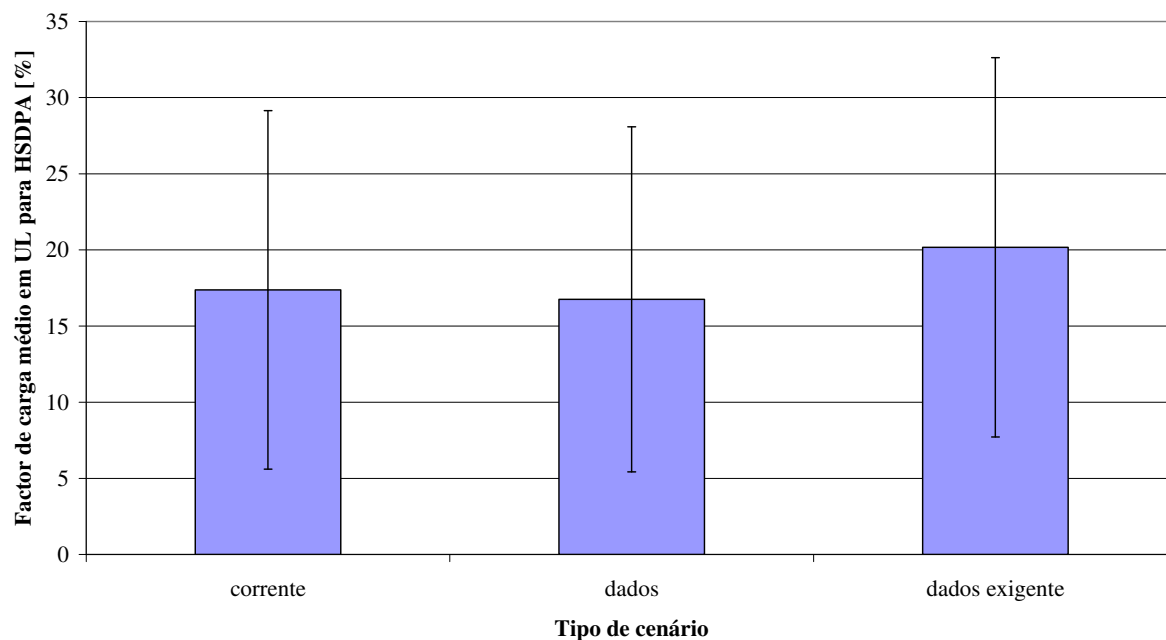


Figura U. 14 – Factor de carga médio em UL para HSDPA para diferentes cenários.

Tabela U. 17 – Factor de carga em UL para diferentes cenários de dados.

Factor de carga em UL [%]	HSDPA		Rel99	
	Dados	Dados exigente	Dados	Dados exigente
Min	1.85	3.04	0	0
Média	16.75	20.17	22.35	21.90
Max	49.89	49.96	49.13	49.99
DP	11.33	12.45	-	-

Referências

- [3GPP05a] 3GPP, *Services and service capabilities*, Report TS 22.105, V6.4.0, Sep. 2005 (<http://www.3gpp.org>).
- [3GPP05b] 3GPP, *Quality of Service (QoS) concept and architecture*, Report TS 23.107, V6.3.0, June 2005 (<http://www.3gpp.org>).
- [3GPP05c] 3GPP, *FDD Enhanced Uplink – Overall description, Stage 2*, Report TS 25.309, V6.4.0, Sep. 2005 (<http://www.3gpp.org>).
- [ACMS03] Amaldi,E., Capone,A., Malucelli,F. and Signori,F., “Optimization Models and Algorithms for downlink UMTS radio planning”, *IEEE Wireless Communications and Networking*, Vol. 2, Mar. 2003, pp. 827-831.
- [AmCM03] Amaldi,E., Capone,A. and Malucelli,F., “Planning UMTS Base Station Location: Optimization Models With Power Control and Algorithms”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 2, No. 5, Sep. 2003, pp. 939-952.
- [BINS03] Bejero,Y., Immorlica,N., Naor,J. and Smith,M., “Efficient Location Area Planning for Personal Communication Systems”, in *Proc. of International Conference on Mobile Computing and Networking*, San Diego, CA, USA, Sep. 2003.
- [Card06] Cardeiro,J., *Optimisation of Base Station Location in UMTS-FDD for Realistic Traffic Distributions*, M.Sc. Thesis, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, Mar. 2006.
- [Corr05] Correia,L.M., *Sistemas de Comunicações Móveis - Apresentações de apoio às aulas*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2005.
- [DaCo99] Damasso,E. and Correia,L.M., *Digital Mobile Radio Towards Future Generation*, COST 231 Final Report, 1999 (<http://www.lx.it.pt/cost231/>).
- [Dupl05] Duplessis,P., “HSOPA: Exploiting OFDM and MIMO to take UMTS beyond HSDPA/HSUPA”, in *Nortel Technical Journal – Focus on Broadband Wireless Access*, Issue 2, Jul. 2005, pp. 39-42 (<http://www.nortel.com>).
- [ETSI05] ETSI, *Mobile industry applauds latest 3G specifications*, Press Release 2005-02-14, Feb. 2005 (<http://www.etsi.org>).
- [FCXV03] Ferreira,L., Correia,L.M., Xavier,D., Vasconcelos,A. and Fledderus,E., *Final Report on traffic estimation and service characterization*, IST-MOMEMENTUM Project, Deliverable D1.4, IST-TUL, Lisbon, Portugal, May 2003.
- [GJCT04] Gerdenitsch,A., Jakl,S., Chong,Y. and Toeltsch,M., “A Rule Based Algorithm for Common Pilot Channel and Antenna Tilt Optimization in UMTS FDD Networks”, *ETRI Journal*, Vol. 26, No. 5, Oct. 2004, pp. 437-442.

- [HoTo04] Holma,H. and Toskala,A., *WCDMA for UMTS* (3rd Edition), John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2004.
- [Laus05] Lauszus,S., *Nokia – Understanding the importance of HSUPA in driving the uptake of profitable applications*, 2005 (<http://www.nokia.com>).
- [LaWN02] Laiho,J., Wacker,A. and Novosad,T., *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2002.
- [MaCo05] Martins,G. e Correia,S., *Comparação de Técnicas para Aumento da Capacidade nos Serviços de Dados em UMTS*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Set. 2005.
- [MAPI06] MapInfo, (<http://www.mapinfo.com>).
- [MOME04] IST-MOMENTUM – Models and Simulation for Networkplanning and Control of UMTS (<http://momentum.zib.de/>).
- [Noki05a] Nokia, *Radio Network Evolution – The roadmap towards multi-access networks*, 2005 (<http://www.nokia.com>).
- [Noki05b] Nokia, *Nokia High Speed Packet Access Solution*, 2005 (<http://www.nokia.com>).
- [Opti05] Optimus – Radio Division, *HSDPA Basics, Impact, Performance and Roadmap. Preliminary Design and Optimisation*, Sep. 2005.
- [PPTS05] Parkvall,S., Peisa,J., Torsner,J., Sågfors,M. and Malm,P., “WCDMA Enhanced Uplink – Principles and Basic Operations”, in *Proc. of VTC’2005 – 61st IEEE Vehicular Technology Conference*, Stockholm, Sweden, Jun. 2005.
- [Qual04] Qualcomm, *HSDPA for Improved Downlink Data Transfer*, Oct. 2004 (<http://www.qualcomm.com>).
- [Rodr05] Rodrigues,C.J., *Analysis of the influence of Multiservice users’s Mobility on UMTS Performance*, M.Sc., Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, Mar. 2005.
- [Sant04] Santo,L., *UMTS Performance in Multi-Service Non-Uniform Traffic Networks*, M.Sc., Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, Dec. 2004.
- [SeCa04] Sebastião,D. e Cardeiro,J., *Modulação e Dimensionamento de Tráfego na Interface Rádio em UMTS*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Out. 2004.
- [ShKu05] Sharma,G. and Kumar,G.S., “Moving towards HSUPA (High Speed Uplink Packet Access): A complete 3.5G Wireless System”, in *Proc. of ICPWC 2005 – IEEE International Conference on Personal Wireless Communications*, New Delhi, India, Jan. 2005.

- [Virt02] Virtamo,J., *Queuing Theory Lectures*, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, 2002
(<http://keskus.hut.fi/opetus/s38143/2002/lectures/html>).