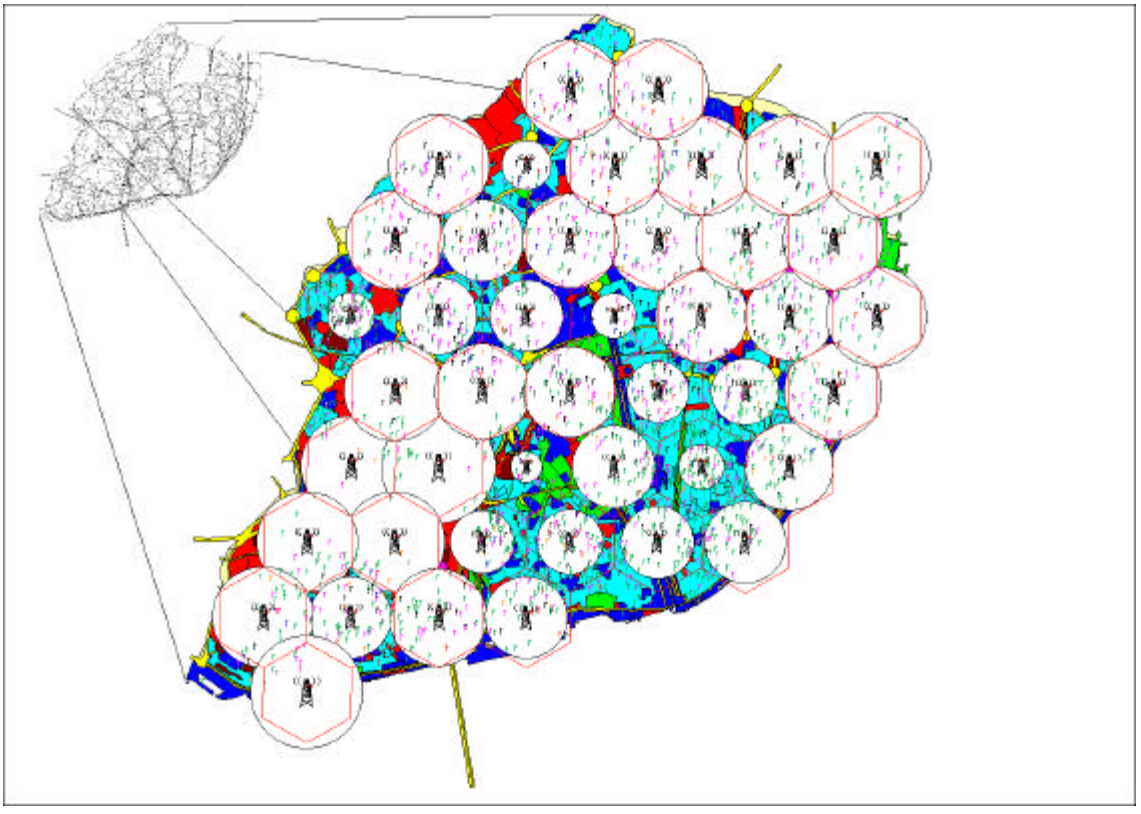
UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

MODELOS DE TRÁFEGO PARA ESTAÇÕES DE BASE EM UMTS



Allen Vasconcelos Nº45081
Patrícia Carvalho Nº45249

563/2001/L

Lisboa, Setembro de 2002

Sob a orientação de

Prof. Luís M. Correia

Secção de Propagação e Radiação
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Instituto Superior Técnico

Enquanto houver estrada para andar,
A gente vai continuar,
Enquanto houver ventos e mares,
A gente não vai parar...

Jorge Palma

Porque o impossível é apenas um pormenor...

Agradecimentos

Ao Professor Luís M. Correia, por todo o apoio, incentivo e disponibilidade que nos foi dando ao longo deste último ano, pelos conhecimentos, ideias e motivações que foi partilhando connosco, e pela lição de vida que nos deu, ao mostrar-nos que é possível conciliar trabalho árduo, com todos os outros campos distintos que o dia-a-dia tem. Pelo convívio e interacção que foi fomentada entre os elementos do GROW, e pelo seu acolhimento desde o primeiro dia. Pela partilha das suas experiências e conhecimentos, e por nos esclareceram todo o tipo de dúvidas, especialmente ao Lúcio, pela sua infinita disponibilidade e paciência, e ainda ao António Serrador.

À Vodafone, pelo apoio prestado durante a realização e elaboração deste projecto.

Ao Homero, pela sua preciosa ajuda na criação do CD-ROM que complementa o nosso trabalho.

Aos nossos colegas que partilharam o mesmo espaço de trabalho e noites longas, ao Gonçalo e à Carla, ao Xavier e ao Jorge, pelas risadas e amparos que foram partilhados, quando tudo parecia correr mal, ou corria melhor.

Aos nossos colegas de curso, que viveram nos mesmos corredores e anfiteatros que nós, e foram porto de desabafos ou de diversão, pelas memórias que nos deixam de um dos melhores tempos das nossas vidas, que nos acompanharam em tempos de cansaço e desespero por trabalhos intermináveis.

Aos novos amigos que fizemos, que se tornaram imprescindíveis nas nossas vidas, que nos enriqueceram e fazem acreditar que os projectos vindouros serão sucessos, com quem os iremos partilhar.

Aos nossos amigos de sempre, aos quais ao longo deste último ano nem sempre demos a atenção merecida, ou por mais trabalho, ou por cansaço, ou por desleixo, mas que sempre foram o nosso pilar, e continuá-lo-ão a ser, porque a amizade é isso mesmo, intemporal, e resistente a todas as tempestades.

À nossa família, que sempre nos acompanhou, que nos viu crescer e realizar sonhos, que soube estar perto e mais distante, nos instantes certos, que nos soube compreender e amparar quando mais ninguém nos entendia. A esses que um dia nos verão partir, mas que mesmo assim continuarão com um sorriso nos lábios, porque também é importante aprender a voar, e as nossas asas apenas agora ganharam força.

Aos nossos pais, que são para nós exemplo de força, e espírito vencedor, e imagem única para recordar a cada sucesso alcançado.

A todos os que passaram pelas nossas vidas, e que tiveram um papel mais ou menos preponderante, mas que se tornaram únicos, porque cada um, com a sua individualidade se torna único.

E à vida que se nos apresenta diante de nós, esperamos saber vivê-la realmente…

Allen e Patrícia.

Resumo

O objectivo deste trabalho é efectuar um dimensionamento celular em UMTS, tendo em conta questões relativas ao tráfego e à propagação. Considera-se uma distribuição uniforme de estações de base ao longo da cidade para tráfego não uniforme. Visto não existirem ainda dados reais sobre tráfego, torna-se necessário estabelecer um modelo de alguma forma complexo, que contabilize parâmetros relevantes, tais como a caracterização da população e a caracterização espacial da cidade, para se estimar o mais fielmente possível os utilizadores activos e os seus respectivos serviços. São analisados os serviços a serem disponibilizados aos utilizadores, e a forma como a sua utilização condiciona o desempenho da rede celular. Esta abordagem é inovadora, já que concilia simultaneamente diferentes serviços requeridos pelos utilizadores, assim como a sua localização espacial, podendo atribuir-se diferentes pesos aos parâmetros considerados, de acordo com o tipo de abordagem de mercado que se pretenda, e da agressividade concorrencial entre operadores.

Foi desenvolvida uma aplicação denominada *Map UMTS* em *MapBasic* que funciona sobre a plataforma de *MapInfo* – Sistema de Informação Geográfica, que permite definir diferentes cenários de referência, conforme seja a exigência pretendida relativamente à qualidade de serviço oferecida ao utilizador. Sendo conhecidos os parâmetros característicos relativos à idade, escolaridade e rendimentos da população, e as características espaciais da zona para a qual se pretende efectuar o dimensionamento celular, obtêm-se valores para o desempenho da rede, tal como de raios (mínimos, médios e máximos), das áreas de cobertura das estações de base, dos respectivos factores de carga, probabilidades de bloqueio, identificação dos factores limitativos do número de utilizadores, entre outros. Sobre esta aplicação é possível executar um outra, e obter valores característicos de zonas mais específicas, como zonas verdes, comerciais e habitacionais.

Os valores dos raios médios obtidos para a cidade de Lisboa são inferiores aos da cidade do Porto, sendo aproximadamente de 700 m para uma taxa de população (taxa de penetração$\times$taxa de utilização) de 0,5 % e de 250 m para uma taxa de população de 5 %, considerando a voz como serviço de referência. Para as zonas verdes e zonas habitacionais estes valores aumentam e são inferiores para as zonas comerciais.

Para a validação dos resultados obtidos com *Map UMTS*, foram simulados cenários de utilização semelhantes com o SLEP. A diferença mais acentuada entre ambos os simuladores prende-se com o facto deste último ser um simulador em tempo real, enquanto que o primeiro é estático. Contudo os resultados obtidos com ambos são bastante semelhantes validando os resultados obtidos com as simulações efectuadas.

Verificou-se que quanto mais exigente for o serviço de referência do operador, maiores serão as restrições em questões relativas às áreas de cobertura das estações de base, tendo-se verificado o mesmo para distribuições de população mais densas.

Palavras Chave

UMTS. GIS. Tráfego. Planeamento Celular. Análise de Desempenhos de Rede.

Índice

Agradecimentos x
Resumo e Palavras Chave xii
Índice ix
Lista de Figuras xi
Lista de Tabelas xvi
Lista de Siglas xix
Lista de Símbolos xxi

1. Introdução 1

2. Aspectos Teóricos do UMTS 5
2.1 Serviços Disponíveis 5
2.2 Aspectos Técnicos 8
2.2.1 Estrutura da Rede 8
2.2.2 Acesso Rádio 10
2.2.3 Acesso Múltiplo 11
2.2.4 Códigos 12
2.3 Ruído e Interferências 13
2.4 Modelo de Propagação COST 31 – Walfisch-Ikegami 16

3. Planeamento Celular em UMTS 19
3.1 GIS – *Geographical Information System* 19
3.2 Parâmetros de Entrada 20
3.3 Modelo de Tráfego 20
3.4 Modelo para o Cálculo de Raios 24
3.5 Parâmetros de Saída 28
3.6 Parâmetros para validação de resultados com SLEP 29

4. Análise e Interpretação de Resultados 31
4.1 Obtenção de Valores Médios 31
4.2 Estudo em Monoserviço 31
4.3 Estudo em Multiserviço 33
4.3.1 Estudo da Cidade de Lisboa 34
4.3.2 Estudo das Zonas da Cidade de Lisboa 38
4.3.3 Estudo da Cidade do Porto 40
4.4 Comparação com SLEP 42

5. Conclusões e Considerações Finais *45*

Anexo A – Acesso Rádio em UMTS A-1
Anexo B – Arquitectura do Acesso Rádio em UMTS B-1
Anexo C – Códigos e Canais em UMTS C-1
Anexo D – Factores de Carga em UL e DL D-1

D.1 Factor de Carga em UL D-1
D.2 Factor de Carga em DL D-2
D.3 Potência de Transmissão da Estação Base D-3
D.4 Valores Típicos D-4
Anexo E – Modelo de Propagação COST 231 – Walfisch-Ikegami E-1
Anexo F - Cobertura F-1
Anexo G – Balanços de Potência G-1
G.1 Aspectos Gerais G-1
G.2 Cálculo dos Balanços de Potência G-5
Anexo H - GIS H-1
Anexo I – Recolha de Dados I-1
I.1 Dados Relativos à Cidade de Lisboa I-1
I.2 Dados Relativos à Cidade do Porto I-16
Anexo J – Aplicação *Map UMTS* J-1
Anexo K – Noções Básicas de Tráfego K-1
Anexo L – Valores Simulados Médios L-1
Anexo M – Resultados Simulados para Monoserviço M-1
Anexo N – Resultados Simulados para a Cidade de Lisboa N-1
Anexo O – Resultados para as Zonas da Cidade de Lisboa O-1
Anexo P – Resultados Simulados para a Cidade do Porto P-1
Anexo Q – Dados para o SLEP Q-1
Referências Ref–1

Lista de Figuras

Figura 1.1	Cobertura celular em diferentes ambientes UMTS (extraído de [UMTS98b]).....	1
Figura 1.2	Espectro disponível para UMTS no mundo (extraído de[UMTS98a]).....	2
Figura 2.1	Estrutura celular em UMTS (extraído de [UMTS98b]).....	9
Figura 2.2	Atribuição de frequências para os modos TDD e FDD na Europa.....	10
Figura 2.3	Princípio de funcionamento da árvore de códigos (extraído de [HoTo00]).....	12
Figura 2.4	Evolução do factor de carga na célula.....	14
Figura 2.5	Variação do factor de carga para os serviços disponibilizados em UMTS.....	15
Figura 2.6	Percentagem de códigos ocupados *vs* factor de carga.....	16
Figura 2.7	Atenuação de propagação máxima permitida.....	18
Figura 2.8	Potência de emissão da BS para a distância máxima permitida pelo modelo de propagação e a metade dessa distância.....	18
Figura 3.1	Diagrama de blocos representativa da aplicação *Map UMTS*.....	19
Figura 3.2	Estrutura dos vectores utilizados.....	23
Figura 3.3	Representação da zona válida para a localização aleatória dos utilizadores da freguesia j.....	23
Figura 3.4	Distribuição espacial da população e dos respectivos serviços para Lisboa.....	24
Figura 3.5	Fluxograma para a geração da rede de hexágonos.....	25
Figura 3.6	Cobertura da cidade de Lisboa com células hexagonais.....	26
Figura 3.7	Fluxograma para a determinação do raio da BS.....	27
Figura 3.8	Raios para cada BS na cidade de Lisboa.....	28
Figura 3.9	Ferramenta de informação de uma dada BS.....	29
Figura 3.10	Comparação entre a definição das zonas para *Map UMTS* e SLEP.....	30
Figura 4.1	Evolução do andamento dos raios médios com o número utilizadores para os serviços considerados para a cidade global e para as diferentes zonas.....	32
Figura 4.2	Evolução dos raios médios com densidade populacional para voz para a cidade global e para as diferentes zonas para as distribuições consideradas.....	33
Figura 4.3	Percentagem de serviços utilizados pela população em estudo na cidade de Lisboa.....	33
Figura 4.4	Evolução dos raios médios para os diferentes serviços para as distribuições de população consideradas.....	34

Figura 4.5	Desvio relativo entre os raios mínimo e máximo para o raio de referência e relação entre estes.....	35
Figura 4.6	Evolução da capacidade e do número de utilizadores por BS para 0,5 % da população e para populações distintas.....	35
Figura 4.7	Potência de emissão da BS para populações distintas.....	36
Figura 4.8	Evolução dos parâmetros de qualidade para 0,5% da população.....	37
Figura 4.9	Evolução de P_b e de P_{good} , com a densidade habitacional, para voz...	37
Figura 4.10	Evolução dos raios médios para os diferentes serviços na zona habitacional e para as diferentes zonas.....	38
Figura 4.11	Evolução da capacidade para os diferentes serviços.....	38
Figura 4.12	Evolução de P_b em função da densidade populacional para voz para as diferentes zonas e para os diferentes serviços.....	39
Figura 4.13	P_b considerando diferentes raios de referência.....	39
Figura 4.14	Percentagem de serviços utilizados pela população em estudo na cidade do Porto.....	40
Figura 4.15	Comparação da densidade de utilizadores a realizar cada serviço, para Lisboa e Porto, para 0,5 % da população.....	40
Figura 4.16	Comparação dos raios médios, P_b e densidade de BSs para serviços diferentes, para Lisboa e Porto, para 0,5 % da população.....	41
Figura 4.17	Evolução do raio médio e P_b com a densidade populacional, para voz.....	42
Figura 4.18	Comparação dos factores de carga para SLEP e *Map UMTS*.....	44
Figura 4.19	Comparação entre as capacidade das BSs, para zonas verdes e zona habitacional.....	44
Figura A.1	Representação esquemática dos modos de duplexagem FDD e TDD.	A-2
Figura B.1	Arquitectura do acesso rádio em UMTS (extraído de [Mura01]).....	B-1
Figura D.1	Evolução da Margem de Interferência em função do factor de carga do sistema em UL/DL.....	D-3
Figura E.1	Representação das condições de propagação para o Modelo de Walfisch-Ikegami (extraído de [Corr02]).....	E-1
Figura E.2	Evolução da atenuação de propagação com a distância.....	E-3
Figura E.3	Evolução da atenuação de propagação com a distância para os canais rádio em FDD, e em torno de R = 1 km.....	E-3
Figura E.4	Evolução da atenuação de propagação com a distância para os canais rádio em TDD, para R=1 km.....	E-4
Figura F.1	Decaimento da potência com a distância.....	F-3
Figura F.2	Percentagem de zonas cobertas em função da margem de desvanecimento, para o modelo de Walfisch-Ikegami.....	F-3

Figura G.1	Diagrama de blocos para o cálculo dos balanços de potência (extraído de [Sale98]).....	G-1
Figura H.1	Cooperação de áreas distintas em camadas (extraído de [GISy02]).....	H-1
Figura H.2	Sobreposição das camadas de interesse prático (extraído de [GISy02]).....	H-2
Figura H.3	Informação relevante para a caracterização da população.....	H-2
Figura H.4	Planta de Lisboa considerando as freguesias da cidade e as suas características.....	H-3
Figura I.1	Distribuição espacial da população na cidade de Lisboa, segundo os rendimentos.....	I-4
Figura I.2	Percentagem da População com idade inferior a 20 anos, por freguesia.....	I-11
Figura I.3	Percentagem da População com idade entre 20 e 64 anos, por freguesia.....	I-11
Figura I.4	Percentagem da População com idade superior a 64 anos, por freguesia.....	I-11
Figura I.5	Percentagem da População sem escolaridade, por freguesia.....	I-12
Figura I.6	Percentagem da População com a escolaridade obrigatória, por freguesia.....	I-12
Figura I.7	Percentagem da População com o ensino secundário, por freguesia...	I-12
Figura I.8	Percentagem da População com o ensino superior, por freguesia.....	I-13
Figura I.9	Planta da cidade de Lisboa (extraído de [CMLi02]).....	I-13
Figura I.10	Subcategorias classificativas da cidade de Lisboa (extraído de [CMLi02]).....	I-14
Figura I.11	Planta da cidade de Lisboa e as novas subcategorias de classificação da cidade.....	I-15
Figura I.12	Distribuição espacial da população na cidade do Porto, segundo os rendimentos.....	I-16
Figura J.1	Menu de apresentação da aplicação *Map UMTS*.....	J-1
Figura J.2	Items do menu da aplicação *Map UMTS*.....	J-1
Figura J.3	Barra de ferramentas da aplicação *Map UMTS*.....	J-1
Figura J.4	Selecção da Tabela para a caracterização da população.....	J-2
Figura J.5	Tabela para a caracterização da população e respectivos parâmetros.	J-3
Figura J.6	Selecção da Tabela para a caracterização do tipo de zonas.....	J-3
Figura J.7	Tabela para a caracterização do tipo de zona.....	J-4
Figura J.8	Diferentes parâmetros de entrada para possível modificação.....	J-4
Figura J.9	Parâmetros do Modelo de Propagação.....	J-5
Figura J.10	Edição dos valores de E_b/N_0 para cada serviço.....	J-5

Figura J.11 Menu do Modelo de Tráfego..... J-5
Figura J.12 Parâmetros do Modelo de Tráfego..... J-6
Figura J.13 Edição dos dados relativos ao Modelo de Tráfego..... J-6
Figura J.14 Possibilidade de escolha de geração da distribuição da população..... J-6
Figura J.15 Selecção da tabela para a escolha da distribuição da população..... J-7
Figura J.16 Tabela da distribuição dos utilizadores..... J-7
Figura J.17 Definições possíveis para a determinação do raio máximo..... J-8
Figura J.18 Informações adicionais sobre *Map UMTS*..... J-8
Figura J.19 Dados estatísticos de saída da aplicação *Map UMTS*..... J-9
Figura J.20 Estudo gráfico da aplicação *Map UMTS*..... J-9
Figura K.1 Representação das funções densidade e distribuição de probabilidade de Poisson K-1
Figura L.1 Representação dos valores dos raios médio (marca) e respectivos valores mínimo e máximo, para diferentes de populações anteriormente consideradas, para a cidade global, zonas verdes, zonas habitacionais e zonas comerciais..... L-5
Figura M.1 Representação das áreas de cobertura das BS em monoserviço..... M-1
Figura M.2 Representação dos valores dos raios médio (a vermelho) e respectivos valores mínimo e máximo, para os diferentes serviços para a cidade global, para as zonas verdes, zonas habitacionais e zonas comerciais..... M-3
Figura M.3 Representação dos valores dos raios médio (a vermelho) e respectivos valores mínimo e máximo, para os diferentes tipos de populações para a cidade global, zonas verdes, zonas habitacionais e zonas comerciais..... M-5
Figura N.1 Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade..... N-3
Figura N.2 Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade..... N-3
Figura N.3 Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade..... N-3
Figura N.4 Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade..... N-4
Figura N.5 Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade. N-4
Figura N.6 Cobertura da cidade de Lisboa..... N-4
Figura P.1 Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade..... P-4
Figura P.2 Histograma relativo aos factores de carga UL e DL para toda a cidade..... P-4

Figura P.3 Histogramas relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade..... P-4
Figura P.4 Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade..... P-5
Figura P.5 Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para a cidade..... P-5
Figura P.6 Cobertura da cidade do Porto..... P-5

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Características dos serviços disponibilizados em UMTS (extraído de [UMTS98a]).....	5
Tabela 2.2	Classes de Tráfego em UMTS (extraído de [3GPP00]).....	7
Tabela 2.3	Serviços e Aplicações das classes do 3GPP (extraído de [FSCo02])..	8
Tabela 2.4	Propriedades dos diferentes tipos de células (extraído de [UMTS98b]).....	10
Tabela 3.1	Mapeamento dos serviços disponíveis para cada utilizador.....	21
Tabela 3.2	Percentagem de utilização de serviços que cada utilizador usa, por freguesia.....	22
Tabela 4.1	Raio médio[km] para *Map UMTS* e SLEP.....	43
Tabela 4.2	Tráfego Total/km^2 para as diferentes zonas.....	43
Tabela A.1	Parâmetros principais do WCDMA (extraído de [HoTo00]).....	A-1
Tabela A.2	Comparação entre FDD e TDD, para a rede de acesso terrestre (extraído de [Mura01]).....	A-2
Tabela C.1	Factores de espalhamento e respectivos débitos disponíveis (extraído de [HoTo00]).....	C-1
Tabela D.1	Valores típicos dos parâmetros considerados para o dimensionamento em UMTS (extraído de [HoTo00]).....	D-4
Tabela D.2	Valores típicos para o factor de ortogonalidade (extraído de [HoTo00]).....	D-5
Tabela G.1	Valores Típicos característicos na comunicação em DL.....	G-2
Tabela G.2	Valores Típicos característicos na comunicação em UL.....	G-3
Tabela G.3	Valores de E_b/N_0 para os diferentes serviços.....	G-4
Tabela G.4	Valores típicos característicos gerais.....	G-5
Tabela G.5	Balanços de potência para os diferentes serviços considerados.....	G-6
Tabela I.1	Parâmetros característicos da População de Lisboa (extraído de [INEs01] e [DGIm01]).....	I-2
Tabela I.2	Parâmetros característicos finais da População de Lisboa (extraído de [INEs01] e [DGIm01]).....	I-5
Tabela I.3	Aplicações e serviços considerados para o estudo (extraído de [FSCo02]).....	I-7
Tabela I.4a	Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo a idade.....	I-8
Tabela I.4b	Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo a idade.....	I-8
Tabela I.5a	Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo escolaridade.....	I-9

Tabela I.5b	Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo escolaridade.....	I-9
Tabela I.6a	Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo os rendimentos.....	I-10
Tabela I.6b	Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo os rendimentos.....	I-10
Tabela I.7	Percentagem de utilização de serviços UMTS, por classe urbana.....	I-15
Tabela I.8	Parâmetros característicos finais da População do Porto (extraído de [INEs01] e [DGIm01]).....	I-17
Tabela J.1	Funcionalidades dos botões da barra de ferramentas.....	J-2
Tabela L.1	Valores simulados para a média para o serviço de referência voz, para 0,5 %, considerando diferentes localizações para BSs.....	L-2
Tabela L.2	Valores simulados para a média para o serviço de referência voz, para 0,5 %, considerando distribuições de população distintas.....	L-3
Tabela M.1	Valores simulados obtidos para monoserviço.....	M-2
Tabela N.1	Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 0,5 %.....	N-2
Tabela N.2	Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 0,5 %.....	N-2
Tabela N.3	Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 2 %.....	N-15
Tabela N.4	Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 2 %.....	N-15
Tabela N.5	Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 5 %.....	N-29
Tabela N.6	Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 5 %.....	N-29
Tabela N.7	Análise de desempenho para raios de referência distintos, para os serviços considerados.....	N-41
Tabela N.8	Análise de desempenho para raios de referência distintos para voz, para as distribuições de população consideradas.	N-41
Tabela O.1	Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência e zonas, para 0,5 %.....	O-2
Tabela O.2	Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços e zonas, para 0,5 %.....	O-3
Tabela O.3	Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência e zonas, para 2 %.....	O-4
Tabela O.4	Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços e zonas, para 2 %.....	O-5

Tabela O.5 Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência e zonas, para 5 %..... O-6
Tabela O.6 Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços e zonas, para 5 %..... O-7
Tabela O.7 Parâmetros característicos de desempenho para diferentes raios de referência, com voz e 0,5 %..... O-8
Tabela P.1 Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 0,5 %..... P-2
Tabela P.2 Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 0,5 %..... P-2
Tabela P.3 Parâmetros característicos para as diferentes distribuições de população para voz. P-3
Tabela P.4 Parâmetros característicos de desempenho para as diferentes distribuições de população, para voz. P-3
Tabela Q.1 Parâmetros relativos ao modelo de propagação para SLEP..... Q-2
Tabela Q.2 Validação dos valores obtidos em *Map UMTS*, com SLEP, para 0,5 % e zonas verdes..... Q-3
Tabela Q.3 Dados de saída do SLEP, para 0,5 %..... Q-4
Tabela Q.4 Comparação para valores simulados com SLEP e *Map UMTS*, para 0,5 %..... Q-5
Tabela Q.5 Dados de saída do SLEP, para 2 %..... Q-6
Tabela Q.6 Comparação para valores simulados com SLEP e *Map UMTS*, para 0,5 %..... Q-7
Tabela Q.7 Dados de saída do SLEP, para 5 %..... Q-8
Tabela Q.8 Comparação para valores simulados com SLEP e *Map UMTS*, para 0,5 %..... Q-9

Lista de Siglas

3GPP	*Third Generation Protocol Partnership*
BS	*Base Station*
BTS	*Base Transceiver Station*
CDF	*Cumulative Distribution Function*
CML	Câmara Municipal de Lisboa
CMP	Câmara Municipal do Porto
CN	*Core Network*
CS	*Circuit Switching*
DL	*Downlink*
DS-CDMA	*Direct Sequence-Code Division Multiple Access*
ERF	*Error Function*
ERFC	*Complemmentar Error Function*
ETSI	*European Telecommunications Standards Institute*
FDD	*Frequency Division Duplex*
FDMA	*Frequency Division Multiple Access*
FIFO	*First In First Out*
FTP	*File Transfer Protocol*
GIS	*Geographical Information System*
GSM	*Global System for Mobile Communications*
HIMM	*High Interactive Multimedia*
HMM	*High Multimedia*
ITU	*International Telecommunication Union*
LAN	*Local Area Network*
LoS	*Line of Sight*
MMM	*Medium Multimedia*
MMS	*Multimedia Messaging Service*
MT	*Mobile Terminal*
NLoS	*Non Line of Sight*
OFDMA	*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*
OVSC	*Orthogonal Variable Spreading Code*
PDF	*Probability Distribution Function*
PS	*Packet Switching*
QoS	*Quality of Service*
RNC	*Radio Network Controller*
RNS	*Radio Network Subsystem*
SAT	*Satellite Communications*
SC	*Site Controller*
SD	*Switched Data*
SF	*Spreading Factor*
SM	*Short Messaging*
SMS	*Short Message Service*
TDD	*Time Division Duplex*
TD-CDMA	*Time Division-Code Division Multiple Access*
TDMA	*Time Division Multiple Access*
UL	*Uplink*
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System*
UTRA	*UMTS Terrestrial Radio Access*

UTRAN	*UMTS Terrestrial Radio Access Network*
V	Serviço de voz
W-CDMA	*Wideband-Code Division Multiple Access*

Lista de Símbolos

φ	Ângulo entre o eixo da rua e a direcção de propagação
d	Distância entre a BT e o MT
υ	Factor de actividade
η_{DL}	Factor de carga em DL
η_{SH}	Factor de carga de *soft handover*
η_{UL}	Factor de carga em UL
α	Factor de ortogonalidade dos códigos em DL
$\mu(p\%)\sigma$	Margem de desvanecimento
Δf	Largura de banda do sinal
ΔP	Margem de desvanecimento lento
λ	Taxa de geração de chamadas
Δt	Tempo entre geração de chamadas
σ^2	Variância de um sinal
A_v	Volume de tráfego
$Cap_{[kbps]}$	Tráfego médio suportado por cada BS
$\boldsymbol{D}$	Vector relativo à distribuição dos serviços por freguesia
$EIRP$	Potência de emissão isotropicamente radiada
$E[k]$	Valor esperado de um sinal
(E_b/N_0)	Cociente entre a energia de bit e a densidade espectral de ruído
f	Frequência da portadora
F	Factor de ruído do receptor
F_{circ}	Percentagem de locais em média com uma dada potência
G_{div}	Ganho no receptor devido ao uso de diversidade
G_e	Ganho da antena de emissão
G_p	Ganho de processamento
G_r	Ganho da antena na recepção
G_s	Ganho de uma antena não isotrópica numa dada direcção
G_{SH}	Ganho de *soft handover*
h_b	Altura da BS
H_B	Altura dos edifício
h_m	Altura do MT
i	Cociente entre a interferência proveniente de outras células e a interferência da célula
I_t	Potência total do sinal de banda larga recebido, incluindo a potência do ruído térmico na BS
k	Pesos relativos das classificações segundo idade, escolaridade e rendimento
$\boldsymbol{K}$	Vector relativo à percentagem correspondente aos cenários de utilização
k_a	Factor relativo ao aumento das perdas devido à BS estar abaixo do telhado
k_B	Constante de Boltzman

k_d	Factor relativo à dependência das perdas de difracção multilâmina com a distância
k_f	Factor relativo à dependência das perdas de difracção multilâmina com a frequência
L_a	Atenuação adicional devido a perdas em interiores
L_c	Atenuação nos cabos entre o emissor e a antena
L_{despol}	Atenuação devido a despolarizações
L_j	Factor de carga da ligação *j*
L_{ori}	Atenuação devido à mudança da orientação do raio
$L_{p\ máx}$	Atenuação de propagação máxima
L_{tm}	Atenuação devido a difracções entre os telhados e a rua
L_{tt}	Atenuação devido às multilâminas
L_u	Atenuação devido à presença do utilizador
$L_{UL,DL}$	Carga total do sistema sem voz numa BS
L_{voz}	Carga relativa a voz numa BS
L_0	Atenuação em espaço livre
M	Número de utilizadores de um freguesia
MI	Margem de interferência
$M_{f\ FF}$	Margem de desvanecimento rápido
$M_{f\ SF}$	Margem de desvanecimento lento
n	Factor de decaimento da potência do sinal com a distância
N	Número de zonas da cidade
n_{BS}	Número de BS
N_{indisp}	Número de códigos indisponíveis
N_{opuc}	Número de códigos ocupados
N_{rf}	Densidade de potência de ruído
N_0	Valor médio da potência de ruído
p	Probabilidade de bloqueio
$\boldsymbol{P}$	Vector relativo à probabilidade de haver um utilizador na zona i
P_b	Probabilidade de Bloqueio
$P_{BS\ TX}$	Potência de emissão da BS
P_e	Potência de emissão aos terminais da antena
P_{Good}	Probabilidade de o utilizador ser servido com o débito desejado
$P_{\min}$	Potência de limiar
P_{Poor}	Probabilidade de o utilizador ser servido com um débito mais baixo do que o desejado
P_r	Potência disponível na recepção aos terminais da antena
P_{Rx}	Potência à entrada do receptor (MT)
P_s	Potência do sinal
R	Raio de um a circunferência

R_b	Débito do sinal do utilizador
R_c	Débito de *chip*
s	Percentagem de utilizadores que efectuam mais do que um serviço
$\boldsymbol{S}$	Vector relativo à distribuição dos serviços
T	Temperatura
T_0	Temperatura de referência
$\boldsymbol{W}$	Vector relativo à percentagem de intersecção da freguesia em questão com a zona i
W_B	Distância entre os centros dos edifícios
w_s	Largura das ruas
x	Coordenada horizontal
y	Coordenada vertical

1. Introdução

As novas comunicações móveis que irão estar disponíveis num futuro já próximo, têm como propósito inovar revolucionariamente os sistemas fixos e móveis existentes, pois assentam em princípios de grande flexibilidade de operação e variedade de aplicações disponíveis. Pretende-se ainda a extensão à rede móvel da totalidade de serviços disponíveis na rede fixa (quer em variedade, quer nos débitos disponíveis) e de novos serviços.

No âmbito da terceira geração (3G), tem-se como propósito globalizar e uniformizar as comunicações móveis em todo o mundo, de modo a que um único sistema consiga satisfazer as necessidades dos seus variados e diversos utilizadores, tendo como um dos seus atractivos a mobilidade associada a serviços normalmente disponíveis apenas junto a um terminal fixo de computador, como se verifica pela Figura 1.1.

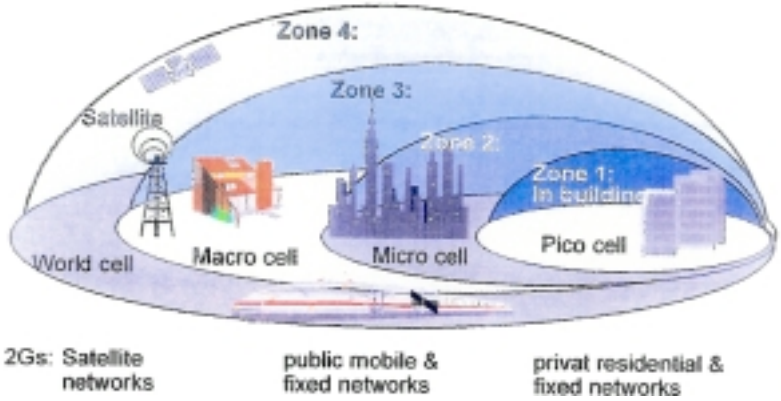


Figura 1.1: Cobertura celular em diferentes ambientes UMTS (extraído de [UMTS98b]).

Pretende-se um elevado grau de compatibilidade, de modo a garantir os mesmos serviços em todo o mundo, utilizando terminais multimodais que poderão funcionar segundo os padrões europeu, japonês e americano. Contudo, o resultado obtido foi diferente do planeado, e a terceira geração difere no continente americano relativamente à Europa e Japão, face às gamas de frequência utilizadas para as comunicações.

Como sistema de terceira geração europeu surgiu o UMTS (***U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem*), de modo a responder às necessidades emergentes nas novas comunicações. A questão da não globalidade do UMTS, deve-se à impossibilidade de uniformização de espectro electromagnético utilizado em todo o mundo. A comparação das bandas de frequência utilizadas na Europa, China, Japão e Estados Unidos encontra-se na Figura 1.2. Verifica-se que entre a Europa, Japão e China existe a quase totalidade de coincidência de espectro a utilizar para as comunicações em UMTS, enquanto que nos Estados Unidos tal não se verifica. Este facto explica-se devido a essas bandas estarem atribuídas a outros serviços já implementados, sendo difícil alterar estas bandas de frequência, de modo a se poder uniformizar, a nível mundial, as frequências de funcionamento para o UMTS.

A grande atracção e novidade que o UMTS apresenta relativamente aos sistemas de comunicações celulares anteriores, nomeadamente o GSM (***G**lobal **S**ystem **M**obile **T**elecommunications*) é a diversidade de serviços e aplicações a serem disponibilizados ao utilizador, sendo cada um deles caracterizado por diferentes débitos e modos de comutação. E

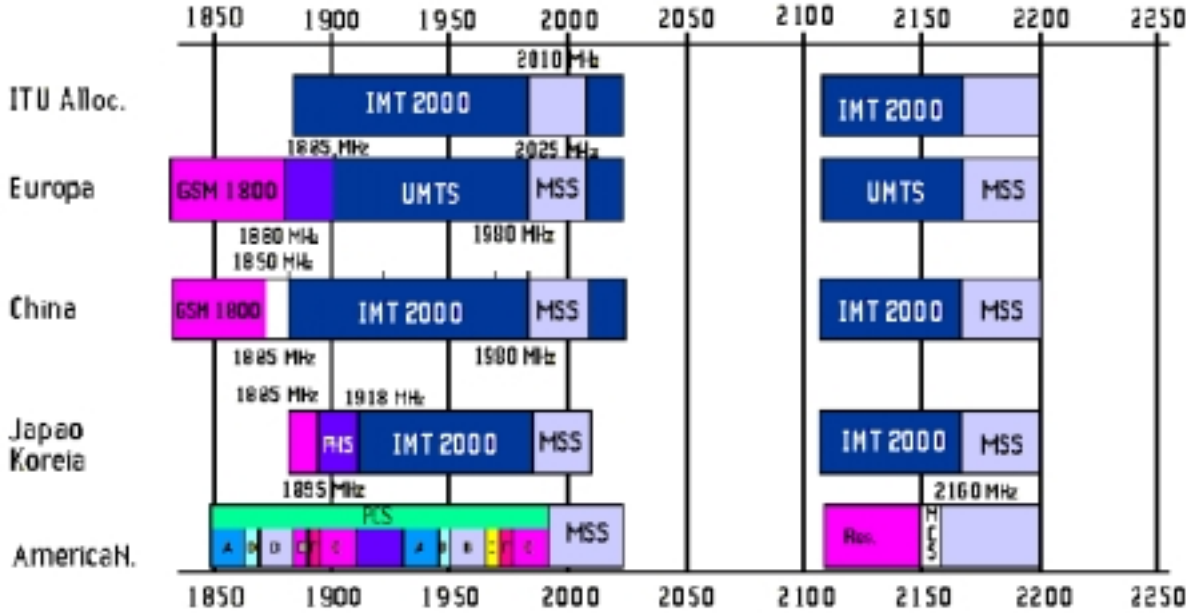


Figura 1.2: Espectro disponível para UMTS no mundo (extraído de[UMTS98a]).

esta é a riqueza adicional que o UMTS apresenta, diferentes débitos, para diferentes utilizadores que requerem aplicações distintas, tentando optimizar os recursos da rede.

Algumas das novas aplicações a serem disponibilizadas serão a video-conferência, *audio* e *video-on-demand*, correio e jornal electrónico, FTP (***F**ile **T**ransfer **M**ode*), *download* de ficheiros, e ainda aplicações baseadas em localização e informação geográfica. Estas últimos terão grande impacto no sistema, pois serão a sua mais valia, já que não estão disponíveis num terminal fixo.

O UMTS tem em UTRAN (***U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork*) a sua rede de acesso terrestre, permitindo através de diferentes interfaces, a utilização do sistema. É utilizada W-CDMA (***W**ideband-**C**ode **D**ivion **M**ultiple **A**ccess*) como técnica de acesso múltiplo, considerando a existência de espalhamento espectral e códigos distintos a serem atribuídos a cada utilizador. Podem coexistir outras técnicas de acesso múltiplo, optimizando os recursos da rede.

Como todos os sistemas, o UMTS apresenta também algumas limitações, sendo as mais relevantes as questões relativas a interferência, a potência máxima de emissão da estação de base (BS – ***B**ase **S**tation*) e, em alguns casos, questões devidas à atenuação máxima de propagação.

A motivação deste trabalho prende-se com a necessidade de se efectuar um estudo relativo ao comportamento de uma rede UMTS real. Como ainda não há dados reais relativos ao tráfego que irá ser gerado, tem-se a necessidade de estimá-lo, de modo a se poder dimensionar a rede celular UMTS. Ao considerar-se um modelo de tráfego genérico que contabilize diversos parâmetros relevantes, consegue-se uma primeira aproximação de ordens de grandeza e reconhecimento de parâmetros limitativos do sistema. Será necessário definir um modelo que englobe parâmetros como a caracterização da população e tipo de ocupação do terreno, relativos à zona de cobertura para a qual se pretende fazer o dimensionamento celular. Para

tal, torna-se necessário fazer um estudo relativamente aos serviços que a população poderá e irá utilizar com maior probabilidade. Devido ao planeamento em GSM e UMTS ser totalmente diferente, torna-se necessário considerar os novos parâmetros limitativos e ainda adquirir sensibilidade sobre a sua relevância no dimensionamento. Pretende-se com este projecto uma abordagem realista da questão, embora apresente algumas aproximações, de modo a definir qual o impacto dos utilizadores na rede, assim como da sua localização e serviços requeridos.

Devido à complexidade do sistema, optou-se por realizar um estudo estático, de modo a se obterem estimativas relativas ao desempenho e características do sistema. Pretendem tirar-se conclusões relevantes relativas ao comportamento da rede, mesmo considerando as aproximações efectuadas, já que se consideraram dados reais durante todo o dimensionamento. Poderão assim tomar-se opções relativas a questões de implementação, de modo a satisfazer o maior número de clientes, do modo mais eficiente possível, minimizando os custos relativos à implementação prática do UMTS. É possível efectuar o dimensionamento celular para qualquer cidade da qual se possuam os parâmetros característicos da população residente, tais como a idade, rendimentos e escolaridade respectivas, e a classificação das zonas da cidade. É ainda possível a visualização dos resultados obtidos com base em histogramas e outros gráficos representativos do desempenho do sistema.

No Capítulo 2 apresentam-se os aspectos teóricos mais relevantes e específicos do UMTS, focando preferencialmente aspectos directamente relacionados com este projecto. Consideram-se diferentes classificações para serviços e aplicações a serem disponibilizadas, e apresenta-se o Modelo de Propagação considerado (COST 231 – Walfisch-Ikegami). São elaboradas algumas considerações acerca das características e limitações do UMTS, considerando o andamento teórico de algumas curvas representativas do sistema. No Capítulo 3 faz-se uma breve introdução aos sistemas de informação geográfica e apresentam-se os Modelo de Tráfego e Modelo de Cálculo de Raios, considerados no desenvolvimento da uma aplicação em *MapBasic*, denominada de *Map UMTS*. Esta aplicação permite analisar o desempenho do sistema, e calcular os raios de cobertura relativos a uma grelha uniforme de BS, considerando que o tráfego gerado pelos utilizadores da cidade em questão, neste caso Lisboa e Porto, é não uniforme. Para a validação dos resultados obtidos utiliza-se o simulador SLEP da *Mitsubshi*. No Capítulo 4 apresentam-se os resultados experimentais obtidos para os casos considerados para monoserviço e multiserviço para a cidade de Lisboa comparando com a cidade do Porto, fazendo a respectiva crítica a estes valores, assim como as representações gráficas resultantes das simulações efectuadas. Comparam-se ainda os resultados simulados com os obtidos com o SLEP. No Capítulo 5 termina-se com as conclusões e considerações finais deste projecto, tecendo ainda algumas sugestões para trabalhos futuros e que possam melhorar e aproximar mais da realidade os resultados simulados que foram obtidos.

É ainda facultado, juntamente com o relatório deste projecto, um CD-ROM com a aplicação desenvolvida, assim como as tabelas contendo os dados utilizados para as simulações efectuadas e o manual de *Map UMTS*.

Note-se que este trabalho é um projecto de engenharia que visa adquirir a sensibilidade relativamente às questões mais proeminentes em planeamento celular em UMTS. Não se pretende a obtenção de valores exactos à exaustão, mas antes uma visão global sobre o

problema relativo à diversidade de serviços, débitos distintos, interferências e pluralidades existentes neste sistema inovador.

Devido à facilidade de manuseamento para o utilizador da aplicação elaborada, e ainda aos dados considerados não serem muito complexos, mas de fácil aquisição, *Map UMTS* torna-se uma boa ferramenta para uma primeira abordagem relativamente ao planeamento celular em qualquer localidade. As facilidades gráficas apresentadas permitem uma boa avaliação de desempenho e uma percepção do problema real, e das soluções a alcançar. É ainda de notar que *Map UMTS* apresenta resultados próximos dos provenientes dos simuladores de fabricantes utilizados normalmente para o planeamento celular, demorando contudo, menos tempo de simulação.

Com a utilização da aplicação elaborada, foi possível fazer diversas considerações relativamente à influência que os diversos parâmetros do sistema têm na rede, de modo a que em implementações futuras se possam tomar decisões tendo um fio condutor para o planeamento da rede.

2. Aspectos Teóricos do UMTS

Este capítulo aborda brevemente os serviços a serem disponibilizados pelo UMTS, bem como as suas sumárias características. Segue-se a descrição de alguns aspectos técnicos assim como a estrutura da rede e o acesso rádio que irá ser utilizado, enumerado-se ainda os códigos utilizados e canais disponíveis. São apresentadas as limitações do sistema impostas pelo ruído e interferências, sendo ainda referido o modelo de propagação COST 231 – Walfisch-Ikegami.

2.1 Serviços Disponíveis

Irão estar disponíveis no UMTS distintos serviços e aplicações com diferentes características. Serviços são um grupo de capacidades que se complementam e cooperam de modo a que o utilizador possa utilizar as aplicações, e uma aplicação é uma tarefa que necessita de comunicação entre dois ou mais terminais em localizações distintas [FSCo02]. Um serviço pode suportar varias aplicações distintas, assim como uma aplicação pode também ser suportada mais do que um serviço. Os serviços podem ser caracterizados pelos parâmetros de serviço (tipo de informação, dependência temporal, simetria, direccionalidade da ligação, entre outros) e, pelos parâmetros de comunicação (protocolo de comunicação, modo de comutação, atraso, taxa de erros binária, entre outros) que os caracterizam e catalogam em diferentes classes.

Existem então várias classificações para os serviços, tais como a do 3GPP QoS [3GPP00], UMTS-Forum [UMTS98a], Recomendação da ITU-T I.211 (*International **T**elecommunication **U**nion*) e ETSI (***E**uropean **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute*) [FSMC01], sendo as duas primeiras as mais adoptadas pela comunidade científica, e por isso serão aquelas que serão descritas com maior pormenor.

Segundo a classificação do UMTS-Forum, os serviços podem ser agrupados em seis categorias principais, considerando a perspectiva de mercado do UMTS, com características, exigências e requisitos fundamentais relativamente a questões de comutação (circuitos ou pacotes), débitos e factores de assimetria nos canais ascendentes (UL - ***U**p**l**ink*) e descendente (DL - ***D**own**l**ink*). Para cada categoria considerada apresentam-se as respectivas características na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Características dos serviços disponibilizados em UMTS (extraído de [UMTS98a]).

Serviços	Dédito Binário Nominal [kbps]	Débito Binário Efectivo [kbps]	Factor de Assimetria (UL/DL)	Modo de Comutação
Interactivo Multimédia Elevado	128	128	1/1	CS
Multimédia Elevado	2048	1509	0,005/1	PS
Multimédia Médio	384	286	0,026/1	PS
Comutação de Dados	14	14,4	1/1	CS
Mensagens Simples	14	10,67	1/1	PS
Voz	16	16	1/1	CS

Em sistemas com comutação de circuitos (CS - ***C**ircuit **S**witching*) é estabelecido um caminho dedicado entre os dois terminais em questão, durante a totalidade da comunicação. Este é o tipo de comutação utilizada nas redes telefónicas públicas actuais para a transmissão de tráfego de voz, e de dados sob a forma digital. Contudo, CS não é muito eficiente, já que mesmo que não haja transmissão de informação entre os terminais em comunicação (caso da voz, que tem cerca de 50% de utilização do canal), os recursos da rede continuam dedicados, deixando que outros utilizadores fiquem sem serviço, caso a rede esteja congestionada. Depois de estabelecida a comunicação os dados são transmitidos a um débito fixo, sem atrasos excepto os tempos de propagação entre terminais, num sistema transparente ao utilizador [Stal00].

Em sistemas com comutação de pacotes (PS - ***P**acket **S**witching*) normalmente fragmenta-se a mensagem que se pretende transmitir em pacotes com informação do utilizador (caso seja maior do que um tamanho pré-definido pela rede de comunicação), à qual se junta informação de controlo. Em cada nó da rede que o pacote atravessa, este é recebido, guardado alguns instantes e depois enviado para o nó seguinte que esteja desimpedido, escolhendo o caminho que conduza a um tempo de entrega o menor possível. PS conduz a uma maior eficiência face a CS, já que as comunicações entre nós podem ser partilhadas simultaneamente por diferentes pacotes devido à existência de *buffer*s internos com uma dada capacidade de armazenamento. Este tipo de comutação permite converter os débitos a que os pacotes são gerados, permitindo que dois terminais com débitos diferentes possam comunicar (o que pode levar à necessidade de algoritmos de controlo de fluxo). Com PS, se houver excesso de tráfego este fica sujeito a atrasos, ao revés da situação de CS em que a comunicação apresentaria bloqueio, PS é mais eficiente que CS, apresentando uma maior taxa de utilização [Stal00].

Os atrasos a que os pacotes de informação estão sujeitos devem-se ao facto de ocorrerem erros no canal de comunicação, o que leva à necessidade de retransmissões dos mesmos. Isto faz com que o débito binário por utilizador seja ligeiramente inferior ao débito nominal. Há ainda que considerar a informação adicional de controlo aos pacotes de informação (cabeçalhos) que é transparente para o utilizador, mas que induz uma diminuição na taxa de utilização do canal, traduzindo-se também num atraso aparente do canal. Contudo, na comunicação por CS este facto já não se verifica devido à dedicação exclusiva do canal aos utilizadores em questão.

Para cada uma das categorias da classificação do UMTS-Forum, podem explicitar-se algumas das aplicações descriminadas em [UMTS98a] e [UMTS00a]:

1. **Serviço de Voz** (V) com factor de ocupação de 50% em UL e em DL, como chamadas telefónicas, teleconferência, correio de voz,…
2. **Serviço de Mensagens Simples** (SM-***S**hort **M**essaging*), com pacotes até 40 kbyte, com um factor de eficiência de transferência de pacote de 75% e atraso máximo de 30 s, como mensagens curtas (evolução de SMS), *paging*, mensagens de interesse público, correio electrónico, ordens de pagamento para comércio electrónico simples,…
3. **Serviço de Dados Comutados** (SD-***S**witched **D**ata*), como *fax*, acesso à rede, transferência de ficheiros (FTP), acesso com baixo débito à *internet*/ *intranet* e a LANs (***L**ocal **A**rea **N**etwork*),…
4. **Serviço Multimédia Médio** (MMM-***M**edium **M**ulti**m**edia*), com transferência de pacotes de 0,5 Mbyte no máximo em 14 s, como compras *on-line*, movimentos bancários, acesso à *internet*/*intranet* e a LANs, partilha de informação/ trabalho colaborado, apostas, jogos interactivos,…

5. **Serviço Multimédia Elevado** (HMM-***H****igh* ***M****ulti****m****edia*), com pacotes de 10 Mbyte no máximo em 53 s, como *download* de ficheiros de áudio e imagem (mpeg e jpeg), acesso rápido à *internet*/*intranet* e a LANs, comércio electrónico,…
6. **Serviço Interactivo Multimédia Elevado** (HIMM-***H****igh* ***I****nteractive* ***M****ulti****m****edia*), com factor de ocupação cerca de 80%, como videotelefonia, videoconferência, telemedicina, teletrabalho/ teleeducação (telepresença),…

Note-se que todos os serviços multimédia, excepto HIMM, têm carácter assimétrico de forma a aumentar a utilização do canal, visto o espectro de frequências ser um recurso escasso e precioso em qualquer sistema de comunicações.

Segundo a classificação do 3GPP - QoS, os serviços podem ser agrupados em quatro categorias principais, considerando a perspectiva do utilizador em que a tecnologia não é muito relevante face à qualidade de serviço (QoS - ***Q****uality* ***of*** ***S****ervice*) pretendida. Se nas comunicações de transmissão de pacotes via *internet* não há qualidade mínima de serviço requerida (os pacotes não têm um atraso máximo admissível), em UMTS pretende garantir-se uma dada QoS. Esta é uma das condições mais complicadas e importantes a satisfazer, por vários motivos: todo o sistema assenta numa grande conectividade com a *internet* que não garante qualidade de serviço, logo há que definir prioridades e temporizadores dentro da rede para os pacotes, já que um utilizador que pague por um serviço não está disposto a aceitar uma situação de não compreensão de uma mensagem ou de uma espera demasiado longa por um serviço. Encontram-se Tabela 2.2 as categorias do 3GPP – QoS e as suas respectivas exigências em relação à QoS [HoTo00].

Tabela 2.2: Classes de Tráfego em UMTS (extraído de [3GPP00]).

Classes de Tráfego	***Conversational***	***Interactive***	***Streaming***	***Background***
Tolerante a erros	voz, videofonia	mensagens de voz	áudio e vídeo em tempo real	fax
Intolerante a erros	*telnet*, jogos interactivos	negócio electrónico, consulta pag.web	FTP, *paging*	correio electrónico
Sensibilidade a atrasos [s]	<<1	~1	<10	>10

Para cada uma das categorias da classificação do 3GPP - QoS faz-se uma breve caracterização:

- ***conversational***: é a classe mais exigente em relação à QoS, e é utilizada para tráfego simétrico e aplicações em tempo real,
- ***interactive***: o utilizador (humano ou não) requisita informação de um servidor, de uma forma interactiva aplicações, em que há opções a tomar no terminal móvel,
- ***streaming***: a informação flui continuamente, é armazenada em *buffers* e posteriormente processada. As aplicações para transferência de dados que são processados de uma forma contínua de modo a que o utilizador possa começar a visualizar a informação antes que toda ela tenha sido transferida totalmente.
- ***background***: é a classe menos exigente em relação à QoS, e é utilizada para transferir grandes quantidades de informação entre aplicações que não necessitem de acções imediatas.

Como existem muitos e diferenciados serviços, não é possível optimizar a QoS para um grupo de aplicações, mas apenas encontrar valores que em geral satisfaçam os requisitos pretendidos. Ainda assim, verifica-se que a classe *conversational* é a que coloca as maiores exigências em termos de QoS, ao revés da classe *background* que tem menores necessidades em termos de qualidade requisitada. De seguida descriminam-se alguns serviços e aplicações que cada uma das classes irá abranger na Tabela 2.3:

Tabela 2.3: Serviços e Aplicações das classes do 3GPP (extraído de [FSCo02]).

Classes 3GPP	Serviços	Aplicações
Conversational	Telefonia	Video-conferência
	Conferências Multimédia	Privado
	Tele-trabalho	Tele-educação
Streaming	*Streaming audio*	*Streaming video*
	Data-streaming	*Audio on-demand*
	Video on-demand	FTP
Interactive	Localização geográfica	Assistência em viagem
	Multimédia	*Web browsing* *M-commerce*
Background	Mensagens	MMS Correio electrónico
	Alargado	*Download* de ficheiros

Tomou-se como opção na Europa utilizar nos próximos anos ainda a rede GSM para fazer uma grande parte do transporte de serviços de voz e de serviços de dados de baixa capacidade (cerca de 90% segundo [UMTS98b]), e explorar o mais eficientemente possível as potencialidades fornecidas pelo UMTS para outros serviços inovadores em redes móveis. Numa fase transitória, os dois sistemas funcionarão em regime de complementaridade.

2.2 Aspectos Técnicos

Após uma primeira abordagem das potencialidades do sistema em causa relativamente aos serviços disponíveis, ir-se-á aprofundar um pouco mais o tema através do conhecimento do funcionamento interno de toda a estrutura de suporte do UMTS. Faz-se referência à estrutura da rede, assim como ao tipo de acesso rádio utilizado e de espectro disponível, ainda ao acesso múltiplo, códigos e canais existentes, ruído e interferência em UMTS [HoTo00].

2.2.1 Estrutura da Rede

Sendo o UMTS uma rede celular derivada e evoluída da rede GSM, a sua estrutura assenta nos mesmos princípios. Apresenta uma estrutura celular hierárquica com áreas de cobertura de cada célula aproximadas por uma forma hexagonal, e que são adjacentes umas às outras de acordo com Figura 2.1.

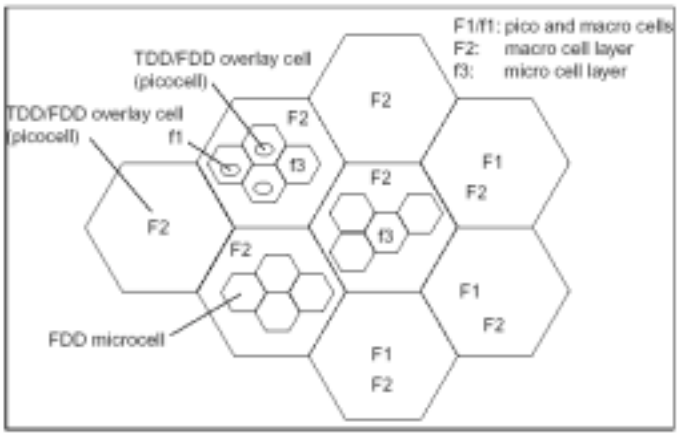


Figura 2.1: Estrutura celular em UMTS (extraído de [UMTS98b]).

Verifica-se que o factor de reutilização de frequências é unitário, podendo dois utilizadores em células adjacentes utilizar o mesmo canal rádio relativo a uma dada frequência. As células de menores dimensões (pico células) prestam assistência às micro e macro células, de modo a garantirem capacidade adicional.

O UMTS terá dois modos de funcionamento relativos ao acesso rádio, sendo eles o FDD (***F**requency **D**ivision **D**uplex*) e TDD (***T**ime **D**ivision **D**uplex*). No modo TDD, as operações de transmissão e recepção do sinal entre o terminal móvel (MT- ***M**obile **T**erminal*) e a estação de base (BS - ***B**ase **S**tation*) não podem ocorrer simultaneamente já que estas operações de UL e DL são disjuntas no tempo, sendo este tipo de comunicação bastante utilizado em serviços de carácter assimétrico, com débitos que podem ser bastante distintos nos dois sentidos. O Anexo B apresenta uma descrição mais pormenorizada de cada um dos modos de acesso rádio TDD e FDD.

Para efectuar o correcto planeamento celular de uma dada área geográfica, há que conhecer as suas características urbanas e demográficas, de modo a identificar as suas necessidades em termos de capacidade (informação sobre a densidade de tráfego e possível crescimento do número de subscritores), cobertura (regiões com cobertura de sinal, informação típica da região e condições de propagação), e tipos de serviços a prestar aos seus utilizadores (probabilidade de cobertura e probabilidade de bloqueio), de modo a que a estrutura da rede não fique sub-dimensionada (demasiados atrasos e/ou bloqueio frequente), nem sobre--dimensionada (recursos existentes com baixa utilização), o que tornaria os custos demasiado elevados desnecessariamente. Tem então que se distinguir os diferentes cenários possíveis de utilização, de acordo com os requisitos previstos para os utilizadores, numa perspectiva simultânea espaço-temporal e de serviços requisitados. Contudo, no decorrer deste trabalho irá apenas considerar-se a componente espacial, sendo o dimensionamento estático no tempo. Para o efeito, tende a projectar-se a rede admitindo a não satisfação de serviço em p do tempo, em que p é a probabilidade de um utilizador não ter acesso a um dado serviço. Na fase de planeamento de uma rede de telecomunicações há que fazer escolhas importantes, tais como o grau de QoS que se pretende oferecer ao cliente. Assim sendo, é possível optimizar a estrutura da rede através de uma combinação dos diferentes tipos de células existentes disponíveis para a cobertura de uma dada área, tendo em conta as suas características sumariadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Propriedades dos diferentes tipos de células (extraído de [UMTS98b]).

Tipo de Célula	**Mobilidade**	**Débito Binário Nominal Máximo [kbps]**	**Raio de Cobertura da Célula [m]**	**Área da Célula [km^2]**
Macro	Alta	384	1000	0,288
Micro	Alta/Baixa	384-2000	400	0,138
Pico	Baixa	2000	75	0,005

Verifica-se que as células com maior área de cobertura têm menor débito nominal máximo associado e maior mobilidade. As células de menores áreas de cobertura possibilitam maiores débitos e maior número de utilizadores em simultâneo (considerando que todos requerem serviços com o mesmo débito).

As macro células são geralmente utilizadas no caso de necessidade de elevada mobilidade, por exemplo ao longo de auto-estradas e/ou vias rápidas, em que o utilizador pode atingir velocidades bastante consideráveis, e onde se torna necessário minimizar o *handover*, impondo menores débitos máximos disponibilizados ao utilizador. As micro células fornecem assistência às macro células, quando a sua cobertura não se torna suficiente. São normalmente utilizadas em ambientes exteriores e possibilitam ambos os tipos de mobilidade, o que indicia a sua maior utilização em centros urbanos. As pico células possuem uma área de cobertura muito mais diminuta que as anteriormente referidas, contudo, possibilitam os débitos mais elevados, sendo por isso mais utilizadas em ambientes interiores, como centros comerciais e empresas de grandes dimensões, onde a densidade de utilizadores pode ser bastante elevada devido à ocorrência de um qualquer evento ou atracção. Nas situações em que um dado tipo de célula não tiver capacidade para servir os seus clientes, tem-se que este serviço pode ser assegurado pela célula hierarquicamente superior, enquanto o terminal móvel estiver ao alcance das células em questão.

Relativamente à estrutura da arquitectura em UMTS, esta encontra-se mencionada no Anexo B.

2.2.2 Acesso Rádio

Nos sistemas móveis celulares o espectro electromagnético disponível é o recurso mais escasso, pelo que se torna necessário garantir que os recursos rádio são geridos o mais eficientemente possível. Para tal, recorrem-se a diversas técnicas de multiplexagem, quer temporal, em frequência, código ou espacial, permitindo uma partilha dos recursos espectrais pelos diversos utilizadores, tentando garantir, contudo, a QoS desejada. Ao dimensionar uma rede celular, assim como qualquer outro sistema de telecomunicações, é necessário antever as necessidades a que o sistema irá estar sujeito, e para tal, os recursos que serão necessários disponibilizar para garantir o serviço ao cliente.

Figura 2.2: Atribuição de frequências para os modos TDD e FDD na Europa.

O espectro atribuído ao UMTS comporta no total uma banda de 155 MHz. Na Europa a gama de frequências está dividida nas bandas entre [1 900 , 1 980], [2 010 , 2 025] e [2 110 , 2 170] MHz, apresentando cada canal uma largura de banda de 5 MHz. Nesta parte do espectro destinado às comunicações terrestres, efectuaram-se subdivisões em duas bandas: uma emparelhada (*paired*) e outra desemparelhada (*unpaired*). Da primeira fazem parte dois blocos de 60 MHz cada, um para UL ([1 920 , 1 980] MHz), e outro para DL ([2 110 , 2 170] MHz), verificando-se simetria entre as duas bandas relativamente a 2 045 MHz. Da segunda, fazem parte dois blocos de 35 MHz no total, em [1 900 , 1 920] e [2 010 , 2 025] MHz, onde é possível UL e DL em ambas as bandas.

Existe ainda uma parte de espectro destinado às comunicações via satélite (SAT), com espectro atribuído entre [1 980 , 2 010] e [2 170 , 2 200] MHz. Não faz parte do âmbito deste trabalho o estudo e planeamento celular para esta gama de frequências e respectivos serviços disponíveis.

2.2.3 Acesso Múltiplo

No início, ao pensar-se no interface rádio para UMTS, encontraram-se em quatro alternativas de implementação, sendo elas: W-CDMA (***W**idebande-**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess*), TD-CDMA (***T**ime **D**ivion-**C**ode **D**ivion **M**ultiple **A**ccess*), W-TDMA (***W**ideband-**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess*) e OFDMA (***O**rthogonal **F**requency **D**ivion **M**ultiple **A**ccess*). Contudo aquelas que vingaram foram W-CDMA e TD-CDMA. Assim, a técnica W-CDMA é usada juntamente com duplexagem FDD nas bandas emparelhadas simétricas, e TD-CDMA é usada juntamente com a duplexagem TDD nas bandas desemparelhadas.

Em W-CDMA o recurso a que se recorre são os diferentes códigos atribuídos a cada utilizador. Estes possuem a importante propriedade de serem ortogonais entre si, o que em termos de modulação e desmodulação consegue garantir a ausência de interferência entre os canais (teoricamente). Permite que, recorrendo a espalhamento espectral, diferentes utilizadores possam estabelecer comunicação utilizando a mesma portadora e o mesmo instante temporal, com códigos identificadores de utilizador diferentes. Esta técnica recorre a códigos pré-definidos bem conhecidos, denominados por sequência de espalhamento (*spreading codes*), utilizados quer no emissor quer no receptor, os quais vão multiplicar o sinal que se pretende transmitir e receber, respectivamente. De modo análogo na recepção existe a mesma sequência de espalhamento (*despreading code*) que ao multiplicar o sinal que se tinha transmitido recupera o sinal original. Cada sequência de espalhamento tem como característica possuir um débito de *chip* (R_c - *chip rate*) constante muito superior ao débito do sinal (R_b), correspondendo os *chips* aos novos *bits* obtidos após este processo

Tendo um sinal binário com largura de banda limitada, que ao ser multiplicado por uma dada sequência de espalhamento, obtém-se um novo sinal com uma largura de banda superior, e com evolução temporal relativa ao código de espalhamento em questão. As potências dos sinais transmitido e recebido mantêm-se face à do sinal original, e é possível relacionar o débito de *chip* com a largura de banda do novo sinal. Deste modo, verifica-se que a largura de banda deste novo sinal transmitido aumenta muito significativamente, sendo maior do que aquela que seria estritamente necessária. Contudo, quanto maior for o cociente entre o débito de *chip* e o débito de informação, ou seja, do ganho de processamento (G_p), maior é a robustez do sistema à interferência (como se poderá verificar mais adiante em 2.3).

2.2.4 Códigos

Como já mencionado anteriormente, o UMTS recorre a sequências de espalhamento, denominados códigos que permitem a multiplexagem de vários utilizadores no tempo ou na frequência. Relativamente à duplexagem para o modo FDD o factor de espalhamento pode variar entre 4 a 512 e para o modo TDD entre 1 a 16, mostrando claramente que os débitos em TDD têm a possibilidade de serem muito mais elevados que em FDD.

De modo a reduzir a interferência entre utilizadores, deverá associar-se a cada novo sinal uma sequência ortogonal aos códigos anteriormente atribuídos (*OVSC - **O**rthogonal **V**ariable **S**preading **C**ode*), de modo a que a correlação cruzada entre os sinais se mantenha nula. Para que não haja enganos na atribuição dos códigos ainda disponíveis numa dada célula, recorre-se a uma estrutura de árvore, a qual permite uma melhor percepção do funcionamento da estrutura de codificação dos sinais. Essa estrutura encontra-se representada na Figura 2.3.

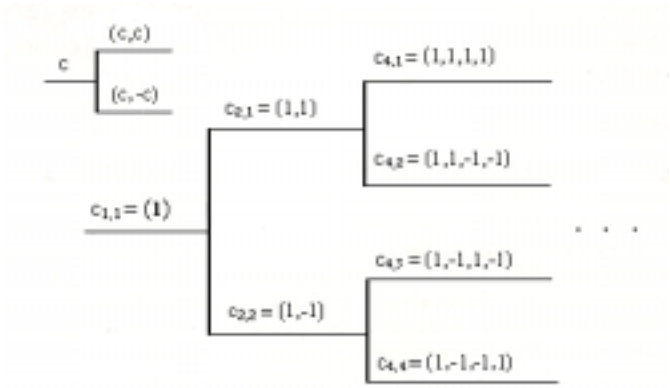


Figura 2.3: Princípio de funcionamento da árvore de códigos (extraído de [HoTo00]).

Constata-se que existem algumas restrições quanto ao uso dos códigos na transmissão dos sinais por um emissor. Tem-se que um certo canal físico pode utilizar um código da árvore se nenhum outro canal físico o estiver a usar, ou códigos para a esquerda do nó em que se está posicionado na árvore, ou seja, usar um factor de espalhamento (*SF - **S**preading **F**actor*) superior ao correspondente ao nó em questão. No Anexo C apresentam-se outras características mais específicas relativamente a este assunto, assim como a referência aos respectivos canais físicos e de transporte em UMTS.

Para o sinal de um dado utilizador sob a tutela de uma dada BS, os restantes sinais modulados com códigos diferentes apresentam-se como ruído para a sua sequência considerada, visto os códigos serem incorrelacionados entre si. Contudo, o limite da capacidade do sistema é dado pelo nível de interferência ainda existente após a descodificação na recepção. Note-se que, se na recepção o sistema receber vários sinais da mesma fonte mas com percursos diferentes, existirá uma desfasagem entre os sinais codificados recebidos. Algo semelhante acontece quando diferentes BS emitem sinais com a mesma frequência e um dado MT os capta. Estes factos fazem com que os sinais desmodulados percam a ortogonalidade entre si, criando assim uma sobreposição dos diferentes sinais relativos a canais distintos, pelo que é um factor limitativo relativamente ao número máximo de códigos que se podem utilizar e, portanto, do débito máximo.

Há que considerar o caso em que diferentes utilizadores se encontram a distâncias diferentes da BS, partilhando a mesma frequência mas com códigos diferentes: neste caso é necessário ter em conta que diferentes níveis de potência deverão ser emitidos para cada MT, de modo a

que cada sinal tenha o seu nível de potência adequado, e os sinais não causem interferência mútua uns nos outros. Aqui é possível solucionar o problema recorrendo a mecanismos de controlo de potência em cada sinal. O controlo de potência é importante quer em UL, quer em DL, de modo a evitar o bloqueio do sistema, quando um dado utilizador estiver mais próximo da BS dos que os restantes. Contudo a situação de UL requer maiores cuidados, pois vários utilizadores comunicam com a mesma BS, utilizando o mesmo *scrambling code*. Neste caso a interferência considerada para cada utilizador é relativa à distância a que cada MT se encontra da BS. Em DL a situação é menos crítica pois existe apenas uma entidade transmissora, embora seja para MT distintos, utilizando ambos *channelization* e *scrambling codes*.

2.3 Ruído e Interferências

Como já referido anteriormente neste trabalho, o número máximo de utilizadores por célula prende-se com os níveis de ruído e interferência que mantenham uma QoS aceitável, para os diferentes débitos a considerar. Numa primeira análise, poderia pensar-se que considerando diferentes códigos e ortogonais entre si para diferentes utilizadores, o número de códigos poderia ser tão elevado quanto o que se quisesse. Contudo, tal não é possível, pois quanto maior for o número de códigos, maior será a interferência causada no sinal dos utilizadores numa mesma célula. Ora, a QoS oferecida a qualquer utilizador não pode baixar um certo limiar para que o utilizador consiga receber informação pretendida correctamente.

Sendo o factor de reutilização de frequências em UMTS unitário, o sistema é tipicamente limitado pelo nível máximo de interferência, pelo que se deve estimar o nível de interferência na recepção, assim como a capacidade do sistema. Em sistemas que utilizem W-CDMA considera-se não somente o ruído térmico proveniente do funcionamento dos componentes electrónicos, mas também as interferências provenientes da existência e proximidade de outros utilizadores, relativamente aos diferentes serviços que cada um deles requer. Assim, o factor de carga global da célula a ter em consideração para a estimação da cobertura que uma BT, para um dado serviço será dado por (2.1) para UL e por (2.2) para DL [HoTo00], como se mostra no Anexo G.

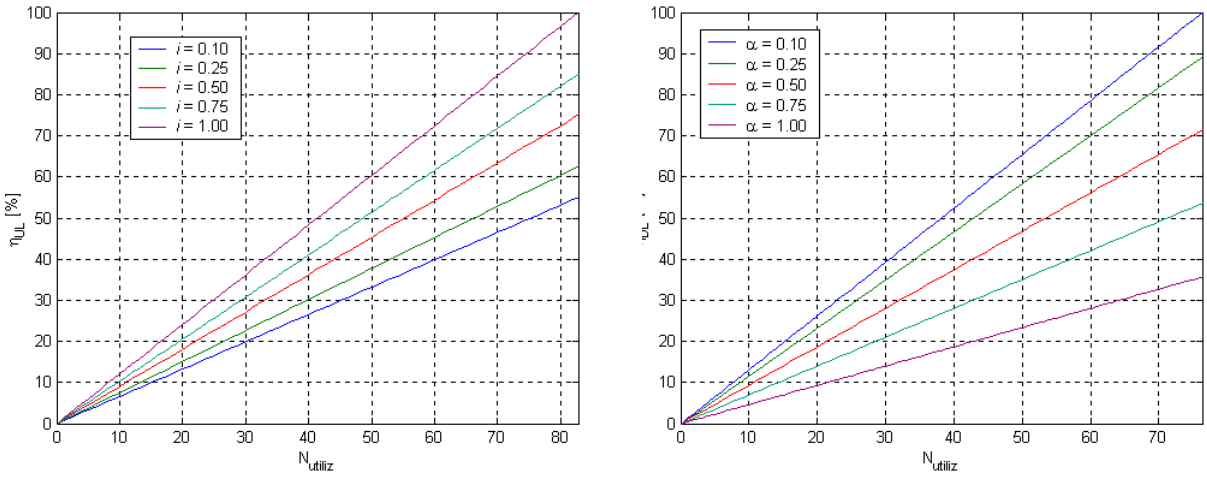
$$\eta_{UL} = (1+i)\sum_{j=1}^{M} \upsilon_j \frac{(E_b/N_0)_j}{R_c/R_j} \tag{2.1}$$

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^{M} \upsilon_j \frac{(E_b/N_0)_j}{R_c/R_j}\left[(1-\alpha_j)+i_j\right] \tag{2.2}$$

em que:

- i representa o cociente entre a interferência proveniente de outras células e a interferência da célula em questão,
- M representa o número de utilizadores,
- $(E_b/N_0)_j$ é o cociente entre a energia de bit e a densidade espectral de ruído do utilizador j,
- $R_c = 3{,}84$ Mcps é o débito de *chip*,
- R_j é o débito do utilizador *j*,
- υ_j é o factor de actividade do utilizador *j*,
- α_j representa o factor de ortogonalidade dos códigos em DL.

Analisando (2.1) e (2.2) verifica-se que o parâmetro que as distingue é o factor de ortogonalidade entre os códigos. Em DL este factor é considerado, pois o *scrambling code* utilizado para identificar o MT_j é o mesmo para todos os MTs de um dado sector de uma célula, causando interferência adicional, enquanto que em UL cada MT tem o seu *scrambling code* identificativo, além do *channelization code*, presente em ambas UL e DL.



(a) UL (b) DL

Figura 2.4: Evolução do factor de carga na célula.

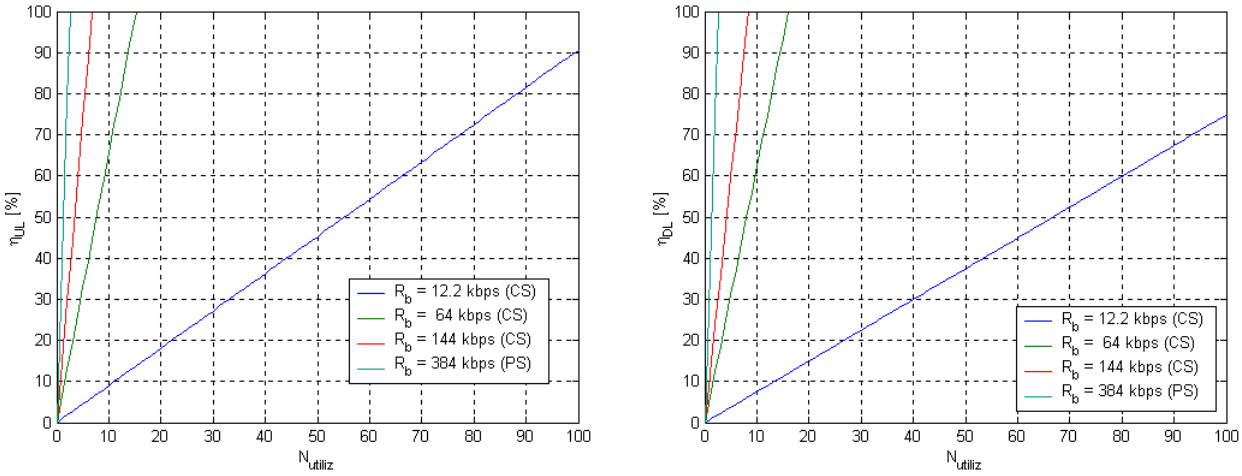
Para a Figura 2.4, representando a evolução do factor de carga na célula, considerou-se que todos os utilizadores requeriam o mesmo serviço de voz a 12,2 kbps, e que o factor de actividade era de 50 % (valor típico). Os valores típicos para o factor de ortogonalidade considerados para cada cenário e ambiente encontram-se no Anexo D, assim como a referência mais pormenorizada relativamente aos factores de carga.

Verifica-se que em UL, para um dado factor de carga na célula, quanto maior for o número de utilizadores maior será a interferência, ou ainda que para um dado número de utilizadores na célula, quanto maior for a interferência maior será o seu factor de carga. Em DL considerando uma interferência de 50 %, para um dado número de utilizadores, verifica-se que quanto mais ortogonais forem os códigos, menor será o factor de carga da célula. Assim, considerando que todos os utilizadores requerem o mesmo serviço, se $\alpha \approx 1$ consegue servir-se um maior número de utilizadores, sendo a capacidade da célula maior. Considerando 70 % como o máximo do factor de carga em UL e DL e um factor de ortogonalidade de 50 %, assim como para a interferência, conclui-se que em DL se servem menos utilizadores. Verifica-se então à partida, que o sentido limitativo da ligação será DL, pois para o mesmo factor de carga na célula admite menor número de utilizadores do que em UL, em situações de interferência e ortogonalidade não muito baixa (cenário mais provável). Como seria expectável, quanto mais ortogonais forem os códigos entre si, menor será o factor de carga total da célula, e para cenários de pouca interferência também.

Uma vez que a carga existente na célula influencia muito grandemente o desempenho do sistema, há que considerar a margem de interferência adicional a ter em conta durante o planeamento. Esta é dada por (2.3) e a sua característica encontra-se representada no Anexo G.

$$MI_{UL,DL[\mathrm{dB}]} = 10\log\left(\frac{1}{1-\eta_{UL,DL}}\right) \tag{2.3}$$

Quanto maior for a carga na célula maior será a interferência entre utilizadores, o que provoca uma diminuição na área de cobertura da BS. Assim, o valor médio máximo de cobertura da BS depende fortemente do número de utilizadores e dos serviços que estes pretendem efectuar, sendo diferente para UL e DL, como visto anteriormente. Cada serviço caracterizado pelo seu débito, impõe na célula um acréscimo do factor de carga, visto a limitação em UMTS ser devida a questões relacionadas com a interferência e não de capacidade. Assim, no planeamento celular, a cada serviço corresponderá um dado raio de cobertura, considerando contudo para efeitos de dimensionamento de carga na célula, os restantes utilizadores que efectuam diferentes serviços. Considerando que todos os utilizadores na célula requerem o mesmo serviço, pode verificar-se pela Figura 2.5 que o serviço pretendido influencia fortemente o factor de carga suportado pela célula.



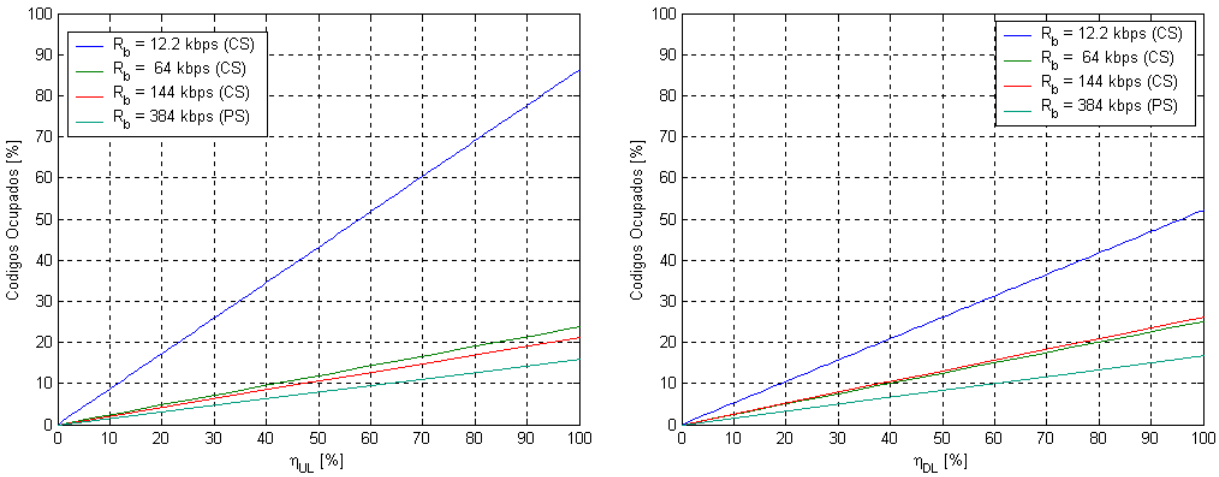
(a) UL (b) DL

Figura 2.5: Variação do factor de carga para os serviços disponibilizados em UMTS.

Verifica-se que serviços mais exigentes em termos de débito suportam menos utilizadores para um dado factor de carga na célula, o que indicia os distintos raios máximos de cobertura que correspondem cada serviço. Novamente se constata que a ligação mais limitativa em termos de utilizadores servidos será UL, sendo esta que irá impor a distância máxima de cobertura pela BS, devido às questões de ortogonalidade dos códigos. Contudo, na prática ter--se-ão utilizadores a fazer serviços distintos e será necessário considerar as suas localizações, assim como serviços respectivos, para o cálculo do factor de carga global da célula.

Há ainda que ter em consideração o número de códigos disponíveis na árvore, e verificar se as limitações em termos de número de utilizadores com serviço disponível se devem a questões de interferência ou escassez de códigos. Para tal, considerando novamente que todos os utilizadores requerem o mesmo serviço, é possível analisar a dependência do número de códigos utilizados como factor de carga na célula, presente na Figura 2.6.

Verifica-se que o factor de carga se aproxima da unidade mais rapidamente do que se esgotam os códigos na árvore de códigos. Assim, quer em UL, quer em DL, as questões relativas à interferência serão mais limitativas do que a escassez dos códigos de utilizador, para qualquer um dos serviços considerados. Contudo, se se pretender um factor de actividade máximo de 70 %, verifica-se que os serviços mais exigentes relativamente aos débitos, a percentagem de códigos ocupados é aproximadamente igual em UL e DL, excepto para voz, em que UL é mais limitativo, pelas razões anteriormente apresentadas.



(a) UL (b) DL

Figura 2.6: Percentagem de códigos ocupados *vs* factor de carga.

2.4 Modelo de Propagação COST 231 – Walfisch-Ikegami

Para a progressão do estudo da estimação dos raios das células em UMTS, é de vital importância a fiável caracterização do sinal que se pretende transmitir ou receber, quer temporal, quer espacialmente. Assim, é necessário recorrer a um modelo de propagação válido para as situações em análise, que forneça os parâmetros relativos às atenuações médias de propagação a que o sinal estará sujeito. Devido ao planeamento ser para a cidade de Lisboa, em que a densidade populacional é bastante elevada, pode à partida considerar-se que os raios das células serão inferiores à dezena de quilómetros, o que indicia a validade do Modelo COST 231 - Walfisch-Ikegami [DaCo99].

Um sinal que se propague na atmosfera pode sofrer oscilações de amplitude por diversos motivos. Ora, estas oscilações podem ser fatais, já que a informação contida no sinal electromagnético pode perder-se, caso a intensidade do sinal seja inferior a um dado limiar no receptor e este não o consiga detectar. A este fenómeno chama-se desvanecimento e pode ter duas origens distintas, sendo caracterizados por parâmetros diferentes. O desvanecimento lento deve-se a fundamentalmente à distância que o sinal terá que percorrer, que vai causando atenuação. O comportamento do sinal pode então ser descrito pela distribuição log-normal, considerando que existe um raio dominante que chega ao receptor, sendo muito mais intenso do que os restantes raios recebidos. O desvanecimento rápido deve-se principalmente à mobilidade de um dos terminais, onde diferentes raios provenientes de reflexões em edifícios ou outras estruturas chegam ao receptor com amplitudes semelhantes, podendo então o sinal ser descrito pelas distribuições de Rayleigh e/ou Rice [Sale98].

Para estimar a atenuação de propagação é necessário considerar as potências de emissão e recepção, assim como os ganhos das antenas utilizadas na emissão e recepção. Normalmente, recorre-se a modelos de propagação apropriados a cada situação de modo a obter-se este valor. Dos modelos de propagação conhecidos, aquele que irá utilizar-se no decorrer deste trabalho é o do COST 231 - Walfisch-Ikegami, cuja validade conjuga os modelos de Ikegami (propagação em ruas) [DaCo99] e de Walfisch-Bertoni (propagação em zonas urbanas considerando a propagação sobre edifícios) [DaCo99]. Esta escolha deveu-se essencialmente à simplicidade do modelo face à exactidão dos valores obtidos. Como os cenários em estudo são urbanos e a cidade é aproximadamente regular, o modelo de Walfisch-Ikegami é

apropriado para a caracterização da atenuação do sinal electromagnético em estudo, embora seja um modelo teórico. As expressões deste modelo são distintas conforme o tipo de propagação que se esteja a considerar seja na direcção da rua (em LoS) ou não havendo linha de vista (NLoS). Uma exposição mais exaustiva sobre o modelo de propagação a utilizar encontra-se no Anexo E. Segundo este modelo, as variáveis a considerar para a estimação da atenuação média que o sinal sofre ao longo do percurso são:

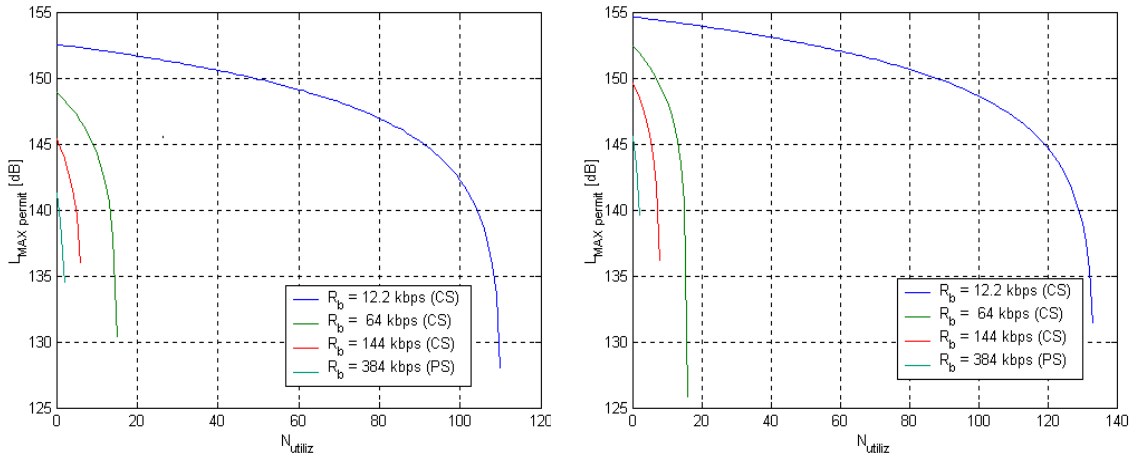
- largura das ruas w_s,
- altura dos prédios H_B,
- ângulo entre o eixo da rua e a direcção de propagação $\varphi[^o]$,
- altura do MT $h_m \in [1;3]$ m,
- distância entre os centros dos prédios W_B,
- altura da BS $h_b \in [4;50]$ m,
- frequência da portadora f∈ [800;2 000] MHz,
- distância entre a BT e o MT $d \in [0{,}02;5]$ km,
- tipo de cidade (média ou centro urbano).

A validade deste modelo tem algumas restrições, tais como a gama de frequências, distância do percurso e alturas da BT e do MT, sendo aquelas acima indicadas. É ainda de notar que o espectro atribuído para UMTS não se engloba totalmente nas gamas de frequências apresentadas para este modelo. Contudo aceitam e esperam-se que os valores a obter sejam afectados de erros suplementares, e deste modo os valores simulados sejam menos próximos dos valores reais. Estes valores servirão apenas como estimativas do dimensionamento que se pretende efectuar.

Os valores que se obtêm dos modelos de propagação não são exactos, dando apenas o valor médio das atenuações de propagação em causa. Assim, é necessário considerar margens de segurança que contabilizem à partida obstáculos existentes nos percursos assim como perdas em cabos ou devido à presença do utilizador. A margem a considerar deverá ser tanto maior quanto maior for a probabilidade de cobertura pretendida para uma dada área em estudo, tal como se pode verificar no Anexo F.

Para o dimensionamento celular será ainda necessário considerar a atenuação máxima permitida para que, quer o MT, quer a BS consigam ainda detectar o sinal que se pretende transmitir. Assim, tendo em consideração os balanços de potência efectuados no Anexo G tem-se a Figura 2.7, onde se verifica em conjunto com a Figura 2.6, qual o número de utilizadores máximo que se conseguiriam servir numa dada célula, estando todos a requerer o mesmo serviço. Note-se que a representação gráfica termina para o factor de carga unitário, pois para valores superiores a atenuação é infinita, não se conseguindo de modo algum estabelecer ligação. Foi considerado o cenário pedestre em ambiente urbano, com $\alpha = 0{,}7$.

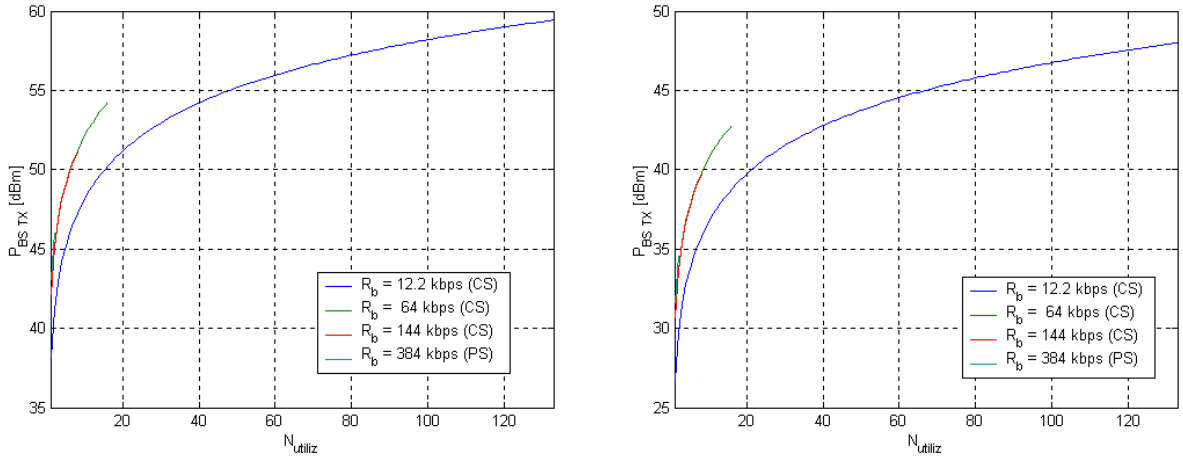
Novamente se verifica que o serviço de voz suporta maior número de utilizadores, e que para débitos maiores o número de utilizadores admitidos na célula diminui, reduzindo a área de cobertura. Tal deve-se ao ganho de processamento ser menor para débitos mais elevados. O aumento do número de utilizadores impõe o uso de células com área de cobertura menor devido à diminuição da atenuação de propagação máxima permitida na célula, de modo a compensar os efeitos do aumento da interferência.



(a) UL (b) DL

Figura 2.7: Atenuação de propagação máxima permitida.

Um outro possível factor limitativo do número máximo de utilizadores para uma dada BS será a sua potência máxima de emissão admissível. Torna-se então necessário averiguar, para as condições em análise, se será necessário tem em conta este factor como possível limitador da capacidade do sistema. A Figura 2.8 representa as necessidades de uma célula em termos de potência necessária para o caso em que todos os utilizadores requerem o mesmo serviço, considerando que estes se encontram sobre a circunferência limitadora da área de cobertura da BS, para os casos em que a distância considerada é a máxima admitida devido a questões de propagação, ou a uma distância equivalente a metade deste valor.

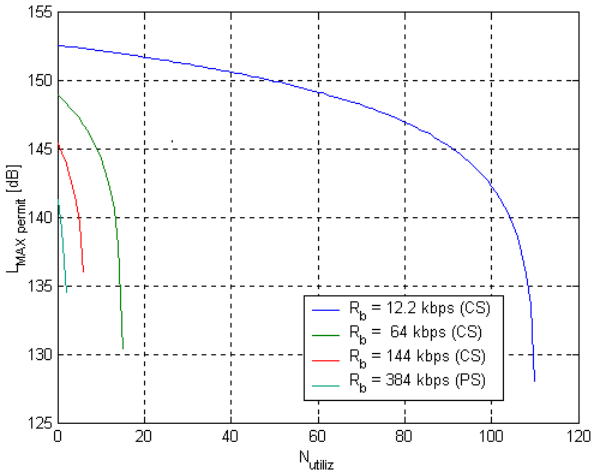


(a) $R = R(L_{p\ máx})$ (b) $R = R(L_{p\ máx}/2)$

Figura 2.8: Potência de emissão da BS para a distância máxima permitida pelo modelo de propagação e a metade dessa distância.

Verifica-se que, considerando que a potência máxima de emissão da BS são 43 dBm, existem casos em que a potência requerida apresenta valores superiores aos possíveis. Note-se contudo que, no pior caso considerado da totalidade dos utilizadores se encontrar sobre a distância máxima de propagação, a potência pode efectivamente ser o factor mais limitativo relativamente ao número de utilizadores máximo. Contudo, geralmente a população distribui--se mais equitativamente, podendo ser os restantes factores anteriormente considerados a limitarem o número máximos de utilizadores que uma dada BS suporta. Para o caso médio, em que os utilizadores se situam, em média sobre a circunferência com valor de metade do valor máximo da permitido por questões de propagação, considerando a situação de monoserviço, a potência limita apenas os casos de voz com mais de 40 utilizadores por BS.

Para o dimensionamento celular será ainda necessário considerar a atenuação máxima permitida para que, quer o MT, quer a BS consigam ainda detectar o sinal que se pretende transmitir. Assim, tendo em consideração os balanços de potência efectuados no Anexo G



tem-se a Figura 2.7, onde se verifica em conjunto com a Figura 2.6, qual o número de utilizadores máximo que se conseguiriam servir numa dada célula, estando todos a requerer o mesmo serviço. Note-se que a representação gráfica termina para o factor de carga unitário, pois para valores superiores a atenuação é infinita, não se conseguindo de modo algum estabelecer ligação. Foi considerado o cenário pedestre em ambiente urbano, com $\alpha = 0{,}7$.

UL DL

Figura 2.7: Atenuação de propagação máxima permitida.

3. Planeamento Celular em UMTS

Neste capítulo refere-se o princípio de funcionamento dos sistemas de informação geográficos, assim como o princípio de funcionamento da aplicação elaborada *Map UMTS*, sendo abordados os seus parâmetros de entrada, modelos a utilizar e parâmetros de saída. Finaliza-se com uma breve abordagem das técnicas de validação dos resultados obtidos, através do simulador SLEP.

3.1 GIS – *Geographical Information System*

Os sistemas de informação geográfica serão uma das bases importantes em UMTS, permitindo uma série de serviços baseados em localização geográfica. Contudo, esta não é a sua única potencialidade, já que permitem visualizar, manipular, analisar e dispor espacialmente diferentes tipos de dados, através de várias bases de dados que relacionam entre si mapas distintos de uma forma eficiente. Os sistemas de informação geográfica são muito úteis, entre outras coisas, para a parametrização de tráfego e sobreposição estruturada de informação referente ao planeamento celular. O Anexo H apresenta o seu princípio de funcionamento, assim como informação referente ao GIS.

Para o caso em estudo, tomaram-se como relevantes para a caracterização da população parâmetros, tais como o número de habitantes por freguesia, as respectivas idades, escolaridade e o nível de rendimentos dos agregados familiares. Estes dados encontram-se guardados numa tabela semelhante à da Figura H.3 e podem ser alterados pelo utilizador, assim como toda a informação de entrada relativa às áreas geográficas em questão.

Sob esta plataforma informática, desenvolveu-se uma aplicação *Map UMTS* em *MapBasic* para o planeamento celular e estimativa da QoS servida aos utilizadores de UMTS da cidade em questão. A Figura 3.1 representa esquematicamente a funcionalidade desta aplicação, apresentando os respectivos parâmetros de entrada e de saída.

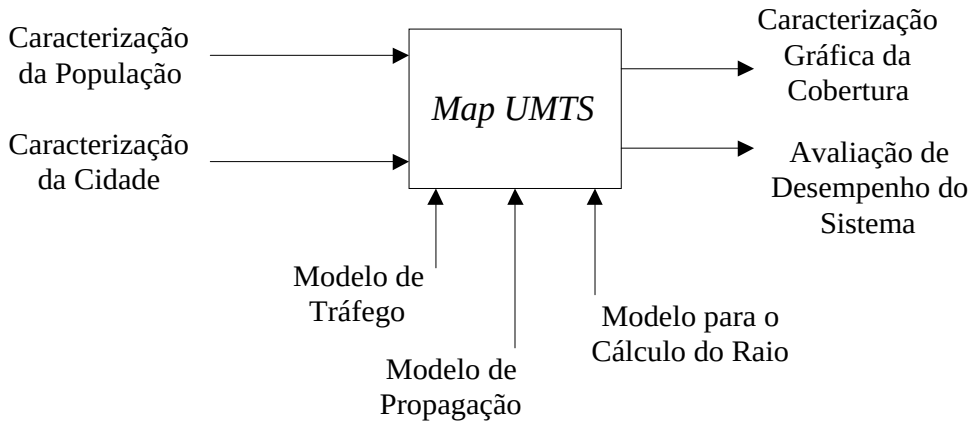


Figura 3.1: Diagrama de blocos representativa da aplicação *Map UMTS*.

Note-se que o Modelo de Propagação a considerar será o de COST 231 - Walfisch-Ikegami, anteriormente mencionado no Capítulo 2.

3.2 Parâmetros de Entrada

A aplicação *Map UMTS* utiliza valores relativos à caracterização da população em estudo, assim como as características espaciais da cidade para a qual se pretende fazer o dimensionamento da rede celular.

Os parâmetros de entrada relativos à caracterização da população são dados relativos a:

- número de pessoas por freguesia,
- número de pessoas com idades compreendidas entre {0, 20}, {20, 64} e mais de 64 anos, por freguesia,
- número de pessoas sem a escolaridade obrigatória, com ensino obrigatório, ensino secundário e ensino superior, por freguesia,
- rendimentos.

Os parâmetros relativos à caracterização espacial da cidade indicam o tipo de zona e respectiva ocupação, sendo elas as habitacional denso, edifícios de utilização mista, edifícios de utilização terciária, habitacional pouco denso, edifícios industriais, estradas e zonas verdes.

É possível a alteração de todos os parâmetros característicos dos vários modelos utilizados, sendo possível seleccionar diferentes serviços de referência, assim como os factores de carga máximos para UL, DL e *soft handover*, tipos de cenários e raios de referência para as células ou valores de E_b/N_0. Apresentam-se as tabelas relativas aos parâmetros de entrada utilizados pela aplicação *Map UMTS*, no Anexo I.

3.3 Modelo de Tráfego

Uma vez seleccionados os parâmetros considerados relevantes para a caracterização dos potenciais utilizadores em UMTS, relativamente à sua distribuição espacial e ainda às suas capacidades económicas, nível de escolaridade e idade, é possível elaborar um modelo de tráfego que permita estimar o tráfego não uniforme gerado por uma dada população, já que devido ao sistema ainda se encontrar inoperável, não existam dados reais de tráfego. Assim, optou-se por elaborar um Modelo de Tráfego, em que se estimam:

- o número de potenciais utilizadores activos, por freguesia,
- o(s) serviço(s) que cada utilizador requer, por freguesia,
- a localização individual de cada potencial utilizador activo, por freguesia.

Para que estas estimativas pudessem ser determinadas, houve a necessidade de elaborar uma aplicação em *MapBasic* que utilizasse o ambiente *MapInfo*, de modo a que as diferentes informações associadas a cada camada cooperassem na estimativa do tráfego gerado. Os diferentes menus desta aplicação, denominada *Map UMTS*, encontram-se no Anexo J, assim como uma breve explicação do seu funcionamento e aplicabilidade.

A distribuição de Poisson é um bom descritor para a geração de pedidos de recursos da rede, assim como a distribuição exponencial negativa é um bom descritor para a duração média das chamadas e do intervalo entre a geração das chamadas. As funções densidade de probabilidade de Poisson e Exponencial Negativa são descritas por (3.1) e (3.2),

respectivamente. O Anexo K apresenta alguma informação complementar sobre as distribuições estatísticas a considerar.

$$P(k) = \Pr\text{ob}\{chegada\ de\ k\ chamadas\ em\ \Delta t = T\} = \frac{(\lambda T)^k}{k!}\exp\{-\lambda T\} \quad (3.1)$$

$$P(\tau) = \Pr\text{ob}\{T > \tau\} = \lambda \exp\{-\lambda\tau\}, \tau \geq 0 \quad (3.2)$$

Tem-se então que o número de utilizadores activos em cada freguesia é determinado recorrendo a uma Distribuição de Poisson, com valor médio dado por (3.3),

$$\#\ médio\ de\ utilizadores = (tx.\ penetração) \times (tx.\ utilização) \times (\#\ utilizadores\ /\ freguesia) \quad (3.3)$$

em que:

- a taxa de penetração corresponde à percentagem de utilizadores que utilizam os serviços do operador móvel em questão, para o qual se pretende dimensionar a rede,
- a taxa de utilização corresponde ao número de potenciais utilizadores de serviços do operador, para uma dada hora do dia, para a cidade em questão.

Uma vez obtido o número de utilizadores activos por freguesia em questão, é necessário atribuir-lhes uma localização e o(s) seu(s) respectivo(s) serviço(s) requeridos. Considerando que existem *M* potenciais utilizadores activos numa dada freguesia, e estabelecendo que cada utilizador efectua um serviço apenas, ou efectua dois, sendo eles voz e um outro serviço, fez--se então o seguinte mapeamento apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Mapeamento dos serviços disponíveis para cada utilizador.

Código	Serviço
1	Voz, 12,2 kbps, CS
2	64 kbps, CS
3	64 kbps, PS
4	144 kbps, CS
5	144 kbps, PS
6	384 kbps, PS

Código	Serviços
7	Voz, 12,2 kbps, CS + 64 kbps, CS
8	Voz, 12,2 kbps, CS + 64 kbps, PS
9	Voz, 12,2 kbps, CS + 144 kbps, CS
10	Voz, 12,2 kbps, CS + 144 kbps, PS
11	Voz, 12,2 kbps, CS + 384 kbps, PS

Considerando os *M* utilizadores de uma dada freguesia, torna-se necessário dimensionar a percentagem de utilizadores aos quais estarão atribuídos os códigos da Tabela 3.1. Assim, considerando um vector $\boldsymbol{V}$ com dimensão 6 correspondente às colunas das Tabela I.4b, Tabela I.5b e Tabela I.6b, usa-se (3.4), tal que:

$$\boldsymbol{D} = k_1\left(p_{<20} \times \boldsymbol{v_{11}} + p_{20<<64} \times \boldsymbol{v_{12}} + p_{>64} \times \boldsymbol{v_{13}}\right) + k_2\left(p_{sem} \times \boldsymbol{v_{21}} + p_{obrig} \times \boldsymbol{v_{22}} + p_{\sec} \times \boldsymbol{v_{23}} + p_{\sup} \times \boldsymbol{v_{24}}\right) + k_3(\boldsymbol{v_3}) \quad (3.4)$$

em que:

- $\boldsymbol{D}$ é o novo vector relativo à distribuição dos serviços por freguesia,
- k_1, k_2 e k_3 são os pesos relativos a cada uma das classificações utilizadas para a população, idade, escolaridade e rendimento, respectivamente,
- $\boldsymbol{v_{11}}$, $\boldsymbol{v_{12}}$ e $\boldsymbol{v_{13}}$ são vectores correspondentes às colunas 1, 2 e 3 da Tabela I.4b, respectivamente,

- $\boldsymbol{v}_{21}$, $\boldsymbol{v}_{22}$, $\boldsymbol{v}_{23}$ e $\boldsymbol{v}_{24}$ são vectores correspondentes às colunas 1, 2, 3 e 4 das Tabela I.5b, respectivamente,
- $\boldsymbol{v}_3$ é o vector correspondente à coluna relativa aos rendimentos da Tabela I.6b,
- $p_{<20}$, $p_{10<<64}$ e $p_{>64}$ representam a probabilidade da população ter menos de 20 anos, entre 20 e 64 anos e mais de 64 anos, respectivamente, na freguesia considerada,
- p_{sem}, p_{obrig}, $p_{\sec}$ e $p_{\sup}$ representam a probabilidade da população não ter escolaridade, ter escolaridade obrigatória, ensino secundário ou ensino superior, respectivamente, na freguesia considerada.

Note-se que todos os valores das tabelas anteriormente referidas e pesos relativos que são considerados neste modelo de tráfego podem ser alterados pelo utilizador. Verifica-se (3.5) caso os utilizadores efectuem mais do que um serviço em simultâneo,

$$\boldsymbol{D} = [d_1 ... d_6] \; ; \; \sum_{i=1}^{6} d_i \geq 1 \tag{3.5}$$

em que d_i corresponde à probabilidade de se efectuar um serviço correspondente à Tabela3.1, para os códigos inferiores a sete. Desta forma, é possível determinar a percentagem de utilizadores que efectuam mais do que um serviço, sendo o outro o serviço de voz, representado por s e dado por (3.6).

$$s = \sum_{i=1}^{6} d_i - 1 \tag{3.6}$$

Para a atribuição final das percentagens de utilização segundo a Tabela 3.1, tem-se que relativamente aos mapeamento efectuado se tem a seguinte correspondência da Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Percentagem de utilização de serviços que cada utilizador usa, por freguesia.

Código	Método de Cálculo
1	$d_1 - s$
2-6	d_i, i = 2, ..., 6
7-11	$\frac{d_i}{\sum_{i=1}^{6} d_i} s$, i = 7, ..., 11

Finalmente, para determinar o número de utilizadores de cada serviço basta multiplicar os valores da Tabela 3.2 pelo número de utilizadores activos na freguesia em questão. Estes resultados são dispostos sobre a forma de vector $\boldsymbol{S}$ com M elementos, através de uma distribuição uniforme, correspondendo a cada posição do vector um código equivalente aos da Tabela 3.1.

Uma vez conhecidos o número de utilizadores por freguesia, assim como os serviços que essa amostra da população irá requer, será necessário distribuí-los ao longo das áreas de cada freguesia. Esta localização segue uma Distribuição Uniforme, e é obtida considerando dois vectores $\boldsymbol{W}$ e $\boldsymbol{K}$, representantes da percentagem de intersecção da freguesia em questão com a zona i (segundo a classificação da CML - Câmara Municipal de Lisboa), e da percentagem correspondente aos cenários de utilização segundo a Tabela I.7, respectivamente, como se verifica pela Figura 3.2.

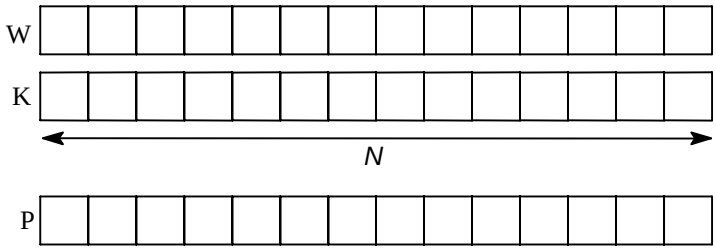


Figura 3.2: Estrutura dos vectores utilizados.

Note-se que cada um destes vectores tem *N* elementos, correspondentes ao número total de zonas distintas existentes na cidade em questão. Daqui é possível obter o vector $\boldsymbol{P}$, correspondente à probabilidade de haver um utilizador na zona *i*, dada por (3.7) para cada um dos *N* elementos.

$$p_i = \frac{w_i k_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i k_i} \tag{3.7}$$

Desta forma, o número de utilizadores na zona *i*, considerando as classificações urbanas da Tabela I.7 e o número de potenciais utilizadores por freguesia, será dado por (3.8), para cada uma das *N* zonas.

$$\#\ utilizadores\ na\ zona\ i = P \times (\#\ utilizadores\ activos\ /\ freguesia) \tag{3.8}$$

Definindo adicionalmente uma região correspondente a um polígono regular no sistema de coordenadas cartesianas, limitando os pontos máximos e mínimos naquele sistema de eixos, gera-se aleatoriamente uma coordenada *x* e uma coordenada *y*, indicadores da localização de um utilizador. Caso o ponto (*x*,*y*) obtido seja exterior à zona *i*, este processo repete-se até que a localização obtida aleatoriamente se encontre dentro das fronteiras da zona *i*, como se exemplifica na Figura 3.3 na zona representada a amarelo.

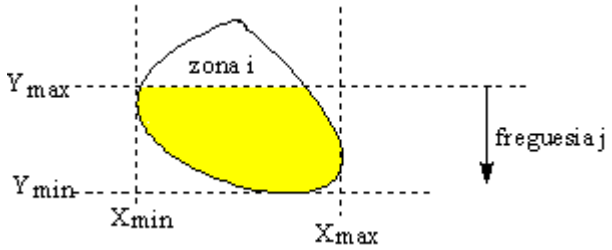


Figura 3.3: Representação da zona válida para a localização aleatória dos utilizadores da freguesia j.

Note-se que este processo é efectuado individualmente para cada utilizador, podendo ser bastante demorado para zonas com contornos bastante irregulares. A cada utilizador com uma posição (*x*,*y*) é atribuído um serviço do vector $\boldsymbol{S}$, lido sequencialmente. Desta forma é agora possível mostrar na Figura 3.4 a representação da camada dos utilizadores que caracterizam espacialmente a distribuição da população e dos serviços que aquela requer, de um modo não uniforme. Note-se que para a Figura 3.4 a distribuição de população considerada foi de 0,5 %.

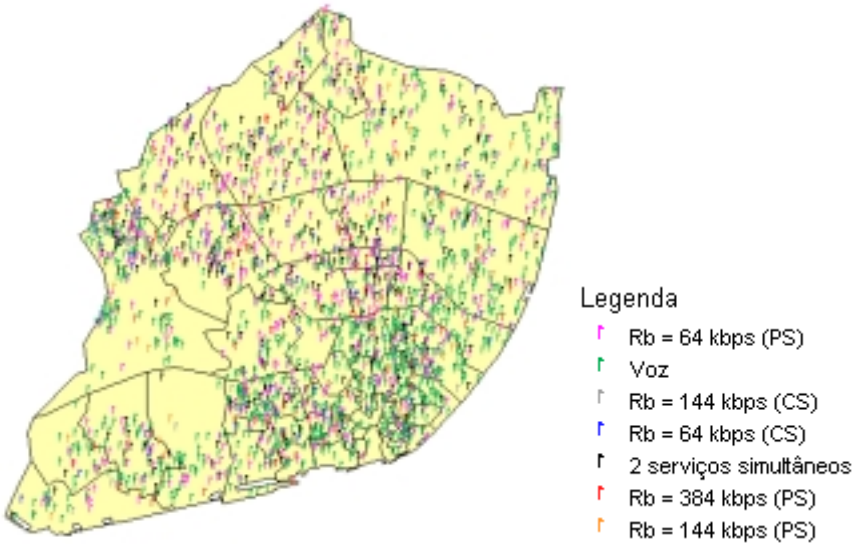


Figura 3.4: Distribuição espacial da população e dos respectivos serviços para Lisboa.

Note-se que no caso em que existam utilizadores a efectuar dois serviços simultaneamente, estes são contabilizados apenas uma vez para o número de utilizadores efectivos na BS, mas contribuem duplamente para a carga da célula em questão.

3.4 Modelo para o Cálculo dos Raios

Para a estimativa dos raios relativos a cada BS, consideraram-se como factores limitativos para este trabalho:

- $\eta_{UL} = 50\ \%$,
- $\eta_{DL} = 50\ \%$,
- $P_{BS_TX\max} = 43$ dBm,
- $d_{\max}$ dado pelo modelo de propagação.

Tomaram-se como valores de referência os valores acima apresentados. Relativamente ao modelo de propagação, os valores de referência podem apresentar-se alterados devido ao serviço de referência considerado, tipo de cenário (pedestre, veicular, interior) ou valores de E_b/N_0. Note-se que se considera um factor de carga (η_{SH}) relativo a *soft handover* efectuado por utilizadores nas células vizinhas com valor de referência de 20 %.

Para a determinação dos centros de cada BS, foi necessário elaborar um algoritmo de geração de hexágonos equivalentes à aproximação da área de cobertura das BSs, formando assim mais uma camada de informação a sobrepor às restantes. Esta camada representa uma rede uniforme de hexágonos. Este algoritmo consiste em seleccionar um ponto inicial, correspondente à posição onde se pretende colocar uma BS, assim como o raio de referência *R* que se pretende para a célula. Caso o utilizador não escolha um raio de referência, é considerado como referência o valor máximo obtido pelo modelo de propagação para a margem de interferência máxima. Considerando este ponto, os restantes centros da rede de hexágonos são obtidos segundo o fluxograma da Figura 3.5.

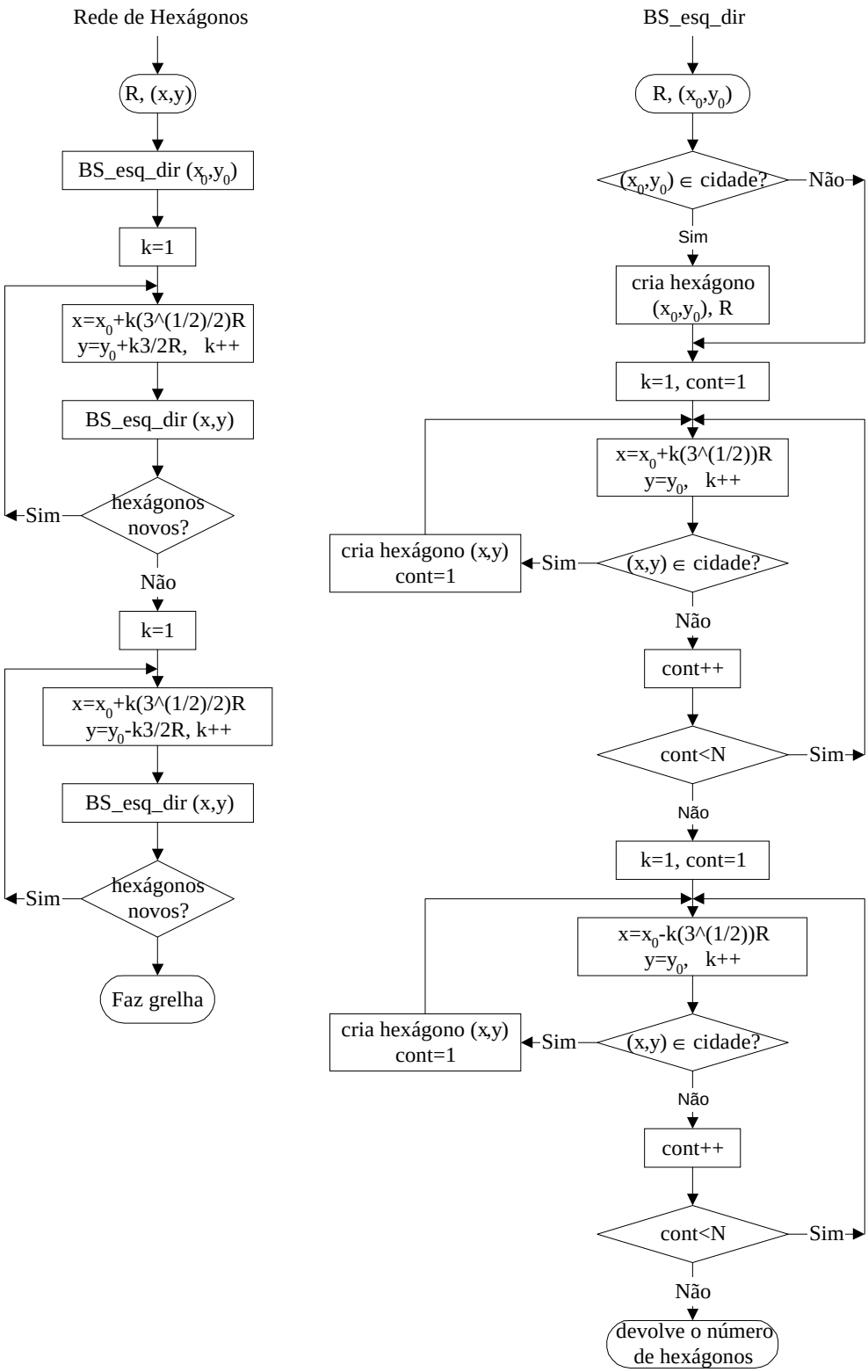


Figura 3.5: Fluxograma para a geração da rede de hexágonos.

Dado o ponto inicial (x_0, y_0) da colocação da BS a aplicação, o algoritmo *BS_esq_dir* verifica se este pertence ao território da cidade. Caso este acontecimento se verifique desenha um hexágono com centro no ponto inicial. O hexágono é obtido unindo os vértices deste através de segmentos de recta. São gerados os restantes centros e vértices dos hexágonos para a mesma latitude do ponto inicial, e de seguida para as latitudes acima e abaixo deste ponto,

enquanto houver área da cidade por cobrir com a rede de hexágonos. É ainda tido em consideração o caso da cidade poder apresentar áreas recortadas, sendo testado este caso para um número *N* de vezes.

Note-se que a forma de gerar um hexágono é igual para cada centro determinado anteriormente, sendo os seus vértices dados por (3.9), e a representação relativa à cobertura da cidade de Lisboa por células hexagonais encontra-se na Figura 3.6.

$$\begin{cases} x = x_0 \pm \dfrac{\sqrt{3}}{2} R \\ y = y_0 \pm \dfrac{1}{2} R \end{cases} \qquad \begin{cases} x = x_0 \\ y = y_0 \pm R \end{cases} \tag{3.9}$$

Figura 3.6: Cobertura da cidade de Lisboa com células hexagonais.

O algoritmo de determinação do raio para cada BS encontra-se representado na Figura 3.7. Calculam-se inicialmente os raios máximos considerando a *MI* com $\eta_{UL\,máx}$ e $\eta_{DL\,máx}$. Para cada BS seleccionam-se os utilizadores contidos nessa região, e diminuem-se os débitos daqueles que se localizarem fora da zona de delimitada para a atenuação de propagação máxima correspondente ao seu serviço. Calculam-se $\eta_{UL,DL}$ e P_{BS_TX} para a população abrangida pela zona de cobertura do serviço de referência que o operador pretender, e comparam-se com os valores máximos. Caso se tenham excedido os valores limite, diminuem-se os débitos dos serviços mais exigentes do que o de referência, e se mesmo assim não for suficiente, retira-se o serviço aos utilizadores mais distantes da BS. Caso contrário, determinam-se novos raios máximos para a nova *MI* (calculada com $\eta_{UL,DL}$ determinados anteriormente) e vai-se abrangendo um maior número de utilizadores até que algum dos parâmetros limitativos seja excedido, ou se atingir a distância máxima de cobertura da BS determinada pelo modelo de propagação. Note-se que ao se acrescentar um novo utilizador, é necessário calcular os novos $\eta_{UL,DL}$ correspondendo a novos raios, e verificar se as condições limitativas ainda se verificam.

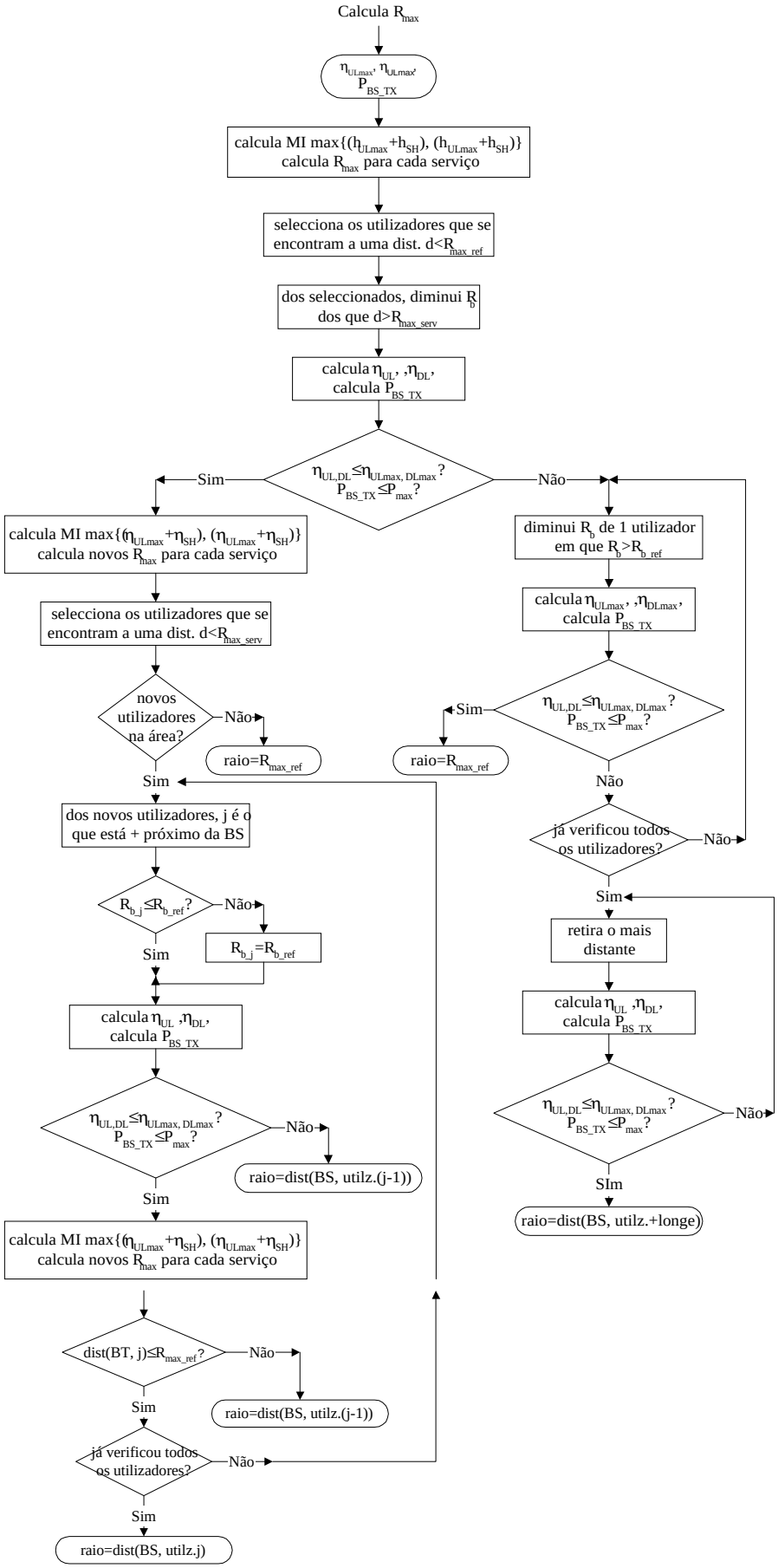


Figura 3.7: Fluxograma para a determinação do raio da BS.

3.5 Parâmetros de Saída

Após todas as considerações anteriormente efectuadas, é possível visualizar na Figura 3.8 o efeito da sobreposição das diferentes camadas de informação relativas à geração de utilizadores, sua localização e serviços requeridos, assim como os diferentes raios obtidos devido aos diferentes tipos de carga que os utilizadores fazem, relativamente à sua distribuição espacial.

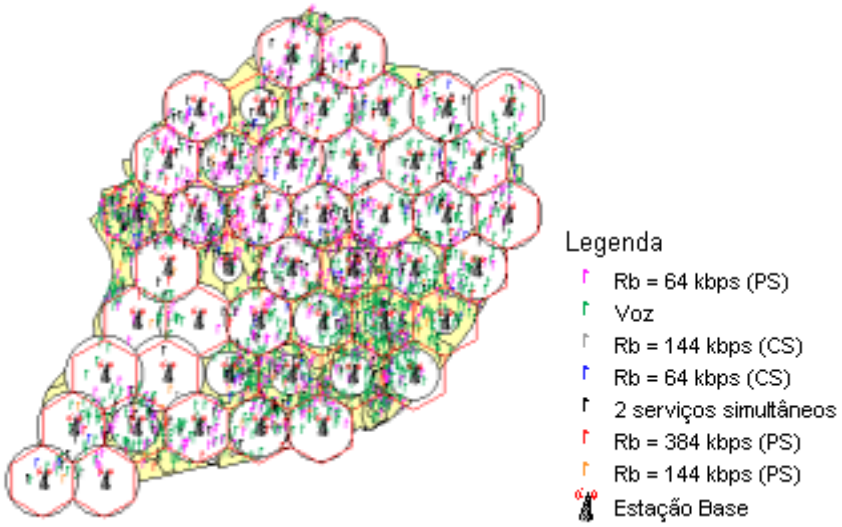


Figura 3.8: Raios para cada BS na cidade de Lisboa.

Com a aplicação desenvolvida, é ainda possível obter-se a análise estatística dos parâmetros característicos do sistema, como:

- raios mínimo, médio e máximo para o serviço de referência na cidade ($R_{mín[\mathrm{km}]}$, $R_{méd[\mathrm{km}]}$, $R_{máx[\mathrm{km}]}$),
- factores de carga em UL e DL mínimo, médio e máximo na cidade ($\eta_{UL,DL\ mín[\%]}$, $\eta_{UL,DL\ méd[\%]}$, $\eta_{UL,DL\ máx[\%]}$),
- número de utilizadores activos na cidade (N_{utilz}),
- números mínimo, médio e máximo de utilizadores por BS na cidade ($N_{utilz\ mín}$, $N_{utilz\ méd}$, $N_{utilz\ máx}$),
- percentagem dos tipos de serviços requeridos (voz, 64 CS, 64 PS, 144 CS, 144 PS e 384 PS),
- probabilidades de bloqueio do sistema mínima, média e máxima na cidade ($P_{b\ mín[\%]}$, $P_{b\ méd[\%]}$, $P_{b\ máx[\%]}$ - percentagem de utilizadores que, embora estejam inseridos na área de referência não têm serviço),
- identificação e percentagem dos parâmetros limitativos do raio das BSs (η_{UL}, η_{DL}, $P_{TX\ BS}$ e L_p),
- qualidade das chamadas ($P_{good\ [\%]}$ - percentagem de utilizadores servidos com débito igual ao do serviço requerido, $P_{poor\ [\%]}$ - percentagem de utilizadores que têm débito inferior ao do serviço requerido),
- capacidade das BS ($Cap_{[\mathrm{kbps}]}$ - soma dos ritmos de transmissão dos serviços requeridos por cada utilizador da BS).

Como avaliação geral de uma dada BS, apresenta-se a Figura 3.9, representado uma ferramenta com toda a informação disponível.

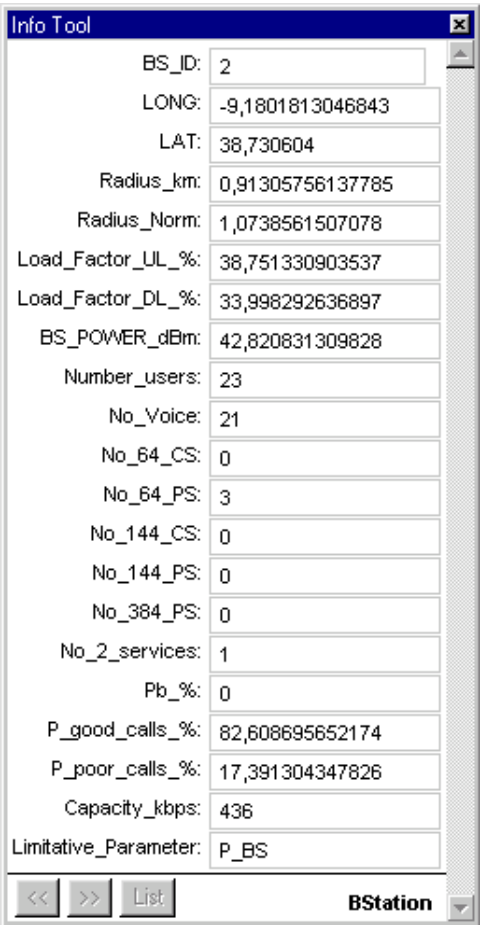
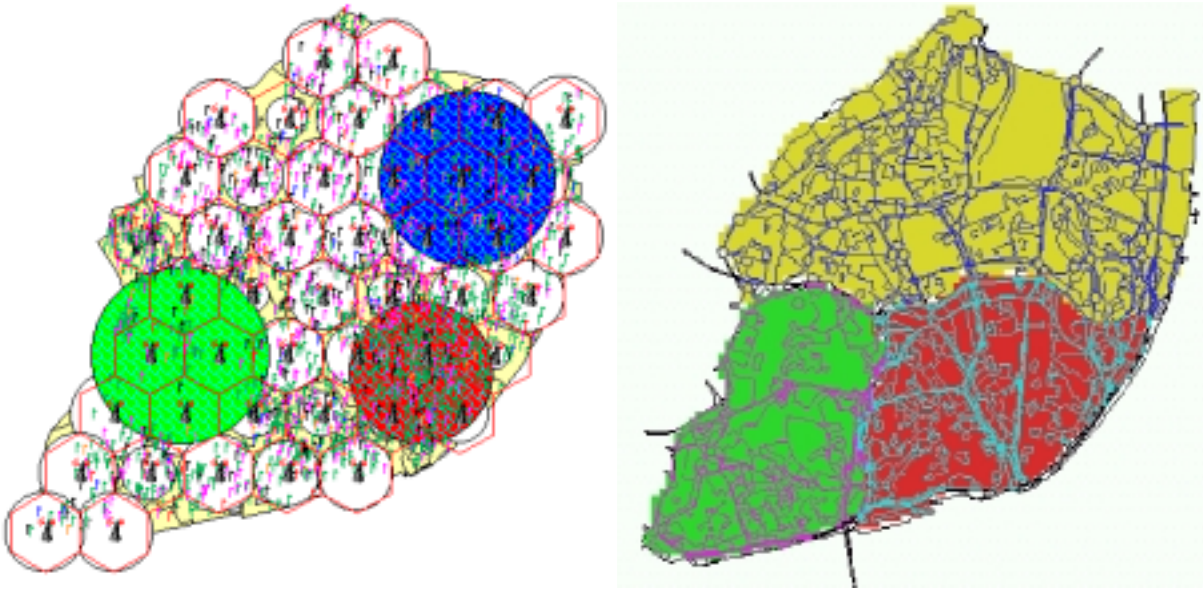


Figura 3.9: Ferramenta de informação de uma dada BS.

3.6 Parâmetros para validação de resultados com SLEP

De modo a que os resultados obtidos com a aplicação *Map UMTS* se possam considerar válidos, considera-se um simulador UMTS em tempo real denominado SLEP [SLEP00]. Os valores considerados como entradas para este simulador, assim como os resultados obtidos com as simulações para os diferentes cenários, encontram-se no Anexo Q.

Como a discriminação das zonas consideradas em *Map UMTS* é muito pormenorizada, e com o SLEP não é possível nem viável a mesma classificação, optou-se por fazer uma aproximação relativa à caracterização espacial. Assim, definiram-se três zonas de interesse mais relevante, sendo elas as zona verde, zona comercial e zona habitacional, respectivamente representadas na Figura 3.10 a verde, vermelho e azul na aplicação *Map UMTS.* Note-se que cada uma destas zonas apresenta características distintas relativas ao volume de tráfego gerado por célula, a ser contabilizado como parâmetros de entrada para o SLEP. Considerou--se a totalidade da cidade como zona da cidade global, da qual fazem parte as três zonas anteriormente referidas.



(a) *Map UMTS* (b) SLEP

Figura 3.10: Comparação entre a definição das zonas para *Map UMTS* e SLEP.

4. Análise e Interpretação de Resultados

Neste capítulo do trabalho analisam-se os valores obtidos por simulação com a aplicação *Map UMTS* e a interpretação dos mesmos, para as cidades de Lisboa e Porto, apresentando uma possível comparação dos resultados. São ainda apresentadas as validações e comparações dos resultados obtidos com o simulador da *Mitsubshi*, o SLEP. Note-se que se tomaram como referência $\eta_{UL\ máx} = 50\%$, $\eta_{DL\ máx} = 50\%$ e $\eta_{SH\ máx} = 20\%$, de modo a limitar os níveis de interferência máxima admissível.

4.1 Obtenção de Valores Médios

Como já mensionado anteriormente, devido a estarem a considerar-se simulações temporalmente estáticas, torna necessário fazer-se várias simulações para a mesma situação, de modo a poderem calcular os valores médios, apresentando-se estes valores mais fiáveis e próximos dos valores reais. Apresenta-se no Anexo L o exemplo de um desses casos estudados, considerando a situação com a voz como serviço de referência e para uma taxa de 0,5 % (taxa de penetração$\times$taxa de utilização).

Para a mesma população gerada efectuando sempre o mesmo serviços, mas com localizações diferentes das BS, apresentam-se os resultados da Tabela L.1. Verifica-se que para todas as simulações efectuadas, as variações relativamente aos parâmetros considerados não são muito acentuadas. Contudo, é na zona comercial que se verificam resultados mais díspares. Tal poderá ser interpretado devido à densidade populacional nesta zona ser muito mais elevada do que nas restantes, sendo a localização dos utilizadores muito menos uniforme, o que impõe um grande impacto relativamente à localização das BS. As maiores variações são observadas nos parâmetros relativos à qualidade da rede.

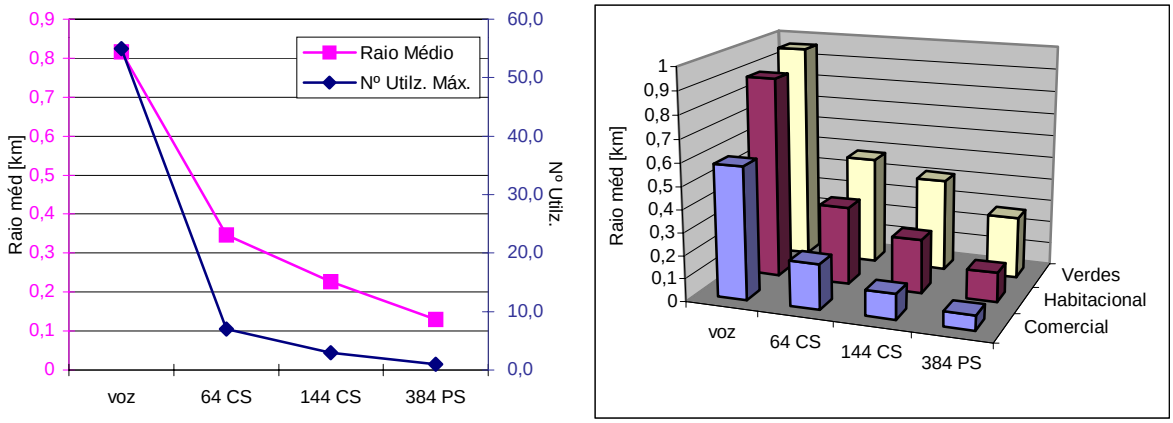
Para diferentes distribuições de populações, mas considerando as mesmas localizações para as diferentes BS, apresentam-se os resultados na Tabela L.2. Analogamente ao caso anteriormente referido, os valores obtidos não são muito díspares uns dos outros, tomando-se aqui como válidas as considerações anteriormente referidas. Analisando o comportamento dos extremos relativos aos valores mínimo e máximo que os raios de cobertura apresentam em cada simulação efectuada, verifica-se através da Figura L.1 que é para o caso em que se considera a totalidade da cidade, que os intervalos são maiores. Tal reflecte a maior não uniformidade espacial dos utilizadores, face à situação das três zonas consideradas individualmente. A menor variação dos extremos dos raios verifica-se nas zonas verdes, enquanto que nas zonas habitacionais e comerciais se verificam maiores oscilações. Note-se contudo, que para um dos casos simulados nas zonas comerciais, os extremos não contemplam o valor médio obtido. Fica assim verificada a importância de distintas simulações para o mesmo caso considerado, de modo a validar o mais fielmente possível os valores obtidos.

4.2 Estudo em Monoserviço

Considerando uma primeira abordagem mais simplista, em que a totalidade dos utilizadores efectuam o mesmo serviço, apresenta-se o Anexo M. Verifica-se que o número máximo de

utilizadores para cada serviço corresponde aos valores obtidos no Capítulo 2, para o equivalente estudo teórico efectuado, como se verifica pela Figura 2.5. Tem-se então que o factor limitativo relativamente ao número máximo de utilizadores é o η_{UL}, sendo permitido a utilização simultânea máxima de 55 utilizadores para voz, 7 utilizadores para 64 CS, 3 utilizadores para 144 CS e 1 utilizador para 384 PS ($\eta_{UL\ máx} = 50\%$).

Considerando 0,5 % da população, obteve-se a Tabela M.1, para os diferentes serviços de referência. Nota-se que se verifica, para o mesmo serviço considerado, para a sequência zonas verdes, zonas habitacionais e zonas comerciais, uma diminuição dos raios, um aumento de η_{UL} e η_{DL} e ainda da probabilidade de bloqueio. Este comportamento é expectável, devido ao aumento da densidade populacional para esta mesma sequência. Para a mesma zona considerada, para serviços com débitos crescentes, verifica-se uma diminuição dos raios, devido a ser suportado um menor número de utilizadores. Assim sendo, a evolução relativa aos raios é semelhante ao do número de utilizadores máximo suportado por cada serviço, como se verifica pela Figura 4.1.

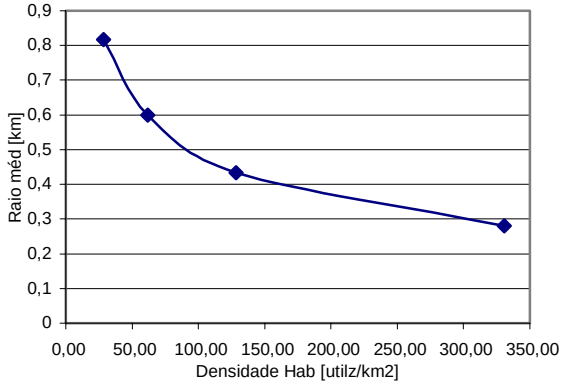


(a) Cidade Global (b) Zonas

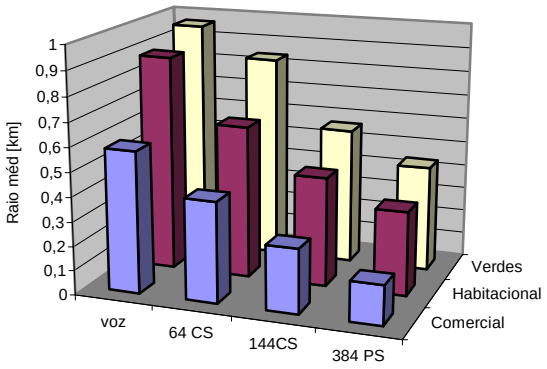
Figura 4.1: Evolução do andamento dos raios médios com o número utilizadores para os serviços considerados para a cidade global e para as diferentes zonas.

Note-se ainda que a Figura M.2 apresenta as maiores oscilações dos raios para os diferentes serviços, para os casos da cidade global e zonas verdes. Tal deve-se aos utilizadores em monoserviço estarem mais espaçados, pois são zonas de menor densidade populacional, o impõe uma maior indeterminação no valor dos raios das BSs.

Considerando como referência o serviço de voz para diferentes distribuições de população, obteve-se a Tabela M.2. Para uma dada população e para a sequências de zonas verdes, habitacionais e comerciais, verifica-se uma diminuição dos raios, um aumento de η_{UL} e de η_{DL} e da probabilidade de bloqueio, o que se deve novamente ao aumento da densidade populacional. Para cada zona considerada e para a sequência do aumento da população, tecem-se as mesmas considerações. Verifica-se que a dependência dos raios médios com o aumento da população diminui exponencialmente, como se mostra na Figura 4.2.



(a) Cidade Global



(b) Zonas

Figura 4.2: Evolução dos raios médios com densidade populacional para voz para a cidade global e para as diferentes zonas para as distribuições consideradas.

Note-se ainda que a Figura M.3 apresenta evoluções para o raio médio aproximadamente lineares com o aumento da exponencial da distribuição de população. Verifica-se que a maior aproximação para a curva teórica com a curva simulada se dá para a cidade global já que se consideram aqui mais amostras, permitindo uma maior uniformização dos valores obtidos. Tem-se ainda que é o caso que apresenta maiores desvios em torno do valor médio, pois considera diferentes tipos zonas simultaneamente.

Verifica-se assim que, o aumento da densidade populacional tem um impacto directo nos raios, devido ao aumento de tráfego gerado.

4.3 Estudo em Multiserviço

Considerando-se agora uma abordagem mais realista em que os utilizadores efectuam serviços distintos segundo o Modelo de Tráfego considerado no Capítulo 3. Note-se que o utilizador pode efectuar até dois serviços simultaneamente, podendo a sua ocupação de recursos ser superior a 100 %. Tem-se aqui que a percentagem de utilizadores representada na Figura 4.3, que efectuam um dado serviço foi sempre a mesma, já que se mantiveram constantes os valores das Tabela I.4, Tabela I.5 e Tabela I.6.

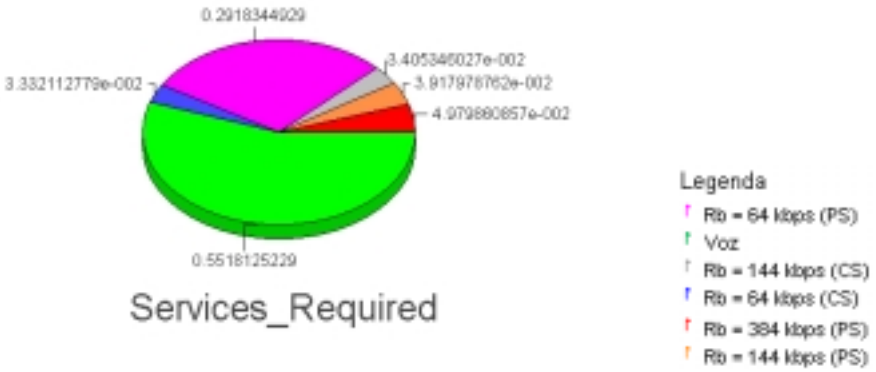


Figura 4.3: Percentagem de serviços utilizados pela população em estudo na cidade de Lisboa.

Devido à existência de diferentes serviços em UMTS, o operador terá que definir um serviço de referência para o planeamento celular, conforme tenha definida a sua estratégia de *marketing*. Assim, o utilizador que seja englobado pela área de cobertura de um dado serviço de referência terá acesso a serviço, desde que este tenha um débito não superior ao débito do serviço de referência.

4.3.1 Cidade de Lisboa

Obtiveram-se valores para as distribuições de população de 0,5 %, 2 % e 5 %, os quais se encontram tabelados no Anexo N. Verifica-se que entre tipos de comutação distintos, considerando o mesmo débito, não se apresentam variações significativas. Contudo, para os parâmetros de qualidade esta análise necessita de ser mais cuidada. Para a mesma distribuição de população, tem-se que para débitos crescentes se verifica uma diminuição dos raios, do número de utilizadores e ainda de η_{UL} e de η_{DL}, confirmando a tendência até aqui verificada. De modo análogo, para um dado serviço e aumentando a distribuição da população verifica-se uma diminuição dos raios, confirmado pela Figura 4.4.

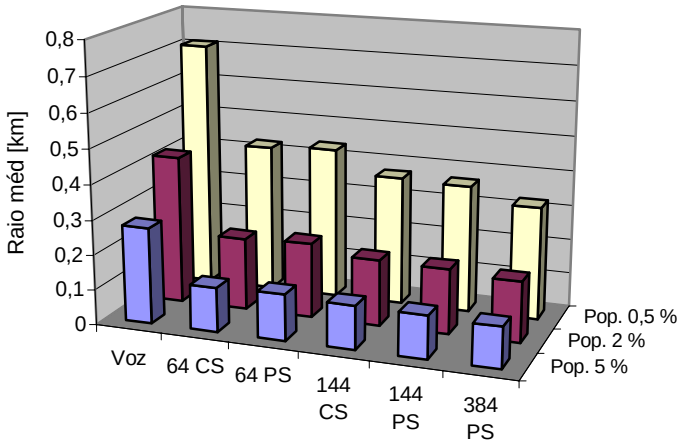
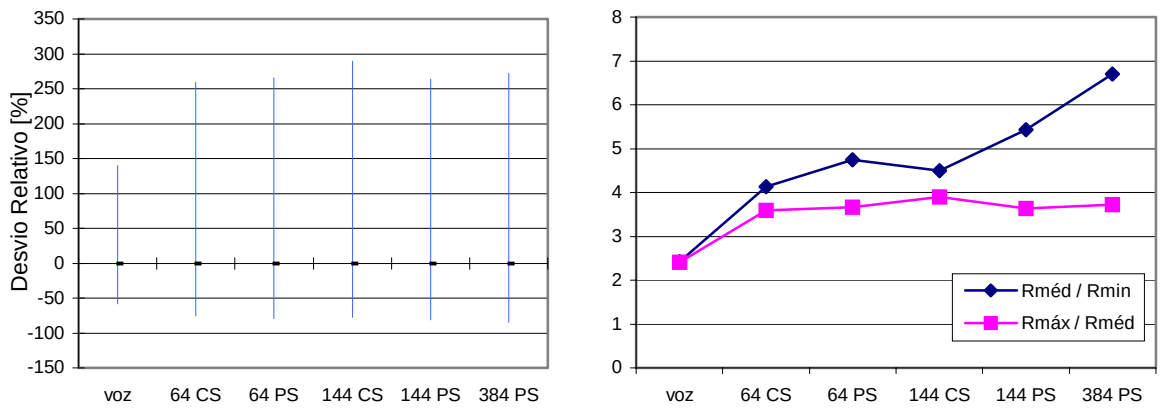


Figura 4.4: Evolução dos raios médios para os diferentes serviços para as distribuições de população consideradas.

Uma outra forma de analisar os resultados simulados será comparar a relação entre os valores máximos e mínimos para os diferentes raios obtidos, exemplificado na Figura 4.5 para uma população de 5 %, relativos às Tabela N.1, Tabela N.3 e Tabela N.5.

Nota-se que para débitos mais elevados o desvio dos raios mínimos e máximos aumentam em relação aos valores de raios médios, e que é o raio mínimo aquele que apresenta maior variação em relação ao raio médio. Tal pode ser explicado pelo facto de em algumas zonas da cidade muito povoadas os raios serem bastante pequenos, mas em média os raios apresentarem valores bastante superiores. É também com o aumento do débito do serviço de referência que há mais oscilações por se servirem utilizadores com uma grande variedade de serviços.

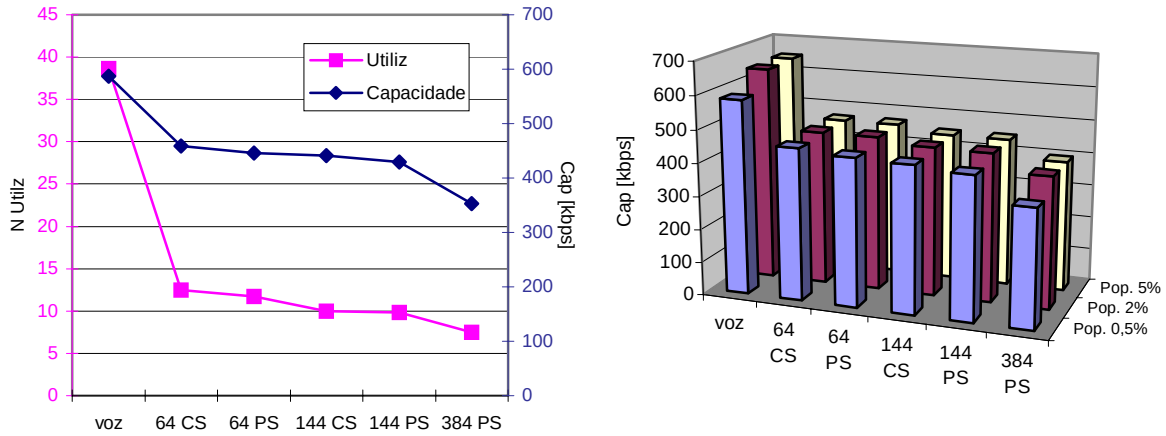


(a) Desvio Relativo (b) Relação entre os raios

Figura 4.5: Desvio relativo entre os raios mínimo e máximo para o raio de referência e relação entre estes.

Para uma análise estatística mais pormenorizada do desempenho do sistema apresentam-se os figuras e tabelas do Anexo N. Verifica-se para cada BS:

- os η_{UL} e η_{DL} não são muito sensíveis a variações da distribuição de população, embora diminuam para débitos crescentes, já que para serviços de referência com débitos mais elevados o sistema deve garantir o serviço, pelo que atinge os valores de carga máxima mais facilmente, uma vez que não deverá baixar o débito do utilizador. Contacta-se também que η_{UL} é sempre superior a η_{DL}, o que confirma o verificado no Capítulo 2, sendo η_{UL} mais limitativo.
- o número de utilizadores não é muito sensível a variações da distribuição de população; contudo, diminui acentuadamente para débitos crescentes, como já analisado anteriormente.
- sendo a capacidade a soma de tráfego por utilizador, esta não é muito sensível a variações da distribuição de população, já que só depende do número de utilizadores por BS e dos seus serviços.



(a) População 0,5 % (b) Populações distintas

Figura 4.6: Evolução da capacidade e do número de utilizadores por BS para 0,5 % da população e para populações distintas.

Aumentando o débito do serviço de referência, aumenta em média o volume de tráfego gerado por cada utilizador; contudo, como se conseguem servir menos utilizadores, tal resulta num compromisso entre ambas, originando em leve diminuição da capacidade, como se verifica pela Figura 4.6.

- a potência de emissão depende dos serviços de cada utilizador e da sua distância à BS; contudo, devido a ter um comportamento proporcional ao do raio, tem-se que o factor mais predominante é o da distância de cada utilizador. Assim, a potência de emissão diminui com o aumento do débito e com o aumento da distribuição da população, como se verifica com a Figura 4.7.

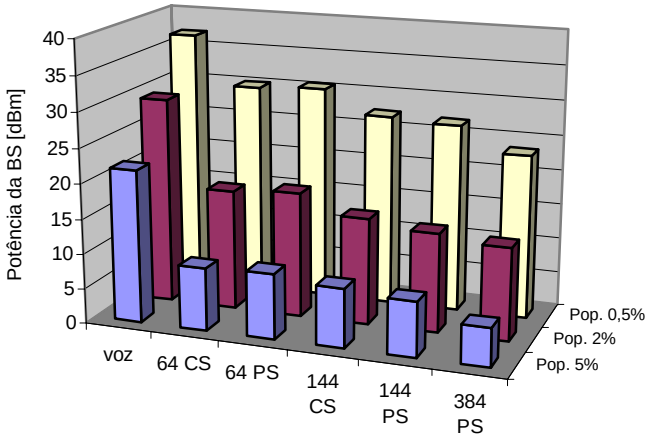
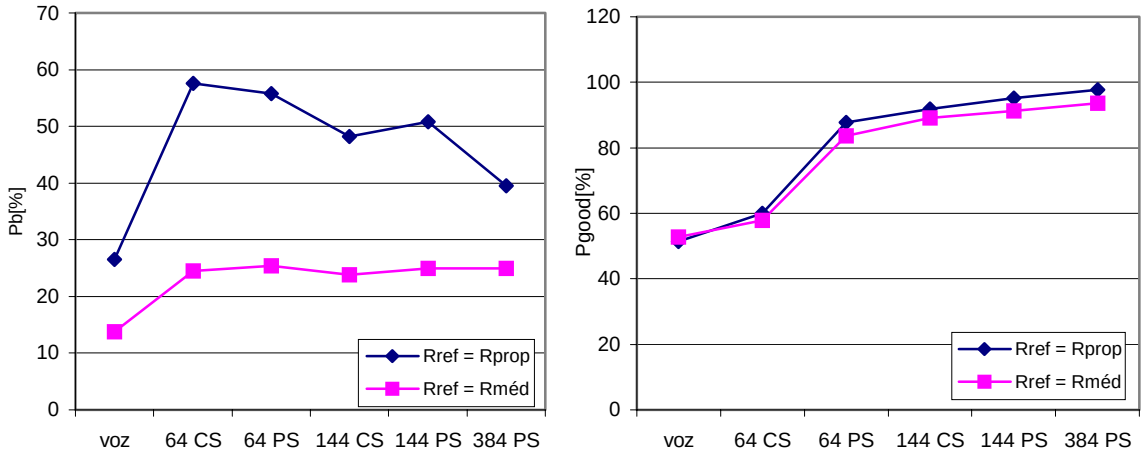


Figura 4.7: Potência de emissão da BS para populações distintas.

- o factor limitativo predominante é sempre η_{UL}, sendo o seguinte η_{DL}. Para distribuições de população com poucas pessoas o factor de atenuação máxima de propagação assume alguma relevância. Apenas no caso de voz como referência se verificam algumas limitações de potência máxima de transmissão da BS, sendo equivalente à situação de raios maiores.
- as probabilidades de bloqueio são bastante elevadas pois consideraram-se áreas de serviço com raios bastante superiores aos raios médios de cobertura da BS. Devida a estar a considerar-se uma grelha uniforme sobre uma população não uniforme, existirão zonas em que o bloqueio será muito acentuado. Para o caso de baixa densidade populacional, encontram-se valores de bloqueio nulos; contudo este resultado não é relevante já que se apresenta um gama de valores muito vasta que reforça a não uniformidade da população.
- o parâmetro de qualidade P_{good} apresenta um incremento com o aumento do débito do serviço de referência, já que isso implica que não se pode reduzir o débito abaixo desse valor, verificando-se o mesmo para o aumento da população, sendo o comportamento inverso para o caso do P_{poor}.

Para uma melhor avaliação dos parâmetros relativos ao desempenho, torna-se necessário avaliar o comportamento dos parâmetros de qualidade com a variação do raio da área de serviço, como se verifica na Tabela N.7. Apresentando o raio médio de cobertura da BS valores inferiores aos do raio máximo de propagação, verifica-se com a Figura 4.8 para diferentes serviços que a diminuição do raio de referência tem um forte impacto na probabilidade de bloqueio, já que a reduz, apesar de esta ainda apresentar valores elevados

(cerca de 25 %). Tal deve-se à grande variedade de raios apresentados para cada BS na cidade global, devido à não uniformidade do tráfego.

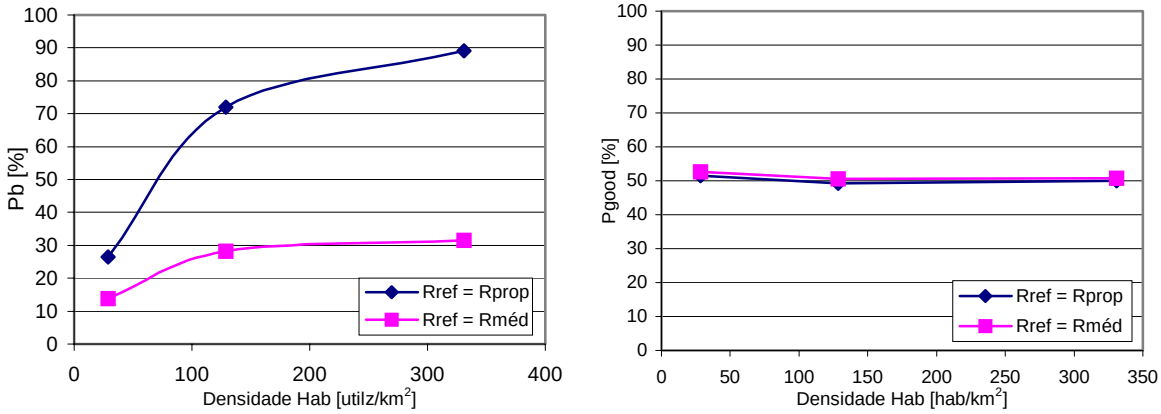


(a) P_b [%] (b) P_{good} [%]

Figura 4.8: Evolução dos parâmetros de qualidade para 0,5% da população.

É ainda de notar que, relativamente a P_{good}, o desempenho do sistema não depende significativamente do raio de referência, dependendo apenas do tipo de serviço considerado.

Pode ainda analisar-se a variação dos parâmetros de qualidade com a densidade habitacional, como se verifica com a Figura 4.9.



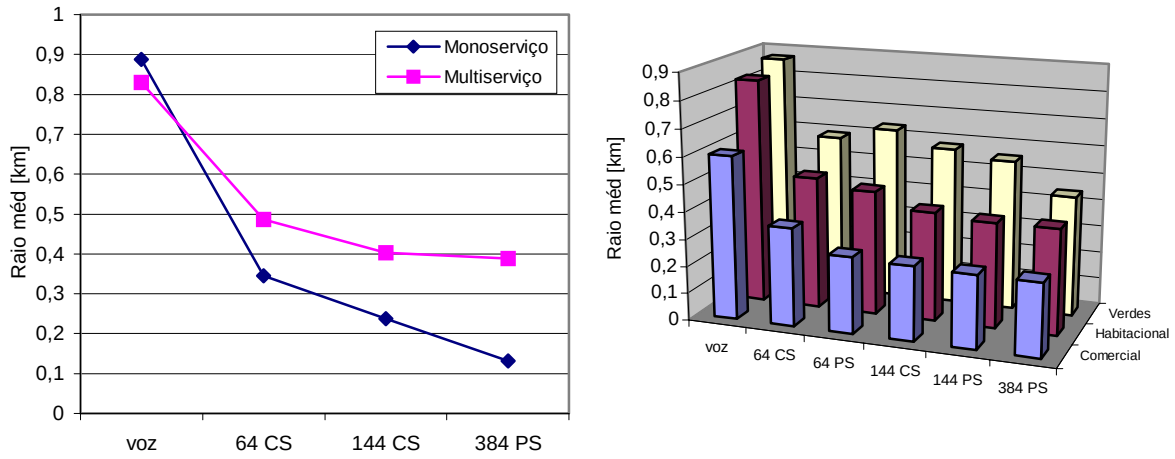
(a) P_b [%] (b) P_{good} [%]

Figura 4.9: Evolução de P_b e de P_{good} , com a densidade habitacional, para voz.

Tem-se que a probabilidade de bloqueio é inferior ao considerar-se como referência o raio médio, visto ser inferior ao raio de propagação, sendo o número de utilizadores que fica sem serviço menor. Para densidades habitacionais superiores tem-se que os raios de cobertura das BS são menores, por isso a probabilidade de bloqueio é superior. Verifica-se também que P_{good} não é muito sensível ao raio de referência, nem ao aumento da densidade habitacional, pois depende apenas do serviço de referência, como se verificou com Figura 4.8.

4.3.2 Zonas Distintas da Cidade de Lisboa

Como já verificado anteriormente, a cidade de Lisboa apresenta uma grande não uniformidade de tráfego gerado, tendo este facto um impacto muito significativo nas características do sistema. Assim, surgiu a necessidade de definir zonas distintas com características de volume de tráfego semelhantes para as áreas consideradas (zonas verdes, habitacionais e comerciais). Obtiveram-se valores para os serviços considerados e para diferentes distribuições de população, para cada uma das zonas apresentadas no Anexo O. A Figura 4.10 representa a diminuição dos raios médios com o aumento do débito dos serviços, e com a sequência zonas verdes, habitacional e comercial.



(a) Zona Habitacional (b) Multiserviço

Figura 4.10: Evolução dos raios médios para os diferentes serviços na zona habitacional e para as diferentes zonas.

Verifica-se que considerando a situação em monoserviço, esta apresenta valores de raios médios superiores para o caso da voz. Tal deve-se a todos os utilizadores efectuarem o serviço de débito mais baixo, correspondendo esta situação ao caso do maior raio de cobertura possível para a BS. Contudo, este comportamento é diferente para os restantes casos, em que a situação de multiserviço apresenta valores para os raios superiores, já que poderão existir utilizadores a requerem serviços com débitos mais baixos do que o de referência. Verifica-se então que a diminuição dos raios médios com o aumento do débito do serviço é menos acentuado em multiserviço do que relativamente ao caso de monoserviço representado na Figura 4.2.

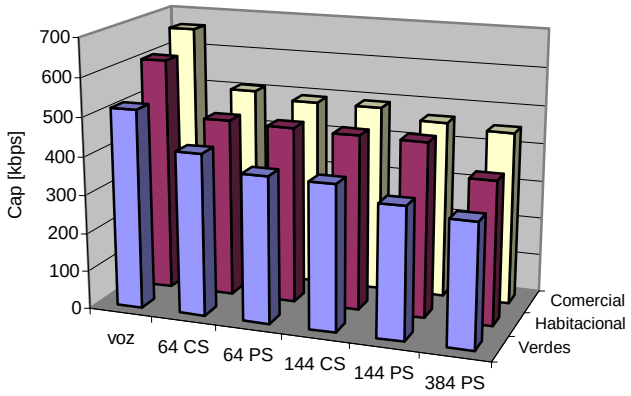
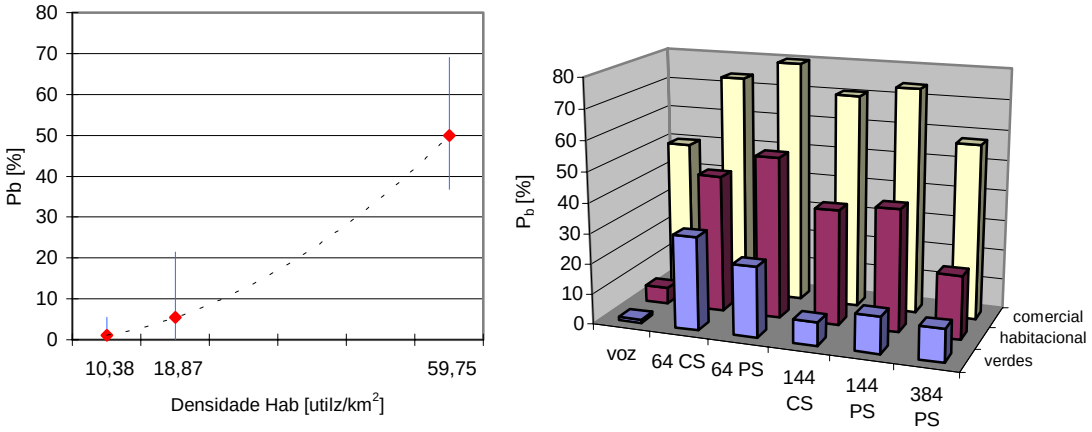


Figura: 4.11: Evolução da capacidade para os diferentes serviços.

Considera-se ainda que o comportamento da capacidade para as distintas zonas aumenta com a densidade de população em cada zona considerada, como se verifica na Figura 4.11, para 0,5 %.

Em relação à probabilidade de bloqueio, não se verifica uma evolução monótona com os diferentes serviços, pois depende fortemente da localização relativa dos utilizadores e das BSs. Contudo, existe uma grande correlação entre o aumento do bloqueio com o tipo de zona, sendo maior para as zonas comerciais, ou seja, mais densamente populadas, como se verifica pela Figura 4.12, considerando uma população de 0,5 %.



(a) Densidade Populacional (b) Zonas

Figura 4.12: Evolução de P_b em função da densidade populacional para voz para as diferentes zonas e para os diferentes serviços.

Analisando os valores mínimos e máximos que P_b pode apresentar, nota-se que o intervalo de valores que este pode assumir aumenta com a densidade populacional, já que se tem um maior número de utilizadores, os mesmos recursos da rede e uma distribuição não uniforme espacial de utilizadores. Note-se que a Figura 4.12(a) deverá apresentar uma tendência para a saturação aquando P_b tende para os 100 %.

Tem-se também neste caso que, para avaliar melhor o desempenho do sistema se torna necessário variar o raio de referência, para o qual se obteve-se a Tabela O.7. A Figura 4.13 ilustra o aumento de P_b com o aumento do raio de referência.

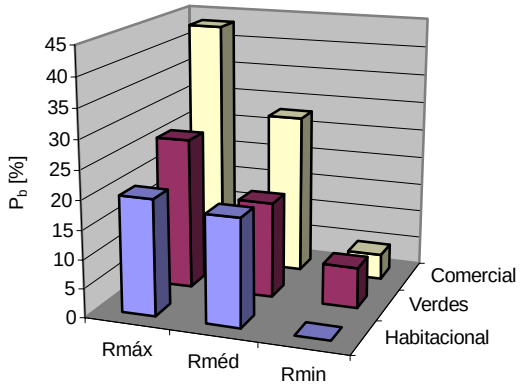


Figura 4.13: P_b considerando diferentes raios de referência.

Note-se que para os menores raios de referência, a probabilidade de bloqueio é bastante baixa, e com valores próximos dos desejados para um sistema de telecomunicações (inferior a 5 %).

4.3.3 Cidade do Porto

Pretende mostrar-se a generalidade da aplicação elaborada, e ainda verificar qual o impacto da geometria espacial da cidade e características da população aí residente, comparando a cidade do Porto com a de Lisboa. Os resultados obtidos encontram-se no Anexo P. Considerou-se para as simulações efectuadas que a percentagem de utilizadores que efectuam dado serviço foi sempre a mesma, já que se mantiveram constantes os valores das Tabela I.4, Tabela I.5 e Tabela I.6, representada na Figura 4.14.

Figura 4.14: Percentagem de serviços utilizados pela população em estudo na cidade do Porto.

Verifica-se que a percentagem de cada serviço efectuado na cidade do Porto é diferente da da cidade de Lisboa, o que se deve às características da população, nomeadamente dos rendimentos e nível de escolaridade. Note-se ainda que a percentagem da população que efectua voz na cidade do Porto é superior à da cidade de Lisboa, embora o Porto apresente maiores níveis de rendimento. Este facto leva a extrapolar que os níveis de escolaridade são inferiores aos de Lisboa, e há uma menor percentagem de população activa. Isto verifica-se uma vez que os pesos considerados para cada um dos parâmetros de entrada do Modelo de Tráfego foram os mesmos nas duas cidades, e com valor unitário. Contudo, a densidade de utilizadores a efectuar um mesmo serviço é superior em Lisboa, como se verifica pela Figura 4.15, notando-se um maior relevo para voz e para 64 PS.

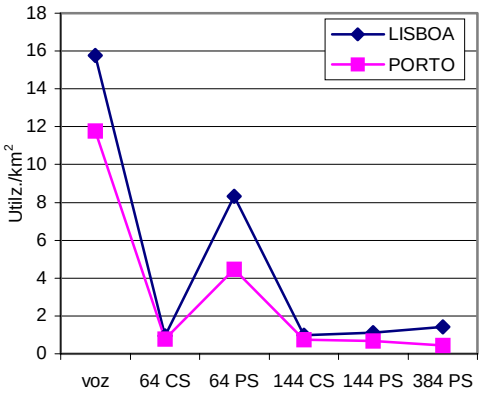
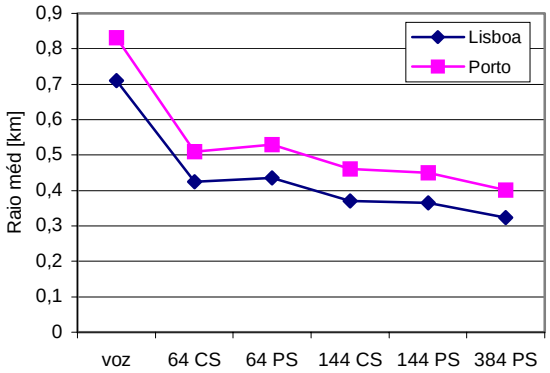
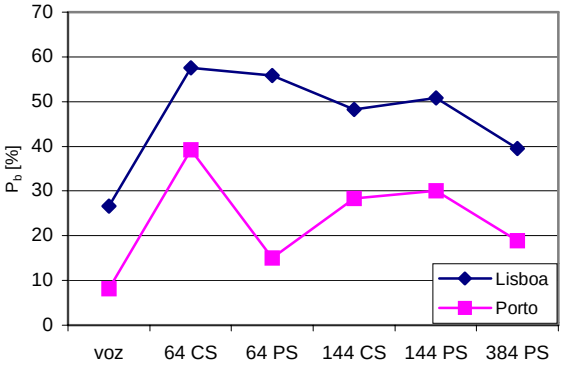


Figura 4.15: Comparação da densidade de utilizadores a realizar cada serviço, para Lisboa e Porto, para 0,5 % da população.

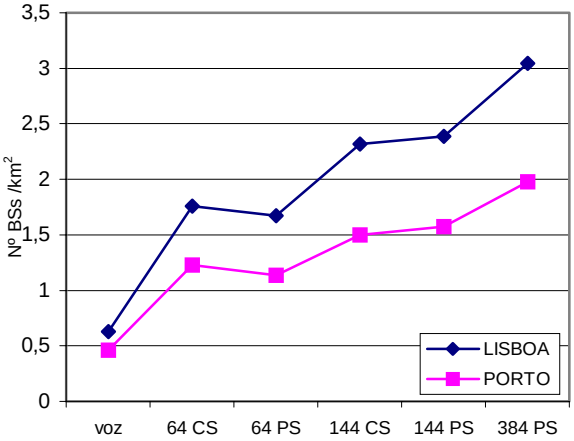
Para as duas cidades distintas com diferentes características de população, é interessante comparar o comportamento do sistema em ambas. A Figura 4.16 apresenta os raios médio, P_b e a densidade de BSs para Lisboa e Porto, onde se verifica uma evolução semelhante para as grandezas analisadas.



(a) Raio Médio



(b) P_b



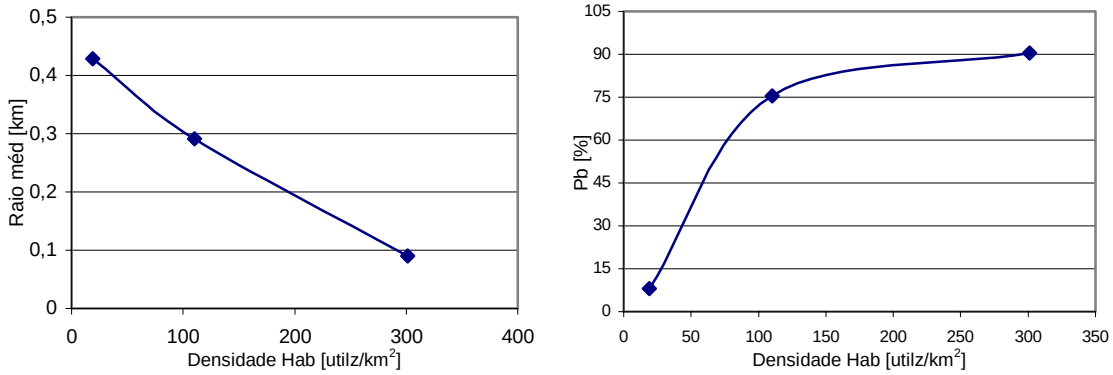
(c) Densidade de BS

Figura 4.16: Comparação dos raios médios, P_b e densidade de BSs para diferentes serviços, para Lisboa e Porto, para 0,5 % da população.

É de notar que em geral a cidade de Lisboa apresenta raios médios inferiores aos do Porto, e consequentemente uma maior probabilidade de bloqueio, o que se deve à maior densidade populacional. Assim, há uma necessidade de um maior número de BS por área considerada.

Relativamente à cidade do Porto, verifica-se um decrescimento aproximadamente linear dos raios médios das BSs e um aumento de P_b com o aumento da densidade populacional como se constata pela Figura 4.17.

Nota-se que a probabilidade de bloqueio apresenta uma zona linear para densidades populacionais pequenas, e uma zona de saturação quando as densidades populacionais são bastante elevadas. Desta forma se verifica que os raios de referência considerados foram demasiado elevados para as necessidades da população, pois os valores de P_b são bastante elevados.



(a) Raio Médio (b) P_b

Figura 4.17: Evolução do raio médio e P_b com a densidade populacional, para voz.

A comparação entre duas cidades nem sempre é fácil obtenção, nem as comparações são eficientes. Contudo, para as duas maiores cidades nacionais, embora apresentem características muito distintas, os serviços requeridos não diferem muito acentuadamente, como seria expectável para uma outra cidade europeia. Conclui-se que em Lisboa deverão existir mais BS do que no Porto, para a mesma área de planeamento, uma vez que os raios de cobertura são menores. Isto implica um maior investimento inicial por parte do operador, contudo, devido a se fazer menos voz em Lisboa do que no Porto, e o custo dos restantes serviços ser possivelmente superior, poderão existir mais receitas cobrindo os investimentos efectuados.

4.4 Comparação com SLEP

Recorreu-se ao simulador da *Mitsubshi* para validar os resultados simulados com *Map UMTS*, visto a rede UMTS ainda não estar operacional e ser o melhor método de comparação existente ao nosso alcance.

O SLEP só realiza simulações com tráfego uniforme, que é uma situação distinta da aplicação *Map UMTS*. Para que os resultados do SLEP possam ser comparáveis com os outros foi necessário considerar zonas com tráfego aproximadamente uniforme para a zona em questão. Desta forma consideraram-se as zonas anteriormente analisadas (verdes, comercial e habitacional) como regiões válidas para as comparação entre ambas as aplicações.

Utilizam-se como parâmetros de entrada do SLEP os valores dos raios médios e de volume de tráfego obtidos com *Map UMTS*, apresentados nas Tabela 4.1. e Tabela 4.2, respectivamente. Note-se que os valores admissíveis para os raios de entrada no SLEP são discretos e múltiplos de 150 m, não sendo possível a simulação correcta para valores inferiores a 300 m, estando acima representados a vermelho. Uma vez que os valores obtido com *Map UMTS* são os optimizados para a zona em questão, considerou-se para valores de raio para SLEP aquele imediatamente superior, já que o inferior impunha uma maior probabilidade de bloqueio.

Note-se que os valores de tráfego apresentados correspondem ao tráfego oferecido à rede relativo a cada serviço. Verifica-se que a zona comercial é a que apresenta maior volume de tráfego devido a ser a que apresenta maior densidade populacional.

Os valores simulados relativos ao SLEP apresentam-se no Anexo Q. A validação dos raios obtidos com *Map UMTS* encontra-se na Tabela Q.2. Verifica-se que a probabilidade de bloqueio é sempre nula, mesmo aumentando o raio, o que se deve ao facto do SLEP considerar atrasos na comunicação em vez de bloqueio, já que considera uma evolução temporal da comunicação. Contudo, para valores de raios superiores aos obtidos por *Map UMTS* verifica-se que os valores de P_{good} baixam, indicando que os raios obtidos indiciam ser próximos de raios óptimos para as células. O facto do aumento do raio verificar um aumento da capacidade mostra a uniformidade do tráfego gerado.

Tabela 4.1: Raio médio[km] para *Map UMTS* e SLEP.

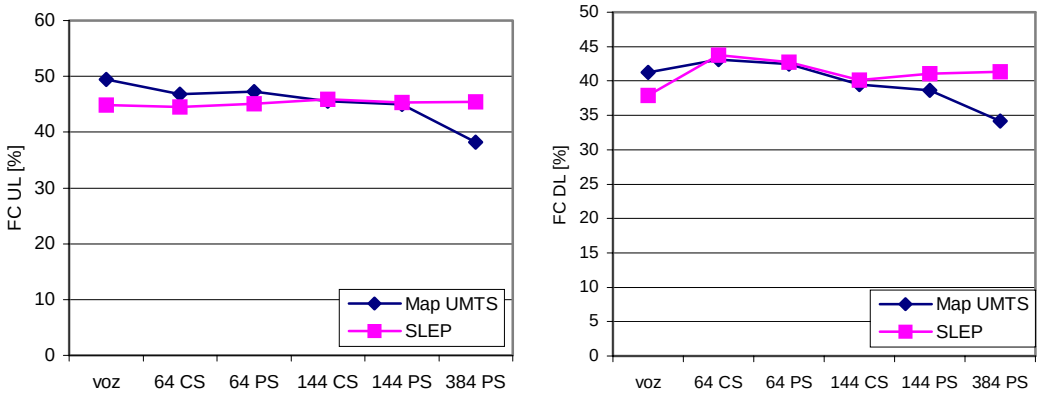
Serviço de Referência	Zona	População 0,5 %		População 2 %		População 5 %	
		MapUMTS	SLEP	*MapUMTS*	SLEP	*MapUMTS*	SLEP
Voz	Verdes	0,870	0,900	0,580	0,600	0,405	0,450
	Habitacional	0,831	0,900	0,444	0,450	0,279	0,300
	Comercial	0,601	0,600	0,264	0,300	0,152	0,300
64 CS	Verdes	0,588	0,600	0,301	0,450	0,201	0,300
	Habitacional	0,486	0,600	0,229	0,300	0,138	0,150
	Comercial	0,361	0,450	0,127	0,150	0,078	0,150
64 PS	Verdes	0,635	0,750	0,342	0,450	0,191	0,300
	Habitacional	0,458	0,600	0,225	0,300	0,151	0,150
	Comercial	0,281	0,300	0,130	0,150	0,072	0,150
144 CS	Verdes	0,581	0,600	0,349	0,450	0,221	0,300
	Habitacional	0,402	0,450	0,214	0,300	0,117	0,150
	Comercial	0,274	0,300	0,113	0,150	0,050	0,150
144 PS	Verdes	0,554	0,600	0,346	0,450	0,231	0,300
	Habitacional	0,387	0,450	0,195	0,300	0,128	0,150
	Comercial	0,269	0,300	0,107	0,150	0,062	0,150
384 PS	Verdes	0,442	0,450	0,299	0,300	0,226	0,300
	Habitacional	0,389	0,450	0,191	0,300	0,122	0,150
	Comercial	0,268	0,300	0,110	0,150	0,066	0,150

Tabela 4.2: Tráfego Total/km^2 para as diferentes zonas.

Zonas	População [%]	Voz [Erl]	64 CS [Mbps]	64 PS [Mbps]	144 CS [Mbps]	144 PS [Mbps]	384 PS [Mbps]
Verdes	0,5	7,5	40,2	623,2	271,4	271,4	361,9
	2	31,5	361,9	3 216,5	995,1	904,6	2 894,9
	5	80,4	1 206,2	8 262,4	2 668,7	2 804,4	10 132,0
Habitacional	0,5	12,7	162,5	1 279,9	365,7	457,1	1 097,0
	2	56,7	694,3	5 363,3	1 645,5	1 782,7	6 094,6
	5	150,7	1 544,0	14 037,9	4 616,7	4 614,9	15 967,9
Comercial	0,5	42,9	183,2	3 266,3	961,6	1 098,9	4 029,4
	2	187,2	1 465,2	14 988,2	4 670,5	4 670,5	19 048,2
	5	473,7	4 609,4	36 783,8	11 950,9	13 805,4	44 140,6

Verifica-se que os valores de $\eta_{UL,DL}$ são semelhantes entre as duas aplicações, apresentando um desvio máximo de 10 %, mostrando o carácter válido de *Map UMTS* para estes parâmetros,

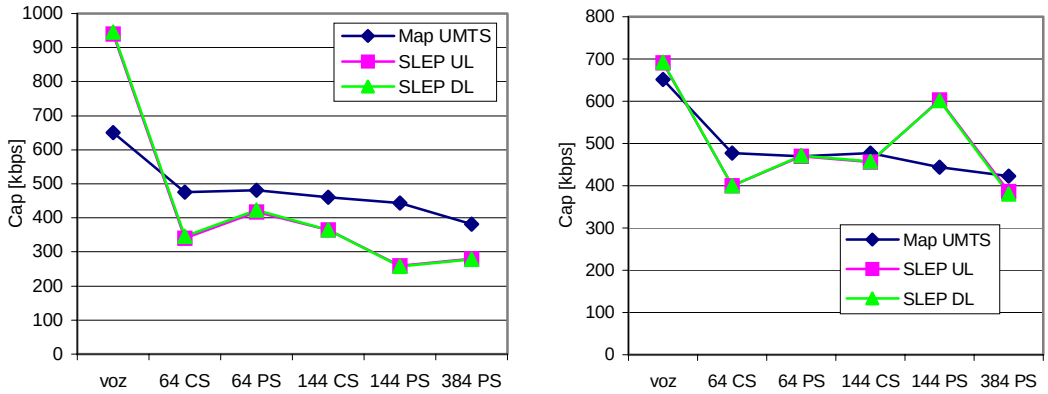
como se verifica pela Figura 4.18, para 2 % e zonas verdes.



(a) UL (b) DL

Figura 4.18: Comparação dos factores de carga para SLEP e *Map UMTS*.

Relativamente aos valores de tráfego gerado, estes nem sempre têm valores próximos nas duas aplicações, o que indicia a não possibilidade de qualquer validação entre ambas, como se verifica pela Figura 4.19, para 2 % da população.



(a) Zonas Verdes (b) Zona Habitacional

Figura 4.19: Comparação entre as capacidade das BSs, para zonas verdes e zona habitacional.

Verifica-se que no SLEP existem variações de tráfego muito mais irregulares e maiores. Relativamente às zonas verdes o tráfego de voz é muito superior ao do *Map UMTS*. Em qualquer uma das zonas nota-se alguma monotonia decrescente da capacidade da BS para o *Map UMTS* para débitos crescentes. Tal não se verifica no SLEP porque este tem em consideração parâmetros mais realistas do possível tráfego gerado. Note-se novamente que a probabilidade de bloqueio dada pelo SLEP é sempre nula o que não acontece sempre com os dados obtidos pelo *Map UMTS* devido ao conceito ser diferente em ambos, já que uma das aplicações é temporalmente estática. Conclui-se que os valores obtidos com *Map UMTS* para os raios médios são boas aproximações para os raios de cobertura das BS por zona, como se verificou após comparação com o SLEP. Os parâmetros característicos do sistema são semelhantes em ambos os simuladores, embora os valores da capacidade sejam aqueles que se apresentam mais díspares, assim como a P_b. Este facto deve-se, para a capacidade a haver balanço entre UL e DL e se considerar comunicação de pacotes com o SLEP; e para P_b devido aos conceitos de probabilidade de bloqueio serem diferentes em ambos os casos, sendo um determinado em termos espaciais (*Map UMTS*) e o outro em termos temporais.

5. Conclusões e Considerações Finais

Com a realização deste trabalho foi possível adquirir uma maior sensibilidade relativamente a questões como limitações e dificuldades com que um engenheiro de telecomunicações se depara ao pretender efectuar planeamento celular em UMTS.

O aparecimento do UMTS deveu-se à necessidade crescente que o ser humano apresenta de comunicar cada vez mais, e mais depressa. Esse era o objectivo do UMTS: fornecer ao utilizador débitos até 2 Mbps. Contudo, rapidamente se verificou a impraticabilidade destes débitos, pois isso esgotaria totalmente os recursos de uma BS. Surgiu então a questão do compromisso entre débitos máximos oferecidos ao utilizador, perante aquilo que este estivesse disposto a pagar pelo serviço. Como em UMTS se mantém o objectivo das restantes redes de telecomunicações em manter uma probabilidade de bloqueio baixa, há que analisar os cenários mais favoráveis a cada operador, e determinar o equilíbrio entre capacidade da rede e as receitas que daí advêm. É de notar que esta decisão está muito dependente da política de cada empresa, e que não se pretende com este trabalho especular acerca da decisão óptima sob o ponto de vista do utilizador ou empresarial. Uma vez que se pretende analisar o problema de engenharia, é de único interesse avaliar o desempenho da rede implementada e as implicações que a variação de alguns parâmetros possam apresentar.

A primeira dificuldade que surgiu na realização deste trabalho foi a da falta de um modelo de tráfego adequado ao problema em estudo, uma vez que se pretendia gerar tráfego não uniforme e com valores o mais fiáveis possível. Assim sendo, foi elaborado um modelo que, apesar de ser bastante simplista e não considerar todos os parâmetros relevantes para o problema em estudo, se toma como válido e bastante eficiente para uma primeira abordagem da questão do planeamento em UMTS. Consideram-se como parâmetros essenciais a caracterização da população, tais como a idade, escolaridade e nível de rendimentos (informação facilmente acessível em qualquer base de dados na *internet*), e caracterização do tipo de zonas da cidade (habitacional denso, edifícios de utilização mista, edifícios de utilização terciária, habitacional pouco denso, edifícios industriais, estradas e zonas verdes). O modelo desenvolvido atribui a cada um deste parâmetros um peso relativo de importância, permitindo manipular de um modo simples e eficiente as características da população, conforme se pretenda uma abordagem mais agressiva de mercado.

A aplicação *Map UMTS* desenvolvida é bastante interessante, pois permite visualizar graficamente os parâmetros em estudo, adquirindo maior sensibilidade à variação das variáveis em análise. É de simples manuseamento, embora permita a obtenção de valores de relevante interesse para posteriores conclusões acerca de raios e análise de qualidade de comunicação, característicos da avaliação de desempenho em estudo. É de notar que caso o utilizador não esteja em condição de ser servido com o débito pretendido, a comunicação não falha, mas é-lhe antes reduzido o débito de serviço até ao valor correspondente do serviço de referência para a sua localização.

Foi necessário considerar algumas simplificações para a aplicação *Map UMTS*, tais como a não dependência temporal e o impacto que isso tem na análise estatística que é efectuada com os parâmetros de saída. Pode minimizar-se o impacto desta simplificação nos parâmetros de saída considerando médias aritméticas para várias simulações, sendo tão mais aceites como válidos os resultados, quanto maior for o número de simulações efectuadas para cada parâmetro. É ainda de notar que este modelo considera sempre tráfego simétrico em UL e DL, o que induz a sua maior aplicabilidade para serviços que sejam suportados pelo modo FDD.

Em UMTS existem diferentes parâmetros relevantes que podem limitar o número de utilizadores servidos por uma BS, tendo sido considerado para tal os factores de carga (50 %) em ambos os sentidos da comunicação, a potência de transmissão máxima da BS e a distância da BS a que o utilizador se localiza. Concluiu-se que geralmente o parâmetro mais limitativo é o factor de carga em UL, mas no caso de existirem pouco utilizadores activos próprio de uma rede inicial, o factor limitativo será a atenuação máxima de propagação e /ou a potência da BS. O valor típico máximo para a potência de transmissão são 43 dBm. Contudo, para uma perspectiva de evolução de uma rede celular, recomenda-se que na rede inicial se tome como potência máxima apenas 40 dBm, de modo a que aquando da rede consolidada se possa aumentar a potência para o máximo e diminuir o investimento de actualização das áreas de cobertura.

O planeamento em UMTS deve ser bastante flexível de modo a permitir ainda uma eficiente actuação aquando do aumento de tráfego, para uma rede em pleno funcionamento, e ainda suportar novos serviços que venham a surgir na rede. Devido à variação do valor do raio de cobertura celular conforme o número de utilizadores e os serviços por si requeridos, o planeamento celular torna-se pouco eficiente quando considerada como base uma grelha uniforme. Assim, para BSs que apresentem:

- o raio inferior ao da grelha da cidade, surgem lacunas em termos de utilizadores que efectivamente possam realizar serviços, apresentando-se fora do alcance de cobertura da célula,
- o raio superior ao da grelha da cidade, aumentam-se os níveis de interferência entre BS devido à sobreposição de áreas de cobertura por BSs diferentes, já que o factor de reutilização é unitário.

Em média, uma cidade apresenta ambos os casos quando se consideram grelhas uniformes, o que mostra que o planeamento não se apresenta optimizado. Sugere-se então que, em projectos futuros, se considere uma grelha de cobertura hexagonal mas não uniforme, de modo a que se possa minimizar a limitação acima apresentada, diminuindo lacunas em termos de percentagem de utilizadores com cobertura assegurada e interferências mútuas. A forma de superar esta limitação durante este projecto foi considerar zonas distintas, com características de tráfego distintas, e fazer a análise de desempenho para cada uma delas individualmente.

Os valores de raio médio dependem do serviço de referência considerado, e para a cidade de Lisboa estes valores para as diferentes distribuições de população encontram-se entre os intervalos:

- [0,276 ; 0,711] km para voz,
- [0,127 ; 0,425] km para 64 CS,
- [0,133 ; 0,436] km para 64 PS,

donde se conclui que o serviço de referência escolhido tem um grande impacto na determinação dos raios de cobertura, influenciando fortemente o planeamento celular e decisões futuras relativamente à colocação das BS. Conclui-se que estes valores são inferiores aos obtidos para as zonas verdes e zonas habitacionais, mas superiores aos das zonas comerciais, já que nestas o número de utilizadores é muito superior, o que faz com que gere mais tráfego e, consequentemente, que os raios médios de cobertura das células sejam inferiores. Os raios diminuem com o aumento da população e com o aumento do débito dos serviços de referência. Este facto influencia os valores da probabilidade de bloqueio, que se apresenta sempre superior nas zonas comercias, face ao resto da cidade.

O número de utilizadores máximo suportado por uma BS em monoserviço é de 55 utilizadores para voz como serviço de referência, 7 utilizadores para 64 CS, 3 utilizadores para 144 CS e 1 utilizador para 384 CS. Contudo, espera-se que o funcionamento em monoserviço não tenha grande aplicabilidade prática, já que a mais valia do UMTS é, precisamente, a pluralidade de débitos e serviços. As diminuições dos raios observadas em multiserviço para débitos superiores são menos acentuadas do que em monoserviço, mostrando o carácter mais equilibrado da distribuição de serviços efectuados pelos utilizadores numa célula. Tal facto implica que a mudança do serviço de referência para o planeamento celular em multiserviço não apresente uma variação tão grande como seria expectável para monoserviço.

Analisando o parâmetro de qualidade que determina a percentagem de utilizadores que efectivamente usa o serviço requerido (P_{good}), conclui-se que para serviços de referência com débitos superiores, o valor tende para o máximo. Considerando, por exemplo o serviço de referência de 384 PS, nenhum utilizador poderá ser servido com um serviço de débito inferior, nesse raio de referência, apresentando a célula, contudo, um bloqueio elevado.

Conclui-se também que a capacidade de cada BS não é muito sensível ao aumento da densidade de utilizadores activos porque há uma diminuição do raio, sendo a capacidade inferior para serviços de referência com débitos mais altos.

A potência de emissão da BS é muito correlacionada com o raio de cobertura, pelo que apresenta valores menores para serviços com débitos mais elevados e um número superior de utilizadores activos.

Conclui-se ainda que o tipo de comutação utilizado é pouco preponderante na determinação dos valores para os raios de cobertura, sendo de facto, os débitos dos serviços e a caracterização da população muito mais relevantes.

Conclui-se ainda que a característica espacial da cidade para a qual se pretende fazer o planeamento celular influencia fortemente o tipo de distribuição das BS, assim como a distribuição da população considerada e as suas características indicadoras do tipo de potencial utilizador UMTS, o que se comprovou comparando as cidades de Lisboa e Porto. Para a cidade do Porto os raios médios apresentaram-se superiores e as probabilidades de bloqueio inferiores, próprios de um cidade menos densamente povoada, impondo uma maior densidade de BS na cidade. Ao considerar-se como referência o serviço 384 PS seriam necessárias, em média 3 BS para Lisboa e 2 para o Porto por km^2, para 0,5 % da população.

Com a utilização do simulador em tempo real da *Mitsubishi* verificou-se que os valores obtidos com o *Map UMTS* para os raios são bons valores para estimação da cobertura, e que os resultados obtidos em todos os parâmetros analisados característicos das BSs são semelhantes, excepto para a capacidade.

Após a concretização deste projecto concluiu-se que um trabalho de engenharia deste tipo é muito vasto, e que se prende com a resolução de questões como a procura de dados ou a definição de modelos (propagação, tráfego e cobertura) apropriado às situações em estudo. Principalmente em questões relacionadas com o estudo do UMTS, em que há poucos resultados experimentais com os quais se possam comparar os valores teóricos e/ou simulados. Adquiriu-se a sensibilidade para descriminar o compromisso entre o número de utilizadores possível numa BS e QoS disponível para os mesmos.

Com este projecto verificou-se que é muito complexo efectuar um bom dimensionamento em UMTS devido à multiplicidade de serviços disponíveis na futura rede. É necessário realizar um compromisso entre a interferência e a cobertura através de uma gestão e atribuição óptima aos utilizadores dos recursos, muito diferente de GSM. Espera-se brevemente que a rede surja em funcionamento, de modo a que todas as especulações e simulações efectuadas para UMTS possam ser verificadas, e com esses erros melhorar os dimensionamentos efectuados.

Seria muito interessante considerar em trabalhos futuros algumas alterações ao trabalho aqui apresentado, de modo a complementar o estudo efectuado, e a actualizá-lo, assim como ultrapassar as aproximações efectuadas. Propõe-se então que se considere uma grelha hexagonal não uniforme de forma minimizar as zonas de sobreposição de raios de cobertura ou lacunas. Poderá e deverá considerar-se a possibilidade de tráfego não simétrico em UL e DL, de modo a considerar implementações típicas do modo TDD. Para que o cálculo das atenuações de propagação seja mais rigoroso, deverá ser possível seleccionar um modelo de propagação adequado para cada uma das zonas consideradas da cidade, podendo adicionalmente considerar-se o relevo do terreno e dos edifícios. Poderão considerar-se antenas não isotrópicas e os seus respectivos diagramas de radiação, de modo a se considerarem os seus ganhos direccionais. Para considerar um cenário mais realista deverá ter-se em conta a mobilidade dos utilizadores, permitindo assim visualizar-se o comportamento e desempenho temporal da rede dimensionada.

Anexo A – Acesso Rádio em UMTS

No modo FDD, as operações de transmissão e recepção de sinal entre o MT e a BS podem ocorrer simultaneamente, já que este modo comporta duas bandas de frequência disjuntas mas idênticas, uma disponível para UL e outra para DL. Daqui se tem que é possível enviar e receber informação simultaneamente com débitos semelhantes em ambos os sentidos, visto os recursos espectrais não se sobreporem no tempo, pelo que será utilizado em comunicações de carácter simétrico para uma melhor utilização do canal. Tal é possível, recorrendo à utilização das bandas emparelhadas. Contudo, para que a comunicação se estabeleça torna-se necessário a utilização de dois canais rádio distintos com 5 MHz, perfazendo o total de 10 MHz de largura de banda.

O modo FDD usa W-CDMA como técnica de acesso múltiplo de multiplexagem no código com base numa sequência directa de banda larga (DS-CDMA ***D****irect* ***S****equence-****C****ode* ***D****ivision* ***M****ultiple* ***A****ccess*), ou seja, os bits de informação do utilizador são espalhados por uma vasta largura espectral. Para que se consigam atingir elevados débitos utilizam-se factores de espalhamento variáveis. O débito de *chip* utilizado é 3,84 Mcps. Para caracterizar os parâmetros principais do W-CDMA analise-se a Tabela A.1.

Tabela A.1: Parâmetros principais do WCDMA (extraído de [HoTo00]).

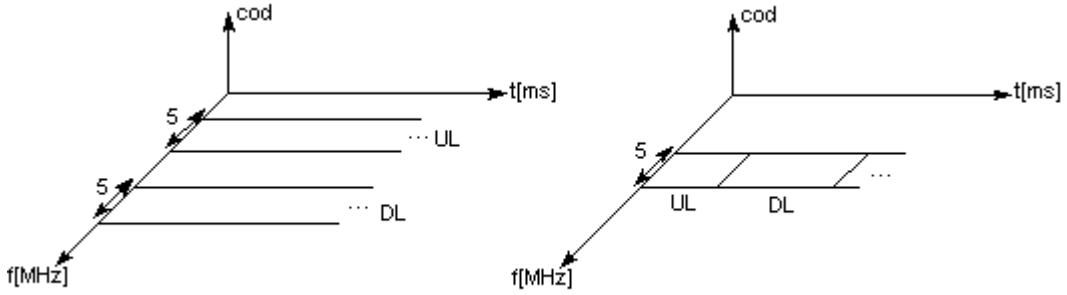
Método de Acesso Múltiplo	DS-CDMA
Método de Duplexagem	FDD
Sincronismo na BS	Operação assíncrona
Débito de C*hip*	3,84 Mcps
Duração da Trama	10 ms
Serviço de Multiplexagem	Multiserviços com diferentes requisitos de QoS multiplexados numa ligação
Conceito Multidébito	Factor de espalhamento variável e multicódigo
Detecção	Coerente usando símbolos piloto
Antenas Adaptativas	Possível utilização

A utilização do modo TDD pretende optimizar a utilização do canal de comunicação, variando dinamicamente os recursos, conforme o débito necessário em cada instante para o UL e DL, já que as transmissões em UL e DL não ocorrem simultaneamente no tempo. Assim, a utilização deste modo de acesso rádio é normalmente utilizado em serviços de carácter bastante assimétrico, com débitos distintos nos dois sentidos de comunicação, variando dinamicamente o número de *time slots* atribuídos em ambos os sentidos de transmissão conforme as características instantâneas do tráfego real.

O modo TDD baseia-se em TD-CDMA (***T****ime* ***D****ivision – ****C****ode* ***D****uplex* ***M****ultiple* ***A****ccess*), permitindo que cada janela temporal utilizada (*time slot*) seja partilhada por vários utilizadores, correspondendo a cada um deles um código diferente. É ainda possível atribuir a um dado número de utilizadores mais do que um *time slot*, desde que este tenha a necessidade de mais recursos. Verifica-se a existência de transmissão sequencial, sendo necessário garantir-se o sincronismo, embora, devido à não simultaneidade temporal da transmissão, deixa de ser necessária a utilização de filtros duplex. Este modo apresenta a vantagem de utilizar bandas desemparelhadas, o que poderá a ser muito útil no futuro quando as questões de gestão de canal rádio forem mais exigentes. Desta forma, verifica-se que para um canal de

comunicação funcionando em TDD necessita apenas de um canal rádio de 5 MHz, apresentando maior eficiência espectral.

Estes sistemas de duplexagem encontram-se representados na Figura A.1, mostrando a comparação entres estes sistemas de acesso rádio. Note-se que em cada um deles se atribuiu um dado número de códigos, conforme dos serviços, e consequentemente os débitos, que são requeridos em cada instante pelos utilizadores.



(a) FDD (b) TDD

Figura A.1 : Representação esquemática dos modos de duplexagem FDD e TDD.

É possível fazer uma breve comparação entre as características técnicas principais do sistema para os modos FDD e TDD na rede UTRAN (***U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork*). Essa comparação encontra-se na Tabela A.2.

Tabela A.2: Comparação entre FDD e TDD, para a rede de acesso terrestre (extraído de [Mura01]).

UTRA	**FDD**	**TDD**
Técnica de Acesso	W-CDMA	TD-CDMA
Espaçamento entre Canais Rádio	5 MHz	5 MHz
Separação entre Canais Rádio	4,4 MHz	4,4 MHz
Duração de Trama [ms]	10	10
Slots por Trama	15	15
Modulação	DL: QPSK; UL: BPSK	QPSK
Recepção	Coerente	Coerente
Débito	Variável cada 10 ms. Possibilidade de diferentes débitos variando o factor de espalhamento e requisitando vários códigos para o sinal a ser transmitido, ou no caso TDD apenas, requerendo vários *time slots*.	

Anexo B – Arquitectura do Acesso Rádio em UMTS

O UMTS tem em UTRAN (***U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork*) a rede de acesso rádio terrestre. O sistema de comunicações tem uma parte fixa e a uma outra parte com acesso rádio, como se pode verificar pela Figura B.1.

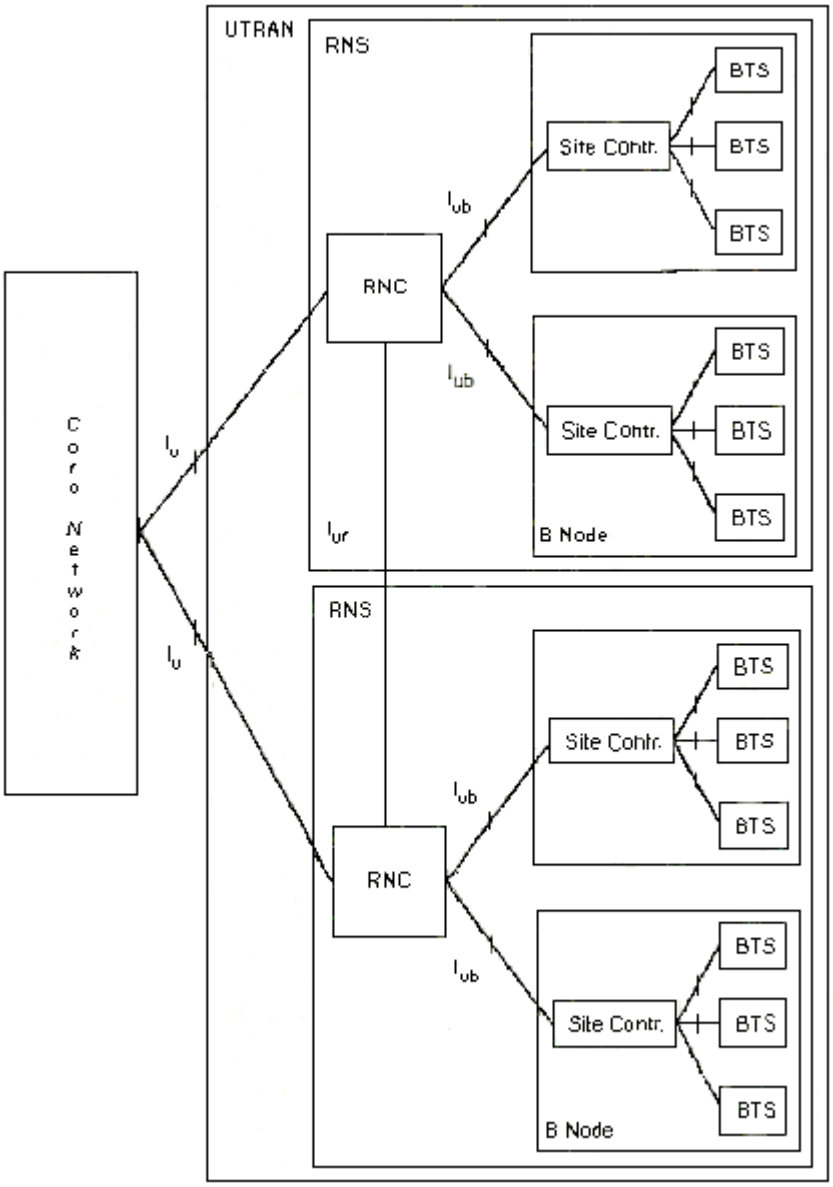


Figura B.1: Arquitectura do acesso rádio em UMTS (extraído de [Mura01]).

Aqui se verifica que a rede núcleo (*Core Network*) está em comunicação com a UTRAN através de interfaces e protocolos bem definidos, cuja estrutura e funcionamento saem do âmbito deste trabalho. Analisando a estrutura interna da rede UTRA tem-se que a entidade controladora de todas as acções do subsistema da rede rádio (RNS - ***R**adio **N**etwork **S**ubsystems*) é responsável pelo controlo do congestionamento e da carga das células sobre a sua tutela, executando também o controlo de admissão e disponibilização de códigos para as comunicações rádio a serem estabelecidas. É constituída por um controlador da rede rádio (RNC - ***R**adio **N**etwork **C**ontroller*) que se mantém em comunicação com os distintos nós B (*B Nodes*). Estes fazem o processamento do interface rádio, ou seja, a codificação do canal,

adaptação do débito, espalhamento, etc. Novamente estas comunicações têm interfaces de comunicação bem definidos. Diferentes RNCs podem comunicar entre si sem que a comunicação tenha que passar pela rede fixa, poupando tempo e recursos necessários a outras comunicações. Cada RNC é responsável pelo controlo local de *handovers* e com todas as funções associadas às comunicações ente nós B. Cada nó B pode ter uma ou mais estações base de transmissão (BTS - ***B**ase **T**ransceiver **S**tation*) que são controladas por uma outra entidade denominada por controlador local (SC - ***S**ite **C**ontroller*).

Note-se que a comunicação entre as diferentes entidades de UTRAN é estabelecida e mantida através de protocolos de comunicação bem determinados.

Anexo C – Códigos e Canais em UMTS

O débito binário de dados máximo com um único código está relacionado com o débito binário por canal máximo, que vale 960 kbps com codificação de canal e um SF = 4. Usando codificação de canal, os valores atingíveis na prática o débito binário máximo diminuem e encontra-se entre 400-500 kbps, [HoTo00].

Verifica-se que os valores de SF são potências de base 2 dados pela relação entre o débito do sinal e o débito do sinal após multiplicação pela sequência de espalhamento, aos quais correspondem débitos binários máximos para cada ramo da árvore. A Tabela C.1 resume e compara os débitos em UL e DL para diferentes SF. Na prática o serviço de voz utiliza no máximo um SF de 128 com débito máximo de 12,2 kbps.

Tabela C.1: Factores de espalhamento e respectivos débitos disponíveis (extraído de [HoTo00]).

SF	**UL**	**DL**	
	Débito Binário do Canal de Dados [kbps]	**Débito Binário do Canal [kbps]**	**Débito Binário do Canal de Dados [kbps]**
512	-	15	3-6
256	15	30	12-24
128	30	60	42-51
64	60	120	90
32	120	240	210
16	240	480	432
8	480	960	912
4	960	1920	1 872

No Anexo B foi possível verificar que a arquitectura da rede em UMTS é estruturada em camadas estratificadas e independentes, que comunicam entre si através de protocolos bem conhecidos e determinados. Ora, estas comunicações são estabelecidas através de canais próprios que lhes estão destinados, para sinalização, controlo ou transferência de informação, sendo possível distinguir entre os canais de transporte e os canais físicos.

Os canais de transporte são os serviços que as camadas físicas transportam para as camadas superiores. Este tipo de canais são definidos com base no tipo de informação que transferem e pelo modo em como estes são transferidos para o interface rádio. Podem distinguir-se ainda entre canais comuns e dedicados. Nos primeiros, a informação é transmitida para todos os MT sem qualquer distinção, enquanto que nos segundos a informação é transmitida associando a cada MT um canal físico, ou seja, um código e uma portadora, ou no caso TDD, também um *time slot*. Enumeram-se então os referidos canais:

- canais dedicados,
  - DCH-***D****edicated* ***C****hannel*: usado quer em UL, quer em DL para transporte de informação de controlo entre o MT e a rede;
- canais comuns,
  - BCH-***B****roadcast* ***C****hannel*: usado em DL para transmitir informação de sistema a toda a célula;
  - FACH-***F****orward* ***A****ccess* ***C****hannel*: usado em DL para transmitir informação de controlo a um MT em casos em que o sistema tem conhecimento em que célula o MT

está registado. Pode ser utilizado para transportar pequenos pacotes de informação, como o SMS em GSM;

- PCH-***P**aging **C**hannel*: usado em DL para transmitir informação de controlo a um MT cuja localização seja desconhecida. A transmissão está associada a um canal físico (indicador de *paging*) o qual informa o MT que há informação no canal de *paging*, permitindo baixo consumo de bateria. Também aqui podem ser transmitidos pequenos pacotes de informação;
- SCH-***S**ynchronisation **C**hannel*: usado em DL para permitir a sincronização entre MT e BS;
- RACH-***R**andom **A**ccess **C**hannel*: usado em UL para transportar informação de controlo transmitida pelo MT (geralmente quando se pretende iniciar comunicação). Também aqui podem ser transmitidos pequenos pacotes de informação;
- ORACH-***O**DMA **R**andom **A**ccess **C**hannel*: usado em TDD para iniciar uma comunicação;
- CPCH-***C**ommon **P**acket **C**hannel*: usado em UL para transportar pacotes de dados. Está sempre associado a um canal dedicado para DL no qual o sinal da camada física associada é transmitido (comandos de controlo de potência). Para o modo TDD denomina-se USCH-***U**plink **S**hared **C**hannel*;
- DSCH-***D**ownlink **S**hared **C**hannel*: usado em DL para transporte de pacotes de dados. O acesso é partilhado por vários utilizadores e é regulado pela BS;

Normalmente os canais físicos baseiam-se na seguinte estrutura:

- trama rádio: tem a duração de 10 ms e é formado por 15 *time slots*;
- *time slot*: tem a duração de 10/15 ms e é formado por um número variável de símbolos de acordo com o débito binário do serviço a ser transmitido;
- símbolo: elemento de informação após as operações de codificação de canal (já com códigos correctores de erros). Cada símbolo é multiplicado por um número de *chips* igual ao factor de espalhamento do serviço a ser transmitido, de modo a que se tenham sempre 2560 *chips* por *slot*.

É necessário notar que há alguns canais físicos que não estão associados a um canal de transporte. São utilizados para transportar informação da camada física que não necessita de ser enviada para as camadas superiores. Enumerem-se então os referidos canais:

- CPICH-***C**ommon **P**ilot **C**hannel*: usado em DL no qual uma sequência conhecida não modulada é transmitida, tornando possível a estimativa da propagação no canal
- DPCCH-***D**edicated **P**hysical **C**ontrol **C**hannel*: presente nas duas camadas e usado para transportar sinalização da camada física;
- AICH-***A**cquisition **I**ndication **C**hannel*: presente em DL e é usado para informar o MT da existência de mensagem em FACH como resposta de tentativa de acesso;
- PICH-***P**aging **I**ndication **C**hannel*: presente em DL e é usado para informar o MT da existência de mensagem em PCH.

É possível fazer a correspondência entre os canais de transporte e os canais físicos; esta encontra-se na Tabela C.2.

Tabela C.2: Mapeamento entre os canais de transporte e os canais físicos (extraído de [Mura01]).

Canal de Transporte	**Canal correspondente na Camada Física**
BCH	CCPCH primário- ***P**rimary **C**ommon **P**hysical **C**hannel*
	CPICH-*Common Pilot Channel*, presente apenas no modo FDD
SCH	PSCH-***P**hysical **S**ynchronisation **C**hannel*
FACH	CCPCH secundário-***S**econdary **C**ommon **C**ontrol **P**hysical **C**hannel*
PCH	CCPCH secundário
RACH	PRACH-***P**hysical **R**andom **A**ccess **C**hannel*
CPCH (FDD)	PCPCH-***P**hysical **C**ommon **P**acket **C**hannel*
USCH (TDD)	PUSCH-***P**hysical **U**plink **S**hared **C**hannel*
DSCH	PDSCH-***P**hysical **D**ownlink **S**hared **C**hannel*
DCH	DPDCH-***D**edicated **P**hysical **D**ata **C**hannel*

Anexo D - Factores de Carga em UL e DL

Como já mensionado anteriormente, o dimensionamento de uma rede UMTS requer especiais atenções no que refere à colocação espacial de BS. Este facto é devido às interferências que BS adjacentes poderão causar umas nas outras; isto e o facto das limitações do sistema em UL e DL serem diferentes. Deste modo há que considerar as diferentes limitações separadamente em cada caso, e após a identificação do caso mais exigente, dimensionar-se a rede. Deste modo consideram-se os factores de carga em UL e DL e os seus parâmetros característicos.

D.1 Factor de Carga em UL

Segundo [HoTo00], a eficiência espectral teórica de W-CDMA pode ser dado por,

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \left(G_p\right)_j \frac{\left(potência\ do\ sinal\ do\ utilizador\right)_j}{potência\ total\ recebida\ (excepto\ o\ próprio\ sinal)} \tag{D.1}$$

em que:

- $\left(E_b/N_0\right)_j$ é a razão entre a energia de bit e a densidade espectral de ruído do utilizador *j*,
- $\left(G_p\right)_j$ é o ganho de processamento do utilizador *j*.

A relação sinal-ruído de um dado utilizador pode ainda ser escrita sob a forma de,

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \frac{R_c}{\upsilon_j R_j} \frac{P_j}{I_t - P_j} \tag{D.2}$$

em que:

- R_c é o débito de *chip*,
- P_j é a potência do sinal recebido do utilizador *j*,
- υ_j é o factor de actividade do utilizador *j*,
- R_j é o débito do utilizador *j*,
- I_t é a potência total do sinal de banda larga recebido, incluindo a potência do ruído térmico na BS.

Resolvendo (D.2) em função da potência do sinal recebido do utilizador tem-se agora,

$$P_j = \frac{I_t}{1 + \dfrac{R_c}{\left(E_b/N_0\right)_j R_j \upsilon_j}} \tag{D.3}$$

Por definição, o factor de carga de uma ligação é dado por (D.4), em que L_j representa o factor de carga da ligação *j*.

$$P_j = L_j I_t \tag{D.4}$$

Daqui se verifica que, nas condições enunciadas, o factor de carga será definido por,

$$L_j = \frac{1}{1+\dfrac{R_c}{(E_b/N_0)_j R_j \upsilon_j}} \tag{D.5}$$

A potência total, sem contabilizar o ruído térmico P_N, pode ser descrita como a soma das potência de *M* utilizadores contidos na mesma célula, dada por,

$$I_t - P_N = \sum_{J=1}^{M} P_j = \sum_{j=1}^{M} L_j I_t \Leftrightarrow P_N = \left(1-\sum_{j=1}^{M} L_j\right) I_t \tag{D.6}$$

Definindo a margem de interferência (MI) como o cociente entre a potência total recebida e a potência de ruído dado por (D.7), em que η_{UL} representa o factor de carga global em UL.

$$MI_{UL[\mathrm{dB}]} = 10\log\left(\frac{I_t}{P_N}\right) = -10\log\left(1-\sum_{j=1}^{M} L_j\right) = 10\log\left(\frac{1}{1-\eta_{UL}}\right) \tag{D.7}$$

Quando este valor se aproxima da unidade, tal significa que o correspondente valor de *MI* tende para infinito, o que indica o estado de capacidade máxima do sistema.

Como já mencionado, é necessário contabilizar a interferência imposta pelas células adjacentes, o que pode ser trazido no factor de carga por (D.8), em que *i* representa o cociente entre a interferência proveniente de outras células e a interferência da célula em questão

$$\eta_{UL} = (1+i)\sum_{j=1}^{M} L_j = (1+i)\sum_{j=1}^{M} \frac{1}{1+\dfrac{R_c}{(E_b/N_0)_j R_j \upsilon_j}} \approx \sum_{j=1}^{M} \frac{\upsilon_j (E_b/N_0)_j}{R_c/R_b}(i+1) \tag{D.8}$$

Verifica-se que o factor de carga prevê o aumento da *MI* devido à interferência existente no sistema, e é um indicador útil da capacidade do sistema que se pretende dimensionar.

D.2 Factor de Carga em DL

É possível definir o factor de carga em DL de forma análoga ao de UL; contudo, agora as limitações devem-se ao número máximo de utilizadores admitidos, ou seja, com questões de acesso múltiplo. Há agora que considerar parâmetros adicionais face ao caso de UL. Tem-se então que o factor de carga será dado por (D.9) em que α_j representa o factor de ortogonalidade em DL.

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^{M} \upsilon_j \frac{(E_b/N_0)_j}{R_c/R_j}\left[(1-\alpha_j)+i_j\right] \tag{D.9}$$

Como já mensionado anteriormente, W-CDMA utiliza códigos diferentes para identificar cada utilizador, e se o sinal não sofrer multipercurso, então a ortogonalidade entre os códigos

mantém-se intacta. Contudo, caso haja suficiente atraso no canal rádio, o MT_j poderá descodificar parte de um sinal que não lhe corresponde (de outro utilizador), sendo este sinal considerado como interferência. Em DL o valor de *i* depende da localização do utilizador na célula, o que faz com que este valor seja diferente entre cada utilizador.

$$MI_{DL[\mathrm{dB}]} = 10\log\left(\frac{1}{1-\eta_{DL}}\right) \tag{D.10}$$

Como se pode verificar pela Figura D.1, para valores de $\eta_{UL,DL}$ superiores a 70% MI aumenta muito rapidamente para pequenas variações do factor de carga, o que demonstra que para estes valores, facilmente o sistema se pode tornar instável e entrar em colapso.

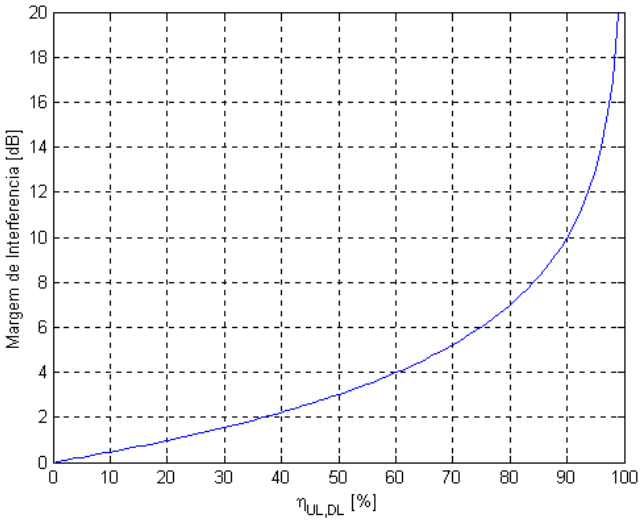


Figura D.1: Evolução da Margem de Interferência em função do factor de carga do sistema em UL/DL.

D.3 Potência de Transmissão da Estação de Base

Ao efectuar-se o dimensionamento para DL, é importante considerar uma estimativa da potência de transmissão total necessária de uma dada BS, que deverá considerar a potência média de que o utilizador necessita. Este valor será dado por (D.11),

$$P_{BS_TX} = \frac{N_{rf} R_c \sum_{j=1}^{M} L_j \upsilon_j \frac{(E_b/N_0)_j}{R_c/R_j}}{1-\eta_{DL}} \tag{D.11}$$

$$N_{rf} = k_B T \tag{D.12}$$

em que:

- N_{rf} é a densidade de potência de ruído,
- L_j representa a atenuação média de propagação para cada utilizador,
- k_B é a constante de Boltzman (k_B = 1,380658$\times 10^{-23}$ J/k),
- T é a temperatura em grau kelvin.

A temperatura do quadripólo pode ser dada por,

$$T = (T_0 - 1)F \cong T_0 F \tag{D.13}$$

em que:

- T_0 é a temperatura de referência,
- F é o factor de ruído do receptor.

Tem-se finalmente (D.14). Considerando as condições normais de trabalho em que T_0 = 300 k, então pode simplificar-se para (D.15).

$$N_{rf\,[\mathrm{dB/Hz}]} = k_B T_{0[\mathrm{dB}]} + F_{[\mathrm{dB}]} \tag{D.14}$$

$$N_{rf\,[\mathrm{dBm/Hz}]} = -174\mathrm{dBm/Hz} + F_{[\mathrm{dB}]} \tag{D.15}$$

D.4 Valores típicos

Os valores de E_b/N_0 típicos consideram o efeito do controlo de potência e o *soft handover*. Os valores de interferência dependem do ambiente circundante da célula em questão, assim como do tipo de célula considerado (macro, micro ou pico), assim como do diagrama de radiação da antena em uso. Alguns destes valores encontram-se na Tabela D.1.

Tabela D.1: Valores típicos dos parâmetros considerados para o dimensionamento em UMTS (extraído de [HoTo00]).

Parâmetros	Valores Recomendados	
	UL	DL
M	número de utilizadores por célula	(número de utilizadores por célula)×(1+*overhead* de *soft handover*)
υ_j	0,50 para actividade de voz; 1,0 para dados	
E_b/N_0	dependente do serviço, débito binário, desvanecimento do canal, diversidade da antena de recepção, velocidade de deslocação, ...	
R_c	3,84 Mcps	
R_j	dependente do serviço	
α_j	-	1: percurso ortogonal 0: percurso não ortogonal
i_j	-	cada utilizador tem um valor diferente dependendo na sua localização na célula
i	macro células com antenas omnidireccionais: 0,55	-

Alguns dos parâmetros apresentados na Tabela D.1 dependem ainda dos ambientes considerados ou do tipo de serviço requerido. Assim, é possível ter valores mais exactos para os factores de ortogonalidade, segundo [HoTo00], apresentados na Tabela D.2.

Tabela D.2: Valores típicos para o factor de ortogonalidade (extraído de [HoTo00]).

Cenário	Ambiente		
	urbano	suburbano	rural
Interior	0,90	0,90	0,90
Pedestre	0,70	0,80	0,95
Veicular	0,50	0,60	0,70

O factor de ortogonalidade é tanto menor quanto maior for a influência do multipercurso entre a BS e o MT, dependendo da mobilidade e do ambiente em que se encontra o utilizador. Verifica-se que o factor de ortogonalidade não varia muito para ambientes interiores e é bastante elevado, já que se consideram menos os efeitos do multipercurso. Para o ambiente rural, devido à existência de poucos obstáculos e ambiente tipo quase aberto, o factor de ortogonalidade também é bastante elevado, pelos mesmo motivos. O cenário em que o factor de ortogonalidade é mais baixo é o veicular, grandemente devido à rápida mobilidade do utilizador, já que o desvio de frequência de Doppler influência a ortogonalidade dos códigos. Tipicamente o factor de carga em interiores toma-se de 0,9 e para o utilizador veicular de 0,6.

Anexo E - Modelo de Propagação COST 231 – Walfisch-Ikegami

O Modelo Walfish-Ikegami é uma evolução e conjugação de outros dois modelos de propagação, considerando a propagação ao longo da rua e as respectivas reflexões devido aos edifícios e estruturas (Ikegami), e ainda as difracções no topo dos edifícios, particularmente o último edifício antes da rua considerada (Walfisch-Bertoni). Desta forma consideram-se os parâmetros necessários para a correcta caracterização da propagação para a cidade em estudo, representados na Figura E.1.

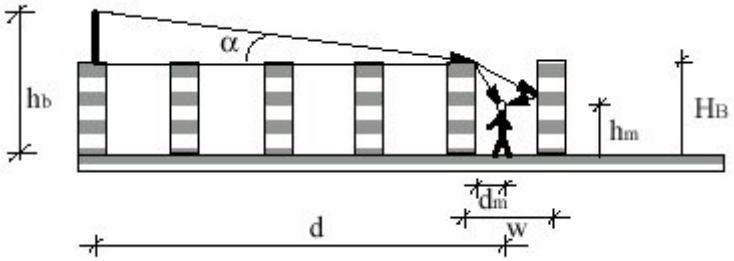


Figura E.1: Representação das condições de propagação para o Modelo de Walfisch-Ikegami (extraído de [Corr02]).

Assim, a expressão resultante para o Modelo de Walfisch-Ikegami para a atenuação de propagação média é a proposta por [DaCo99] e depende da situação considerada. Caso se tenha propagação ao longo da rua em LoS, a atenuação de propagação média será dada por (E.1). Para todos os outros casos a atenuação de propagação média será dada por (E.2),

$$L_{p[\mathrm{dB}]} = 42{,}6 + 20\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) + 26\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right),\ d > 0{,}02\ \mathrm{km} \tag{E.1}$$

$$L_{p[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} L_{0[\mathrm{dB}]} + L_{tt[\mathrm{dB}]} + L_{tm[\mathrm{dB}]} & , L_{tt} + L_{tm} > 0 \\ L_{0[\mathrm{dB}]} & , L_{tt} + L_{tm} \leq 0 \end{cases} \tag{E.2}$$

em que:

- f é a frequência de trabalho da portadora,
- d a distância de propagação que o raio directo percorre,
- L_0 é a atenuação em espaço livre dada por (E.3),
- L_{tt} é a atenuação devido às multilâminas dada por (E.4),
- L_{tm} é a atenuação devido a difracções entre os telhados e a rua dada por (E.9),

$$L_{0[\mathrm{dB}]} = 32{,}44 + 20\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 20\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) \tag{E.3}$$

$$L_{tt[\mathrm{dB}]} = L_{bsh[\mathrm{dB}]} + k_a + k_d \log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + k_f \log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) - 9\log\left(w_B\right) \tag{E.4}$$

em que:

- L_{bsh} será dada por (E.5),
- k_a representa o aumento das perdas devido à BS estar abaixo do telhado dado por (E.6),
- k_d e k_f representam a dependência das perdas de difracção multilâmina com a distância e a frequência, respectivamente e dados por (E.7) e (E.8),
- w_B a distância entre os centros dos prédios como se mostra na Figura E.1.

$$L_{bsh[dB]}\begin{cases}-18\log(h_b - H_B + 1) & ,h_b > H_B \\ 0 & ,h_b \le H_B\end{cases} \tag{E.5}$$

$$k_a = \begin{cases}54 & ,h_b > H_B \\ \left.\begin{matrix}54 - 0{,}8(h_b - H_B) & ,d \ge 0{,}5\text{km} \\ 54 - 1{,}6(h_b - H_B)d_{[km]} & ,d < 0{,}5\text{km}\end{matrix}\right\} & h_b \le H_B\end{cases} \tag{E.6}$$

$$k_d = \begin{cases}18 & ,h_b > H_B \\ 18 - 15\dfrac{h_b - H_B}{H_B} & ,h_b \le H_B\end{cases} \tag{E.7}$$

$$k_f = \begin{cases}-4 + 0{,}7\left(\dfrac{f_{[MHz]}}{925} - 1\right), & \text{cidades médias ou centros urbanos} \\ -4 + 1{,}5\left(\dfrac{f_{[MHz]}}{925} - 1\right), & \text{centros urbanos}\end{cases} \tag{E.8}$$

em que:

- h_b é a altura da BS,
- H_B é a altura dos prédios, e,

$$L_{tm[dB]} = -16{,}9 - 10\log(w_s) + 10\log(f_{[MHz]}) + 20\log(H_B - h_m) + L_{ori[dB]} \tag{E.9}$$

em que:

- w_s representa a largura das ruas,
- h_m representa a altura média do utilizador de MT.
- L_{ori} será dada por (E.10) e representa as perdas devido à mudança da orientação do raio. É função do ângulo de partida do raio no telhado do último edifício da rua em questão, $\phi[^o]$, ou seja, da orientação com que o raio directo vais entrar na rua.

$$L_{ori[dB]} = \begin{cases}-10 + 0{,}354\phi & 0 \le \phi_{[^o]} < 35 \\ 2{,}5 + 0{,}075(\phi - 35) & 35 \le \phi_{[^o]} < 55 \\ 4{,}0 - 0{,}114(\phi - 55) & 55 \le \phi_{[^o]} < 90\end{cases} \tag{E.10}$$

É possível analisar a dependência da atenuação de propagação média com a distância, encontrando-se a sua representação na Figura E.2.

Contacta-se que a atenuação de propagação aumenta com a distância. Visto o modelo de Walfish-Ikegami ser válido apenas para distâncias inferiores a 5 km, a atenuação representada serve apenas de estimativa grosseira para se percepcionar o andamento da atenuação de propagação com a distância (curva a tracejado). Deste modo, tem-se que para distâncias inferiores a 4 km a atenuação aumenta muito significativamente, devido às difracções analisadas anteriormente e à propagação atmosférica, e para valores superiores a atenuação apresenta um aumento menos significativo.

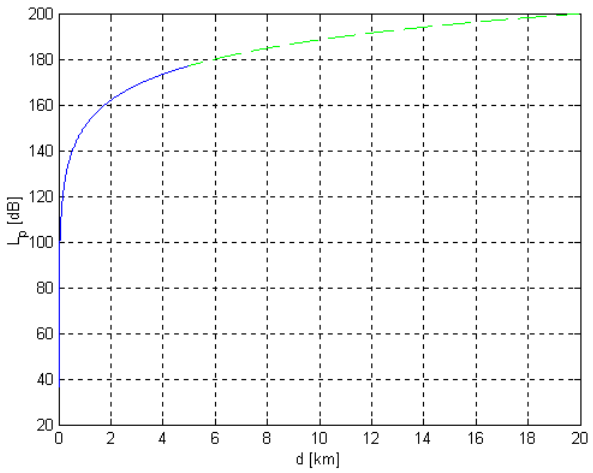
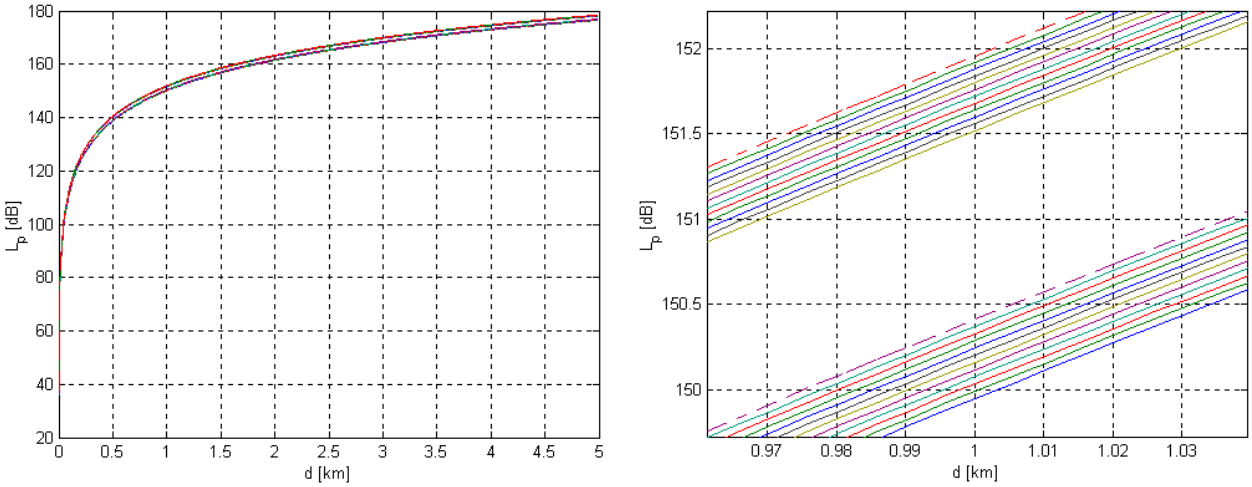


Figura E.2: Evolução da atenuação de propagação com a distância.

Pode ainda analisar-se a dependência a atenuação de propagação com a frequência, ou seja, verificar quais os canais rádio mais favoráveis à transmissão de informação. A evolução da atenuação de propagação com a frequência encontra-se na Figura E.3, para o modo FDD e na Figura E.4 para o modo TDD.

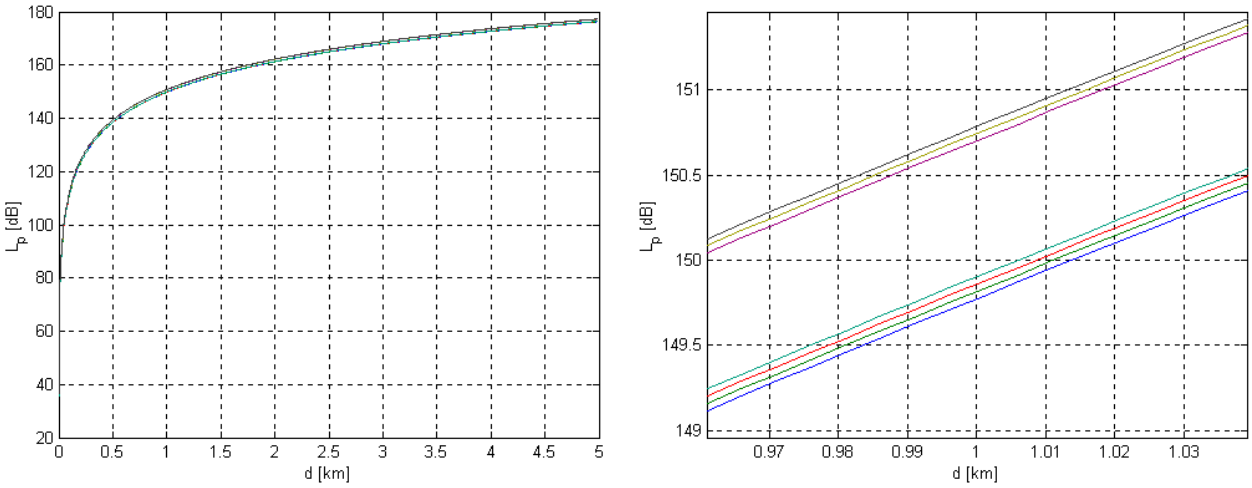


(a) Distância (b) R = 1 km

Figura E.3: Evolução da atenuação de propagação com a distância para os canais rádio em FDD, e em torno de R = 1 km.

Apresenta-se a Figura E.3(b) visto ser em torno deste valor que se espera que se situe a distância de cobertura máxima das BS para o planeamento celular pretendido.

Verifica-se então que é pouco relevante a consideração da utilização de diferentes canais rádio para a atenuação de propagação. Contudo, para os cálculos a efectuar posteriormente irão considerar-se frequências distintas, para uma melhor aproximação da realidade. A curva a tracejado na Figura E.3 (b) representa a atenuação de propagação para o canal utilizador para a representação da atenuação de propagação com a distância, verificando-se que esta aumenta para valores de frequência superiores.



(a) Distância (b) R = 1 km

Figura E.4: Evolução da atenuação de propagação com a distância para os canais rádio em TDD, para R=1 km.

É possível especular sobre a preferência dos canais rádio atribuídos a cada um dos 4 operadores de comunicações móveis. Usando FDD, em DL, será óbvio que o conjunto de canais preferencial será o que contenha o canal mais próximo da banda atribuída para satélite, visto esta banda ter pouca probabilidade de vir a ser usada nos tempos mais próximos, reduzindo assim questões relativas a interferência. Em UL, pode fazer-se o mesmo raciocínio relativamente ao extremo superior da banda de FDD, assim como para TDD em DL (contudo os canais desta banda não foram atribuídos, ainda, aos operadores, em Portugal). Usando TDD, em UL, as questões de preferência na escolha dos canais prendem-se apenas com as questões de propagação.

Anexo F - Cobertura

O sinal electromagnético que se propaga de modo a estabelecer comunicação entre dois pontos pode ser caracterizado com base no seu valor médio e variância em torno desse mesmo valor, já que as oscilações em estudo se devem essencialmente à mobilidade do utilizador e ao multipercurso do sinal, devido a reflexões e difracções. Fenómenos atmosféricos ou alterações bruscas climatéricas poderão também ter alguma influência. A existência deste desvanecimento impõe que haja uma compensação da potência de emissão de forma a diminuir as eventuais atenuações. Já que o desvanecimento lento é bem caracterizado por uma distribuição log-normal, a variação da intensidade do sinal pode ser estimada com base nesta distribuição. Uma vez que o custo cresce exponencialmente com a fiabilidade do sistema, não é muito expedito conceber um sistema que garanta a totalidade de serviço, sempre que o cliente assim deseje. Deste modo é aceitável que existam algumas áreas que não apresentem cobertura em alguns instantes, com uma dada probabilidade. Este valor é determinado pelos projectistas de rede conforme o grau de exigência que se pretenda e custos que se esteja disposto a suportar, sejam eles económicos ou de ordem estrutural, sendo este o factor determinante da QoS da rede. Assim, dependendo da percentagem de locais que se pretende cobrir (*p*), a atenuação de propagação sobre o perímetro de uma circunferência de raio *R* com centro na BS será dada por (F.1) [Corr02],

$$L_{p/p\%[dB]} = L_{p/50\%[dB]} + \mu(p\%)\sigma_{[dB]} \tag{F.1}$$

em que:

- $L_{p/50\%}$ é a atenuação de propagação dada pelo modelo de estimação do sinal para uma cobertura de 50% dos locais considerados (valor obtido pelo modelo de propagação),
- $\mu(p\%)\sigma$ representa a margem de desvanecimento.

O valor de $\mu(p\%)$ é característico da função densidade de probabilidade da distribuição log-normal, enquanto que o valor de σ é característico do modelo de propagação em uso. Para os casos em estudo neste trabalho, considerar-se-á $\sigma = 6\,\text{dB}$, já que se utiliza o Modelo de Walfish-Ikegami. Tem então que se considerar a percentagem de locais cobertos por uma potência superior à de limiar sob a circunferência de raio *R*. Este valor será dado por (F.2) segundo [Corr02], em que F_{circ} é percentagem de locais em média com potência do sinal P_s superior à potência mínima ou de limiar $P_{\min}$, para uma dado valor de *R*.

$$F_{circ}(P_{\min}, R) = \Pr\text{ob}\{P_s > P_{\min}\} = \frac{1 + erf\left(\dfrac{\Delta P_{[\text{dB}]}}{\sigma_{[\text{dB}]}\sqrt{2}}\right)}{2} \tag{F.2}$$

A função de erro (erf) poderá em certas circunstâncias ser aproximada por (F.3). ΔP representa a margem de desvanecimento lento e é dada por (F.4), em que $\overline{P}$ é a potência média obtida pelo modelo de propagação.

$$erf(x) \approx 1 - \sqrt{\pi}\,\frac{\exp\{-x^2\}}{(\pi - 1)x + \sqrt{x^2 + \pi}},\ x > 0 \tag{F.3}$$

$$\Delta P_{[\mathrm{dB}]} = \overline{P_R}_{[\mathrm{dBm}]} - P_{min[\mathrm{dBm}]} \tag{F.4}$$

Como normalmente é mais importante garantir que um dado número de utilizadores abrangidos por uma dada BS tem acesso à rede, é usual considerar-se antes a percentagem de área coberta pela BS em vez da cobertura do perímetro. Assim, será necessário considerar a integração de (F.2) obtendo-se a probabilidade de cobertura de uma dada área, dada por (F.5),

$$F_{area} = \frac{1 + erf(a) + \exp\left\{\frac{2ab+1}{b^2}\right\}\left[1 - erf\left(\frac{ab+1}{b}\right)\right]}{2} \tag{F.5}$$

onde:

$$a = \frac{\Delta P_{[\mathrm{dBm}]}}{\sigma_{[\mathrm{dB}]}\sqrt{2}}$$
$$b = \frac{10n\log(e)}{\sigma_{[\mathrm{dB}]}\sqrt{2}} \tag{F.6}$$

Visto que o valor do factor do decaimento de potência *n* depende do modelo de propagação utilizado, para o caso em estudo tem-se que o termo dependente da distância na expressão total da atenuação de propagação média é o de (F.8),

$$L_{p[\mathrm{dB}]} \propto 20\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + \left\{\begin{matrix} 18 & ,h_b > H_B \\ 18 - 15\dfrac{h_b - H_B}{H_B} & ,h_b \le H_B \end{matrix}\right\}\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) \tag{F.7}$$

donde se verifica que:

$$n = \frac{20 + A}{10} \tag{F.8}$$

em que:

$$A = \begin{cases} 18 & ,h_b > H_B \\ 18 - 15\dfrac{h_b - H_B}{H_B} & ,h_b \le H_B \end{cases} \tag{F.9}$$

Para a determinação do raio máximo que garante a cobertura pretendida é usual considerar-se a potência média sob a forma de (F.10), que define explicitamente a dependência da potência média com a distância da BS ao perímetro da célula,

$$\overline{P}_{[\mathrm{dBm}]} = \overline{P_R}_{[\mathrm{dBm}]} - 10n\log\left(\frac{r}{R}\right) \tag{F.10}$$

em que:

- *n* representa o factor de decaimento da potência do sinal com a distância,
- *r* é a distância.

A Figura F.1 representa o decaimento da potência com a distância, considerando:

- $\overline{P_R} = 40$ dBm,
- $h_b = 25$ m,
- $H_B = 24$ m,
- $R = 1$ km.

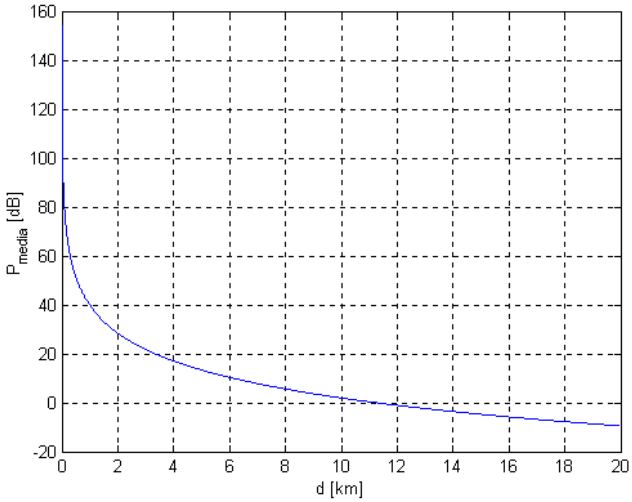


Figura F.1: Decaimento da potência com a distância.

Verifica-se que a potência média recebida pelo MT diminui naturalmente com a distância, visto o factor determinante ser a atenuação de propagação em espaço livre. O factor de decaimento da potência com a distância é para todos os casos considerados 3,8, sendo um valor bastante elevado relativamente à atenuação a que o sinal fica sujeito.

Para a mais simples visualização da relação entre a percentagem de áreas cobertas e a margem de desvanecimento lento é possível analisar a Figura F.2.

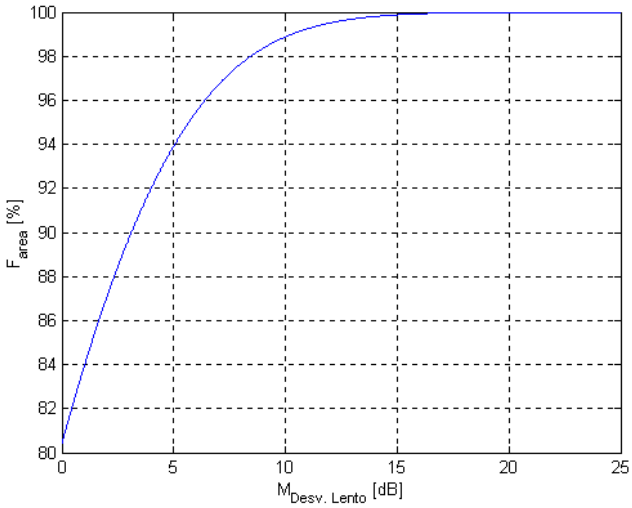


Figura F.2: Percentagem de zonas cobertas em função da margem de desvanecimento, para o modelo de Walfisch-Ikegami.

Daqui se verifica que a margem de desvanecimento aumenta de um modo aproximadamente linear para valores de probabilidade de cobertura inferiores a 97%. Para probabilidades

superiores, verifica-se que, para garantir a cobertura pretendida é necessário um muito maior empreendimento de recursos e potência, visto a variação de percentagem de áreas cobertas ser muito pequena face uma dada variação da margem de desvanecimento lento. Assim, garante--se uma área de cobertura com probabilidade próxima do total para valores próximos de 15 dB de margem de desvanecimento, sendo este valor muito elevado e provavelmente de custo desnecessário. Para as situações normalmente consideradas de cobertura a 95 %, tem-se por leitura gráfica que é necessário considerar uma margem de desvanecimento lento de 5,67 dB de modo a que a comunicação fique assegurada para a situação considerada.

Anexo G – Balanços de Potência

No dimensionamento de uma rede celular é necessário ter em conta a avaliação da atenuação máxima de propagação admitida numa célula. Por esta razão, há que efectuar este dimensionamento em UL e DL separadamente, já que a comunicação nos dois sentidos apresenta características bem distintas. As características que mais diferem encontram-se entre os MT e BS.

G.1 Aspectos Gerais

A situação de propagação considerada está representada na Figura G.1, em que se considera um emissor, um receptor, e um canal de propagação, assim como as antenas associadas à comunicação.

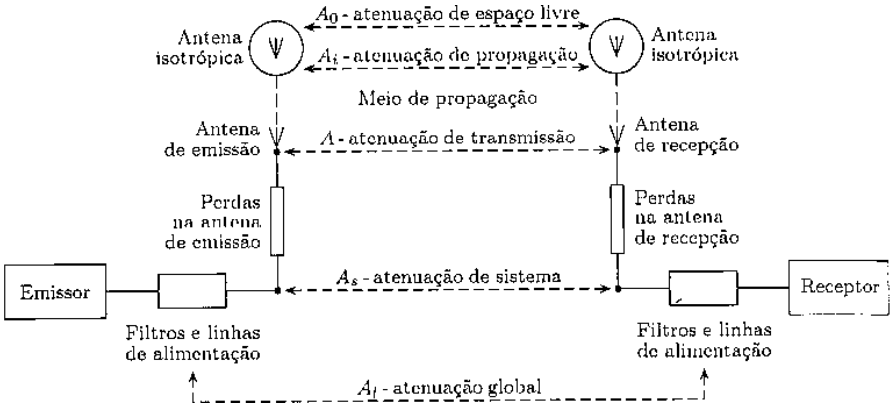


Figura G.1: Diagrama de blocos para o cálculo dos balanços de potência (extraído de [Sale98]).

Considere-se então a atenuação de propagação, dada sob a forma genérica por (G.1), segundo [Corr02],

$$\begin{aligned} L_{p[\mathrm{dB}]} &= P_{e[\mathrm{dBm}]} + G_{e[\mathrm{dBi}]} - P_{r[\mathrm{dBm}]} + G_{r[\mathrm{dBi}]} \\ &= EIRP_{[\mathrm{dBm}]} - P_{r[\mathrm{dBm}]} + G_{r[\mathrm{dBi}]} \end{aligned} \tag{G.1}$$

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 na recepção,
- $EIRP$ é a potência de emissão isotropicamente radiada.

Particularizando agora para o sentido de transmissão DL, em que se considera como emissor a BS tem-se,

$$EIRP_{[\mathrm{dBm}]} = P_{Tx[\mathrm{dBm}]} + G_{e[\mathrm{dBi}]} - L_{c[\mathrm{dB}]} \tag{G.2}$$

onde:

- P_{Tx} é a potência de saída do emissor (BS),
- L_c é a atenuação nos cabos entre o emissor e a antena.

Há ainda que considerar,

$$P_{Rx[\mathrm{dBm}]} = P_{r[\mathrm{dBm}]} - L_{u[\mathrm{dB}]} \tag{G.3}$$

onde:

- P_{Rx} é a potência à entrada do receptor (MT),
- L_u é a atenuação devido à presença do utilizador.

Note-se que estas grandezas apresentam alguns valores típicos segundo [ETSI01], [HoTo00]e [CaCo02], estando eles apresentados na Tabela G.1.

Tabela G.1: Valores Típicos característicos na comunicação em DL.

Parâmetros		Valores Típicos
$P_{Tx\max}$ [dBm]		43
G_e [dBi]		17
L_c [dB]		2
L_u [dB]	voz	3
	dados	1
G_r [dBi]		0

Particularizando agora para o sentido de transmissão UL, em que se considera como emissor o MT tem-se,

$$EIRP_{[\mathrm{dBm}]} = P_{Tx[\mathrm{dBm}]} + G_{e[\mathrm{dBi}]} - L_{u[\mathrm{dB}]} \tag{G.4}$$

onde:

- P_{Tx} é a potência de saída do emissor (MT),
- L_u é a atenuação devido à presença do utilizador.

$$P_{Rx[\mathrm{dBm}]} = P_{r[\mathrm{dBm}]} - L_{c[\mathrm{dB}]} - L_{despol[\mathrm{dB}]} \tag{G.5}$$

onde:

- P_{Rx} é a potência à entrada do receptor (BS),
- L_c é a atenuação nos cabos entre o emissor e a antena,
- L_{despol} é a atenuação devido a despolarizações.

Há ainda que considerar a possibilidade do uso de diversidade na BS, em que se verifica um ganho adicional de G_{div}.

Note-se que estas grandezas apresentam alguns valores típicos segundo [ETSI01] e [CaCo02], estando eles apresentados na Tabela G.2.

Tabela G.2: Valores Típicos característicos na comunicação em UL.

Parâmetros		Valores Típicos
$P_{Tx\max}$ [dBm]		30
G_e [dBi]		0
L_u [dB]	voz	3
	dados	1
L_c [dB]		2
L_{despol} [dB]		2
G_r [dBi]		17
G_{div} [dB]		3

Contudo, para o completo balanço de potências da comunicação é necessário considerar outros parâmetros comuns em ambas as direcções de UL e DL, sendo eles a sensibilidade do receptor dada por,

$$P_{RX\ mín[\mathrm{dB}]} = N_{[\mathrm{dBm}]} - G_{p[\mathrm{dB}]} + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{[\mathrm{dB}]} \tag{G.5}$$

onde:

- N é a potência total de ruído,
- G_p é o ganho de processamento,
- $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ relação sinal-ruído que depende de cada serviço requerido.

Para o cálculo de questões relativas ao receptor, o parâmetro característico a ter em consideração será o factor de ruído. Para tal considera-se (G.7) e (G.8),

$$N_{[\mathrm{dBm}]} = N_{0[\mathrm{dBm}]} + MI_{[\mathrm{dB}]} \tag{G.7}$$

$$N_{0[\mathrm{dBm}]} = N_{rf\,[\mathrm{dBm/Hz}]} + 10\log_{10}\left(\Delta f_{[\mathrm{Hz}]}\right) \tag{G.8}$$

onde:

- N_0 é o valor médio da potência de ruído,
- MI é a margem de interferência,
- Δf é a largura de banda do sinal.

Como já verificado no Anexo D, tem-se,

$$N_{rf\,[\mathrm{dB/Hz}]} = -174\mathrm{dBm/Hz} + F_{[\mathrm{dB}]} \tag{G.9}$$

onde:

- N_{rf} é a densidade de potência de ruído,
- F é o factor de ruído do receptor.

Relativamente ao ganho de processamento introduzido pelo processo, dado por,

$$G_{p[\mathrm{dB}]} = 10\log_{10}\left(\frac{R_c}{R_b}\right) \tag{H.10}$$

onde:

- R_c é o débito de *chip*, constante e igual a 3,84 Mcps,
- R_b é o débito binário do sinal.

Os valores típicos de E_b/N_0 característicos de cada serviço utilizado, segundo [LoBe00], encontram-se na Tabela G.3.

Tabela G.3: Valores de E_b/N_0 para os diferentes serviços.

Serviço [kbps]	Modo de Comutação	Tipo de Utilizador	E_b/N_0 [dB] Tipo de Ligação UL	DL
12,2	Circuitos	Interior	5,8	7,7
		Pedestre	5,8	7,7
		Veícular	6,9	8,0
64	Circuitos	Interior	4,1	6,7
		Pedestre	4,2	6,7
		Veícular	5,8	7,8
64	Pacotes	Interior	4,2	6,6
		Pedestre	4,2	6,6
		Veícular	5,5	7,3
144	Circuitos	Interior	4,0	5,9
		Pedestre	4,2	6,0
		Veícular	5,8	7,5
144	Pacotes	Interior	4,0	5,9
		Pedestre	4,2	5,9
		Veícular	5,5	6,3
384	Pacotes	Interior	4,0	6,5
		Pedestre	4,2	6,7
		Veícular	5,5	7,7

Note-se aqui que se considera que o utilizador pedestre se desloca a 3 km/h e o veicular a 50 km/h. Os valores de E_b/N_0 são diferentes para os tipos de utilização, já diferentes serviços requerem distintos requisitos de qualidade.

Para antecipar o acontecimento de eventuais oscilações que possam ocorrer na rede durante a comunicação, há ainda que considerar margens que garantam que tais acontecimentos existirem se mantenha a comunicação assegurada. Para tal há que considerar um margem de segurança (*M*), dada por,

$$M_{[\mathrm{dB}]} = M_{f\,SF[\mathrm{dB}]} + M_{f\,FF[\mathrm{dB}]} - G_{SH[\mathrm{dB}]} + L_{a[\mathrm{dB}]} \tag{G.11}$$

onde:

- M é a margem total a considerar,
- $M_{f\ SF}$ é a margem de desvanecimento lento (*slow fading*),
- $M_{f\ FF}$ é a margem de desvanecimento rápido (*fast fading*),
- G_{SH} é o ganho de *soft handover*,
- L_a é a atenuação adicional devido a perdas em interiores.

Em UL verifica-se (G.12) e em DL (G.13).

$$L_{máx[\mathrm{dB}]} = EIRP_{[\mathrm{dBm}]} - P_{Rx\ mín[\mathrm{dB}]} - M_{[\mathrm{dB}]} + G_{r[\mathrm{dBi}]} + G_{div[\mathrm{dB}]} - L_{c[\mathrm{dB}]} - L_{desp[\mathrm{dB}]} \quad \text{(G.12)}$$

$$L_{máx[\mathrm{dB}]} = EIRP_{[\mathrm{dBm}]} - P_{Rx\ mín[\mathrm{dB}]} - M_{[\mathrm{dB}]} + G_{r[\mathrm{dBi}]} - L_{u[\mathrm{dB}]} \quad \text{(G.13)}$$

Os valores típicos de característicos de cada serviço utilizado segundo [ESTI01], [HoTo00] e [CaCo02], encontram-se na Tabela G.4, considerando que $R_c = 3{,}84\,\mathrm{Mcps}$ e que Δf = 3,84 MHz.

Tabela G.4: Valores típicos característicos gerais.

Parâmetros		Valores Típicos
F [dB]	UL	5,00
	DL	9,00
MI [dB]		3,00
$M_{f\ SF}$ [dB] ($F_{área}$=95%)		5,67
$M_{f\ FF}$ [dB]	interior	9,10
	pedestre	9,10
	veicular	<5,90
G_{SH} [dB]		2,00
L_a [dB]	interior	20,0
	pedestre	0,00
	veicular	8,00

Note-se que o valor para $M_{f\ SF}$ foi obtido por leitura gráfica da Figura E.2, que se toma para efeitos dos cálculos dos balanços de potência um factor de carga dado por (G.14), em que η_{SH} é o factor de carga reservado para a consideração de carga adicional devido ao *soft handover*, tomando 20% como valor de referência.

$$\eta_{t[\%]} = \eta_{UL,DL[\%]} + \eta_{SH[\%]} \quad \text{(G.14)}$$

G.2 Cálculo dos Balanços de Potência

Efectuam-se os cálculos necessários para o dimensionamento da rede, calculando os valores de atenuação máxima permitida de acordo com as expressões anteriormente enunciadas, de modo a que se garanta ao utilizador cobertura e capacidade, para os diferentes cenários previstos e utilizando valores típicos. Estes resultados encontram-se na Tabela G.5, para os canais $f_{UL} = 1922{,}5\,\mathrm{MHz}$ e $f_{DL} = 2112{,}5\,\mathrm{MHz}$, sendo o valor $d_{\max}$ dado pelo modelo de propagação.

Tabela G.5: Balanços de potência para os diferentes serviços considerados.

Serviço [kbps]	Tipo de Ligação	*EIRP* [dBm]	G_r [dBi]	Tipo de Utilizador	$P_{Rx\ min}$ [dBm]	M [dB]	$L_{p\ max}$ [dB]	d_{max} [km]
voz	UL	27,0	20,0	Interior	-117,1	32,8	127,3	0,254
				Pedestre	-117,1	12,8	147,3	0,852
				Veicular	-116,0	17,6	141,4	0,596
	DL	54,0	0,0	Interior	-111,2	32,8	129,4	0,262
				Pedestre	-111,2	12,8	149,4	0,879
				Veicular	-110,9	17,6	144,3	0,646
64 (CS)	UL	29,0	20,0	Interior	-111,6	32,8	123,8	0,205
				Pedestre	-111,5	12,8	143,7	0,685
				Veicular	-109,9	17,6	137,3	0,465
	DL	56,0	0,0	Interior	-105,0	32,8	127,2	0,229
				Pedestre	-105,0	12,8	147,2	0,770
				Veicular	-103,9	17,6	141,3	0,538
64 (PS)	UL	29,0	20,0	Interior	-111,5	32,8	123,7	0,204
				Pedestre	-111,5	12,8	143,7	0,685
				Veicular	-110,2	17,6	137,6	0,473
	DL	56,0	0,0	Interior	-105,1	32,8	127,3	0,231
				Pedestre	-105,1	12,8	147,3	0,774
				Veicular	-104,4	17,6	141,8	0,555
144 (CS)	UL	29,0	20,0	Interior	-108,2	32,8	120,4	0,167
				Pedestre	-108,0	12,8	140,2	0,553
				Veicular	-106,4	17,6	133,8	0,375
	DL	56,0	0,0	Interior	-102,3	32,8	124,5	0,194
				Pedestre	-102,2	12,8	144,4	0,649
				Veicular	-100,7	17,6	138,1	0,443
144 (PS)	UL	29,0	20,0	Interior	-108,2	32,8	120,4	0,167
				Pedestre	-108,0	12,8	140,2	0,553
				Veicular	-106,7	17,6	134,1	0,382
	DL	56,0	0,0	Interior	-102,3	32,8	124,5	0,194
				Pedestre	-102,3	12,8	144,5	0,653
				Veicular	-101,9	17,6	139,3	0,476
384 (PS)	UL	29,0	20,0	Interior	-103,9	32,8	116,2	0,129
				Pedestre	-103,7	12,8	136,0	0,427
				Veicular	-102,4	17,6	129,9	0,295
	DL	56,0	0,0	Interior	-98,0	32,8	120,3	0,150
				Pedestre	-98,0	12,8	140,3	0,504
				Veicular	-97,6	17,6	135,1	0,368

Verifica-se que em ambiente pedestre, a distância máxima de cobertura da BS é sempre superior face aos respectivos ambientes interiores e veiculares. Tal deve-se às atenuações suplementares a que o sinal fica sujeito ao penetrar em edifícios e a questões relacionadas com a mobilidade e efeito de Doppler, respectivamente. Tem-se também que UL é o sentido mais limitativo em termos de cobertura do que DL, devido ao factor de ortogonalidade dos códigos utilizados e ao facto de *EIRP* ser muito menor, já que a potência de emissão do MT é muito inferior à da BS. Comparando o mesmo serviço em termos da comutação considerada, verifica-se que a distância máxima permitida é muito semelhante.

Anexo H – GIS

O *MapInfo* é o *software* aqui utilizado como ferramenta de informação geográfica, permitindo que diferentes camadas de informação distintas se sobreponham e cooperem de modo a parametrizar correctamente a zona em estudo. Com esta ferramenta é possível efectuar o planeamento celular pretendido do modo mais genérico possível, pois apenas se necessita dos parâmetros de entrada locais para a zona pretendida, Figura H.1.

Figura H.1: Cooperação de áreas distintas em camadas (extraído de [GISy02]).

O GIS permite a procura e gestão de bases de dados, interligando-as e mudando os seus parâmetros de entrada. É possível criar, visualizar e alterar mapas, e relacioná-los com diferentes bases de dados. GIS apresenta ainda outras potencialidades tais como a importação e exportação de dados de diferentes formatos, seleccionar, associar e combinar dados, fornecendo relatórios automáticos e permitindo desenvolver aplicações sobre *MapBasic*.

Devido às suas potencialidades, GIS apresenta diversidade de aplicações, tais como na indústria (transportes e telecomunicações), negócios (localização, distribuição e análise de mercado), serviços de emergência (polícia e bombeiros), educação (ferramenta de procura), utilização de mapas interactivos na *web*, sistemas de navegação em automóveis, serviços baseados em localização (*palm tops*), entre outros.

O GIS, além de ter muitas aplicações em distintos campos além da engenharia, permite desenvolver o objectivo deste projecto. Assim, após recolha de dados característicos da zona em estudo, estes são dispostos em camadas distintas, que serão sobrepostas, como se pode visualizar na Figura H.2. A informação relativa a cada camada é cruzada com a informação das restantes, permitindo uma informação global de uma dada região muito mais completa e precisa.

O GIS permite o armazenamento de informação em tabelas dinâmicas, como se verifica na Figura H.3, das quais podem fazer parte os parâmetros relevantes e necessários para cada caso em estudo. Neste trabalho considerou-se a caracterização da população por freguesia, tendo como camada base de trabalho a distribuição das freguesias da cidade em estudo, representadas na Figura H.4, donde se podem associar os dados relativos a cada freguesia.

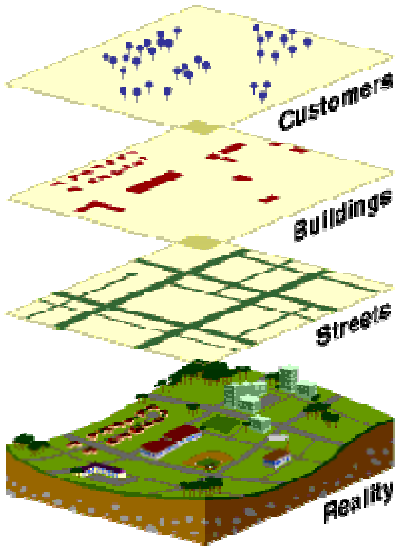


Figura H.2: Sobreposição das camadas de interesse prático (extraído de [GISy02]).

MapInfo Professional - [Lisboa_dados2 Browser]

File Edit Tools Objects Query Table Options Browse Window Help

Freguesia	Area_km2_	População_residen	dens_pop_hab_k	Rend_agreg_Eur	Nenhum_nível_ensi	1_ciclo_%	2_ciclo_%	3_ciclo_%	Ens_Sec_%	Ens
AJUDA	2,92952	17.971	6.136,54	16.762,12	11,424	36,826	9,72578	10,2721	17,9845	
ALCÂNTARA	4,28787	14.443	3.284,09	7.844,52	9,38555	31,3824	8,66164	9,32632	18,9573	
ALTO DO PINA	0,824756	10.253	12.431,55	20.739,98	8,93397	23,437	7,32469	9,02175	17,6826	
ALVALADE	0,59159	9.628	16.261,25	21.282,07	6,07069	18,7838	6,18503	8,03495	19,4075	
AMEIXOEIRA	1,59966	9.650	6.032,52	21.318,67	12,1762	28,715	8,40415	9,33679	17,6684	
ANJOS	0,489944	9.738	19.875,74	13.628,91	9,47833	28,4866	8,54385	9,17026	19,2853	
BEATO	1,55886	14.241	9.135,55	8.559,61	10,7366	33,7436	9,83077	9,78162	19,2964	
BENFICA	7,97973	51.368	6.437,31	15.571,46	7,01409	21,0695	6,34247	7,64678	14,9996	
CAMPO GRANDE	2,45996	11.148	4.531,79	21.282,07	8,74596	26,7313	7,56189	9,04198	17,2049	
CAMPOLIDE	2,74763	15.928	5.797	17.810,63	12,0417	30,7195	9,25414	10,1708	18,6841	
CARNIDE	3,98295	21.087	5.296,83	21.721,87	13,7176	27,2171	8,74068	8,73584	14,2153	
CASTELO	0,0541667	587	10.836,92	10.682,68	10,9029	41,908	10,5622	11,925	15,5026	
CHARNECA	1,91792	10.509	5.479,36	21.318,67	17,8894	36,15	12,9032	12,8368	17,2424	
CORAÇÃO DE JESUS	0,587312	4.319	7.749,7	17.857,36	9,88655	25,7467	8,10373	8,85941	16,9715	
ENCARNAÇÃO	0,182393	3.182	17.445,83	10.578,6	10,8737	32,9667	8,61084	9,64802	19,6103	
GRAÇA	0,353406	6.960	19.694,09	10.682,68	10,3736	32,6437	9,77011	11,1782	18,0891	
LAPA	0,741845	8.671	11.688,43	17.857,36	9,15896	21,4393	6,45831	8,90324	17,7949	
LUMIAR	6,08861	35.585	5.844,52	21.318,67	9,73725	17,5845	6,57018	7,3767	15,81	
MADALENA	0,114019	380	3.332,79	10.578,6	7,63158	25,7895	6,05263	11,3158	26,4211	
MARTIRES	0,0982405	341	3.471,07	10.578,6	8,5044	27,2727	8,5044	6,45161	17,3021	
MARVILA	6,32381	38.766	6.130,17	24.647,33	15,3495	34,4864	11,4301	11,8829	19,4397	
MERCES	0,272557	4.093	15.017,06	17.857,36	14,537	36,1593	10,0415	11,5807	22,4774	
NOSSA SENHORA DE FÁT	1,82769	15.291	7.932,26	21.282,07	8,26744	20,3388	6,79485	7,88426	17,1888	
PENA	0,513767	6.068	11.810,8	10.578,6	13,1674	31,1964	9,4265	8,86506	17,9136	
PENHA DE FRANCA	0,705468	13.722	19.450,93	10.682,68	10,2755	30,1705	8,89812	9,7872	19,6983	
PRAZERES	1,55758	8.482	5.452,04	13.641,02	10,8808	28,2383	7,77202	8,18417	17,7932	
SACRAMENTO	0,0849917	880	10.353,95	10.578,6	10,8818	28,4091	9,77273	9,09091	17,5	
SANTA CATARINA	0,208958	4.081	19.530,22	10.578,6	11,5168	32,8586	8,89488	10,0956	19,6275	
SANTA ENGRÁCIA	0,521511	5.850	11.217,4	10.682,68	10,1026	33,5726	8,54701	10,359	20,188	
SANTA ISABEL	0,628968	7.270	11.560,46	17.857,36	9,05089	22,5585	7,29023	8,54195	19,1069	
SANTA JUSTA	0,250357	700	2.796,01	10.578,6	10,2857	43	8,42857	8,42857	17,8571	
SANTA MARIA DE BELÉM	3,38557	9.752	2.880,46	16.762,12	9,55701	25,6716	8,24448	9,10582	18,2219	

records 1 - 33 of 53

Figura H.3: Informação relevante para a caracterização da população.

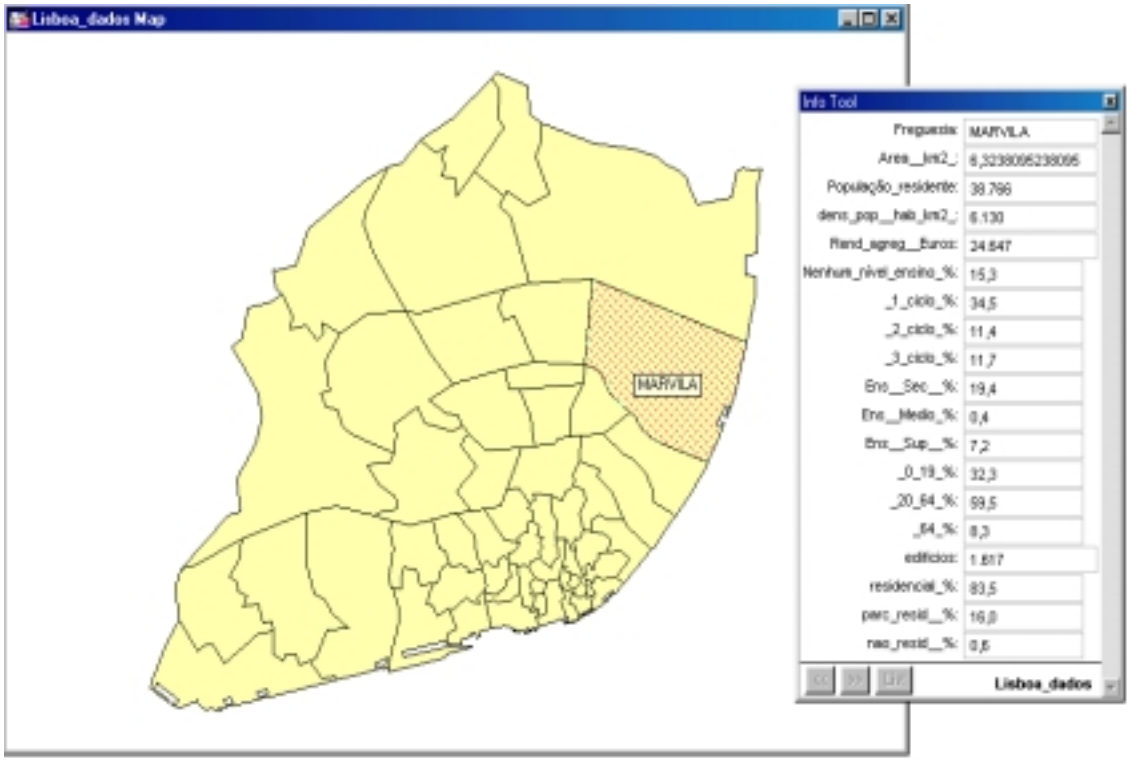
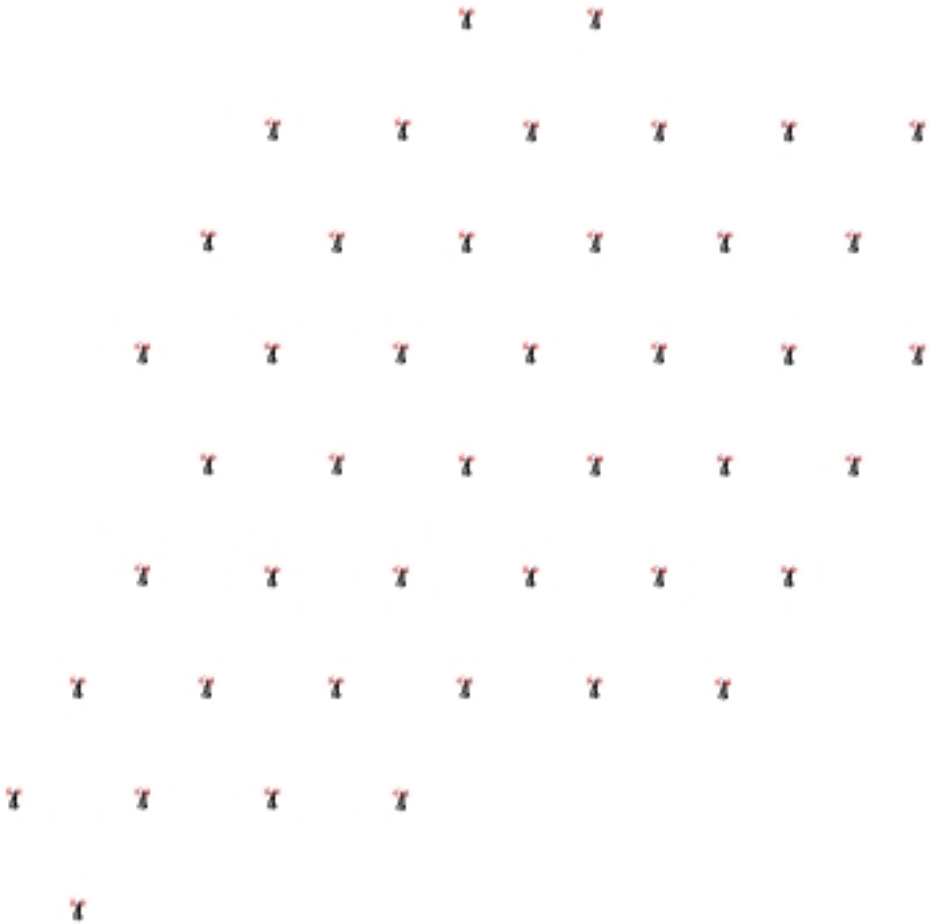
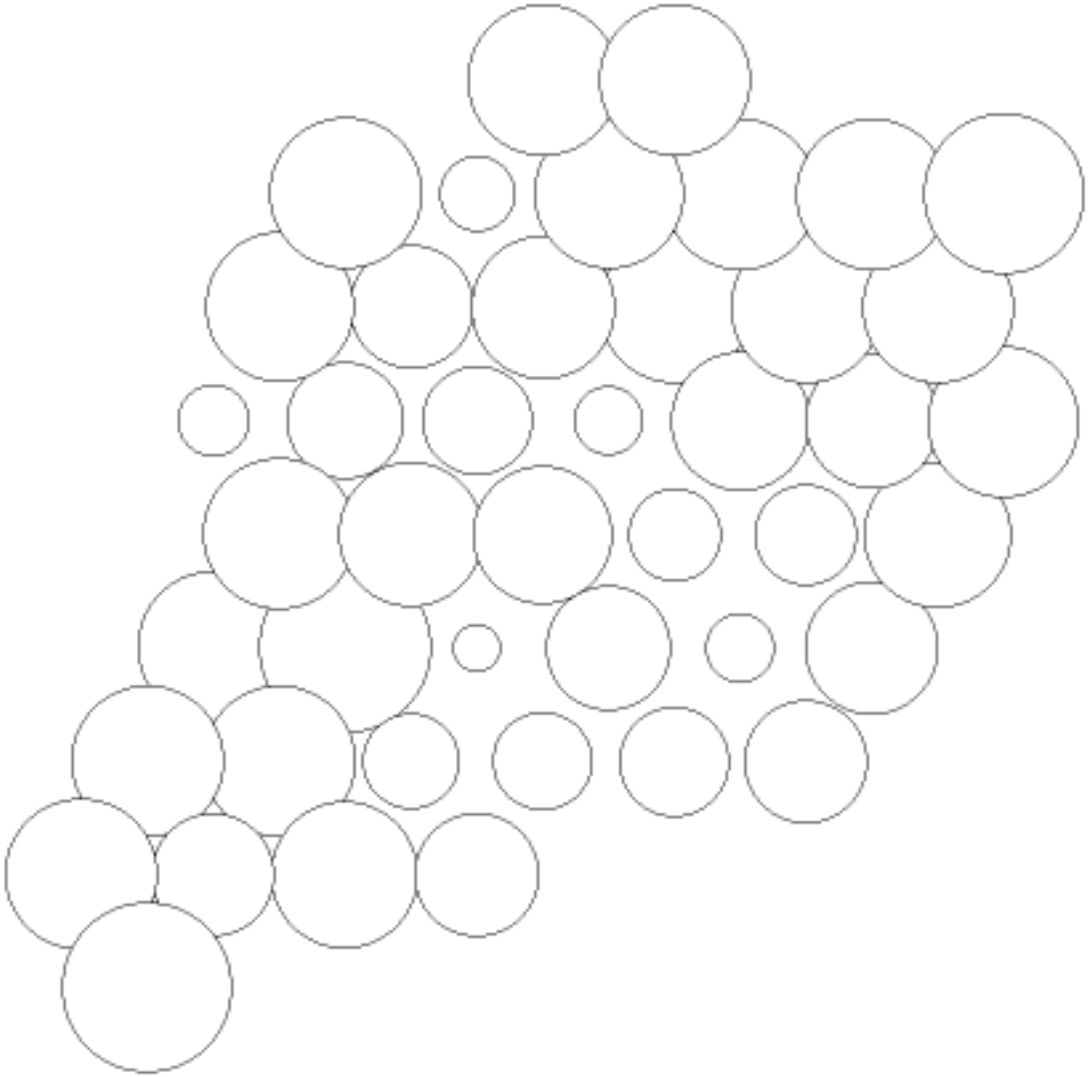
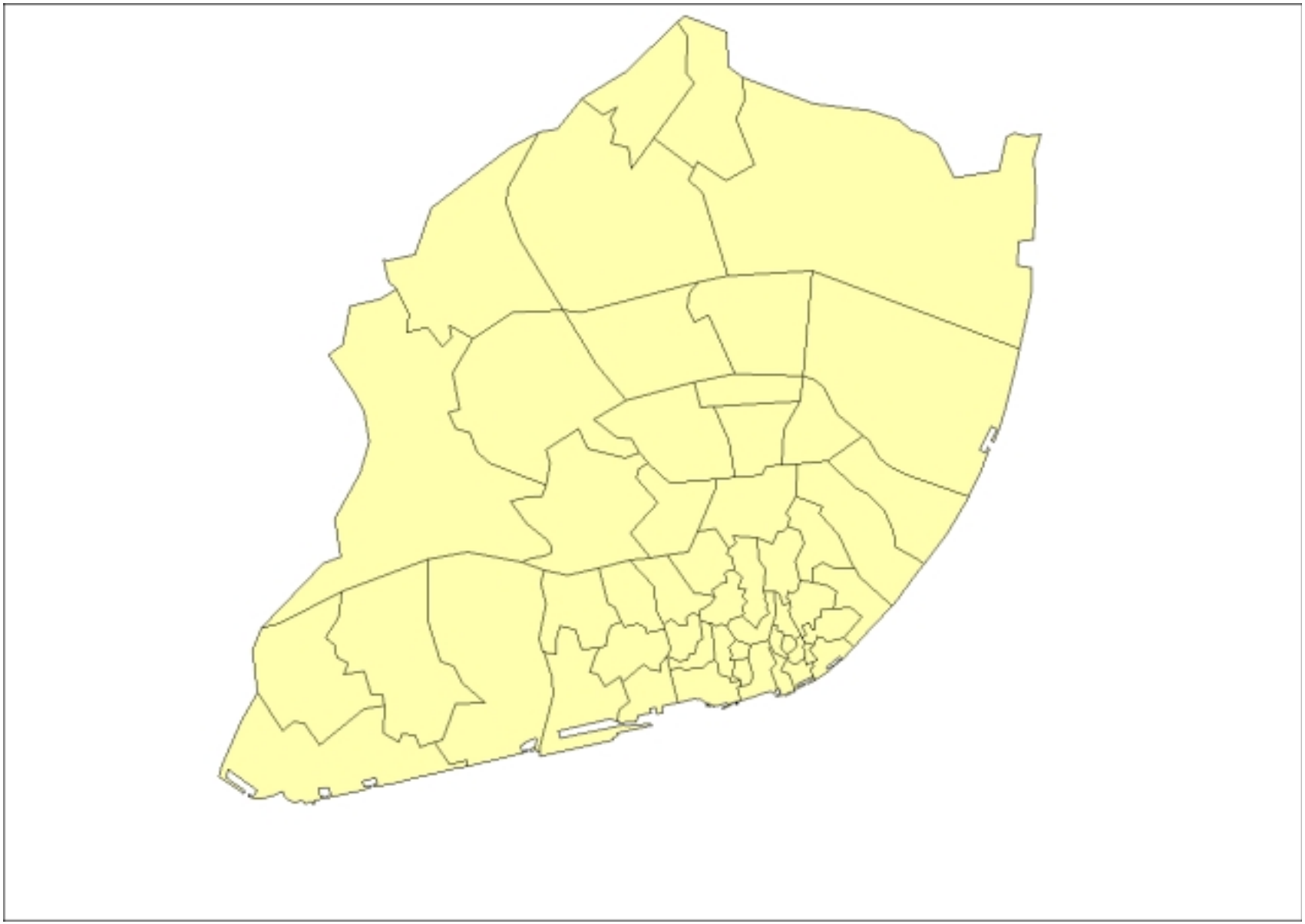


Figura H.4: Planta de Lisboa considerando as freguesias da cidade e as suas características.

Apresentam-se ainda neste anexo nas páginas seguintes, a sobreposição de camadas associadas a bases de dados, realizada pelo GIS, com a informação que o utilizador fornece ao *MapInfo* e informação simulada pela aplicação.







Anexo I – Recolha de Dados

Para que a estimativa de tráfego seja o mais fiel e aceitável possível, é necessário fazer um estudo da população alvo para a rede em questão. Para tal, a caracterização da população foi feita com base estatística, recorrendo quer a informação disponível na *internet* ou em formato digital, quer em folhetos e mapas, para aplicação às cidades de Lisboa e Porto.

I.1 Dados Relativos à Cidade de Lisboa

Para a execução deste trabalho foi necessário considerar diversos tipos caracterizações de uma população, tendo por isso recorrido-se a diferentes bases de dados, neste caso às do Instituto Nacional de Estatística [INEs01], Câmara Municipal de Lisboa [CMLi02] e Direcção Geral de Impostos [DGIm02]. Os parâmetros mais relevantes para a população em estudo, em termos da sua caracterização para posterior utilização dos serviços disponibilizados em UMTS, foram a população residente por freguesia, assim como as suas idades, escolaridade e rendimentos. Com este tipo de informação e recorrendo ao *software MapInfo*, foi possível parametrizar a população e especular sobre os eventuais serviços a serem utilizados, observando a sua distribuição espacial.

Os valores recolhidos em [INEs01] relativos aos Censos2001 são denominados de provisórios, visto haverem algumas categorias de classificação que ainda não se encontravam completas, após o primeiro tratamento de dados. Contudo, estes valores consideram-se actualizados e fidedignos. As classificações que se consideraram relevantes para este trabalho foram as da população residente, área da freguesia e número de edifícios. Com estes parâmetros, foi possível calcular a densidade populacional. Esta informação encontra-se na Tabela I.1.

A informação recolhida em [DGIm01] é referente aos impostos colectados em 1999, sendo estes os valores mais recentes disponibilizados ao público. Consideram-se estes valores muito próximos dos actuais, e por isso bastante precisos. Contudo, visto esta informação estar apenas disponibilizada por bairro fiscal, tal irá afectar de algum erro o valor de imposto pago por cada freguesia, visto ser dado pela média das freguesias associadas um dado bairro fiscal em questão. Deste modo, encontram-se tabelados valores de rendimento colectável por agregado iguais para freguesias distintas (pertencentes ao mesmo bairro fiscal).

Dos bairros fiscais considerados fazem parte as seguintes freguesias:

- 1º bairro fiscal: Castelo, Graça, Penha de França, S. Vicente de Fora, Stª. Engrácia, Santiago, Stº Estêvão, S. Cristóvão e S. Lourenço, S. Miguel, Socorro e S. João.
- 2º bairro fiscal: Coração de Jesus, Lapa, Mercês, Stª Isabel, S. Mamede e Stº Condestável.
- 3º bairro fiscal: Encarnação, Madalena, Mártires, Pena, Sacramento, Stª Catarina, Stª Justa, S. José, S. Nicolau, S. Paulo e Sé.
- 4º bairro fiscal: Anjos, S. Jorge de Arroios.
- 5º bairro fiscal: Alto do Pina, S. João de Deus.
- 6º bairro fiscal: Alcântara, Prazeres e Santos-o-Velho.
- 7º bairro fiscal: Ajuda, Stª Maria de Belém, S. Francisco Xavier.
- 8º bairro fiscal: Alvalade, Campo Grande, Nossa Srª de Fátima, S, João de Brito.
- 9º bairro fiscal: Beato e Marvila.
- 10º bairro fiscal: Campolide, S. Sebastião de Pedreira.
- 11º bairro fiscal: Ameixoeira, Charneca e Lumiar.

Tabela I.1: Parâmetros característicos da População de Lisboa (extraído de [INEs01] e [DGIm01]).

Freguesia	População Residente [hab]	Bairro Fiscal	Agregados/ Bairro fiscal	Rendimento Colectável/ (agregado*ano)	Idade [%]			Escolaridade [%]			
					0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.
Ajuda	17 971	7	14 478	67 355,5	22,2	60	17,8	11,42	56,82	19,24	12,51
Alcântara	14 443	6	11 150	99 475,0	18	58,8	23,3	9,40	49,38	21,03	20,19
Alto do Pina	10 253	5	9 930	223 128,9	24,3	57,6	17,5	8,93	39,78	19,53	31,76
Alvalade	9 620	8	22 624	493 831,3	15,1	56,2	28,7	6,07	32,99	22,97	37,96
Ameixoeira	9 650	11	20 792	21 318,7	28,6	63,3	8,5	12,18	46,46	18,66	22,70
Anjos	9 738	4	13 117	152 145,0	16,9	57,6	25,5	9,48	46,21	21,83	22,48
Beato	14 241	9	19 535	87 180,4	22,3	60,9	16,8	10,74	53,35	20,96	14,95
Benfica	51 368	13	18 384	15 571,5	22,8	63,8	13,3	7,01	35,06	16,83	41,10
Campo Grande	11 148	8	22 624	493 831,3	18,4	54,3	27,3	8,75	43,34	19,80	28,12
Campolide	15 928	10	9 245	17 610,6	22,1	58,7	19,2	12,04	50,14	20,25	17,56
Carnide	21 097	12	20 038	21 721,9	29,6	60,1	10,4	13,72	44,69	15,06	26,53
Castelo	587	1	23 638	10 682,7	19,4	53,2	27,4	10,90	64,40	15,84	8,86
Charneca	10 509	11	20 792	21 318,7	33,8	58,7	7,5	17,89	61,69	17,40	3,02
Coração de Jesus	4 319	2	21 292	415 086,0	15,9	59,2	25	9,89	42,51	19,01	28,59
Encarnação	3 182	3	9 916	179 618,8	18,3	54,2	27,5	10,87	51,23	20,36	17,54
Graça	6 960	1	23 638	10 682,7	17,8	58,4	23,8	10,37	53,59	19,51	16,52
Lapa	8 671	2	21 292	415 086,0	19,1	56,9	24	9,16	36,80	20,09	33,95
Lumiar	35 585	11	20 792	21 318,6	29,1	61	9,9	9,74	31,54	17,52	41,21
Madalena	380	3	9 916	179 618,8	16	51,9	32,1	7,63	43,16	30,26	18,95
Mártires	341	3	9 916	179 618,8	20,2	48,9	30,9	8,50	42,23	19,65	29,62
Marvila	38 766	9	19 535	493 831,3	32,3	59,5	8,3	15,35	57,60	19,86	7,19
Mercês	4 093	2	21 292	415 086,0	18,5	56,2	25,3	14,54	57,78	23,94	3,74
Nossa Sr. Fátima	15 291	8	22 624	493 831,3	17,4	58,7	23,9	8,21	34,82	19,42	37,56
Pena	6 068	3	9 916	179 618,8	17,8	57,5	24,7	13,17	49,59	19,50	17,75
Penha de França	13 722	1	23 638	10 682,7	18,5	56,6	24,9	10,28	48,86	21,95	18,92
Prazeres	8 492	6	11 150	99 475,0	17,7	59,6	22,7	10,88	44,19	18,94	25,99

Freguesia	População Residente [hab]	Bairro Fiscal	Agregados/ Bairro fiscal	Rendimento Colectável/ (agregado*ano)	Idade [%]			Escolaridade [%]			
					0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.
Sacramento	880	3	9 916	179 618,8	17,4	57,6	25	10,68	47,27	18,18	23,86
Sta. Catarina	4 081	3	9 916	179 618,8	20	55,4	24,6	11,52	51,85	20,61	16,03
Sta. Engrácia	5 850	1	23 638	10 682,7	18,6	59,4	22	10,10	52,48	21,37	16,05
Sta. Isabel	7 270	2	21 292	415 086,0	18,6	58,2	23,2	9,05	38,39	21,44	31,11
Sta. Justa	700	3	9 916	179 618,8	18,1	53,9	28	10,29	59,86	18,57	11,29
Sta. Mª de Belém	9 752	7	14 478	67 355,5	20,6	56,4	23	9,56	43,22	20,72	26,50
Sta. Mª dos Olivais	46 410	14	19 389	13 313,3	21,1	65,2	13,8	11,40	50,07	20,23	18,30
Santiago	857	1	23 638	10 682,7	17,3	58,8	23,9	10,27	51,93	20,77	17,04
St. Condestável	17 553	2	21 292	415 086,0	19,6	57,4	23	10,32	43,50	22,65	23,53
St. Estêvão	2 047	1	23 638	10 682,7	17,7	56,5	25,7	12,90	60,77	16,17	10,16
Santos-o-Velho	4 013	6	11 150	99 475,0	18,6	56,8	24,6	11,96	50,09	18,69	19,26
S. Cristóvão e S.Lourenço	1 612	1	23 638	10 682,7	18,7	57,7	23,7	11,35	57,51	18,67	12,47
S. Domingos de Benfica	33 678	12	20 038	21 721,9	22,7	62,9	14,4	7,13	34,71	19,71	38,46
S. Francisco Xavier	8 100	7	14 478	67 355,5	22,8	62,1	15,1	8,09	28,67	19,43	43,81
S. João	17 073	1	23 638	10 682,7	20,1	59,3	20,5	10,44	51,09	21,90	16,58
S. João de Brito	13 449	8	22 624	493 831,3	17,6	57,4	25	8,99	36,30	21,61	33,10
S. João de Deus	10 782	5	9 930	223 128,9	15,8	54,1	30,1	6,70	31,91	22,28	39,11
S. Jorge de Arroios	17 403	4	13 117	152 145,0	16,4	56,6	26,9	8,67	40,22	22,36	28,75
S. José	3 279	3	9 916	179 618,8	17	57,4	25,6	12,11	49,83	20,46	17,60
S. Mamede	6 004	2	21 292	415 086,0	18,1	56,4	25,8	8,68	36,01	19,59	35,73
S. Miguel	1 777	1	23 638	10 682,7	19,5	61	19,5	15,48	66,85	11,54	6,13
S. Nicolau	1 777	3	9 916	179 618,8	14,3	55,7	30	10,98	51,66	22,81	14,55
S. Paulo	3 521	3	9 916	179 618,8	19,2	58,4	22,5	10,82	55,78	19,26	14,14
S. Sebastião da Pedreira	5 871	10	9 245	17 610,6	17,1	56,1	26,6	8,55	31,63	19,18	40,64
S. Vicente de Fora	4 358	1	23 638	10 682,7	17,8	59,1	23,1	10,88	57,60	17,42	14,11
Sé	1 160	3	9 916	179 618,8	16,7	59,8	23,5	11,12	48,28	20	20,00
Socorro	2 680	1	23 638	10 682,7	18,8	57,9	23,3	15,19	59,81	16	8,36

- 12º bairro fiscal: Carnide e S. Domingos de Benfica.
- 13º bairro fiscal: Benfica.
- 14º bairro fiscal: Stª Maria dos Olivais.

Torna-se agora necessário escalonar cada freguesia em termos dos seus rendimentos colectáveis médios por ano e por agregado, para a sua posterior classificação, estando a representação feita na Figura I.1. Uma vez que estes se encontram entre os 10 682,7 € e os 493 831,3 € , optou-se por classificá-los do seguinte modo:

- baixo: <12 000 €,
- médio:]12 000 ; 16 000] €,
- médio-alto:]16 000 ; 20 000] €,
- alto: >20 000 €.

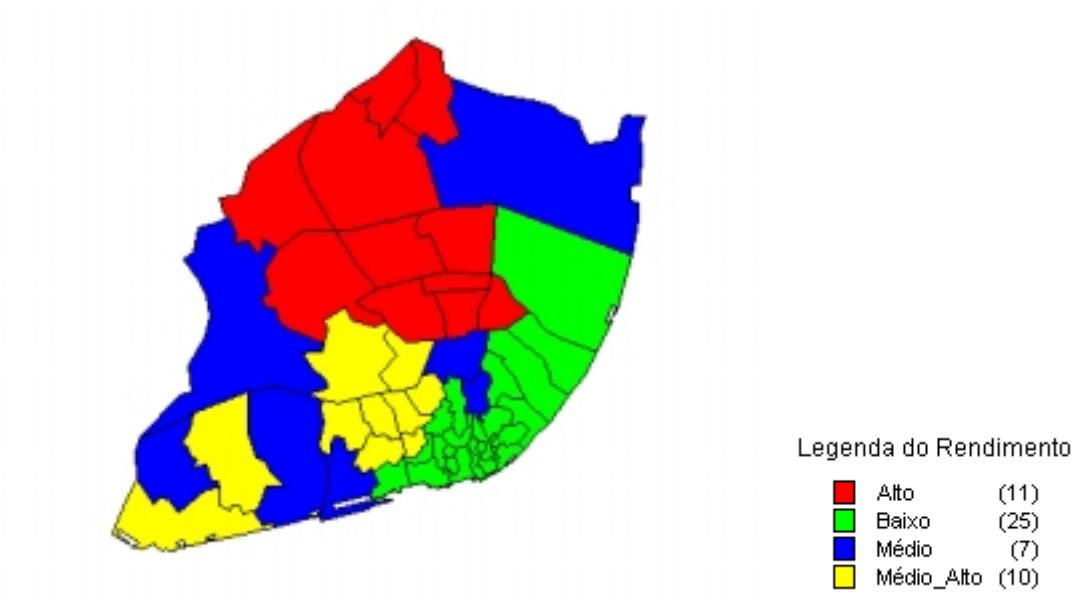


Figura I.1: Distribuição espacial da população na cidade de Lisboa, segundo os rendimentos.

A totalidade da informação a ser inserida no *MapInfo* encontra-se na Tabela I.2. Os parâmetros mais relevantes para a população em estudo, em termos da sua caracterização para posterior utilização dos serviços disponibilizados em UMTS, foram a população residente por freguesia, assim como as suas idades, escolaridade e rendimentos. Com este tipo de informação e recorrendo ao *software MapInfo*, foi possível parametrizar a população e especular sobre os eventuais serviços a serem utilizados, observando a sua distribuição espacial.

Devido à rede UMTS ainda não estar em funcionamento, não existem actualmente dados de tráfego concretos, nos quais se possa basear qualquer critério de dimensionamento celular. Assim, torna-se necessário fazer um pequeno estudo, que poderá apresentar margens de erros significativos, mas que é a única informação possível e disponível de momento para dados de tráfego. Fazendo então um pequeno estudo sobre quais os serviços que a população estará interessada e disposta em utilizar, obtiveram-se os resultados presentes em Tabela I.3, de modo a ser possível o posterior dimensionamento do factor de carga na célula, e das atenuações máximas de propagação permitidas, torna-se necessário identificar os requisitos de cada serviço em termos de débito binário e tipo de comutação para a classe em estudo.

Tabela I.2: Parâmetros característicos finais da População de Lisboa (extraído de [INEs01] e [DGIm01]).

Freguesia	População Residente [hab]	Idade [%]			Escolaridade [%]				Rendimento
		0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.	
Ajuda	17 971	22,2	60	17,8	11,42	56,82	19,24	12,51	Médio-Alto
Alcântara	14 443	18	58,8	23,3	9,40	49,38	21,03	20,19	Médio
Alto do Pina	10 253	24,3	57,6	17,5	8,93	39,78	19,53	31,76	Alto
Alvalade	9 620	15,1	56,2	28,7	6,07	32,99	22,97	37,96	Alto
Ameixoeira	9 650	28,6	63,3	8,5	12,18	46,46	18,66	22,70	Alto
Anjos	9 738	16,9	57,6	25,5	9,48	46,21	21,83	22,48	Médio
Beato	14 241	22,3	60,9	16,8	10,74	53,35	20,96	14,95	Baixo
Benfica	51 368	22,8	63,8	13,3	7,01	35,06	16,83	41,10	Médio
Campo Grande	11 148	18,4	54,3	27,3	8,75	43,34	19,80	28,12	Alto
Campolide	15 928	22,1	58,7	19,2	12,04	50,14	20,25	17,56	Médio-Alto
Carnide	21 097	29,6	60,1	10,4	13,72	44,69	15,06	26,53	Alto
Castelo	587	19,4	53,2	27,4	10,90	64,40	15,84	8,86	Baixo
Charneca	10 509	33,8	58,7	7,5	17,89	61,69	17,40	3,02	Alto
Coração de Jesus	4 319	15,9	59,2	25	9,89	42,51	19,01	28,59	Médio-Alto
Encarnação	3 182	18,3	54,2	27,5	10,87	51,23	20,36	17,54	Baixo
Graça	6 960	17,8	58,4	23,8	10,37	53,59	19,51	16,52	Baixo
Lapa	8 671	19,1	56,9	24	9,16	36,80	20,09	33,95	Médio-Alto
Lumiar	35 585	29,1	61	9,9	9,74	31,54	17,52	41,21	Alto
Madalena	380	16	51,9	32,1	7,63	43,16	30,26	18,95	Baixo
Mártires	341	20,2	48,9	30,9	8,50	42,23	19,65	29,62	Baixo
Marvila	38 766	32,3	59,5	8,3	15,35	57,60	19,86	7,19	Baixo
Mercês	4 093	18,5	56,2	25,3	14,54	57,78	23,94	3,74	Médio-Alto
Nossa Sr. Fátima	15 291	17,4	58,7	23,9	8,21	34,82	19,42	37,56	Alto
Pena	6 068	17,8	57,5	24,7	13,17	49,59	19,50	17,75	Baixo
Penha de França	13 722	18,5	56,6	24,9	10,28	48,86	21,95	18,92	Baixo
Prazeres	8 492	17,7	59,6	22,7	10,88	44,19	18,94	25,99	Médio

Freguesia	População Residente [hab]	Idade [%]			Escolaridade [%]				Rendimento
		0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.	
Sacramento	880	17,4	57,6	25	10,68	47,27	18,18	23,86	Baixo
Sta. Catarina	4 081	20	55,4	24,6	11,52	51,85	20,61	16,03	Baixo
Sta. Engrácia	5 850	18,6	59,4	22	10,10	52,48	21,37	16,05	Baixo
Sta. Isabel	7 270	18,6	58,2	23,2	9,05	38,39	21,44	31,11	Médio-Alto
Sta. Justa	700	18,1	53,9	28	10,29	59,86	18,57	11,29	Baixo
Sta. Mª de Belém	9 752	20,6	56,4	23	9,56	43,22	20,72	26,50	Médio-Alto
Sta. Mª dos Olivais	46 410	21,1	65,2	13,8	11,40	50,07	20,23	18,30	Médio
Santiago	857	17,3	58,8	23,9	10,27	51,93	20,77	17,04	Baixo
St. Condestável	17 553	19,6	57,4	23	10,32	43,50	22,65	23,53	Médio-Alto
St. Estêvão	2 047	17,7	56,5	25,7	12,90	60,77	16,17	10,16	Baixo
Santos-o-Velho	4 013	18,6	56,8	24,6	11,96	50,09	18,69	19,26	Médio
S. Cristóvão e S.Lourenço	1 612	18,7	57,7	23,7	11,35	57,51	18,67	12,47	Baixo
S. Domingos de Benfica	33 678	22,7	62,9	14,4	7,13	34,71	19,71	38,46	Alto
S. Francisco Xavier	8 100	22,8	62,1	15,1	8,09	28,67	19,43	43,81	Médio
S. João	17 073	20,1	59,3	20,5	10,44	51,09	21,90	16,58	Baixo
S. João de Brito	13 449	17,6	57,4	25	8,99	36,30	21,61	33,10	Alto
S. João de Deus	10 782	15,8	54,1	30,1	6,70	31,91	22,28	39,11	Alto
S. Jorge de Arroios	17 403	16,4	56,6	26,9	8,67	40,22	22,36	28,75	Médio
S. José	3 279	17	57,4	25,6	12,11	49,83	20,46	17,60	Baixo
S. Mamede	6 004	18,1	56,4	25,8	8,68	36,01	19,59	35,73	Médio-Alto
S. Miguel	1 777	19,5	61	19,5	15,48	66,85	11,54	6,13	Baixo
S. Nicolau	1 777	14,3	55,7	30	10,98	51,66	22,81	14,55	Baixo
S. Paulo	3 521	19,2	58,4	22,5	10,82	55,78	19,26	14,14	Baixo
S. Sebastião da Pedreira	5 871	17,1	56,1	26,6	8,55	31,63	19,18	40,64	Médio-Alto
S. Vicente de Fora	4 358	17,8	59,1	23,1	10,88	57,60	17,42	14,11	Baixo
Sé	1 160	16,7	59,8	23,5	11,12	48,28	20	20,00	Baixo
Socorro	2 680	18,8	57,9	23,3	15,19	59,81	16	8,36	Baixo

Com as aplicações escolhidas e apresentadas na Tabela I.3, é necessário atribuir-lhes pesos, correspondentes às probabilidades da sua utilização. As Tabela I.4a, Tabela I.5a e Tabela I.6a são referentes à classificação da percentagem de utilização dos serviços UMTS segundo a idade, escolaridade e rendimentos, respectivamente.

Tabela I.3: Aplicações e serviços considerados para o estudo (extraído de [FSCo02]).

Tipo de Informação	**Classe de Serviço**	**Serviço**	**Aplicação**	**Débito [kps]**	**Tipo de Comutação**
Som	*conversational*	telefonia	privado	12,2	CS
	streaming	*streaming audio*	*audio-on-demand*	64	PS
Vídeo e som	*conversational*	video-telefonia	privado	64	CS
		video-conferência	privado *M-commerce*	64	PS
	streaming	*streaming video*	*video-on-demand*	64	PS
Dados	*conversational*	não restricto	jogos interactivos	144	CS
	streaming	*streaming data*	FTP	144	PS
	background	mensagens	correio electrónico	64	PS
		não restricto	*download* de ficheiros	384	PS
		distribuição de doc.	jornal electrónico	384	PS
Multimédia	*interactive*	comunicação multimédia	*web-browsing*	64	PS
			chat	144	
			armazenamento de ficheiros	384	
		localização geográfica	informação turística localização pessoal assistência em viagem emergências	64	PS
	background	mensagens	MMS	64	PS

Tabela I.4a: Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo a idade.

Aplicações	**Idade**		
	< 20	20-64	> 64
privado (voz)	50	60	90
audio-on-demand	10	2	0
privado (video-telf)	5	5	1
privado (video-conf)	0	5	0
M-commerce	0	3	0
video-on-demand	3	2	0
web-browsing	5	10	0
chat	10	3	0
armazenamento de ficheiros	0	5	0
informação turística	0	5	1
localização pessoal	0	3	0
assistência em viagem	1	1	1
emergências	1	1	1
MMS	15	5	0
jogos interactivos	5	2	0
FTP	2	2	0
correio electrónico	5	5	1
download de ficheiros	0	2	0
jornal electrónico	2	5	5
$\sum_i \text{prob}_i$	114	126	100

Tabela I.4b: Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo a idade.

Ritmo[kbps] / Comutação	**Idade**		
	< 20	20-64	> 64
12,2 - (CS)	50	60	90
64 - (CS)	5	5	1
64 - (PS)	40	42	4
144 - (CS)	5	2	0
144 - (PS)	12	5	0
384 - (PS)	2	12	5
$\sum_i \text{prob}_i$	114	126	100

Tabela I.5a: Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo escolaridade.

Aplicações	**Escolaridade**			
	Sem	Obrigatório	Secundário	Superior
privado (voz)	95	85	70	60
audio-on-demand	0	3	5	2
privado (video-telf)	1	1	2	5
privado (video-conf)	0	0	1	5
M-commerce	0	0	2	5
video-on-demand	0	0	2	1
web-browsing	0	1	5	10
chat	0	1	5	0
armazenamento de ficheiros	0	0	0	2
informação turística	0	0	1	2
localização pessoal	0	0	1	2
assistência em viagem	0	0	1	1
emergências	1	1	1	1
MMS	0	7	5	5
jogos interactivos	3	5	5	2
FTP	0	0	0	5
correio electrónico	0	1	2	5
download de ficheiros	0	0	0	2
jornal electrónico	0	1	5	5
$\sum_i prob_i$	100	106	113	120

Tabela I.5b: Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo escolaridade.

Ritmo[kbps] / Comutação	**Escolaridade**			
	Sem	Obrigatório	Secundário	Superior
12,2 - (CS)	95	85	70	60
64 - (CS)	1	1	2	5
64 - (PS)	1	13	26	39
144 - (CS)	3	5	5	2
144 - (PS)	0	1	5	5
384 - (PS)	0	1	5	9
$\sum_i prob_i$	100	106	113	120

Tabela I.6a: Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo os rendimentos.

Aplicações	**Rendimento**			
	Baixo	Médio	Médio-Alto	Alto
privado (voz)	95	90	75	50
audio-on-demand	0	0	2	10
privado (video-telf)	0	1	5	10
privado (video-conf)	0	0	0	5
M-commerce	0	0	2	5
video-on-demand	0	0	1	10
web-browsing	0	1	2	10
chat	1	2	5	2
armazenamento de ficheiros	0	0	0	1
informação turística	0	0	2	5
localização pessoal	0	0	1	2
assistência em viagem	0	1	1	2
emergências	0	1	1	1
MMS	3	5	7	10
jogos interactivos	1	3	5	8
FTP	0	0	0	2
correio electrónico	0	0	2	8
download de ficheiros	0	0	0	2
jornal electrónico	0	0	2	5
$\sum_i prob_i$	100	104	113	148

Tabela I.6b: Percentagem de utilização de serviços UMTS, segundo os rendimentos.

Ritmo[kbps] / Comutação	**Rendimento**			
	Baixo	Médio	Médio-alto	Alto
12,2 - (CS)	95	90	75	50
64 - (CS)	0	1	5	10
64 - (PS)	3	8	21	68
144 - (CS)	1	3	5	8
144 - (PS)	1	2	5	4
384 - (PS)	0	0	2	8
$\sum_i prob_i$	100	104	113	148

Note-se que as probabilidades são em alguns casos superiores a 100% devido à possibilidade de simultaneidade de utilização de serviços em UMTS. É atribuída uma taxa de utilização de 100% às classes que à partida terão menos recursos ou probabilidade de utilizarem o sistema, tal como baixos rendimentos, idade inferior a 20 anos e população sem escolaridade

Note-se ainda que a distribuição da percentagem da população por freguesia com idade inferior a 20 anos, entre 20 e 64 anos e superior 64 anos, se encontra nas Figura I.2, Figura I.3 e Figura I.4, respectivamente; e ainda que a distribuição da percentagem da população por freguesia segundo a escolaridade se encontra nas Figuras I.5, Figura I.6, Figura I.7 e FiguraI.8, respectivamente.

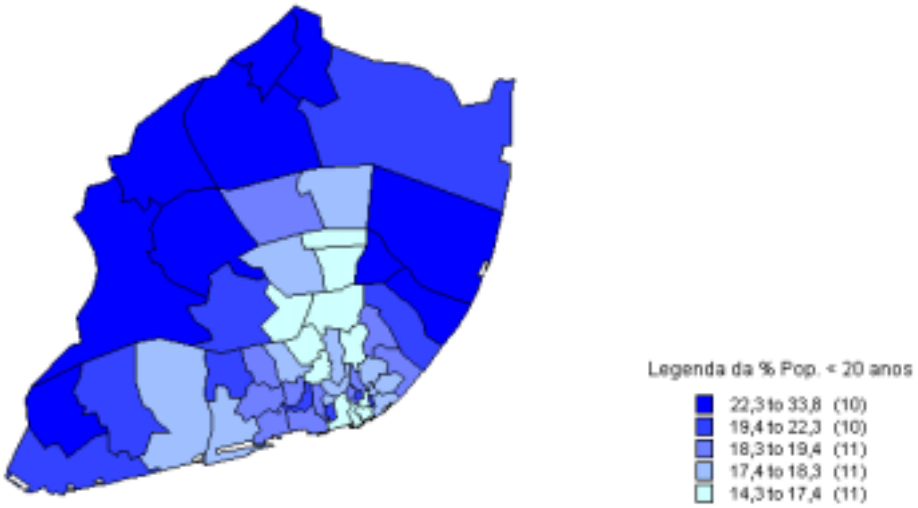


Figura I.2: Percentagem da População com idade inferior a 20 anos, por freguesia.

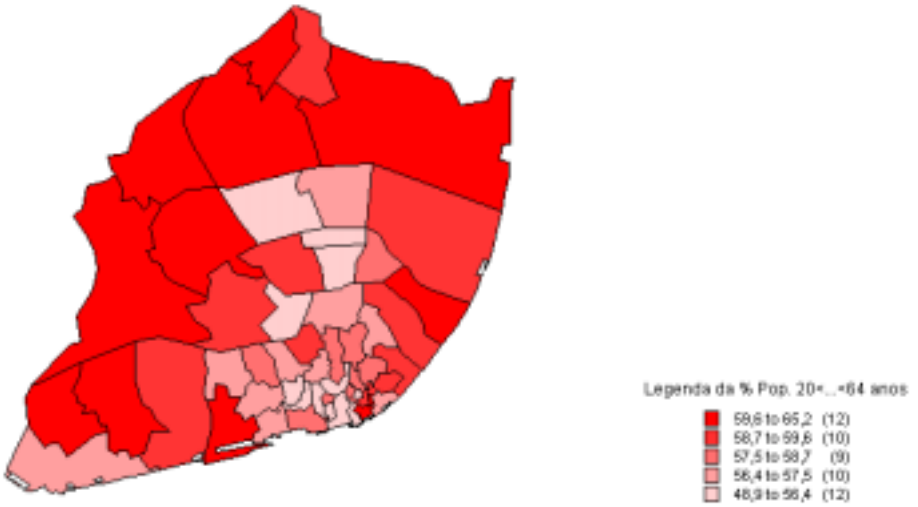


Figura I.3: Percentagem da População com idade entre 20 e 64 anos, por freguesia.

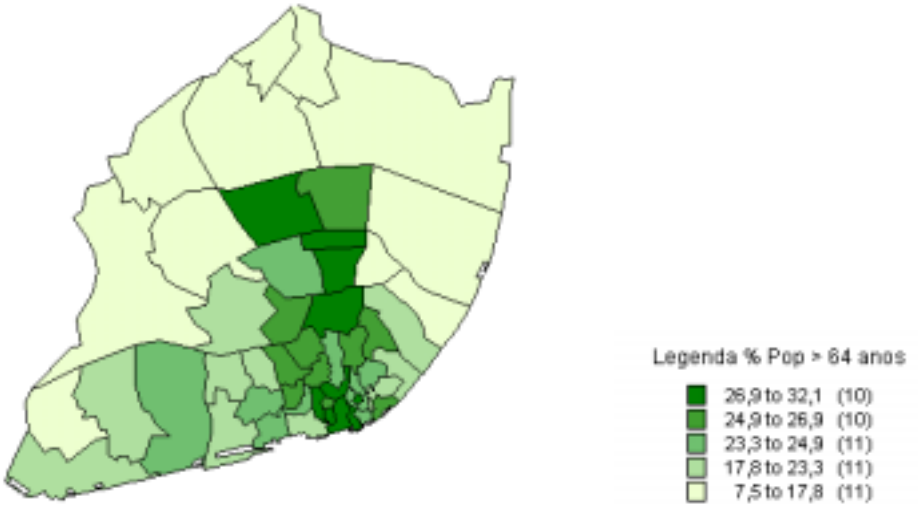


Figura I.4: Percentagem da População com idade superior a 64 anos, por freguesia.

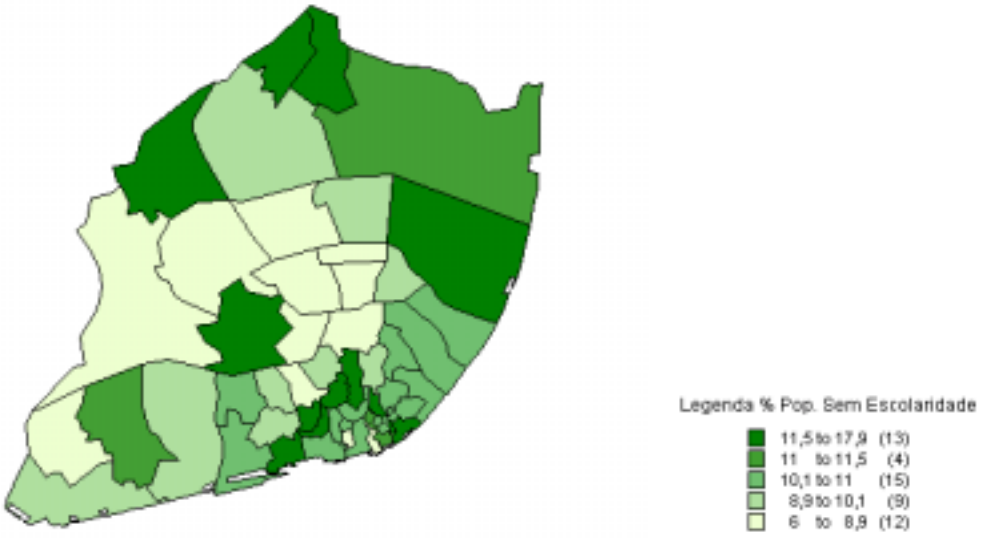


Figura I.5: Percentagem da População sem escolaridade, por freguesia.

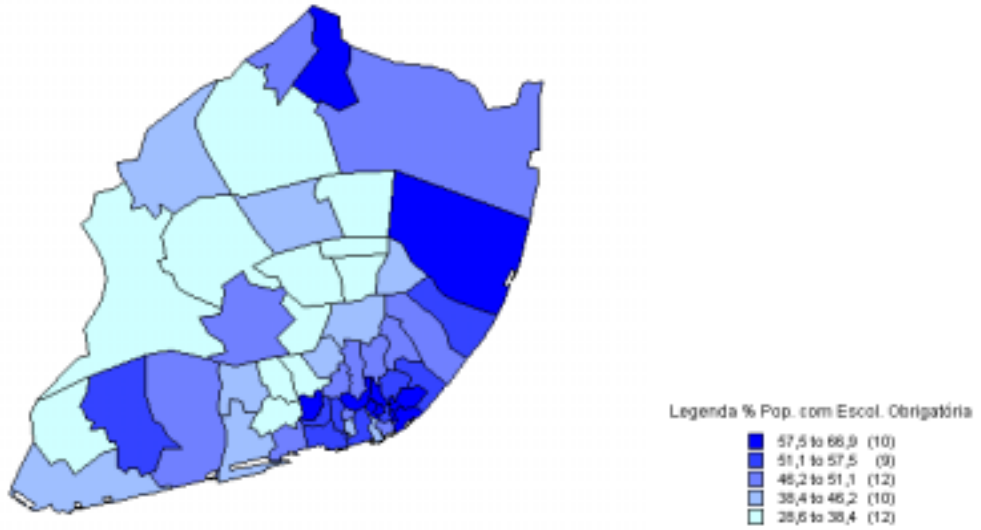


Figura I.6: Percentagem da População com a escolaridade obrigatória, por freguesia.

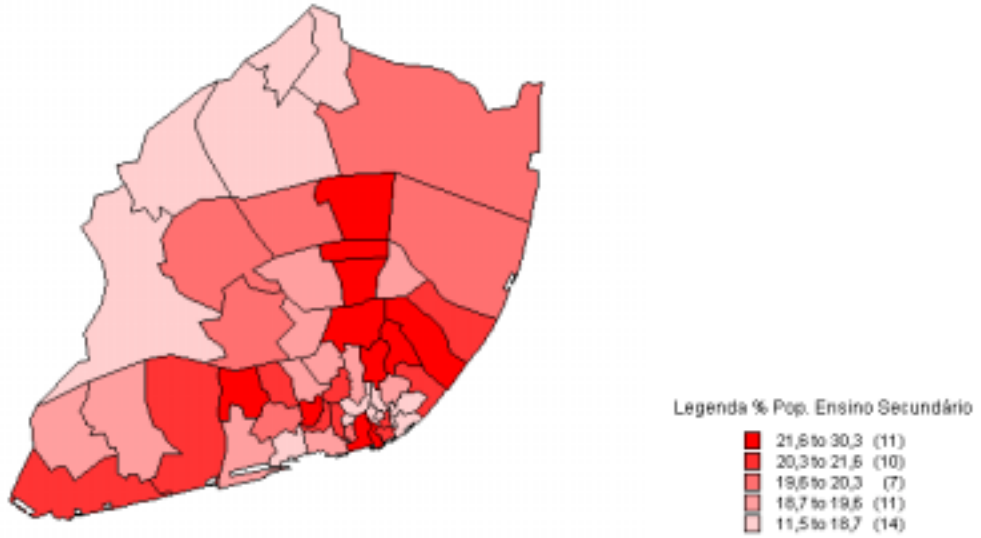


Figura I.7: Percentagem da População com o ensino secundário, por freguesia.

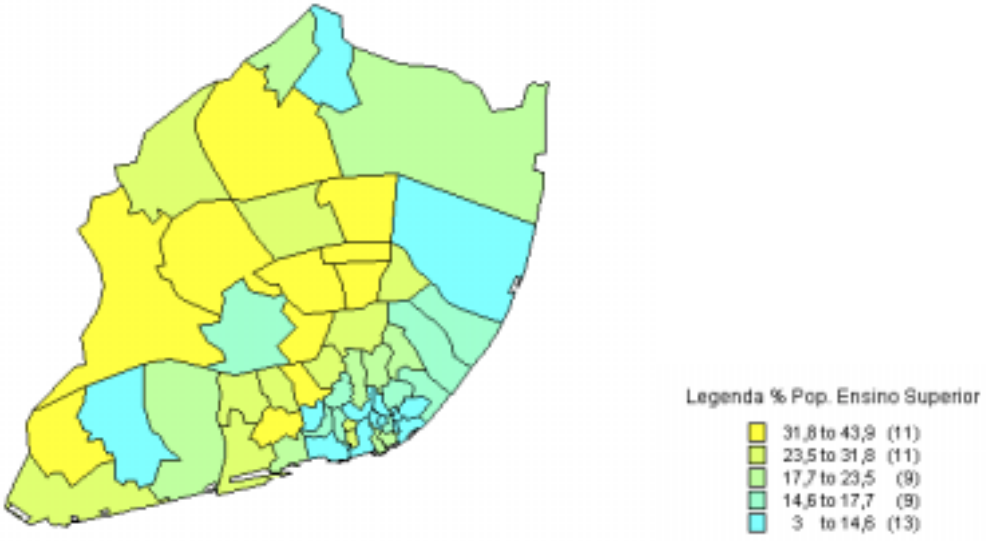


Figura I.8: Percentagem da População com o ensino superior, por freguesia.

Verifica-se que a grande maioria da população activa reside na periferia da grande cidade (parte velha), assim como a população mais jovem, acompanhando as respectivas famílias. Será de esperar que a maioria do tráfego seja gerado por este tipo de populações.

Os mapas para a posterior distribuição espacial da população segundo os seus parâmetros classificativos, recolhidos em [CMLi02], encontravam-se organizados em 33 subcategorias distintas, classificativas das distintas áreas existentes na cidade de Lisboa, segundo a Câmara Municipal de Lisboa, tal como se mostra na Figura I.9.

Figura I.9: Planta da cidade de Lisboa (extraído de [CMLi02]).

Note-se que a indicação entre parêntesis da Figura I.10 que se encontra a seguir a cada descrição da subcategoria indica o número de zonas existentes na cidade, pertencentes a essa mesma subcategoria.

Classificação das zonas de Lisboa

AREA CANAL FERROVIARIA EXISTENTE	(17)
AREA CANAL FERROVIARIA PROPOSTA	(8)
AREA CANAL RODOVIARIA EXISTENTE	(17)
AREA CANAL RODOVIARIA PROPOSTA	(8)
AREA CANAL RODOVIARIA PROPOSTA COM PROJECTO	(10)
AREA CANAL TECNICA	(8)
AREA CONSOLIDADA DE EDIFICIOS DE UTILIZACAO COLECTIVA HABITACIONAL	(84)
AREA CONSOLIDADA DE EDIFICIOS DE UTILIZACAO COLECTIVA MISTA	(22)
AREA CONSOLIDADA DE EDIFICIOS DE UTILIZACAO COLECTIVA TERCIARIA	(18)
AREA CONSOLIDADA DE MORADIAS	(22)
AREA CONSOLIDADA INDUSTRIAL	(16)
AREA DE EQUIPAMENTOS E SERVICOS PUBLICOS	(143)
AREA DE ESTRUTURACAO URBANISTICA HABITACIONAL	(24)
AREA DE ESTRUTURACAO URBANISTICA MISTA	(2)
AREA DE ESTRUTURACAO URBANISTICA TERCIARIA	(7)
AREA DE INVESTIGACAO E TECNOLOGIA	(4)
AREA DE RECONVERSAO URBANISTICA HABITACIONAL	(29)
AREA DE RECONVERSAO URBANISTICA MISTA	(22)
AREA DE USOS ESPECIAIS	(76)
AREA HISTORICA DA BAIXA	(6)
AREA HISTORICA HABITACIONAL	(48)
AREA VERDE DE PRODUCAO	(18)
AREA VERDE DE PROTECAO	(48)
AREA VERDE DE RECREIO	(90)
QUINTAS A RECONVERTER	(6)
QUINTAS E JARDINS HISTORICOS	(35)
QUINTAS INTEGRADAS NAS AREAS HISTORICAS	(6)
REDE RODOVIARIA FUNDAMENTAL - NO PROPOSTO DE 1o NIVEL	(10)
REDE RODOVIARIA FUNDAMENTAL - NO PROPOSTO DE 2o NIVEL	(19)
REDE RODOVIARIA FUNDAMENTAL - NO PROPOSTO DE 3o NIVEL	(11)
REDE RODOVIARIA FUNDAMENTAL - VIA PRINCIPAL EXISTENTE	(45)
REDE RODOVIARIA FUNDAMENTAL - VIA PRINCIPAL PROPOSTA	(19)
ZONA DE INTERVENCAO DA EXPO 98	(1)

Figura I.10: Subcategorias classificativas da cidade de Lisboa (extraído de [CMLi02]).

Visto o número de subcategorias classificativas da cidade ser muito elevado, e ser possível agrupá-las devido às suas características comuns relevantes para a questão em estudo, procedeu-se à avaliação das mesmas, tendo-se concluído que as áreas ainda em edificação brevemente estarão concluídas e passarão a ser semelhantes às já edificadas. A rede rodoviária e as vias de comunicação apresentam também as mesmas características. Considerou-se que ainda que as quintas e áreas verdes possuem a mesma caracterização populacional, e finalmente, que a área histórica se equipara à área de edifícios de utilização terciária. A nova classificação simplificada encontra-se na Figura I.11.

Note-se que a indicação entre parêntesis na Figura I.11 que se encontra a seguir a cada descrição da subcategoria indica o número de zonas existentes na cidade, pertencentes a essa mesma subcategoria.

Para cada um dos parâmetros considerados irá encontrar-se uma camada no conjunto da informação a sobrepor no mapa da cidade em questão, neste caso Lisboa. Novamente, por estudo efectuado a uma pequena amostra da população, sujeito a grandes margens de erros, apresenta-se na Tabela I.7 a percentagem de utilização de serviços UMTS, por classe urbana.

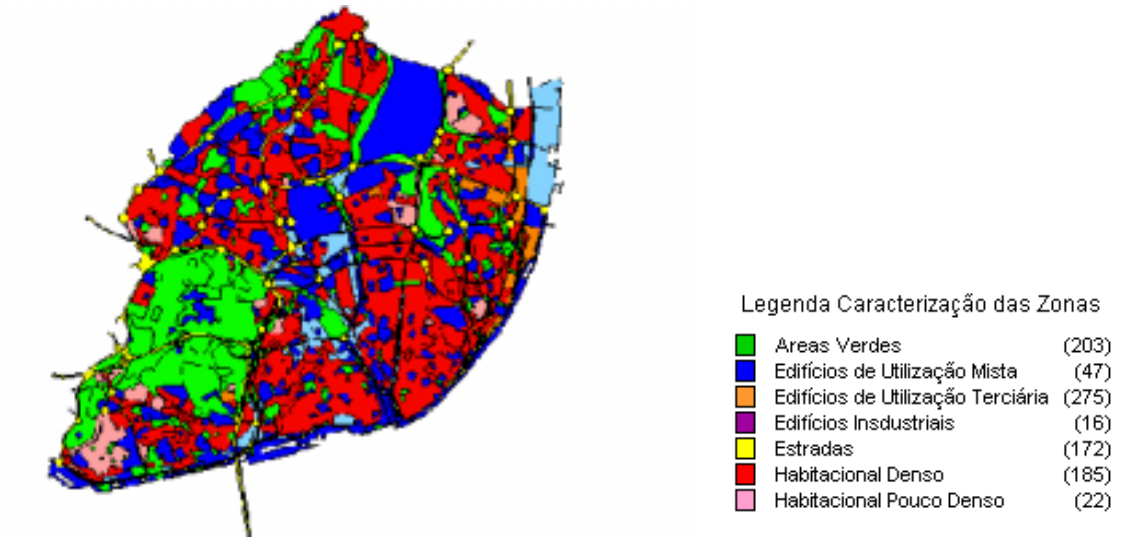


Figura I.11: Planta da cidade de Lisboa e as novas subcategorias de classificação da cidade.

Tabela I.7: Percentagem de utilização de serviços UMTS, por classe urbana.

Classe Urbana	Potenciais Utilizadores [%]
Habitacional Denso	30
Edifícios de Utilização Mista	25
Edifícios de Utilização Terciária	20
Habitacional Pouco Denso	15
Edifícios Industriais	5
Estradas	4
Zonas Verdes	1

Agora é já possível conciliar toda a informação necessária para uma primeira estimativa do tráfego e respectivo planeamento celular.

I.2 Dados Relativos à Cidade do Porto

Analogamente ao procedimento efectuado para a recolha dos dados relativos à cidade de Lisboa, recorreu-se às bases de dados de [INEs01], [DGIm02] e [CMPo01] para a caracterização da população do Porto.

Os valores relativos à população residente, à sua idade, escolaridade e rendimentos com a totalidade da informação a ser inserida no *MapInfo* encontra-se na Tabela I.8.

Os bairros fiscais considerados para a classificação das freguesias segundos os rendimentos foi a seguinte:

- 1º bairro fiscal: Campanhã.
- 2º bairro fiscal: Bonfim e Sé.
- 3º bairro fiscal: Paranhos.
- 4º bairro fiscal: Santo Ildefonso.
- 5º bairro fiscal: Cedofeita e Vitória.

- 6º bairro fiscal: Miragaia, S. Nicolau, Foz do Douro, Lordelo do Ouro, Massarelos e Nevogilde.
- 7º bairro fiscal: Aldoar e Ramalde.

Segundo a classificação apresentada para os rendimentos no Anexo I, tem-se a Figura I.12 representando da distribuição espacial da população da cidade do Porto, segundo os rendimentos.

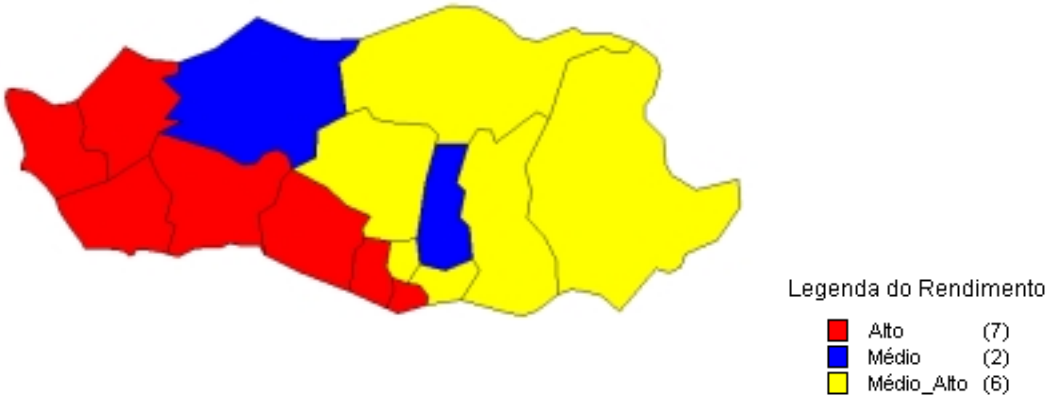


Figura I.12: Distribuição espacial da população na cidade do Porto, segundo os rendimentos.

Note-se que os valores considerados para as percentagens de utilização dos serviços segundo os rendimentos, escolaridade e idade são as que se encontram nas Tabela I.4, Tabela I.5 e Tabela I.6, assim como para a percentagem de utilização de serviços UMTS por classe urbana da Tabela I.7.

Tabela I.8: Parâmetros característicos finais da População do Porto (extraído de [INEs01] e [DGIm01]).

Freguesia	População Residente [hab]	Idade [%]			Escolaridade [%]				Rendimento
		0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.	
Aldoar	13 957	0,30	0,54	0,16	0,09	0,50	0,16	0,24	Alto
Bonfim	28 578	0,24	0,52	0,23	0,09	0,47	0,19	0,25	Médio-Alto
Campanhã	38 757	0,29	0,52	0,18	0,11	0,63	0,16	0,10	Médio-Alto
Cedofeita	24 784	0,25	0,53	0,22	0,08	0,42	0,19	0,31	Médio-Alto
Foz do Douro	12 235	0,27	0,56	0,17	0,09	0,41	0,17	0,33	Alto
Lordelo do Douro	22 212	0,29	0,54	0,17	0,10	0,50	0,17	0,24	Alto
Massarelos	7 756	0,26	0,54	0,20	0,08	0,45	0,18	0,29	Alto
Miragaia	2 810	0,25	0,52	0,23	0,11	0,59	0,16	0,14	Alto
Nevogilde	5 257	0,29	0,54	0,16	0,08	0,31	0,18	0,43	Alto
Paranhos	58 686	0,27	0,54	0,19	0,09	0,48	0,18	0,25	Médio-Alto
Ramalde	37 647	0,28	0,55	0,17	0,10	0,48	0,18	0,25	Médio
Santo Ildefonso	10 044	0,22	0,50	0,28	0,09	0,51	0,19	0,20	Médio
S. Nicolau	2 937	0,29	0,49	0,21	0,11	0,71	0,13	0,05	Alto
Sé	4 751	0,42	0,49	0,09	0,13	0,64	0,16	0,07	Médio-Alto
Vitória	2 720	0,24	0,48	0,28	0,12	0,64	0,16	0,08	Médio-Alto

Anexo J – Aplicação *Map UMTS*

Neste anexo explica-se um pouco a estrutura dos menus da aplicação *Map UMTS* desenvolvida, assim como os seus parâmetros e funcionamento apresentado no Capítulo 3.

Pressionando duas vezes sobre a aplicação *Map UMTS*, é aberto o *software MapInfo* e é apresentado o menu da Figura J.1.

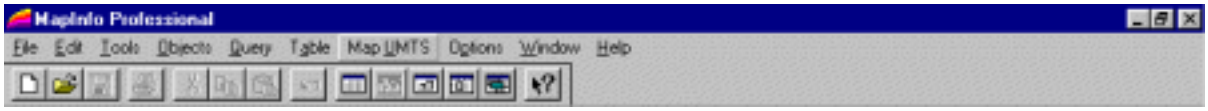


Figura J.1: Menu de apresentação da aplicação *Map UMTS*.

A Figura J.2 mostra os diferentes items da aplicação *Map UMTS*, sendo eles *Open*, *Close*, *Settings*, *Definitions*, *About Map UMTS* e *Exit*.

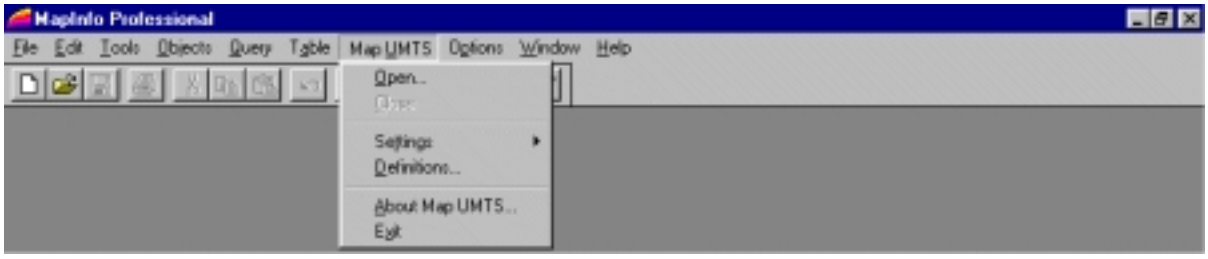


Figura J.2: Items do menu da aplicação *Map UMTS*.

Adicionalmente fica disponível para o utilizador uma barra de ferramentas que permite efectuar acções sobre a planta da cidade em estudo. Esta barra de ferramentas encontra-se representada na Figura J.3.

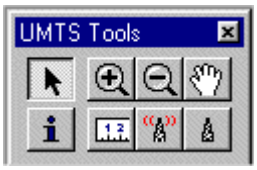


Figura J.3: Barra de ferramentas da aplicação *Map UMTS*.

Cada um dos botões da barra de ferramentas tem uma funcionalidade, sendo estas brevemente descritas na Tabela J.1.

Tabela J.1: Funcionalidades dos botões da barra de ferramentas.

Botão	Descrição
	Permite seleccionar diferentes regiões e objectos, e obter informação genérica sobre a região apresentada.
	Permite fazer ampliações nas zonas visualizadas dos mapas. Pressionando o botão do lado esquerdo do rato, amplia a zona demarcada, para uma nova escala.
	Permite fazer reduções nas zonas visualizadas dos mapas. Pressionando o botão do lado esquerdo do rato, reduz a zona demarcada, para uma nova escala.
	Permite arrastar o mapa na janela seleccionada, mantendo a mesma escala, de modo a deslocar apenas a zona visualizada.
	Permite obter a informação total da zona ou objecto sobre a qual se coloca o cursor, ou seja, a informação sobre todas as camadas, simultaneamente.
	Permite medir distâncias entre dois pontos. Pressionando uma vez o botão do lado esquerdo do rato selecciona-se o ponto de início da medição, e uma segunda vez, selecciona-se o ponto de fim da medida.
	Permite colocar uma BS no ponto à escolha, gerando a partir desta uma rede hexagonal uniforme para o resto da cidade, e calcula os raios.
	Após a geração da rede hexagonal, permite a colocação de uma nova BS na planta da cidade, e calcula o raio.

Para inicializar o funcionamento da aplicação, é necessário introduzir informação sobre a caracterização da população em causa, representada no menu da Figura J.4 e na tabela da Figura J.5, assim como do tipo de zona que constitui a cidade em questão para a qual se pretende fazer o dimensionamento celular no menu da Figura J.6 e na tabela da Figura J.7.

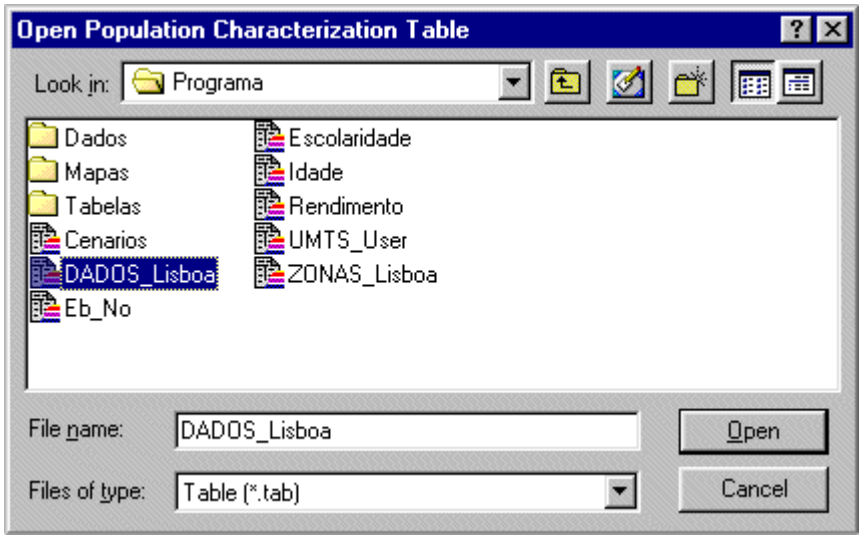


Figura J.4: Selecção da Tabela para a caracterização da população.

MapInfo Professional - [DADOS_Lisboa Browser]

File Edit Tools Objects Query Table Browse Options Window Help

Freguesia	População	Menos_20	Entre_20_64	Mais_64	Sem	Obrigatório	Secundário	Superior	Rendimento
AJUDA	17.971	22,2	60	17,8	11,424	66,6249	19,2421	12,509	Médio_Alto
ALCÂNTARA	14.443	18	58,6	23,3	9,39555	49,3803	21,0344	20,1897	Médio
ALTO DO PINA	10.253	24,29	57,6	17,5	8,93397	39,7835	19,526	31,7566	Alto
ALVALADE	9.620	15,1	66,2	28,7	6,07069	32,9938	22,973	37,9626	Alto
AMEIXOEIRA	9.650	28,6	63,3	8,5	12,1762	46,456	18,6632	22,7047	Alto
ANJOS	9.738	16,9	57,6	25,5	9,47833	46,2107	21,832	22,4789	Médio
BEATO	14.241	22,3	60,9	16,8	10,7366	53,353	20,9606	14,9498	Baixo
BENFICA	51.368	22,8	63,8	13,3	7,01409	35,0586	16,8276	41,0995	Médio
CAMPO GRANDE	11.148	18,4	54,3	27,3	8,74596	43,3351	19,7973	28,1216	Alto
CAMPOLIDE	15.928	22,1	58,7	19,2	12,0417	50,1444	20,2536	17,5603	Médio_Alto
CARNIDE	21.097	29,6	60,1	10,4	13,7176	44,6836	15,059	26,5298	Alto
CASTELO	587	19,4	53,2	27,4	10,9029	64,3952	15,8433	8,8586	Baixo
CHARNECA	10.509	33,8	58,7	7,5	17,8894	61,69	17,4041	3,01646	Alto
CORAÇÃO DE JESUS	4.319	15,9	59,2	25	9,88655	42,5098	19,009	28,5846	Médio_Alto
ENCARNAÇÃO	3.182	18,3	54,2	27,5	10,8737	51,2256	20,3646	17,5361	Baixo
GRAÇA	6.960	17,8	58,4	23,8	10,3736	53,592	19,5115	16,523	Baixo
LAPA	8.671	19,1	56,9	24	9,15686	36,8008	20,09	33,9523	Médio_Alto
LUMIAR	35.585	29,1	61	9,9	9,73725	31,5414	17,5158	41,2056	Alto
MADALENA	380	16	51,9	32,1	7,63158	43,1579	30,2632	18,9474	Baixo
MARTIRES	341	20,2	48,9	30,9	8,5044	42,2287	19,6481	29,6188	Baixo
MARVILA	38.766	32,3	59,5	8,3	15,3465	57,5994	19,8576	7,19445	Baixo
MERCES	4.093	18,5	56,2	25,3	14,537	57,7816	23,9433	3,73809	Médio_Alto
NOSSA SENHORA DE FÁTIMA	15.291	17,4	58,7	23,9	8,20744	34,8179	19,4167	37,558	Alto

records 1 - 24 of 53

Start | Exploring - Anexos_Novos | MapInfo Professional ... | 9:15

Figura J.5: Tabela para a caracterização da população e respectivos parâmetros:

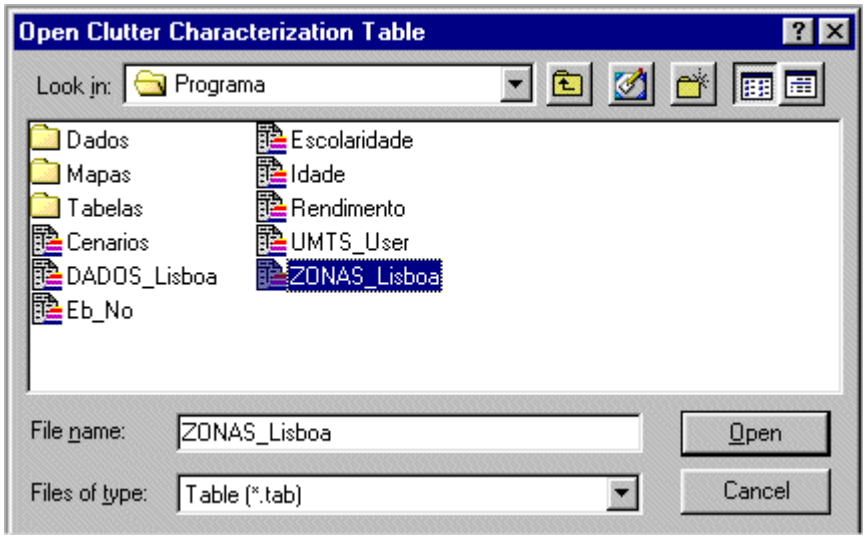


Figura J.6: Selecção da Tabela para a caracterização do tipo de zonas.

MapInfo Professional - [ZONAS_Lisboa Browser]

File Edit Tools Objects Query Table Browse M

ID	Caracterização_zona	Zona_ID
1	Habitacional Denso	1
2	Edifícios de Utilização Terciária	4
3	Estradas	6
4	Areas Verdes	7
5	Areas Verdes	7
6	Habitacional Denso	1
7	Habitacional Denso	1
8	Estradas	6
9	Estradas	6
10	Habitacional Denso	1
11	Habitacional Denso	1
12	Estradas	6
13	Estradas	6
14	Edifícios de Utilização Terciária	4
15	Areas Verdes	7
16	Habitacional Denso	1
17	Areas Verdes	7
18	Habitacional Denso	1
19	Estradas	6

Figura J.7: Tabela para a caracterização do tipo de zona.

Para definir alguns dos parâmetros relativos a questões de propagação, de balanços de potência e de tráfego, selecciona-se *Settings*, e de seguida escolhe-se o parâmetro a alterar, como se verifica pela Figura J.8.

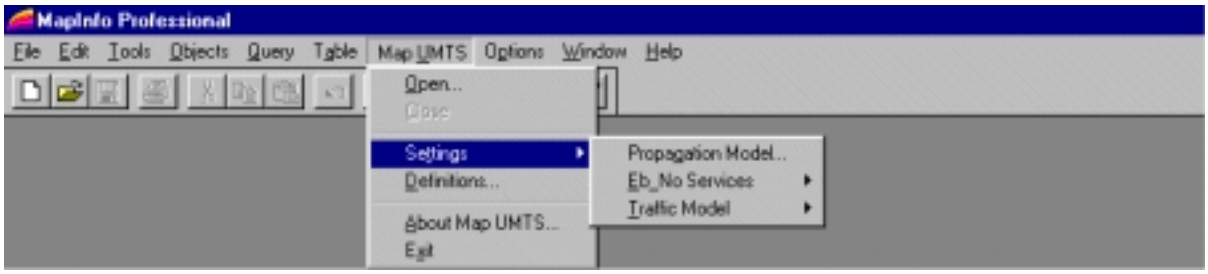


Figura J.8: Diferentes parâmetros de entrada para possível modificação.

Para o Modelo de Propagação, que se considerou sempre ao longo deste trabalho ser Walfish--Ikegami, é possível alterar os parâmetros de entrada do modelo, tais como o canal rádio em que se está a transmitir (*f*), a altura média dos edifícios (HB), a altura a que está colocada a BS (Hb), a largura média das ruas (ws), a distância média entre os centros dos edifícios (wB), o ângulo de partida do sinal do último edifício, altura do MT (hm) e ângulo de saída do último edifício (phi). A Figura J.9 mostra o menu relativo aos parâmetros do Modelos de Propagação.

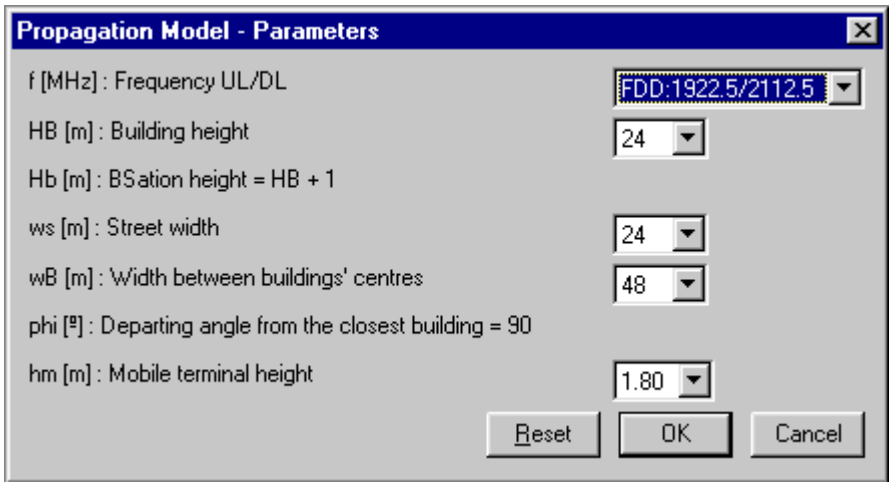


Figura J.9: Parâmetros do Modelo de Propagação.

É ainda possível alterar aos valores de E_b/N_0 para cada serviço, já que estes influenciam grandemente os resultados obtidos, e dependem fortemente do canal rádio. Note-se que os valores de E_b/N_0 são os valores considerados para os balanços de potência, pelo que podem ser alterados, caso se pretendam considerar diferentes variações nas margens. Pela Figura J.10 verifica-se que é possível alterar estes valores, ou ainda, retomar os valores inicialmente estabelecidos por defeito. Estes valores correspondem aos da Tabela G.3.

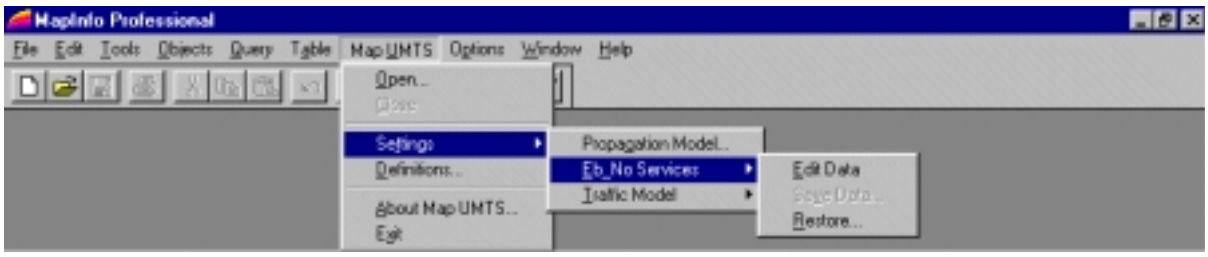


Figura J.10: Edição dos valores de E_b/N_0 para cada serviço.

Para o Modelo de Tráfego em questão é possível modificar os seus parâmetros característicos, assim como editar a informação relevante para a caracterização do tráfego gerado pela população em estudo. A Figura J.11 mostra o menu relativo ao Modelo de Tráfego.

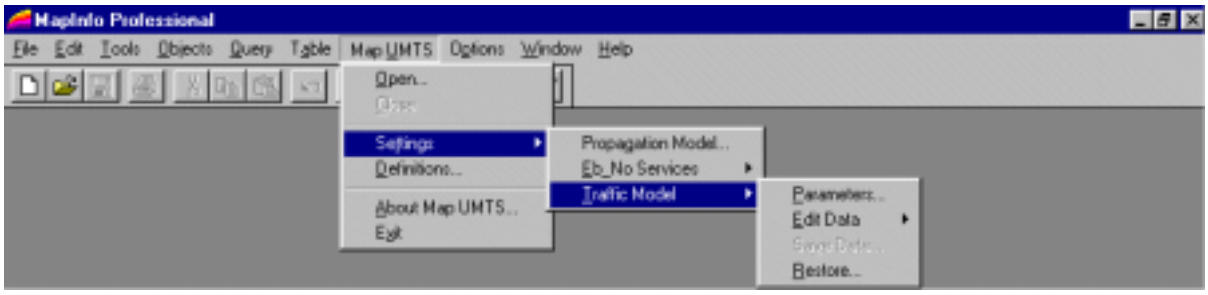


Figura J.11: Menu do Modelo de Tráfego.

Os parâmetros relativos ao Modelo de Tráfego encontram-se sumariados na Figura J.12, sendo eles o número de potenciais utilizadores activos, a sua localização e o(s) serviço(s) que cada utilizador requer.

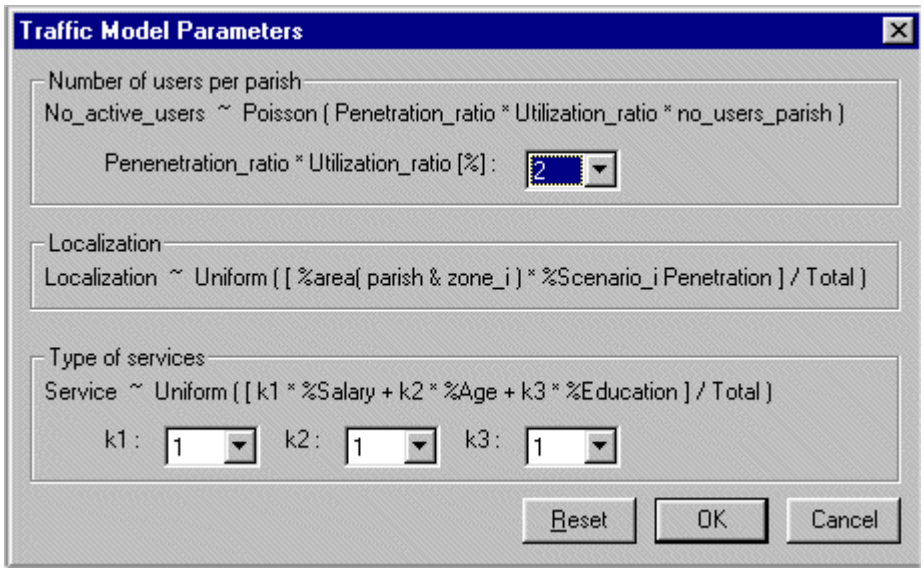


Figura J.12: Parâmetros do Modelo de Tráfego.

Para a caracterização do tráfego consideram-se os cenários de penetração (Tabela I.7) e os respectivos pesos de cada zona, segundo as tabelas Tabela I.4, Tabela I.5 e Tabela I.6 relativas aos rendimentos, idade e escolaridade, respectivamente, como se mostra na Figura J.13.

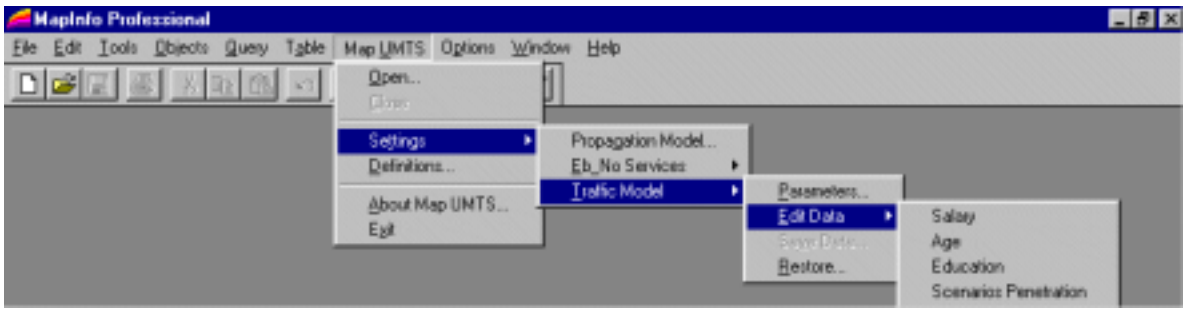


Figura J.13: Edição dos dados relativos ao Modelo de Tráfego.

Cada vez que se trabalha com a aplicação gera-se uma distribuição de população nova, contudo, é dada a possibilidade de escolha ao utilizador a preferência de utilização de uma distribuição de população já existente, como se mostra na Figura J.14.

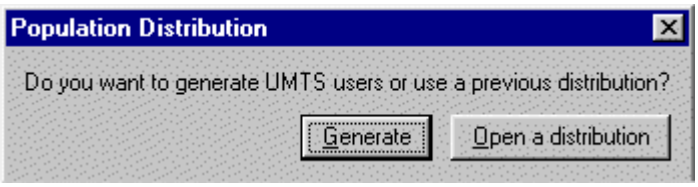


Figura J.14: Possibilidade de escolha de geração da distribuição da população.

Devido a este processo poder ser um pouco demorado, conforme sejam as taxa de penetração e de utilização escolhidas, é possível reutilizar os resultados da geração de pessoas, evitando contudo o tempo de espera da simulação. Note-se que se deverão utilizar diferentes distribuições de utilizadores de modo a se obterem resultados relevantes para um bom dimensionamento. A Figura J.15 demonstra a escolha da distribuição da população, assim como a Figura J.16 representa a tabela da distribuição dos utilizadores.

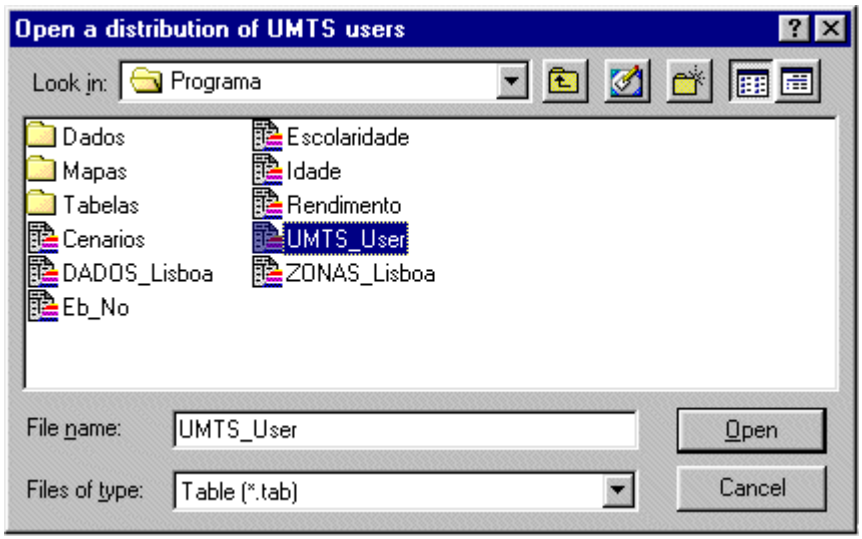


Figura J.15: Selecção da tabela para a escolha da distribuição da população.

MapInfo Professional - [UMTS_User_005% Browser]

File Edit Tools Objects Query Table Browse Options Window Help

User_ID	LONG	LAT	Service_no1	Service_no2
30	-9,20262	38,7089	Rb = 64.0kbps (PS)	None
31	-9,19777	38,7105	Rb = 144.0kbps (PS)	None
32	-9,19408	38,7095	Rb = 12.2kbps (CS)	Rb = 64.0kbps (PS)
33	-9,19746	38,7098	Rb = 12.2kbps (CS)	Rb = 384.0kbps (PS)
34	-9,19856	38,71	Rb = 64.0kbps (PS)	None
35	-9,19868	38,7085	Rb = 12.2kbps (CS)	Rb = 64.0kbps (PS)
36	-9,1999	38,7099	Rb = 12.2kbps (CS)	None
37	-9,19988	38,703	Rb = 64.0kbps (PS)	None
38	-9,19933	38,703	Rb = 12.2kbps (CS)	None
39	-9,18979	38,7046	Rb = 12.2kbps (CS)	None
40	-9,1892	38,7072	Rb = 64.0kbps (PS)	None
41	-9,19181	38,7061	Rb = 64.0kbps (PS)	None
42	-9,1936	38,7033	Rb = 64.0kbps (PS)	None
43	-9,19134	38,7048	Rb = 12.2kbps (CS)	Rb = 144.0kbps (PS)
44	-9,1888	38,7082	Rb = 144.0kbps (PS)	None
45	-9,19466	38,703	Rb = 64.0kbps (PS)	None
46	-9,18798	38,7083	Rb = 12.2kbps (CS)	Rb = 64.0kbps (CS)
47	-9,19243	38,7066	Rb = 12.2kbps (CS)	Rb = 64.0kbps (PS)

Figura J.16: Tabela da distribuição dos utilizadores.

Para as definições representadas na Figura J.17, é possível definir os valores máximos pretendidos para os factores de carga em UL, DL e considerar o factor de carga devido a *soft handover* da zona de serviço. Com estes valores é possível determinar o valor do raio máximo permitido, obtido pelo Modelo de Propagação considerando a interferência máxima, para um dado serviço de referência previamente seleccionado. É ainda possível escolher manualmente o valor do raio máximo de referência requerido para a geração da rede uniforme de cobertura.

Pode seleccionar-se a potência máxima de transmissão da BS, assim como a selecção do tipo de cenário.

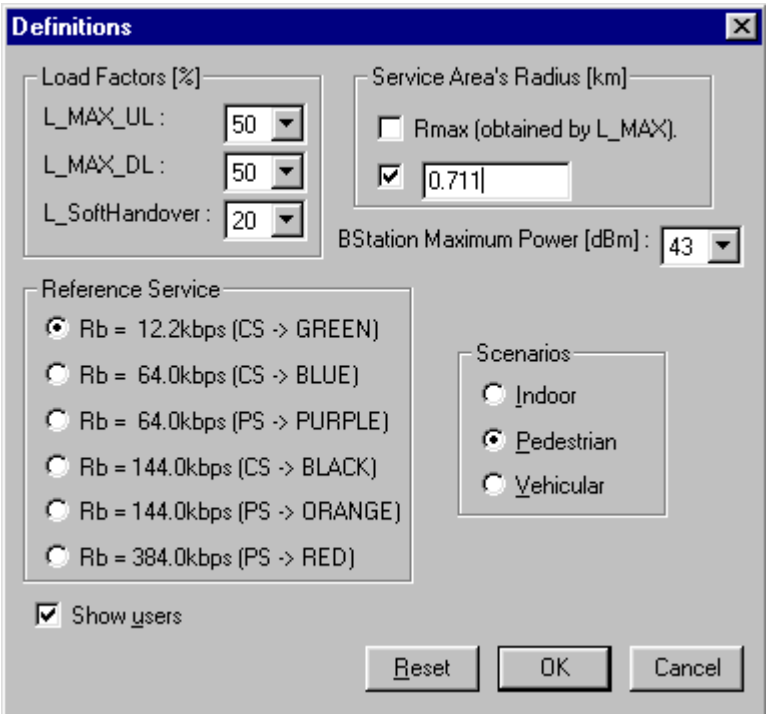


Figura J.17: Definições possíveis para a determinação do raio máximo.

É fornecida uma pequena informação adicional acerca do autores deste trabalho, assim como parcerias, no menu *About Map UMTS*, representado na Figura J.18.

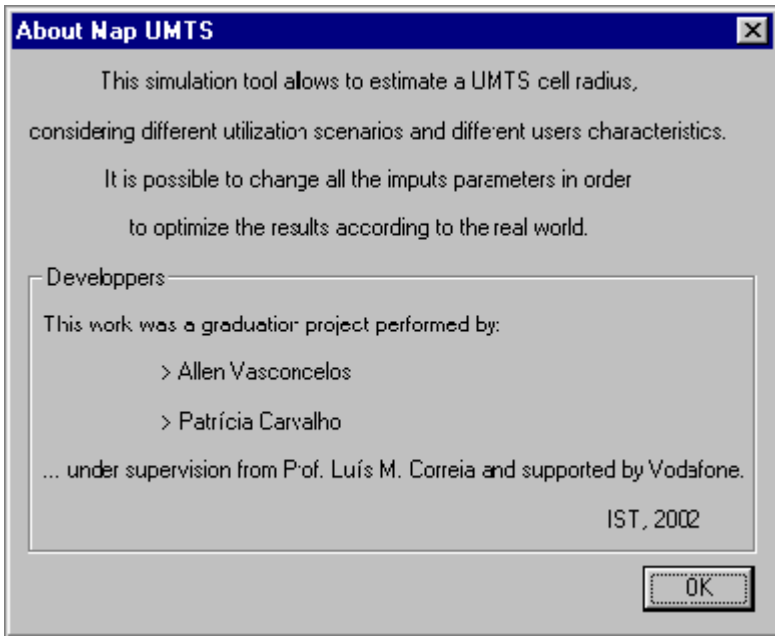


Figura J.18: Informações adicionais sobre *Map UMTS*.

A Figura J.19 apresenta os dados estatísticos de saída da aplicação *Map UMTS*, e a Figura J.20 apresenta os gráficos que esta aplicação fornece.

Figura J.19: Dados estatísticos de saída da aplicação *Map UMTS*.

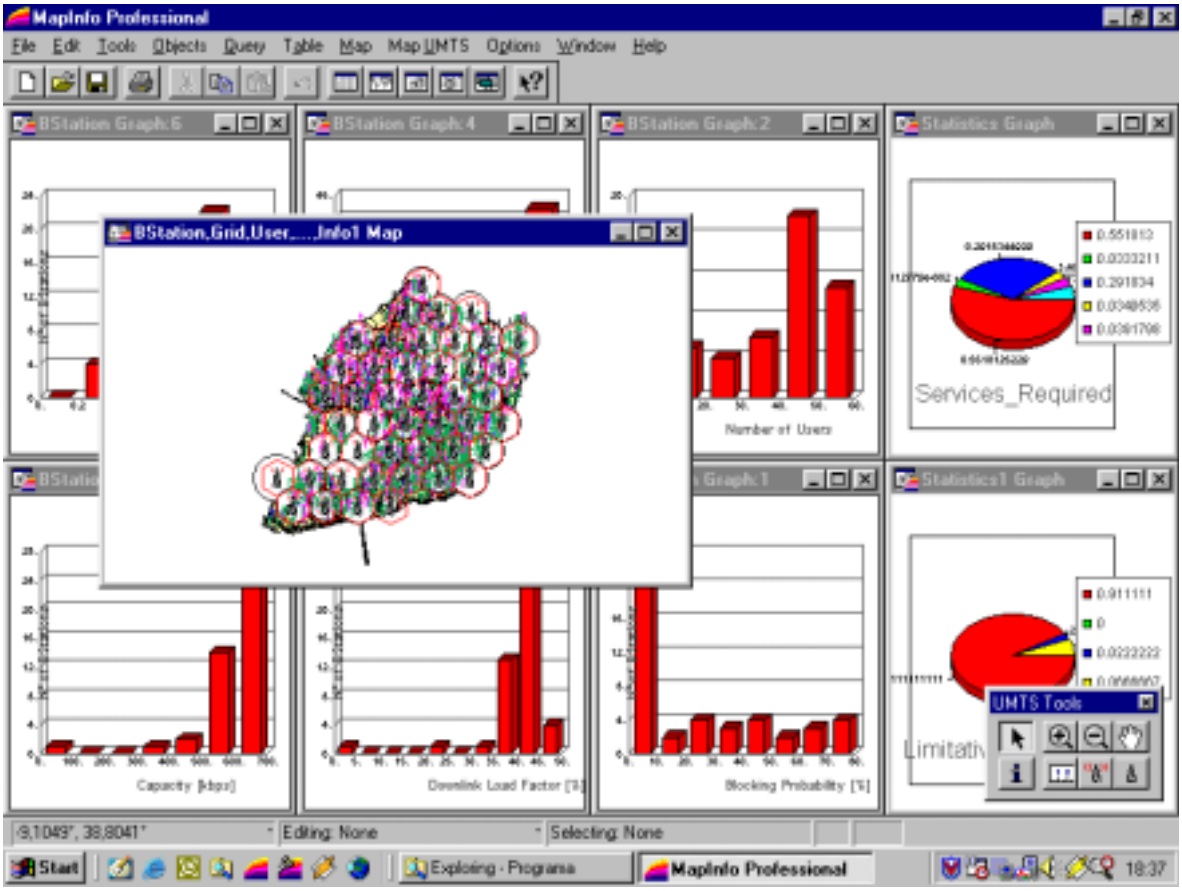


Figura J.20: Estudo gráfico da aplicação *Map UMTS*.

Anexo K - Noções Básicas de Tráfego

Aqui apresentam-se os conceitos geralmente utilizados em tráfego de redes de telecomunicações. Por definição, tráfego representa a taxa de ocupação efectiva de um dado recurso ou bem [Pire99].

Normalmente considera-se a intensidade de tráfego, dada por,

$$A_{[Erl]} = \frac{A_v}{T} = \frac{C\bar{\tau}}{T} = \lambda\bar{\tau} \qquad \text{(K.1)}$$

em que:

- A_v representa o volume de tráfego,
- T representa a unidade de tempo de medida,
- C representa o número médio de chamadas efectuadas com duração $\bar{\tau}$,
- λ a taxa média de geração de chamadas por hora.

A distribuição de Poisson é uma função densidade de probabilidade adequada para a caracterização da geração aleatória de chamadas num dado intervalo de tempo. Assim sendo,

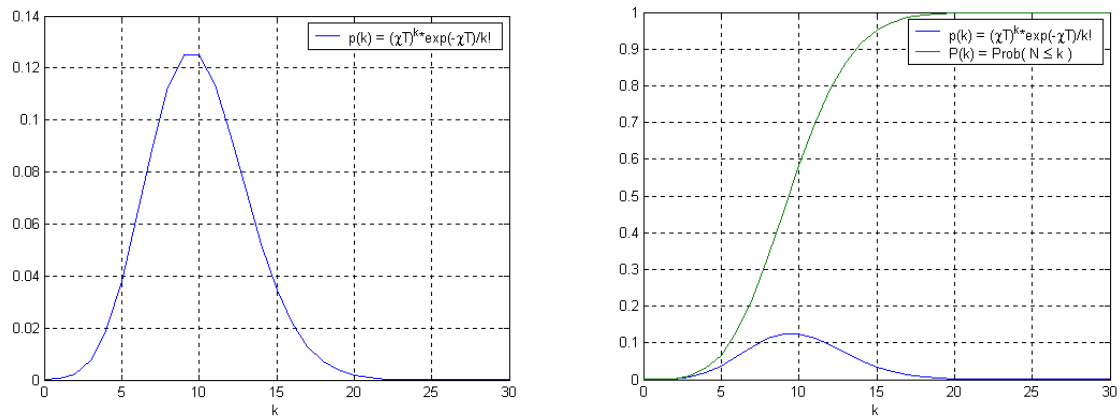
$$P(k) = \text{Prob}\{\text{acontecimento de } k \text{ eventos em } \Delta t = T\} =$$

$$= \text{Prob}\{\text{chegada de } k \text{ chamadas em } \Delta t = T\} = \frac{(\lambda T)^k}{k!}\exp\{-\lambda T\} \qquad \text{(K.2)}$$

em que:

- $E[k] = \lambda T$ é o número médio de chamadas chegadas no instante de tempo T,
- $\sigma^2 = \lambda T$ é a variância desse número dada para a distribuição de Poisson.

A representação do andamento da distribuição de Poisson encontra-se na Figura K.1, utilizando $E[k] = 10$. Para o caso em estudo, a variância da distribuição representa as variações do número de utilizadores da rede em diferentes instantes temporais, em torno de um dado valor médio expectável, representando este a taxa de penetração da rede.



(a) Densidade de Probabilidade (b) Distribuição de Probabilidade

Figura K.1: Representação das funções densidade e distribuição de probabilidade de Poisson .

Para a geração de uma distribuição de Poisson a partir de uma distribuição uniforme, dada pelo *software MapBasic*, é necessário fazer a seguinte conversão :

```
'Function  Generate_Poisson(ByVal avg As Integer) As Integer
        Dim U, a, b As Float
        Dim i As Integer

        Randomize
        a = exp(-avg)
        b = 1
        i = 0
        Do
                U = Rnd(1)
                b = b*U
                i = i+1
        Loop While (b>=a)
        Generate_Poisson = i-1
End Function'
```

Para caracterizar a duração média das chamadas, assim como o intervalo médio entre chegada de chamadas, recorre-se à distribuição exponencial negativa dada por (K.3). Calcula-se a probabilidade de um desses eventos ter duração inferior a um dado *T*,

$$\mathrm{P}(\tau) = \text{Prob}\{\text{evento } k \text{ ter duração } \Delta t > \tau\} = \lambda \exp\{-\lambda\tau\}, \tau \geq 0 \qquad \text{(K.3)}$$

em que:

- $E[\tau] = 1/\lambda$ é a duração média do evento,
- $\sigma_\tau^2 = 1/\lambda^2$ é a variância desse número.

Assume-se que estes processos são estacionários, ou seja, que a probabilidade de um dado número de eventos ocorrer num intervalo de tempo determinado depende apenas da duração desse intervalo, e não do seu posicionamento temporal. Pretende-se ainda que haja incorrelação e independência entre eventos que ocorrem em intervalos de tempo disjuntos, ou seja,

$$\text{Prob}\{evento \in [t_i, t_{i+1}[\} = \text{Prob}\{evento \in [t_{i+\Delta t}, t_{i+1+\Delta t}[\} \qquad \text{(K.4)}$$

Em sistemas que utilizam W-CDMA, como o UMTS, geralmente o bloqueio é definido pela ocupação total dos recursos existentes, ou seja, os códigos, contudo, neste projecto considerou-se a situação de bloqueio definida pela percentagem de utilizadores contidos na área de cobertura da BS relativamente a questões de propagação, mas que não têm serviço por estarem fora do raio relativo ao ser serviço requerido.

Dependendo do tipo de serviço que se estará a utilizar, assim estarão disponíveis maior ou menor número de códigos, como se ilustra na Figura 2.11. Considerando que numa dada célula os clientes utilizam serviços diferentes disponibilizados pelo UMTS, então para se calcular a probabilidade de bloqueio da rede com CS, será necessário considerar separadamente cada serviço, assim como tráfego associado a cada um desses serviços. Deste modo, é então possível estimar o número de canais necessário de modo a que a probabilidade

de bloqueio seja a pretendida. Tipicamente estes valores encontram-se entre os 2 % e os 5 %, conforme seja a exigência de QoS pretendida para a rede. Para probabilidades de bloqueio mais baixas o número de canais exigido será superior, já que se pretende que maior número de clientes consiga aceder à rede.

Visto a dependência entre o número de códigos disponíveis e os requisitados, é possível relacioná-los com os respectivos SF a que cada serviço requerido está associado. Segundo [MaAn01] o número de códigos indisponíveis (N_{indisp}) com um dado factor de espalhamento (S_{indisp}) apresenta a relação dada por (K.5), em que N_{opuc} é o número de códigos ocupados com um dado factor de espalhamento (SF_{ocup}),

$$N_{indisp} = \left\lceil \frac{N_{ocup}}{SF_{ocup} / SF_{indisp}} \right\rceil \qquad \text{(K.5)}$$

que é válida no caso em que $SF_{ocup} > SF_{indisp}$; caso contrário passa a considerar-se,

$$N_{indisp} = N_{ocup} \frac{SF_{indisp}}{SF_{ocup}} \qquad \text{(K.6)}$$

Deste modo será possível optimizar a atribuição de códigos conforme o número de clientes e os respectivos serviços que estes requerem.

É de notar ainda que em UMTS, devido a cada serviço estar associado a um canal diferente, a cada utilizador poderão estar atribuídos diferentes serviços e/ou aplicações distintas, sendo necessário ter este facto em consideração quando se estiver a estimar a quantidade de tráfego gerada por cada utilizador.

Para que uma comunicação utilizando CS se possa dizer bloqueada, há que haver um número de solicitações de recursos superior aos existentes, ou seja, o número de entradas do sistema é já superior ao das saídas (congestionamento). Aqui, todas as tentativas de comunicação durante o congestionamento são perdidas. Nas redes de comutações de pacotes as mensagens que chegam durante um período de congestionamento esperam numa fila (*buffers*) até que um dos caminhos fique livre. O método de saída é normalmente baseado em FIFO (***F**irst **I**n, **F**irst **O**ut*) e só se verifica a existência de perdas caso o número de pacotes seja superior à dimensão das filas, havendo em caso contrário apenas atraso.

Anexo L – Valores Simulados Médios

Para os casos considerados de relevante interesse para a análise do dimensionamento celular em UMTS, devido a este ser um estudo temporalmente estático, torna-se necessário considerar uma análise em termos valores médios, de modo a que os valores se possam considerar fiáveis e a análise estatística possa ser considerada válida. Assim, apresentam-se aqui os resultados das cinco simulações consideradas, a partir das quais se determinam os valores médios, para uma taxa de 0,5 % da distribuição de população (taxa de penetração × taxa de utilização) e com um serviço de referência de voz, utilizando aproximadamente 44 BS.

Consideraram-se dois casos distintos:

- para a mesma população gerada efectuando sempre os mesmos serviços, mas com localizações diferentes para as BSs,
- para diferentes populações geradas, mas considerando sempre as mesmas localizações para as BSs.

Existem muitos parâmetros que se podem ter em consideração, para se determinar-se a QoS fornecida ao utilizador numa dada BS. Contudo, tomaram-se aqui 3 parâmetros mais relevantes, sendo eles a probabilidade de bloqueio (P_b) em que um utilizador que está inserido na área de referência não tem serviço, a probabilidade de um utilizador ter em débito igual ao débito requerido para o serviço pretendido (P_{Good}), e a probabilidade de um utilizador ter um débito inferior ao débito requerido para o serviço pretendido (P_{Poor}) por não ser englobado pela área de cobertura do serviço de referência.

A Tabela L.1 apresenta os valores simulados obtidos para o primeiro caso em estudo, e a Tabela L.2 apresenta os valores simulados obtidos para o segundo caso.

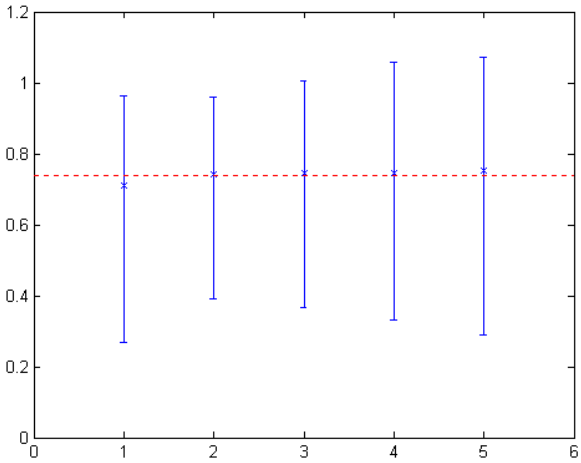
A Figura L.1 representa os valores dos raios médio e respectivos valores mínimo e máximo, para diferentes de populações, para as cidade global, e ainda para as zonas verde, habitacionais e comerciais.

Tabela L.1: Valores simulados para a média para o serviço de referência voz, para 0,5 %, considerando diferentes localizações para BSs.

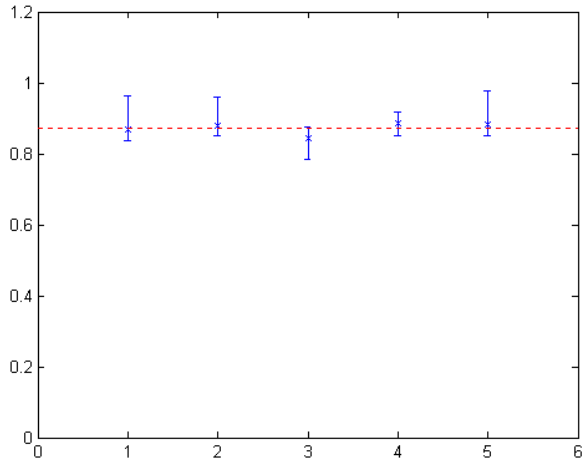
Simulação	Zona	Nº Utilz	Utilz/km^2	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{Good\ méd}$ [%]	$P_{Poor\ méd}$ [%]
Nº 1	Global	2 459	28,97	0,367	**0,747**	1,007	46,59	39,39	21,18	52,67	47,33
	Verde	117	10,21	0,785	**0,846**	0,877	46,86	40,58	4,23	58,88	41,12
	Habitacional	216	19,05	0,495	**0,764**	0,850	49,03	42,53	16,59	67,92	32,08
	Comercial	449	59,49	0,477	**0,502**	0,534	49,49	41,28	62,21	56,29	43,71
Nº 2	Global	2 459	28,97	0,252	**0,725**	1,039	47,91	39,98	23,54	53,01	46,99
	Verde	117	10,21	0,723	**0,838**	0,916	45,64	39,58	8,42	57,60	42,40
	Habitacional	216	19,05	0,649	**0,790**	0,850	48,82	40,50	11,57	54,92	45,08
	Comercial	449	59,49	0,304	**0,506**	0,603	49,51	49,51	41,20	58,74	58,59
Nº 3	Global	2 459	28,97	0,240	**0,748**	1,055	46,28	39,12	19,97	55,17	44,83
	Verde	117	10,21	0,737	**0,862**	0,961	43,10	36,70	3,19	54,05	45,95
	Habitacional	216	19,05	0,442	**0,794**	0,896	45,48	38,77	11,24	70,86	29,14
	Comercial	449	59,49	0,450	**0,503**	0,542	49,60	41,24	64,93	71,49	28,51
Nº 4	Global	2 459	28,97	0,290	**0,763**	1,055	46,37	39,00	18,40	51,78	48,22
	Verde	117	10,21	0,850	**0,928**	1,055	35,21	29,97	0,00	48,44	51,56
	Habitacional	216	19,05	0,850	**0,850**	0,850	45,62	38,64	0,00	66,26	33,74
	Comercial	449	59,49	0,411	**0,554**	0,714	49,66	41,18	50,65	62,84	37,16
Nº 5	Global	2 459	28,97	0,241	**0,744**	1,039	47,21	39,95	19,91	55,41	44,59
	Verde	117	10,21	0,601	**0,859**	1,039	39,94	35,14	6,01	55,01	44,99
	Habitacional	216	19,05	0,453	**0,786**	0,850	47,75	40,85	10,89	68,55	31,45
	Comercial	449	59,49	0,501	**0,589**	0,771	49,66	41,22	49,98	64,45	35,55
Média	Global	**2 459**	**28,97**	**0,278**	**0,746**	**1,039**	**46,87**	**39,49**	**20,60**	**53,61**	**46,39**
	Verde	**117**	**10,21**	**0,739**	**0,866**	**0,970**	**42,15**	**36,39**	**4,37**	**54,79**	**45,21**
	Habitacional	**216**	**19,05**	**0,578**	**0,797**	**0,859**	**47,34**	**40,26**	**10,06**	**65,70**	**34,30**
	Comercial	**449**	**59,49**	**0,429**	**0,531**	**0,633**	**49,58**	**44,73**	**57,28**	**59,30**	**40,70**

Tabela L.2: Valores simulados para a média para o serviço de referência voz, para 0,5 %, considerando distribuições de população distintas.

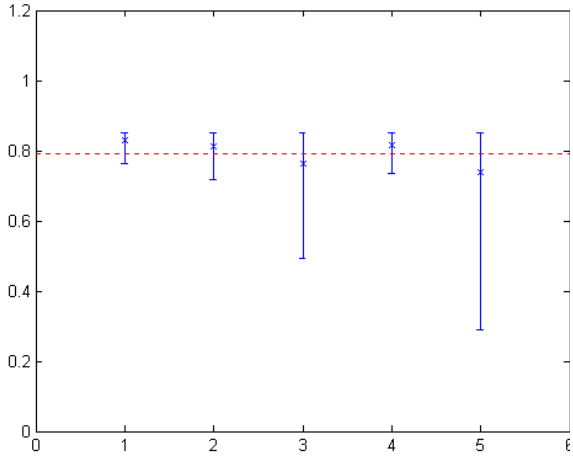
Simulação	Zona	Nº Utilz	Utilz/km^2	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{Good\ méd}$ [%]	$P_{Poor\ méd}$ [%]
Nº 1	Global	2 423	28,55	0,269	**0,711**	0,965	47,50	40,29	26,55	51,46	48,54
	Verde	119	10,38	0,837	**0,870**	0,965	43,60	36,29	1,09	61,24	38,76
	Habitacional	214	18,87	0,763	**0,831**	0,850	48,27	40,21	5,44	50,29	49,71
	Comercial	451	59,75	0,405	**0,601**	0,699	49,66	41,19	49,88	69,66	30,34
Nº 2	Global	2 417	28,48	0,392	**0,742**	0,962	47,42	39,87	20,34	54,00	46,00
	Verde	116	10,12	0,850	**0,880**	0,962	42,32	36,01	0,00	62,33	37,67
	Habitacional	212	18,69	0,718	**0,812**	0,850	48,23	40,53	6,26	64,27	35,73
	Comercial	445	58,96	0,478	**0,560**	0,615	49,83	41,16	53,98	64,55	35,45
Nº 3	Global	2 459	28,97	0,367	**0,747**	1,007	46,59	39,39	21,18	52,67	47,33
	Verde	117	10,21	0,785	**0,846**	0,877	46,86	40,58	4,23	58,88	41,12
	Habitacional	216	19,05	0,495	**0,764**	0,850	49,03	42,53	16,59	67,92	32,08
	Comercial	449	59,49	0,477	**0,502**	0,534	49,49	41,28	62,21	56,29	43,71
Nº 4	Global	2 420	28,51	0,331	**0,746**	1,058	47,11	39,83	21,02	52,94	47,06
	Verde	116	10,12	0,853	**0,887**	0,919	43,67	37,66	0,00	65,69	34,31
	Habitacional	215	18,96	0,736	**0,818**	0,850	47,68	40,10	6,45	55,59	44,41
	Comercial	451	59,75	0,445	**0,586**	0,772	49,42	41,22	52,37	61,92	38,08
Nº 5	Global	2 440	28,75	0,288	**0,755**	1,073	46,15	38,76	19,28	49,97	50,03
	Verde	118	10,30	0,850	**0,883**	0,978	40,31	34,82	0,00	53,99	46,01
	Habitacional	212	18,69	0,288	**0,739**	0,850	47,96	40,51	20,25	56,41	43,59
	Comercial	453	60,02	0,443	**0,551**	0,697	49,57	41,02	58,80	63,27	36,73
Média	Global	**2 431,80**	**28,65**	**0,329**	**0,740**	**1,013**	**46,95**	**39,63**	**21,67**	**52,21**	**47,79**
	Verde	**117,20**	**10,23**	**0,835**	**0,873**	**0,940**	**43,35**	**37,07**	**1,06**	**60,43**	**39,57**
	Habitacional	**213,80**	**18,85**	**0,600**	**0,793**	**0,850**	**48,23**	**40,78**	**11,00**	**58,90**	**41,10**
	Comercial	**449,80**	**59,59**	**0,449**	**0,560**	**0,663**	**49,59**	**41,17**	**55,45**	**63,14**	**36,86**
Desvio Padrão	Global	**15,77**	**0,19**	**0,046**	**0,015**	**0,046**	**0,51**	**0,52**	**2,53**	**1,38**	**1,38**
	Verde	**1,17**	**0,10**	**0,026**	**0,015**	**0,037**	**2,14**	**1,97**	**1,64**	**3,89**	**3,89**
	Habitacional	**1,60**	**0,14**	**0,183**	**0,035**	**0,000**	**0,45**	**0,89**	**6,18**	**6,35**	**6,35**
	Comercial	**2,71**	**0,36**	**0,027**	**0,034**	**0,081**	**0,14**	**0,09**	**4,47**	**4,31**	**4,31**



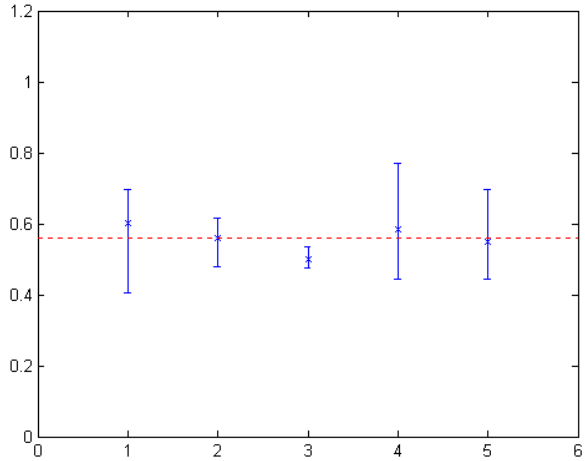
(a) Cidade Global



(b) Zonas Verdes



(c) Zonas Habitacionais



(d) Zonas Comerciais

Figura L.1: Representação dos valores dos raios médio (marca) e respectivos valores mínimo e máximo, para diferentes de populações anteriormente consideradas, para a cidade global, zonas verdes, zonas habitacionais e zonas comerciais.

Representando o eixo das abcissas o número da simulação, tem-se que a representação a tracejado representa o valor médio do raio para o caso considerado. Verifica-se que este valor médio é bastante próximo dos diferentes valores médios simulados.

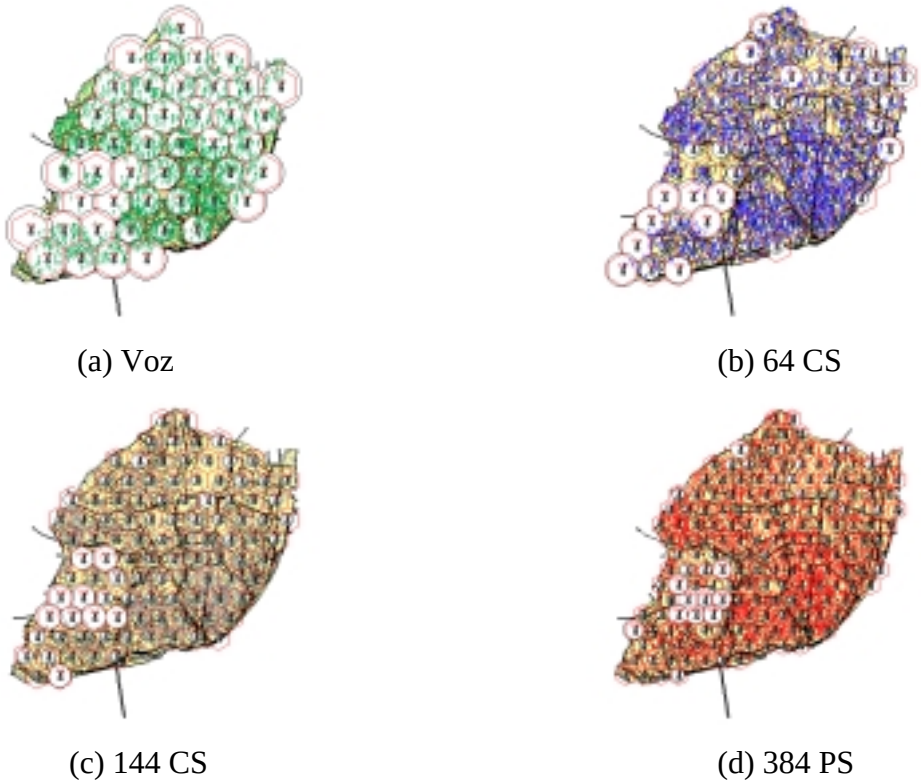
Anexo M – Resultados Simulados para Monoserviço

Poderá ser interessante verificar a validade dos resultados obtidos, comparativamente aos valores obtidos teoricamente. Assim, fazendo o estudo para monoserviço, é possível comparar com os valores teóricos obtidos no Capítulo 2, como é o caso do valor máximo de utilizadores que o sistema poderá suportar para cada serviço, devido às limitações relacionadas com questões de interferência. Assim, apresentam-se aqui os resultados das simulações para monoserviço para:

- voz,
- 64 CS,
- 144 CS,
- 384 PS.

A Tabela M.1 apresenta os valores obtidos, para uma taxa de 0,5 % (taxa de penetração × taxa de utilização), e a Tabela M.2 apresenta os valores obtidos para três distribuições distintas, para valores de (taxa de penetração × taxa de utilização) distintas, apenas para o caso de voz, de modo a analisar a influência do número de utilizadores nos raios das células.

A Figura M.1 representa a distribuição da população para 0,5 % efectuando os respectivos serviços e raios de cobertura das células, para os monoserviços considerados.



(a) Voz (b) 64 CS

(c) 144 CS (d) 384 PS

Figura M.1: Representação das áreas de cobertura das BS em monoserviço.

Tabela M.1: Valores simulados obtidos para monoserviço.

Serviço de Referência	Zonas			R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]
Voz	**Global** (45 BS)	Nº utiz min	16,0	0,444	**0,817**	1,044	41,34	34,15	15,07
		Nº utiz méd	45,6						
		Nº utiz máx	55,0						
	Verdes			0,894	**0,962**	1,029	26,27	21,70	0,00
	Habitacional			0,858	**0,888**	0,907	44,57	34,42	0,00
	Comercial			0,444	**0,582**	0,660	49,83	41,16	52,90
64 CS	**Global** (71 BS)	Nº utiz min	5,0	0,143	**0,347**	0,770	45,84	43,48	70,86
		Nº utiz méd	7,0						
		Nº utiz máx	7,0						
	Verdes			0,203	**0,479**	0,770	44,71	42,41	43,06
	Habitacional			0,238	**0,345**	0,458	46,03	43,66	73,16
	Comercial			0,143	**0,199**	0,273	46,03	43,66	91,59
144 CS	**Global** (105 BS)	Nº utiz min	3,0	0,058	**0,227**	0,578	44,39	35,83	79,92
		Nº utiz méd	3,0						
		Nº utiz máx	3,0						
	Verdes			0,138	**0,410**	0,578	44,39	35,83	44,39
	Habitacional			0,160	**0,238**	0,353	44,39	35,83	82,51
	Comercial			0,076	**0,112**	0,148	44,39	35,83	94,57
384 PS	**Global** (183 BS)	Nº utiz min	0,0	0,016	**0,130**	0,540	39,09	37,08	84,30
		Nº utiz méd	1,0						
		Nº utiz máx	1,0						
	Verdes			0,023	**0,274**	0,540	36,32	34,45	50,00
	Habitacional			0,038	**0,131**	0,243	39,45	37,42	89,23
	Comercial			0,016	**0,065**	0,158	39,45	37,42	96,45

A Figura M.2 representa os valores dos raios médio e respectivos valores mínimo e máximo, para os diferentes serviços, para a cidade global e zonas verdes, e zonas habitacionais e zonas comerciais, respectivamente.

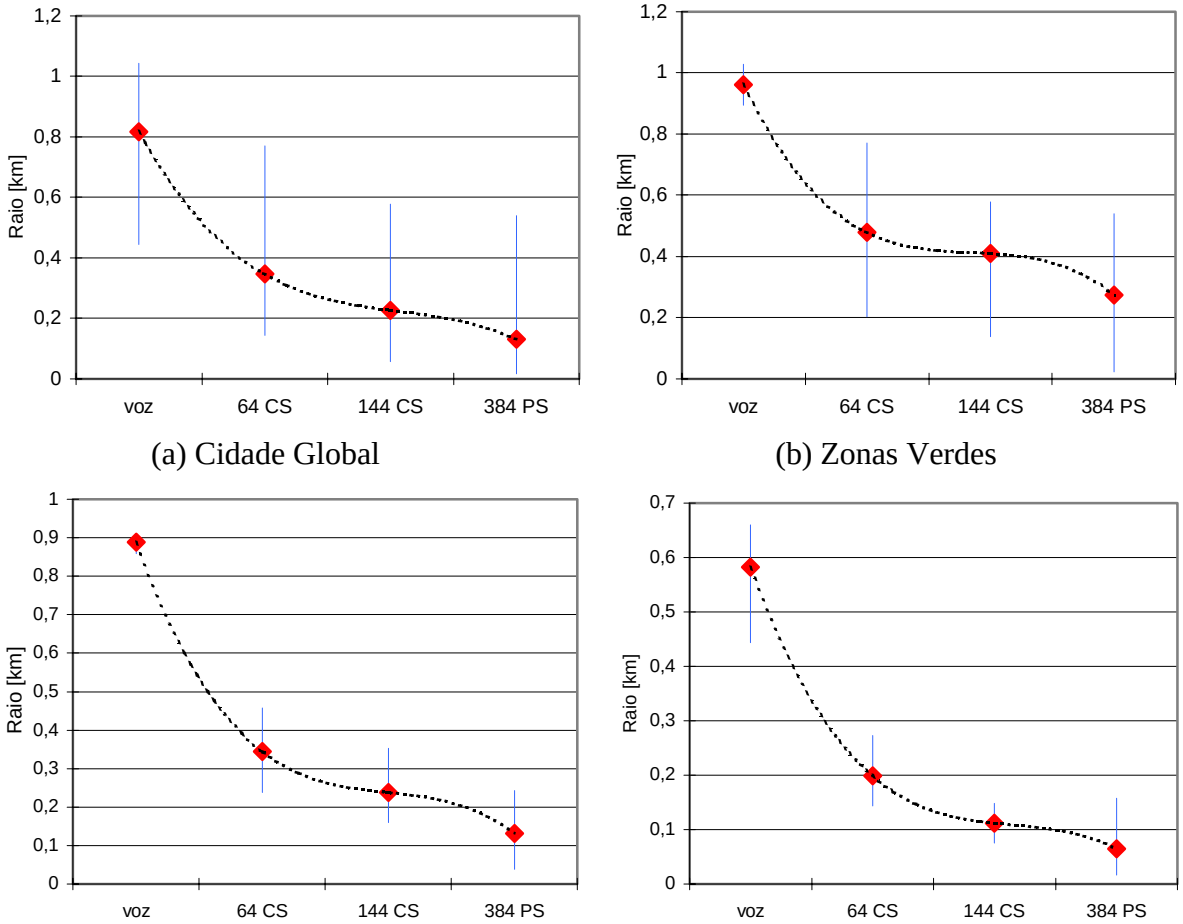
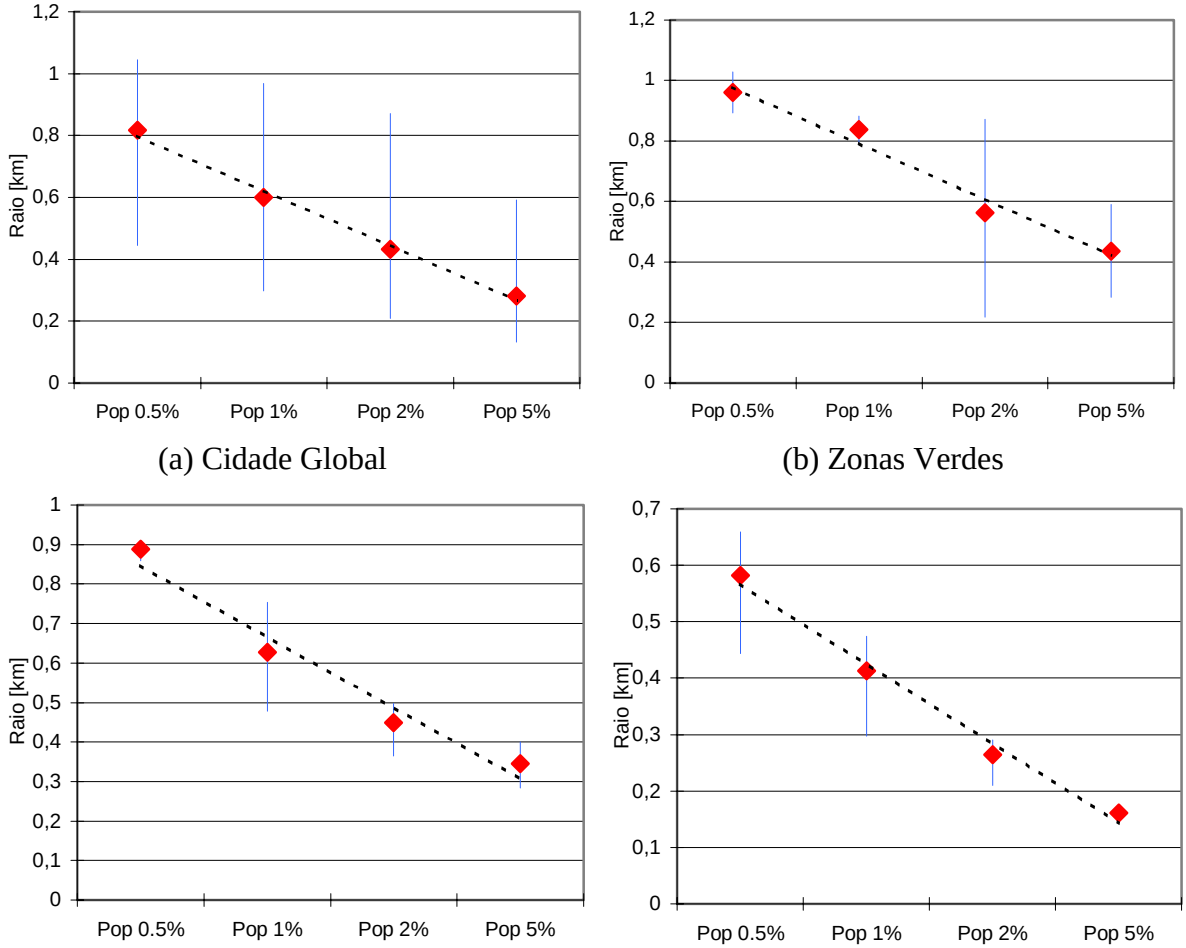


Figura M.2: Representação dos valores dos raios médio (a vermelho) e respectivos valores mínimo e máximo, para os diferentes serviços para a cidade global, para as zonas verdes, zonas habitacionais e zonas comerciais.

Tabela M.2: Valores simulados obtidos para monoserviço com serviço de referência voz.

Serviço de Referêncis	Zonas	Nº Utilz	Utilz/km^2	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]
Pop 0.5%	Global	2 423	28,55	0,444	**0,817**	1,044	41,34	34,15	15,07
	Verdes	119	10,38	0,894	**0,962**	1,029	26,27	21,70	0,00
	Habitacional	223	19,66	0,858	**0,888**	0,907	44,57	34,42	0,00
	Comercial	450	59,62	0,444	**0,582**	0,660	49,83	41,16	52,90
Pop 1%	Global	5 235	61,68	0,297	**0,599**	0,968	48,19	39,81	45,80
	Verdes	262	22,86	0,796	**0,839**	0,883	41,45	34,24	13,13
	Habitacional	470	41,44	0,478	**0,627**	0,754	49,83	41,16	41,04
	Comercial	958	126,93	0,297	**0,413**	0,474	49,83	41,16	76,47
Pop 2%	Global	10 914	128,58	0,209	**0,433**	0,871	49,48	40,88	71,08
	Verdes	555	48,43	0,218	**0,562**	0,871	48,74	40,26	47,72
	Habitacional	993	87,56	0,365	**0,449**	0,498	49,83	41,16	72,19
	Comercial	1 987	263,26	0,209	**0,264**	0,290	49,83	41,16	89,81
Pop 5%	Global	28 076	330,78	0,132	**0,281**	0,591	49,83	41,16	88,38
	Verdes	1 436	125,30	0,284	**0,436**	0,591	49,83	41,16	78,84
	Habitacional	2 052	220,61	0,284	**0,345**	0,401	49,83	41,16	89,04
	Comercial	5 092	674,65	0,148	**0,161**	0,173	49,83	41,16	96,32

A Figura M.3 representa os valores dos raios médio e respectivos valores mínimo e máximo, para voz, para a cidade global e zonas verdes, e zonas habitacionais e zonas comerciais, respectivamente, considerando os diferentes tipos de populações.



(a) Cidade Global (b) Zonas Verdes

(c) Zonas Habitacionais (d) Zonas Comerciais

Figura M.3: Representação dos valores dos raios médio (a vermelho) e respectivos valores mínimo e máximo, para os diferentes tipos de populações para a cidade global, zonas verdes, zonas habitacionais e zonas comerciais.

Note-se que se apresenta uma regressão linear considerando os pontos correspondentes aos valores para os raios médios, utilizando uma escala logarítmica para o eixo das abcissas. Desta forma pode visualizar-se mais facilmente as variações relativamente aos serviços em questão.

Anexo N – Resultados Simulados para a Cidade de Lisboa

É necessário prever quais as necessidades de actualização da rede UMTS, assim que o número de utilizadores deste sistema comece a aumentar. Assim, existe a necessidade de prever qual será o impacto do aumento do número de utilizadores em termos de raios de cobertura de cada BS. Para isso, consideraram-se os seguintes valores de (taxa de penetração×taxa de utilização), correspondendo o primeiro a uma fase inicial da rede e o último a uma fase de rede consolidada:

- 0,5 %,
- 2,0 %,
- 5,0 %.

Apresentam-se as Tabela N.1, Tabela N.3 e Tabela N.5 apresentando os parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para as diferentes distribuições de população, apresentando-se as respectivas representações gráficas.

Apresentam-se as Tabela N.2, Tabela N.4 e Tabela N.6 apresentando os parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para as diferentes distribuições de população, apresentando-se as respectivas representações gráficas.

Apresentam-se as Tabela N.7 e Tabela N.8 com a análise de desempenho para raios de referência distintos, para diferentes serviços e distribuições de população distintas, respectivamente.

Os histogramas apresentados representam a função densidade de probabilidade (PDF – ***P****robability* ***D****ensity* ***F****unction*) e a função distribuição (CDF – ***C****umulative* ***D****ensity* ***F****unction*) dos parâmetros considerados.

Tabela N.1: Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 0,5 %.

Serviço de Referência	R_{ref} [km]	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$Utilz_{min}$	$Utilz_{méd}$	$Utilz_{máx}$	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]
Voz	0,850	0,269	**0,711**	0,965	11,00	38,66	55,00	47,50	40,29
64 CS	0,684	0,084	**0,425**	0,857	2,00	12,47	27,00	45,75	42,34
64 PS	0,684	0,167	**0,436**	0,854	6,00	11,74	22,00	44,99	40,80
144 CS	0,552	0,096	**0,371**	0,692	3,00	9,96	22,00	44,30	38,58
144 PS	0,552	0,134	**0,365**	0,692	3,00	9,85	26,00	43,14	37,40
384 PS	0,427	0,037	**0,323**	0,551	0,00	7,52	23,00	35,72	31,66

Tabela N.2: Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 0,5 %.

Serviço de Referência	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Voz	0,00	26,55	85,19	16,67	51,46	92,59	7,41	48,54	83,33
64 CS	0,00	57,59	93,83	25,00	60,05	88,89	11,11	39,95	75,00
64 PS	0,00	55,79	91,06	55,56	87,70	100,00	0,00	12,30	44,44
144 CS	0,00	48,25	92,57	50,00	91,81	100,00	0,00	8,19	50,00
144 PS	0,00	50,79	89,13	66,67	95,18	100,00	0,00	4,82	33,33
384 PS	0,00	39,54	96,88	60,00	97,73	100,00	0,00	2,27	40,00

- 0,5 %, serviço de referência: voz

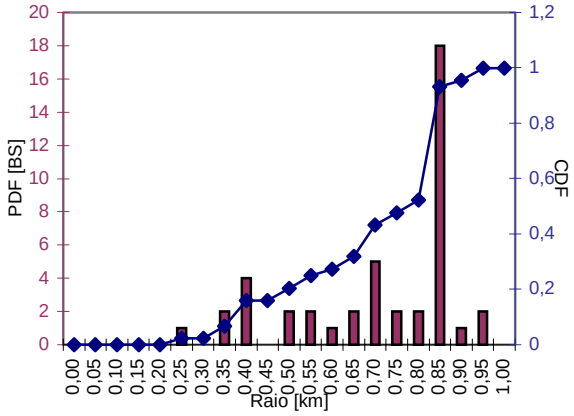
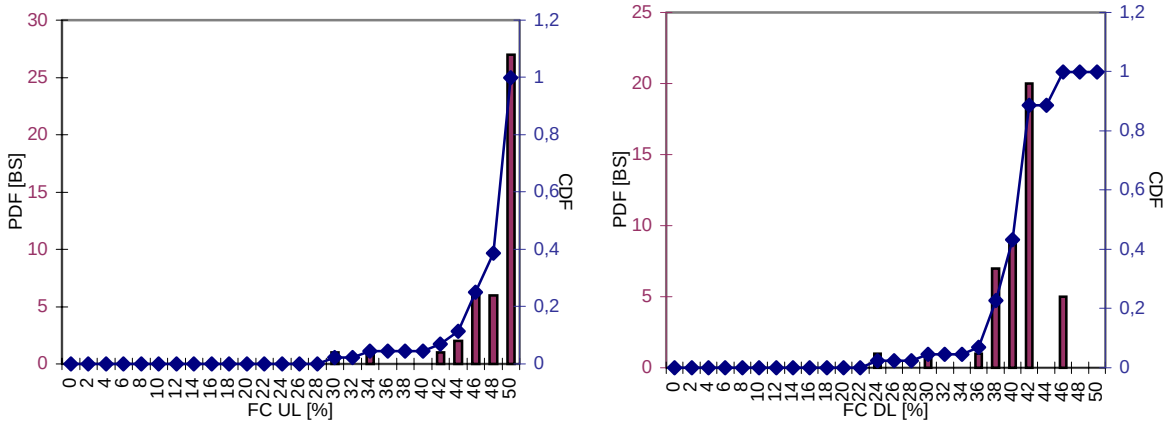
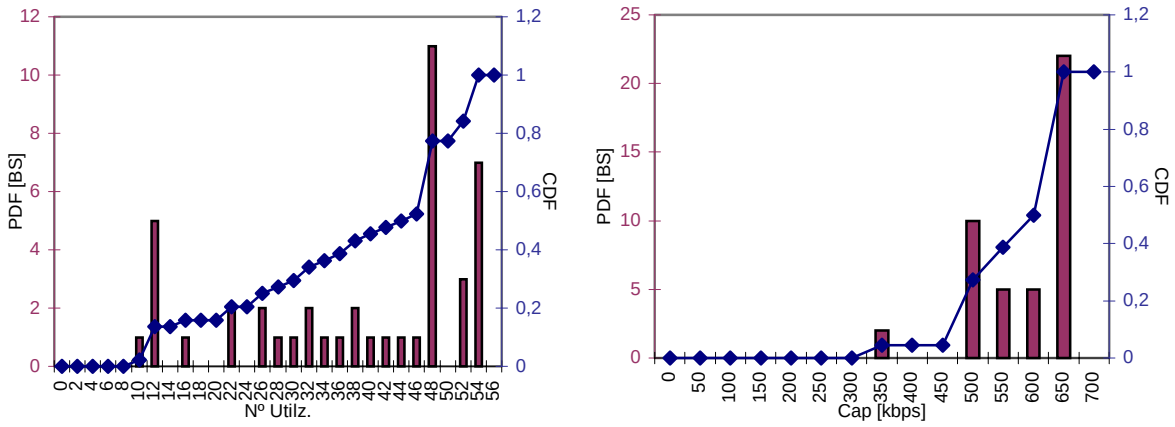


Figura N.1: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



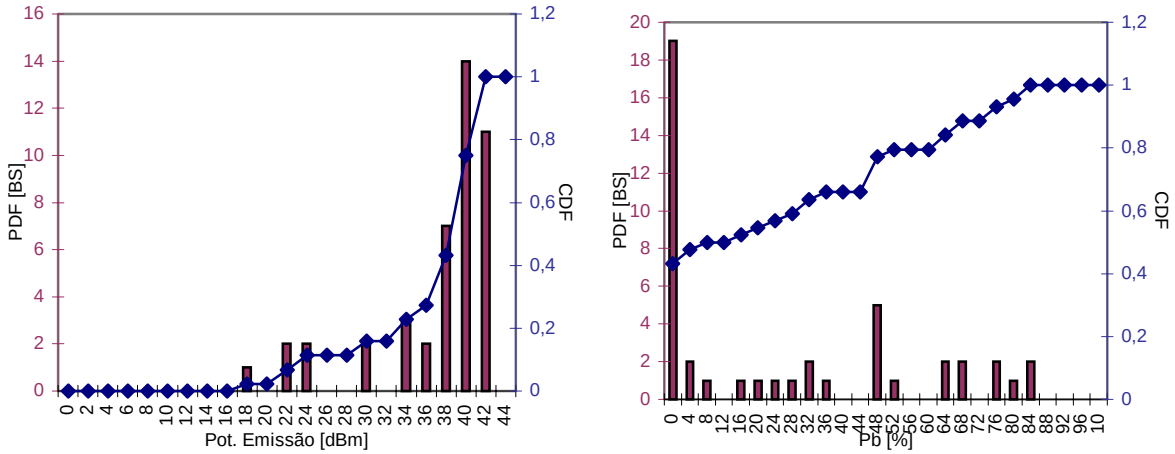
(a) UL (b) DL

Figura N.2: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.3: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.4: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

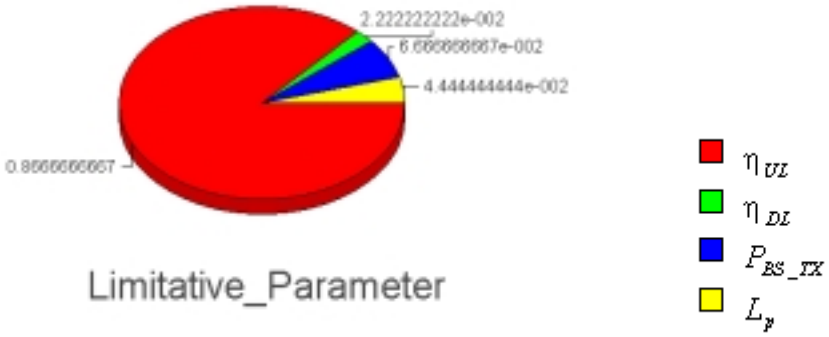


Figura N.5: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

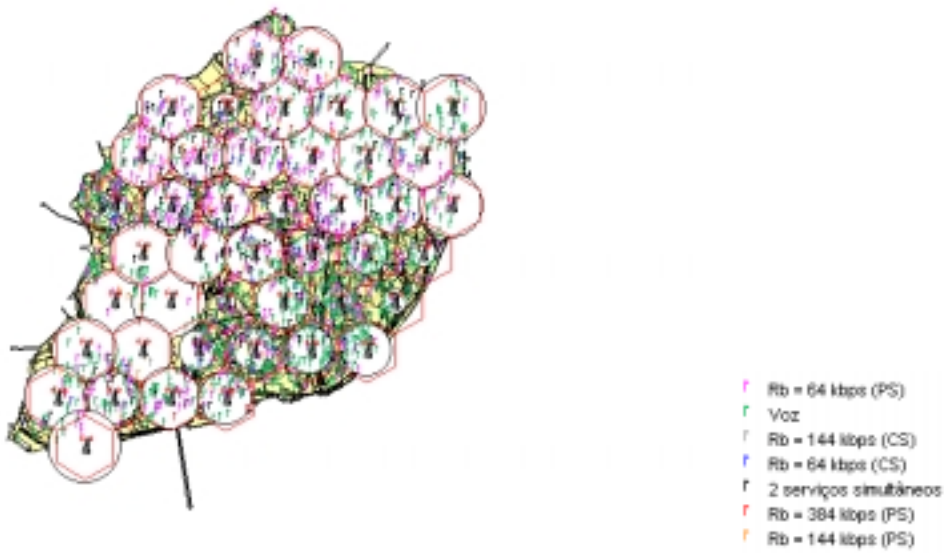


Figura N.6: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 0,5 %, serviço de referência: 64 CS

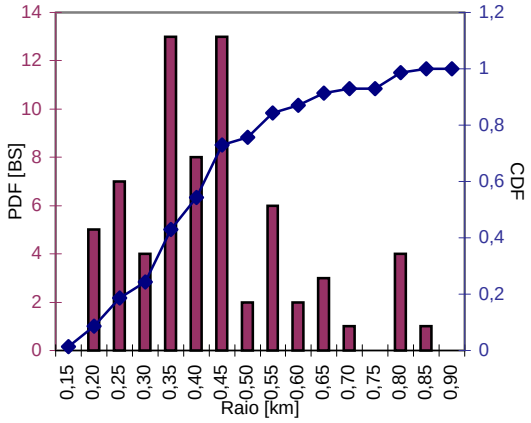
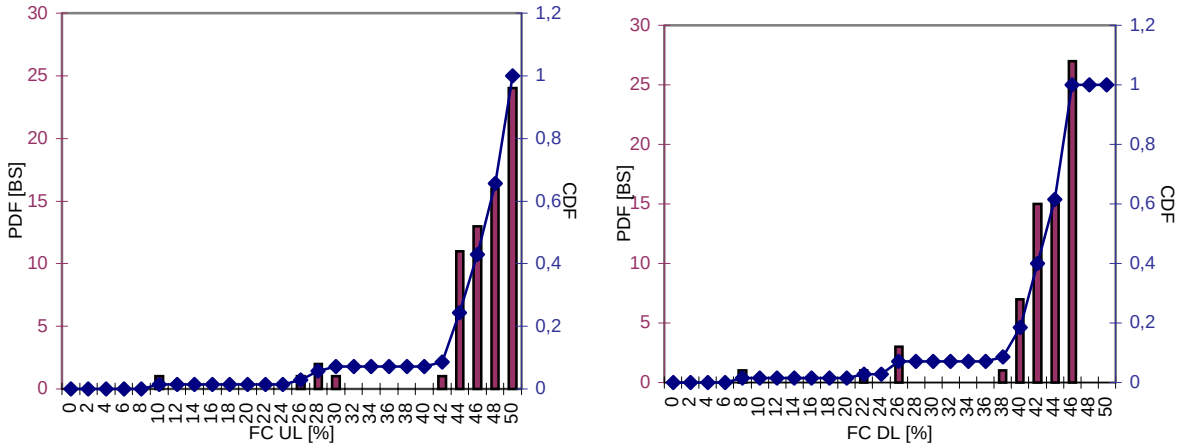
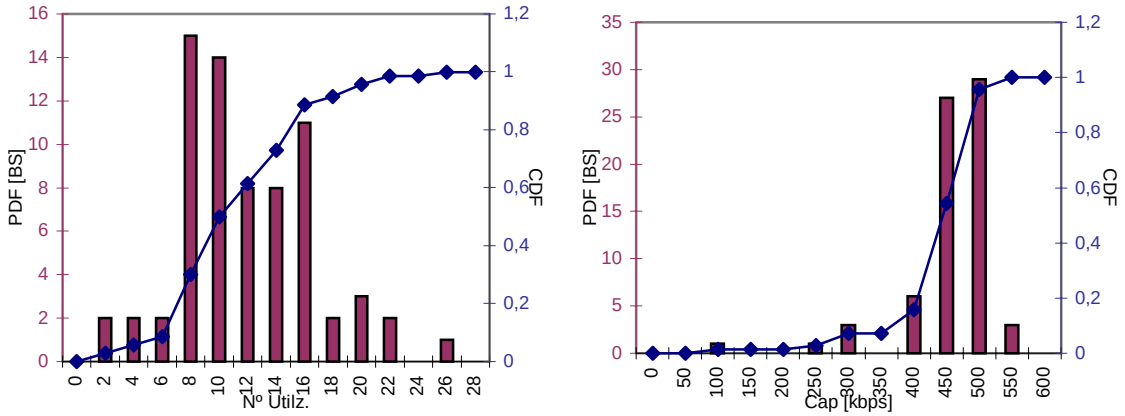


Figura N.7: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



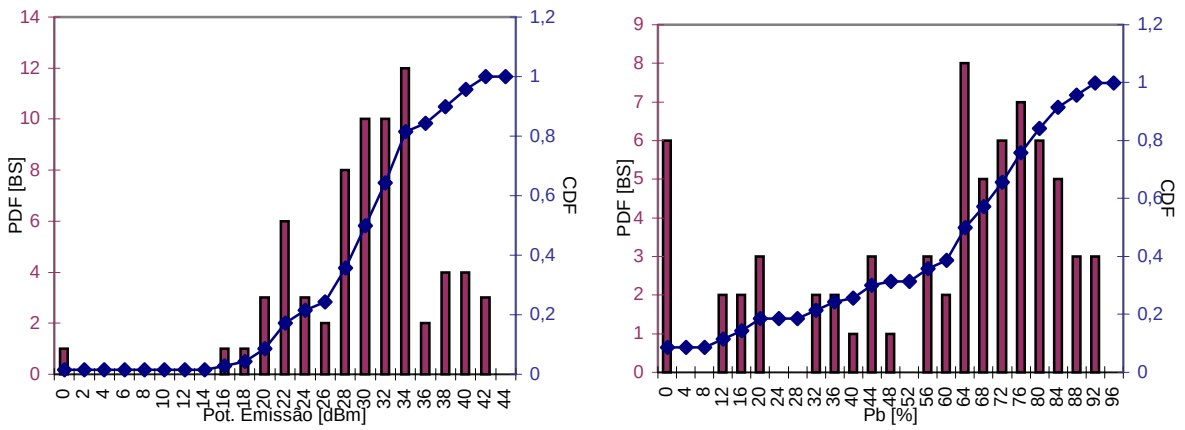
(a) UL (b) DL

Figura N.8: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.9: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.10: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

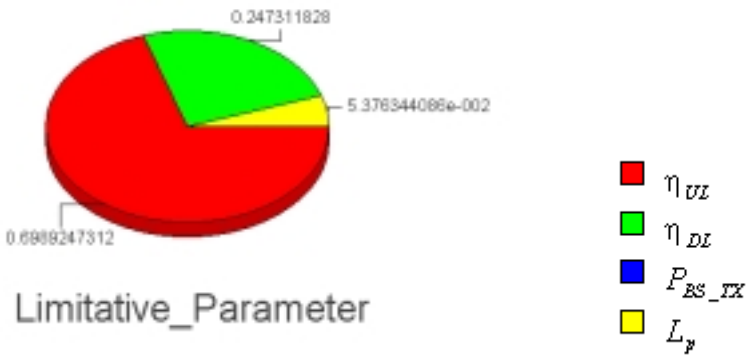


Figura N.11: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

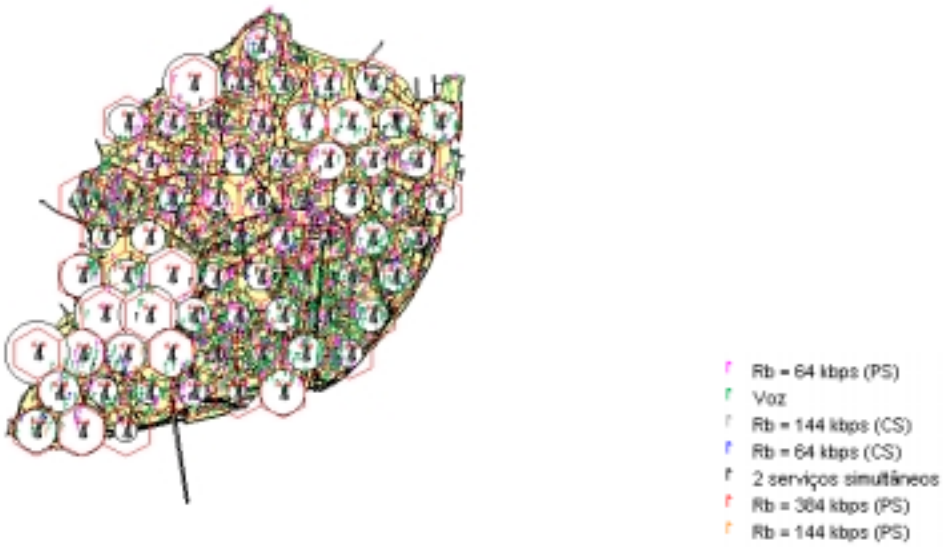


Figura N.12: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 0,5 %, serviço de referência: 64 PS

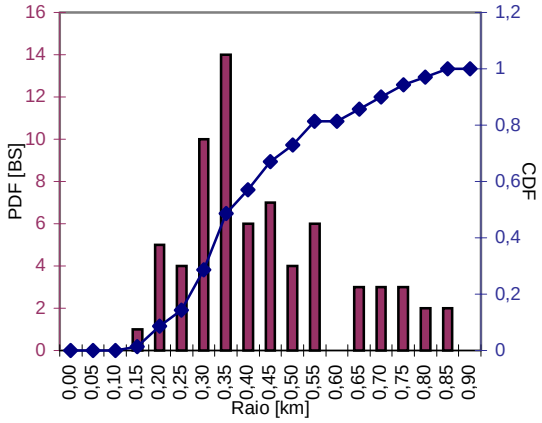
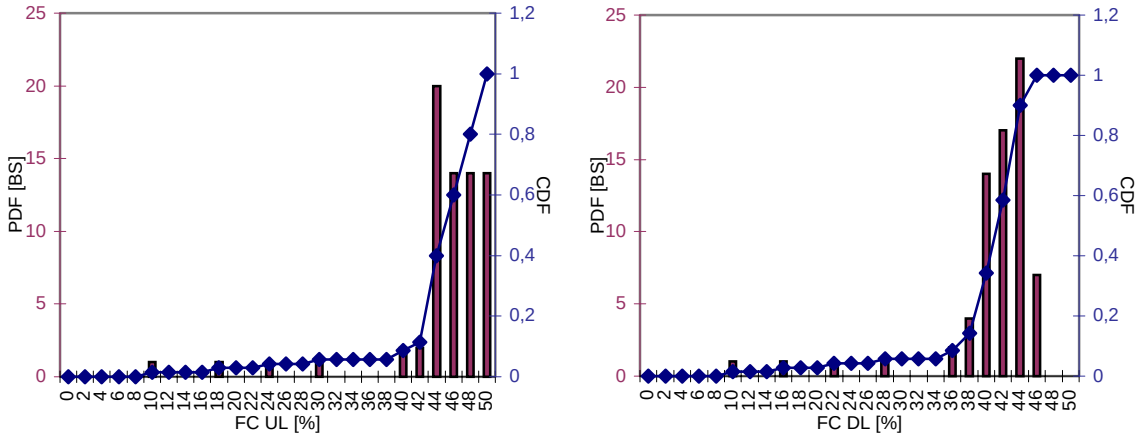
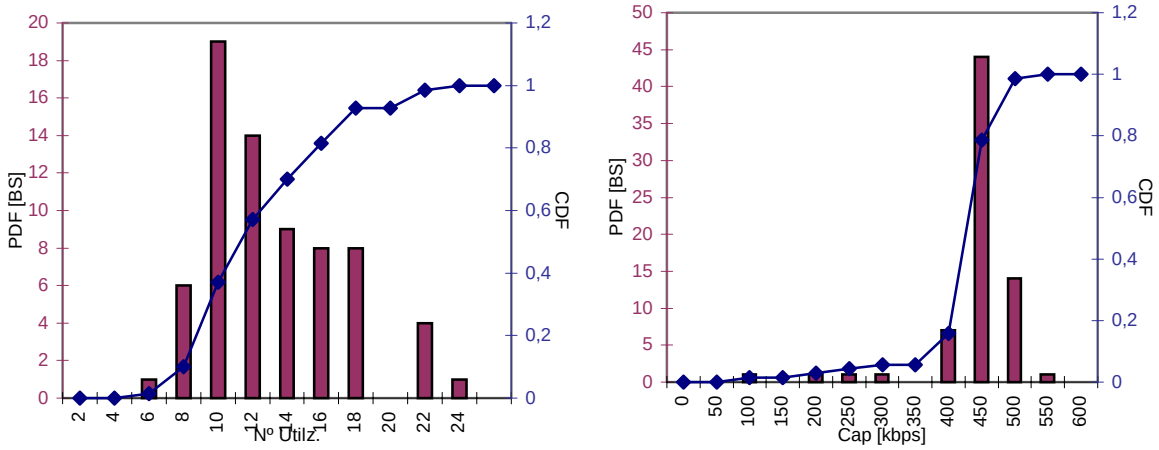


Figura N.13: Histograma relativo ao raio de cobertura das BS, para toda a cidade.



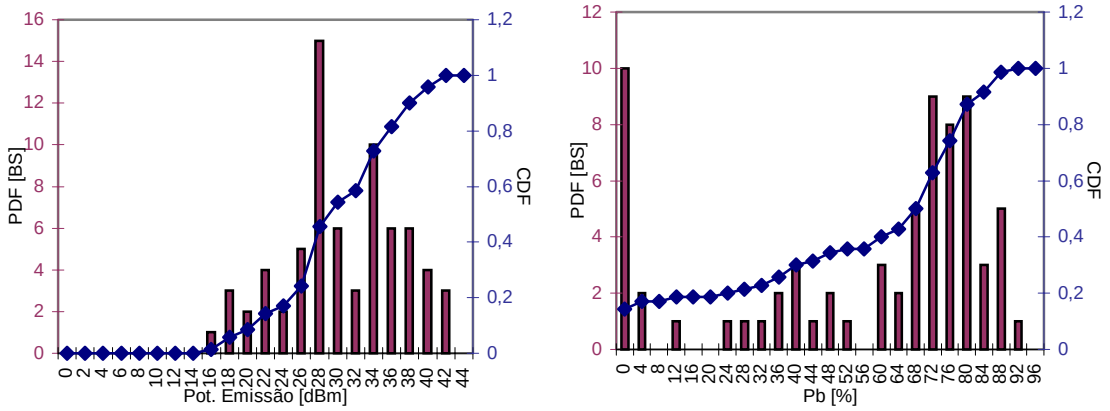
(a) UL (b) DL

Figura N.14: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.15: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.16: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

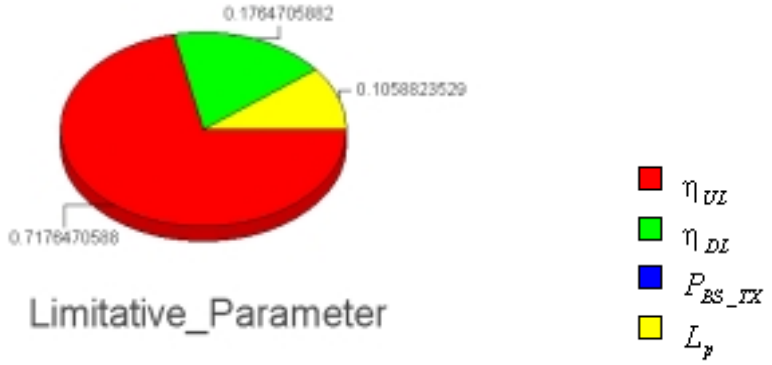


Figura N.17: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

Figura N.18: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 0,5 %, serviço de referência: 144 CS

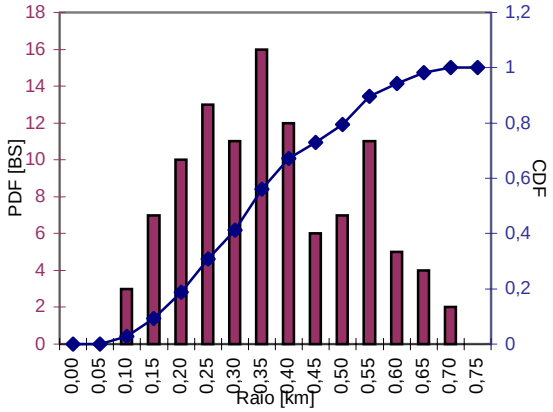
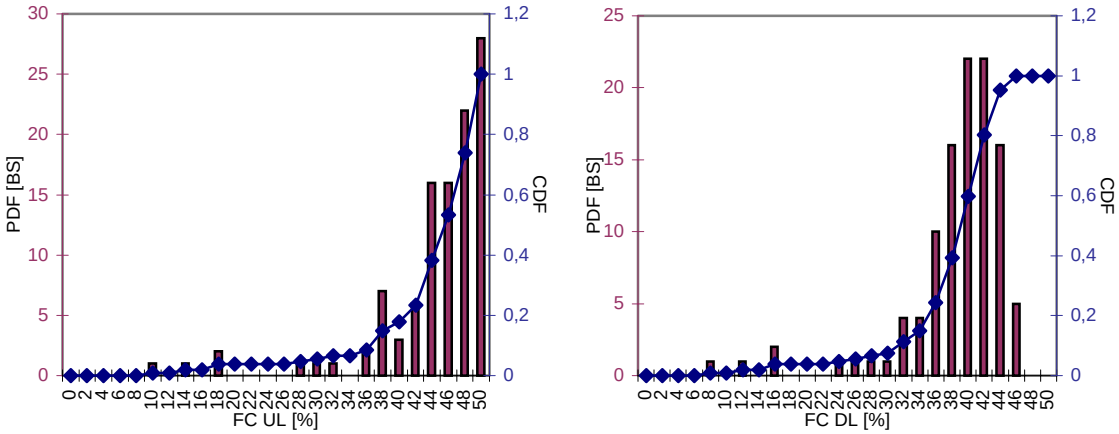
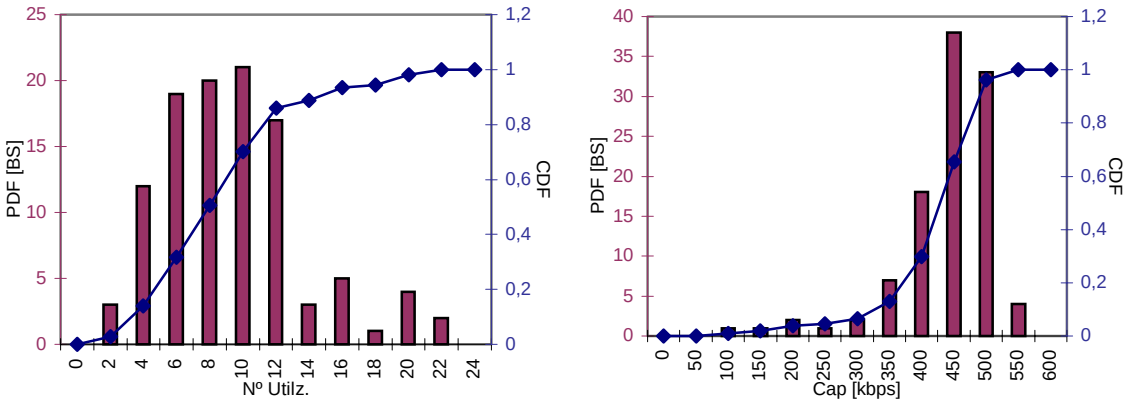


Figura N.19: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



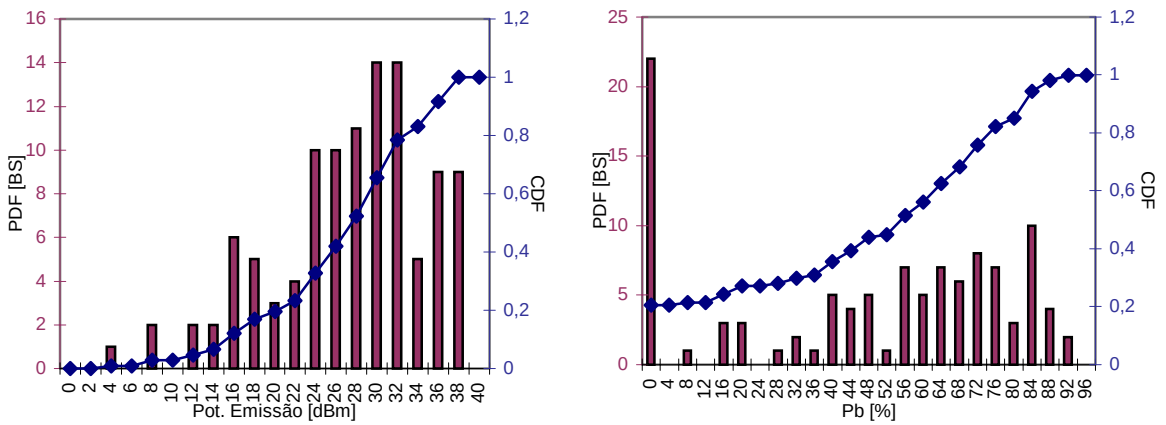
(a) UL (b) DL

Figura N.20: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.21: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.22: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

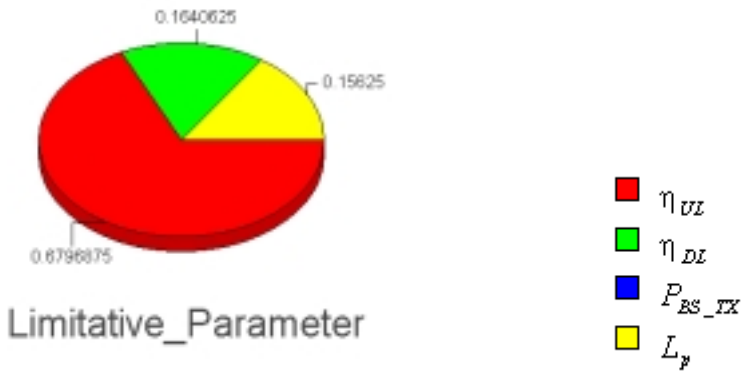


Figura N.23: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

Figura N.24: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 0,5 %, serviço de referência: 144 PS

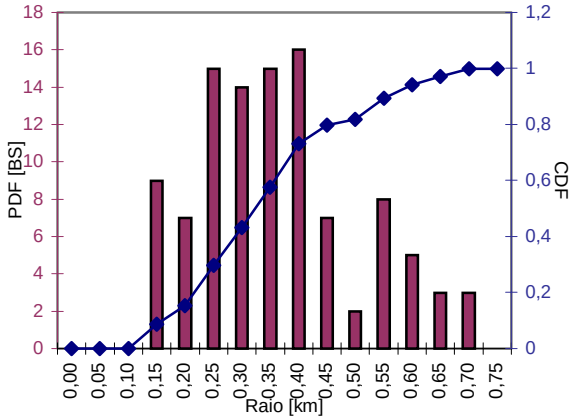
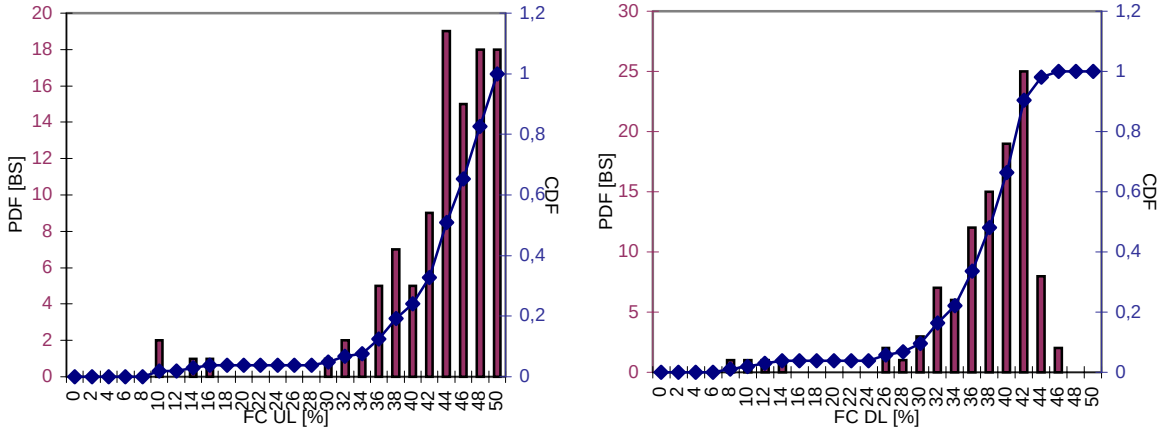
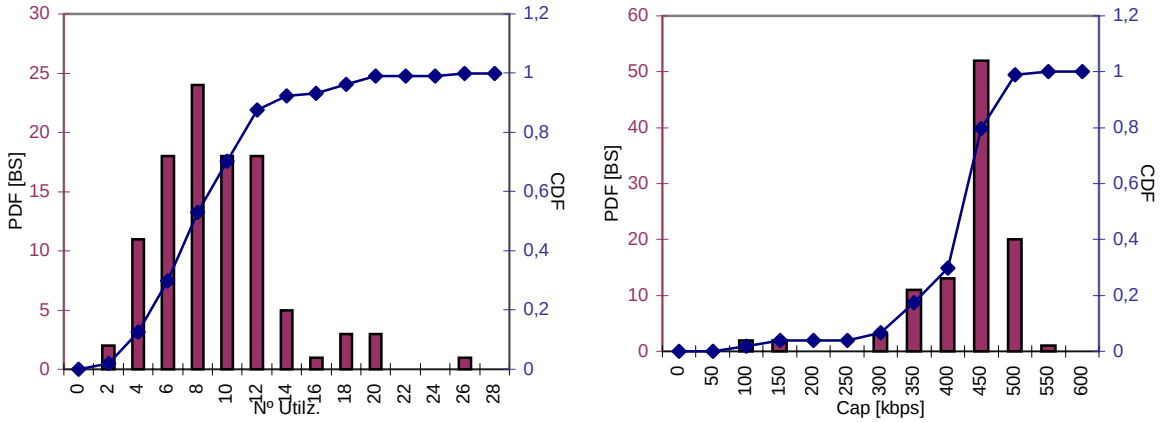


Figura N.25: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



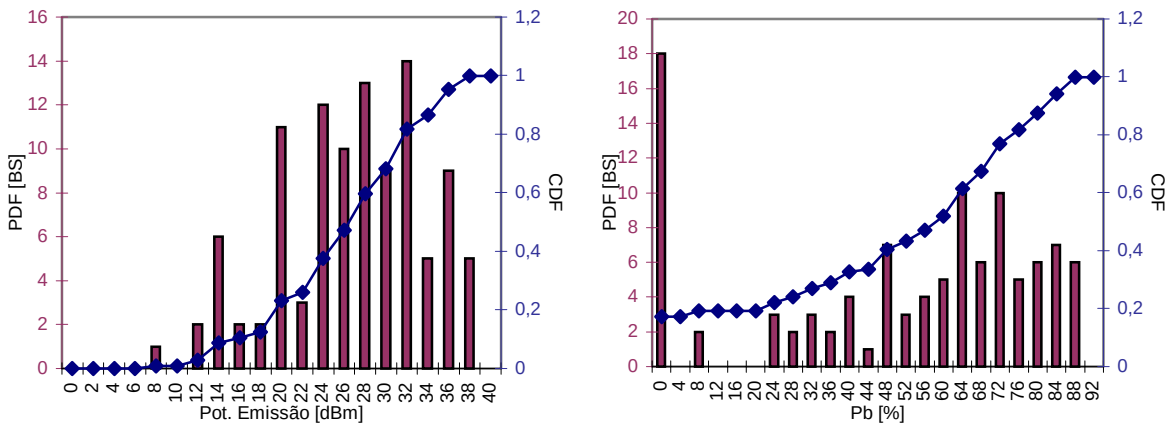
(a) UL (b) DL

Figura N.26: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.27: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.28: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

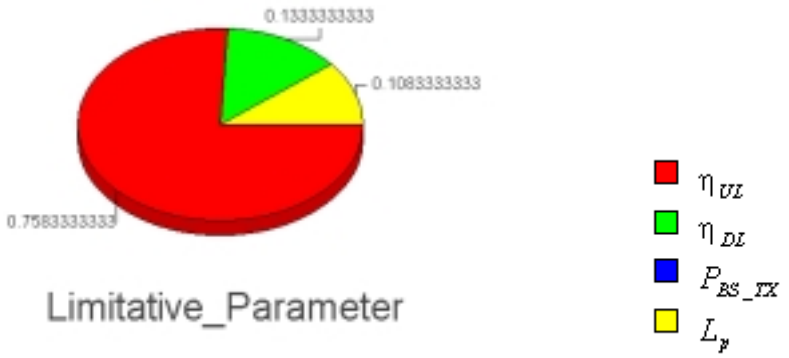


Figura N.29: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

Figura N.30: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 0,5 %, serviço de referência: 384 PS

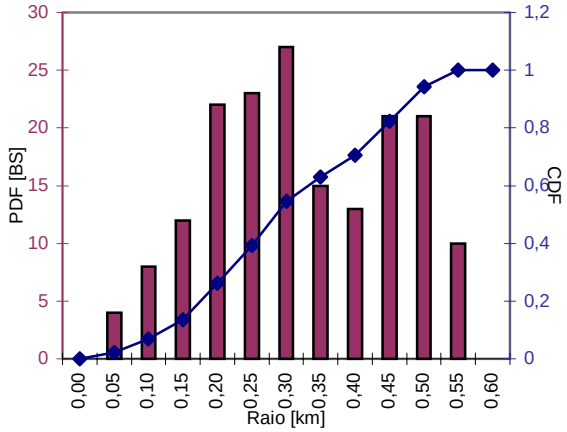
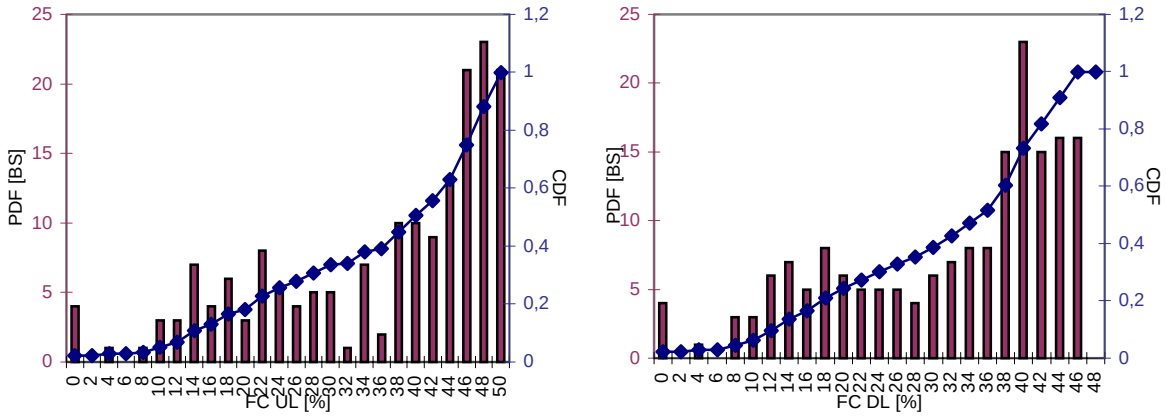
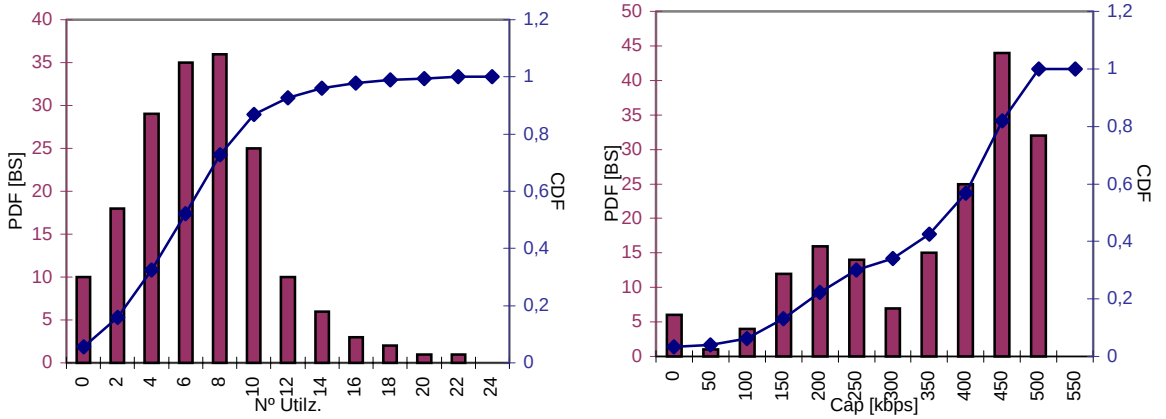


Figura N.31: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



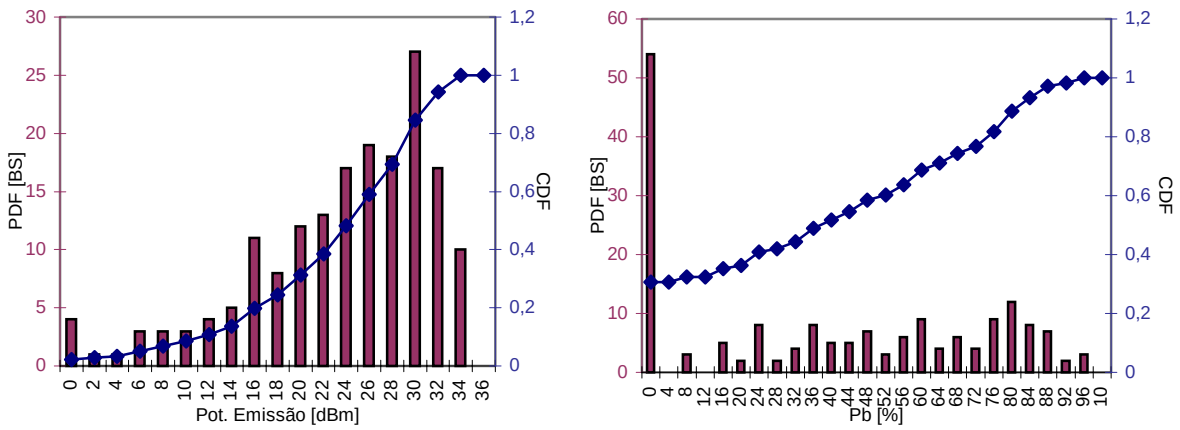
(a) UL (b) DL

Figura N.32: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.33: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.34: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

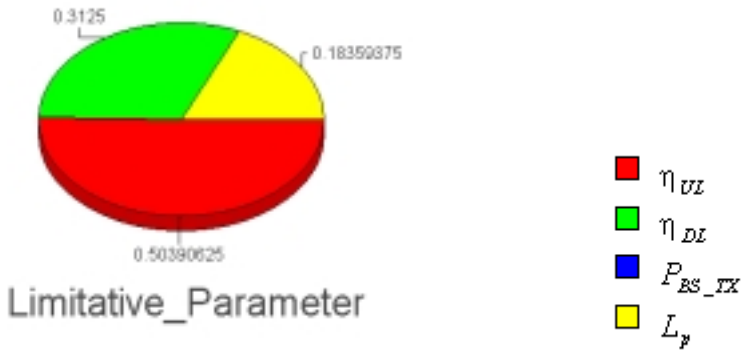


Figura N.35: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

Figura N.36: Cobertura da cidade de Lisboa.

Tabela N.3: Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 2 %.

Serviço de Referência	R_{ref} [km]	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$Utilz_{min}$	$Utilz_{méd}$	$Utilz_{máx}$	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]
Voz	0,850	0,204	**0,426**	0,850	35,00	49,28	55,00	49,42	41,16
64 CS	0,684	0,036	**0,208**	0,684	2,00	12,13	22,00	46,75	43,21
64 PS	0,684	0,033	**0,215**	0,641	2,00	12,24	25,00	46,80	42,49
144 CS	0,552	0,033	**0,189**	0,589	2,00	9,46	20,00	45,51	39,79
144 PS	0,552	0,004	**0,186**	0,577	1,00	9,59	25,00	45,11	39,25
384 PS	0,427	0,022	**0,174**	0,529	1,00	8,71	21,00	37,11	35,49

Tabela N.4: Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 2 %.

Serviço de Referência	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Voz	72,01	92,68	18,75	49,18	70,91	29,09	50,82	81,25	0,00
64 CS	88,82	99,12	20,00	58,46	86,36	13,64	41,54	80,00	0,00
64 PS	88,09	98,71	40,00	84,92	100,00	0,00	15,08	60,00	16,67
144 CS	85,02	99,22	71,43	92,33	100,00	0,00	7,67	28,57	0,00
144 PS	85,64	99,57	50,00	94,83	100,00	0,00	5,17	50,00	0,00
384 PS	78,25	98,70	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- 2 %, serviço de referência: voz

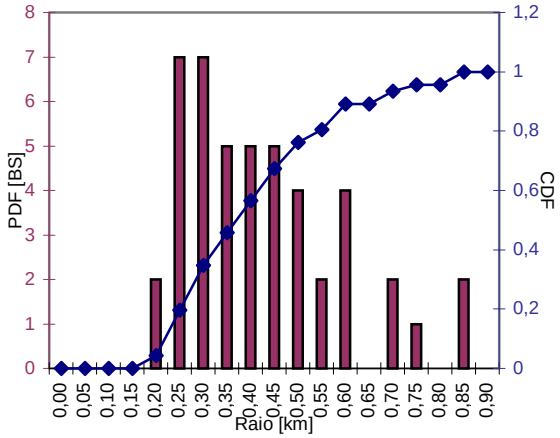
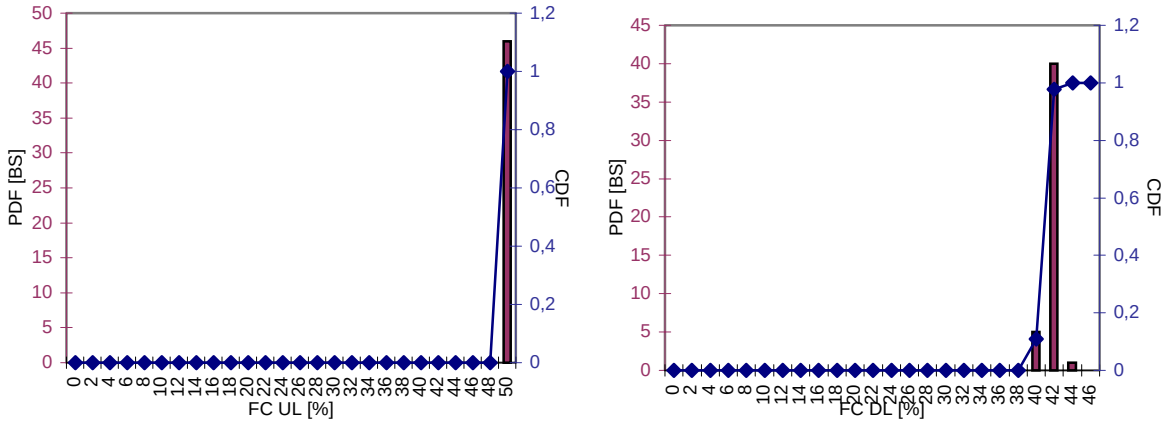
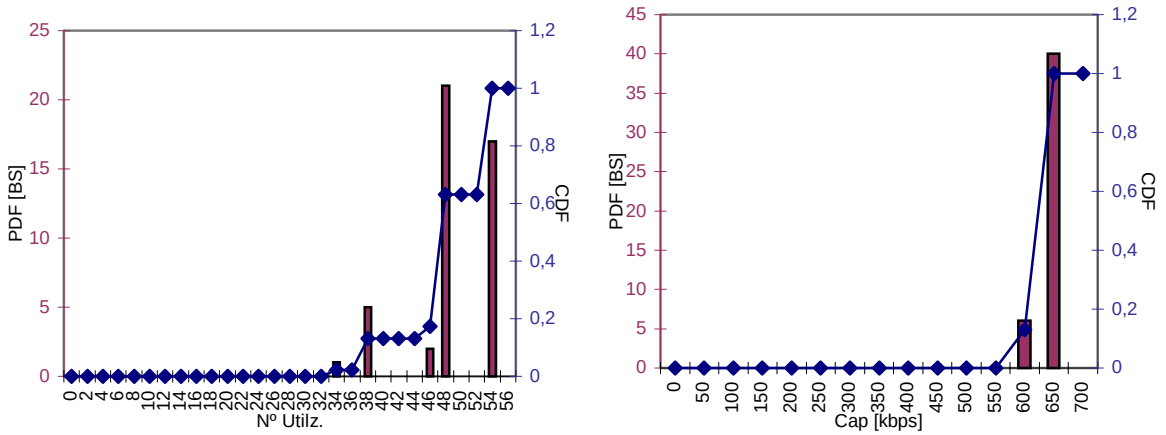


Figura N.37: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



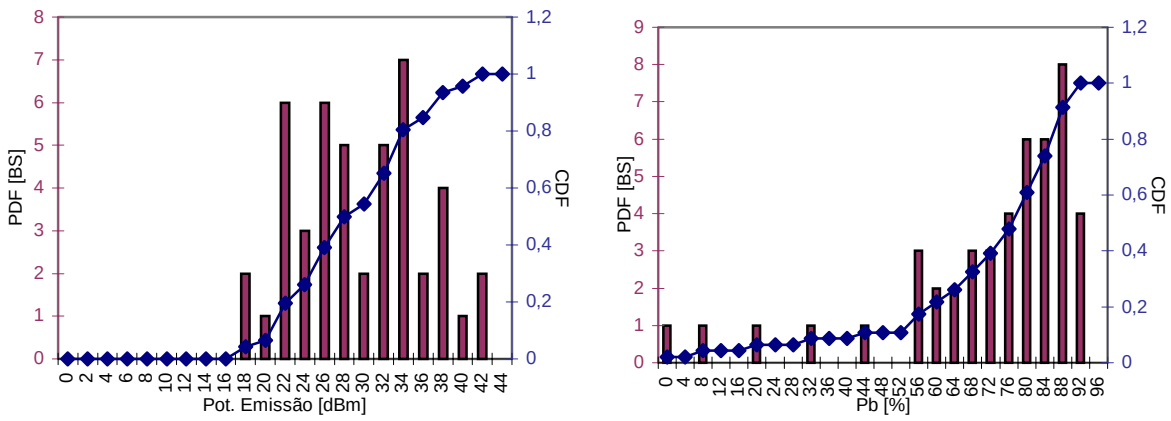
(a) UL (b) DL

Figura N.38: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.39: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.40: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

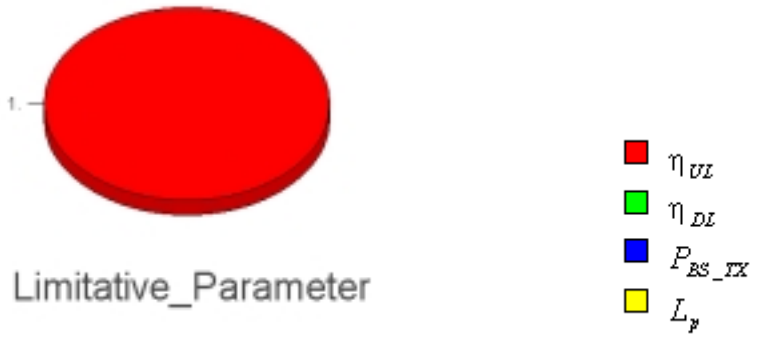


Figura N.41: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

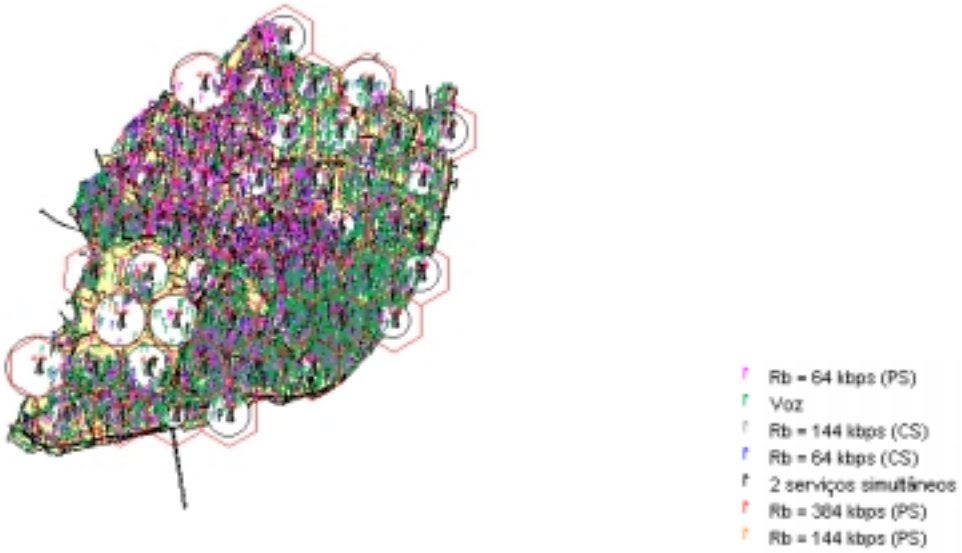


Figura N.42: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 2 %, serviço de referência: 64 CS

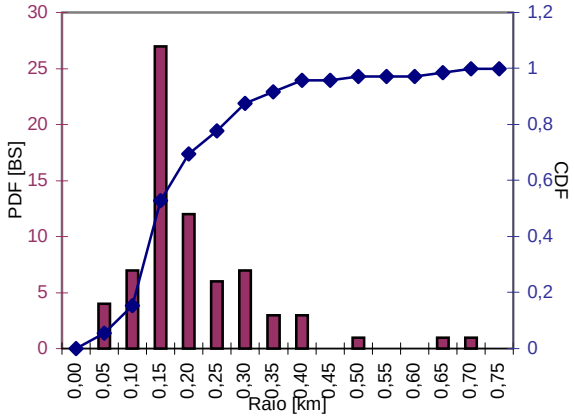
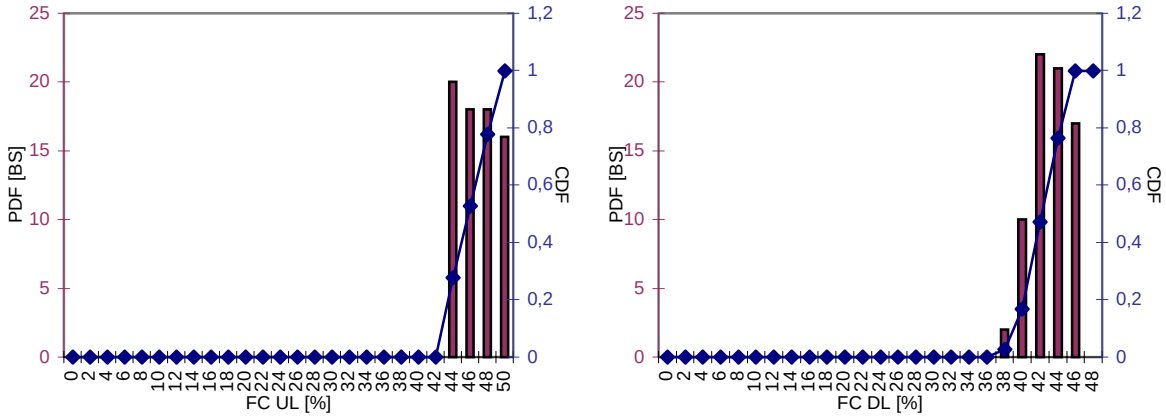
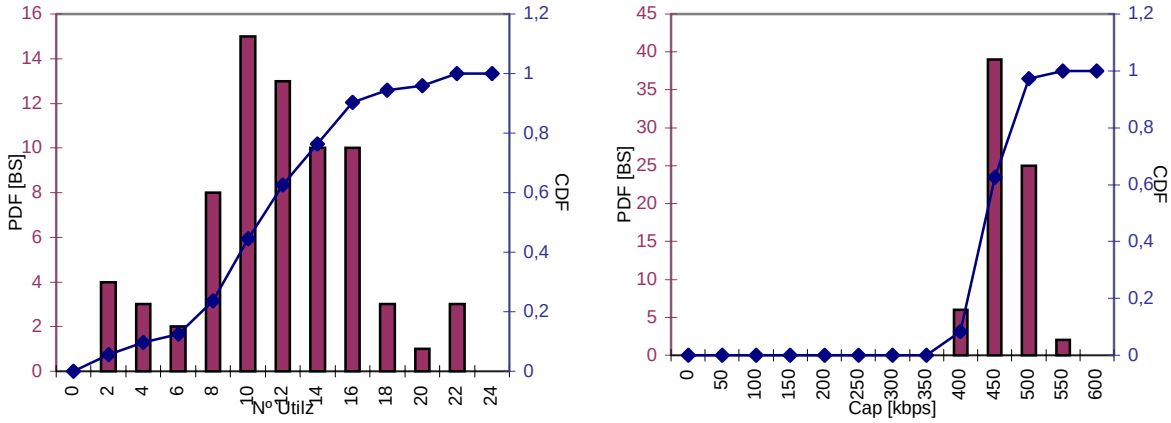


Figura N.43: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



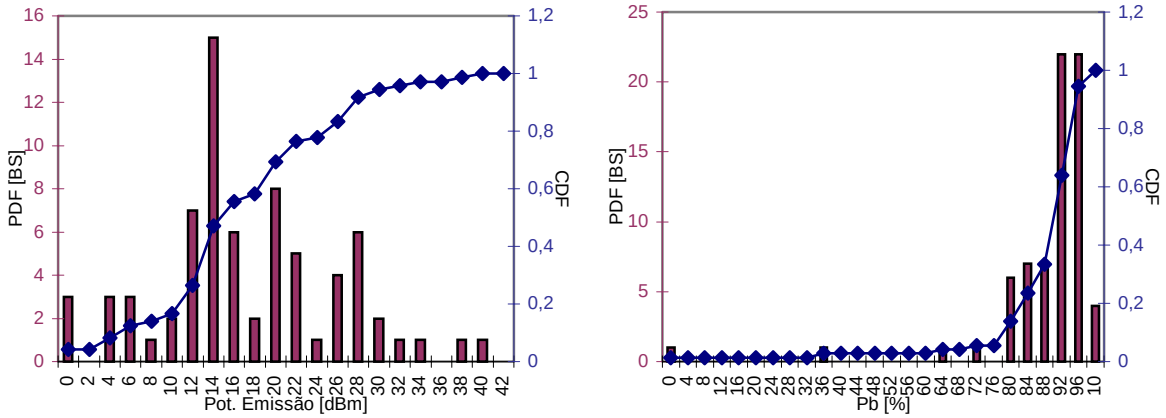
(a) UL (b) DL

Figura N.44: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.45: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.46: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

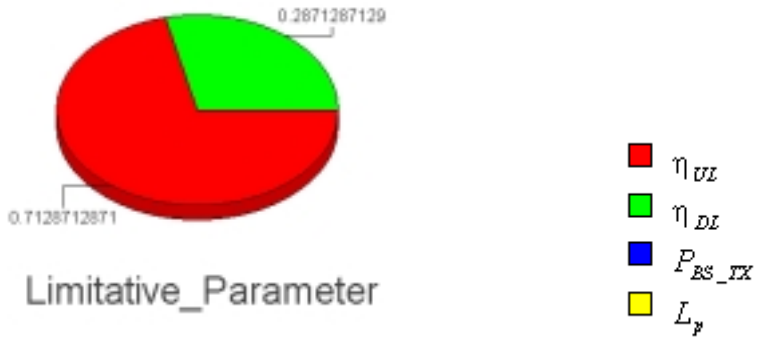


Figura N.47: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

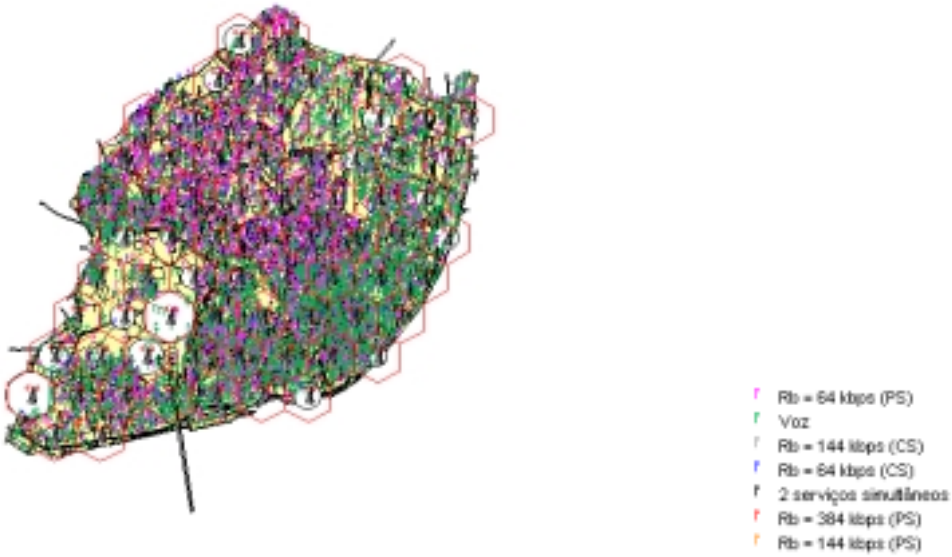


Figura N.48: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 2 %, serviço de referência: 64 PS

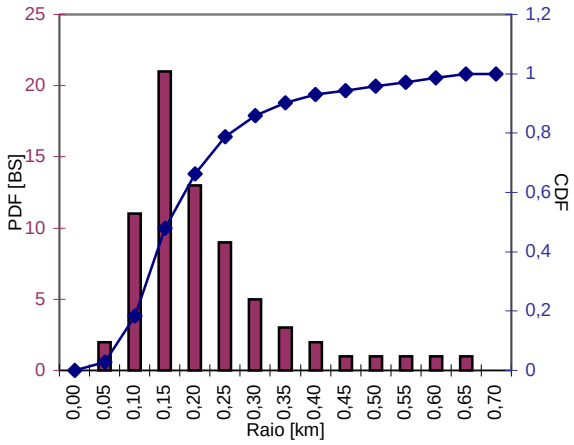
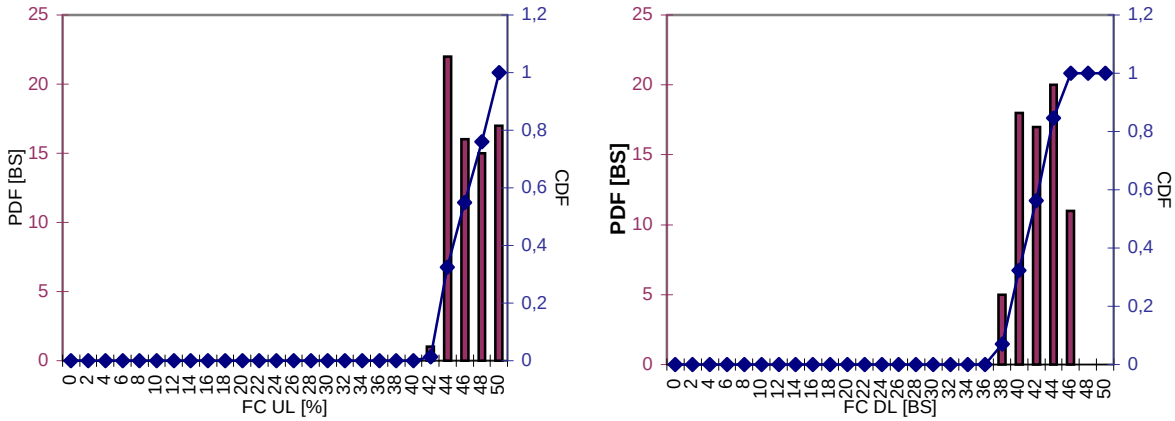
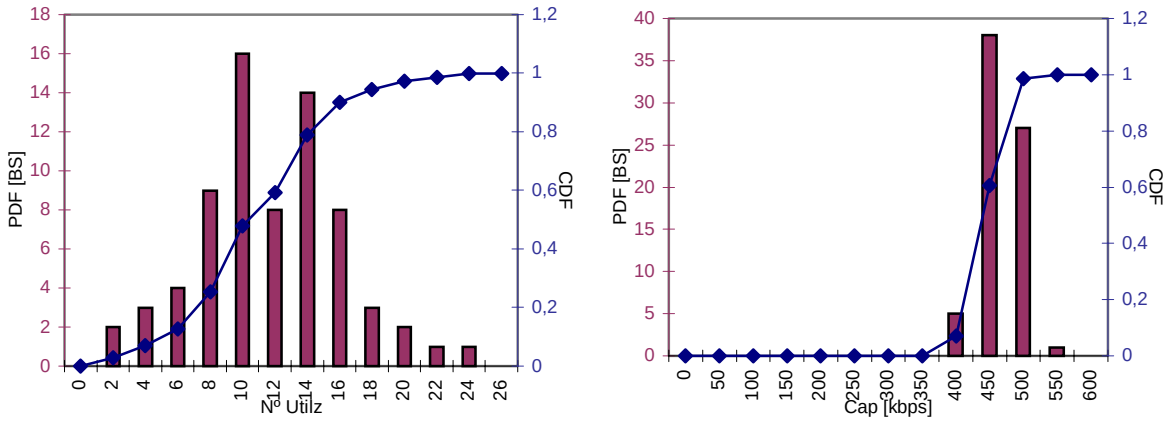


Figura N.49: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



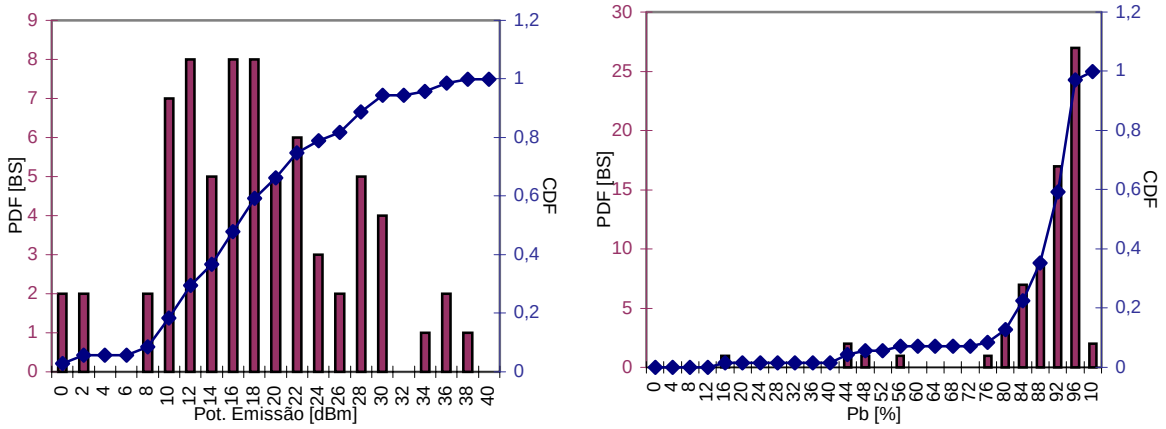
(a) UL (b) DL

Figura N.50: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.51: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.52: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

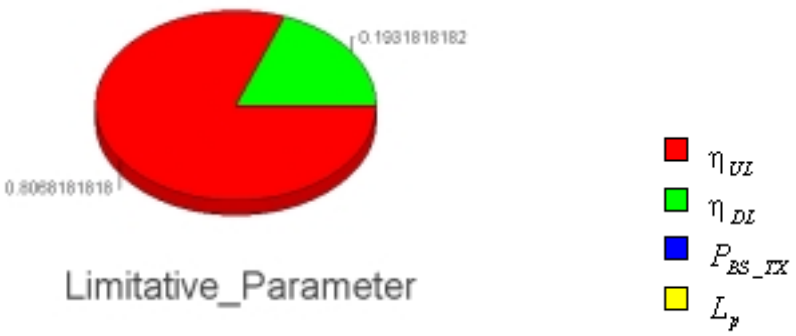


Figura N.53: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

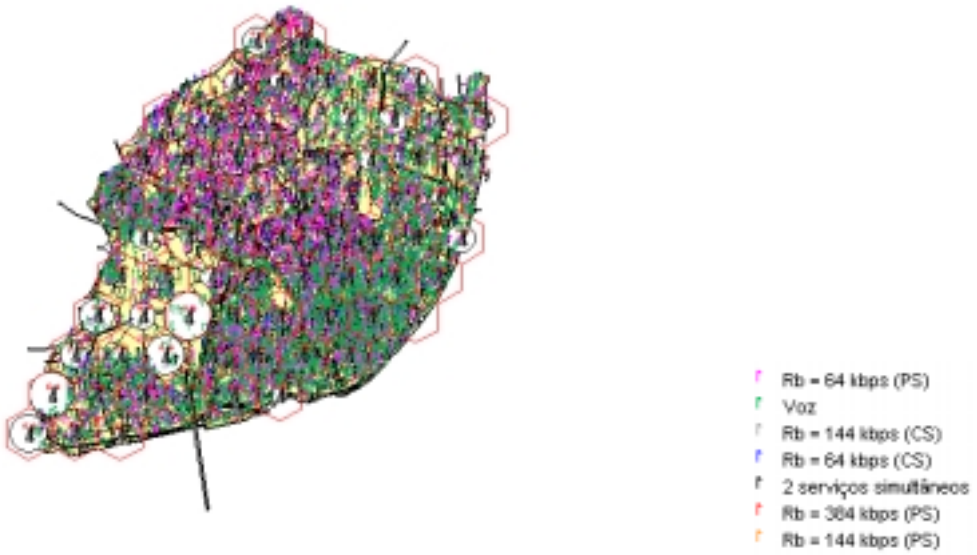


Figura N.54: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 2 %, serviço de referência: 144 CS

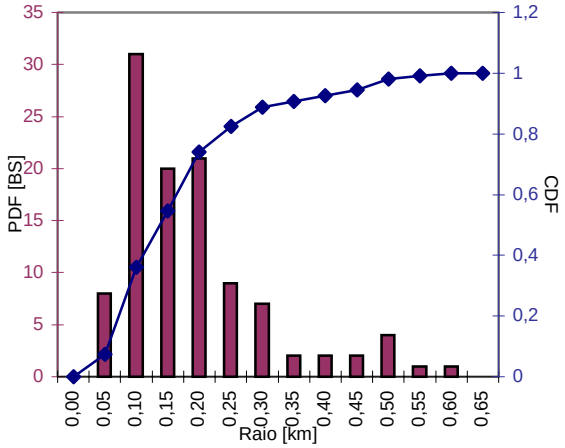
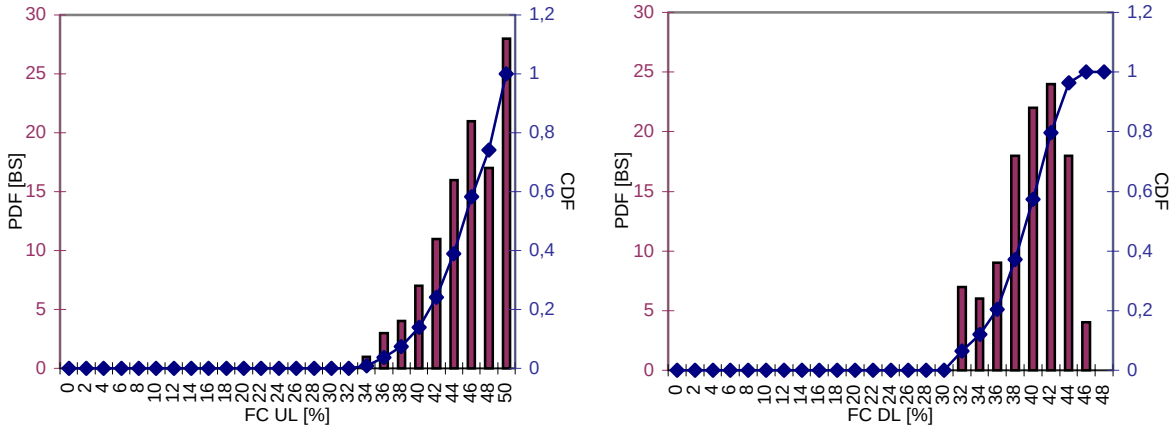
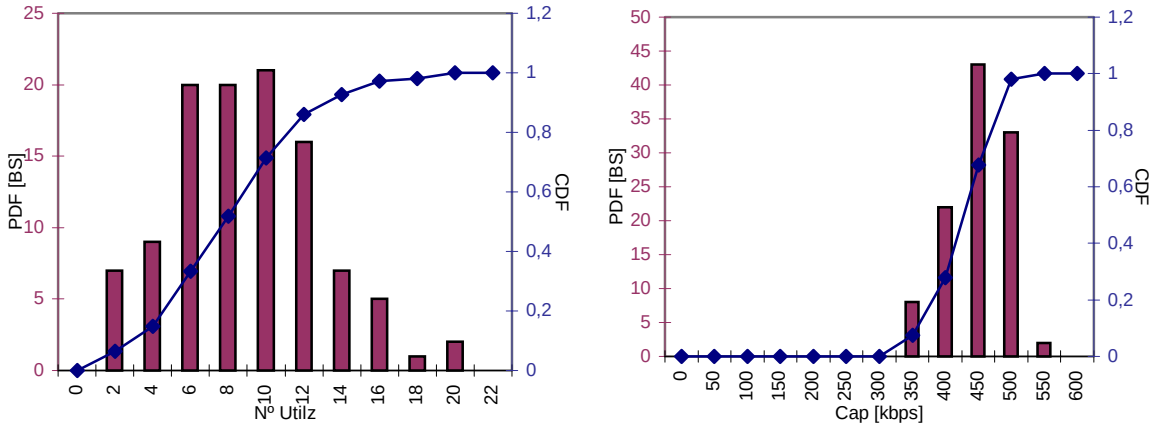


Figura N.55: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



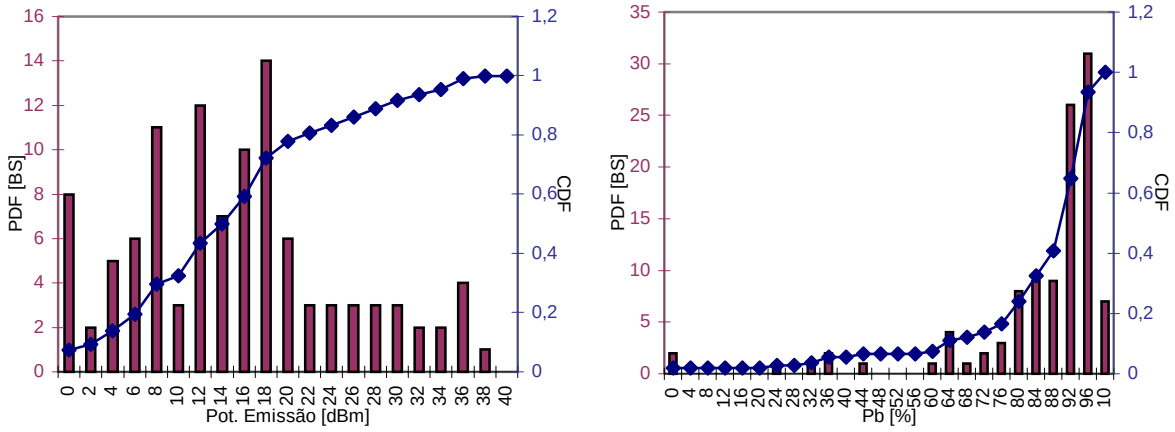
(a) UL (b) DL

Figura N.56: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.57: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.58: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

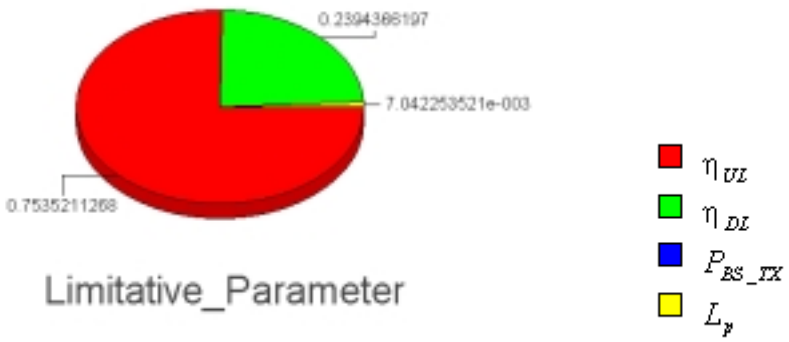


Figura N.59: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

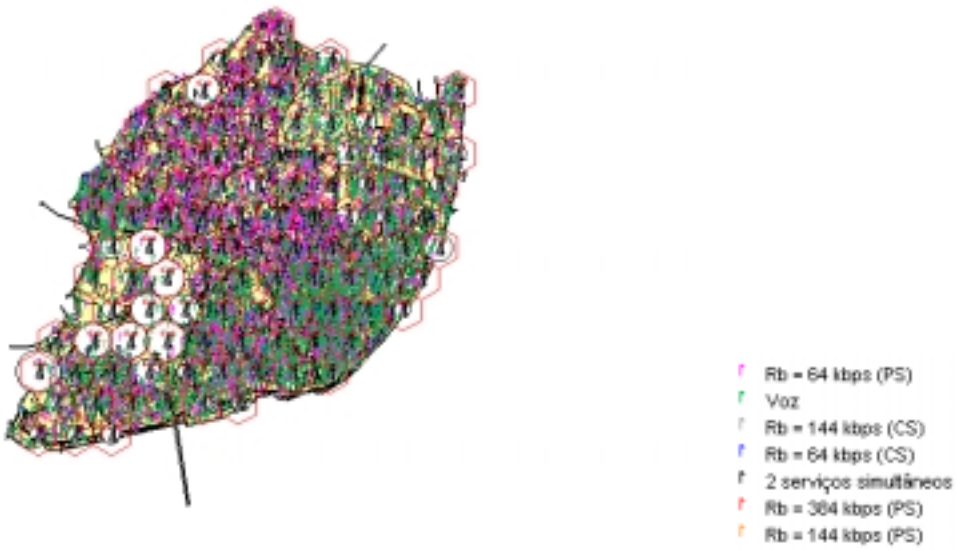


Figura N.60: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 2 %, serviço de referência: 144 PS

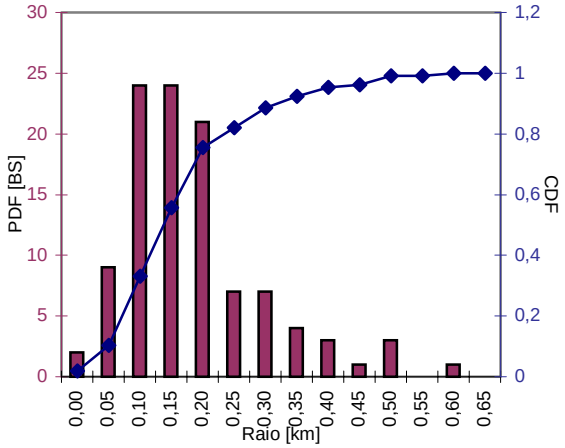
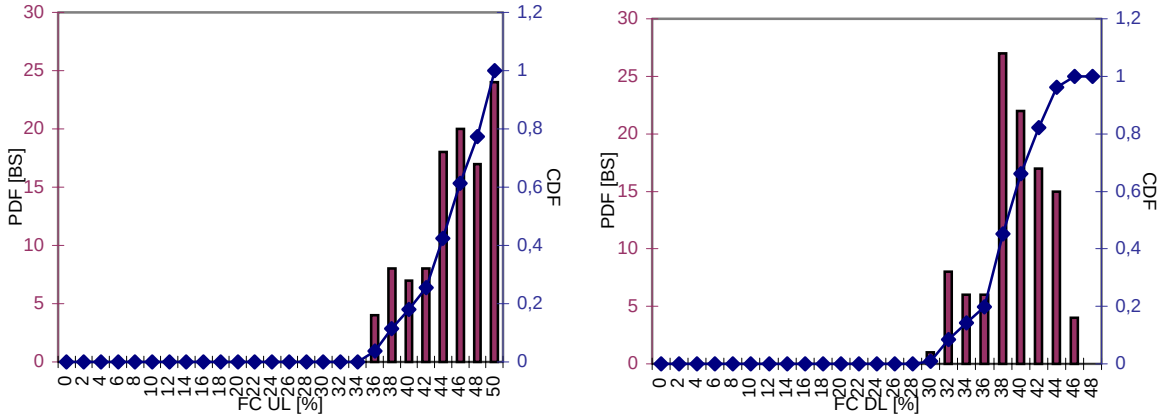
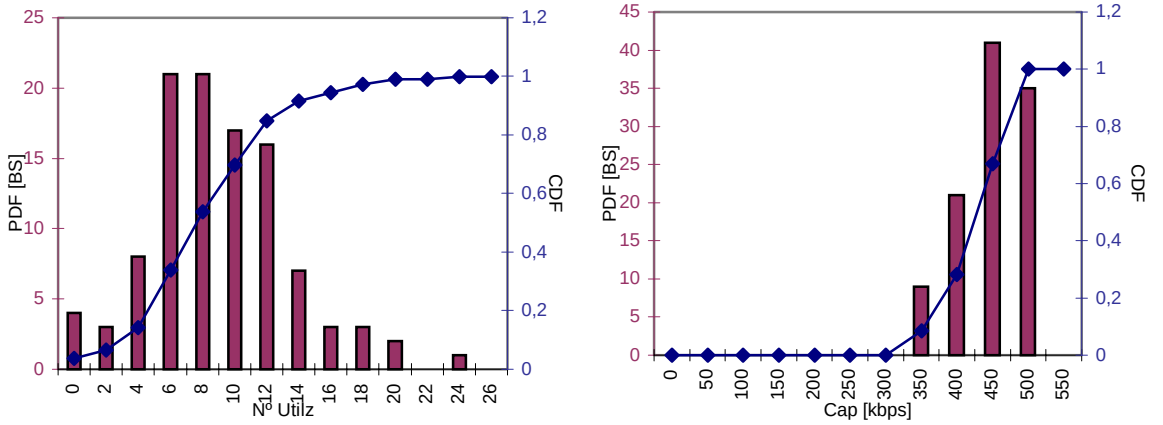


Figura N.61: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



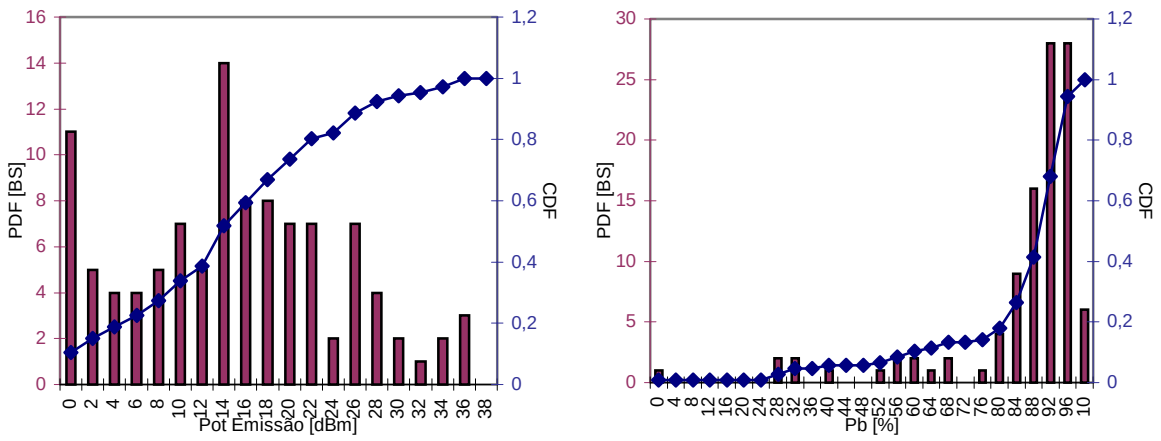
(a) UL (b) DL

Figura N.62: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.63: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.64: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

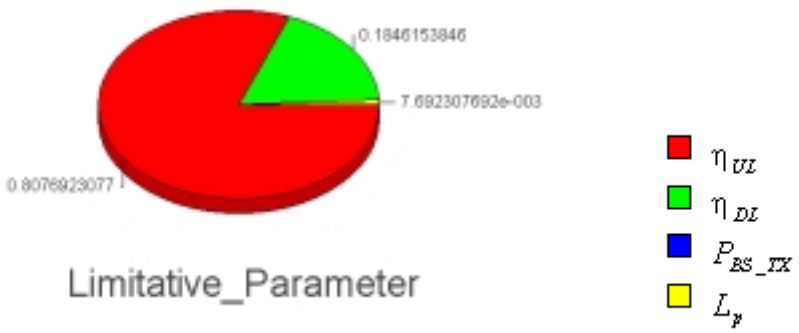


Figura N.65: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

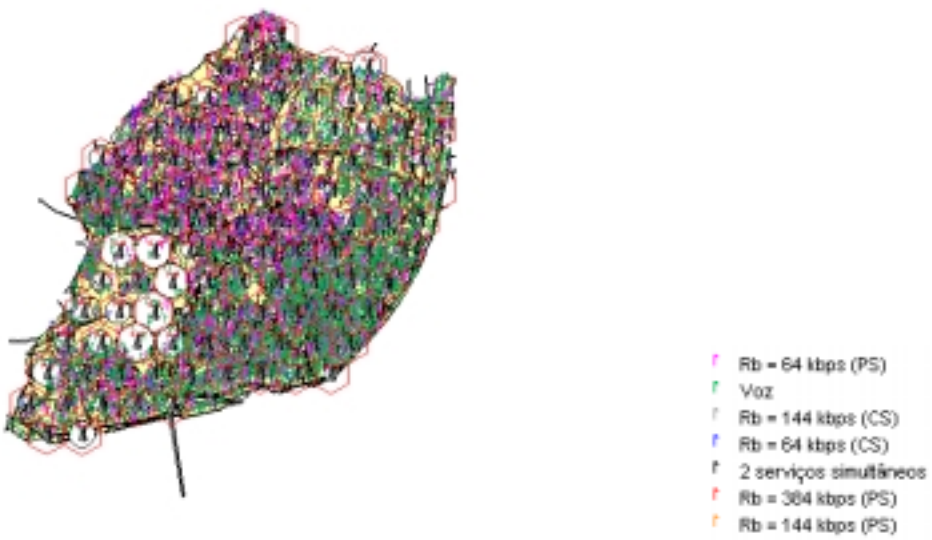


Figura N.66: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 2 %, serviço de referência: 384 PS

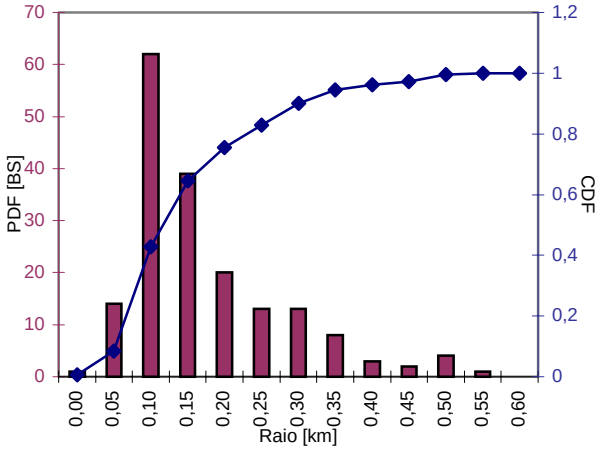
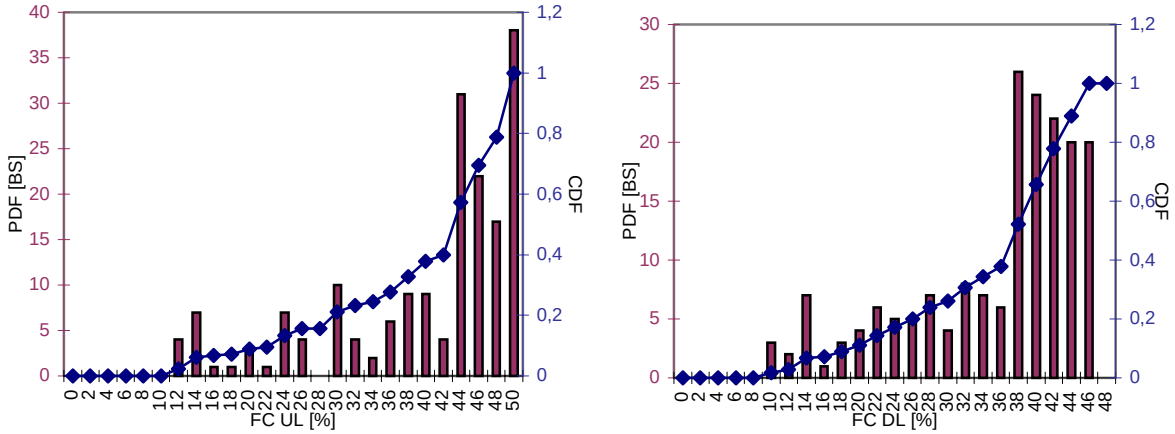
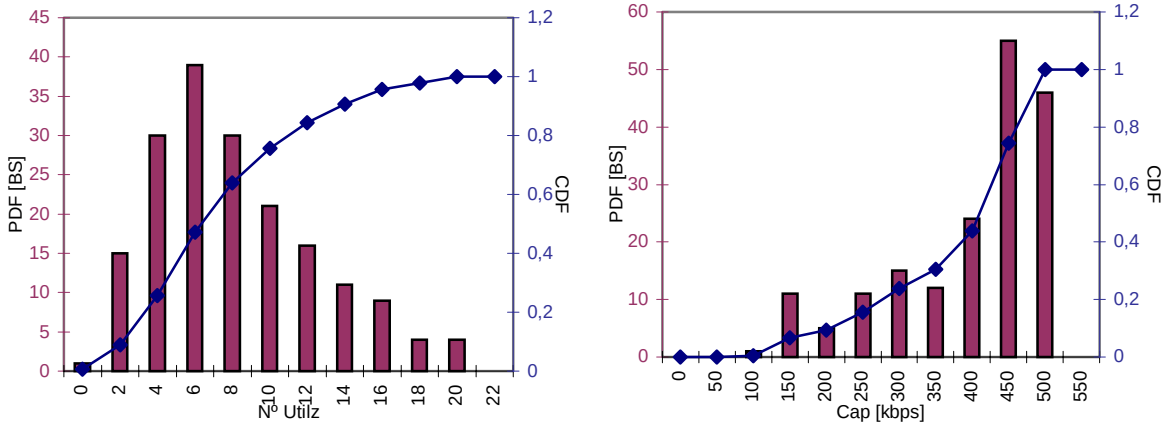


Figura N.67: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



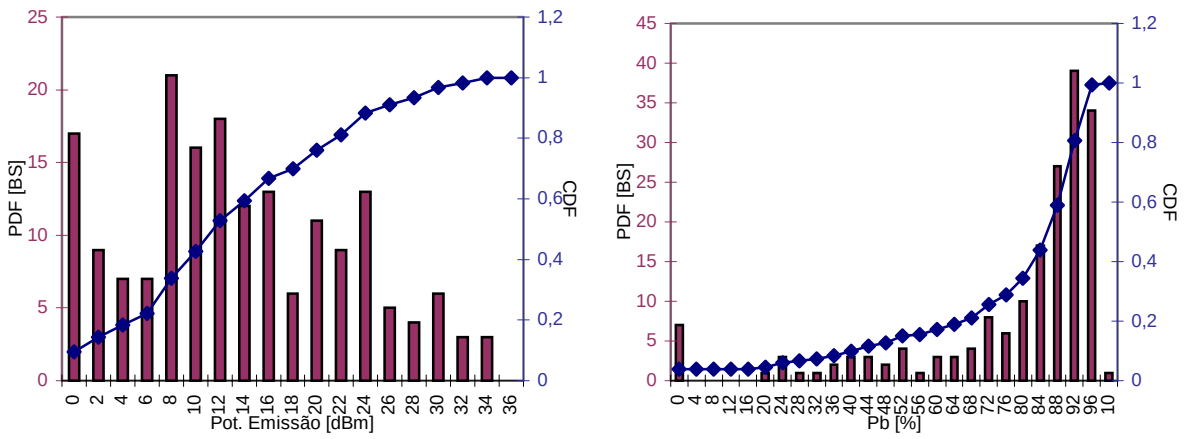
(a) UL (b) DL

Figura N.68: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.69: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.70: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

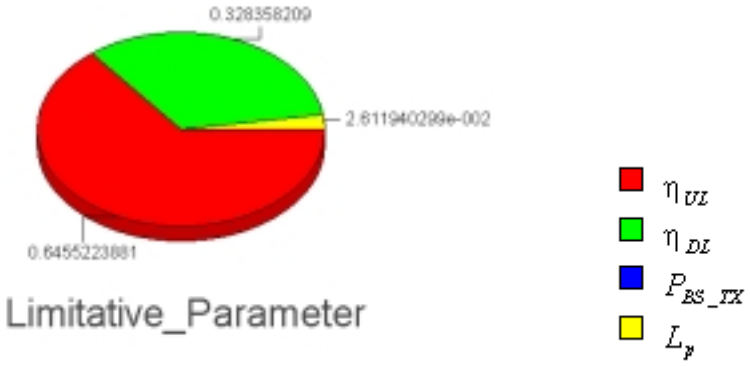


Figura N.71: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

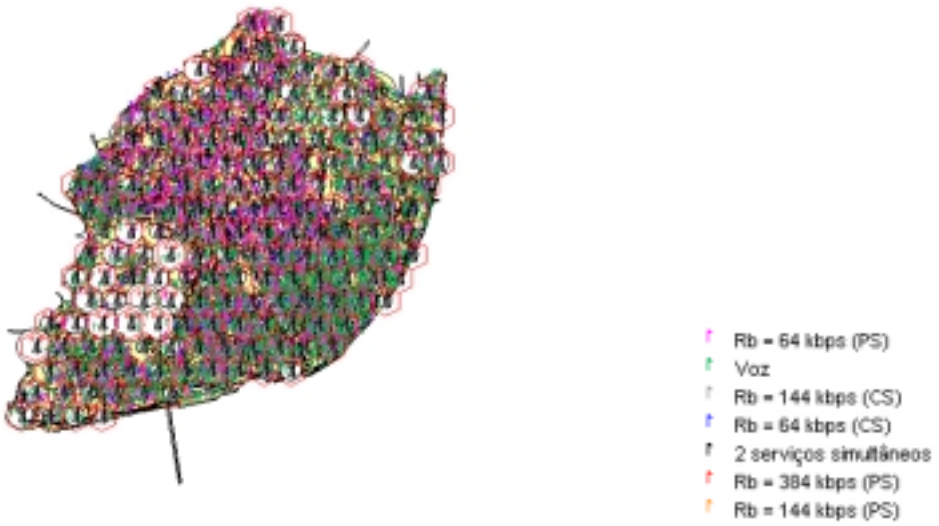


Figura N.72: Cobertura da cidade de Lisboa

Tabela N.5: Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 5 %.

Serviço de Referência	R_{ref} [km]	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$Utilz_{min}$	$Utilz_{méd}$	$Utilz_{máx}$	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]
Voz	0,850	0,114	**0,276**	0,662	11,00	49,98	55,00	49,56	41,18
64 CS	0,684	0,031	**0,127**	0,457	2,00	11,83	23,00	47,05	43,51
64 PS	0,684	0,059	**0,133**	0,393	2,00	11,80	22,00	47,16	42,93
144 CS	0,552	0,028	**0,125**	0,485	3,00	10,03	23,00	45,04	39,51
144 PS	0,552	0,023	**0,122**	0,445	2,00	10,05	24,00	45,08	39,55
384 PS	0,427	0,017	**0,116**	0,433	1,00	8,63	22,00	39,71	35,24

Tabela N.6: Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 5 %.

Serviço de Referência	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Voz	89,04	98,59	18,75	49,96	74,47	25,53	50,04	81,25	55,96
64 CS	95,74	99,58	14,29	58,26	100,00	0,00	41,74	85,71	68,26
64 PS	95,61	99,42	57,14	87,86	100,00	0,00	12,14	42,86	79,52
144 CS	94,70	99,46	33,33	91,29	100,00	0,00	8,72	66,67	50,00
144 PS	94,72	99,46	62,5	92,28	100,00	0,00	7,72	37,50	68,75
384 PS	90,38	99,41	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- 5 %, serviço de referência: voz

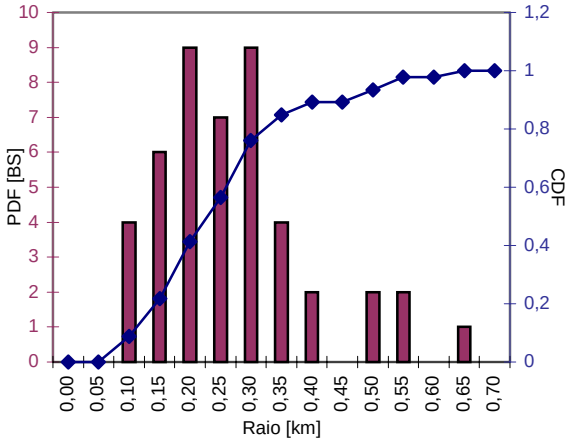
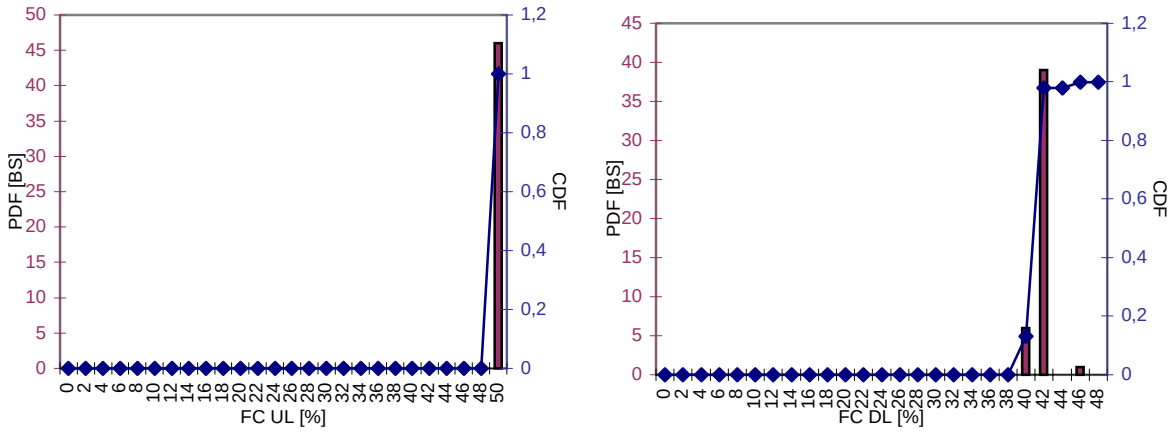
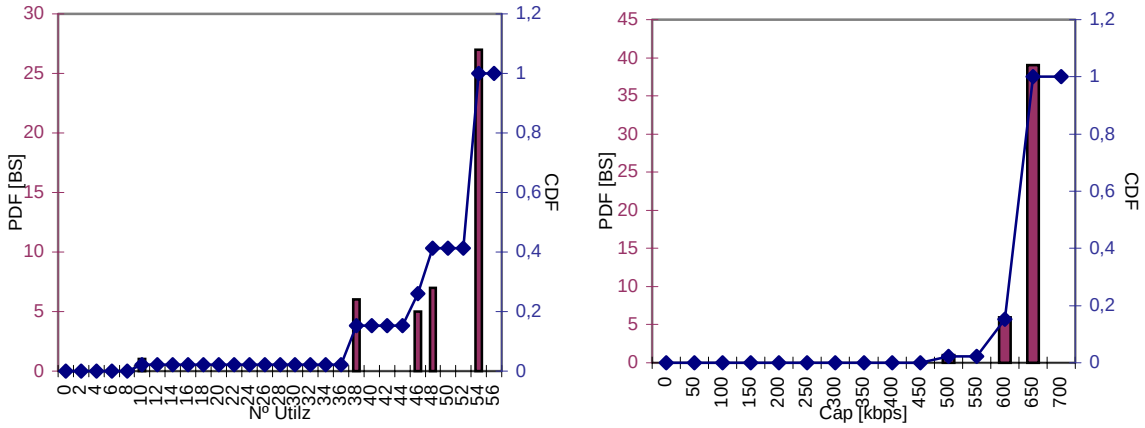


Figura N.73: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



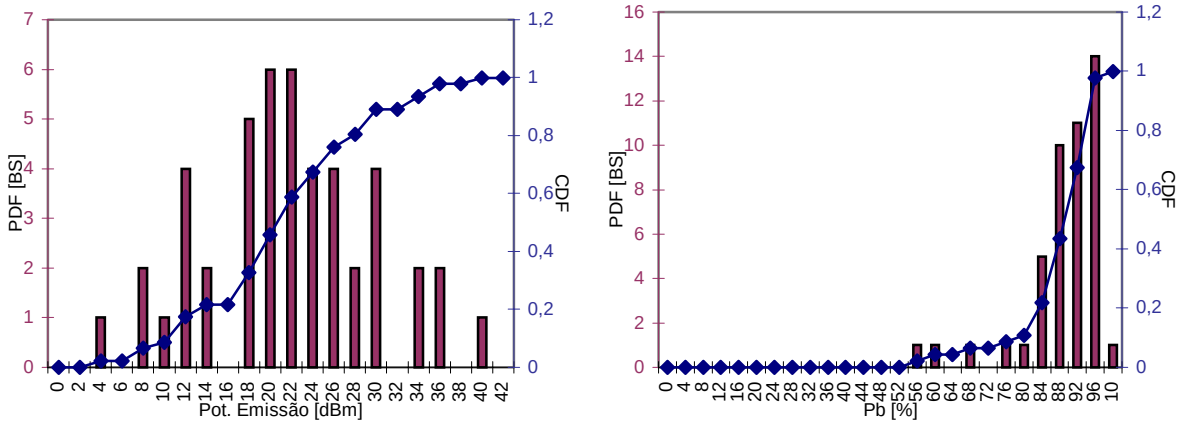
(a) UL (b) DL

Figura N.74: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.75: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.76: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

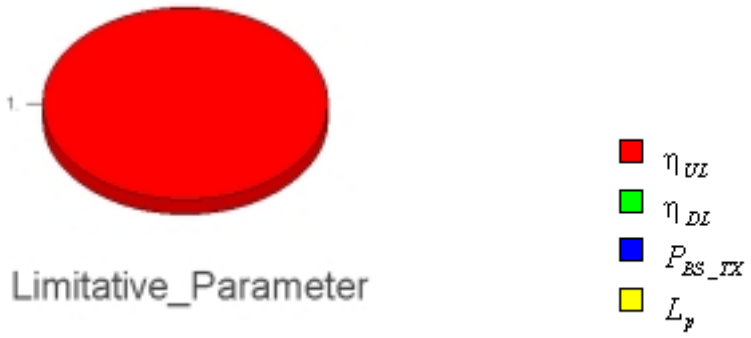


Figura N.77: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

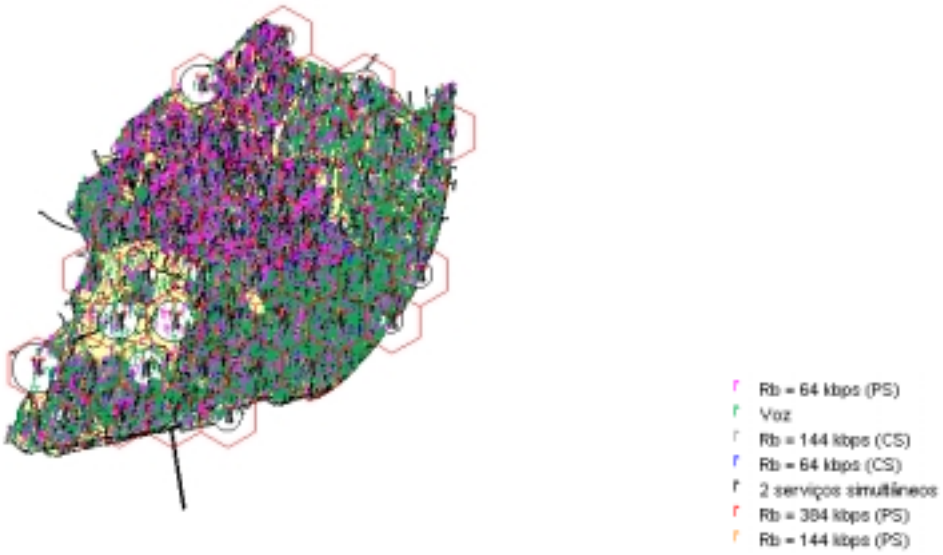


Figura N.78: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 5 %, serviço de referência: 64 CS

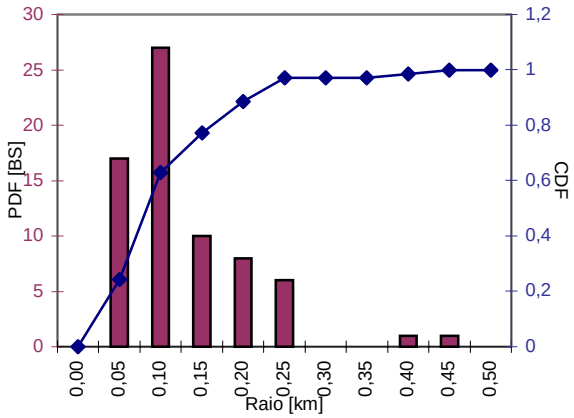
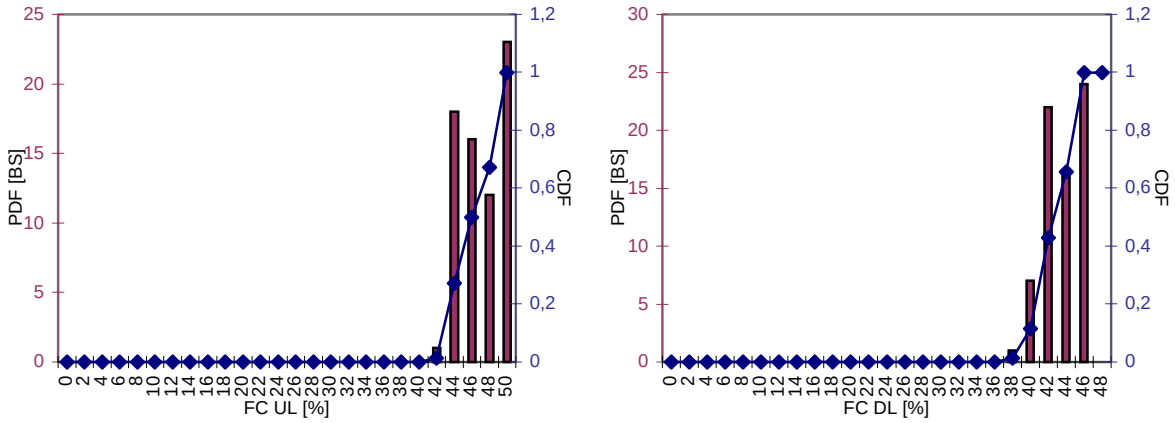
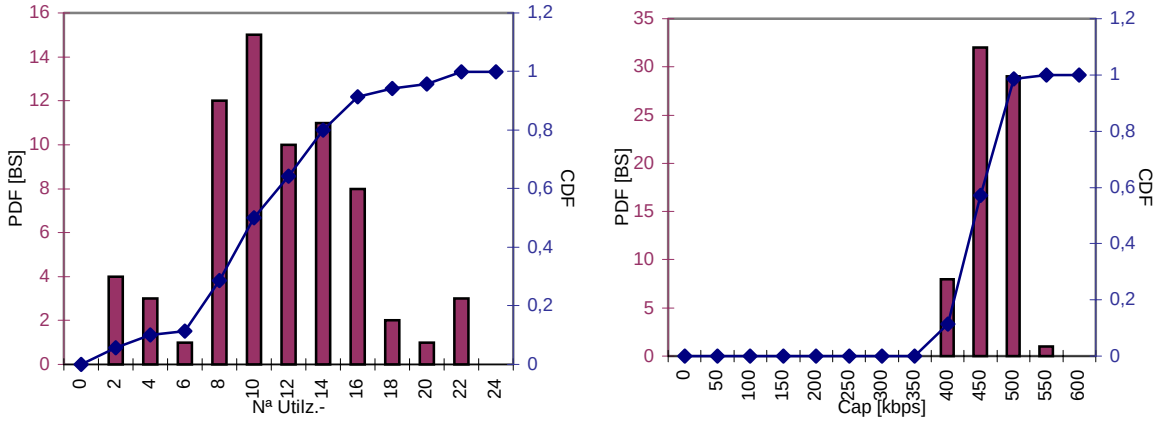


Figura N.79: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



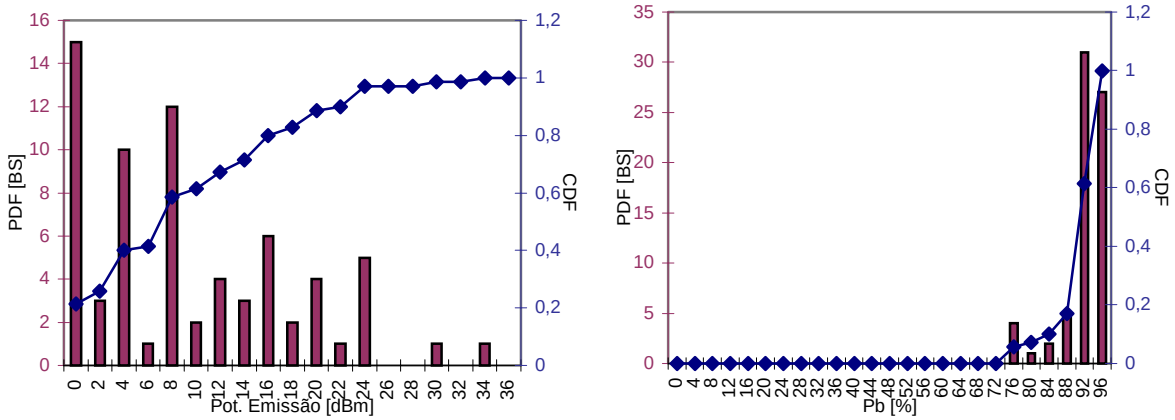
(a) UL (b) DL

Figura N.80: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.81: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.82: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

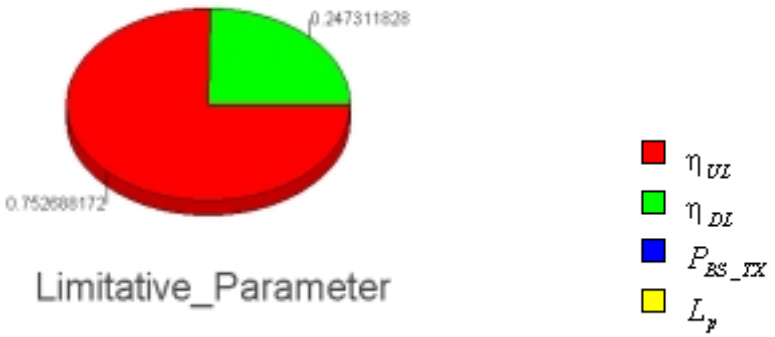


Figura N.83: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

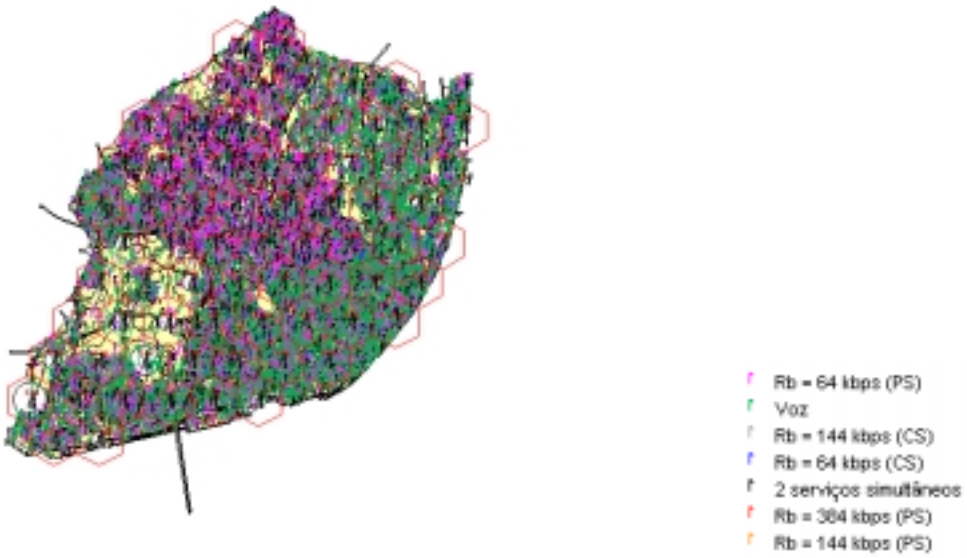


Figura N.84: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 5 %, serviço de referência: 64 PS

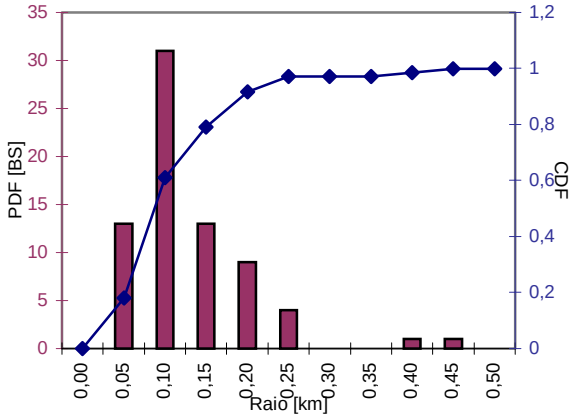
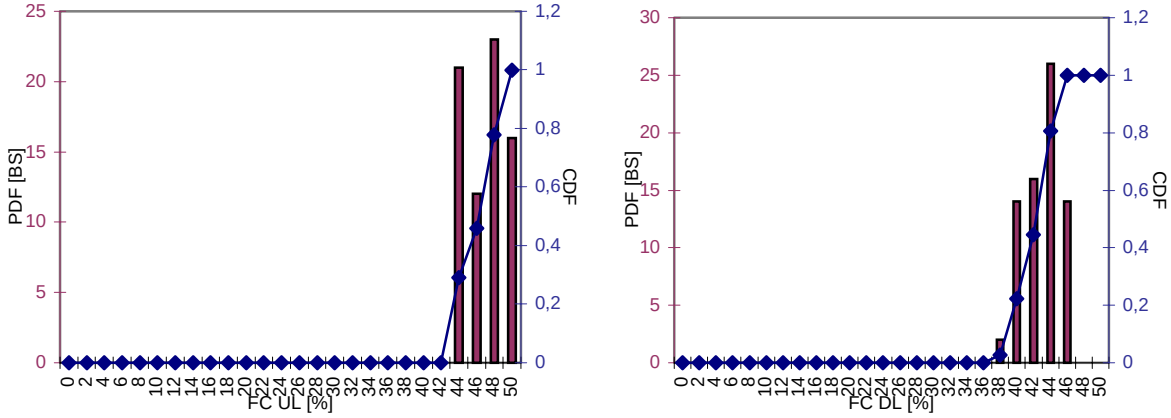
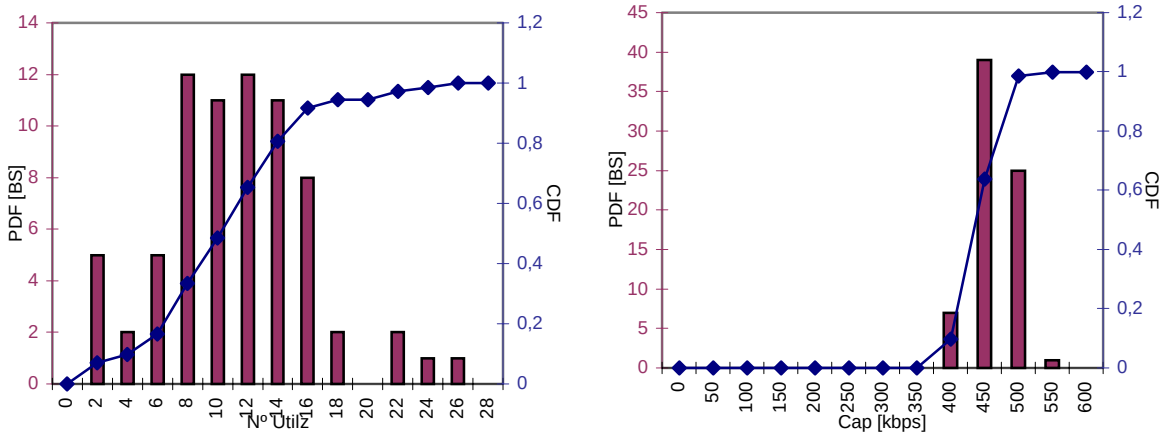


Figura N.85: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



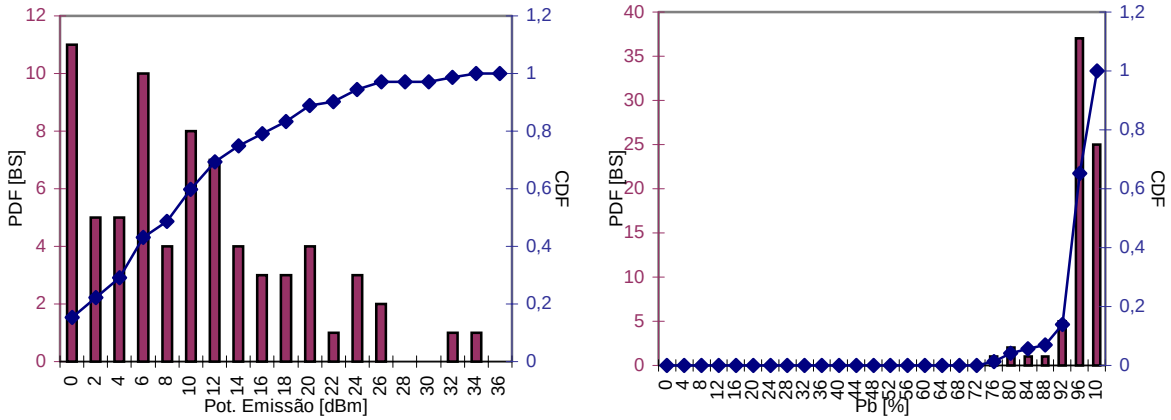
(a) UL (b) DL

Figura N.86: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.87: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.88: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

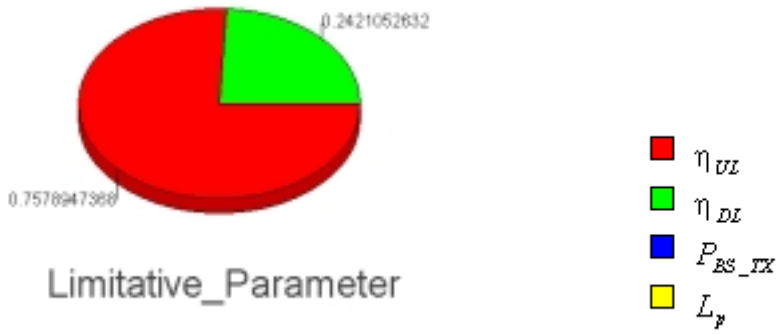


Figura N.89: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

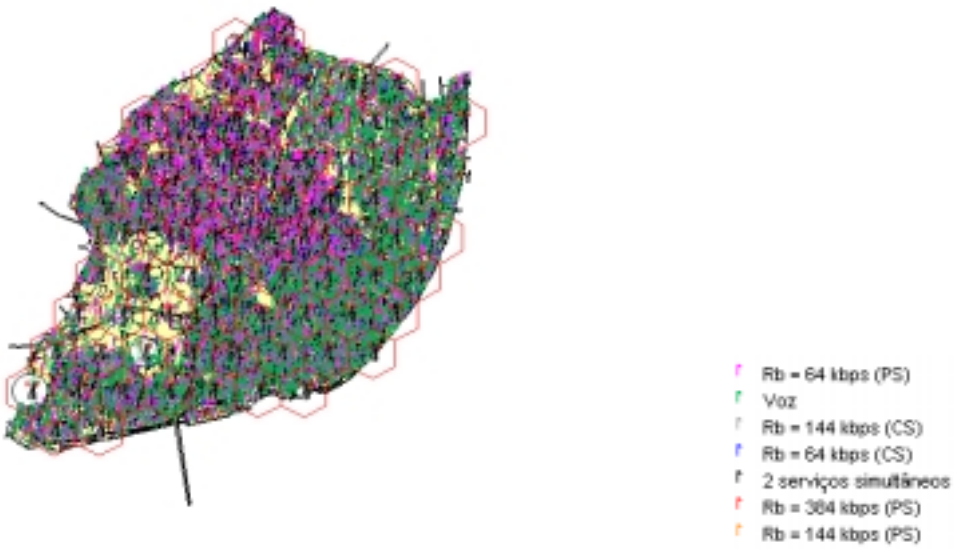


Figura N.90: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 5 %, serviço de referência: 144 CS

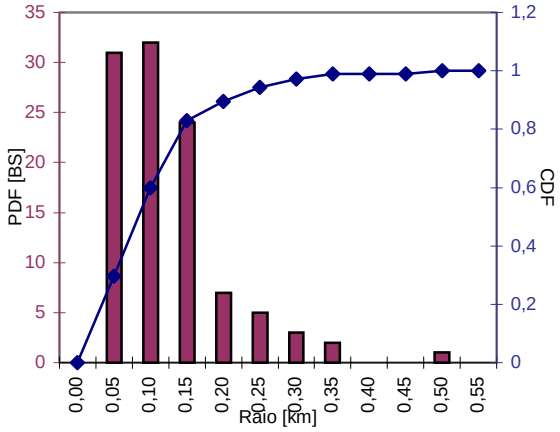
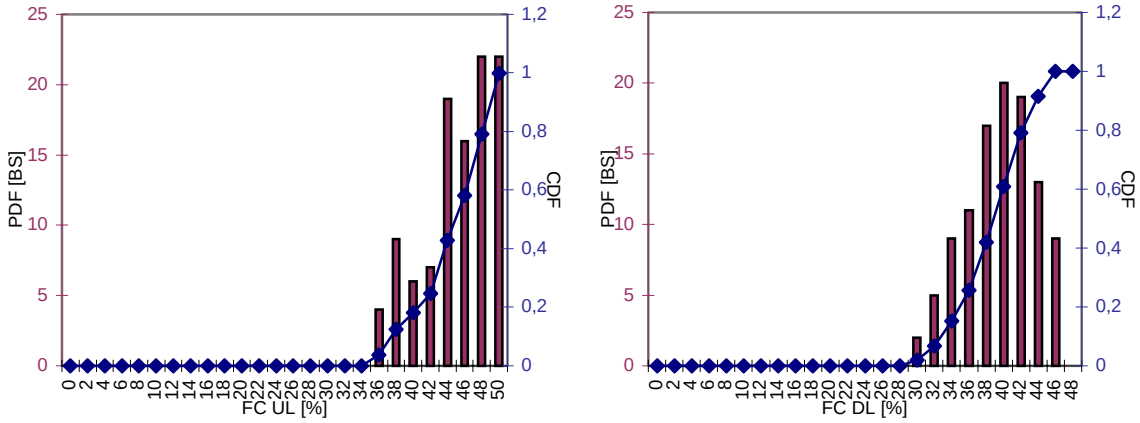
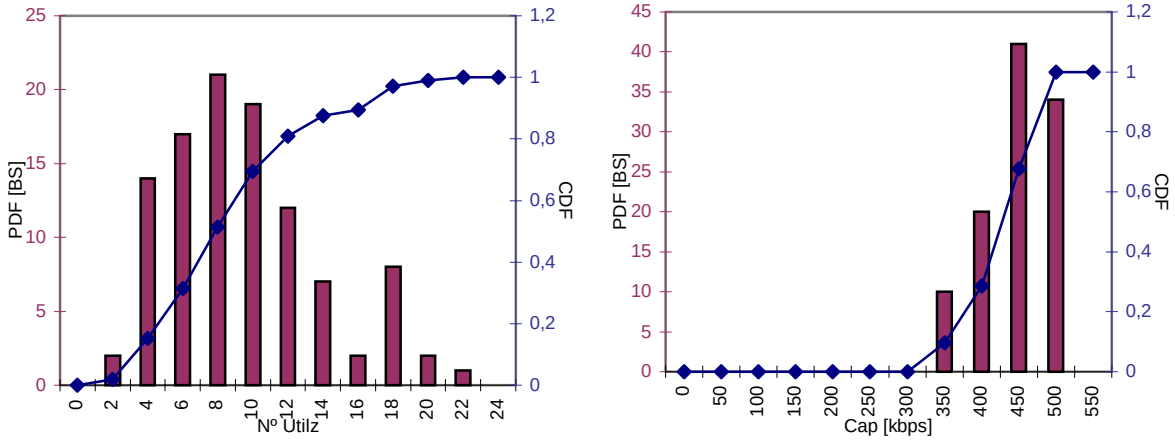


Figura N.91: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



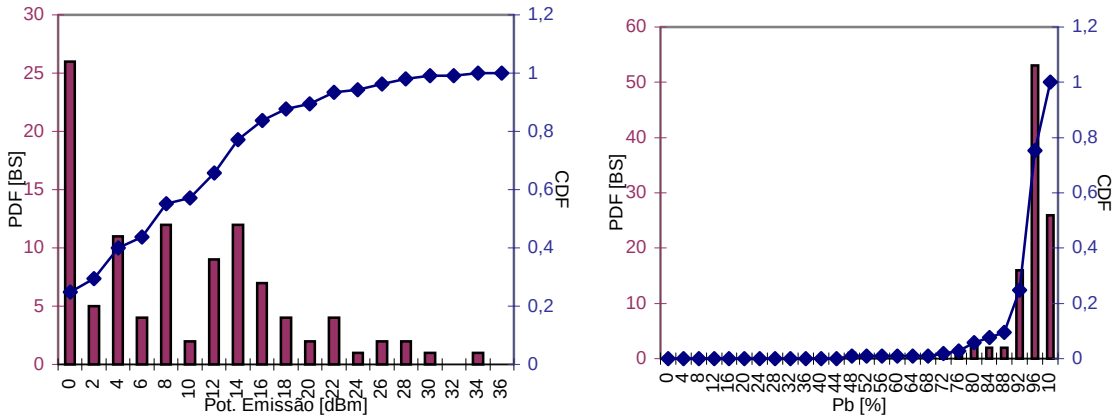
(a) UL (b) DL

Figura N.91: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.92: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.93: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

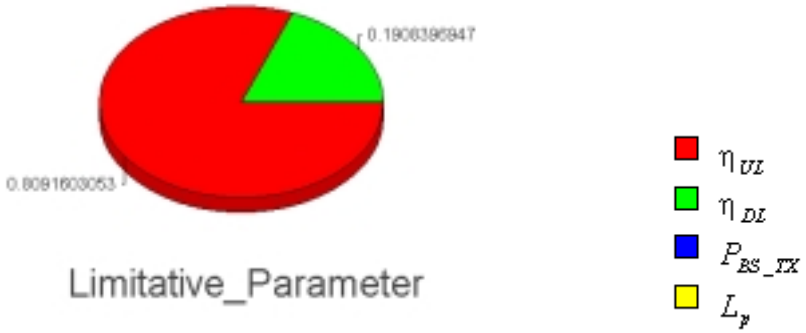


Figura N.94: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

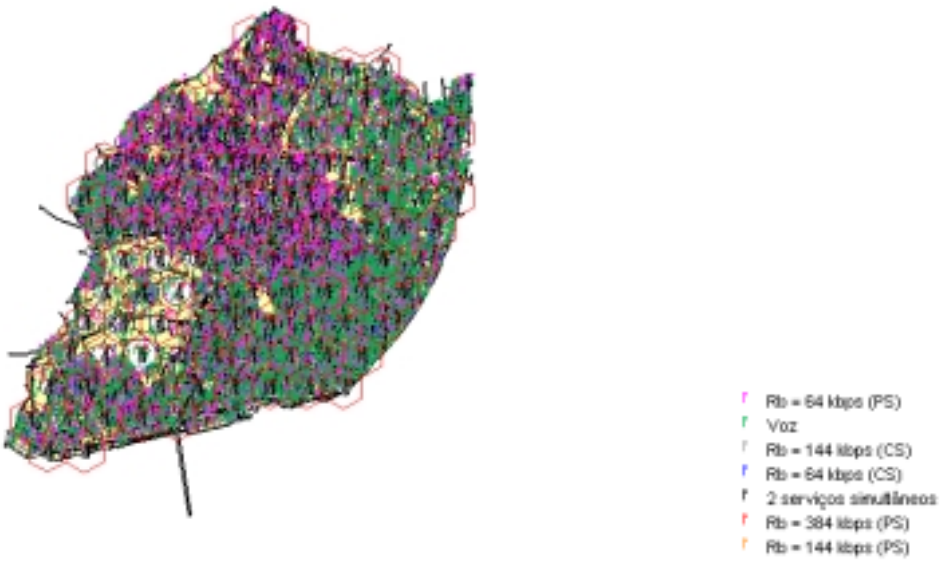


Figura N.95: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 5 %, serviço de referência: 144 PS

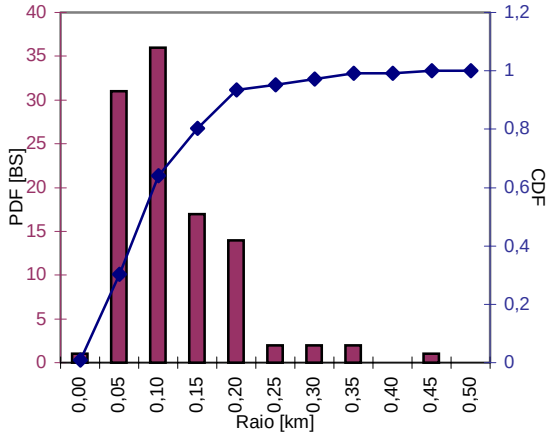
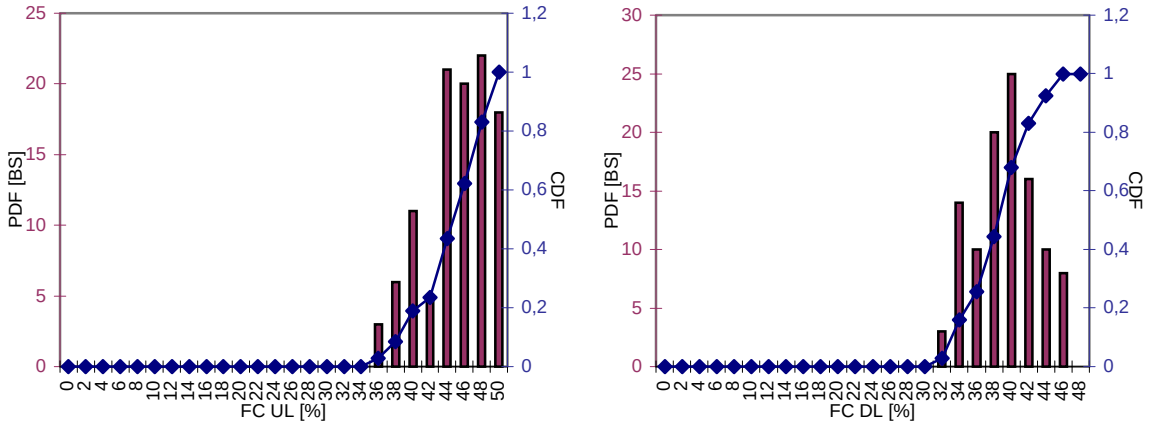
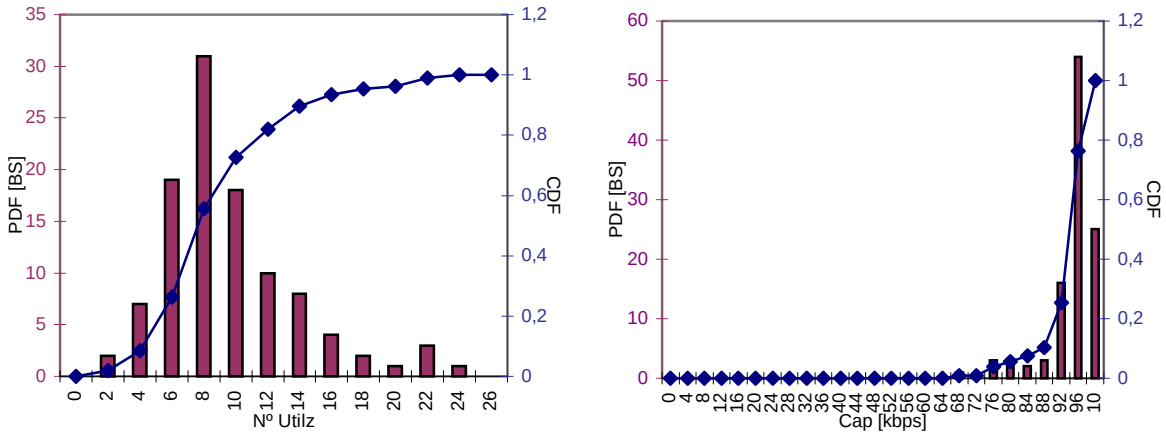


Figura N.96: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



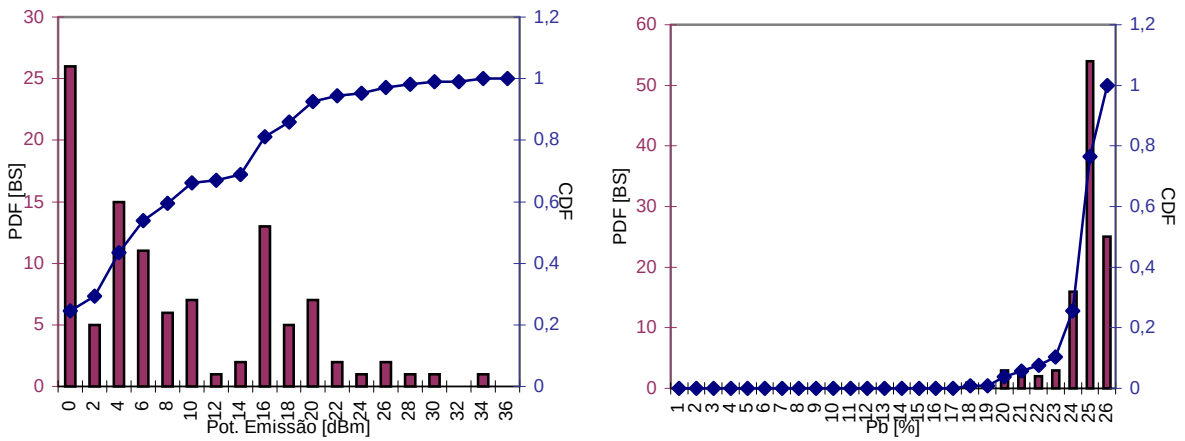
(a) UL (b) DL

Figura N.97: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.98: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.99: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

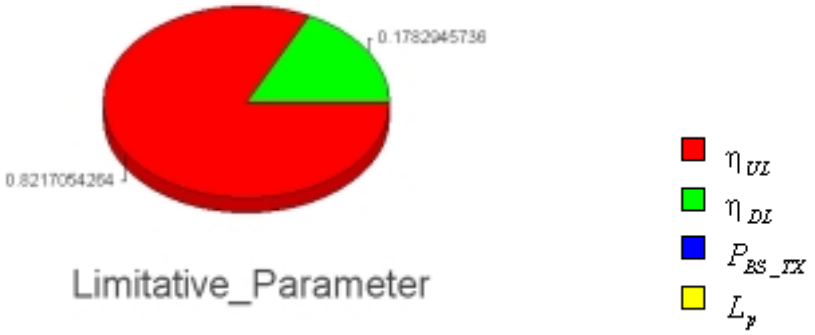


Figura N.100: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

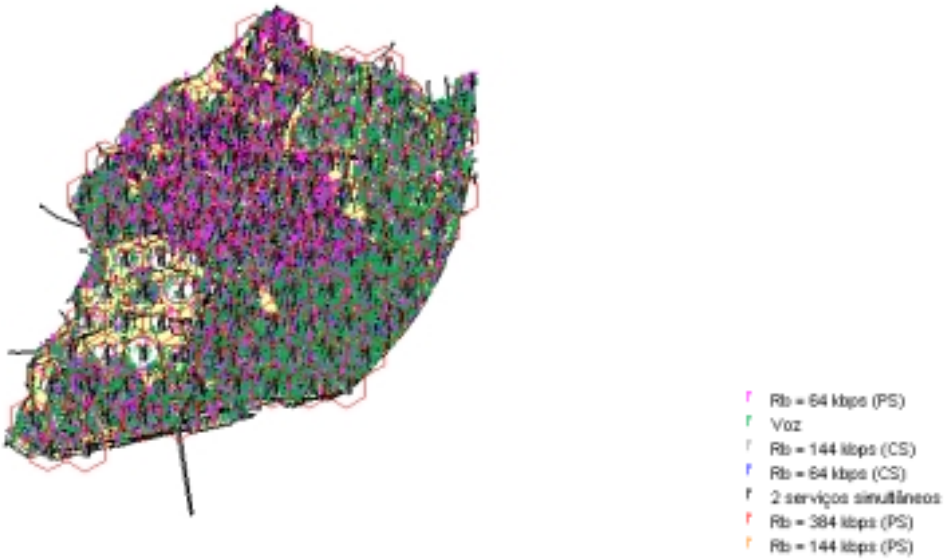


Figura N.101: Cobertura da cidade de Lisboa.

- 5 %, serviço de referência: 384 PS

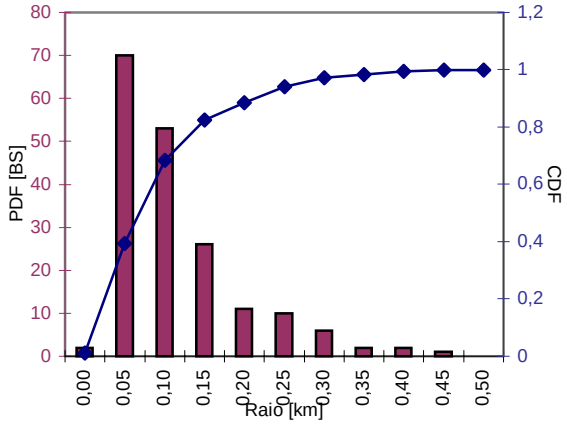
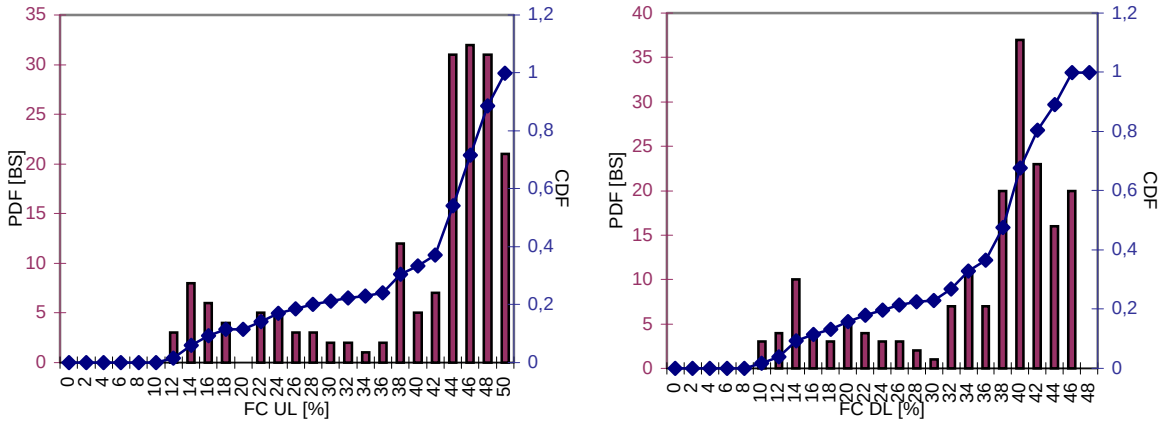
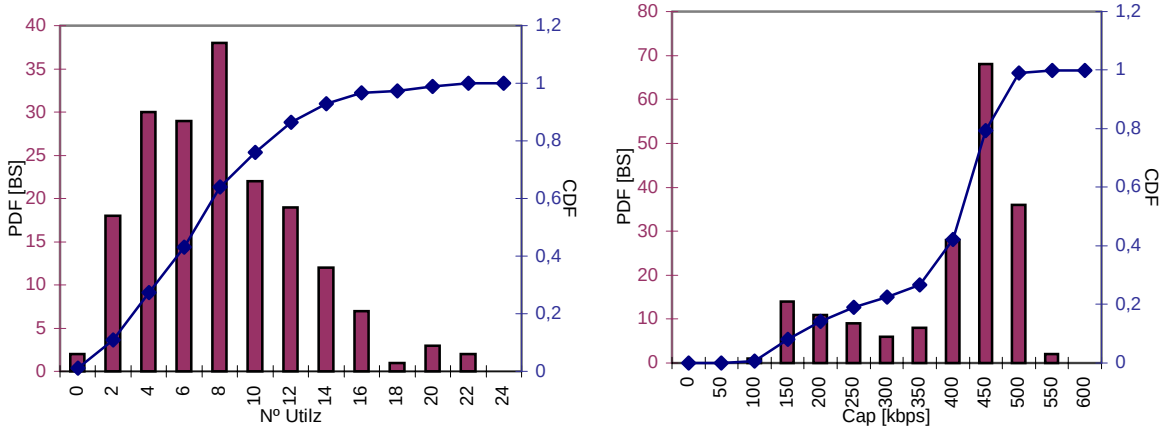


Figura N.102: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



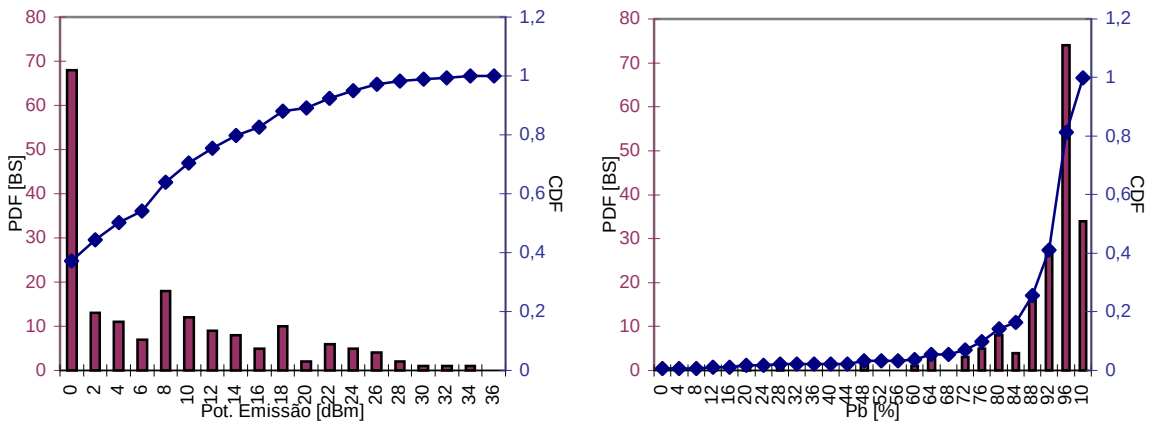
(a) UL (b) DL

Figura N.103: Histograma relativo aos factores de carga para UL e DL, para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura N.104: Histograma relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade de Lisboa.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura N.105: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

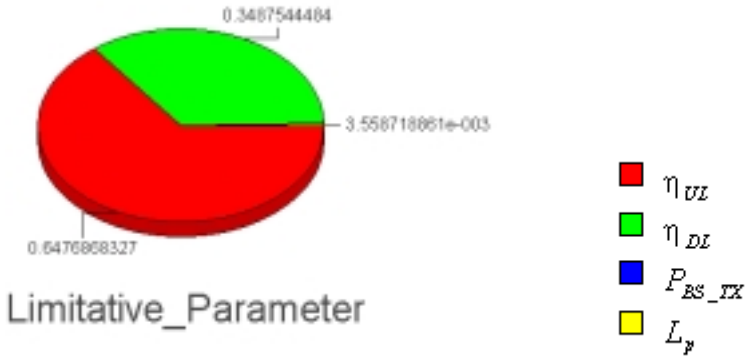


Figura N.106: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para toda a cidade.

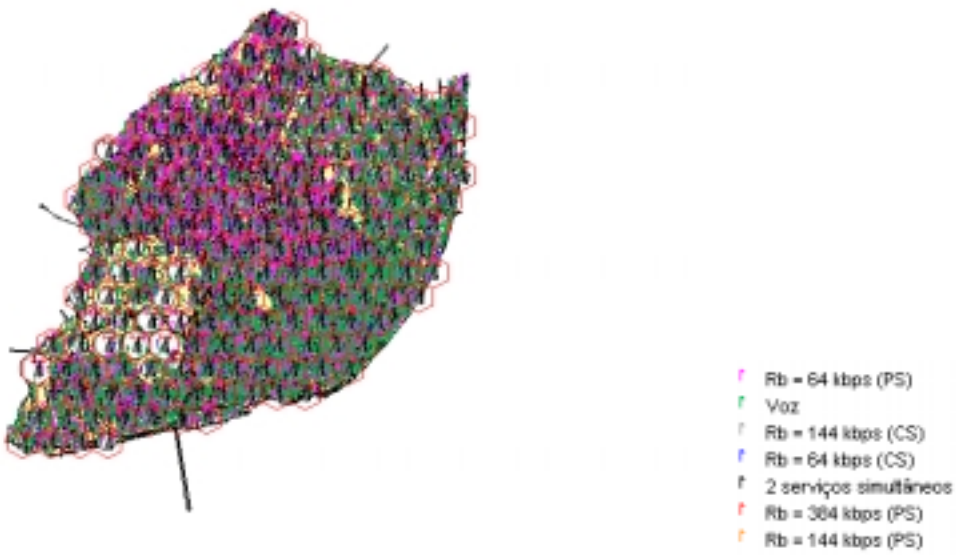


Figura N.107: Cobertura da cidade de Lisboa.

Tabela N.7: Análise de desempenho para raios de referência distintos, para os serviços considerados.

Serviço de Referência	Raio de Referência [km]		$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{good\ min}$ [%]	$P_{good\ méd}$ [%]	$P_{good\ máx}$ [%]	$P_{poormin}$ [%]	$P_{poor\ méd}$ [%]	$P_{poor\ máx}$ [%]
Voz	R prop.	0,850	0,00	26,55	85,19	16,67	51,46	92,59	7,41	48,54	83,33
	R méd.	0,711	0,00	13,83	88,00	21,28	52,70	95,45	4,55	47,30	78,72
64 CS	R prop.	0,684	0,00	57,59	93,83	25,00	60,05	88,89	11,11	39,95	75,00
	R méd.	0,425	0,00	24,52	92,59	0,00	57,78	100,00	0,00	38,39	87,50
64 PS	R prop.	0,684	0,00	55,79	91,06	55,56	87,70	100,00	0,00	12,30	44,44
	R méd.	0,436	0,00	25,37	92,31	0,00	83,57	100,00	0,00	11,19	44,44
144 CS	R prop.	0,552	0,00	48,25	92,57	50,00	91,81	100,00	0,00	8,19	50,00
	R méd.	0,371	0,00	23,79	94,74	0,00	89,20	100,00	0,00	7,45	66,67
144 PS	R prop.	0,552	0,00	50,79	89,13	66,67	95,18	100,00	0,00	4,82	33,33
	R méd.	0,365	0,00	24,91	93,33	0,00	91,32	100,00	0,00	3,81	40,00
384 PS	R prop.	0,427	0,00	39,54	96,88	60,00	97,73	100,00	0,00	2,27	40,00
	R méd.	0,323	0,00	24,94	94,44	0,00	93,67	100,00	0,00	0,00	0,00

Tabela N.8: Análise de desempenho para raios de referência distintos para voz, para as distribuições de população consideradas.

População	Raio de Referência [km]		$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{good\ min}$ [%]	$P_{good\ méd}$ [%]	$P_{good\ máx}$ [%]	$P_{poormin}$ [%]	$P_{poor\ méd}$ [%]	$P_{poor\ máx}$ [%]
0,5 %	R prop.	0,850	0,00	26,55	85,19	16,67	51,46	92,59	7,41	48,54	83,33
	R méd.	0,711	0,00	13,83	88,00	21,28	52,70	95,45	4,55	47,30	78,72
2 %	R prop.	0,850	0,00	72,01	92,68	18,75	49,18	70,91	29,09	50,82	81,25
	R méd.	0,430	0,00	28,15	93,51	20,83	50,63	83,33	16,67	49,37	79,17
5 %	R prop.	0,850	55,96	89,04	98,59	18,75	49,96	74,47	25,53	50,04	81,25
	R méd.	0,280	0,00	31,54	93,96	7,89	50,71	90,91	9,09	49,29	92,11

Anexo O – Resultados para as Zonas da Cidade de Lisboa

Para superar a limitação da grelha de cobertura uniforme, optou-se por considerar três zonas distintas, com características populacionais e de tráfego gerado bem diferentes, de modo a se poder analisar mais pormenorizadamente a influência que cada parâmetro exerce no planeamento celular.

Como simplificação e uniformização das zonas da Tabela I.7, as zonas consideradas foram:

- zonas verdes,
- zonas habitacionais,
- zonas comerciais.

As Tabela O.1, Tabela O.3 e Tabela O.5 apresentam os parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência e zonas para as distribuições de população de 0,5 %, 2 % e 5 %, respectivamente.

As Tabela O.2, Tabela O,4 e Tabela O.6 apresentam os parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços e zonas para as distribuições de população de 0,5 %, 2 % e 5 %, respectivamente.

A Tabela O.7 apresenta a análise de desempenho para os raios máximos, mínimos e médios de referência.

Tabela O.1 Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência e zonas, para 0,5 %.

Serviço de Referência	Zona	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$\eta_{UL\ min}$ [%]	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{UL\ máx}$ [%]	$\eta_{DL\ min}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ máx}$ [%]
Voz	Verdes	0,837	**0,870**	0,965	29,22	43,60	48,55	24,80	36,29	40,22
	Habitacional	0,763	**0,831**	0,850	44,62	48,27	49,83	37,52	40,21	42,26
	Comercial	0,405	**0,601**	0,699	49,15	49,66	49,83	41,16	41,19	41,27
64 CS	Verdes	0,346	**0,588**	0,790	28,11	41,38	48,51	26,05	37,94	44,90
	Habitacional	0,388	**0,486**	0,656	43,75	46,73	49,65	40,02	42,95	46,51
	Comercial	0,207	**0,361**	0,496	49,56	48,09	49,42	41,66	43,98	45,65
64 PS	Verdes	0,439	**0,635**	0,854	10,20	37,92	48,28	9,09	34,33	43,19
	Habitacional	0,278	**0,458**	0,679	42,85	46,30	49,65	38,70	42,25	45,80
	Comercial	0,205	**0,281**	0,350	44,66	47,34	49,42	40,20	42,77	44,80
144 CS	Verdes	0,447	**0,581**	0,692	9,29	37,89	49,92	8,34	32,42	43,06
	Habitacional	0,196	**0,402**	0,535	35,60	45,89	49,99	32,86	40,11	45,15
	Comercial	0,111	**0,274**	0,423	41,54	47,65	49,89	35,50	40,97	43,94
144 PS	Verdes	0,302	**0,554**	0,692	9,29	33,99	49,02	8,34	29,23	42,20
	Habitacional	0,212	**0,387**	0,577	41,60	45,66	49,25	34,20	39,32	43,06
	Comercial	0,136	**0,269**	0,390	36,10	45,17	49,99	30,60	38,67	42,82
384 PS	Verdes	0,168	**0,442**	0,551	0,91	25,56	49,99	0,75	22,32	46,51
	Habitacional	0,255	**0,389**	0,489	13,82	37,65	49,42	12,08	33,09	44,94
	Comercial	0,102	**0,268**	0,423	24,99	44,02	49,99	20,76	38,77	45,01

Tabela O.2: Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços e zonas, para 0,5 %.

Serviço de Referência	Zona	Cap_{min} [kbps]	$Cap_{méd}$ [kbps]	$Cap_{máx}$ [kbps]	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Voz	Verdes	369,00	518,36	634,40	0,00	1,09	5,45	40,38	61,24	73,08	26,92	38,76	59,62
	Habitacional	561,80	609,72	671,00	0,00	5,44	21,43	34,55	50,29	61,29	38,71	49,71	65,45
	Comercial	637,40	662,60	671,00	36,73	49,88	69,10	63,64	69,66	75,00	25,00	30,34	36,36
64 CS	Verdes	280,40	421,64	515,20	0,00	30,69	72,41	50,00	67,61	84,62	15,38	32,39	50,00
	Habitacional	429,80	466,44	518,20	11,76	45,32	65,79	40,00	63,08	75,00	25,00	36,92	60,00
	Comercial	469,40	507,34	536,60	57,81	73,80	87,10	53,85	70,82	85,19	14,81	29,18	46,15
64 PS	Verdes	112,80	380,42	515,20	0,00	23,20	75,61	62,50	86,17	100,00	0,00	13,83	37,50
	Habitacional	432,80	461,02	493,80	25,00	53,24	78,26	55,56	88,43	100,00	0,00	11,57	44,44
	Comercial	466,40	490,27	518,20	75,00	79,97	88,33	78,57	90,57	95,00	5,00	9,43	21,43
144 CS	Verdes	100,60	377,32	531,20	0,00	7,65	48,00	77,78	92,98	100,00	0,00	7,02	22,22
	Habitacional	356,60	456,27	513,60	0,00	37,89	83,33	75,00	92,92	100,00	0,00	7,09	25,00
	Comercial	430,60	489,67	531,20	42,11	70,55	91,40	87,50	93,67	100,00	0,00	6,33	12,50
144 PS	Verdes	100,60	340,68	519,00	0,00	11,99	64,29	80,00	95,23	100,00	0,00	4,77	20,00
	Habitacional	425,00	453,83	497,60	0,00	40,19	70,00	83,33	97,57	100,00	0,00	2,43	16,67
	Comercial	360,40	463,84	531,20	52,73	74,20	88,42	81,82	94,95	100,00	0,00	5,05	18,18
384 PS	Verdes	243,56	320,25	506,80	0,00	10,66	64,29	69,02	81,82	100,00	0,00	18,18	30,98
	Habitacional	128,00	373,71	493,80	0,00	20,86	84,62	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	Comercial	256,80	450,91	518,20	0,00	57,67	96,88	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00

Tabela O.3: Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência e zonas, para 2 %.

Serviço de Referência	Zona	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$\eta_{UL\ min}$ [%]	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{UL\ máx}$ [%]	$\eta_{DL\ min}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ máx}$ [%]
Voz	Verdes	0,265	**0,580**	0,304	49,75	49,42	49,83	41,16	41,22	41,27
	Habitacional	0,365	**0,444**	0,556	49,15	49,72	49,83	41,16	41,22	41,27
	Comercial	0,204	**0,264**	0,304	49,15	49,42	49,83	41,16	41,22	41,27
64 CS	Verdes	0,104	**0,301**	0,684	43,52	46,82	49,65	38,86	43,08	46,65
	Habitacional	0,060	**0,229**	0,385	44,89	47,31	49,42	41,52	43,76	45,65
	Comercial	0,090	**0,127**	0,160	45,63	48,02	49,42	40,63	43,80	45,65
64 PS	Verdes	0,165	**0,342**	0,641	42,84	47,23	49,65	38,29	42,45	45,65
	Habitacional	0,033	**0,225**	0,383	43,98	46,84	49,65	40,20	42,63	45,65
	Comercial	0,100	**0,130**	0,166	43,75	45,25	47,61	39,45	40,91	43,59
144 CS	Verdes	0,087	**0,349**	0,555	37,98	45,55	49,25	31,21	39,44	43,34
	Habitacional	0,053	**0,214**	0,341	39,05	47,65	49,99	33,84	41,66	45,94
	Comercial	0,051	**0,113**	0,147	44,32	46,34	49,25	36,72	39,47	43,06
144 PS	Verdes	0,080	**0,346**	0,577	36,50	44,93	49,65	33,32	38,63	45,80
	Habitacional	0,038	**0,195**	0,366	36,33	44,31	49,25	31,45	38,14	43,06
	Comercial	0,039	**0,107**	0,176	39,45	45,58	49,99	35,94	40,32	44,80
384 PS	Verdes	0,074	**0,299**	0,529	11,11	38,23	49,65	98,36	34,19	46,51
	Habitacional	0,068	**0,191**	0,366	26,97	42,07	49,82	24,41	37,22	46,65
	Comercial	0,060	**0,110**	0,169	12,01	40,43	49,82	10,58	36,18	46,65

Tabela O.4: Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços e zonas, para 2 %.

Serviço de Referência	Zona	Cap_{min} [kbps]	$Cap_{méd}$ [kbps]	$Cap_{máx}$ [kbps]	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Voz	Verdes	637,40	650,84	671,00	87,64	90,30	92,68	47,92	60,41	70,83	29,17	39,59	52,08
	Habitacional	637,40	650,84	671,00	64,05	73,82	79,09	33,33	53,99	70,91	29,09	46,01	66,67
	Comercial	637,40	650,84	671,00	87,64	90,30	92,68	47,92	60,41	70,83	29,17	39,59	52,08
64 CS	Verdes	424,40	475,28	527,40	0,00	75,13	91,88	30,00	61,94	86,36	13,64	38,06	70,00
	Habitacional	445,00	477,08	518,20	80,00	88,81	98,04	35,00	58,22	78,95	21,05	41,78	75,00
	Comercial	461,00	495,80	527,40	93,14	95,76	97,46	61,54	71,66	81,82	18,18	28,34	38,46
64 PS	Verdes	424,40	481,46	512,20	16,67	71,94	91,02	71,43	85,45	96,00	4,00	14,55	28,57
	Habitacional	432,80	469,72	515,20	80,23	88,75	98,71	50,00	81,11	93,33	6,67	18,89	50,00
	Comercial	454,20	474,32	493,80	93,62	95,73	96,88	75,00	87,81	94,74	5,26	12,19	25,00
144 CS	Verdes	376,40	459,97	519,00	0,00	57,51	90,82	80,00	94,95	100,00	0,00	5,05	20,00
	Habitacional	372,60	476,53	531,20	69,44	85,83	96,97	81,82	94,24	100,00	0,00	5,76	18,18
	Comercial	428,20	456,66	485,40	93,56	96,09	98,30	80,00	88,29	100,00	0,00	11,71	20,00
144 PS	Verdes	344,40	442,67	506,00	0,00	60,58	96,32	83,33	95,75	100,00	0,00	4,25	16,67
	Habitacional	336,00	444,63	512,20	57,63	86,47	99,08	83,33	96,53	100,00	0,00	3,47	16,67
	Comercial	384,00	462,47	515,20	91,06	95,19	99,57	85,71	96,48	100,00	0,00	3,52	14,29
384 PS	Verdes	125,00	381,24	509,80	0,00	46,66	97,18	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	Habitacional	277,40	422,72	506,00	36,36	75,07	96,10	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	Comercial	137,20	412,98	515,20	83,85	92,69	96,88	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00

Tabela O.5: Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência e zonas, para 5 %.

Serviço de Referência	Zona	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$\eta_{UL\ min}$ [%]	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{UL\ máx}$ [%]	$\eta_{DL\ min}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ máx}$ [%]
Voz	Verdes	0,114	**0,405**	0,565	49,15	49,57	49,83	40,11	40,97	41,27
	Habitacional	0,224	**0,279**	0,363	49,22	49,70	49,83	40,11	40,95	41,16
	Comercial	0,116	**0,152**	0,196	49,15	49,56	49,83	41,16	41,23	41,41
64 CS	Verdes	0,062	**0,201**	0,399	43,52	48,01	49,65	39,16	44,44	46,51
	Habitacional	0,078	**0,138**	0,244	42,61	47,36	49,65	38,42	43,85	46,65
	Comercial	0,064	**0,078**	0,090	46,47	48,07	49,42	42,41	43,92	45,51
64 PS	Verdes	0,061	**0,191**	0,403	46,03	47,63	49,65	4,22	43,54	45,65
	Habitacional	0,071	**0,151**	0,248	43,98	47,12	49,42	40,09	42,92	45,01
	Comercial	0,053	**0,072**	0,089	43,75	46,34	49,42	39,45	42,48	45,01
144 CS	Verdes	0,043	**0,221**	0,431	38,84	44,49	49,85	33,16	38,83	46,53
	Habitacional	0,051	**0,117**	0,199	39,99	45,81	49,69	34,73	40,49	45,82
	Comercial	0,028	**0,050**	0,083	39,07	45,60	49,67	33,99	39,64	46,53
144 PS	Verdes	0,045	**0,231**	0,432	38,82	44,48	49,82	33,11	38,82	46,51
	Habitacional	0,052	**0,128**	0,207	39,96	45,79	49,65	34,72	40,46	45,80
	Comercial	0,029	**0,062**	0,084	39,05	45,54	49,65	33,97	39,61	46,51
384 PS	Verdes	0,030	**0,226**	0,411	17,45	41,59	49,65	15,07	37,01	46,51
	Habitacional	0,026	**0,122**	0,270	12,01	35,53	48,35	10,58	30,97	44,50
	Comercial	0,039	**0,066**	0,103	13,82	38,20	49,92	12,08	33,27	46,51

Tabela O.6: Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços e zonas, para 5 %.

Serviço de Referência	Zona	Cap_{min} [kbps]	$Cap_{méd}$ [kbps]	$Cap_{máx}$ [kbps]	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Voz	Verdes	607,60	651,60	671,00	60,14	79,18	86,66	41,67	58,23	67,27	32,73	41,77	58,33
	Habitacional	607,60	658,32	671,00	87,99	89,80	91,45	34,55	54,70	67,27	32,73	45,30	65,45
	Comercial	625,20	652,68	671,00	95,39	96,11	97,56	43,64	62,75	74,47	25,53	37,25	56,36
64 CS	Verdes	457,20	484,31	506,00	78,26	88,61	97,32	40,00	60,49	96,96	13,04	39,51	60,00
	Habitacional	420,60	473,22	527,40	92,76	95,84	98,13	33,33	60,30	86,36	13,64	39,70	66,67
	Comercial	469,40	484,20	497,60	98,32	98,57	98,74	51,14	69,20	78,95	21,05	30,80	48,86
64 PS	Verdes	445,00	478,24	527,40	77,05	90,87	97,62	70,00	91,67	100,00	4,55	11,08	33,33
	Habitacional	420,60	475,00	518,20	93,67	95,54	99,20	80,00	91,21	100,00	0,00	8,79	20,00
	Comercial	445,00	464,52	481,60	98,17	98,85	99,60	85,71	91,27	100,00	0,00	8,71	14,29
144 CS	Verdes	384,90	442,56	496,80	68,85	86,74	98,10	70,05	92,58	100,00	0,00	7,42	29,95
	Habitacional	397,10	459,33	509,80	91,15	94,46	97,86	64,50	93,52	100,00	0,00	6,48	35,50
	Comercial	397,10	453,04	497,60	97,89	98,57	99,29	77,00	89,29	100,00	0,00	10,71	23,00
144 PS	Verdes	384,80	442,66	496,90	68,75	86,73	98,10	66,67	92,48	100,00	0,00	7,52	33,33
	Habitacional	397,10	459,43	509,90	91,05	94,45	97,86	62,5	93,42	100,00	0,00	6,58	37,50
	Comercial	397,10	453,14	497,70	97,79	98,56	99,29	75,00	89,26	100,00	0,00	10,74	25,00
384 PS	Verdes	189,00	417,76	496,80	13,33	72,68	98,55	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	Habitacional	137,20	362,37	519,80	59,46	90,49	98,34	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	Comercial	149,40	398,06	543,40	91,39	96,92	99,28	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00

Tabela O.7: Parâmetros característicos de desempenho para diferentes raios de referência, com voz e 0,5 %.

Raios	Zonas	Raio de Referência [km]	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Máximo	Verdes	0,965	13,95	26,14	36,84	55,10	67,68	83,33	16,67	32,32	44,90
	Habitacional	0,850	0,00	20,00	81,25	33,33	44,20	66,67	33,33	44,21	59,57
	Comercial	0,699	20,29	43,27	52,59	56,36	62,04	67,27	32,73	37,96	43,64
Médio	Verdes	0,870	0,00	16,59	63,63	28,89	59,08	84,00	16,00	40,92	71,11
	Habitacional	0,831	0,00	18,46	80,95	40,46	57,62	75,00	25,00	42,38	59,57
	Comercial	0,601	0,00	27,88	71,43	56,36	63,61	76,36	23,64	36,39	43,64
Mínimo	Verdes	0,837	0,00	6,98	25,68	31,91	60,07	86,96	13,04	39,93	68,09
	Habitacional	0,763	0,00	0,00	0,00	50,00	57,56	61,29	38,71	42,44	50,00
	Comercial	0,405	0,00	4,49	76,47	47,92	63,86	82,05	17,85	36,14	52,08

Anexo P – Resultados Simulados para a Cidade do Porto

Para o estudo comparativo com a cidade do Porto considerou-se a distribuição de população de 0,5 %, obtendo-se as Tabela P.1 e Tabela P.2.

Obtiveram-se ainda as Tabela P.3 e Tabela P.4, para o serviço de voz, e considerando o aumento da distribuição da população.

Apresentam-se ainda adicionalmente as representações dos parâmetros característicos da avaliação de desempenho do sistema.

Tabela P.1: Parâmetros característicos para os diferentes serviços de referência, para 0,5 %.

Serviço de Referência	R_{ref} [km]	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$Utilz_{min}$	$Utilz_{méd}$	$Utilz_{máx}$	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]
Voz	0,850	0,269	**0,711**	0,965	11,00	38,66	55,00	47,50	40,29
64 CS	0,684	0,084	**0,425**	0,857	2,00	12,47	27,00	45,75	42,34
64 PS	0,684	0,167	**0,436**	0,854	6,00	11,74	22,00	44,99	40,80
144 CS	0,552	0,096	**0,371**	0,692	3,00	9,96	22,00	44,30	38,58
144 PS	0,552	0,134	**0,365**	0,692	3,00	9,85	26,00	43,14	37,40
384 PS	0,427	0,037	**0,323**	0,551	0,00	7,52	23,00	35,72	31,66

Tabela P.2: Parâmetros característicos de desempenho para os diferentes serviços, para 0,5 %.

Serviço de Referência	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
Voz	0,00	26,55	85,19	16,67	51,46	92,59	7,41	48,54	83,33
64 CS	0,00	57,59	93,83	25,00	60,05	88,89	11,11	39,95	75,00
64 PS	0,00	55,79	91,06	55,56	87,70	100,00	0,00	12,30	44,44
144 CS	0,00	48,25	92,57	50,00	91,81	100,00	0,00	8,19	50,00
144 PS	0,00	50,79	89,13	66,67	95,18	100,00	0,00	4,82	33,33
384 PS	0,00	39,54	96,88	60,00	97,73	100,00	0,00	2,27	40,00

Tabela P.3: Parâmetros característicos para as diferentes distribuições de população para voz.

População	R_{ref} [km]	R_{min} [km]	$R_{méd}$ [km]	$R_{máx}$ [km]	$Utilz_{min}$	$Utilz_{méd}$	$Utilz_{máx}$	$\eta_{UL\ méd}$ [%]	$\eta_{DL\ méd}$ [%]
0,5 %	0,850	0,429	**0,832**	1,089	3,00	35,75	55,00	44,42	37,55
2 %	0,850	0,291	**0,392**	0,979	16,00	49,35	55,00	47,80	39,66
5 %	0,850	0,090	**0,251**	0,521	12,00	49,27	55,00	49,57	41,24

Tabela P.4: Parâmetros característicos de desempenho para as diferentes distribuições de população, para voz.

População	$P_{b\ min}$ [%]	$P_{b\ méd}$ [%]	$P_{b\ máx}$ [%]	$P_{Goodmin}$ [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Goodmáx}$ [%]	$P_{Poormin}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]	$P_{Poormáx}$ [%]
0,5 %	0,00	8,11	70,00	29,17	64,32	90,48	9,52	35,68	70,83
2 %	0,00	75,47	87,38	31,25	61,50	90,91	9,09	38,50	68,75
5 %	69,27	90,50	98,64	25,00	59,70	87,27	12,73	40,30	75,00

- 0,5 %, serviço de referência : voz

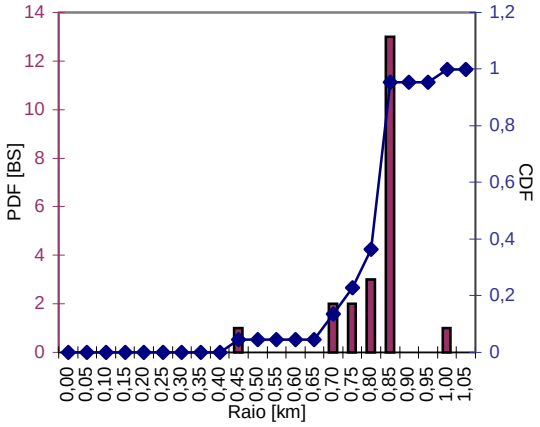
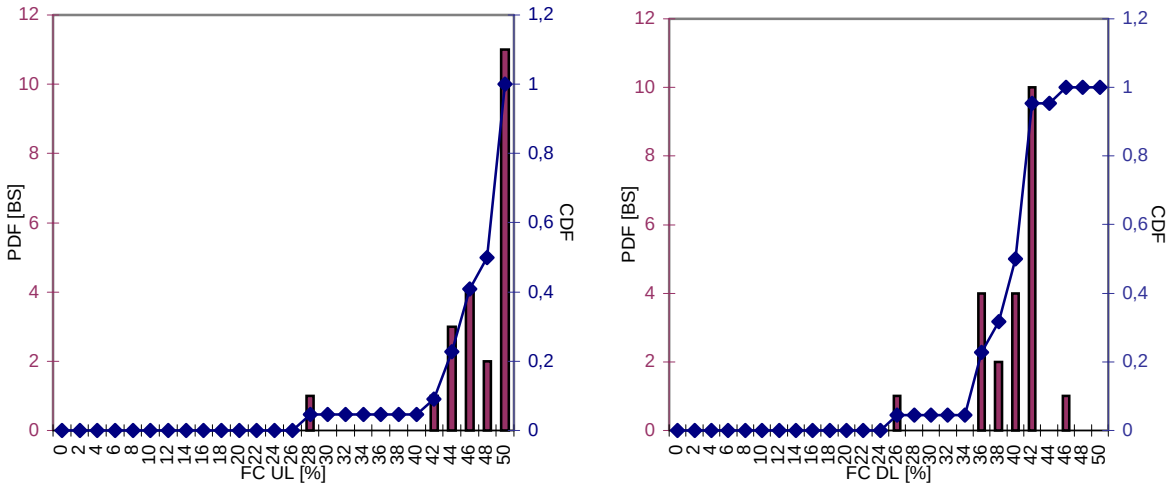
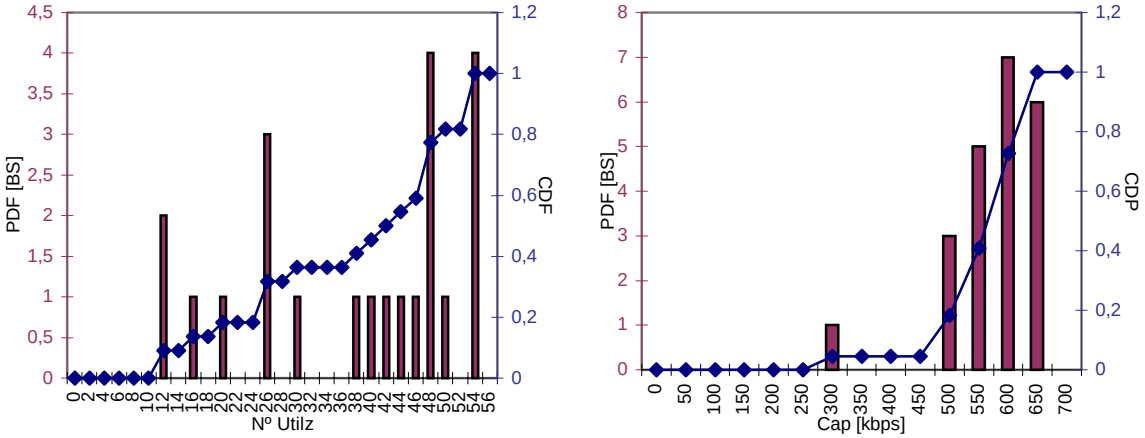


Figura: P.1: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



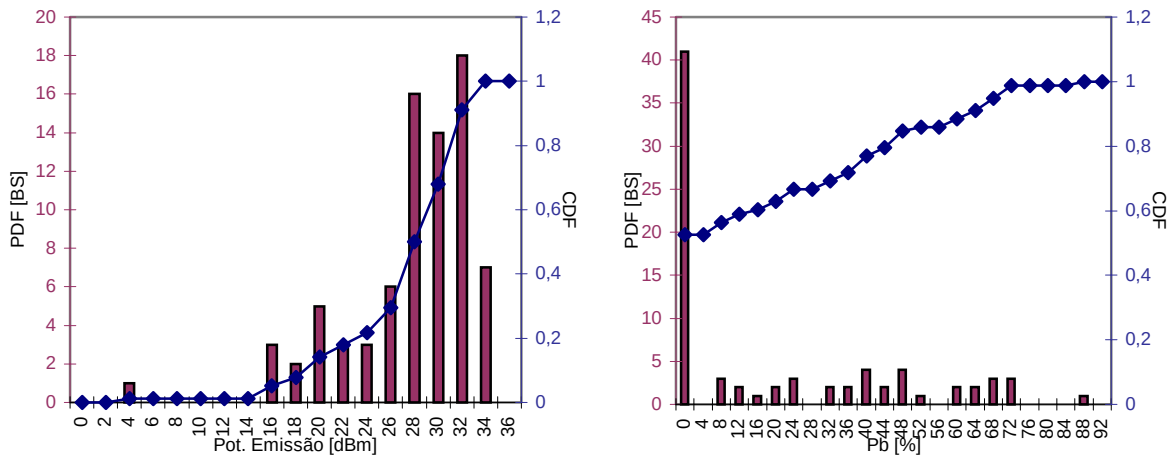
(a) UL (b) DL

Figura P.2: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura P.3: Histogramas relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura P.4: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

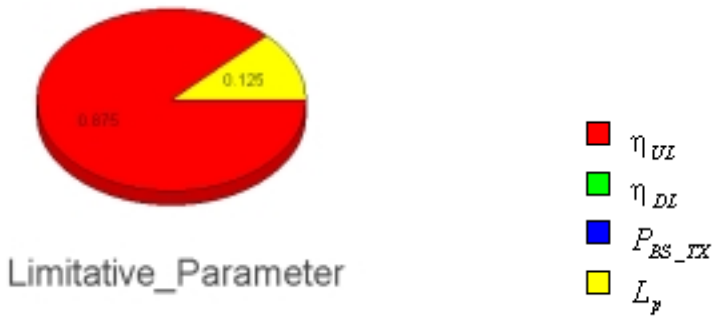


Figura P.5: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para a cidade.

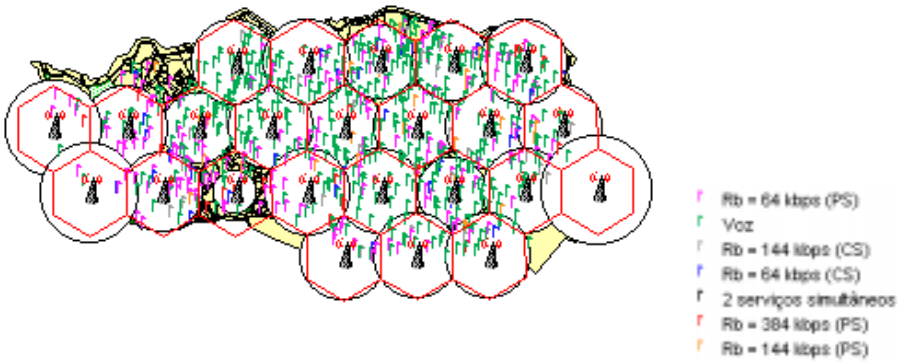


Figura P.6: Cobertura da cidade do Porto.

- 0,5 %, serviço de referência : 64 CS

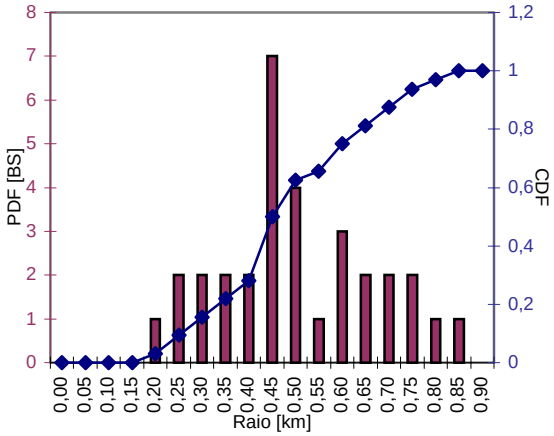
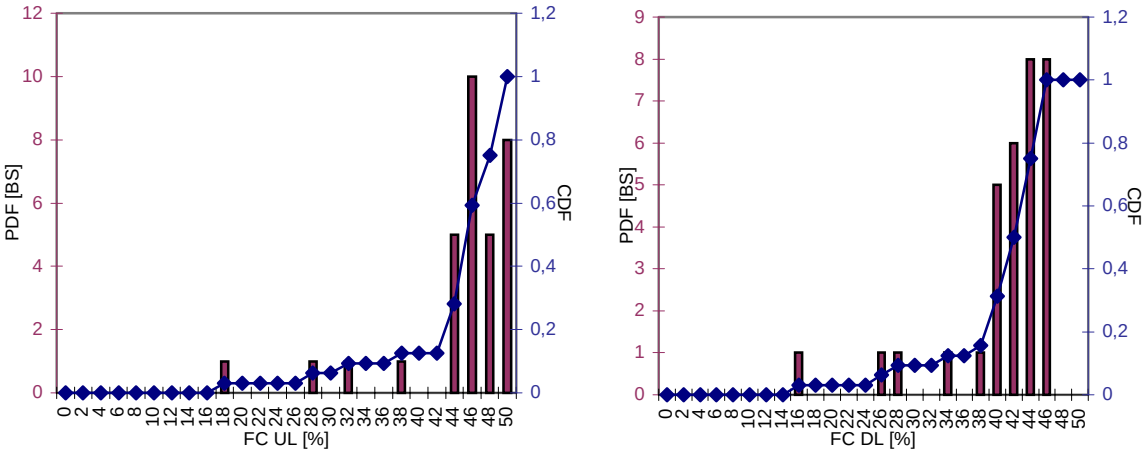
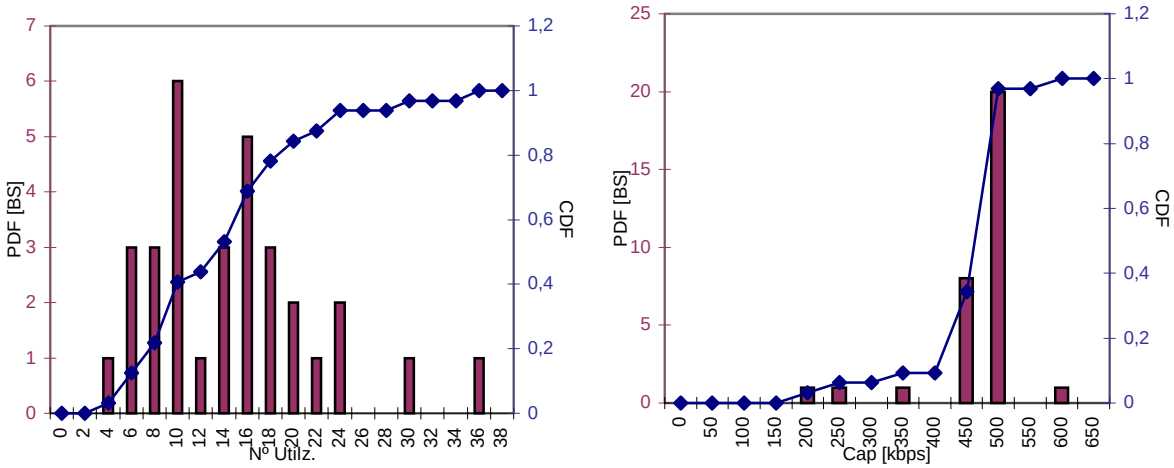


Figura: P.7: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



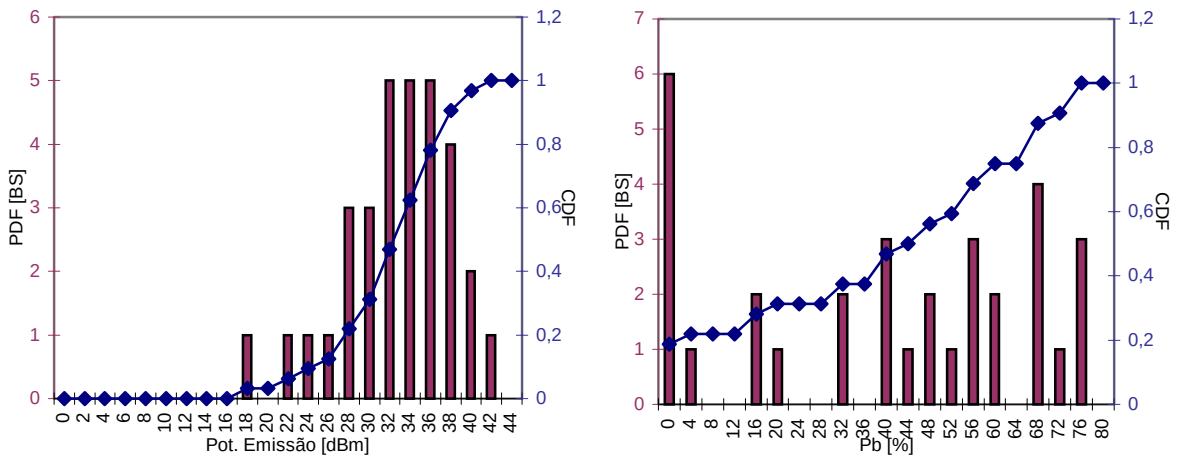
(a) UL (b) DL

Figura P.8: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura P.9: Histogramas relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura P.10: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

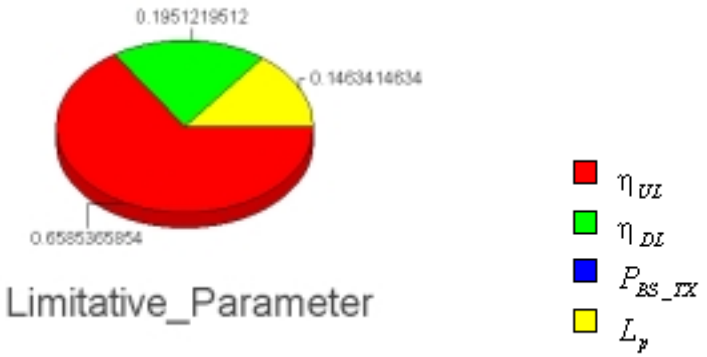


Figura P.11: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para a cidade.

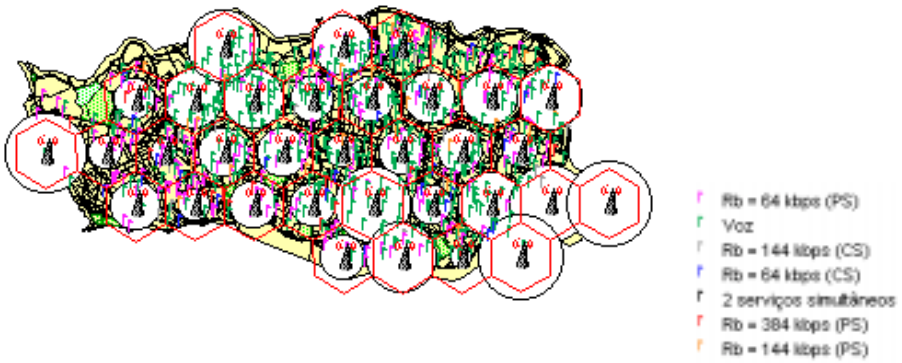


Figura P.12: Cobertura da cidade do Porto.

- 0,5 %, serviço de referência: 64 PS

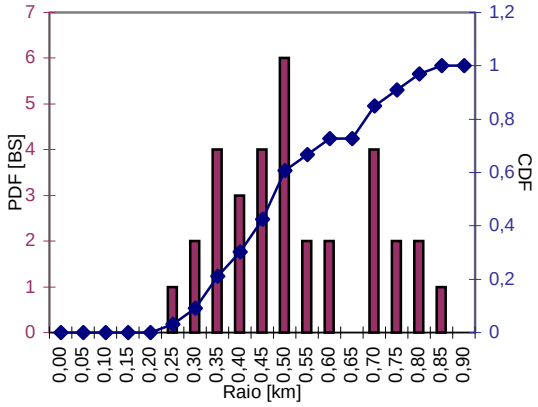
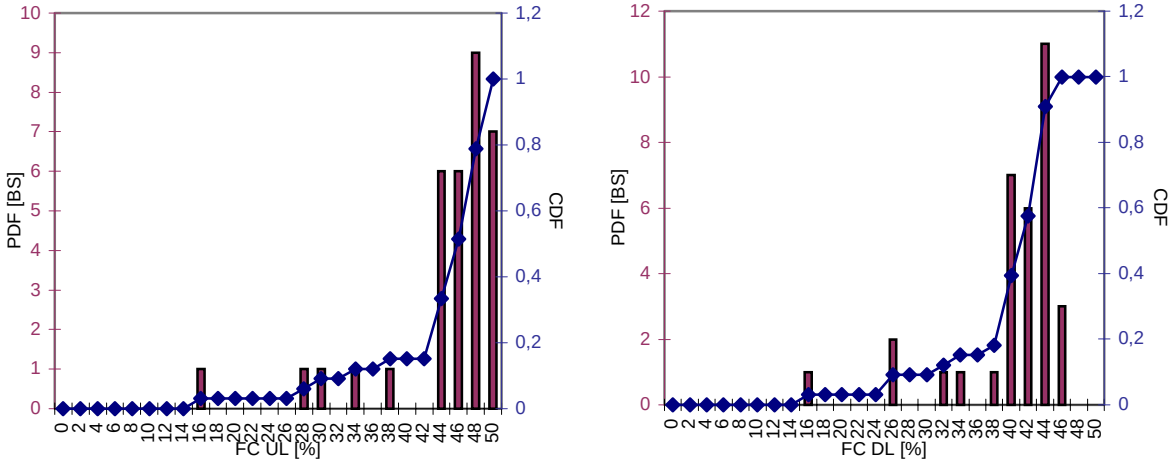
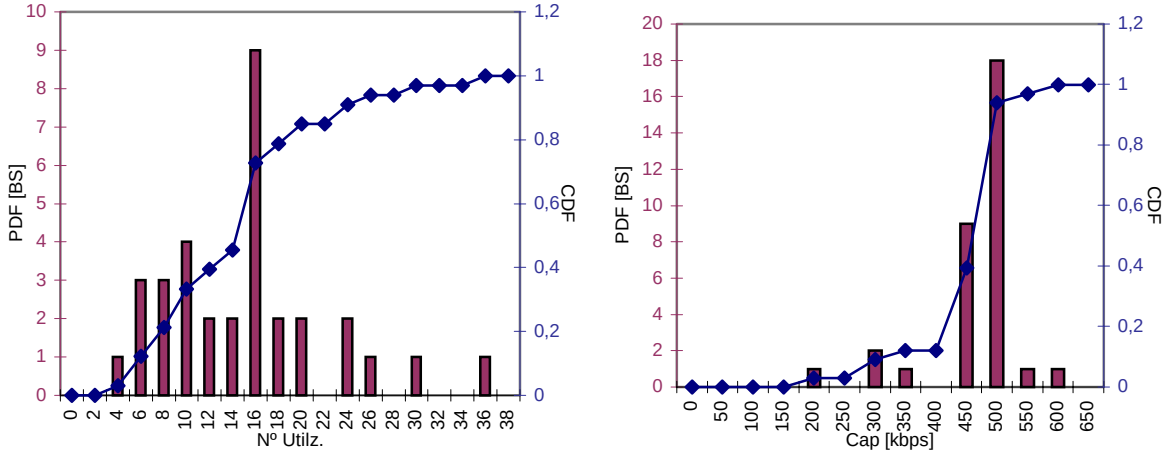


Figura P.13: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



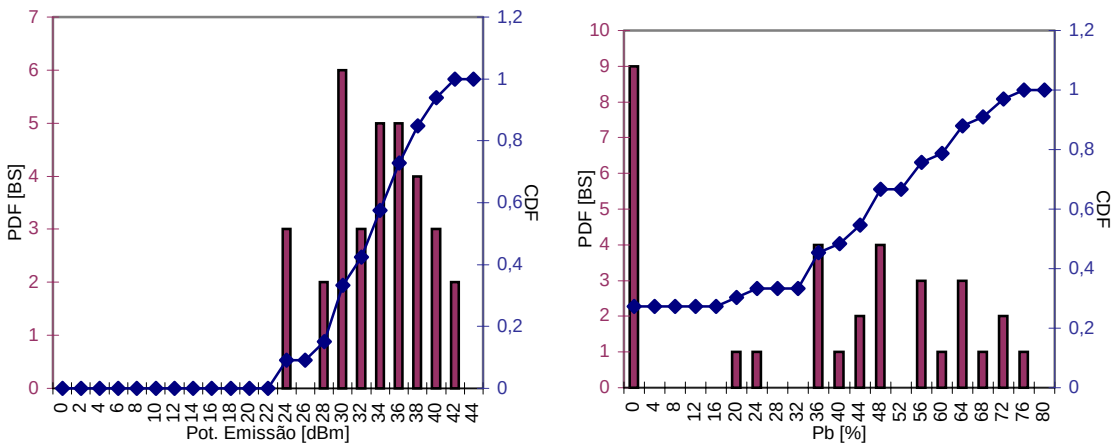
(a) UL (b) DL

Figura P.14: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura P.15: Histogramas relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura P.16: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

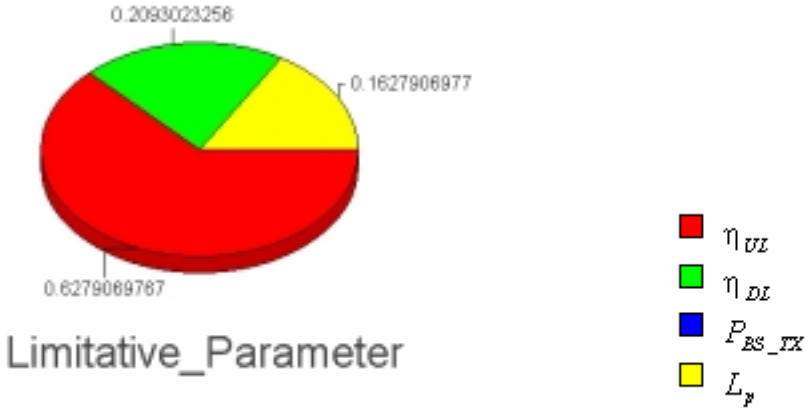


Figura P.17: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para a cidade.

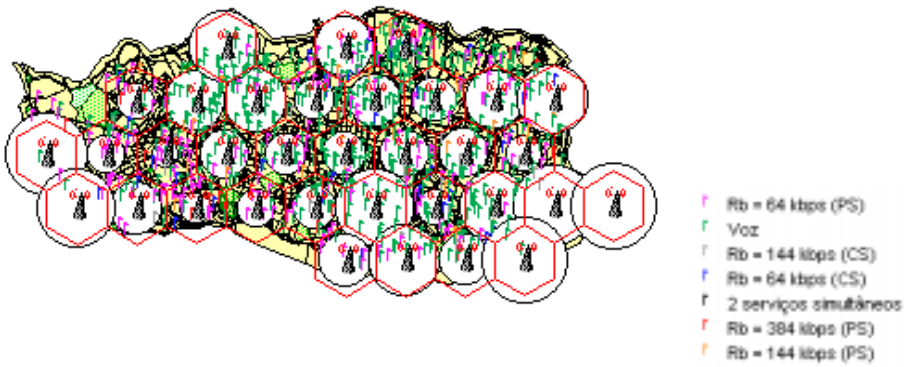


Figura P.18: Cobertura da cidade do Porto.

- 0,5 %, serviço de referência: 144 CS

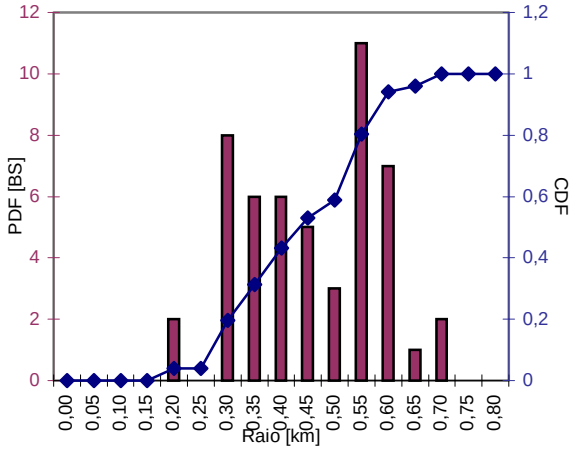
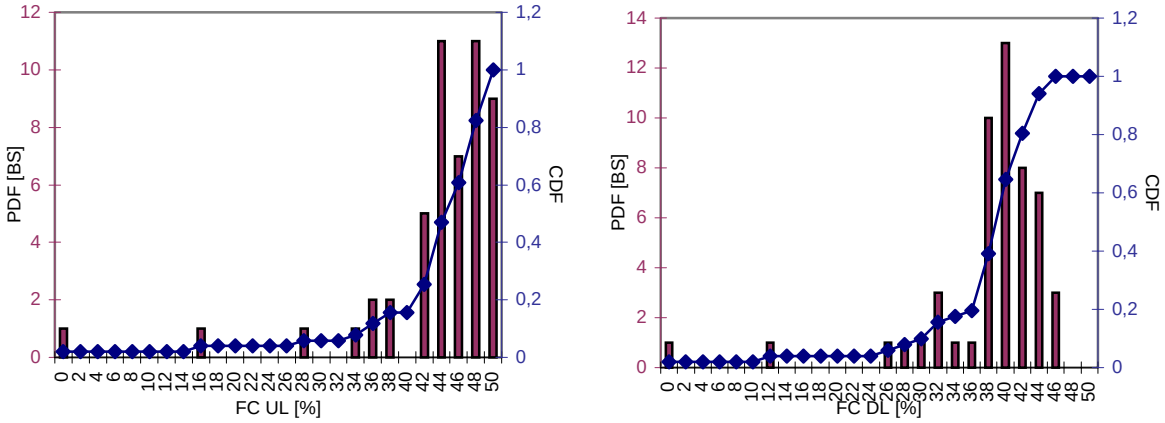
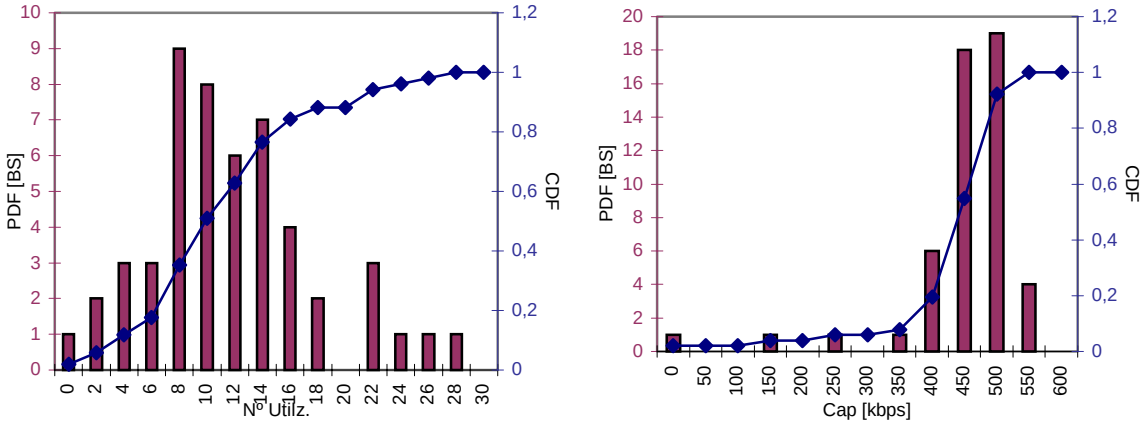


Figura P.19: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



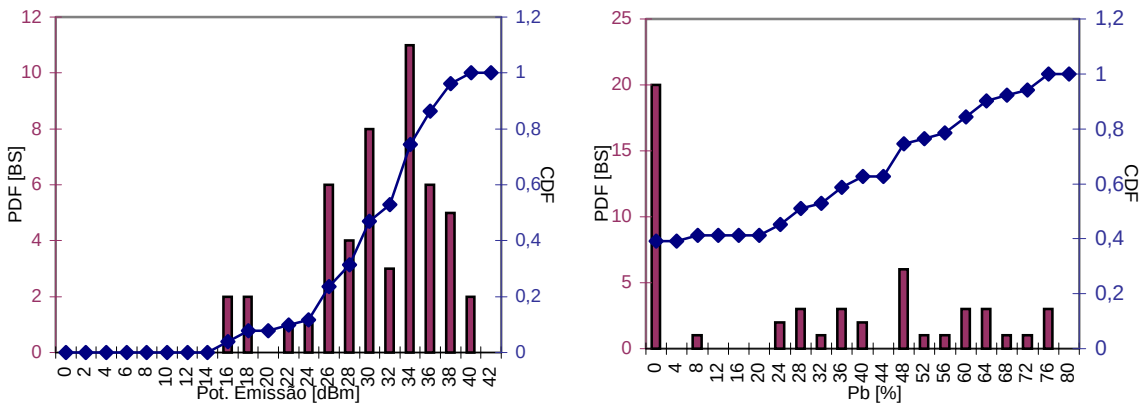
(a) UL (b) DL

Figura P.20: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura P.21: Histogramas relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura P.22: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

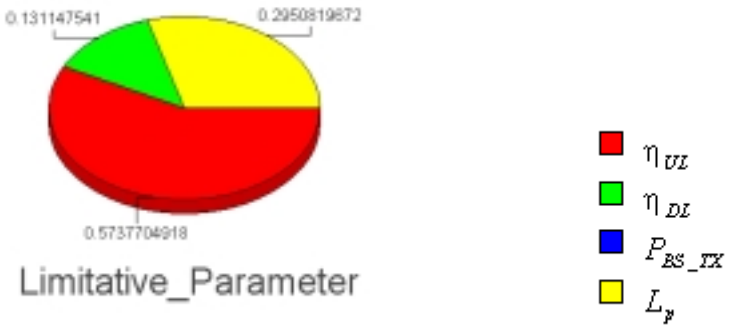


Figura P.23: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para a cidade.

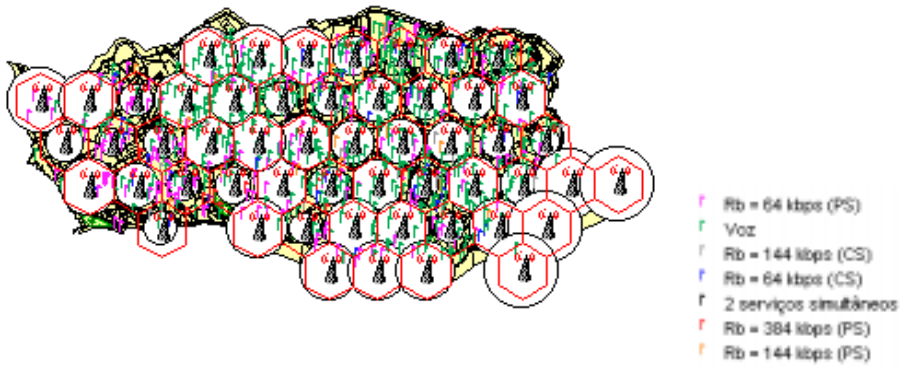


Figura P.24: Cobertura da cidade do Porto.

- 0,5 %, serviço de referência : 144 PS

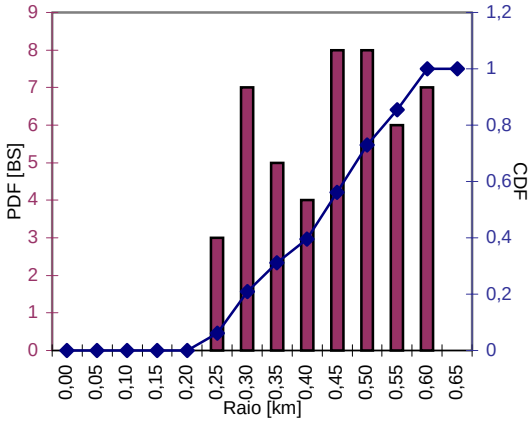
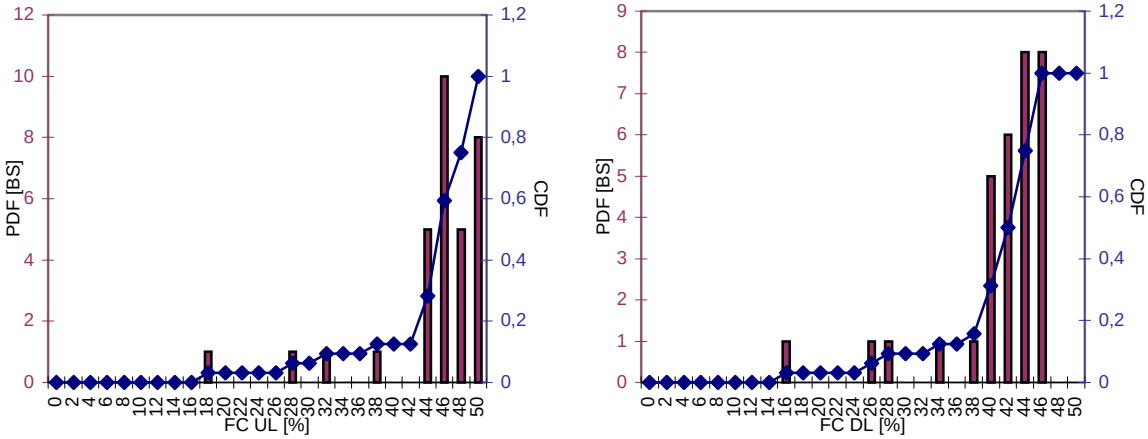
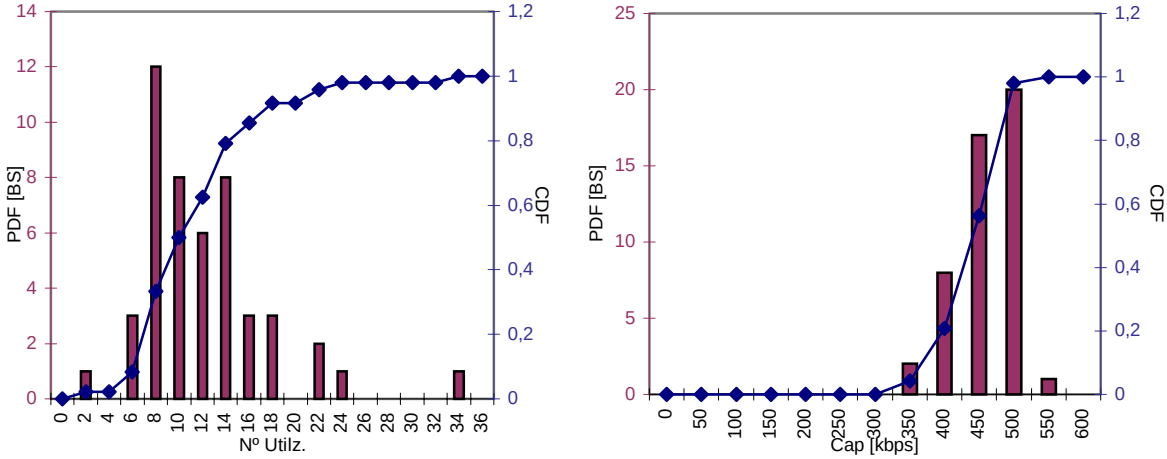


Figura P.25: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



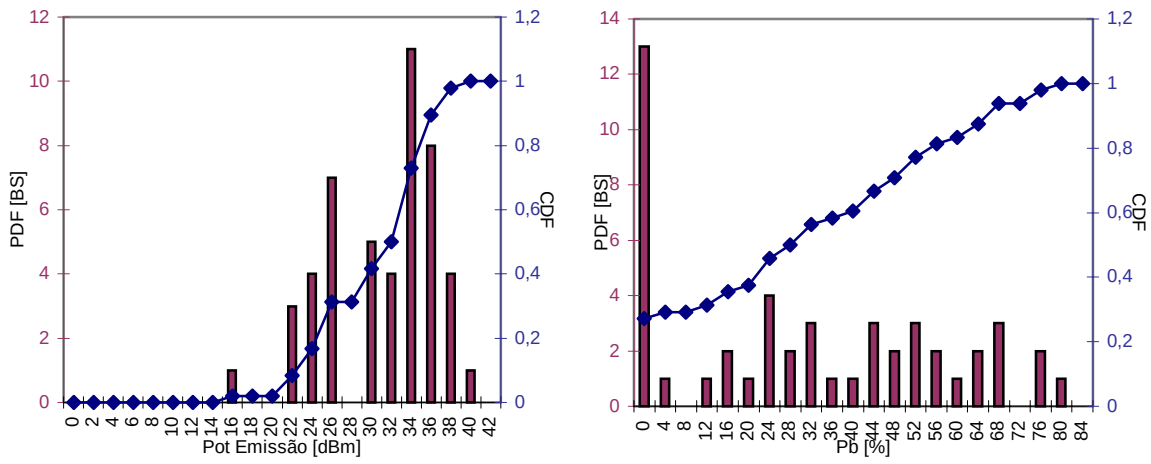
(a) UL (b) DL

Figura P.26: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura P.27: Histogramas relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura P.28: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

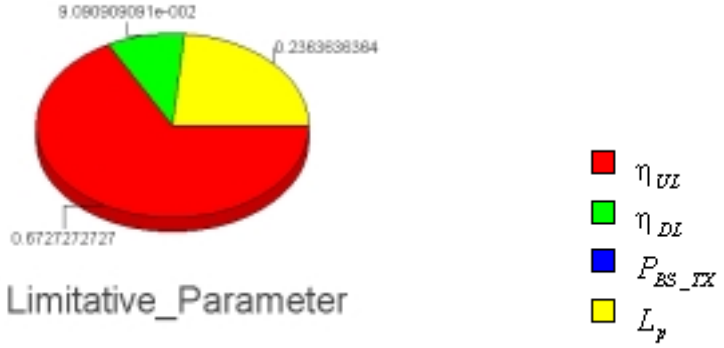


Figura P.29: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para a cidade.

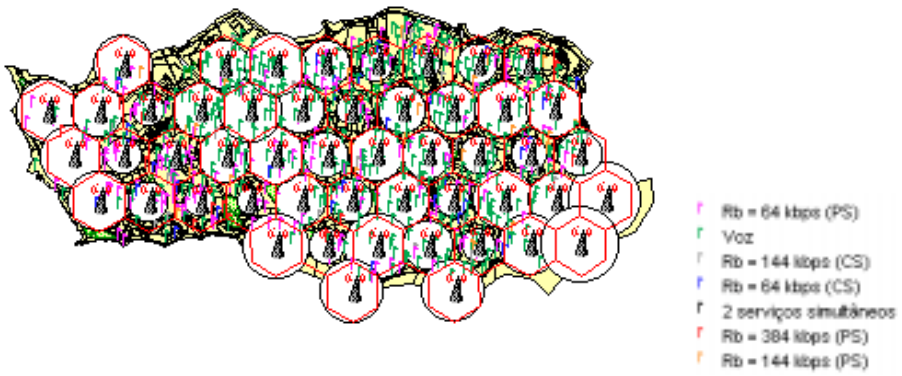


Figura P.30: Cobertura da cidade do Porto.

- 0,5 %, serviço de referência: 384 PS

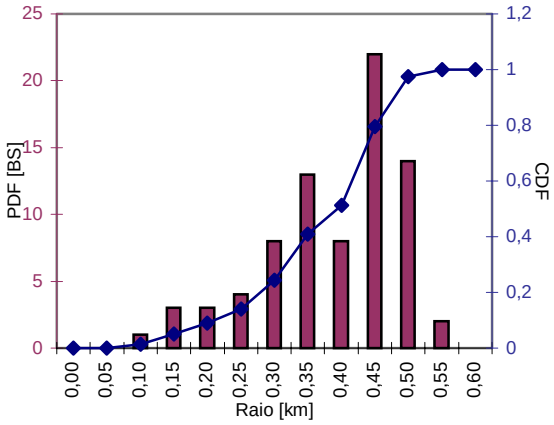
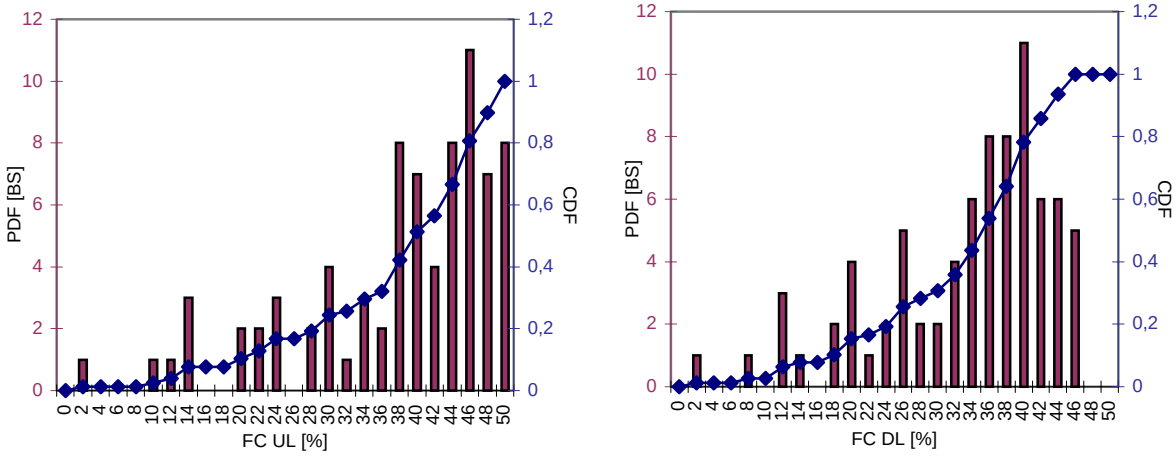
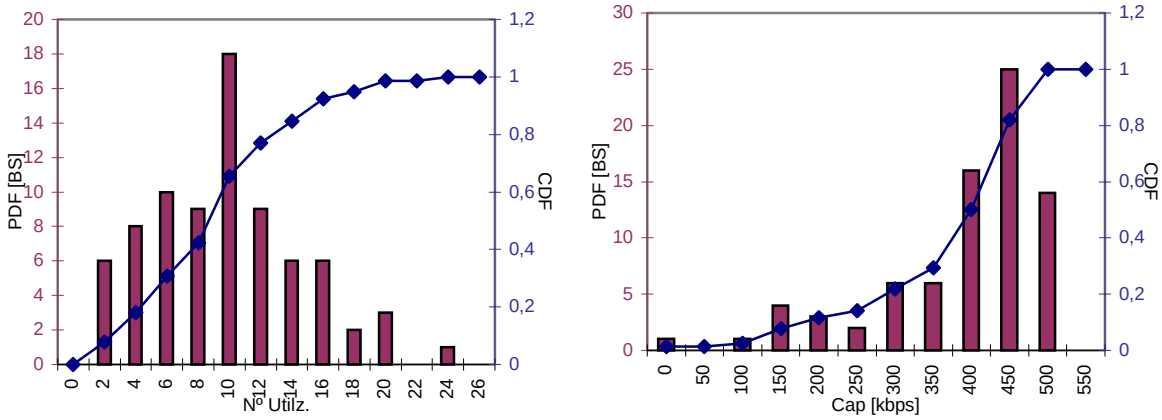


Figura P.31: Histograma relativo ao raio de cobertura das BSs, para toda a cidade.



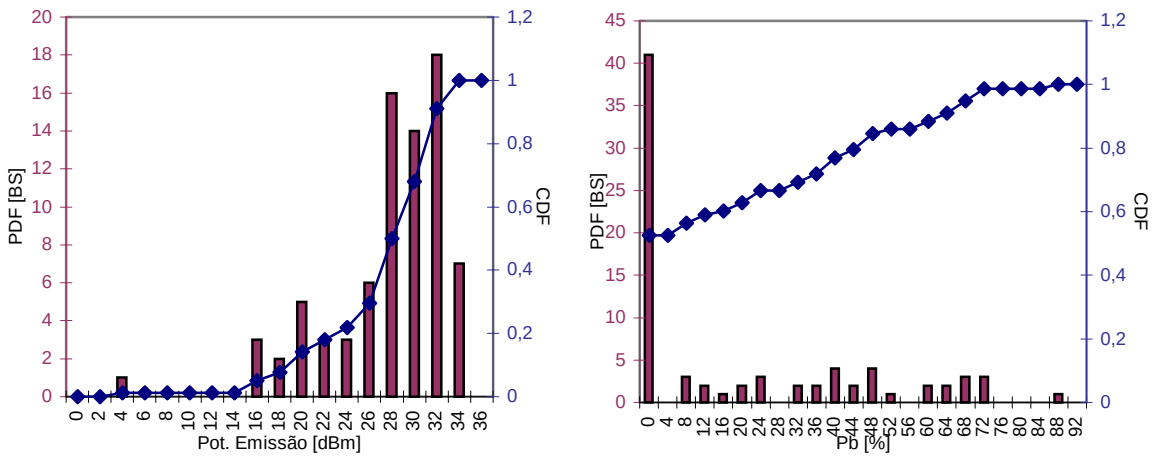
(a) UL (b) DL

Figura P.32: Histograma relativo aos factores de carga UL e DL para toda a cidade.



(a) Nº Utilizadores (b) Capacidade

Figura P.33: Histogramas relativo ao número de utilizadores e capacidade por BS, para toda a cidade.



(a) Potência de Emissão (b) Probabilidade de Bloqueio

Figura P.34: Histograma relativo à potência de emissão e probabilidade de bloqueio por BS, para toda a cidade.

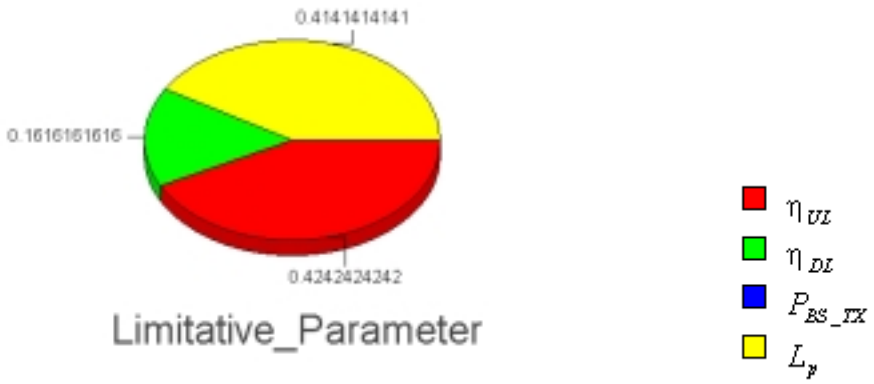


Figura P.35: Percentagem dos parâmetros limitativos das BSs, para a cidade.

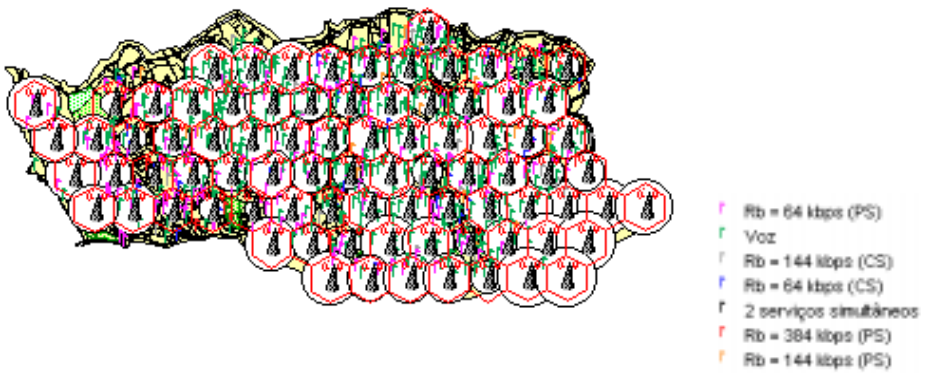


Figura P.36: Cobertura da cidade do Porto.

Anexo Q – Dados para o SLEP

O SLEP é um simulador de UMTS em tempo real desenvolvido pela *Mitsubshi* [SLEP00]. Permite efectuar o planeamento celular em UMTS para uma dada tipologia de cidade, assim como introduzir e alterar os parâmetros relativos ás BS e aos MT. Permite efectuar estimativas das zonas cobertas e fazer uma avaliação do desempenho do sistema. O seu estudo mais aprofundado não é contemplado no âmbito de trabalho. Contudo, permite fazer comparações entre resultados obtidos para condições semelhantes, e ainda fazer aferições de validade da aplicação *Map UMTS* desenvolvida.

Os parâmetros gerais considerados foram:

- antenas UMTS120 com G = 17,443825 dBi e abertura de 122º,
- mobilidade: utilizador parado, com 0 km/h,
- cenário: veicular,
- o perfil de atraso; Micro2,
- voz:
  1. factor de actividade: 50%,
  2. tempo médio por chamada: 1,0 min,
  3. tempo médio de duração de voz: 3 s,
  4. débito UL: 12,2 kbps,
  5. débito DL: 12,2 kbps,
  6. razão DTX (UL): 5,6 dB,
  7. razão DTX (DL): 4,0 dB.
- 64 CS:
  1. tempo médio por chamada: 3,0 min,
  2. débito UL: 64 kbps,
  3. débito DL: 64 kbps.
- 64 PS:
  1. taxa de utilização do canal: 100%,
  2. tempo médio de duração dos pacotes: 5,
  3. débito UL: 64 kbps,
  4. débito DL: 64 kbps,
  5. razão DTX (UL): 15,
  6. razão DTX (DL): 15.
- 144 CS:
  1. tempo médio por chamada: 5,0 min,
  2. débito UL: 144 kbps,
  3. débito DL: 144 kbps .
- 144 PS:
  1. tempo de utilização do canal: 100%,
  2. tempo de duração dos pacotes: 5,
  3. débito UL: 144 kbps,
  4. débito DL: 144 kbps,
  5. razão DTX (UL):15,
  6. razão DTX (DL): 15.
- 384 PS:
  1. tempo de utilização do canal: 100%,
  2. tempo e duração dos pacotes: 5,
  3. débito UL: 384 kbps,

4. débito DL: 384 kbps.

- tempo de simulação: 300 s,
- intervalo de entre *step* simulações: 600 ms,
- janela de *soft handover*: 4 dB
- potência máxima em DL para BS: 43 dBm, factor de ruído da BS: 5 dB,
- altura de colocação da BS: 25 m,
- potência máxima para MT: 30 dBm, factor de ruído do MT: 9 dB,
- altura do MT: 1,8 m,
- ganho da antena do MT: 0 dBi,
- perdas devido ao utilizador: 2 dB,
- frequência da portadora (canal superior em FDD):
  1. UL: 1 977,5 MHz,
  2. DL: 2 167,5 MHZ

Tabela Q.1: Parâmetros relativos ao modelo de propagação para SLEP.

Zonas	***Shadowing Deviation* [dB]**	**Atenuação de Interiores [dB]**	***Decorreation Lengh* [m]**
Verde	10	00	20
Comercial	10	10	20
Habitacional	10	20	20

Para determinar os valores de tráfego relativos aos casos com interesse para o trabalho em estudo, há que determinar o tráfego médio por utilizador esperado para cada uma das zonas anteriormente consideradas, para cada serviço disponível. Estes valores são obtidos através da aplicação *Map UMTS*, considerando as respectivas zonas representadas na Figura 3.9. Tem-se em consideração o número de utilizadores dentro da área assinalada para cada zona, assim como os seus respectivos serviços. O valor médio de tráfego de cada BS será dado por (Q.1) para UL e por (Q.2) para DL.

$$Cap_{UL} = L \times n_{\sec t} * 12{,}2 + L_{UL} / n_{BS} \qquad \text{(Q.1)}$$

$$Cap_{DL} = L \times n_{\sec t} * 12{,}2 + L_{DL} / n_{BS} \qquad \text{(Q.2)}$$

em que:

- $Cap_{[\mathrm{kbps}]}$ é o tráfego médio suportado por cada BS,
- $L_{voz[\mathrm{Erl}]}$ é a carga relativa a voz,
- $L_{UL,DL[\mathrm{kbps}]}$ é a carga total do sistema sem voz.
- n_{BS} é o número de BS.

Considerou-se que para os valores máximos de capacidade registados durante a simulação com SLEP corresponde um factor de carga de 50%.

Os resultados obtidos para a validação das simulações efectuadas com *Map UMTS* encontram-se na Tabela Q.2. Os resultados obtidos para os dados de saída do SLEP encontram-se nas Tabela Q.3, Tabela Q.5 e Tabela Q.7 para 0,5 %, 2 % e 5 % da população, respectivamente. Os resultados obtidos para a comparação dos valores simulados entre *Map UMTS* e SLEP encontram-se nas Tabela Q.4, Tabela Q.6 e Tabela Q.8 para 0,5 %, 2 % e 5 % da população, respectivamente.

Tabela Q.2: Validação dos valores obtidos em *Map UMTS*, com SLEP, para 0,5 % e zonas verdes.

Serviço de Referência	Raio [km]	L_{voz} [Erl]	$\eta_{UL\,méd}$ [%]	$\eta_{DL\,méd}$ [%]	Cap_{UL} [kbps]	Cap_{DL} [kbps]	MT em *soft handover* [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]
Voz (R_{ref} = 0,87 km)	1,050	8,90	43,82	36,93	464,84	467,27	40,60	97,60	2,40
	0,900	6,20	43,32	36,02	341,28	341,73	42,30	100,00	0,00
	0,750	4,10	46,08	38,41	228,34	228,84	35,50	100,00	0,00
64 CS (R_{ref}=0,588 km)	0,750	4,20	45,39	41,18	225,27	224,00	44,40	98,00	2,00
	0,600	3,50	41,98	38,07	169,71	168,95	40,00	100,00	0,00
	0,450	1,30	38,51	39,35	60,34	61,69	10,00	100,00	0,00
64 PS (R_{ref}=0,645 km)	0,900	4,70	42,65	38,73	243,59	242,69	39,10	98,20	1,80
	0,750	4,30	40,76	39,76	207,45	210,50	37,00	100,00	0,00
	0,600	3,80	43,66	42,00	199,85	202,64	42,30	100,00	0,00
144 CS (R_{ref}=0,81 km)	0,750	4,70	47,42	39,55	279,80	279,55	43,40	99,10	0,90
	0,600	4,00	47,76	40,13	244,51	245,03	42,20	100,00	0,00
	0,450	1,40	38,50	36,55	67,89	70,15	40,60	100,00	0,00
144 PS (R_{ref}=0,554 km)	0,750	4,60	3,95	37,88	172,31	210,10	35,30	99,00	1,00
	0,600	3,00	43,20	41,52	148,63	150,97	43,80	100,00	0,00
	0,450	1,40	48,45	43,05	102,27	101,25	40,90	100,00	0,00
384 PS (R_{ref}=0,442 km)	0,600	4,60	43,27	40,53	221,81	221,81	39,80	100,00	0,00
	0,450	1,30	42,34	42,40	60,68	61,58	29,40	100,00	0,00
	0,300	1,20	43,34	37,65	57,89	56,88	41,70	100,00	0,00

Tabela Q.3: Dados de saída do SLEP, para 0,5 %.

Serviço de Referência	Zonas	Raio [km]	L_{voz} [Erl]	$\eta_{UL\,méd}$ [%]	$\eta_{DL\,méd}$ [%]	Cap_{UL} [kbps]	Cap_{DL} [kbps]	MT em *soft handover* [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]
Voz	Verde	0,900	6,20	43,32	36,02	341,28	341,73	42,30	100,00	0,00
	Habitacional	0,900	8,90	43,05	39,77	463,30	463,30	38,90	100,00	0,00
	Comercial	0,600	22,60	44,69	40,81	1 158,39	1 157,37	42,70	14,80	85,20
64 CS	Verde	0,600	3,50	41,98	38,07	169,71	168,95	40,00	100,00	0,00
	Habitacional	0,600	7,80	45,87	42,06	437,08	437,84	41,10	81,80	18,20
	Comercial	0,450	6,70	45,66	40,76	393,21	388,24	40,60	100,00	0,00
64 PS	Verde	0,750	4,30	40,76	39,76	207,45	210,50	37,00	100,00	0,00
	Habitacional	0,600	6,70	45,74	41,60	365,34	365,09	42,30	100,00	0,00
	Comercial	0,300	4,50	45,57	40,07	253,36	250,82	46,50	100,00	0,00
144 CS	Verde	0,600	4,00	47,76	40,13	244,51	245,03	42,20	100,00	0,00
	Habitacional	0,450	2,10	43,36	35,99	106,44	104,63	42,40	100,00	0,00
	Comercial	0,300	5,50	43,91	38,18	271,07	268,78	44,10	100,00	0,00
144 PS	Verde	0,600	3,00	43,20	41,52	148,63	150,97	43,80	100,00	0,00
	Habitacional	0,450	2,10	46,89	42,92	127,43	128,33	34,50	100,00	0,00
	Comercial	0,300	5,30	42,20	38,14	257,31	259,09	46,60	99,20	0,80
384 PS	Verde	0,450	1,30	42,34	42,40	60,68	61,58	29,40	100,00	0,00
	Habitacional	0,450	4,00	48,46	43,37	217,88	215,17	33,30	97,60	2,40
	Comercial	0,300	4,30	43,05	40,58	200,34	200,85	37,50	97,50	2,50

Tabela Q.4: Comparação para valores simulados com SLEP e *Map UMTS*, para 0,5 %.

Serviço de Referência	Zona	Raio [km]		h_{UL} [%]		h_{DL} [%]		*Cap* [kbps]			QoS [%]			
									SLEP		P_{Good}		P_{Poor}	
		Map UMTS	SLEP	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	UL	DL	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	SLEP
Voz	Verdes	0,870	0,900	47,75	43,32	40,41	36,02	579,63	341,28	341,73	59,08	100,00	40,92	0,00
	Habitacional	0,831	0,900	47,98	43,05	40,45	39,77	76,16	463,30	463,30	57,62	100,00	42,38	0,00
	Comercial	0,601	0,600	49,62	44,69	41,60	40,81	639,78	1 158,39	1 157,37	63,61	14,80	36,39	85,20
64 CS	Verdes	0,588	0,600	48,52	41,98	44,24	38,07	492,62	169,71	168,95	66,73	100,00	33,27	0,00
	Habitacional	0,486	0,600	46,32	45,87	42,55	42,06	462,89	437,08	437,84	63,79	81,80	36,21	18,20
	Comercial	0,361	0,450	46,93	45,66	42,77	40,76	479,50	393,21	388,24	67,28	100,00	32,72	0,00
64 PS	Verdes	0,635	0,750	44,43	40,76	40,05	39,76	446,10	207,45	210,50	90,89	100,00	9,11	0,00
	Habitacional	0,458	0,600	47,89	45,74	43,65	41,60	475,50	365,34	365,09	85,93	100,00	14,07	0,00
	Comercial	0,281	0,300	46,60	45,57	41,96	40,07	78,32	253,36	250,82	90,90	100,00	9,10	0,00
144 CS	Verdes	0,581	0,600	36,33	47,76	31,28	40,13	352,17	244,51	245,03	86,94	100,00	13,07	0,00
	Habitacional	0,402	0,450	45,03	43,36	39,03	35,99	450,63	106,44	104,63	92,78	100,00	7,22	0,00
	Comercial	0,274	0,300	45,29	43,91	39,29	38,18	462,62	271,07	268,78	93,21	100,00	6,79	0,00
144 PS	Verdes	0,554	0,600	39,24	43,20	33,63	41,52	382,10	148,63	150,97	92,71	100,00	7,29	0,00
	Habitacional	0,387	0,450	44,70	46,89	38,76	42,92	443,93	127,43	128,33	96,14	100,00	3,86	0,00
	Comercial	0,269	0,300	46,46	42,20	39,72	38,14	473,36	257,31	259,09	95,74	99,20	4,26	0,80
384 PS	Verdes	0,442	0,450	26,44	42,34	22,90	42,40	255,06	60,68	61,58	90,48	100,00	9,52	0,00
	Habitacional	0,389	0,450	38,39	48,46	34,00	43,37	380,19	217,88	215,17	100,00	97,60	0,00	2,40
	Comercial	0,268	0,300	41,60	43,05	37,08	40,58	423,34	200,34	200,85	100,00	97,50	0,00	2,50

Tabela Q.5: Dados de saída do SLEP, para 2 %.

Serviço de Referência	Zonas	Raio [km]	L_{voz} [Erl]	$\eta_{UL\,méd}$ [%]	$\eta_{DL\,méd}$ [%]	Cap_{UL} [kbps]	Cap_{DL} [kbps]	MT em *soft handover* [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]
Voz	Verde	0,600	17,30	44,85	37,88	940,22	946,32	41,40	32,20	67,80
	Habitacional	0,450	11,70	46,17	38,43	690,45	691,81	34,80	61,10	38,90
	Comercial	0,300	20,60	43,74	36,51	1 082,80	1 085,34	45,40	8,60	91,40
64 CS	Verde	0,450	5,70	44,46	43,78	340,18	346,51	45,70	96,50	3,50
	Habitacional	0,300	6,40	46,30	42,84	400,37	400,63	43,80	65,20	34,80
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
64 PS	Verde	0,450	6,60	45,13	42,77	417,17	422,60	42,20	100,00	0,00
	Habitacional	0,300	8,60	45,73	42,47	468,99	470,52	38,70	84,50	15,50
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
144 CS	Verde	0,450	6,00	45,84	40,09	365,44	364,54	39,30	100,00	0,00
	Habitacional	0,300	7,70	46,72	43,12	456,24	457,00	43,20	68,30	31,70
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
144 PS	Verde	0,450	4,40	45,32	41,03	260,18	258,37	43,70	95,00	4,00
	Habitacional	0,300	9,70	46,58	40,38	602,95	600,92	43,40	49,40	30,60
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
384 PS	Verde	0,300	4,80	45,46	41,34	280,34	277,29	48,60	97,90	2,10
	Habitacional	0,300	6,80	46,54	42,04	385,79	380,96	41,80	84,70	15,30
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela Q.6: Comparação para valores simulados com SLEP e *Map UMTS*, para 2 %.

Serviço de Referência	Zona	Raio [km]		h_{UL} [%]		h_{DL} [%]		*Cap* [kbps]			QoS [%]			
									SLEP		P_{Good}		P_{Poor}	
		Map UMTS	SLEP	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	UL	DL	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	SLEP
Voz	Verdes	0,870	0,900	49,42	44,85	41,22	37,88	650,84	940,22	946,32	60,41	32,20	39,59	67,80
	Habitacional	0,831	0,900	49,72	46,17	41,22	38,43	650,84	690,45	691,81	53,99	61,10	46,01	38,90
	Comercial	0,601	0,600	49,42	43,74	41,22	36,51	650,84	1 082,80	1 085,34	60,41	8,60	39,59	91,40
64 CS	Verdes	0,588	0,600	46,82	44,46	43,08	43,78	475,28	340,18	346,51	61,94	96,50	38,06	3,50
	Habitacional	0,486	0,600	47,31	46,30	43,76	42,84	477,08	400,37	400,63	58,22	65,20	41,78	34,80
64 PS	Verdes	0,361	0,450	47,23	45,13	42,45	42,77	481,46	417,17	422,60	85,45	100,00	14,55	0,00
	Habitacional	0,635	0,750	46,84	45,73	42,63	42,47	469,72	468,99	470,52	81,11	84,50	18,89	15,50
144 CS	Verdes	0,458	0,600	45,55	45,84	39,44	40,09	459,97	365,44	364,54	94,95	100,00	5,05	0,00
	Habitacional	0,281	0,300	47,65	46,72	41,66	43,12	476,53	456,24	457,00	94,24	68,30	5,76	31,70
144 PS	Verdes	0,581	0,600	44,93	45,32	38,63	41,03	442,67	260,18	258,37	95,75	95,00	4,25	4,00
	Habitacional	0,402	0,450	44,31	46,58	38,14	40,38	444,63	602,95	600,92	96,53	49,40	3,47	30,60
384 PS	Verdes	0,274	0,300	38,23	45,46	34,19	41,34	381,24	280,34	277,29	100,00	97,90	0,00	2,10
	Habitacional	0,554	0,600	42,07	46,54	37,22	42,04	422,72	385,79	380,96	100,00	84,70	0,00	15,30

Tabela Q.7: Dados de saída do SLEP, para 5 %.

Serviço de Referência	Zonas	Raio [km]	L_{voz} [Erl]	$\eta_{UL\,méd}$ [%]	$\eta_{DL\,méd}$ [%]	Cap_{UL} [kbps]	Cap_{DL} [kbps]	MT em *soft handover* [%]	$P_{Goodméd}$ [%]	$P_{Poorméd}$ [%]
Voz	Verde	0,450	14,4	47,08	38,74	937,85	935,14	42,0	21,0	79,0
	Habitacional	0,300	19,1	42,22	34,92	923,47	923,73	45,6	17,9	82,1
	Comercial	0,300	45,7	42,38	34,96	2 222,78	2 218,72	44,5	0,2	99,8
64 CS	Verde	0,300	12,5	46,62	43,30	731,01	728,72	43,2	56,8	43,2
	Habitacional	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
64 PS	Verde	0,300	10,8	44,40	40,83	573,56	573,60	45,8	40,8	59,2
	Habitacional	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
144 CS	Verde	0,300	12,8	45,87	43,65	781,79	787,89	45,2	34,5	65,5
	Habitacional	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
144 PS	Verde	0,300	13,8	47,22	44,11	874,59	874,83	42,0	4,3	95,7
	Habitacional	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
384 PS	Verde	0,300	11,7	46,94	44,67	745,38	750,46	46,4	31,9	68,1
	Habitacional	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-
	Comercial	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela Q.8: Comparação para valores simulados com SLEP e *Map UMTS*, para 5 %.

Serviço de Referência	Zona	Raio [km]		h_{UL} [%]		h_{DL} [%]		*Cap* [kbps]			QoS [%]			
									SLEP		P_{Good}		P_{Poor}	
		Map UMTS	SLEP	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	UL	DL	*Map UMTS*	SLEP	*Map UMTS*	SLEP
Voz	Verde	0,405	0,450	49,57	47,08	40,97	38,74	651,60	937,85	935,14	58,23	21,0	41,77	79,0
	Habitacional	0,279	0,300	49,70	42,22	40,95	34,92	658,32	923,47	923,73	54,70	17,9	45,30	82,1
	Comercial	0,152	0,300	49,56	42,38	41,23	34,96	652,68	2 222,78	2 218,72	62,75	0,2	37,25	99,8
64 CS	Verde	0,201	0,300	48,01	46,62	44,44	43,30	484,31	731,01	728,72	60,49	56,8	39,51	43,2
64 PS	Verdes	0,209	0,300	47,49	44,40	43,21	40,83	480,08	573,56	573,60	88,92	40,8	11,08	59,2
144 CS	Verdes	0,221	0,300	44,49	45,87	38,83	43,65	442,56	781,79	787,89	92,58	34,5	7,42	65,5
144 PS	Verdes	0,231	0,300	44,48	47,22	38,82	44,11	442,66	874,59	874,83	92,48	4,3	7,52	95,7
384 PS	Verdes	0,226	0,300	41,59	46,94	37,01	44,67	417,76	745,38	750,46	100,00	31,9	0,00	68,1

Referências

[3GPP00] 3GPP, *Services & Service Capabilities*, 3GPP Technical Spefications, no.25.214, Mar. 2000.

[CaCo02] Cardoso, F. and Correia, L., *Fading Depth Evaluation in Mobile Communications from GSM to Future Mobile Broadband Systems*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Sept. 2002.

[CMLi01] *Lisboa em Mapas* CD-ROM, Direcção Municipal de Planeamento e Gestão Urbanística – Departamento de Informação Urbana da CML, Dezembro de 2001.

[CMLi02] Mapas da Cidade de Lisboa, http://ulisses.cm-lisboa.pt/pesquisa.php, Câmara Municipal de Lisboa, 2002.

[CMPo01] *Porto em Mapas* CD-ROM, Direcção Municipal de Planeamento e Gestão Urbanística – Departamento de Informação Urbana da CMP, 2001.

[Corr02] Correia, L., *Apontamentos de Sistemas de Comunicações Móveis e Pessoais*, AEIST, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002.

[DaCo99] Damasso, E. and Correia, L., *Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems*, COST Telecom Secretariat European Commission, Brussels, Belgium, 1999.

[DGIm01] Direcção Geral de Impostos, http://www.dgci.min-financas.pt/, 2001.

[ETSI01] ETSI TR 125 942 v4.0.0, *UMTS RF System Scenarios Technical Report, France*, Sep. 2001.

[FMSC01] Ferreira, L., Marques, G., Serrador, A. and Correia, L., *Classification of Mobile Multimedia Services*, IST-TUL_WP1_DR_INT_013_WL_01, Momentum Project, Oct. 2001.

[FSCo02] Ferreira, L., Serrador, A. and Correia, L., *Characterisation parameters for UMTS Services and Applications*, IST-TUL_WP1_DR_INT_025_WL_ _04_services_characterisation, Momentum Project, Mar. 2002.

[GISy02] Sistemas de Informação Geográfica, http://www.gis.com/, 2002

[HoTo00] Holma, H and Toskala, A., *WCDMA for UMTS-Radio Access For Third Generation Mobile Communications*, John Wiley & Sons, UK, June 2000.

[INEs01] Resultados Provisórios dos Censos 2001, http://www.ine.pt/censos2001/censos_prov/censos_proc.asp, INE, Lisboa, 2001.

[LoBe00] Lourenço, P. and Belo, J., *E_b/N_0 Parameters Values*, Information Report Number TEL_WP4_TN_INT_022_WL_01_EbNo, Momentum Project, https://momentum.zib.de/, 2000.

[MaAn01] Marinho, A. and Antunes, D., *Planeamento Celular em UMTS*, Projecto Final de Curso, IST, Lisboa, Portugal, Sept. 2001.

[Mura01] Muratore, F., *UMTS Mobile Communications for the Future*, John Wiley & Sons, UK, Mar. 2001.

[Pire99] Pires, J., *Sistemas de Telecomunicações I*, Secção de Folhas da AEIST, IST, Lisboa, Portugal, 1999.

[Sale98] Salema, C., *Feixes Hertzianos*, IST Press, Lisboa, Portugal, 1998.

[SLEP00] *SLEP*, UMTS Simulator, Mitsubishi, Nov. 2000.

[Stal00] Stallings, W., *Data & Computer Communications*, Prentice Hall International, New Jersey, USA, 2000.

[UMTS98a] UMTS Forum, *UMTS/IMT-2000 Spectrum*, Report No.6, London, UK, 1998.

[UMTS98b] UMTS Forum, *Minimum spectrum demand per public terrestrial UMTS operator in the initial phase*, Report No.5, London, UK, 1998.

[UMTS00a] UMTS Forum, *The UMTS Third Generation Market-Structuring the Service Revenues Opportunities*, Report No.9, London, UK, Sep. 2000.

[UMTS00b] UMTS Forum, *UMTS/IMT-2000 Spectrum*, Report No.11, London, UK, Oct. 2000.