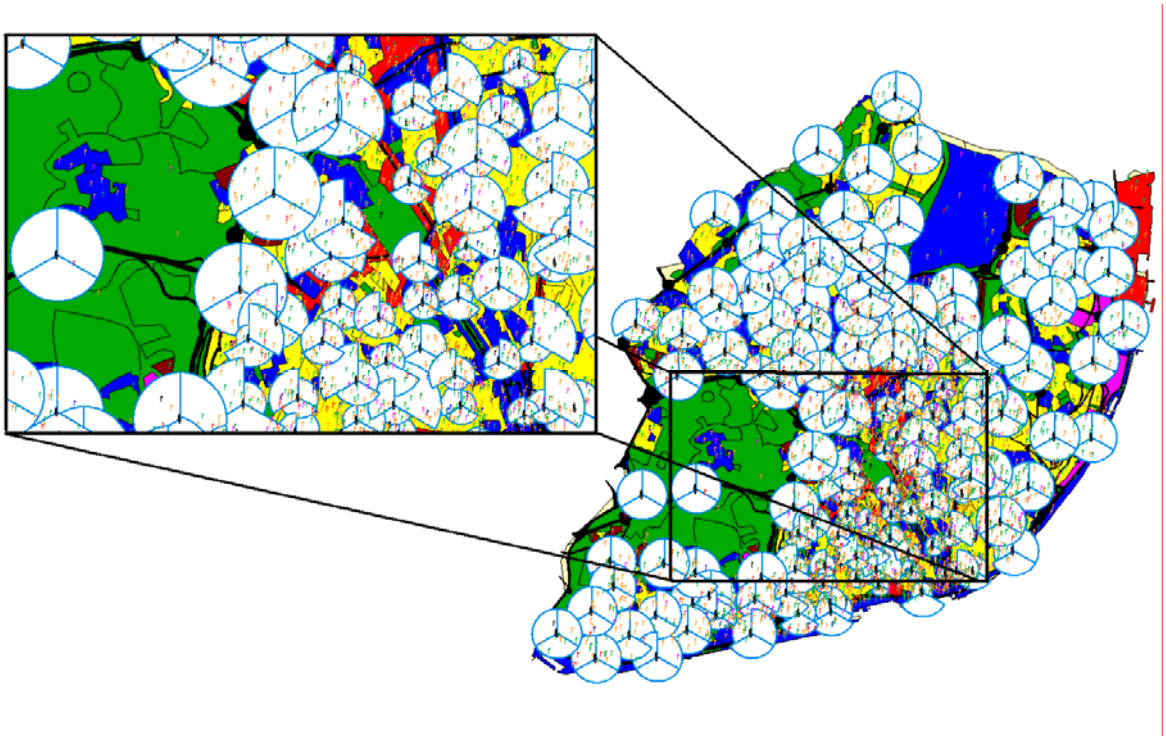
UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO



MODELOS PARA PREVISÃO DE TRÁFEGO UMTS

Alexandre Félix, nº 46470, Ramo de Telecomunicações e Electrónica
João Almeida, nº 46564, Ramo de Telecomunicações e Electrónica

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES
Relatório de Trabalho Final de Curso
049/2002/L

Prof. Orientador: Luís M. Correia

Novembro de 2003

“Melhor é o fim das coisas do que o princípio delas…”

Eclesiastes 7:8, *in* Bíblia Sagrada

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por me ter dado a possibilidade de efectuar este trabalho. Obrigado também por estares sempre ao meu lado, mesmo quando falho, e me chamares pelo meu nome.

Ao Prof. Luís M. Correia agradeço por ter proposto este trabalho, pela sua orientação, pela disponibilidade e apoio prestados, pelas reuniões semanais, pelas correcções e pelos conhecimentos partilhados na área das comunicações móveis. Enfim, por ser um exemplo.

O meu agradecimento à Optimus, nomeadamente à Engª Ana Claro e ao Engº Luís Santo, pela cedência dos dados de tráfego e de *link budget*, sem os quais este trabalho não teria sido concebido da forma que o foi, e pela disponibilidade e prontidão em nos ajudar.

Ao meu colega João Almeida, por ter aceite fazer este trabalho comigo, pelo seu empenho e boa disposição sempre demonstrados ao longo do trabalho.

Aos "malandros" do RFII, Faustino, Helder, Paulo e Samuel, pela amizade e pela troca de ideias acerca de trabalho e da vida em geral…Um grande abraço para todos vós!

Quero também agradecer ao meu grande amigo e companheiro de curso, Gonçalo Neves, que me aturou ao longo destes cinco anos, ajudando-me a ultrapassar as etapas mais difíceis do curso sempre com boa disposição. E também pelos momentos inesquecíveis que temos passado juntos e que nos têm unido cada vez mais. Obrigado Gonçalo!

Agradeço à minha família por todo o carinho e dedicação demonstrados, não só ao longo deste trabalho mas desde que nasci. Em especial quero agradecer ao meu pai por todo o apoio e preocupação quando tive que fazer "directas". Obrigado pai pelo teu exemplo e por seres meu amigo.

À minha querida namorada, *"Annie"*, por ser como é…e por também me amar…

Aos amigos, colegas, professores e a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, foram solidários comigo contribuindo assim para a minha felicidade. Muito obrigado!

Alex

Ao Professor Luís M. Correia, pelo apoio e disponibilidade demonstrados, partilhando conhecimentos, ideias e motivações, e pelos "puxões de orelhas" que por vezes me fizeram "acordar".

À Optimus, em particular ao Engº Luís Santo e à Engª Ana Claro, pelo apoio prestado, sem hora nem data marcada, na realização deste projecto.

Ao meu colega Alex, porque sem ele não seria possível. Obrigado por me aturares, pela tua amizade, compreensão, esforço, empenho, paciência e dedicação com que percorreste este caminho, aguentando o barco quando estive ausente.

Aos colegas do RF2 que partilharam o mesmo espaço de trabalho, Paulo, Samuel, Faustino, Hélder e Angelino pela ajuda que prestaram e apoio que nunca negaram.

Ao GROW pela partilha de conhecimentos que nos faz crescer a todos.

Aos meus colegas de curso, que viveram comigo estes anos de faculdade e que me aturaram, ajudaram, acolheram, riram comigo, sofreram comigo; o Luís, o Emanuel, o Dany, o Luís Manuel e o Gonçalo.

À minha namorada, agora mulher, que me apoiou em momentos de choro, riso, tristeza, alegria, stress, cujo amor se sobrepôs à minha falta. Amo-te.

À minha família pelo apoio que sempre me deu ao longo do curso e em especial neste trabalho. Sempre presentes, com paciência e encorajamento. Muito obrigado.

E por fim, mas não em último lugar, a Deus, que me deu o privilégio de participar neste trabalho, atendendo ao desejo do meu coração. Obrigado por seres o meu refúgio, a minha fortaleza, o meu amigo.

João

Resumo

Este trabalho apresenta modelos para previsão de tráfego UMTS. Tomando como base dados reais de GSM, fornecidos pela Optimus, e dados referentes quer à caracterização quer à distribuição da população, dos empregos e do tipo de empregos, bem como dados de mobilidade (movimentos pendular e interno), criou-se um modelo de tráfego o mais adequado à realidade, para que seja possível ter-se uma ideia mais concreta dos utilizadores activos. São também analisados os serviços a serem disponibilizados aos utilizadores e a forma como a sua utilização condiciona o desempenho da rede celular.

É apresentado e aferido o Modelo de Tráfego Estimado para a cidades de Lisboa e do Porto, bem como a aplicação desenvolvida em *MapBasic*®, designada *MapTraffic*, que funciona sobre a plataforma de *MapInfo*® do SIG – Sistemas de Informação Geográfica, e que permite que diferentes parâmetros de ligação e cenários de referência sejam definidos, conforme seja a exigência pretendida relativamente à qualidade de serviço oferecida ao utilizador.

São também apresentados diversos resultados de simulações referentes a diferentes cenários de penetração e a diferentes perfis de utilização, sendo analisado e avaliado o desempenho da rede. A avaliação do desempenho da rede consiste em avaliarem-se parâmetros de saída da aplicação *MapTraffic*, como comprimento de raios dos sectores, probabilidades de bloqueio e de atraso, limitações do sistema, entre outros.

Verificou-se que, quanto mais exigente for o serviço de referência, maiores serão as restrições relativamente às áreas de cobertura das estações base, tendo-se verificado o mesmo para distribuições de população mais densas e para um raio de referência menor. Neste último caso, e mais concretamente para a cidade de Lisboa, obteve-se em média 4 utilizadores fora dos raios máximos de cobertura, considerando todas as EBs, e 1 613 utilizadores servidos para uma percentagem de utilização e penetração de 0.2%, que equivale em média a 1 806 utilizadores activos em toda a cidade, tendo-se considerado uma probabilidade média de bloqueio aceitável ($\approx$ 2%) e um raio máximo de 1.132km. Obtiveram-se também, para os ritmos de referência de 64/64kbps, 64/128kbps, 64/384kbps e tendo-se considerado um mesmo cenário de atenuação dos utilizadores, os seguintes intervalos para os valores dos raios: $[0.15,0.28]$km, $[0.11,0.28]$km e $[0.09,0.22]$km, respectivamente.

Palavras Chave

UMTS. SIG. Tráfego. Mobilidade. Desempenho.

Abstract

This work presents models for traffic forecast in UMTS. Based on real data in GSM, given by Optimus, and using data related with the characterisation and distribution of population, data on jobs and their type, as well as mobility data (pendular and internal movements), a traffic model closer to the reality was created, so that it is possible to have a more precise idea of the active users. Also, the services that will be offered to the users, and the way they are used, are analysed, so that one can conclude on the performance of the cellular network.

A Model for Traffic Estimation is presented for Lisbon and Oporto, as well as an application developed in MapBasic® and supported on MapInfo® (GIS – Geographic Information Systems), designated by MapTraffic, which allows that different parameters of the scenarios are defined, in agreement with the required quality of service offered to the user.

Some results are presented concerning different hypothesis of penetration and different user profiles, being analysed in terms of network performance. The evaluation deals with output parameters of MapTraffic, namely as sectors radius, blocking and delay probabilities, system limitations, among others.

It was verified that the more demanding the service of reference will be, the more restrictive the coverage areas of the base stations, and the same happens for denser distributions of population and for a smaller reference radius. In this last case, and more specificaly for the city of Lisbon, one has on average 4 users not covered and 1 613 users served for an utilization and penetration ratio of 0.2%, which corresponds on average to 1 806 active users, considering an average probability of acceptable blocking (≈ 2%) and a maximum radius of 1.132km. For the reference services of 64/64kbps, 64/128kbps, 64/384kbps and considering the same scenario of users attenuation, the following intervals for the values of the radius were obtained: $[0.15,0.28]$km, $[0.11,0.28]$km and $[0.09,0.22]$km, respectively.

Keywords

UMTS. GIS. Traffic. Mobility. Performance.

Índice

Agradecimentos v
Resumo vii
Abstract ix
Índice xi
Lista de Figuras xiii
Lista de Tabelas xviii
Lista de Siglas xx
Lista de Símbolos xxii

1. Introdução 1

2. Aspectos gerais sobre UMTS 5

2.1 Características do UMTS 5

2.2 Serviços 7

2.3 Interferência e Capacidade 8

3. SIG e Distribuições de Tráfego 13

3.1 Estimação de Tráfego 13

3.2 SIG – Sistema de Informação Geográfica 17

3.3 Serviços e Aplicações em UMTS 18

3.4 Estimação de Tráfego para Lisboa 19

4. Modelo de Tráfego 23

4.1 Criação do Modelo 23

4.2 Aferição do Modelo 29

4.3 Desempenho da Rede 33

4.4 Parâmetros de Saída 37

5. Análise de Resultados 41

5.1 Resultados para a cidade de Lisboa 41

5.1.1 Dependência com o cenário operacional 41

5.1.2 Dependência com o serviço de referência 44

5.1.3 Dependência com o raio de referência 49

5.2 Resultados para a cidade do Porto 50

6. Conclusões 53

Anexo A – Códigos em UMTS A-1

Anexo B – Factores de Carga em UL e DL B-1

Anexo C – Balanços de Potência ……..... C-1

Anexo D – Aspectos Básicos de Tráfego ……..……. D-1

Anexo E – Informação referente a [VaCa02] E-1

Anexo F – Dados da Optimus ……..... F-1

Anexo G – Distribuições de População ……..... G-1

Anexo H – Informação Referente ao Porto H-1

Anexo I – Manual do *MapTraffic* ……..... I-1

Anexo J – Modelo de Propagação COST 231 – *Walfisch-Ikegami* J-1

Anexo K – Densidade dos Serviços …… K-1

Anexo L – Gráficos de Lisboa …… L-1

Anexo M – Gráficos do Porto …… M-1

Referências …… Ref.1

Lista de Figuras

Figura 1.1:	Interfaces de rádio terrestre do programa IMT-2000 (extraído de [ITUn99])	1
Figura 2.1:	Atribuição do espectro de frequências na Europa (extraído de [QuSc00]).	5
Figura 2.2:	Estrutura de uma rede UMTS (extraído de [3GPP00b]).	6
Figura 2.3:	Evolução do factor de carga em UL.	10
Figura 2.4:	Evolução do factor de carga em DL.	10
Figura 2.5:	Variação da carga em UL para diferentes débitos disponibilizados em UMTS.	11
Figura 2.6:	Variação da carga em DL para diferentes débitos disponibilizados em UMTS.	11
Figura 3.1:	Função duas gaussianas e função trapézio (extraído de [QuAl98]).	14
Figura 3.2:	Exemplo da variação da densidade de tráfego (extraído de [QuAl98]).	15
Figura 3.3:	Diferentes camadas de informação geográfica (extraído de [GYSy02]).	17
Figura 3.4:	Diagrama de blocos representativo da aplicação *Map UMTS* (extraído de [VaCa02]).	20
Figura 4.1:	Densidade de Residentes por freguesia em Lisboa [pop/km^2].	24
Figura 4.2:	Densidade de Executivos e Outros Profissionais por freguesia em Lisboa [pop/km^2].	26
Figura 4.3:	Diagrama de blocos da aplicação *MapTraffic* (1ª fase).	29
Figura 4.4:	Distribuição inicial do erro em Lisboa [Erlang].	30
Figura 4.5:	Mapa da cidade de Lisboa com as várias classes urbanas (extraído de [CMLi02]).	30
Figura 4.6:	Divisões de algumas freguesias em Lisboa.	31
Figura 4.7:	Distribuição final do erro em Lisboa [Erlang].	32
Figura 4.8:	Diagrama de blocos representativo da aplicação *MapTraffic* (fase final).	33
Figura 4.9:	Exemplo de uma distribuição espacial da população e dos respectivos ritmos requeridos por utilizador.	34
Figura 4.10:	Fluxograma para a determinação do raio de um sector.	36
Figura 4.11:	Raios de cada sector por EB na cidade de Lisboa.	37
Figura 4.12:	Tabela com a avaliação final dos utilizadores.	38
Figura 4.13:	Ferramenta de informação de um sector de uma EB.	39
Figura 5.1:	Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.	41
Figura 5.2:	Comparação de parâmetros da rede para diferentes cenários de atenuação do utilizador em Lisboa.	43
Figura 5.3:	Comparação de parâmetros da rede para diferentes produtos $p_{pen}\, p_{ut}$ em Lisboa.	44
Figura 5.4:	Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.	45
Figura 5.5:	Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.	46
Figura 5.6:	Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.	47
Figura 5.7:	Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa para maior percentagem de Voz.	47
Figura 5.8:	Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz.	48
Figura 5.9:	Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz.	48

Figura 5.10: Percentagem do número de ligações às EBs por utilizador para um raio de referência Pedestre – Pouco Profundo. 49
Figura 5.11: Percentagem do número de ligações às EBs por utilizador para um raio de referência Pedestre – Exterior. 49
Figura 5.12: Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. 51
Figura 5.13: Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto para maior percentagem de Voz. 51
Figura A.1: Utilização de códigos em UMTS (extraído de [HoTo00]). A-1
Figura A.2: Exemplo de uma árvore de código OVSF (adaptado de [UMTS01]). A-1
Figura B.1: Evolução da margem de interferência em função do factor de carga do sistema em UL/DL. B-3
Figura E.1: Distribuição espacial da população e dos respectivos serviços para Lisboa (extraído de [VaCa02]). E-2
Figura F.1: Rede celular sectorizada da Optimus em Lisboa com as respectivas EBs. F-1
Figura F.2: Rede celular sectorizada da Optimus no Porto com as respectivas EBs. F-1
Figura H.1: Densidade de Residentes por freguesia no Porto [pop/km^2]. H-1
Figura H.2: Densidade de Executivos por freguesia no Porto [pop/km^2]. H-1
Figura H.3: Densidade de Outros Profissionais por freguesia no Porto [pop/km^2]. H-1
Figura H.4: Distribuição do erro inicial no Porto [Erlang]. H-2
Figura H.5: Mapa da cidade do Porto com as várias classes urbanas (extraído de [CMLi02]). H-2
Figura H.6: Distribuição do erro final no Porto [Erlang]. H-2
Figura H.7: Comparação de parâmetros da rede para diferentes cenários de atenuação do utilizador no Porto. H-4
Figura H.8: Comparação de parâmetros da rede para diferentes $p_{pen}\, p_{ut}$ no Porto. H-4
Figura I.1: Menu de apresentação da aplicação *MapTraffic*. I-1
Figura I.2: Itens do menu da aplicação *MapTraffic*. I-1
Figura I.3: Barra de ferramentas da aplicação *MapTraffic*. I-2
Figura I.4: Selecção da tabela para a caracterização da população. I-3
Figura I.5: Tabela para a caracterização da população e respectivos parâmetros. I-3
Figura I.6: Selecção da tabela para a caracterização do tipo de zonas. I-4
Figura I.7: Tabela para a caracterização do tipo de zona. I-4
Figura I.8: Diferentes parâmetros de entrada para possível modificação. I-5
Figura I.9: Parâmetros do Modelo de Propagação. I-5
Figura I.10: Edição dos valores de E_b/N_0 para cada serviço. I-6
Figura I.11: Edição dos valores do cenário operacional. I-6
Figura I.12: Menu do Modelo de Tráfego. I-6
Figura I.13: Parâmetros do Modelo de Tráfego. I-7
Figura I.14: Edição dos dados relativos ao Modelo de Tráfego. I-7
Figura I.15: Possibilidade de escolha de geração da distribuição da população. I-7
Figura I.16: Selecção da tabela para a escolha da distribuição da população. I-8
Figura I.17: Tabela com uma dada distribuição de utilizadores. I-8
Figura I.18: Definições possíveis para a determinação do raio máximo. I-9
Figura I.19: Itens da opção *Run*. I-10
Figura I.20: Itens da opção *Users by Bit Rate*. I-10
Figura I.21: Erro médio e erro quadrático médio. I-10

Figura I.22: Selecção da tabela para a localização das EBs. I-11
Figura I.23: Selecção da tabela para a localização dos sectores. I-11
Figura I.24: Dados estatísticos de saída da opção *Coverage*. I-12
Figura I.25: Informações adicionais sobre o *MapTraffic*. I-12
Figura J.1: Representação dos parâmetros de propagação para o Modelo do COST 231 – *Walfish-Ikegami* (extraído de [Corr03]). J-1
Figura K.1: Densidade do serviço *Voice* para UL em Lisboa [pop/km^2]. K-1
Figura K.2: Densidade do serviço 64CS para UL em Lisboa [pop/km^2]. K-1
Figura K.3: Densidade do serviço 64PS para UL em Lisboa [pop/km^2]. K-2
Figura K.4: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para UL em Lisboa [pop/km^2]. K-2
Figura K.5: Densidade do serviço 64CS para UL no Porto [pop/km^2]. K-3
Figura K.6: Densidade do serviço 64PS para UL no Porto [pop/km^2]. K-3
Figura K.7: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para UL no Porto [pop/km^2]. K-3
Figura K.8: Densidade do serviço *Voice* para DL em Lisboa [pop/km^2]. K-4
Figura K.9: Densidade do serviço 64CS para DL em Lisboa [pop/km^2]. K-4
Figura K.10: Densidade do serviço 64PS para DL em Lisboa [pop/km^2]. K-5
Figura K.11: Densidade do serviço 128PS para DL em Lisboa [pop/km^2]. K-5
Figura K.12: Densidade do serviço 384PS para DL em Lisboa [pop/km^2]. K-6
Figura K.13: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para DL em Lisboa [pop/km^2]. K-6
Figura K.14: Densidade do serviço *Voice* para DL no Porto [pop/km^2]. K-7
Figura K.15: Densidade do serviço 64CS para DL no Porto [pop/km^2]. K-7
Figura K.16: Densidade do serviço 64PS para DL no Porto [pop/km^2]. K-7
Figura K.17: Densidade do serviço 128PS para DL no Porto [pop/km^2]. K-8
Figura K.18: Densidade do serviço 384PS para DL no Porto [pop/km^2]. K-8
Figura K.19: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para DL no Porto [pop/km^2]. K-8
Figura K.20: Densidade do serviço *Messaging* em Lisboa [pop/km^2]. K-9
Figura K.21: Densidade do serviço *Web Browsing* em Lisboa [pop/km^2]. K-9
Figura K.22: Densidade do serviço *Intranet* em Lisboa [pop/km^2]. K-10
Figura K.23: Densidade do serviço *Video Conference* em Lisboa [pop/km^2]. K-10
Figura K.24: Densidade do serviço *Location Based Services* em Lisboa [pop/km^2]. K-11
Figura K.25: Densidade do serviço *Video on Demand* em Lisboa [pop/km^2]. K-11
Figura K.26: Densidade do serviço *Audio on Demand* em Lisboa [pop/km^2]. K-12
Figura K.27: Densidade do serviço *Games on Demand* em Lisboa [pop/km^2]. K-12
Figura K.28: Densidade do serviço *Applications on Demand* em Lisboa [pop/km^2]. K-13
Figura K.29: Densidade do serviço *Voice* em Lisboa [pop/km^2]. K-13
Figura K.30: Densidade do serviço *Voice* + *Location Based Services* em Lisboa [pop/km^2]. K-14
Figura K.31: Densidade do serviço *Messaging* no Porto [pop/km^2]. K-14
Figura K.32: Densidade do serviço *Web Browsing* no Porto [pop/km^2]. K-14
Figura K.33: Densidade do serviço *Intranet* no Porto [pop/km^2]. K-15
Figura K.34: Densidade do serviço *Video Conference* no Porto [pop/km^2]. K-15
Figura K.35: Densidade do serviço *Location Based Services* no Porto [pop/km^2]. K-15
Figura K.36: Densidade do serviço *Video on Demand* no Porto [pop/km^2]. K-16
Figura K.37: Densidade do serviço *Audio on Demand* no Porto [pop/km^2]. K-16
Figura K.38: Densidade do serviço *Games on Demand* no Porto [pop/km^2]. K-16
Figura K.39: Densidade do serviço *Applications on Demand* no Porto [pop/km^2]. K-17
Figura K.40: Densidade do serviço *Voice* no Porto [pop/km^2]. K-17
Figura K.41: Densidade do serviço *Voice* + *Location Based Services* no Porto [pop/km^2]. K-17

Figura L.1: Raio para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa. L-1
Figura L.2: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa. L-1
Figura L.3: Raio para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa. L-1
Figura L.4: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa. L-2
Figura L.5: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa. L-2
Figura L.6: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa. L-2
Figura L.7: Atraso para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa. L-3
Figura L.8: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa. L-3
Figura L.9: Atraso para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa. L-3
Figura L.10: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa. L-4
Figura L.11: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa. L-4
Figura L.12: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa. L-4
Figura L.13: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa. L-5
Figura L.14: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa. L-5
Figura L.15: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa. L-5
Figura L.16: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa. L-6
Figura L.17: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa. L-6
Figura L.18: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa. L-6
Figura L.19: Portadoras para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa. L-7
Figura L.20: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa. L-7
Figura L.21: Portadoras para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa. L-7
Figura L.22: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz. L-8
Figura L.23: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz. L-8
Figura L.24: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz. L-8
Figura L.25: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz. L-9
Figura L.26: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz. L-9
Figura L.27: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz. L-9
Figura L.28: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz. L-10
Figura M.1: Raio para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto. M-1
Figura M.2: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. M-1
Figura M.3: Raio para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto. M-1
Figura M.4: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto. M-2

Figura M.5: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. M-2
Figura M.6: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto. M-2
Figura M.7: Atraso para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto. M-3
Figura M.8: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. M-3
Figura M.9: Atraso para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto. M-3
Figura M.10: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto. M-4
Figura M.11: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. M-4
Figura M.12: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto. M-4
Figura M.13: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto. M-5
Figura M.14: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. M-5
Figura M.15: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto. M-5
Figura M.16: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto. M-6
Figura M.17: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. M-6
Figura M.18: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto. M-6
Figura M.19: Portadoras para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto. M-7
Figura M.20: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto. M-7
Figura M.21: Portadoras para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto. M-7
Figura M.22: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz. M-8
Figura M.23: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz. M-8
Figura M.24: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz. M-8
Figura M.25: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz. M-9
Figura M.26: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto com maior percentagem de Voz. M-9
Figura M.27: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto com maior percentagem de Voz. M-9
Figura M.28: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto com maior percentagem de Voz. M-10

Lista de Tabelas

Tabela 2.1:	Utilização de cada faixa de frequências (extraído de [QuSc00]).	5
Tabela 2.2:	Classes de Tráfego para UMTS (extraído de [3GPP00a]).	7
Tabela 3.1:	Valores obtidos para a aproximação trapézio (extraído de [QuAl98]).	15
Tabela 3.2:	Valores obtidos para a aproximação de duas gaussianas (extraído de [QuAl98]).	15
Tabela 3.3:	Parâmetros dos modelos de variação espacial para as 17h (extraído de [QuAl98]).	16
Tabela 3.4:	Características dos serviços disponibilizados em UMTS (extraído de [Corr02]).	19
Tabela 4.1:	Serviços e respectivos ritmos em UL e DL considerados.	27
Tabela 4.2:	Percentagens de utilização dos serviços por idade, escolaridade e rendimento para Residentes.	28
Tabela 4.3:	Percentagens de utilização dos serviços para Executivos e Outros Profissionais.	28
Tabela 4.4:	Resultados da análise de sensibilidade para Lisboa.	32
Tabela 4.5:	Resultados da análise de sensibilidade para Lisboa com aumento de tráfego.	33
Tabela 5.1:	Perfil de atenuação de 75/25/0/0 [%] para diferentes tipos de utilizadores, (1).	42
Tabela 5.2:	Perfil de atenuação de 50/25/25/0 [%] para diferentes tipos de utilizadores, (2).	42
Tabela 5.3:	Perfil de atenuação de 25/25/25/25 [%] para diferentes tipos de utilizadores, (3).	43
Tabela 5.4:	Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo e com $p_{pen}\,p_{ut}$ = 1.7%, para Lisboa.	43
Tabela 5.5:	Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo, com percentagens idênticas às da Tabela 5.1, para Lisboa.	44
Tabela 5.6:	Resultados relativos a cenário de 64/128kbps e com $p_{pen}\,p_{ut}$ = 1.7%, para Lisboa.	49
Tabela 5.7:	Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, para Lisboa.	50
Tabela A.1:	Códigos em UMTS e sua funcionalidade (extraído de [Poss00]).	A-2
Tabela A.2:	Parâmetros principais da interface WCDMA (extraído de [QuSc00]).	A-2
Tabela B.1:	Valores utilizados para os parâmetros considerados no dimensionamento.	B-4
Tabela B.2:	Valores para o factor de actividade.	B-4
Tabela B.3:	Valores de carga teóricos e reais em UL/DL por utilizador.	B-5
Tabela B.4:	Factor de assimetria em DL.	B-5
Tabela B.5:	Valores máximos para o factor de assimetria em UL e DL.	B-5
Tabela B.6:	Número máximo de utilizadores, por sector, limitados pela carga.	B-6
Tabela C.1:	Valores no sentido descendente da ligação, DL.	C-2
Tabela C.2:	Valores no sentido ascendente da ligação, UL.	C-3
Tabela C.3:	Valores de E_b/N_0 para os diferentes serviços.	C-3
Tabela C.4:	Valores para a margem de segurança.	C-4
Tabela C.5:	Resultados de *link budget*.	C-4
Tabela C.6:	Balanços de potência para os diferentes serviços considerados.	C-5

Tabela E.1:	Percentagem de utilização de serviços segundo a idade (extraído de [VaCa02]).	E-1
Tabela E.2:	Percentagem de utilização de serviços segundo escolaridade (extraído de [VaCa02]).	E-1
Tabela E.3:	Percentagem de utilização de serviços segundo os rendimentos (extraído de [VaCa02]).	E-1
Tabela E.4:	Percentagem de utilização de serviços UMTS, por classe urbana (extraído de [VaCa02]).	E-2
Tabela F.1:	Exemplo da informação referente a cada sector para Lisboa e Porto.	F-1
Tabela F.2:	Percentagens de utilização dos serviços por idade para Residentes.	F-2
Tabela F.3:	Percentagens de utilização dos serviços por escolaridade para Residentes.	F-2
Tabela F.4:	Percentagens de utilização dos serviços por rendimento para Residentes.	F-2
Tabela F.5:	Percentagens de utilização dos serviços para Executivos e Profissionais Domésticos.	F-3
Tabela G.1:	Número de Residentes por freguesia em Lisboa.	G-1
Tabela G.2:	Número de Residentes por freguesia no Porto.	G-2
Tabela G.3:	Número de trabalhadores por freguesia em Lisboa.	G-3
Tabela G.4:	Número de trabalhadores por freguesia no Porto.	G-4
Tabela G.5:	Número de trabalhadores Executivos e Outros Profissionais por freguesia em Lisboa.	G-5
Tabela G.6:	Número de trabalhadores Executivos e Outros Profissionais por freguesia no Porto.	G-6
Tabela G.7:	Parâmetros característicos da População de Lisboa (extraído de [VaCa02]).	G-7
Tabela G.8:	Parâmetros característicos da População do Porto (extraído de [VaCa02]).	G-9
Tabela G.9:	Parâmetros característicos finais da População de Lisboa.	G-10
Tabela G.10:	Parâmetros característicos finais da População do Porto.	G-12
Tabela G.11:	Valores finais e respectivas percentagens para a distribuição de residentes e trabalhadores em Lisboa.	G-13
Tabela H.1:	Resultados da análise de sensibilidade para o Porto.	H-3
Tabela H.2:	Resultados da análise de sensibilidade para o Porto com aumento de tráfego.	H-3
Tabela H.3:	Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo e com 3.0% para o Porto.	H-3
Tabela H.4:	Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo, com percentagens idênticas às da Tabela 5.1, para o Porto.	H-4
Tabela I.1:	Funcionalidades dos botões da barra de ferramentas.	I-2
Tabela J.1:	Valores de referência utilizados no presente trabalho.	J-3

Lista de Siglas

3G	Terceira Geração
3GPP	*Third Generation Partnership Project*
AMPS	*Advanced Mobile Phone System*
BER	*Bit Error Rate*
BS	*Base Station*
BTS	*Base Transceiver Station*
CDMA	*Code Division Multiple Access*
CN	*Core Network*
CS	*Circuit Switching*
DL	*Downlink*
DS	*Direct Sequence*
EDGE	*Enhanced Data Rates for Global Evolution*
ETSI	*European Telecommunications Standards Institute*
FDD	*Frequency Division Duplex*
FDMA	*Frequency Division Multiple Access*
FT	*Frequency/Time*
FTP	*File Transfer Protocol*
GIS	*Geographic Information Systems*
GPRS	*General Packet Radio Service*
GSM	*Global System for Mobile Communications*
HIMM	*High Interactive Multimedia*
HMM	*High Multimedia*
IMT	*International Mobile Telecommunications*
IP	*Internet Protocol*
ITU	*International Telecommunications Union*
LBS	*Location Based Services*
MC	*Multi-Carrier*
MMM	*Medium Multimedia*
MMS	*Multimedia Messaging Service*
MSS	*Mobile Satellite Service*
NAS	*Non Access Stratum*
OVSF	*Orthogonal Variable Spreading Factor*
PS	*Packet Switching*
QoS	*Quality of Service*
RF	Rádio Frequência
RNC	*Radio Network Controller*
RNS	*Radio Network Subsystem*
SC	*Single Carrier*
SD	*Switched Data*
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SM	*Short Messaging*
SMS	*Short Message Service*
SRNC	*Serving Radio Network Controller*
TC	*Time Code*
TDD	*Time Division Duplex*
TD-SCDMA	*Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access*
TDMA	*Time Division Multiple Access*
UE	*User Equipment*

UL	*Uplink*
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System*
UTRA	*UMTS Terrestrial Radio Access*
UTRAN	*UMTS Terrestrial Radio Access Network*
UWC	*Universal Wireless Communications*
V	Voz
WARC	*World Administrative Radio Conference*
WCDMA	*Wideband Code Division Multiple Access*

Lista de Símbolos

α	Factor de ortogonalidade dos códigos em DL
η_{DL}	Factor de carga em DL
η_{UL}	Factor de carga em UL
λ	Taxa média de geração de chamadas
λ_{pro}	Taxa de pacotes efectivamente processada
μ	Taxa de serviço média
υ	Factor de actividade
$\bar{\tau}$	Duração média das chamadas
$\overline{\tau_{del}}$	Tempo médio de espera dos pacotes
$\bar{\varepsilon}$	Erro médio
$\overline{\varepsilon^2}$	Erro quadrático médio
$\overline{\varepsilon_{S_n}}$	Erro médio pesando a área da intersecção
$\overline{\varepsilon_{S_n}^2}$	Erro quadrático médio pesando a área da intersecção
a_i	Área da intersecção *i*
$ap(t)$	Função de aproximação, duas gaussianas ou trapézio, para variação temporal do tráfego
$ap_{gauss}(t)$	Função duas gaussianas, para variação temporal do tráfego
$ap_{trap}(t)$	Função trapézio, para variação temporal do tráfego
A	Tráfego oferecido
A	Vector com a utilização dos vários serviços por Executivos
A_{ut}	Tráfego médio por utilizador
Al	Constante da função linear
Alt	Declive do primeiro troço da função linear por troços
B	Vector com a utilização dos vários serviços por Outros Profissionais
Bl	Declive do modelo linear
Blt	Constante do segundo troço da função linear por troços
c	Constante que limita superiormente a gaussiana
Cap	Capacidade das estações base
Car_i	Percentagem de sectores com *i* portadoras
Cel	Constante da função exponencial/linear
Clt	Declive do segundo troço da função linear por troços
D	Vector relativo à distribuição dos serviços por freguesia
d_1	Desvio da primeira gaussiana
d_2	Desvio da segunda gaussiana
$da(d)$	Densidade de tráfego média normalizada à distância *d* do centro
$da_{perfil-n}(d)$	Densidade de tráfego normalizada segundo o perfil *n* à distância *d*
d_i	Probabilidade de se efectuar um serviço isolado
$d_{\max}$	Distância máxima dada pelo modelo de propagação
d_n	Distância ao centro
$d.p.(d_n)$	Desvio padrão entre os diferentes perfis do sector à distância d_n

dq	Ponto de quebra da função exponencial/linear
dq_1	Primeiro ponto de quebra da função linear por troços
dq_2	Segundo ponto de quebra da função linear por troços
d_t	Desvio da gaussiana
De	Factor de decaimento da função exponencial simples
Del	Factor de decaimento da função exponencial/linear
Dlt	Constante da função linear por troços
$e.q.m.$	Erro quadrático médio
E_b	Energia de bit
h_1	Hora de pico da manhã
h_{1desv}	Hora de pico da manhã desviada
h_2	Hora de pico da tarde
h_{2desv}	Hora de pico da tarde desviada
h_{alm}	Hora de almoço
$h_{alm\,desv}$	Hora de almoço desviada
h_{tdesv}	Hora de pico da gaussiana desviada
k_1	Peso da idade
k_2	Peso da escolaridade
k_3	Peso do rendimento
$\overline{L_p}$	Atenuação média de propagação
n_fim	Índice do último perfil do sector
n_ini	Índice do primeiro perfil do sector
n_perfis	Número de perfis no sector em questão
N	Número de pontos do maior perfil do sector
$N_{act\ \mathbf{users}}$	Número de utilizadores activos
N_0	Densidade espectral de ruído
N_{car}	Número de portadoras necessárias por sector
N_{emp}	Número de empregos total
N_{emp01}	Número total de empregos em 2001
$N_{emp/dist\,99}$	Número de empregos por freguesia
N_{Exec}	Número de trabalhadores da classe “Executivo”
$N_{Out\,Prof}$	Número de trabalhadores da classe “Outros Profissionais”
N_{pop}	Número da população total
$N_{pop/dist}$	Número total de residentes por freguesia
$N_{pop<20/dist}$	Número de pessoas por freguesia com idade inferior a 20 anos
$N_{pop\,20\leq 64/dist}$	Número de pessoas por freguesia com idade entre 20 e 64 anos
$N_{pop>64/dist}$	Número de pessoas por freguesia com idade superior a 64 anos
$N_{res<20/dist}$	Número de residentes por freguesia com idade inferior a 20
$N_{res20\leq 64}$	Número de residentes por freguesia com idade entre 20 e 64 anos

$N_{res>64}$	Número de residentes por freguesia com idade superior a 64 anos
N_{res}	Número da população residente durante o dia
$N_{res/dist}$	Número de pessoas que ficam em casa durante o dia por freguesia
$N_{serv\,users}$	Número de utilizadores servidos
N_{sin}	Número de estudantes que entram
$N_{soft\,hand}$	Número de utilizadores em *soft handover*
N_{sout}	Número de estudantes que saem
N_{TCH}	Número de canais
N_{users}	Número de utilizadores por sector
$N_{users\,w\,cov}$	Número de utilizadores sem cobertura em todo o sistema
N_{win}	Número de trabalhadores que entram
N_{wmov}	Número de trabalhadores que se movem dentro da cidade
N_{wor}	Número de trabalhadores
$N_{wor/dist01}$	Número de trabalhadores em 2001
N_{wout}	Número de trabalhadores que saem
p	Amplitude da gaussiana
p_1	Amplitude da primeira gaussiana
p_2	Amplitude da segunda gaussiana
p_{64PS}	Percentagem de utilização do serviço de 64kbps
$p_{<20/dist}$	Percentagem de residentes com idade inferior a 20 anos
$p_{20\leq 64/dist}$	Percentagem de residentes com idade entre 20 e 64 anos
$p_{>64/dist}$	Percentagem de residentes com idade superior a 64 anos
p_{pen}	Taxa de penetração
p_{sem}	Probabilidade da população não ter escolaridade
p_{obrig}	Probabilidade da população ter escolaridade obrigatória
$p_{\sec}$	Probabilidade da população ter ensino secundário
$p_{\sup}$	Probabilidade da população ter ensino superior
p_{ut}	Taxa de utilização
$p_{Voice+64PS}$	Percentagem de utilização dos serviços duplos
P_b	Probabilidade de bloqueio
P_d	Probabilidade de atraso
$P_{DL\max(i)}$	Potência máxima disponível para o serviço *i* em DL
P_{EB_TX}	Potência de transmissão da EB
P_{good}	Percentagem de utilizadores com débito igual ao do serviço requerido
P_{poor}	Percentagem de utilizadores com débito inferior ao do serviço requerido
P_{TM_TX}	Potência de transmissão do TM
P_{over}	Probabilidade de *overflow*
P_{Tx}^{EB}	Potência de emissão da estação base

R	Raio do sector
R_j	Débito do sinal do utilizador j
R_c	Débito de *chip*
s	Percentagem de utilizadores que efectuam mais do que um serviço
S	Área total de todas as intersecções
$\mathbf{S}$	Vector com o número de utilizadores de cada serviço
$t_{desv[h]}(t)$	Função de desvio temporal
tq_{1desv}	Primeiro ponto de quebra da função desviado
tq_{2desv}	Segundo ponto de quebra da função desviado
$\mathbf{T}$	Vector com a utilização total dos vários serviços
T_e	Densidade de tráfego estimado
T_r	Densidade de tráfego real
$\mathbf{V}$	Vector com a utilização dos vários serviços por Residentes

1. Introdução

Recentemente, a terceira geração de redes de comunicações móveis tem estado sob intensa pesquisa e discussão, começando agora a emergir. Pela ITU (***I**nternational **T**elecomunication **U**nion*), as redes 3G (terceira geração) são denominadas IMT – 2000 (***I**nternational **M**obile **T**elecomunications* 2000*)*, cobrindo esta, aspectos chave, como o uso do espectro de frequência e padrões técnicos.

Foram desenvolvidos cinco sistemas terrestres como parte do programa IMT – 2000, Figura 1.1; são eles: IMT – **DS** (***D**irect **S**equence*), IMT – **MC** (***M**ulti-**C**arrier*), IMT – **TC** (***T**ime **C**ode*), IMT – **SC** (***S**imple **C**arrier*), e IMT – **FT** (***F**requency/**T**ime*). O sistema IMT – DS, em que DS se refere a sequência directa, ou seja, a um esquema de espalhamento espectral, é a designação para a interface ar euro-japonesa WCDMA UTRA FDD (***W**ideband **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess – **U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess – **F**requency **D**ivision **D**uplex*), que permite acesso múltiplo por divisão em código em banda larga e com duplexagem na frequência. O sistema CDMA2000 (***C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess* 2000) americano, conhecido também por IMT – MC utiliza o sistema de multiportadora, também com acesso por divisão em código. As duas propostas TDMA (***T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess*), acesso por divisão no tempo, são IMT – FT, que é o sistema europeu DECT (***D**igital **E**nhanced **C**ordless **T**elecommunications*) que também usa acesso por divisão na frequência FDMA (***F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess*), e IMT – SC, conhecido anteriormente como UWC-136 (***U**niversal **W**ireless **C**ommunications* – 136) EDGE (***E**nhanced **D**ata Rates for **G**lobal **E**volution*), e que permite uma evolução dos sistemas AMPS (***A**dvanced **M**obile **P**hone **S**ystem*) e GSM (***G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications*). O IMT – TC combina as propostas TD – SCDMA *(**T**ime **D**ivision – **S**ynchronous* CDMA), que usa acesso com divisão em espaço e código, e UTRA TDD (UTRA ***T**ime **D**ivision **D**uplex*), que faz a duplexagem no tempo. Este híbrido CDMA é projectado para atribuição não simétrica do espectro, interessante para a *Internet*, enquanto o IMT – FT pode ser usado tanto para atribuição simétrica como assimétrica.

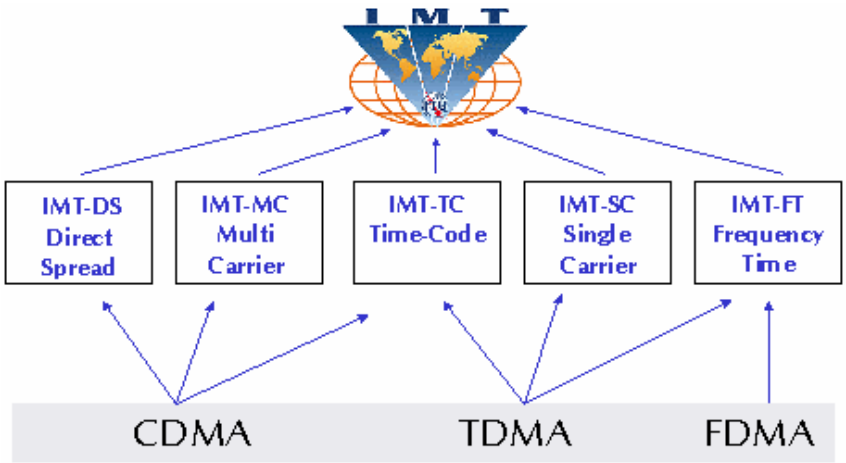


Figura 1.1: Interfaces de rádio terrestre do programa IMT-2000 (extraído de [ITUn99]).

Destes cinco sistemas, iremos abordar, obviamente, o sistema de terceira geração europeu designado por UMTS (***U**niversal **M**obile **T**elecommunication **S**ystem*), visto como o sucessor do GSM e que aparece para responder à crescente procura de aplicações móveis para a *Internet*. Esta nova tecnologia irá promover uma grande variedade de serviços, especialmente relacionados com multimédia e alta taxa de transmissão, podendo ir até 384kbps, na sua

versão FDD, e até mesmo a 2Mbps, na sua versão TDD. A questão da não globalidade do UMTS deve-se à impossibilidade de uniformização do espectro electromagnético utilizado em todo o mundo e de compatibilização com sistemas existentes. Esta situação acontece devido ao facto de noutros países as bandas de frequência estarem já ocupadas por outros serviços implementados, sendo por isso difícil de alterá-las. Contudo, o mercado está a orientar-se para o UMTS, pois este oferece uma largura de banda muito superior ao GSM, permitindo assim novos e variados serviços. Os sistemas de comunicações móveis em GSM funcionam essencialmente com base na comutação de circuitos, com ligações sempre dependentes da disponibilidade de canais, permitindo só recentemente lidar com serviços de dados de modo eficiente em comutação de pacotes (GPRS – ***G****eneral* ***P****acket* ***R****ádio* ***S****ystem*) como, por exemplo, o *e-mail*.

A chegada do UMTS ao nosso país irá certamente colmatar alguns dos problemas associados ao limitado espectro das comunicações móveis actualmente existente, além de permitir o aumento da velocidade de transmissão de dados, que poderá atingir os 144 kbps em situações de alguma mobilidade, 384 kbps em situações de passeio pedestre e 2 Mbps em situações de baixa mobilidade. Em UMTS, aquilo que faz a diferença são os vastos serviços possíveis: serviços de negócios (escritório móvel, grupos de trabalho virtuais...); serviços financeiros (banco virtual, tarifação *on-line*...); serviços de comunicação (vídeo telefonia, vídeo conferência, localização pessoal...); serviços à comunidade (chamada de emergência, serviços administrativos...); serviços especiais (tele-medicina, administração pessoal...); serviços de entretenimento (jogos, vídeo clips, turismo virtual...); serviços de informação (*Web-Browsing*, jornais *on-line*, compras interactivas...); serviços de educação (escolas virtuais, laboratórios *on-line*, bibliotecas *on-line*...), etc..

Os serviços UMTS irão acrescentar uma dimensão móvel incalculável aos serviços que actualmente já pertencem à vida moderna, substituindo um computador de secretária por um terminal de bolso: acesso à *Internet* e *Intranet*, video conferência e partilha interactiva de aplicações. Assim sendo, as características chave do UMTS são: elevado grau de compatibilidade de serviços, uso de terminais móveis de pequenas dimensões, *roaming* a nível mundial, aplicações de multimédia e *Internet*, e ainda um grande leque de serviços. No entanto, como todos os sistemas, o UMTS apresenta também algumas limitações, sendo aquelas que mais se destacam relativas à interferência, à potência máxima de emissão da estação base (EB) e até em alguns casos, à capacidade.

A motivação deste trabalho relaciona-se com a necessidade de ser efectuado um estudo ao comportamento de uma rede real UMTS. Visto não existirem ainda dados reais quanto ao tráfego que irá ser gerado, há a necessidade de estimá-lo, de modo a poder dimensionar-se uma rede celular UMTS. Assim sendo, este trabalho tem por objectivos: o desenvolvimento de modelos para previsão de tráfego na interface rádio em UMTS, tendo em conta critérios de qualidade de serviço, e diferentes serviços e débitos, para que, com base em dados de tráfego reais da rede, se possa estimar zonas com falta de capacidade, e assim proceder à expansão da rede. Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos nesta área, como é o caso de [VaCa02] em modelos de tráfego para EBs em UMTS, de [QuAl98] em modelos para distribuições espaciais e temporais de tráfego em GSM e de [Este99] em planeamento celular em GSM.

Em seguida, apresenta-se uma breve descrição deste relatório. No Capítulo 2 são mencionados alguns aspectos gerais de uma rede UMTS: frequências que utiliza, os códigos usados, as classes de serviços, a sua constituição e também a sua capacidade e interferência. No capítulo 3 são apresentadas algumas noções básicas de tráfego e alguns resultados

referentes a modelos de tráfego, obtidos por colegas anteriores, [QuAl98] e [VaCa02]; neste capítulo é apresentada a plataforma na qual se enquadra a ferramenta de planeamento desenvolvida, *MapTraffic*, tendo sido também apresentadas diferentes classificações quanto aos tipos de serviços, de maneira a tornar mais claro os requisitos dos mesmos. No Capítulo 4 é apresentada a forma como foi desenvolvido o modelo para o tráfego estimado, bem como a sua aferição; é também neste capítulo que se descreve detalhadamente a aplicação *MapTraffic* no que diz respeito aos parâmetros de entrada e de saída. Posteriormente, no Capítulo 5, serão apresentados diversos resultados de simulações referentes a vários cenários com base em dados de tráfego reais, sendo analisado o desempenho da rede. Por último, no Capítulo 6, serão abordadas algumas conclusões.

Este trabalho pretende dar continuidade ao trabalho realizado anteriormente pelos colegas Allen Vasconcelos e Patrícia Carvalho [VaCa02], com o título *Modelos de Tráfego para Estações de Base em UMTS*. Assim sendo, introduz-se um novo conceito, não considerado no trabalho anterior, que é o da mobilidade. É também considerada uma distribuição não uniforme de EBs ao longo das cidades em questão, bem como outros parâmetros relativos, por exemplo, às ligações entre EB e terminal móvel (TM), a cenários de atenuação em ambiente interior, entre outros.

2. Aspectos gerais sobre UMTS

Este capítulo introduz alguns conceitos e aspectos gerais sobre UMTS, fundamentais para a compreensão do problema em estudo. Para o efeito são apresentados de forma sucinta, tópicos como a interface ar WCDMA, os serviços oferecidos, a rede UTRAN e a relação entre interferência e capacidade.

2.1 Características do UMTS

Em Fevereiro de 1992, a WARC (***W**orld **A**dministrative **R**adio **C**onference*) da ITU atribuiu as frequências para UMTS [HoTo00]. As frequências de 1900 MHz a 2025 MHz e de 2110 MHz a 2200 MHz foram identificadas para uso do IMT-2000. Para serviços de satélite (MSS, ***M**obile **S**atellite **S**ervice*), uma sub-banda própria dentro do espectro do UMTS foi atribuída: 1980 MHz a 2010 MHz para o canal ascendente (UL, ***Up**link*) e 2170 MHz a 2200 MHz para o canal descendente (DL, ***Down**link*). O restante espectro terrestre é dividido entre dois modos de operação. No modo FDD, existem 2 bandas iguais, sendo uma para o canal ascendente (1920 MHz a 1980 MHz) e outra para o canal descendente (2110 MHz a 2170 MHz), separadas por uma banda de guarda. No modo de operação TDD, os canais ascendente e descendente, são divididos pelo uso de diferentes *time slots* na mesma portadora, separados por um tempo de guarda, não havendo necessidade de uso de um espectro simétrico e por isso foram-lhe atribuídas as bandas 1900 MHz a 1920 MHz e 2010 MHz a 2025 MHz. Na Figura 2.1, pode ser vista de maneira mais elucidativa, a forma como foi atribuído o espectro para o UMTS, e na Tabela 2.1, o uso para cada faixa de frequências dentro deste. Futuramente a banda de 2200 MHz a 2280 MHz poderá também vir a ser utilizada para o UMTS.

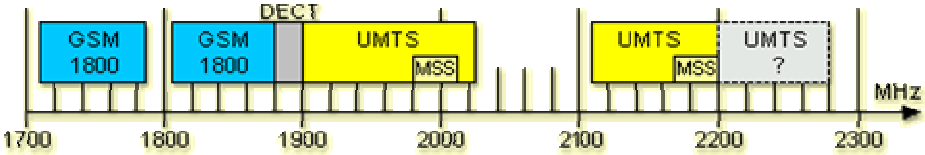


Figura 2.1: Atribuição do espectro de frequências na Europa (extraído de [QuSc00]).

Tabela 2.1: Utilização de cada faixa de frequências (extraído de [QuSc00]).

Espectro para UMTS	
1920 MHz - 1980 MHz	FDD UL
2110 MHz - 2170 MHz	FDD DL
1900 MHz - 1920 MHz	TDD
2010 MHz - 2025 MHz	
1980 MHz - 2010 MHz	MSS UL
2170 MHz - 2200 MHz	MSS DL

Em geral, em sistemas rádio existem dois recursos: tempo e frequência [QuSc00]. Na divisão em frequência, a cada par de utilizadores é atribuída uma faixa do espectro durante todo o tempo de comunicação, FDMA. Na divisão no tempo, a cada par de utilizadores são atribuídos *time slots*, TDMA. Recentemente, foi introduzido o CDMA, onde os utilizadores usam códigos que identificam cada ligação, sendo possível que vários utilizadores transmitam ao mesmo tempo numa mesma frequência e sendo a recepção feita usando o mesmo código que o emissor que enviou a mensagem; como os códigos são ortogonais entre si, só serão descodificadas informações relativas ao código recebido para a ligação. A geração destes

códigos é feita através de um algoritmo em árvore. A informação de cada utilizador é codificada por um *Channelisation Code* dando origem a um ritmo binário superior ao ritmo original (*chip rate*). De seguida, esta informação irá ser codificada por um *Scrambling Code*, Figura A.1 do Anexo A. Os *Channelisation Code* são baseados na técnica OVSF (***O**rthogonal **V**ariable **S**preading **F**actor*) [HoTo00]. O uso desta técnica permite que o factor de espalhamento seja alterado e a ortogonalidade entre códigos de espalhamento diferente e de diferentes larguras se mantenha. Os códigos são retirados da árvore de códigos, que se encontra ilustrada na Figura A.2. No caso da ligação usar um factor de espalhamento variável, a correcta utilização da árvore de códigos também permite a obtenção do sinal de acordo com o menor factor de espalhamento. Na Tabela A.1 é apresentado um sumário dos códigos principais em UMTS.

O WCDMA é uma das principais tecnologias para implementação dos sistemas celulares de 3G e foi seleccionada para fazer a interface ar da rede UTRAN que irá ser descrita mais adiante. Na interface WCDMA, diferentes utilizadores podem transmitir a diferentes taxas, podendo estas variar no tempo. A tecnologia WCDMA usa espalhamento com uma taxa de 3.84 Mcps [HoTo00]. Como esta possui uma rede assíncrona entre EBs, códigos diferentes (longos) são usados para as células e separação dos utilizadores. A largura de banda nominal é de 5 MHz e permite que se alcancem as taxas de transmissão de dados esperadas na 3G (cerca de 2 Mbit/s). A Tabela A.2 apresenta os parâmetros principais do WCDMA.

Uma rede UMTS consiste na interacção de três domínios: CN (***C**ore **N**etwork*), UTRAN e UE (***U**ser **E**quipment*) [HoTo00], Figura 2.2.

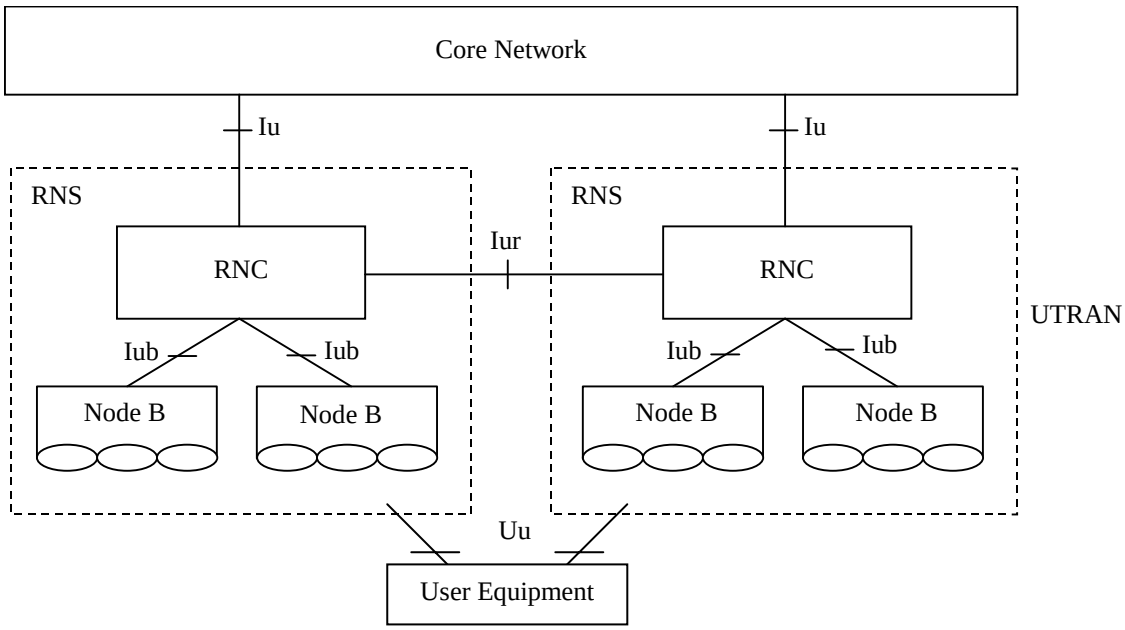


Figura 2.2: Estrutura de uma rede UMTS (extraído de [3GPP00b]).

A principal função da CN é fazer comutação, encaminhamento de chamadas e ligação de dados para redes externas. A UTRAN consiste num conjunto de subsistemas de rede rádio ligado ao CN através da interface Iu (interface lógica), e ao UE através da interface Uu (interface rádio) [3GPP00a]. Os protocolos das interfaces Iu e Uu estão divididos em duas estruturas: o plano do utilizador (e.g., transporte de informação do utilizador) e o plano de controlo (e.g., pedido de um determinado serviço, controle dos diferentes recursos de transmissão, *handover*). A UTRAN é dividida em subsistemas de rede rádio individuais,

RNSs (***R**adio **N**etwork **S**ubsystem*), onde cada RNS é controlado por um RNC (***R**adio **N**etwork **C**ontroller*). O RNC é ligado a um conjunto de EBs, *Node B*, através da interface Iub, e cada *Node B* serve uma ou mais células, dependendo da sectorização. Um *Node B* pode operar em modo FDD, em TDD, ou ambos. A principal função do *Node* B é a conversão de dados de e para a interface rádio Uu. O RNC é responsável pelas decisões de *handover* que exigem aviso ao UE. Dentro da UTRAN, os RNCs podem estar interligados entre si através da interface Iur (interface lógica). Assim, funções de controlo de serviço como admissão, ligação, congestionamento e *handover* são inteiramente asseguradas por um SRNC (***S**erving* RNC).

A UTRAN tem diferentes tipos de funções. Algumas estão relacionadas com o controlo de acesso ao sistema (controlo de admissão, controlo de congestionamento, difusão da informação do sistema), outras com a mobilidade (*handover*, transferência entre RNSs), e outras com o controlo e gestão dos recursos rádio (operação e configuração dos recursos rádio, supervisão dos recursos rádio, controlo de macro-diversidade em FDD, estabelecimento e finalização de ligação rádio, controlo de transporte rádio, atribuição dinâmica de canal em modo TDD, funções de protocolos rádio, controlo de potência RF (**R**ádio **F**requência), avanço temporal em TDD, codificação do canal rádio, descodificação do canal rádio, controlo de codificação de canal, detecção e tratamento do acesso inicial (aleatório), função de distribuição de mensagens NAS (***N**on **A**ccess **S**tratum*) pela CN). A UTRAN executa ainda funções de cifra do canal rádio. Neste momento, apenas o modo FDD está em fase de implementação.

2.2 Serviços

Em geral, as aplicações e os serviços podem ser divididos em diferentes grupos, dependendo de como são considerados [HoTo00]. Em UMTS existem quatro classes de tráfego: *Conversational*, *Streaming*, *Interactive*, *Background*. As classes QoS (***Q**uality **o**f **S**ervice*) para UMTS são apresentadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Classes de Tráfego para UMTS (extraído de [3GPP00a]).

Classes de Tráfego	***Conversational***	***Interactive***	***Streaming***	***Background***
Tolerante a erros	voz, videotelefonia	mensagens de voz	áudio e vídeo em tempo real	Fax
Intolerante a erros	*telnet*, jogos interactivos	negócio electrónico, consulta de páginas na *Web*	FTP, *paging*	Correio electrónico
Sensibilidade a atrasos [s]	<<1	~1	<10	>10

O principal factor que diferencia estas classes é a sensibilidade do tráfego ao atraso. A classe *conversational* está relacionada com um tipo de tráfego muito sensível ao atraso, enquanto que a *background* é a mais insensível ao atraso. Na fase inicial do UMTS as classes *conversational* e *streaming* irão ser transmitidas em comutação de circuitos (CS – ***C**ircuit **S**witch*), enquanto que as classes *interactive* e de *background* irão ser transmitidas em comutação de pacotes (PS – ***P**acket **S**witch*).

A conversação em tempo-real é sempre realizada entre pares (ou grupos) de utilizadores humanos. Esta é a única classe das quatro referidas, onde as características exigidas são estritamente impostas pela percepção humana. A conversação em tempo-real é caracterizada pelo facto de que o atraso terminal-a-terminal é baixo e o tráfego é simétrico ou praticamente simétrico. O máximo atraso terminal-a-terminal é dado pela percepção humana de conversação vídeo e áudio: avaliações subjectivas têm mostrado que o atraso terminal-a--terminal tem de ser inferior a 150 ms, daí o facto do limite para um atraso aceitável ser estrito, dado que a falta de garantia de um atraso suficientemente baixo resultará numa qualidade inaceitável. A aplicação mais conhecida desta classe é o serviço de voz.

Multimédia *streaming* é uma técnica para transferência de vídeo e dados que pode ser processada como um fluxo fiável e contínuo. As tecnologias *streaming* estão a tornar-se cada vez mais importantes com o desenvolvimento da *Internet*, pois muitos utilizadores não possuem um acesso suficientemente rápido para poderem efectuar um *download* de ficheiros multimédia grandes, rapidamente. Com a classe *streaming*, o *browser* do cliente ou *plug-in* podem iniciar a exibição dos dados antes que o ficheiro tenha sido transferido na sua totalidade. Para a classe *streaming* funcionar, o lado do cliente que recebe os dados tem de estar preparado para recolhê-los e enviá-los como um fluxo fiável para a aplicação que os está a processar, e convertê-los em sons ou imagens. Aplicações *streaming* são muito assimétricas e tipicamente resistem mais ao atraso do que serviços de conversação mais simétricos. Isto também significa que elas toleram mais *jitter* na transmissão. No entanto, o *jitter* pode ser facilmente suavizado pelo *buffering*.

Quando o utilizador-terminal, quer seja uma máquina ou um humano, está *on-line* requerendo dados de um equipamento remoto, a classe *Interactive* aplica-se. Exemplos de interacção humana com equipamento remoto são *Web-browsing*, recuperação de base de dados e o acesso a um servidor. Um exemplo de interacção de máquina com equipamento remoto são os inquéritos automáticos de base de dados (tele-máquinas). O tráfego interactivo é um método clássico de comunicação de dados caracterizado, de uma forma geral, pelo modelo da resposta requerida do utilizador-terminal. Na mensagem de destino existe uma entidade aguardando a mensagem (resposta) dentro de um certo tempo. O tempo de atraso em torno da viagem é deste modo um dos atributos chave. Outra característica é que o conteúdo dos pacotes deve ser transferido com transparência (com baixo BER-***B****it* ***E****rror* ***R****ate*).

O tráfego de dados de aplicações, tais como: entrega de *e-mail*, SMS (***S****hort* ***M****essage* ***S****ervice*), transferência de arquivos de base de dados e recepção de medidas de registro; pode ser entregue em *Background* visto que tais aplicações não requerem acção imediata. O atraso pode ser de segundos, dezenas de segundos ou até mesmo minutos. O tráfego *background* é outro dos métodos clássicos de comunicação de dados, que é de um modo geral caracterizado pelo facto do destinatário não estar à espera dos dados dentro de um intervalo de tempo fixo, portanto, mais ou menos insensível ao tempo de entrega. Outra característica é que o conteúdo dos pacotes não necessita de ser transferido com transparência. Os dados para serem transmitidos têm de ser recebidos sem erros.

2.3 Interferência e Capacidade

O número máximo de utilizadores por célula depende dos níveis de ruído e interferência que permitam uma QoS aceitável, para os diferentes débitos [HoTo00]. Existe uma QoS exigida para o utilizador que tem de ser respeitada para que este receba a informação que pretende correctamente. Tendo em conta que o factor de reutilização de frequências em UMTS é

unitário, o que limita o sistema é, normalmente, o nível máximo de interferência. Deve então estimar-se este valor na recepção bem como a capacidade do sistema. Não só o ruído térmico devido aos componentes electrónicos mas também as interferências provenientes da possível existência e proximidade de outros utilizadores relativamente aos diferentes serviços que cada um deles requer, são considerados no UMTS.

As equações (2.1) e (2.2) dão-nos o factor de carga global da célula (η) a ter em conta na estimação da cobertura de uma EB, para UL e para DL respectivamente.

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

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

em que i representa o quociente entre a interferência proveniente de outras células (intercelular) e a interferência da célula em questão (intracelular), M é o número de utilizadores, $\left(E_b/N_0\right)_j$ representa o quociente entre a energia de *bit* e a densidade espectral de ruído do utilizador j, R_c é o débito de *chip* que neste caso vale 3.84 Mcps, R_j é o débito do utilizador j, υ_j é o factor de actividade do utilizador j, e α_j é o factor de ortogonalidade dos códigos em DL.

Analisando (2.1) e (2.2), é possível verificar que apenas diferem em um parâmetro, sendo ele o factor de ortogonalidade entre os códigos, α_j. Em DL este factor é considerado devido ao facto do *Scrambling Code* utilizado para identificar um dado TM ser o mesmo usado para identificar todos os outros terminais de um dado sector de uma célula, causando assim interferência adicional. Em UL cada TM tem o seu próprio *Scrambling Code* identificativo, além do *Channelization Code*, presente em ambas as ligações, UL e DL. De salientar também que a perda de ortogonalidade apenas é verificada nos *Channelization Code*. Na Figura 2.3 e 2.4 apresenta-se, respectivamente, a evolução da carga num sector, considerando-se que todos os utilizadores requeriam o mesmo serviço, Voz a 12.2 kbps em CS, e que o factor de actividade era de 50 % (valor típico). No primeiro caso, fez-se variar o quociente intra/intercelular em UL, i, e no segundo caso variou-se o factor de ortogonalidade, α_j, em DL. Os valores usados para o factor de ortogonalidade considerados para cada cenário e ambiente encontram-se no Anexo B, assim como a referência mais pormenorizada relativamente aos factores de carga. Analisando os gráficos das Figuras 2.3 e 2.4, conclui-se que, para uma determinada carga em UL num sector, a interferência aumenta com o aumento do número de utilizadores, e por outro lado, para um dado número de utilizadores na célula, conclui-se que quanto maior for a interferência maior será a carga no sector. Em DL considerou-se uma interferência de 60 % e conclui-se que para um dado número de utilizadores e com o aumento da ortogonalidade, diminui a carga num sector. 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 do sector maior. Conclui-se portanto que, tal como seria de esperar, quanto maior for a ortogonalidade entre os códigos, menor será a carga total num sector, e que para cenários de menor interferência o mesmo se verifica.

Uma vez que a carga existente num sector influencia muito o desempenho do sistema, torna-se necessário considerar uma margem de interferência adicional durante o planeamento da rede. Esta é dada por (2.3) e a sua característica encontra-se representada na Figura B.1 do Anexo B.

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

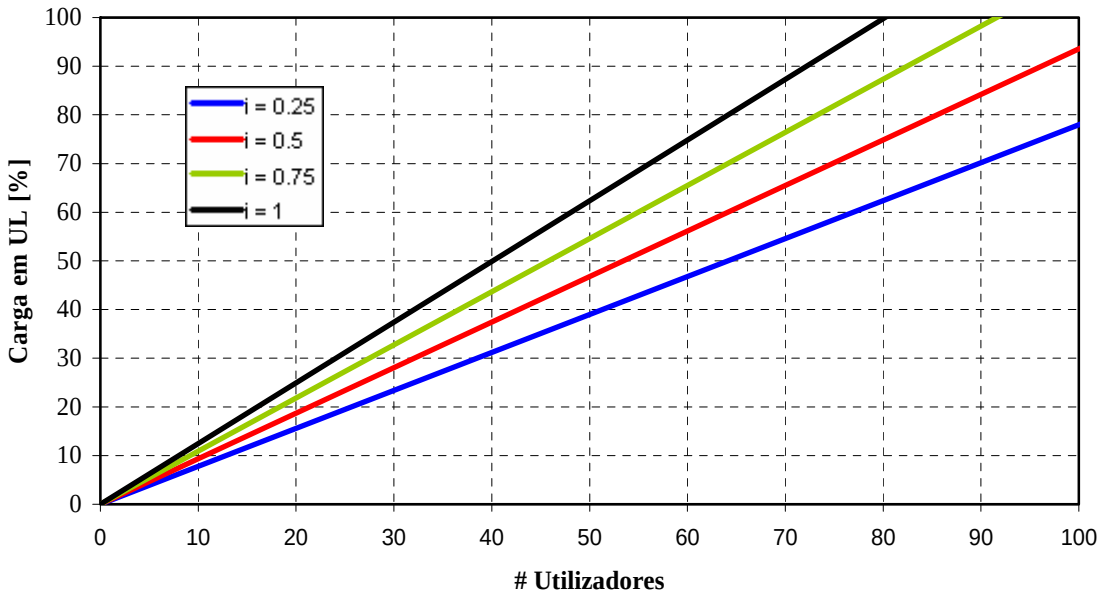


Figura 2.3: Evolução do factor de carga em UL.

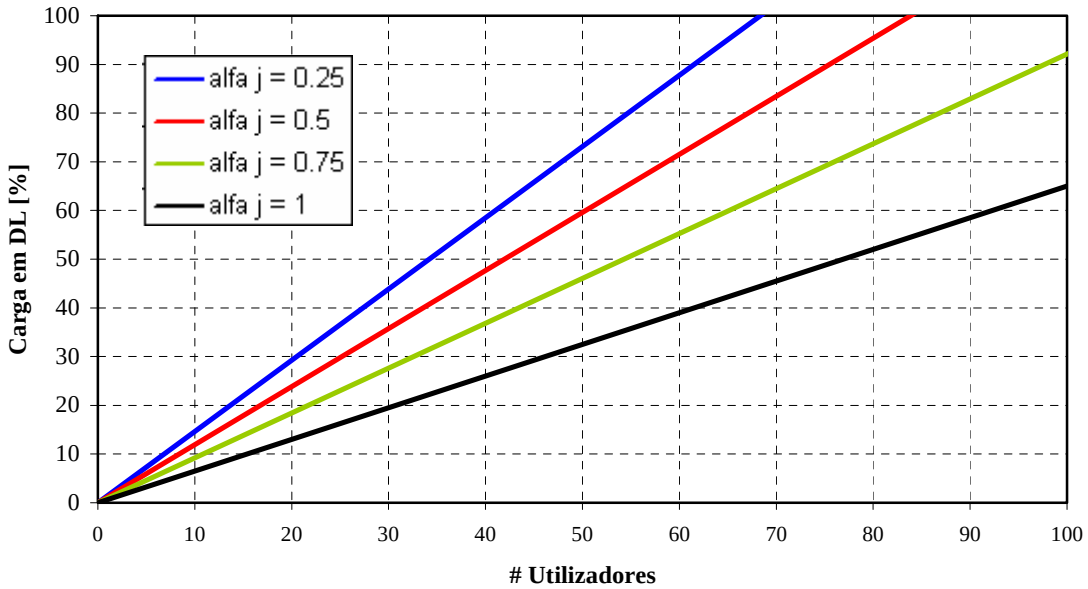


Figura 2.4: Evolução do factor de carga em DL.

Quanto maior for a carga num sector maior será a interferência entre utilizadores, o que provoca uma diminuição na área de cobertura da EB. Assim, o máximo do valor médio de cobertura da EB depende fortemente do número de utilizadores e dos serviços que estes irão requerer, sendo diferente para UL e DL, como visto anteriormente. Cada serviço, caracterizado pelo seu ritmo de transmissão, impõe na célula um acréscimo da carga, visto que a limitação em UMTS é devida à interferência e não à capacidade do sistema. Assim sendo, no planeamento da rede, a cada serviço corresponderá um dado raio máximo de cobertura, Anexo C. Considerando que todos os utilizadores na célula requerem o mesmo serviço em ambiente pedestre, pode verificar-se pelas Figuras 2.5 e 2.6 que o serviço pretendido influencia fortemente a carga suportada pelo sector.

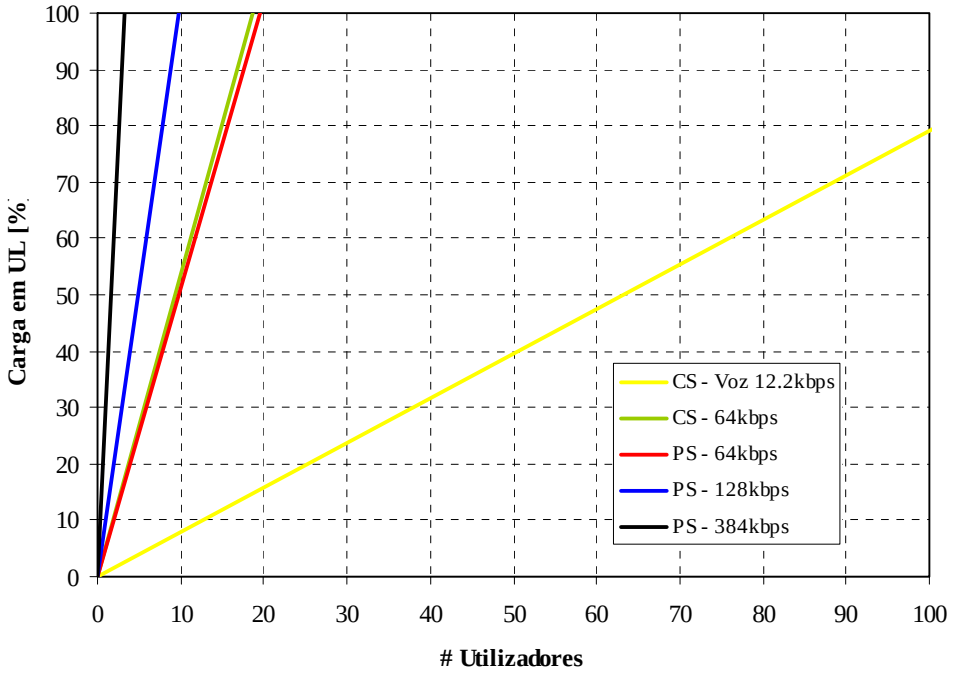


Figura 2.5: Variação da carga em UL para diferentes débitos disponibilizados em UMTS.

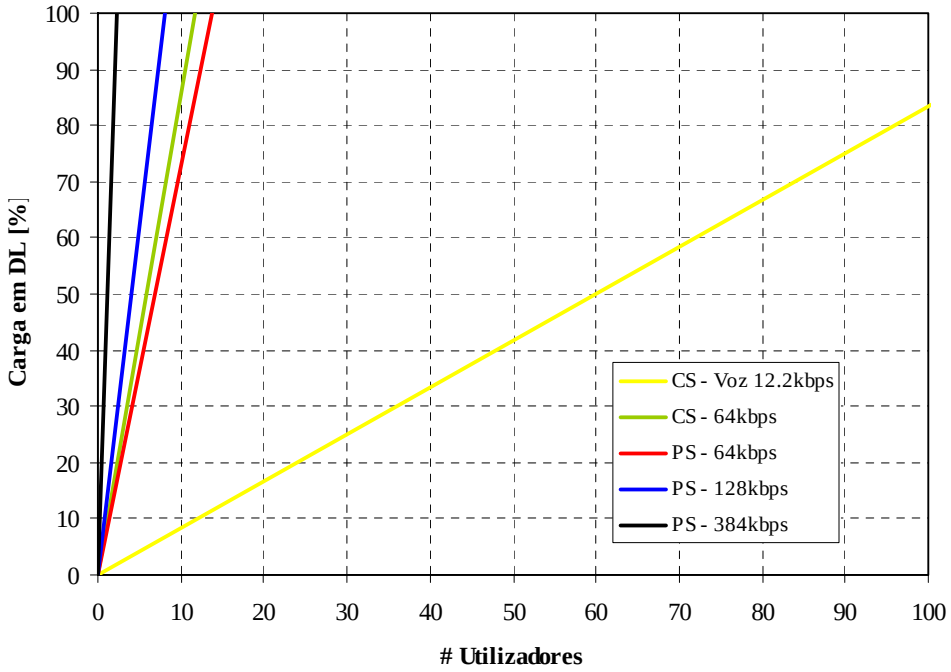


Figura 2.6: Variação da carga em DL para diferentes débitos disponibilizados em UMTS.

Verifica-se que serviços mais exigentes em termos de débito suportam menos utilizadores para uma dada carga num sector. Novamente se constata que a ligação mais limitativa em termos de utilizadores servidos será DL, excepto no serviço de Voz, devido aos diferentes valores de (E_b / N_0).

Em UMTS, os utilizadores partilham a potência da EB, sendo esta dada por:

$$p_{tx}^{EB} = \frac{N_{rf} R_c}{1-\overline{\eta_{DL}}} \sum_{j=1}^{M} \upsilon_j \frac{(E_b / N_0)_j}{R_c / R_j} L_{P_j} \tag{2.4}$$

em que L_{P_j} é a atenuação de propagação. Logo, estando a potência de transmissão limitada a um máximo, a capacidade/cobertura pode ser imposta pela potência da EB.

3. SIG e Distribuições de Tráfego

Neste capítulo são abordados alguns aspectos sobre estimação de tráfego, sendo apresentados alguns modelos e respectivos pressupostos tidos em consideração. É apresentado o sistema de informação geográfica que suportará o desenvolvimento deste trabalho. São apresentados também, agora de forma mais aprofundada, os serviços e aplicações em UMTS, factor preponderante na estimação do tráfego. E finalmente, são mostrados alguns resultados pertinentes de um trabalho antecedente do presente.

3.1 Estimação de Tráfego

Para um bom funcionamento do sistema é imprescindível estimar-se o tráfego, Anexo D. O tráfego oferecido numa dada área de serviço toma a seguinte expressão:

$$A_{[Erl]} = N_{pop}\, p_{pen}\, p_{ut}\, A_{ut[Erl]} \tag{3.1}$$

em que N_{pop} é a população da área, p_{pen} a taxa de penetração, p_{ut} a taxa de utilização e A_{ut} o tráfego médio por utilizador.

A estimação do tráfego oferecido é habitualmente calculada para a chamada “hora de ponta” do sistema [Corr03]. Esta pode ser considerada como hora de ponta na célula com tráfego maior, hora de ponta no sistema ou média sobre todas as horas do sistema. No entanto, esta escolha tem um impacto tanto na qualidade de serviço prestada pelo operador como no número de EBs da rede. A variação do tráfego não é uniforme nem no tempo nem no espaço: varia com as horas, os dias, os meses, etc.; em certas regiões pode apresentar fortes variações sazonais; geralmente, apresenta um crescimento médio anual; concentra-se no centro das cidades, decrescendo para a periferia; depende do tipo de ocupação urbana; etc.. O tráfego tem maior concentração nas horas do dia que correspondem a maior actividade das pessoas [QuAl98]. No caso de Lisboa, o tráfego aumenta rapidamente entre as 8h e as 10h, altura em que muitas pessoas iniciam a sua actividade. Por volta da hora do almoço (tipicamente 13h), o tráfego apresenta uma ligeira queda, voltando a crescer de novo até cerca das 17h. Verifica-se também que a diminuição do tráfego ao fim do dia ocorre de forma mais lenta do que o aumento durante a manhã, estendendo-se desde as 18h até às 22h. Este facto está relacionado com duas situações distintas: por um lado, a saída dos empregos é feita de um modo mais gradual, e por outro lado, o facto de este ser um período de maior actividade social. O mínimo de tráfego ocorre geralmente por volta das 5h. Para a obtenção de um modelo de tráfego é necessário aproximar a variação temporal por funções analíticas. Após desvio temporal e normalização, efectuados com vista a facilitar a modelação através de uma função mais simples e tornar os parâmetros das aproximações directamente comparáveis, obtêm-se os valores temporais desviados a partir de:

$$t_{desv[h]}(t) = \begin{cases} t_{[h]} - 5 & 5 \le t_{[h]} < 24\text{h} \\ t_{[h]} - 5 + 24 & 0 \le t_{[h]} < 5\text{h} \end{cases} \tag{3.2}$$

Para aproximar as curvas de tráfego utiliza-se a função $ap_{gauss}(t)$ definida por 2 troços, (3.3), separados pela hora de almoço, h_{alm}, correspondendo a cada troço uma gaussiana, centrada no

pico da manhã, h_1, ou da tarde, h_2. O valor de tráfego à hora de almoço é o mínimo das duas gaussianas nesse ponto.

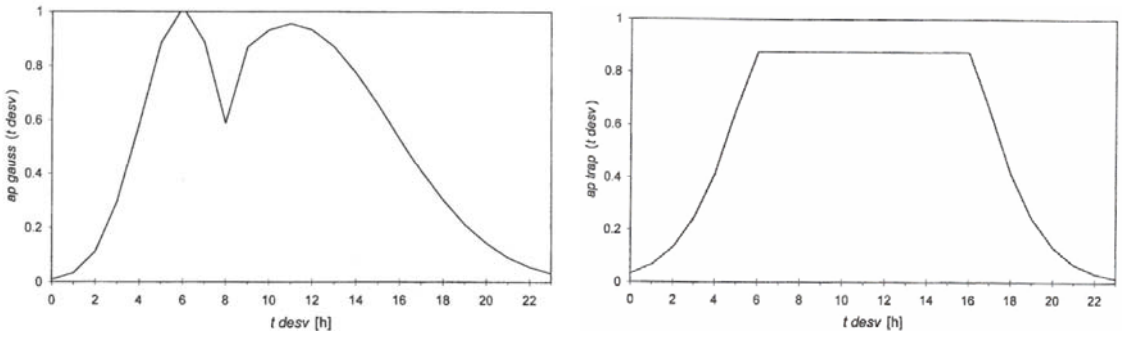
$$ap_{gauss}(t_{desv}) = \begin{cases} p_1 \cdot e^{-\frac{(t_{desv}-h_{1desv})^2}{2d_1^2}} & , t_{desv} < h_{alm\,desv} \\ mín\left(p_1 \cdot e^{-\frac{(t_{desv}-h_{1desv})^2}{2d_1^2}} ; p_2 \cdot e^{-\frac{(t_{desv}-h_{2desv})^2}{2d_2^2}} \right) & , t_{desv} = h_{alm\,desv} \\ p_2 \cdot e^{-\frac{(t_{desv}-h_{2desv})^2}{2d_2^2}} & , t_{desv} > h_{alm\,desv} \end{cases} \tag{3.3}$$

onde p_1 e p_2 são as amplitudes da primeira e segunda gaussianas, h_{1desv} e h_{2desv} são as horas de pico da manhã e da tarde desviadas, d_1 e d_2 correspondem aos desvios da primeira e segunda gaussianas, e $h_{alm\,desv}$ é a hora de almoço desviada.

Deste modo, ao definir-se a função na hora de almoço como o mínimo das duas gaussianas, obteve-se uma curva, cujo mínimo corresponde a h_{alm}, Figura 3.1. Para os casos em que a função $ap_{gauss}(t)$ não se aproxima suficientemente das curvas, escolheu-se uma segunda função de aproximação, $ap_{trap}(t)$. Esta função, semelhante a um trapézio, define-se como uma gaussiana, centrada em h e limitada superiormente por uma constante, Figura 3.1.

$$ap_{trap}(t_{desv}) = \begin{cases} p \cdot e^{-\frac{(t_{desv}-h_{tdesv})^2}{2d_t^2}} & , t_{desv} < tq_{l\,desv} \\ c & , tq_{ldesv} \le t_{desv} \le tq_{2\,desv} \\ p \cdot e^{-\frac{(t_{desv}-h_{tdesv})^2}{2d_t^2}} & , t_{desv} > tq_{2\,desv} \end{cases} \tag{3.4}$$

com $c = p \cdot e^{-\frac{(tq_{1desv}-h_{tdesv})^2}{2d_t^2}} = p \cdot e^{-\frac{(tq_{2desv}-h_{tdesv})^2}{2d_t^2}}$, em que p é a amplitude da gaussiana, h_{tdesv} é a hora de pico da gaussiana desviada, d_t é o desvio da gaussiana, tq_{1desv} e tq_{2desv} são respectivamente os primeiro e segundo pontos de quebra da função desviados, e c é a constante que limita superiormente a gaussiana.



(a) Duas gaussianas **(b)** Trapézio

Figura 3.1: Função duas gaussianas e função trapézio (extraído de [QuAl98]).

Nas Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam-se os valores médios, desvios padrão, máximos e mínimos dos parâmetros optimizados relativos a cada função, duas gaussianas e trapézio. No que diz respeito à densidade de tráfego, observando a Figura 3.2 para o caso de Lisboa, verifica-se que o Sector Norte é marcado por uma maior expansão da área urbana segundo a direcção Norte [QuAl02]. É neste sector que se concentra a maior parte da área de centro urbano, o que provoca um decaimento mais lento da densidade de tráfego com a distância. O Sector Oeste é dominado pela área florestal de Monsanto que é responsável pela limitação do crescimento de Lisboa segundo a direcção Oeste; neste sector, observa-se um segundo pico de densidade de tráfego após a passagem por Monsanto, em parte devido à passagem pela zona da Amadora, importante cidade limítrofe. Finalmente, o sector Sul & Este é marcado pela fronteira com o rio Tejo o que, em alguns casos, se traduz numa queda abrupta da densidade de tráfego pois parte da zona ribeirinha faz parte do centro da cidade. Após a normalização dos perfis, o valor da densidade de tráfego no centro para as 17h é de 48.4 Erl/km^2 (valor de referência).

Tabela 3.1: Valores obtidos para a aproximação trapézio (extraído de [QuAl98]).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
h_t [h]	16.0	0.2	16.5	15.5
P	3.05	0.49	4.17	1.92
d_t [h]	3.64	0.13	4.02	3.48
C	0.85	0.05	0.94	0.74

Tabela 3.2: Valores obtidos para a aproximação de duas gaussianas (extraído de [QuAl98]).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
h_1 [h]	11.5	0.5	13.0	10.0
h_{alm} [h]	13.2	0.5	16.0	12.0
h_2 [h]	16.8	0.6	18.5	15.5
p_1	0.92	0.08	1.04	0.53
p_2	0.94	0.07	1.04	0.64
d_1 [h]	2.14	0.27	3.28	1.24
d_2 [h]	4.19	0.51	5.74	2.72

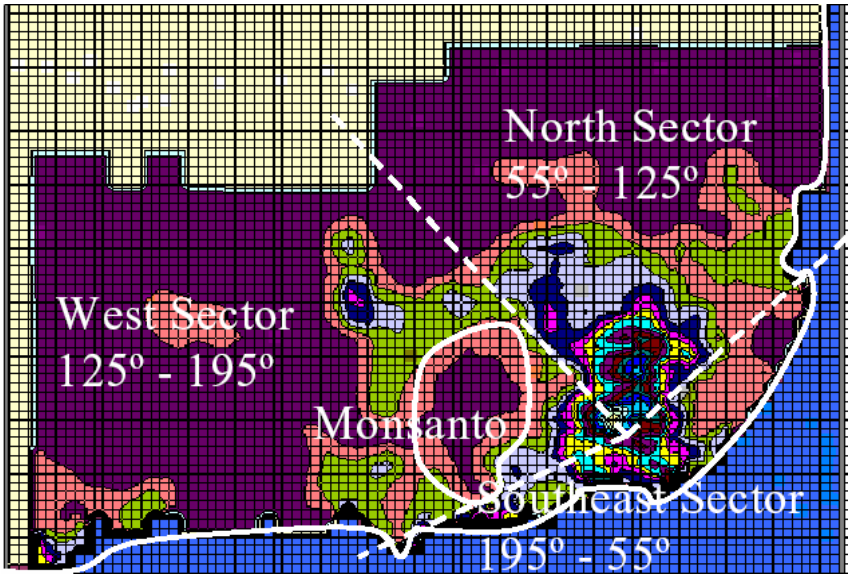


Figura 3.2: Exemplo da variação da densidade de tráfego (extraído de [QuAl98]).

Para modelar a variação da densidade de tráfego com a distância, foram escolhidas diversas funções sendo elas: a função exponencial simples, a função exponencial/linear, a função linear e a função linear por troços,

$$\mathrm{mod}_e(d) = e^{-d/De} \tag{3.5}$$

$$\mathrm{mod}_{el}(d) = \begin{cases} e^{-d/Del} & d \le dq \\ Cel = e^{-dq/Del} & d > dq \end{cases} \tag{3.6}$$

$$mod_{lt}(d) = \begin{cases} 1\text{-}Alt.d & d \le dq_1 \\ Blt\text{-}Clt \cdot d & dq_1 < d \le dq_2 \\ Dlt & d > dq_2 \end{cases} \tag{3.7}$$

$$mod_l(d) = Al + Bl \cdot d \tag{3.8}$$

onde De é o factor de decaimento da função exponencial simples, Del é o factor de decaimento da função exponencial/linear, dq é o ponto de quebra da função exponencial/linear, Cel é a constante da função exponencial/linear, Alt é o declive do primeiro troço da função linear por troços, dq_1 é o primeiro ponto de quebra da função linear por troços, Blt é a constante do segundo troço da função linear por troços, Clt é o declive do segundo troço da função linear por troços, dq_2 é o segundo ponto de quebra da função linear por troços, Dlt é a constante da função linear por troços, Al é a constante da função linear e Bl é o declive do modelo linear.

Os resultados das aproximações obtidos para as 17h são apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Parâmetros dos modelos de variação espacial para as 17h (extraído de [QuAl98]).

Aproximação	**Parâmetro**	**Sector**		
		Norte	**Oeste**	**Sul & Este**
Exponencial	De [km]	2.401	1.220	1.768
Exp/Linear	Del [km]	2.383	1.220	1.572
	Cel	0.038	0.060	0.131
	dq [km]	7.800	3.429	3.201
Lin p/Troços	Alt [km^{-1}]	-0.727	-0.615	-0.682
	Blt	0.638	0.147	0.706
	Clt [km^{-1}]	-0.101	-0.011	-0.203
	Dlt	0.043	0.041	0.133
	dq_1 [km]	0.577	1.411	0.614
	dq_2 [km]	5.910	9.933	2.827
Linear	Al [km^{-1}]	-0.061	-0.021	-0.079
	Bl	0.563	0.289	0.563

3.2 SIG – Sistema de Informação Geográfica

O SIG é um sistema de informação desenhado para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas [SIGe02]. O conceito SIG consiste num sistema composto por *software* e *hardware* submetido a uma organização de pessoas interligadas para um mesmo fim, que utilizam de dados geo-referenciados visando a possibilidade de planear e monitorizar questões ligadas ao espaço físico/geográfico através dos produtos gerados pelo sistema, produtos estes que são arquivos digitais, que contêm mapas, gráficos, tabelas e relatórios convencionais. Por outras palavras, o SIG trata-se de um sistema de base de dados com capacidades específicas para tratar dados geo-referenciados, bem como um conjunto de operações para análise dos mesmos.

O SIG permite a gestão de bases de dados, interligando-as e modificando os seus parâmetros de entrada. Neste sistema é possível a criação, a visualização e a alteração de mapas relacionando-os com diferentes bases de dados. O SIG apresenta ainda outras potencialidades, como por exemplo: a importação e exportação de bancos de dados alfanuméricos (tabelas) e gráficos (mapas); a selecção, associação e combinação de dados geo-referenciados, para o processamento, análise e saída destes, fornecendo relatórios automáticos (arquivos digitais contendo mapas, gráficos, tabelas e relatórios convencionais) e permitindo o desenvolvimento de aplicações em *MapBasic*® [MapI02].

Devido ao seu grande potencial, o campo de aplicações do SIG vai muito além da geração de mapas. Existem várias áreas de aplicações SIG, como por exemplo: a 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, entre outros.

O SIG, para além das muitas aplicações que contempla em distintos campos, permite ao mesmo tempo desenvolver o objectivo proposto para este projecto. Após o recolhimento de dados característicos das zonas em estudo (Lisboa e Porto), estes serão dispostos em camadas, que serão sobrepostas, Figura 3.3.

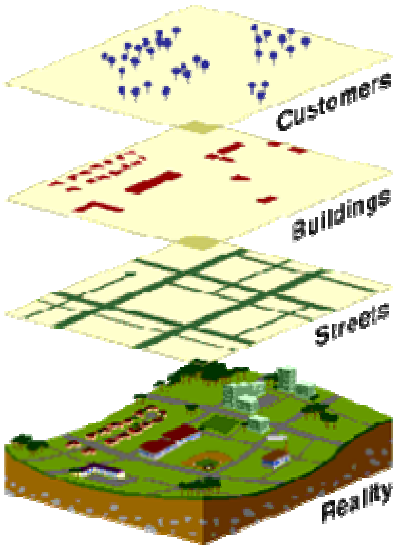


Figura 3.3: Diferentes camadas de informação geográfica (extraído de [GYSy02]).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos recorrendo a esta ferramenta, nomeadamente, na área das comunicações móveis, como é o caso de [FCXV03] em estimação de tráfego e caracterização de serviços.

3.3 Serviços e Aplicações em UMTS

Com o aparecimento do UMTS, surge também uma grande variedade de serviços e aplicações com características distintas. São várias as classificações para os serviços: UMTS Forum [UMTS98a], 3GPP QoS [3GPP00], Recomendação da ITU-T I.211 e ETSI (***E**uropean **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute*). No entanto, as duas primeiras são habitualmente as mais usadas pela comunidade científica, pelo que serão descritas de forma mais aprofundada. De acordo com a classificação do UMTS Forum, os serviços podem ser agrupados em seis categorias principais. Estas possuem características, exigências e requisitos fundamentais no que diz respeito aos tipos de comutação, débitos e factores de assimetria nos canais ascendentes e descendentes e o tipo de célula onde são aplicados. A Tabela 3.4 apresenta as características de cada uma dessas categorias.

Em suma, podem referir-se algumas das aplicações para cada categoria discriminadas em [UMTS98a] e [UMTS00]:

- Serviço de Voz (V) com factor de ocupação de 50% em UL e em DL. Ex: voz, vídeo – conferência (aúdio), correio de voz.
- 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. Ex: SMS, *paging*, *e-mai*l, mensagens públicas, pagamentos de comércio electrónico.
- Serviço de Dados Comutados (SD – ***S**witched **D**ata*). Ex: fax, acesso lento *Interne*t, WLAN lenta.
- Serviço Multimédia Médio (MMM – ***M**edium **M**ulti**m**edia*), com transferência de pacotes de 0.5 Mbyte no máximo em 14 s. Ex: acesso *Interne*t, WLAN, partilha de aplicações, jogos interactivos, comércio electrónico, banco remoto.
- Serviço Multimédia Elevado (HMM – ***H**igh **M**ulti**m**edia*), com pacotes de 10 Mbyte no máximo em 53 s. Ex: acesso rápido *Internet*/*Intranet*, WLAN rápida, v*ideo clips on demand.*
- Serviço Interactivo Multimédia Elevado (HIMM – ***H**igh **I**nteractive **M**ulti**m**edia*), com factor de ocupação cerca de 80%. Ex: vídeo – telefonia, vídeo – conferência (vídeo), tele – trabalho.

No que se refere à classificação do 3GPP-QoS, os serviços agrupam-se em quatro categorias distintas, como foi referido no capítulo 2 (secção 2.2), são elas: *Conversational*, *Streaming*, *Interactive* e *Background*. Neste tipo de classificação a qualidade de serviço apresenta-se como um factor mais relevante em detrimento da tecnologia a ser utilizada. Ao contrário das comunicações de transmissão de pacotes via *Internet*, onde se requer uma qualidade de serviço mínima (não existe atraso máximo), em UMTS pretende-se garantir uma determinada QoS. Esta é portanto uma condição, demasiadamente complexa e, ao mesmo tempo, importante a garantir, pois um utilizador não irá estar disposto a pagar por um serviço com uma espera demasiado longa ou uma execução deficiente do mesmo. Desta forma, ter-se-á que recorrer à utilização de temporizadores dentro da rede e ao estabelecimento de prioridades. Devido à diversidade/quantidade de serviços não é possível optimizar a QoS para

um dado grupo de aplicações. Em geral, são encontrados valores que satisfaçam os requisitos pretendidos. Existem requisitos de qualidade para os vários serviços: para a voz o BER (***B**it **E**rror **R**ate*) deve ser inferior a 10^{-3}, para dados em CS o BER não deve exceder os 10^{-4}, para dados em PS a qualidade deve ser sempre a melhor possível (*best effort*) e para multimédia o atraso não pode ultrapassar os 100ms.

Tabela 3.4: Características dos serviços disponibilizados em UMTS (extraído de [Corr02]).

Serviço	Ritmo [kb/s]	Simetria (UL/DL)	Comutação	Célula
Simple Messaging	14.4	1/1	PS	p,μ,M
Switched Data	14.4	1/1	CS	p,μ,M
Speech	16	1/1	CS	p,μ,M
High Interactive Multimedia	128	1/1	CS	p,μ,M
Medium Multimedia	384	0.026/1	PS	p,μ
High Multimedia	2000	0.005/1	PS	p

p – Pico célula, **μ** – Micro célula e **M** – Macro Célula

Com o objectivo de explorar da forma mais eficiente possível as potencialidades fornecidas pelo UMTS para os serviços inovadores em redes móveis, ir-se-á utilizar na Europa a rede GSM para grande parte do transporte de serviços de voz e serviços de dados de baixa capacidade (≈ 90% segundo [UMTS98b]). Numa primeira fase, os dois sistemas irão funcionar de forma complementar.

3.4 Estimação de Tráfego para Lisboa

No trabalho [VaCa02], os colegas tinham por alvo um modelo para a estimação de tráfego que permitisse obter o tráfego não uniforme gerado por uma dada população, já que devido ao sistema ainda não se encontrar em operação, não existam dados reais de tráfego. Este projecto anterior iniciou-se pela caracterização da população, considerando-se relevantes os parâmetros seguintes: número de habitantes por freguesia, as respectivas idades, escolaridade e o nível de rendimentos dos agregados familiares. De seguida, utilizando uma ferramenta do SIG, o *MapInfo*® [MapI02], desenvolveu-se uma aplicação *Map UMTS* em *MapBasic*®, com vista ao planeamento celular e estimativa da QoS servida aos utilizadores de UMTS da cidade. A Figura 3.4 representa esquematicamente a funcionalidade desta aplicação, apresentando os respectivos parâmetros de entrada e de saída. De salientar também que o modelo de propagação utilizado foi o de COST 231 – *Walfisch-Ikegami*.

A aplicação *Map UMTS* utilizou não somente valores relativos à caracterização da população em estudo, mas também relativos às características espaciais da cidade para a qual se pretendeu fazer o dimensionamento celular. Os parâmetros de entrada relativos à caracterização da população foram 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 o ensino obrigatório, ensino secundário e ensino superior, por freguesia;
- rendimentos.

Os parâmetros relativos à caracterização espacial da cidade indicavam o tipo de zona e respectiva ocupação, sendo elas a habitacional denso, edifícios de utilização mista, edifícios de utilização terciária, habitacional pouco denso, edifícios industriais, estradas e zonas verdes. Uma vez seleccionados os diversos parâmetros considerados importantes para a caracterização dos potenciais utilizadores dos serviços UMTS, no que diz respeito à sua distribuição espacial e ainda às suas capacidades económicas, nível de escolaridade e idade, foi possível elaborar um modelo de tráfego, em que se estimaram:

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

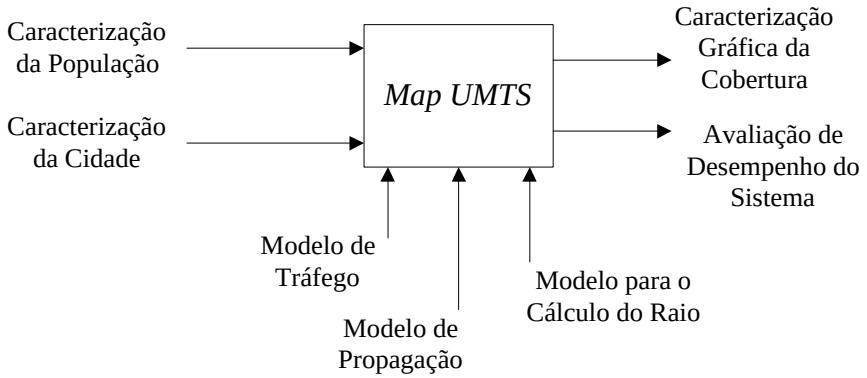


Figura 3.4: Diagrama de blocos representativo da aplicação *Map UMTS* (extraído de [VaCa02]).

Uma vez obtido o número de utilizadores activos por freguesia em questão, foi necessário atribuir-lhes uma localização e o(s) seu(s) respectivo(s) serviço(s) requeridos. Considerou-se que existiam *M* potenciais utilizadores activos numa dada freguesia, e estabeleceu-se que cada utilizador efectuava um ou dois serviços apenas, sendo eles voz e um outro serviço:

- Voz, 12.2 kbps, CS
- 64 kbps, CS
- 64 kbps, PS
- 144 kbps, CS
- 144 kbps, PS
- 384 kbps, PS
- Voz, 12.2 kbps, CS + 64 kbps, CS
- Voz, 12.2 kbps, CS + 64 kbps, PS
- Voz, 12.2 kbps, CS + 144 kbps, CS
- Voz, 12.2 kbps, CS + 144 kbps, PS
- Voz, 12.2 kbps, CS + 384 kbps, PS

Considerando os utilizadores de uma dada freguesia, tornou-se necessário estimar a percentagem daqueles que usam os serviços anteriormente descritos. Para a execução desse trabalho foi necessário considerar diversos tipos de caracterizações de uma população, recorrendo-se a diferentes bases de dados: Instituto Nacional de Estatística [INEs01], Câmara Municipal de Lisboa [CMLi02] e Direcção Geral de Impostos [DGIm01].

Começou por se verificar a percentagem de pessoas englobadas em cada intervalo de idades, {0,20}, {20,64} e mais de 64 anos, por freguesia. De seguida, contabilizou-se a percentagem

de pessoas com os diferentes graus de escolaridade: escolaridade obrigatória, ensino obrigatório, ensino secundário e ensino superior, também por freguesia. Tornou-se também necessário escalonar cada freguesia em termos dos seus rendimentos colectáveis médios por ano e por agregado, para a sua posterior classificação. Considerou-se então a classificação abaixo indicada, para Lisboa e Porto, respectivamente.

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

Com as aplicações escolhidas e apresentadas anteriormente, foi necessário atribuir-lhes pesos, correspondentes às probabilidades da sua utilização. As Tabelas E.1, E.2 e E.3 do Anexo E são referentes à classificação da percentagem de utilização dos serviços UMTS segundo a idade, escolaridade e rendimentos, respectivamente. Note-se que as probabilidades foram em alguns casos superiores a 100% devido à possível simultaneidade de utilização de serviços em UMTS. Foi atribuída uma taxa de utilização de 100% às classes que à partida teriam menos recursos ou probabilidade de utilizarem o sistema, tal como baixos rendimentos, idade inferior a 20 anos e população sem escolaridade. 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. 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. Para cada um dos parâmetros considerados encontrou-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 E.4 a percentagem de utilização de serviços UMTS, por classe urbana. Foi então possível conciliar toda a informação necessária para uma primeira estimativa do tráfego e respectivo planeamento celular. Assim, considerou-se um vector $\mathbf{V}$ com dimensão 6 correspondente às colunas das Tabelas E.1, E.2 e E.3, tal que:

$$\mathbf{D} = k_1\left(p_{<20} \times \mathbf{v_{11}} + p_{20\leq 64} \times \mathbf{v_{12}} + p_{>64} \times \mathbf{v_{13}}\right) + k_2\left(p_{sem} \times \mathbf{v_{21}} + p_{obrig} \times \mathbf{v_{22}} + p_{sec} \times \mathbf{v_{23}} + p_{sup} \times \mathbf{v_{24}}\right) + k_3\left(\mathbf{v_3}\right) \tag{3.9}$$

em que $\mathbf{D}$ 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; $\mathbf{v_{11}}$, $\mathbf{v_{12}}$ e $\mathbf{v_{13}}$ são vectores correspondentes às colunas 1, 2 e 3 da Tabela E.1, respectivamente; $\mathbf{v_{21}}$, $\mathbf{v_{22}}$, $\mathbf{v_{23}}$ e $\mathbf{v_{24}}$ são vectores correspondentes às colunas 1, 2, 3 e 4 da Tabela E.2, respectivamente; $\mathbf{v_3}$ é o vector correspondente à coluna relativa aos rendimentos da Tabela E.3; $p_{<20}$, $p_{20\leq 64}$ 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. De notar 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 (3.10) caso os utilizadores efectuem mais do que um serviço em simultâneo,

$$\mathbf{D} = [d_1 ... d_6] \; ; \; \sum_{i=1}^{6} d_i \geq 1 \tag{3.10}$$

em que d_i corresponde à probabilidade de se efectuar um serviço isolado. Desta forma, foi possível determinar a percentagem de utilizadores que efectuava mais do que um serviço, sendo o outro o serviço de voz, representado por s e dado por:

$$s = \sum_{i=1}^{6} d_i - 1 \tag{3.11}$$

Para a atribuição final das percentagens de utilização tinha-se a seguinte correspondência:

$d_1 - s$, para o serviço de voz,
d_i, i = 2, ..., 6; para os restantes serviços.
$\frac{d_i}{\sum_{i=1}^{6} d_i} s$, i = 7, ..., 11; para dois serviços simultaneamente.

Finalmente, para determinar o número de utilizadores de cada serviço bastou multiplicar os valores anteriores pelo número de utilizadores activos na freguesia em questão. Estes resultados são dispostos sobre a forma de vector **S** com *M* elementos, através de uma distribuição uniforme. Uma vez conhecido o número de utilizadores por freguesia, assim como os serviços que essa amostra da população requeria, foi necessário distribuí-los ao longo das áreas de cada freguesia. Dessa forma, obteve-se a Figura D.1. No entanto, apesar do esforço conseguido pelos colegas, o modelo de tráfego estimado anteriormente não tinha em conta a mobilidade dos utilizadores. Assim sendo, é objectivo deste trabalho estimar um modelo de tráfego que contabilize o movimento pendular relativo à cidade de Lisboa, bem como a deslocação da massa populacional dentro da mesma, considerando a população distribuída por empregos e não somente por residências como anteriormente.

4. Modelo de Tráfego

Neste capítulo é apresentado o Modelo de Tráfego criado para os vários serviços sendo o mesmo apenas aferido para o serviço de voz, considerando os dados de GSM, fornecidos pela Optimus. Descreve-se também o princípio de funcionamento da ferramenta de planeamento desenvolvida, *MapTraffic*, sendo abordados os seus parâmetros de entrada, parâmetros de saída e as diversas considerações tomadas.

4.1 Criação do Modelo

No presente trabalho, começou por se recolher informação que permitisse contabilizar o movimento pendular populacional referente à cidade de Lisboa e o movimento da população dentro da mesma. Essa informação foi possível obter, consultando os Censos 2001 [INEs01] para se conhecer o número de residentes por freguesia e consultando informação referente a 1999 [Este99], fornecida pela Câmara Municipal de Lisboa (CML), para se estimar o número de empregos por freguesia. A Optimus, por sua vez, forneceu dados reais de tráfego de voz em GSM: a área de cada célula, o tráfego por célula, a densidade de tráfego, a duração média das chamadas, a "hora-de-ponta" e a taxa de *handover*. Além disso, foi fornecida a posição das EBs existentes em Lisboa que fazem a cobertura da rede, o que possibilitou a posterior aferição do Modelo, Figuras F.1 e F.2, e Tabelas F.1 e F.2 do Anexo F para Lisboa e Porto, respectivamente. Assim, deixa de se considerar uma distribuição uniforme de EBs, e portanto fictícia, para se passar a considerar uma rede real GSM, o que torna o Modelo muito mais próximo da realidade, como era objectivo do trabalho.

Começou por se considerar os parâmetros seguintes: número da população total, N_{pop}; número de trabalhadores que entram e saem de Lisboa, N_{win} e N_{wout} respectivamente; número de estudantes que entram e saem de Lisboa, N_{sin} e N_{sout} respectivamente; número de trabalhadores que se deslocam dentro de Lisboa de uma freguesia para outra, N_{wmov}. O cálculo da população residente é feito por

$$N_{res} = N_{pop} - N_{wout} - N_{wmov} - N_{sout} + N_{sin}, \tag{4.1}$$

ou seja, tirou-se à população total, N_{pop} (564 657), o N_{wout} (37 286), o N_{wmov} (210 415), o N_{sout} (3 877) e adicionou-se o N_{sin} (75 718) ficando a população Residente em Lisboa durante o dia, N_{res} (388 797). De salientar que os estudantes foram distribuídos pelas freguesias de Lisboa, de acordo com o peso da população residente de cada uma delas, visto que esta situação se adequa mais à realidade uma vez que a população estudantil não está concentrada apenas nas respectivas faculdades mas sim distribuída por toda a cidade. Para o cálculo dos trabalhadores, usou-se

$$N_{wor} = N_{win} + N_{wmov}, \tag{4.2}$$

ou seja, adicionando N_{win} (366 487) com N_{wmov} obtém-se o número dos trabalhadores, N_{wor} (576 902). Em seguida, com o objectivo de se estimar o número de Residentes em cada freguesia, usou-se

$$N_{res/dist} = \frac{N_{res}}{N_{pop}} \times N_{pop/dist}, \tag{4.3}$$

ou seja, calculou-se a razão dos totais, $\frac{N_{res}}{N_{pop}}$, que multiplicada pelo número total de Residentes por freguesia, $N_{pop/dist}$, permite obter o número de pessoas que ficam em casa por freguesia durante o dia, $N_{res/dist}$, Figura 4.1 e Tabela G.1 do Anexo G. Considerou-se também que a parte da população total que integra os trabalhadores, ou seja, N_{wmov}, tinha idade compreendida entre 20 e 64 anos. Para o Porto os cálculos foram análogos aos de Lisboa com N_{pop} = 263 131, N_{wout} = 112 483, N_{wmov} = 85 629, N_{sout} = 2 718, N_{sin} = 46 789, N_{win} = 132 632, N_{res} = 109 090 e N_{wor} = 218 261, Tabela G.2 e Figura H.1, do Anexo H.

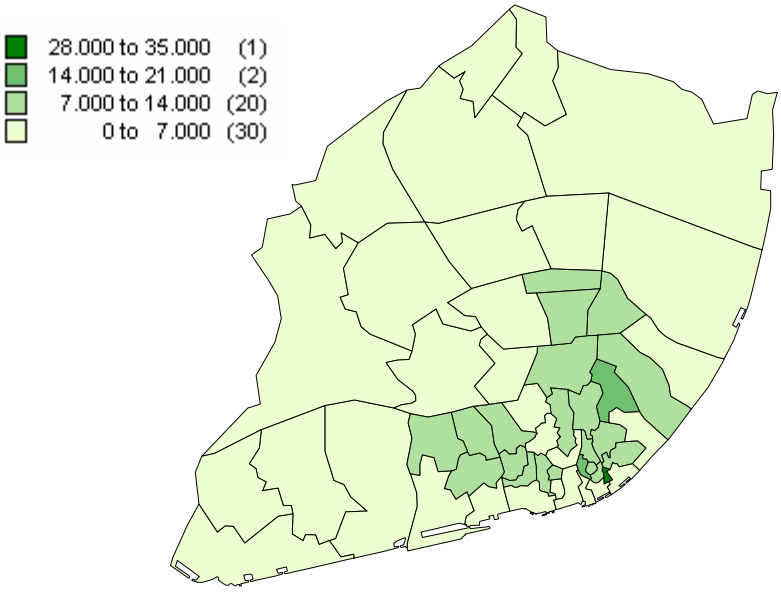


Figura 4.1: Densidade de Residentes por freguesia em Lisboa [pop/km^2].

No que diz respeito aos trabalhadores, começou por se usar o número de empregos total e por freguesia referente a 1999 [Este99], N_{emp99} = 522 100 e $N_{emp/dist\,99}$, e o número total de empregos na cidade de Lisboa em 2001, $N_{emp01} = N_{wor} =$ 576 902 [INEs01] e aplicou-se

$$N_{wor/dist01} = \frac{N_{emp01}}{N_{emp99}} \times N_{emp/dist99}, \tag{4.4}$$

estimando-se assim para cada freguesia o número de trabalhadores em 2001, $N_{wor/dist01}$, Tabela G.3. Para o Porto não foi possível encontrar informação referente à distribuição dos trabalhadores, pelo que foram distribuídos de acordo com a percentagem de Residentes em cada freguesia:

$$N_{wor/dist} = \frac{N_{wor}}{N_{res}} \times N_{res/dist}, \tag{4.5}$$

ou seja, calculou-se $\frac{N_{wor}}{N_{res}}$ e em seguida multiplicou-se este valor pelo número de Residentes em cada freguesia do Porto, Tabela G.4.

No entanto, para a aferição do Modelo de Tráfego, considerou-se sómente o serviço de voz, visto não existirem ainda dados relativos aos outros serviços. A informação relativa ao serviço de voz em UMTS também não está disponível ainda e como tal, a aferição do Modelo foi feita com tráfego real em GSM, comparando-o com o tráfego estimado para UMTS. Assim sendo e sabendo que existe uma diferença significativa no tráfego gerado pelos diferentes tipos de trabalhadores, foi necessário recorrer a uma divisão dos mesmos em duas classes distintas, de acordo com a informação da Optimus. Consideraram-se então as seguintes classes: Executivos (empresários, gestores, administrativos,...) e Outros Profissionais (secretárias, técnicos, operários,...). Inicialmente considerou-se uma distribuição de classes em que se assumiram percentagens idênticas em cada freguesia de 30% para Executivos, N_{Exec}, e de 70% para Outros Profissionais, $N_{OutProf}$, obtendo-se as distribuições das Tabelas G.5 e G.6 e das Figuras 4.2, H.2 e H.3, para Lisboa e Porto, respectivamente. No que diz respeito às percentagens relacionadas com a idade, escolaridade e rendimento da população, consideram--se as mesmas que [VaCa02], Tabelas G.7 e G.8. No entanto, e como já referido anteriormente, a população que sai de cada freguesia, $N_{wout} + N_{wmov} + N_{sout}$, tem idade compreendida entre os 20 e os 64 anos, pelo que houve necessidade de se multiplicarem as percentagens das Tabela G.7 e G.8, relativas às idades, pela população residente inicialmente, $N_{pop/dist}$.

$$N_{pop<20/dist} = p_{<20} \times N_{pop/dist}, \tag{4.6}$$

$$N_{pop\,20\leq 64/dist} = p_{20\leq 64} \times N_{pop/dist}, \tag{4.7}$$

$$N_{pop>64/dist} = p_{>64} \times N_{pop/dist}, \tag{4.8}$$

Calculados estes valores, recorreu-se às equações seguintes para se definirem as novas percentagens de residentes:

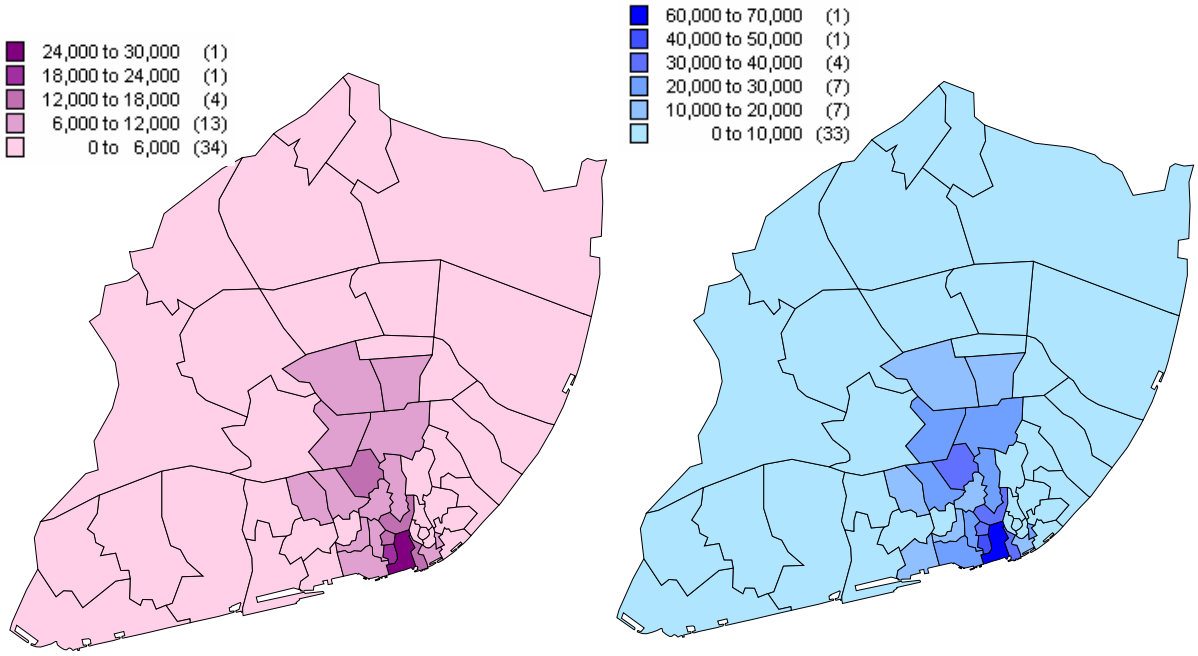
$$N_{res<20/dist} = N_{pop<20/dist}, \tag{4.9}$$

$$N_{res\,20\leq 64} = N_{pop\,20\leq 64/\mathrm{dist}} - N_{wout/dist} - N_{sout/dist} - N_{wmov/dist}, \tag{4.10}$$

$$N_{res>64} = N_{pop>64/\mathrm{dist}}, \tag{4.11}$$

$$p_{<20/dist} = \frac{N_{res<20/dist}}{N_{res<20/dist} + N_{res\,20\leq 64/\mathrm{dist}} + N_{res>64/\mathrm{dist}}}, \tag{4.12}$$

$$p_{20\leq 64/dist} = \frac{N_{res\,20\leq 64/dist}}{N_{res<20/dist} + N_{res\,20\leq 64/\mathrm{dist}} + N_{res>64/\mathrm{dist}}}, \tag{4.13}$$



(a) Executivos **(b)** Outros Profissionais

Figura 4.2: Densidade de Executivos e Outros Profissionais por freguesia em Lisboa [pop/km^2].

$$p_{>64/dist} = \frac{N_{res>64/dist}}{N_{res<20/dist} + N_{res\,20\leq 64/\mathrm{dist}} + N_{res>64/\mathrm{dist}}}, \tag{4.14}$$

Para o Porto, houve uma ligeira diferença nos cálculos, pois, calculados $N_{wout/dist} + N_{wmov/dist} + N_{sout/dist}$, verificou-se que estes eram em maior número do que o número de residentes inicial, $N_{pop\,20\leq 64/dist}$, com idade compreendida entre os 20 e os 64 anos, pelo que houve necessidade de considerar que parte da população residente, com idade inferior a 20 anos, $N_{pop\ <20/dist}$ também fazia parte do trabalhadores e não unicamente a população com idade compreendida entre os 20 e os 64 anos. Ou seja, considerou-se que $N_{res\,20\leq 64} = 0$ e que:

$$N_{res<20/dist} = N_{pop<20/dist} - \left(N_{wout/dist} + N_{sout/dist} + N_{wmov/dist} - N_{pop\,20\leq 64/dist}\right) \tag{4.15}$$

Calculados estes resultados foi possível transformar as Tabela G.7 e G.8 nas Tabelas G.9 e G.10. Em seguida, estabeleceu-se que cada utilizador podia efectuar um serviço apenas ou dois serviços em simultâneo. No entanto, houve restrições quanto à simultaneidade dos serviços pois, caso esta exista, só poder-se-ia considerar Voz e qualquer outro serviço a 64 / 64kbps em PS. Esta sugestão foi proposta pela Optimus bem como os serviços considerados e o respectivo ritmo de transmissão em UL/DL que se apresentam na Tabela 4.1. Foi também considerado como referência que o tráfego médio originado por utilizadores Residentes, Executivos e Outros Profissionais correspondia a 10 mErl, 35 mErl e 25 mErl, respectivamente, valores estes de igual modo fornecidos pela Optimus.

A partir daqui foi necessário recorrer à aplicação desenvolvida, *MapTraffic*, com o objectivo de se somarem as contribuições de tráfego originadas pelos diferentes tipos de utilizadores que se consideraram e assim obterem-se os mapas com a densidade de tráfego total (Residentes + Executivos + Outros Profissionais) para os vários serviços por freguesia e segundo uma dada penetração. Para isso foi necessário, em primeiro lugar, efectuar um mapeamento dos serviços no que se refere à sua utilização por parte de cada tipo de utilizador. Essa informação foi fornecida pela Optimus e encontra-se nas Tabelas F.2 a F.5. Note-se que os valores destas tabelas não se encontram em percentagem tendo sido implementado, na aplicação *MapTraffic*, a sua conversão. Para além disso, estes valores apenas se referem a mono serviços. Assim sendo, houve a necessidade de arbritar valores para os serviços duplos, valores esses que se encontram na Tabelas 4.2 e 4.3, e foram obtidos de acordo com a seguinte expressão:

$$p_{Voice+64PS} = p_{64PS} - 10, \;\; p_{64PS} > 10 \tag{4.16}$$

Tabela 4.1: Serviços e respectivos ritmos em UL e DL considerados.

Serviço	Ritmo (UL/DL) [kbps]
Messaging (E-mail, MMS, IM)	64 / 128 (PS)
Web Browsing	64 / 128 (PS)
Intranet	64 / 384 (PS)
Video-Conference	64 / 64 (CS)
***L**ocation **B**ased **S**ervices* (LBS)	64 / 64 (PS)
Video-on-Demand	64 / 384 (PS)
Music-on-Demand	64 / 128 (PS)
Games-on-Demand	64 / 128 (PS)
Applications-on-Demand	64 / 128 (PS)
Voice	12.2 / 12.2 (CS)
Voice + LBS	12.2 / 12.2 (CS) + 64 / 64 (PS)

Assim, foi possível estimar a probabilidade de utilizadores Residentes, Executivos e Outros Profissionais que iriam estar a efectuar um dos vários serviços apresentados na Tabela 4.1. Para o cálculo da probabilidade de Residentes, considerou-se um vector **V** com dimensão 4, 6 ou 11 correspondente às colunas da Tabelas 4.2, e usou-se (3.9).

Para o cálculo da probabilidade de utilizadores Executivos e Outros Profissionais estarem a efectuar um serviço, considerou-se para o primeiro caso um vector **A** com dimensão 4, 6 ou 11 correspondente à primeira coluna da Tabela 4.3 e para o segundo um vector **B** com dimensão 4, 6 ou 11 correspondente à segunda coluna da Tabela 4.3. Estes vectores contêm valores já convertidos em percentagem.

De seguida e considerando um outro vector, **T**, com as mesmas dimensões dos anteriores, somaram-se as probabilidades dos utilizadores Residentes, Executivos e Outros Profissionais executarem determinado serviço, o que permitiu obter o tráfego total gerado pelos três tipos de utilizadores. O facto de os vectores **V**, **A**, **B** e **T** poderem assumir as dimensões 4, 6 ou 11 está relacionado com a possibilidade de se poder executar a aplicação *MapTraffic*, para obtenção de mapas com distribuição de tráfego, por ritmo em UL, DL ou por serviço, respectivamente. Para uma melhor compreensão destas opções e respectivos resultados, aconselha-se a consulta do Anexo I referente ao manual da aplicação *MapTraffic*.

Tabela 4.2: Percentagens de utilização dos serviços por idade, escolaridade e rendimento para Residentes.

Serviços	Idade [anos]			Escolaridade				Rendimento			
	<20	20 ≤ 64	>64	S/	Obr	Sec	Sup	Bai	Méd	Méd/Alt	Alt
Messaging	30	70	5	0	30	70	85	5	20	60	70
Web Browsing	40	50	10	0	15	60	75	0	20	50	60
Intranet	0	15	5	0	0	5	35	0	0	20	25
Video Conference	0	10	0	0	0	0	20	0	0	10	15
LBS	5	25	10	0	10	20	30	5	10	20	20
Video on Demand	0	10	0	0	0	5	20	0	0	10	20
Music on Demand	25	35	0	5	15	50	50	5	10	35	30
Games on Demand	30	40	0	5	30	45	30	5	15	35	40
Applications on Demand	0	20	0	0	0	10	35	0	5	10	20
Voice	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Voice + LBS	0	15	0	0	0	10	20	0	0	10	10

Tabela 4.3: Percentagens de utilização dos serviços para Executivos e Outros Profissionais Domésticos.

Serviços	Exec.	Out. Prof.
Messaging	70	60
Web Browsing	60	50
Intranet	25	5
Video Conference	15	10
LBS	20	20
Video on Demand	20	10
Music on Demand	30	35
Games on Demand	40	35
Applications on Demand	20	10
Voice	90	90
Voice + LBS	10	10

A Figura 4.3 representa esquematicamente a funcionalidade da aplicação *MapTraffic*, numa primeira fase, apresentando os respectivos parâmetros de entrada e de saída em que o produto $p_{pen}\,p_{ut}$ e o tráfego médio por utilizador, A_{ut}, são parâmetros de entrada na aplicação *MapTraffic*.

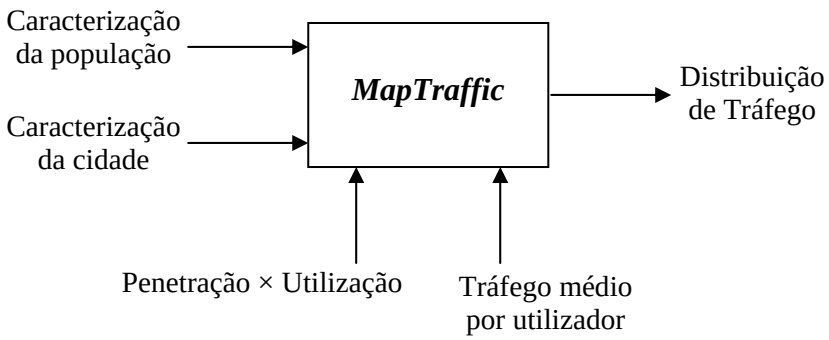


Figura 4.3: Diagrama de blocos da aplicação *MapTraffic* (1ª fase).

4.2 Aferição do Modelo

De forma a poder comparar-se o tráfego real em GSM com o tráfego estimado em UMTS houve necessidade de se sobreporem ambas as camadas de tráfego. Para isso foi necessário recorrer a uma pequena aplicação desenvolvida em *MapBasic®*, pois de outra forma seria difícil efectuar-se essa comparação. A aplicação desenvolvida designada por *Intersection* foi disponibilizada como opção no menu *Run* do *MapTraffic*. Criadas as tabelas com as densidades de tráfego através do *MapTraffic*, executando a aplicação *Intersection*, foi possível calcular dois tipos de erro, sendo eles o erro médio, $\overline{\varepsilon}$, e o erro quadrático médio, $\overline{\varepsilon^2}$, ambos expressos em Erlang e que contabilizam a área de cada intersecção:

$$\overline{\varepsilon_{S_n}} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{N} a_i (T_e - T_r)_i \tag{4.17}$$

$$\overline{\varepsilon_{S_n}^2} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{N} a_i (T_e - T_r)_i^2 \tag{4.18}$$

em que S é a área total de todas as intersecções, a_i é a área de cada intersecção, T_e é a densidade de tráfego estimado, T_r a densidade de tráfego real e N o número total de intersecções. Seguidamente, e numa primeira fase, pretendendo-se minimizar o $\overline{\varepsilon^2}$, ajustou--se o produto $p_{pen}\, p_{ut}$, obtendo-se para Lisboa $p_{pen}\, p_{ut}$ = 10%, $\overline{\varepsilon_{S_n}}$ = -7.52 e $\overline{\varepsilon_{S_n}^2}$ = 1 028.64 e, para o Porto $p_{pen}\, p_{ut}$ = 9%, $\overline{\varepsilon_{S_n}}$ = -9.40 e $\overline{\varepsilon_{S_n}^2}$ = 771.064. Um outro tipo de erro, expresso em Erlang, foi ainda considerado para se obter um mapa com a distribuição do mesmo:

$$\varepsilon_i = a_i (T_e - T_r)_i \tag{4.19}$$

Verificou-se em algumas intersecções que este erro era muito elevado, Figuras 4.4 e H.4 para Lisboa e Porto, respectivamente, pelo que se procedeu a uma abordagem do problema de duas maneiras distintas. A primeira consistiu em dividir as freguesias com maior área de acordo com a classificação de zonas da CML, Figura 4.5, obtendo-se a camada representada na Figura 4.6. De notar que este procedimento não foi efectuado para a cidade do Porto devido ao facto de nesta cidade existirem apenas dois tipos de zonas (edifícios de utilização mista e áreas verdes) predominando, no entanto, um único tipo de zona correspondente a edifícios de utilização mista, como se pode observar pela Figura H.5. Por outro lado, retiraram-se

utilizadores Executivos e Outros Profissionais, de uma dada freguesia onde o erro fosse elevado e positivo, ou seja, o tráfego estimado fosse bastante superior ao real, para uma outra freguesia ou zona onde o erro fosse elevado e negativo, isto é, o tráfego estimado fosse muito inferior ao real. A distribuição final de residentes e de trabalhadores, bem como as respectivas percentagens, encontra-se na Tabela G.11. Desta forma foi possível diminuir o intervalo de erro até $\varepsilon \in [-5;5]$ Erl, sensivelmente, exceptuando algumas zonas pontuais que assumem pouca importância. Para Lisboa, a solução final obteve-se para $p_{pen}\, p_{ut}$ = 18 %, $\overline{\varepsilon_{S_n}}$ = -3.59 e $\overline{\varepsilon_{S_n}^2}$ = 757.749 e, para o Porto $p_{pen}\, p_{ut} = 15\%$, $\overline{\varepsilon_{S_n}}$ = -3.14 e $\overline{\varepsilon_{S_n}^2}$ = 475.662. As Figuras 4.7 e H.6 apresentam as camadas de intersecção entre as células da Optimus e as freguesias de Lisboa e do Porto, respectivamente, com a distribuição final do erro associado.

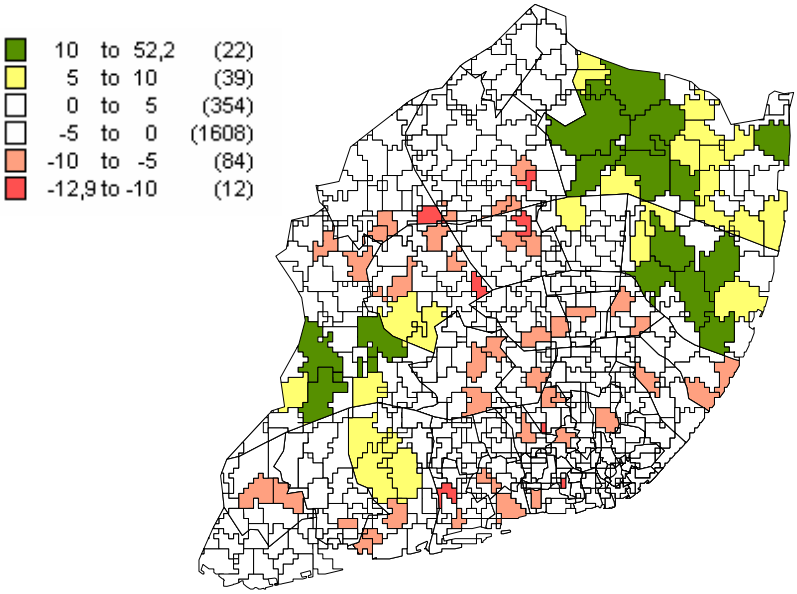


Figura 4.4: Distribuição inicial do erro em Lisboa [Erlang].

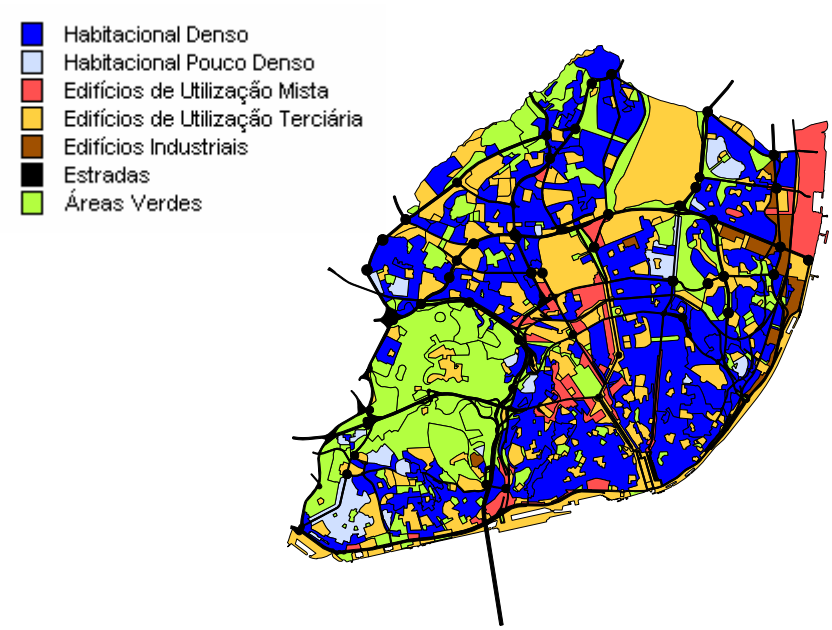


Figura 4.5: Mapa da cidade de Lisboa com as várias classes urbanas (extraído de [CMLi02]).

Depois desta abordagem, para se avaliar o Modelo de Tráfego criado e tendo-se considerado uma distribuição de trabalhadores Executivos e Outros Profissionais com percentagens de 30 e 70 %, respectivamente, foi necessário efectuar-se uma análise de sensibilidade, fazendo-se variar o parâmetro $p_{pen}\,p_{ut}$ e as percentagens de Executivos e Outros Profissionais, procurando-se minimizar o erro quadrático médio, a fim de se chegar ao Modelo de Tráfego que melhor se adequa às características da cidade e dos utilizadores, para posteriormente se proceder à análise do desempenho da rede. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 4.4 e H.1, para Lisboa e Porto, respectivamente.

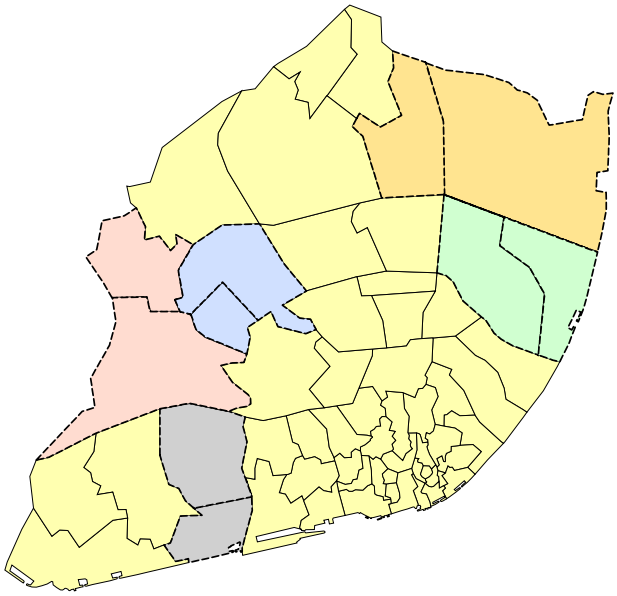


Figura 4.6: Divisões de algumas freguesias em Lisboa.

Analisando os resultados para a análise de sensibilidade em Lisboa contidos na Tabela 4.4, verifica-se que o menor valor de $\overline{\varepsilon^2}$ obtido (valor a vermelho) corresponde a se ter $p_{pen}\,p_{ut} = 18\%$ e percentagens de 50% para trabalhadores Executivos e Outros Profissionais. No entanto, apesar de nestas condições se ter uma melhor aproximação para o tráfego real, as percentagens de trabalhadores Executivos e Outros Profissionais não são aceitáveis relativamente à cidade em questão. Assim sendo, e analisando os resultados da Tabela 4.4, verifica-se que apesar de para percentagens de 50% de trabalhadores Executivos e Outros Profissionais, o valor de $\overline{\varepsilon^2}$ ser menor, estas não se adequam à cidade em questão, pelo que os valores escolhidos foram de 20 e 80 % para trabalhadores Executivos e Outros Profissionais, respectivamente, tratando-se estas de percentagens que descrevem melhor a realidade e com uma diferença de aproximadamente 0.24 % em relação ao menor valor de $\overline{\varepsilon^2}$.

Na análise de sensibilidade para o Porto, Tabela H.1, e analogamente ao que se considerou para Lisboa, apesar de se verificar que o menor valor de $\overline{\varepsilon^2}$ obtido (valor a vermelho) corresponde a se ter $p_{pen}\,p_{ut}$ = 15% para percentagens de 45 e 55 % para trabalhadores Executivos e Outros Profissionais, respectivamente, aquele que melhor se adequa à realidade corresponde a se terem percentagens de 30 e 70% para Executivos e Outros Profissionais, respectivamente, verificando-se uma ligeira diferença de aproximadamente 0.27% em $\overline{\varepsilon^2}$. Neste caso, não se escolheram as percentagens de 20 e 80% como em Lisboa, uma vez que ao

terem sido comparadas as Tabelas G.9 e G.10, nomeadamente a coluna que contém a informação sobre o rendimento por freguesia, pôde-se concluir que no Porto, em média, o nível de vida era superior ao de Lisboa pelo que optou-se por uma percentagem mais acentuada nos trabalhadores Executivos. Como prova disto, basta verificar que, de acordo com a informação recolhida e usada no trabalho, no Porto não existia nenhuma freguesia com rendimento "Baixo".

Tabela 4.4: Resultados da análise de sensibilidade para Lisboa.

Exec./Out. Prof. [%]	$p_{pen}\, p_{ut}$ =17%		$p_{pen}\, p_{ut}$ = 18%		$p_{pen}\, p_{ut}$ = 19 %		$p_{pen}\, p_{ut}$ = 20 %	
	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$
50 / 50	-4.39	758.65	-3.13	**756.36**	-1.87	758.57	–	–
45 / 55	-4.49	759.39	-3.24	756.66	-2.00	758.32	–	–
40 / 60	-4.60	759.91	-3.35	756.90	-2.12	758.22	–	–
35 / 65	-4.71	760.85	-3.47	757.38	-2.24	758.23	–	–
30 / 70	-4.81	761.60	-3.59	757.74	-2.35	758.26	–	–
25 / 75	–	–	-3.70	758.23	-2.48	758.20	-1.25	762.55
20 / 80	–	–	-3.81	758.80	-2.59	**758.19**	-1.38	762.12
15 / 85	–	–	-3.92	759.33	-2.71	758.45	-1.50	761.70
10 / 90	–	–	-4.04	759.92	-2.83	758.70	-1.63	761.50
5 / 95	–	–	-4.15	760.64	-2.96	758.85	-1.75	761.31
0 / 100	–	–	-4.27	761.28	-3.08	759.20	-1.88	761.16

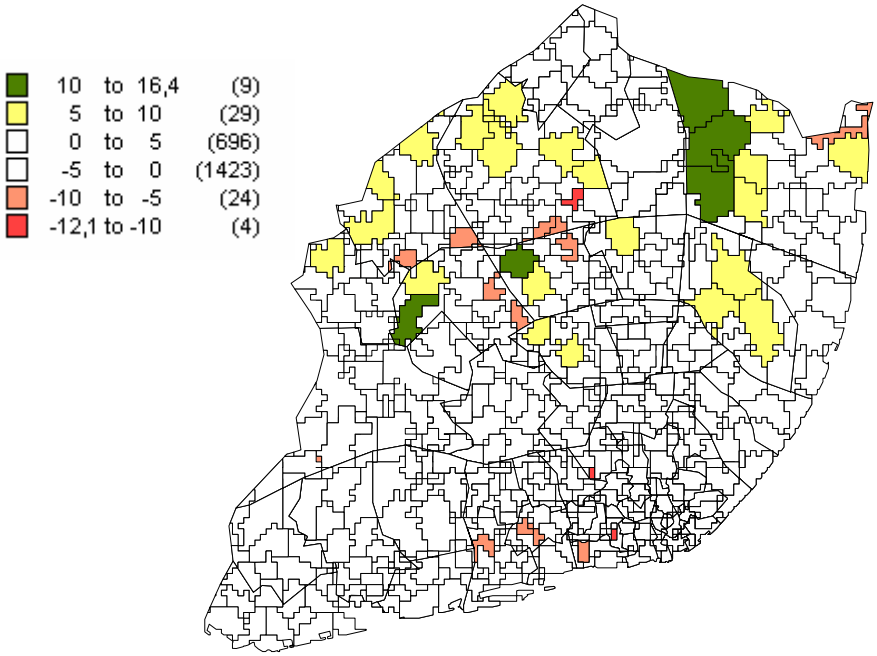


Figura 4.7: Distribuição final do erro em Lisboa [Erlang].

Em seguida, estabelecidas as percentagens de Executivos e de Profissionais Domésticos que foram consideradas no simulador *MapTraffic*, fixou-se este parâmetro e aumentou-se o tráfego médio originado por utilizadores Residentes, Executivos e Outros Profissionais em 5 mErl, passando este agora para 15 mErl, 40 mErl e 30 mErl, respectivamente. Fez-se então

variar o produto $p_{pen}\,p_{ut}$ e os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4.5 e H.2 para Lisboa e Porto, respectivamente.

Tabela 4.5: Resultados da análise de sensibilidade para Lisboa com aumento de tráfego.

Exec. [%]	Prof. Dom. [%]	$p_{pen}\,p_{ut}$ = 13%		$p_{pen}\,p_{ut}$ = 14%		$p_{pen}\,p_{ut}$ = 15%	
		$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$
20	**80**	-5.06	775.42	-3.47	769.89	-1.88	771.20

Pela análise da Tabela 4.5 verifica-se que, para Lisboa, um aumento do tráfego médio por utilizador implica um aumento elevado de $\overline{\varepsilon^2}$, para a percentagem de $p_{pen}\,p_{ut}$ = 19 % atrás considerada, sendo agora este o melhor valor (a vermelho) para $p_{pen}\,p_{ut}$ = 14 %. No caso do Porto, Tabela H.2, e analogamente ao resultado para Lisboa, verifica-se também que com o aumento do tráfego médio por utilizador, aumenta $\overline{\varepsilon^2}$ para a percentagem de $p_{pen}\,p_{ut}$ = 15 % atrás considerada, sendo uma vez mais o melhor valor (a vermelho) para $p_{pen}\,p_{ut}$ = 15 %.

De uma forma geral, concluíu-se que ao aumentar o tráfego médio por utilizador, e consequentemente o tráfego total gerado, há necessidade de diminuir o produto $p_{pen}\,p_{ut}$ a fim de que $\overline{\varepsilon^2}$ se mantenha o mínimo possível, resultado que era de esperar.

4.3 Desempenho da Rede

Para a geração aleatória de utilizadores, foi utilizado o algoritmo efectuado por [VaCa02] com algumas modificações essencialmente no que diz respeito à caracterização dos utilizadores a nível de atenuação, cenário de mobilidade e serviço efectuado em vez de se considerarem os débitos requeridos. Uma vez mais e para melhor compreensão tanto da geração aleatória de utilizadores bem como da caracterização dos mesmos, se aconselha a leitura do Capítulo 3 com o título "Planeamento Celular em UMTS" de [VaCa02] e do manual da aplicação *MapTraffic*, respectivamente. A Figura 4.8 representa esquematicamente a funcionalidade da aplicação *MapTraffic* na fase final, apresentando os respectivos parâmetros de entrada e de saída, e a Figura 4.9 representa a camada de utilizadores que, distribuídos de um modo não uniforme, requeriam os ritmos disponíveis e que foram descritos anteriormente.

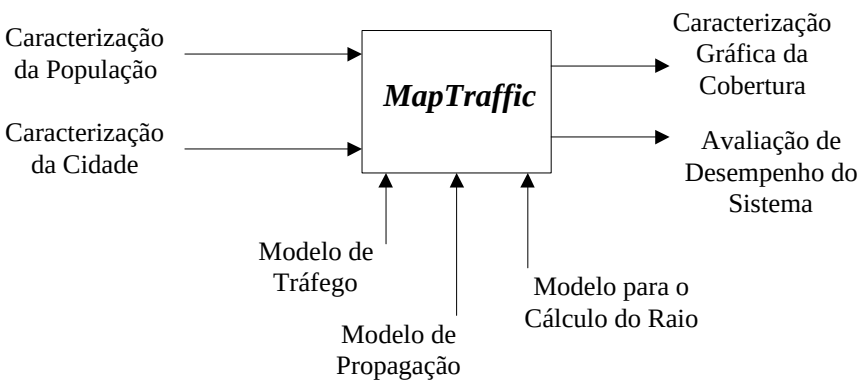


Figura 4.8: Diagrama de blocos representativo da aplicação *MapTraffic* (fase final).

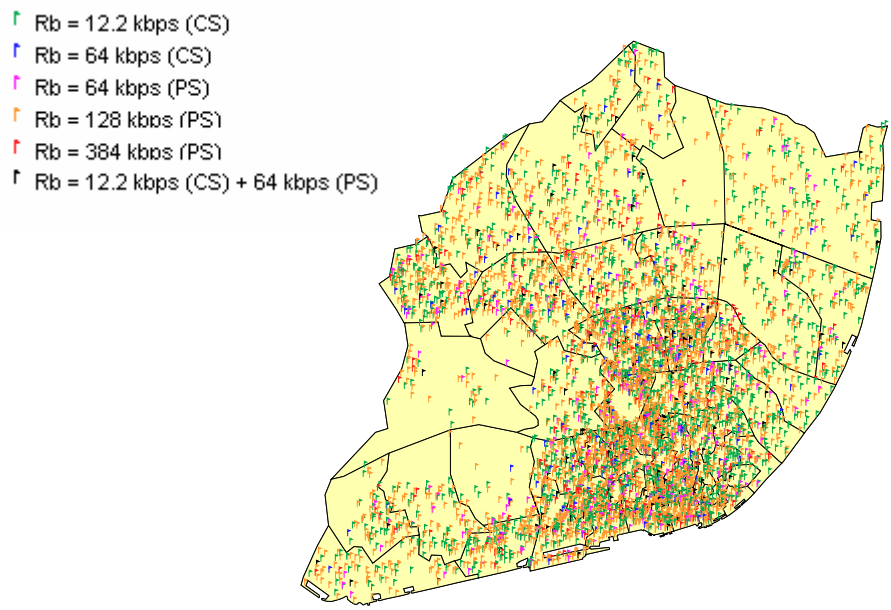


Figura 4.9: Exemplo de uma distribuição espacial da população e dos respectivos ritmos requeridos por utilizador.

No que diz respeito à estimativa dos raios relativos a cada sector de cada EB, considerou-se como factores limitativos para este trabalho o seguinte:

- $\eta_{ULmax} = 50\,\%$, $\eta_{DLmax} = 70\,\%$,
- P_{EB_TXmax} = 43 dBm, $P_{TM_TXmax} = 21$ dBm,
- $P_{DLmax(12.2/12.2CS)}$ = 31 dBm, $P_{DL\,max(64/64CS)}$ = 38 dBm, $P_{DL\,max(64/64PS)}$ = 39.6 dBm, $P_{DL\,max(64/128PS)}$ = 37 dBm, $P_{DL\,max(64/384PS)}$ = 38.9 dBm,
- $d_{\max}$, dada pelo modelo de propagação.

Os valores acima apresentados foram tomados como referência. No que diz respeito ao Modelo de Propagação, COST 231 – *Walfisch-Ikegami*, Anexo J, o valor de $d_{\max}$ pode ser alterado consoante o tipo de serviço ou o tipo de cenário considerado como referência. De realçar que, apesar da potência máxima de uma EB para transmissão, $P_{EB_TX\,max}$, ser de 43 dBm, esta não está disponível na sua totalidade para cada utilizador, por dois motivos. Primeiro, para limitar o raio da célula a um determinado serviço, pois para cada serviço existe um limite de potência disponível para cada utilizador, $P_{DL\,max}$, por outro lado, para impedir a situação de haver um único utilizador a consumir toda a potência disponível pela EB. Os tipos de cenário tomados em consideração neste trabalho podem ser, relativamente à mobilidade, Veícular ou Pedestre, tendo estes diferenças no que diz respeito aos valores de E_b/N_0 para cada serviço, Tabela C.3. Por outro lado podem depender da atenuação suplementar em ambientes interiores, Anexo C. Em suma, os cenários de referência podem ser:

- Veícular (+11dB),
- Pedestre – Exterior (+0dB),
- Pedestre – Pouco Profundo (+11dB),
- Pedestre – Profundo (+21dB),
- Pedestre – Muito Profundo (+25dB).

Relativamente à potência de transmissão da EB, disponível para os utilizadores, P_{EB_TX}, Anexo C, esta não corresponderá à potência total emitida pela EB, $P_{EB_TX\,max}$, pois uma percentagem desta irá ser contabilizada para canais de controlo e existe ainda a possibilidade de outra percentagem ser reservada para *soft handover*. Os valores de referência para estas duas grandezas são, respectivamente, 30 e 0 % (o último significa que não existe reserva de potência exclusiva para *soft handover* mas não o impossibilita). No que diz respeito a factores de carga, considera-se também como valor de referência um factor de carga relativo a *soft handover*, η_{SH}, de 0 %. Assim sendo, a carga que irá estar disponível, quer em UL ou DL, será dada por: $\eta_{UL} = \eta_{ULmax} \times (1 - \eta_{SH})$ = 50 % e $\eta_{DL} = \eta_{DLmax} \times (1 - \eta_{SH})$ = 70 %. Para uma melhor compreensão do cálculo dos factores de carga aconselha-se a leitura do Anexo B, onde são também apresentados os factores de actividade do canal e a assimetria do mesmo. Um parâmetro de entrada que também é tido em conta na aplicação é o número de portadoras máximo que poderá estar disponível em cada sector de uma forma não uniforme, ou seja, o número de portadoras pode variar de sector para sector. No entanto, este parâmetro de entrada limita em toda a rede o número máximo de portadoras, que poderá variar de uma até quatro portadoras.

O algoritmo para determinação do raio de um sector de uma EB é apresentado no fluxograma da Figura 4.10. Inicialmente procede-se ao cálculo dos raios máximos para cada tipo de serviço tendo em conta a margem de interferência MI com $\eta_{UL\,max}$ e η_{DLmax}. De seguida, seleccionam-se os utilizadores na região abrangida pelo raio máximo para o serviço de referência, com uma atenuação inferior à atenuação de referência. Diminuem-se os débitos daqueles que se localizarem fora da zona delimitada para a atenuação de propagação máxima correspondente ao seu serviço, calculando-se $\eta_{UL,DL}$ e P_{EB_TX} para os utilizadores abrangidos pela zona de cobertura do serviço de referência que o operador pretender e comparando-se com os valores máximos. Caso estes valores tenham sido excedidos, adiciona-se, no respectivo sector, uma nova portadora até ao valor máximo seleccionado no *MapTraffic* que pode variar de uma até quatro portadoras. Caso o número limite de portadoras por sector e os valores máximos de carga e potência tenham sido atingidos, procede-se da seguinte forma: no caso de o serviço de referência ser o de 384 PS mantêm-se os ritmos de todos os serviços; no caso de ser o de 128 PS ou 64 PS diminuem-se os débitos dos serviços mais exigentes do que estes até ser atingido o ritmo de referência; se for o de 64 CS diminuem-se os ritmos dos serviços mais exigentes até 64kbps mantendo-se a comutação (PS); no caso de ser o de Voz (12.2 CS), o 64 CS é bloqueado e caso existam dois serviços em simultâneo é atrasado apenas o segundo serviço (64 PS) sendo os restantes serviços em PS também atrasados. Se mesmo assim esta medida não for suficiente, é retirado o serviço ao utilizador mais distante da EB e assim sucessivamente. Um outro aspecto tido em conta pela aplicação é o facto de um utilizador estar em *soft handover*, ou seja, poder estar ligado a várias EBs em simultâneo. Neste caso, a abordagem efectuada é um pouco simplista visto que a aplicação devolve apenas a situação do utilizador na primeira EB em que é contabilizado. Caso o utilizador esteja em *soft handover* é indicado o número de ligações por este efectuado. Convém salientar o facto de o resultado apresentado pela aplicação *MapTraffic* ser estático, isto é, traduzir um determinado instante, implicando assim que os utilizadores atrasados sejam retirados nesse instante. Além disso, note-se também que no caso de existirem utilizadores a efectuarem dois serviços simultaneamente, estes serão contabilizados apenas uma vez para o número de utilizadores efectivos no sector contribuindo, no entanto, duplamente para a carga do sector em questão.

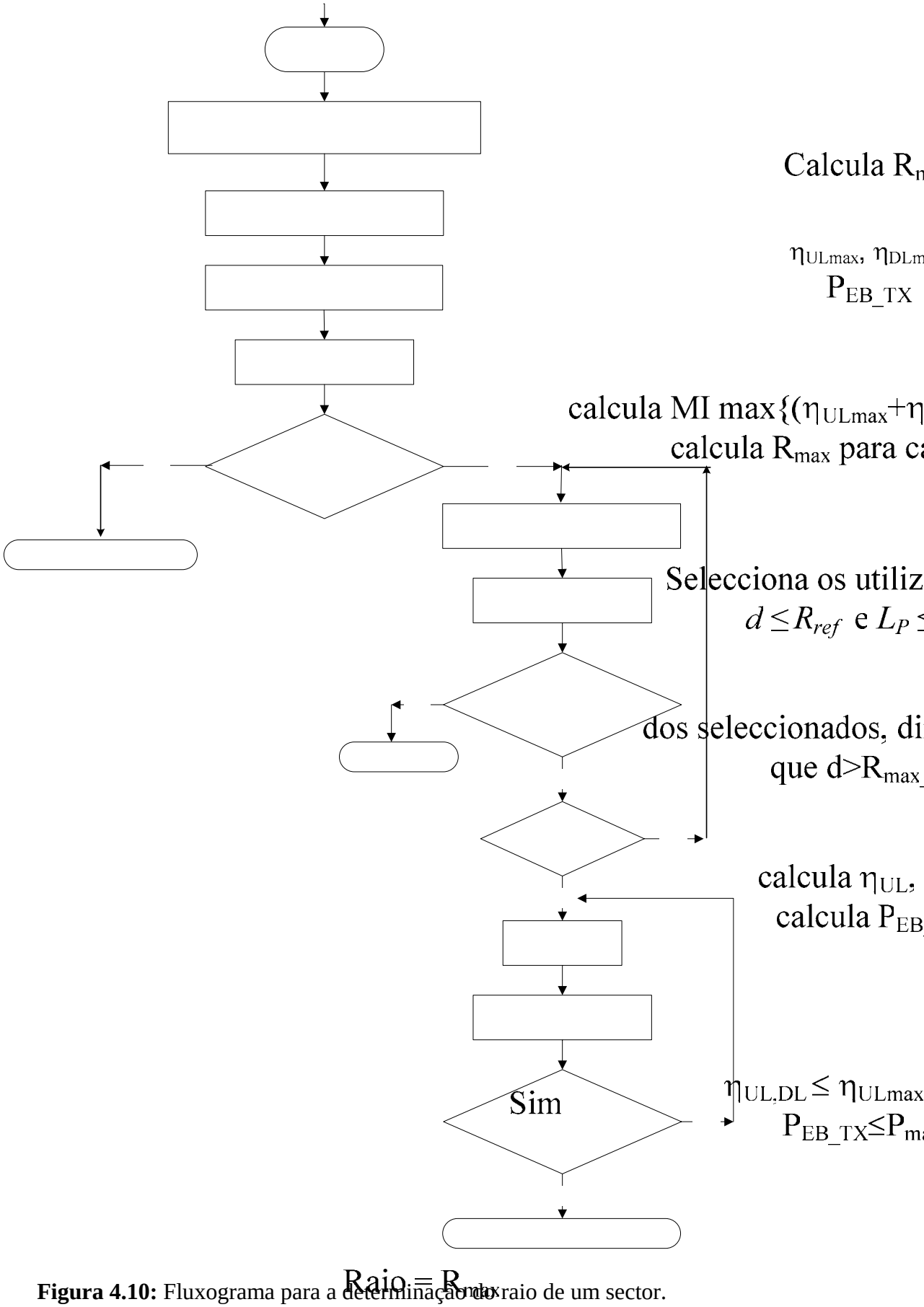


Figura 4.10: Fluxograma para a determinação do raio de um sector.

4.4 Parâmetros de Saída

A Figura 4.11 apresenta a sobreposição das diferentes camadas de informação relativamente à geração aleatória de utilizadores, sua localização e serviços requeridos, bem como as EBs com os diferentes sectores e respectivos raios, aos quais correspondem diferentes tipos de carga imposta pelos utilizadores.

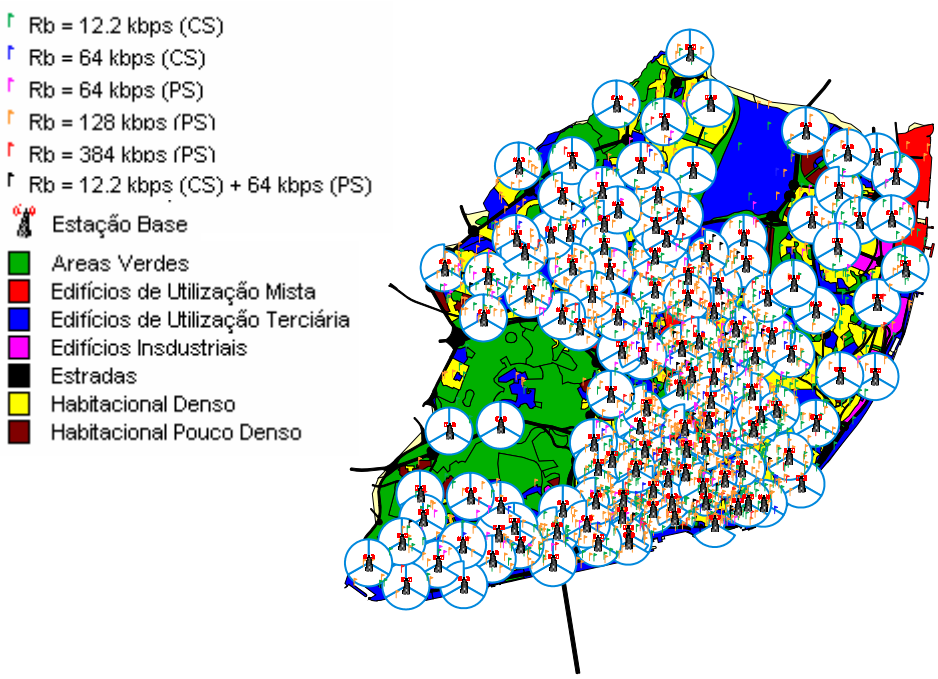


Figura 4.11: Raios de cada sector por EB na cidade de Lisboa.

Com o *MapTraffic*, é ainda possível estimarem-se alguns parâmetros característicos do sistema e também por sector, sendo eles:

- Raio mínimo, médio e máximo para cada serviço de referência, $R_{min[\mathrm{km}]}$, $R_{med[\mathrm{km}]}$ e $R_{\max[\mathrm{km}]}$, respectivamente;
- Factor de carga em UL e DL mínimo, médio e máximo, $\eta_{UL,DL\ min[\%]}$, $\eta_{UL,DL\ med[\%]}$ e $\eta_{UL,DL\ max[\%]}$, respectivamente;
- Potência mínima, média e máxima requerida à EB, $P_{EB_TX\ min}$, $P_{EB_TX\ med}$ e $P_{EB_TX\ max}$, respectivamente;
- Número de utilizadores activos, $N_{act\ users}$, ou seja, todos aqueles que requerem um serviço;
- Número de utilizadores servidos, $N_{serv\ users}$;
- Número de utilizadores sem cobertura em todo o sistema, $N_{users\ w\ cov}$, ou seja, que se encontrem fora dos limites máximos de cobertura para todos os sectores (limites estes calculados para o raio máximo);
- Número de utilizadores em *soft handover*, $N_{soft\ hand}$;
- Número mínimo, médio e máximo de utilizadores por sector, $N_{min\ \mathbf{users}}$, $N_{med\ users}$ e $N_{max\ users}$, respectivamente. Este valor fornece o número de utilizadores contidos dentro da área abrangida por cada sector, depois de contabilizada a carga máxima transportada pelo mesmo;

- Percentagem de sectores com 1, 2, 3 e 4 portadoras, $Car_{1[\%]}$, $Car_{2[\%]}$, $Car_{3[\%]}$ e $Car_{4[\%]}$, respectivamente;
- Probabilidade de bloqueio mínima, $P_{b\,mín[\%]}$, média, $P_{b\,med[\%]}$, e máxima, $P_{b\,max[\%]}$, do sistema e probabilidade de bloqueio por sector. Esta percentagem corresponde aos utilizadores que, embora estejam inseridos na área de serviço, para o cenário de referência, não conseguem efectuar o serviço em CS requerido, sendo portanto bloqueados;
- Probabilidades de atraso mínima, $P_{d\,mín[\%]}$, média, $P_{d\,med[\%]}$, e máxima, $P_{d\,max[\%]}$, do sistema e probabilidade de atraso por sector. Esta percentagem corresponde aos utilizadores que, embora estejam inseridos na área de serviço, para o cenário de referência, não conseguem efectuar o serviço em PS requerido, sendo portanto atrasados;
- Identificação e percentagem dos parâmetros limitativos do raio das EBs: η_{UL}, η_{DL}, P_{EB_TX}, L_p e $No\,Limitation$. Os três primeiros parâmetros indicam a percentagem de sectores em que foi excedida a carga máxima em UL, ou em DL, ou ainda a potência máxima da EB; o parâmetro L_p corresponde à percentagem de sectores em que existem utilizadores não servidos pelo facto da sua atenuação exceder a atenuação máxima permitida dentro do raio de um sector; por fim $No\,Limitation$ corresponde à percentagem de sectores onde não é verificada nenhuma das limitações possíveis;
- 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 EBs, $Cap_{[\mathrm{kbps}]}$, que corresponde à soma dos débitos dos serviços requeridos por cada utilizador;
- Número de portadoras necessárias por sector, N_{car}.

As Figura 4.12 e 4.13 apresentam, como exemplo, a avaliação geral dos utilizadores e de um sector de uma dada EB, respectivamente.

MapInfo Professional - [User Browser]

File Edit Tools Objects Query Table Options Browse Window Help

User	LONG	LAT	Service	District	Zone	Type_of_User	Atten_dB	Final_Status	Links
139	-9,10743	38,7314	VOICE	BEATO	Habitacional Denso	Pedestrian/Oudoor	0	Atrasado	2
140	-9,10954	38,7297	VOICE	BEATO	Estradas	Pedestrian/Indoor Window	11	Potência insuficiente	3
141	-9,11149	38,7294	VOICE	BEATO	Habitacional Denso	Pedestrian/Indoor Window	11	Sem cobertura	6
142	-9,20233	38,7585	GAMES ON DEMAND	BENFICA	Edifícios de Utilização Terciária	Vehicular	11	Atenuação superior	3
143	-9,19815	38,7579	MESSAGING	BENFICA	Edifícios de Utilização Terciária	Vehicular	11	Sect. 2, BS-003S2, Manteve 12.2 kbps	2
144	-9,20622	38,7555	LBS	BENFICA	Habitacional Denso	Pedestrian/Daylight Indoor	21	Sect. 3, BS-014S2, Baixou para 64 kbps	1
145	-9,19148	38,7521	VOICE	BENFICA	Habitacional Denso	Vehicular	11	Atenuação superior	1
146	-9,19591	38,753	WEB BROWSING	CAMPO GRANDE	Habitacional Denso	Vehicular	11	Sect. 2, BS-032S1, Manteve 128 kbps	1
147	-9,20611	38,7539	VOICE	CAMPO GRANDE	Áreas Verdes	Pedestrian/Deep Indoor	25	Bloqueado	2

records 139 - 147 of 1806

Figura 4.12: Tabela com a avaliação final dos utilizadores.

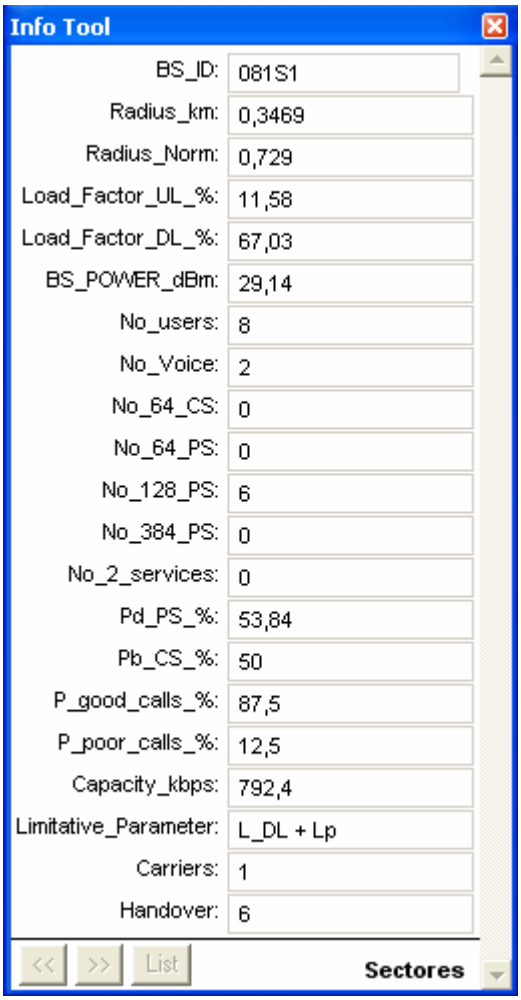


Figura 4.13: Ferramenta de informação de um sector de uma EB.

5. Análise de Resultados

Neste capítulo são analisados os diversos valores, referentes a diferentes tipos de cenário de penetração e atenuação, obtidos por simulação através da aplicação *MapTraffic*, para as cidades de Lisboa e Porto. Em primeiro lugar são analisados valores médios e a percentagem do desvio padrão face a esses valores médios, fazendo variar o cenário de atenuação dos utilizadores. Por fim é efectuada uma análise estatística fazendo apenas variar o ritmo de referência.

5.1 Resultados para a cidade de Lisboa

5.1.1 Dependência com o cenário operacional

Como foi dito anteriormente, a aplicação *MapTraffic*, apresenta resultados temporalmente estáticos. Devido a esse facto, tornou-se necessário a execução de várias simulações para um mesmo cenário tido como referência, sendo calculados posteriormente os valores médios e o desvio padrão. O número de simulações considerado para cada cenário foi de 10 simulações. No Anexo K apresentam-se os mapas com a densidade de serviços, considerando-os em UL, em DL e individualmente para Lisboa, em que o produto $p_{pen}\,p_{ut}$ é igual a 1.7% que equivale, em média, a 16 052 utilizadores activos, e para o Porto com $p_{pen}\,p_{ut}$ igual a 3.0%, que equivale, em média, a 9 983 utilizadores activos.

Numa primeira fase, foram efectuadas simulações com o objectivo de avaliar-se o desempenho da rede face ao perfil dos utilizadores, no que diz respeito à sua atenuação. Foi utilizada uma rede com 132 EBs (396 sectores) em Lisboa e 61 EBs (183 sectores) no Porto. A duração típica das simulações usando um CPU Intel® Pentium® III a 800MHz sobre o sistema operativo Microsoft® Windows Xp® pode ir de 1h00 até 4h00 para Lisboa com $p_{pen}\,p_{ut} = 1.7\%$, e de 0h20 até 1h20 para o Porto com $p_{pen}\,p_{ut} = 3.0\%$. Começou então por se considerar Lisboa com um cenário de referência com um ritmo de 64/128kbps, atenuação Pedestre – Profundo, 4 portadoras e um produto $p_{pen}\,p_{ut} = 1.7\%$. Foram também assumidas as percentagens que se encontram na Tabela 5.1, para os diferentes tipos de utilizadores, em que se pretendia um cenário menos carregado do ponto de vista da atenuação, sendo de seguida intensificado, Tabelas 5.2 e 5.3, para posteriormente poder efectuar-se uma análise comparativa. O gráfico da Figura 5.6 apresenta a percentagem de serviços oferecidos à EB para o cenário inicial acima descrito.

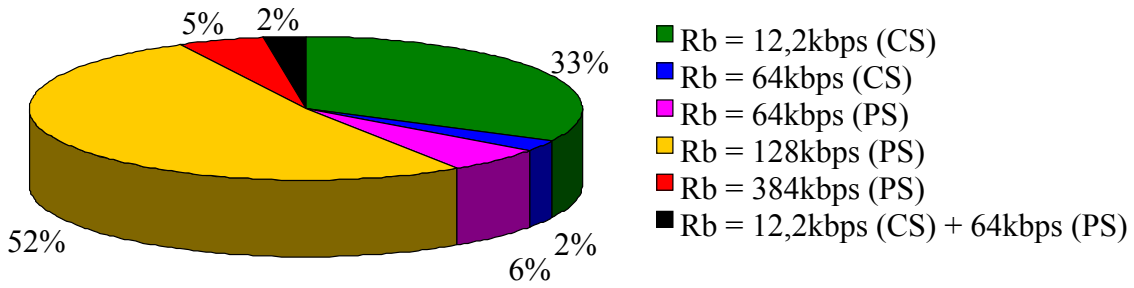


Figura 5.1: Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

Realizadas as 10 simulações para cada cenário em questão, houve a necessidade de se escolherem parâmetros essenciais que facilitassem a compreensão da evolução da rede, em termos de desempenho. Após a escolha desses parâmetros, foi calculada a média, μ, e a percentagem do desvio padrão relativamente à média, σ/μ [%]. Esses valores são apresentados na Tabela 5.4 e para melhor análise da sua evolução, são também apresentados no gráfico da Figura 5.2 sob a forma de percentagem em relação ao correspondente valor máximo.

Analisando a Tabela 5.4, e tal como era esperado, verifica-se que com o aumento da atenuação, um menor número de utilizadores é servido, bem como existem menos utilizadores servidos por sector e consequentemente menor uso da quarta portadora. Esta situação implica que parâmetros como o factor de carga em DL, a potência requerida à EB e as probabilidades de bloqueio e de atraso venham assim diminuídas e haja portanto um melhor desempenho relativo da rede. Esta situação deve-se ao facto de o aumento de atenuação implicar que cada vez mais utilizadores tenham uma atenuação superior à máxima permitida na área de cobertura do sector e, como tal, não poderem executar o serviço por limitação da atenuação de referência, como se pode também observar na Tabela 5.4, em que, com o aumento da atenuação, é verificada a limitação pela atenuação em maior número de vezes. Como foi referido anteriormente, a Figura 5.2 mostra a evolução percentual dos diferentes parâmetros em relação ao seu valor máximo para cada cenário considerado.

Tabela 5.1: Perfil de atenuação de 75/25/0/0 [%] para diferentes tipos de utilizadores, (1).

Classificação de Zonas	**Vei.**	**Pedestre**				
			Ext.	Pouco Prof.	Prof.	Muito Prof.
Habitacional Denso	**25**	**75**	75	25	0	0
Habitacional Pouco Denso	**25**	**75**	75	25	0	0
Edifícios de Utilização Mista	**25**	**75**	75	25	0	0
Edifícios de Utilização Terciária	**25**	**75**	75	25	0	0
Edifícios Industriais	**25**	**75**	75	25	0	0
Estradas	**75**	**25**	75	25	0	0
Zonas Verdes	**25**	**75**	75	25	0	0

Tabela 5.2: Perfil de atenuação de 50/25/25/0 [%] para diferentes tipos de utilizadores, (2).

Classificação de Zonas	**Vei.**	**Pedestre**				
			Ext.	Pouco Prof.	Prof.	Muito Prof.
Habitacional Denso	**25**	**75**	50	25	25	0
Habitacional Pouco Denso	**25**	**75**	50	25	25	0
Edifícios de Utilização Mista	**25**	**75**	50	25	25	0
Edifícios de Utilização Terciária	**25**	**75**	50	25	25	0
Edifícios Industriais	**25**	**75**	50	25	25	0
Estradas	**75**	**25**	50	25	25	0
Zonas Verdes	**25**	**75**	50	25	25	0

Numa segunda fase, foram efectuadas simulações com o objectivo de se avaliar o desempenho da rede face ao produto $p_{pen} p_{ut}$. Começou então por se considerar como cenário

de referência um ritmo de 64/128kbps, o cenário de atenuação Pedestre – Profundo, 4 frequências, tendo sido consideradas também, percentagens do perfil de atenuação do utilizador idênticas às da Tabela 5.1. Assim sendo, e considerando um produto $p_{pen}\,p_{ut} = 1.7\%$ (1) e seguidamente um produto $p_{pen}\,p_{ut} = 2.0\%$ (2) que equivale, em média, a 18 937 utilizadores activos, obtiveram-se os resultados da Tabela 5.5.

Tabela 5.3: Perfil de atenuação de 25/25/25/25 [%] para diferentes tipos de utilizadores, (3).

Classificação de Zonas	**Vei.**	**Pedestre**				
			Ext.	Pouco Prof.	Prof.	Muito Prof.
Habitacional Denso	**25**	**75**	25	25	25	25
Habitacional Pouco Denso	**25**	**75**	25	25	25	25
Edifícios de Utilização Mista	**25**	**75**	25	25	25	25
Edifícios de Utilização Terciária	**25**	**75**	25	25	25	25
Edifícios Industriais	**25**	**75**	25	25	25	25
Estradas	**75**	**25**	25	25	25	25
Zonas Verdes	**25**	**75**	25	25	25	25

Tabela 5.4: Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo e com $P_{pen}P_{ut}$ = 1.7%, para Lisboa.

		$\overline{\eta_{DL}}$ **[%]**	$\overline{P_{TX}}$ **[dBm]**	$N_{serv\,users}$ **[%]**	$N_{users\,w\,cov}$ **[%]**	$N_{med\,users}$	Car_4 **[%]**	$\overline{P_b}$ **[%]**	$\overline{P_d}$ **[%]**	**Limitação [%]**	
										η_{DL}	L_p
1	**μ**	30.4	27.6	37.7	41.3	15	21.6	2.4	2.5	12.7	41.1
	σ/ μ[%]	1.8	2.0	0.8	0.9	0.8	2.8	8.7	9.8	3.1	1.8
2	**μ**	26.3	27.0	29.4	42.3	12	13.7	1.2	1.2	7.3	46.1
	σ/ μ[%]	1.7	1.9	2.0	2.9	2.0	8.5	16.6	11.6	11.2	3.2
3	**μ**	20.5	25.3	20.4	42.9	8	7.0	0.3	0.4	2.9	60.6
	σ/ μ[%]	1.3	19.9	1.1	1.8	1.1	15.7	43.1	22.3	36.6	10.7

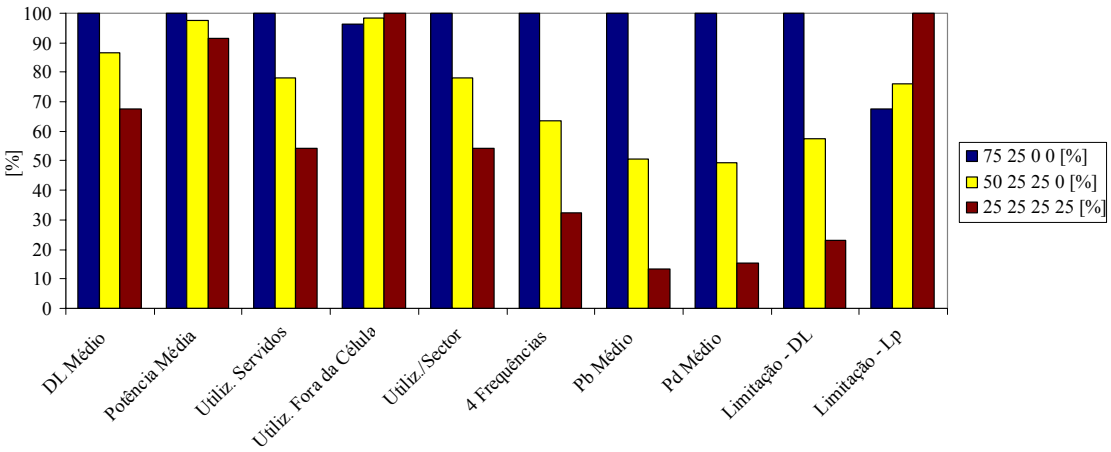


Figura 5.2: Comparação de parâmetros da rede para diferentes cenários de atenuação do utilizador em Lisboa.

Analisando os resultados da Tabela 5.5 verifica-se que há um acréscimo de todos os parâmetros, considerados para análise da rede, quando se aumenta o produto $p_{pen} p_{ut}$. Este resultado era esperado, uma vez que o aumento do produto $p_{pen} p_{ut}$ implica um aumento do número de utilizadores activos a requererem um determinado serviço, o que implica um aumento dos factores de carga no sector, da potência requerida, do número de utilizadores servidos, sem cobertura e existentes por sector, assim como também se verifica um maior uso da quarta portadora e maiores percentagens de bloqueio e de atraso. Por fim, verifica-se também que a situação de "*No Limitation*" cada vez é menos verificada devido ao aumento percentual das restantes limitações que essencialmente são verificadas para o factor de carga em DL e devido à potência. No gráfico da Figura 5.3 são apresentadas as diferenças percentuais resultantes dos dois cenários tidos em consideração.

Tabela 5.5: Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo, com percentagens idênticas às da Tabela 5.1, para Lisboa.

		$\overline{\eta_{DL}}$ [%]	$\overline{P_{TX}}$ [dBm]	$N_{serv\,users}$ [%]	$N_{users\,w\,cov}$ [%]	$N_{med\,users}$	Car_4 [%]	$\overline{P_b}$ [%]	$\overline{P_d}$ [%]	Limitação [%]	
										η_{DL}	L_p
1	μ	30.4	27.6	37.7	41.3	15	21.6	2.4	2.5	12.7	41.1
	σ/ μ[%]	1.8	2.0	0.8	0.9	0.8	2.8	8.7	9.8	3.1	1.8
2	μ	33.5	28.0	36.4	41.8	18	27.9	4.5	4.5	15.8	42.4
	σ/ μ[%]	1.5	1.0	1.4	3.0	1.4	5.5	12.1	10.3	5.4	3.3

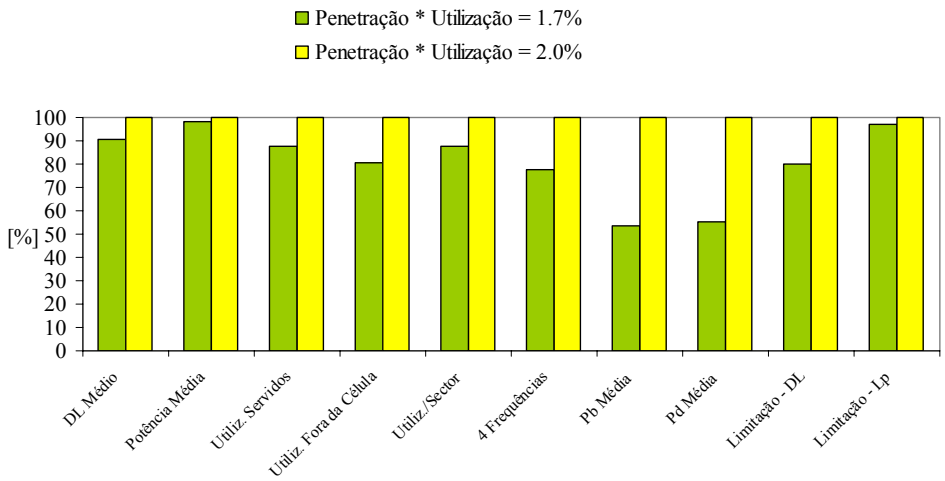


Figura 5.3: Comparação de parâmetros da rede para diferentes produtos $p_{pen} p_{ut}$ em Lisboa.

5.1.2 Dependência com o serviço de referência

Nesta fase de apresentação de resultados tem-se por objectivo avaliar alguns cenários fazendo-se variar apenas o ritmo do serviço de referência, mantendo-se os restantes parâmetros considerados inicialmente (atenuação Pedestre – Profundo, 4 portadoras, $p_{pen} p_{ut} = 1.7\%$ e as percentagens da Tabela 5.1). Para cada cenário de referência serão apresentados gráficos estatísticos efectuando-se uma análise comparativa dos parâmetros da rede.

No caso do ritmo 64/384kbps, verifica-se que em média o raio não é muitas vezes reduzido, Figura L.1. Esta situação deve-se ao facto de se estar a considerar o mesmo produto de $p_{pen} p_{ut}$, pelo que numa menor área (o raio é menor que o de 64/64 e 64/128kbps) haverá um menor número de utilizadores permitindo assim a existência de uma menor carga no sector e não obrigando este a reduzir o seu raio removendo utilizadores. No entanto, verifica-se também pelas Figura L.1 e 5.4 que para o ritmo de 64/384 e 64/128kbps, respectivamente, existem sectores com raio muito pequeno. Esta situação tem a ver com o facto de, no primeiro caso, utilizadores com um ritmo de 64/384kbps não poderem ser reduzidos e, no segundo caso, utilizadores de 64/128kbps também não o poderem, contribuindo ambos com uma carga muito elevada para o sector, pelo que este é obrigado a reduzir bastante, em alguns casos.

Relativamente aos gráficos de raios, para Lisboa, apresentados no Anexo L, verifica-se que apesar do raio máximo para 64/128kbps, Figura L.2, ser igual ao de 64/64kbps, Figura L.3, devido ao facto da limitação ser em UL, o raio em 64/128 é reduzido mais vezes do que o de 64/64kbps uma vez que neste caso os utilizadores, caso se tenham excedido os parâmetros máximos de carga do sector, são reduzidos até 64/64kbps passando a contribuírem com menos carga para o mesmo e impedindo assim que haja uma diminuição da área de cobertura do sector, o que não acontece em 64/128kbps, em que o ritmo dos utilizadores é menos reduzido contribuindo estes com uma carga superior para o sector.

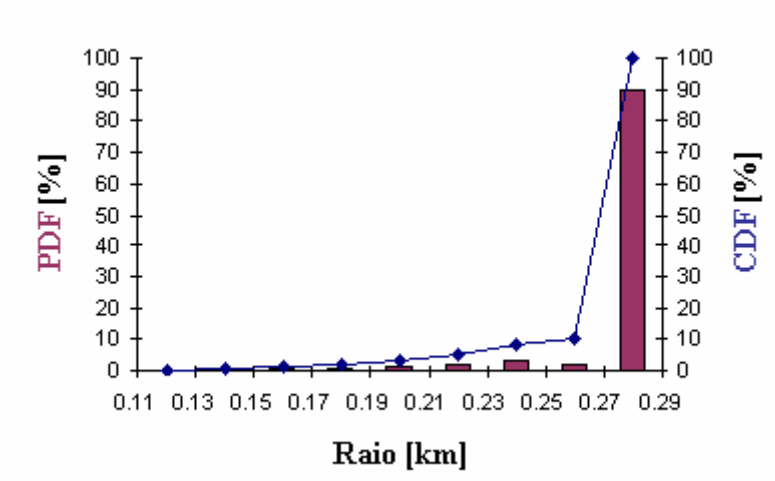


Figura 5.4: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

Quanto aos gráficos referentes ao factor de carga em DL, Figuras L.4, L.5 e L.6, para 64/384kbps, 64/128kbps e 64/64kbps, respectivamente, verifica-se, de uma forma geral, uma situação de igualdade que se justifica pelo facto de os utilizadores apenas terem o seu ritmo de transmissão reduzido após a quarta portadora estar a ser utilizada e os gráficos referidos traduzirem informação de carga relativa apenas à primeira frequência, que em DL tem um máximo para 70%. No caso de 64/384kbps existe uma diminuição na percentagem de sectores que ultrapassam os 70% de carga e que portanto requerem o uso de outra portadora, havendo um ligeiro aumento nas percentagens mais baixas. Este facto deve-se à menor concentração de utilizadores dentro destes sectores, visto estes serem menores, comparativamente a 64/64 e 64/128kbps, impondo assim uma carga mais baixa nos sectores.

No que diz respeito à probabilidade de atraso e à de bloqueio, Figuras L.7 a L.12, verifica-se que ambas, nos cenários de referência considerados, são pouco acentuadas assumindo valores no intervalo de 0 a 1%, sendo este um limite aceitável. Naturalmente que com o aumento da penetração estes valores viriam incrementados ligeiramente, pelo que, sendo o limite máximo

para uma probabilidade de bloqueio de aproximadamente 2%, poder-se-ia ter considerado uma penetração ligeiramente acima da considerada. No entanto, salienta-se o facto de em 64/128kbps existir maior probabilidade de bloqueio face a 64/64kbps, devido ao facto de, como já foi referido anteriormente, existir maior redução do raio em 64/128kbps, Figura 5.5 (o máximo da CDF é atingido para um bloqueio de 70%). No caso de 64/384kbps, o bloqueio também é reduzido, devido ao facto de, apesar de não permitir redução de ritmo, abranger uma menor área de cobertura para a mesma densidade de utilizadores. No entanto, como foi analisado anteriormente, devido ao facto de existir pouca redução nos raios dos sectores, a análise do bloqueio e do atraso é pouco conclusiva sendo para isso necessário aumentar a penetração de utilizadores a requerer serviços.

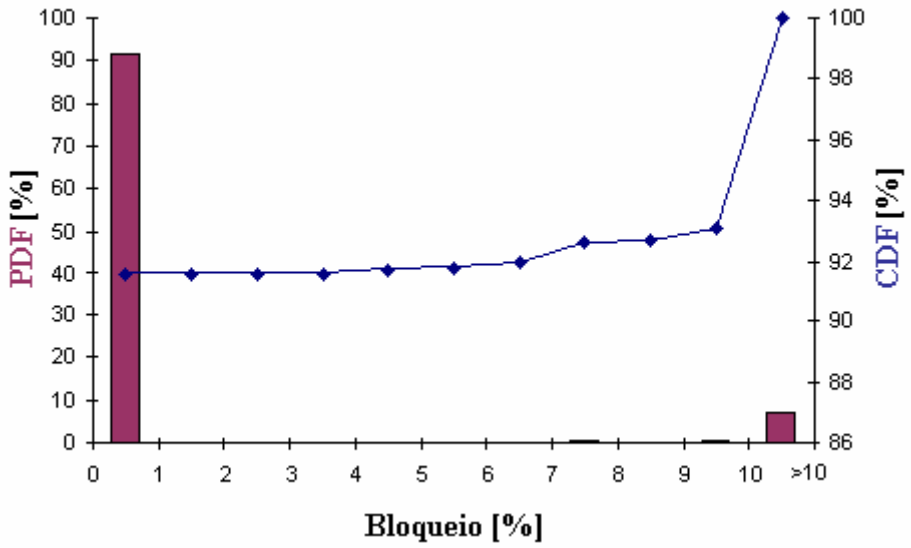


Figura 5.5: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

Relativamente às Figuras L.13 a L.18, verifica-se também como era de esperar que, para o ritmo de 64/384kbps, a percentagem de chamadas com qualidade inicial, sendo aquelas que mantiveram o ritmo (*good calls*) é sempre de 100%, uma vez que não existe nenhum utilizador na rede com ritmo superior, não havendo portanto redução do ritmo de chamadas, pelo que o gráfico complementar, Figura L.16, apresenta uma percentagem de 0% de chamadas com redução de ritmo de transmissão. Nos restantes casos, observa-se que para o caso de 64/64kbps a percentagem de chamadas com ritmo mantido diminui ligeiramente face ao 64/128kbps, notando-se um acréscimo daquelas para percentagens de redução de ritmo inferior a 80%, o que não se verifica em 64/128kbps. Para as chamadas de ritmo reduzido, a análise anterior é simplesmente complementar, pois a relação entre estas também o é.

Finalmente, acerca das portadoras verifica-se, como não podia deixar de ser, que a percentagem de portadoras usada no caso 64/384kbps, Figura L.19, é menor no caso da quarta portadora relativamente aos outros dois casos, 64/128kbps e 64/64kbps, Figuras L.20 e L.21, respectivamente, devido à menor área de cobertura por sector. Verifica-se também que a percentagem de portadoras usada é idêntica nos casos de 64/64kbps e 64/128kbps, Figura 5.6, uma vez que ambos os raios dos sectores têm o mesmo tamanho, o que permitirá aos sectores conter em média o mesmo número de utilizadores tanto num caso como noutro. Quando este idêntico número de utilizadores ultrapassa os limites máximos de carga e de potência máxima permitidas num sector, no caso de 64/128kbps o ritmo praticamente não diminui sendo removidos utilizadores, no caso de 64/64kbps são reduzidos mais utilizadores quase sem remoção dos mesmos. No entanto, em ambos os casos é mantida a quarta frequência mesmo após a diminuição de ritmo ou remoção de utilizadores para verificação de carga e potência.

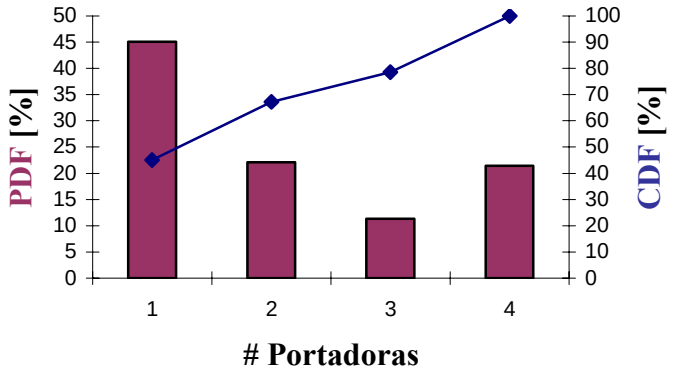


Figura 5.6: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

Uma outra análise efectuada consistiu em aumentar a percentagem de utilização do serviço de Voz colocando nas Tabelas 4.2 a 4.5 o valor 300 em vez de 90 para este serviço. O resultado desta alteração em termos de serviços oferecidos pode ver-se no gráfico da Figura 5.7, para um ritmo de referência de 64/128kbps. Esta análise fez-se para avaliar o desempenho da rede relativamente ao caso anterior para 64/128kbps em que a percentagem de Voz era inferior, Figura 5.1.

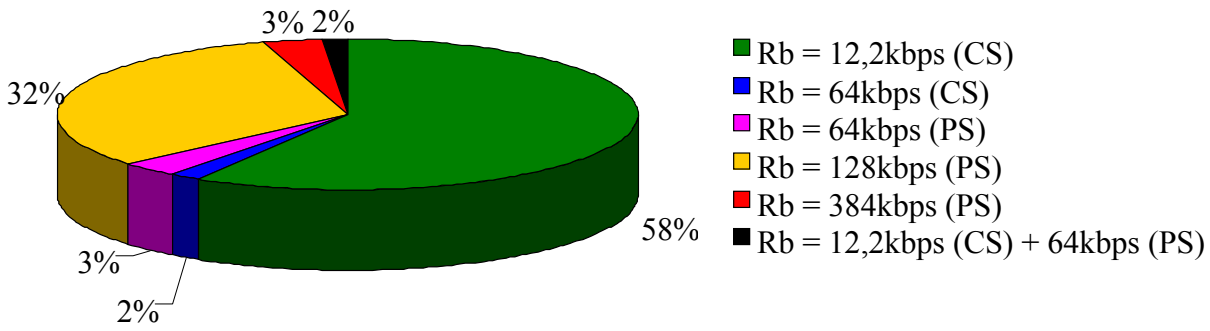


Figura 5.7: Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa para maior percentagem de Voz.

Quanto ao raio dos sectores, Figura L.22, verifica-se que neste caso o raio diminui com menor frequência uma vez que, havendo maior número de utilizadores a efectuarem o serviço de Voz, a carga em DL de cada sector não será tão pesada, uma vez ser este o factor mais limitativo, pelo que haverá menor probabilidade do raio do sector diminuir. Relativamente ao factor de carga em DL, Figura L.23, verifica-se que existe uma diminuição um pouco acentuada neste, uma vez que, sendo a Voz um serviço pouco restrito, origina que a percentagem de sectores a verificarem a carga máxima em DL, 70%, seja inferior, havendo um aumento desta na utilização de apenas uma portadora, ou seja, para um factor de carga inferior a 70%, pois como já foi referido, acima deste valor, existe simultaneidade de portadoras.

Em relação à probabilidade de atraso e de bloqueio, Figuras L.24 e L.25, respectivamente, verifica-se um aumento em ambos, da percentagem de atraso e de bloqueio inferior a 1%, o que se justifica pelo facto dos raios não sofrerem praticamente nenhuma redução em relação ao seu valor máximo inicialmente, devido ao facto da Voz ser um serviço muito menos

limitativo do que o serviço de Dados. Salienta-se também o facto do número de chamadas com qualidade inicial mantida ser superior, Figura 5.8, verificando-se um aumento de aproximadamente dez pontos percentuais na percentagem de chamadas por sector acima dos 98% que mantiveram o ritmo de transmissão. Na figura L.27 verifica-se a situação inversa que é complementar da anterior, ou seja, existe um acréscimo substancial chamadas por sector com percentagem de redução inferior a 2%.

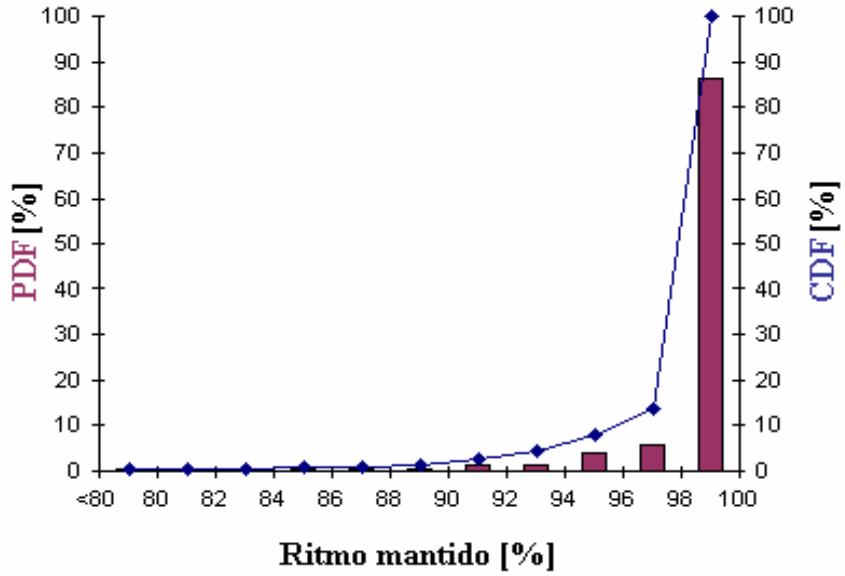


Figura 5.8: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz.

Por fim e no que diz respeito à percentagem de 1, 2, 3 ou 4 portadoras necessárias para o funcionamento optimizado do sistema, Figura 5.9, verifica-se que com o aumento da percentagem do serviço de Voz, a percentagem de utilização da quarta portadora é reduzida cerca de 13%, aumentando a percentagem de utilização do número de portadoras abaixo. Esta situação deve-se, uma vez mais, devido ao facto da Voz ser um serviço menos limitativo havendo, de uma forma geral menor uso da quarta portadora, como já se tinha verificado pela análise do factor de carga em DL, Figura L.23.

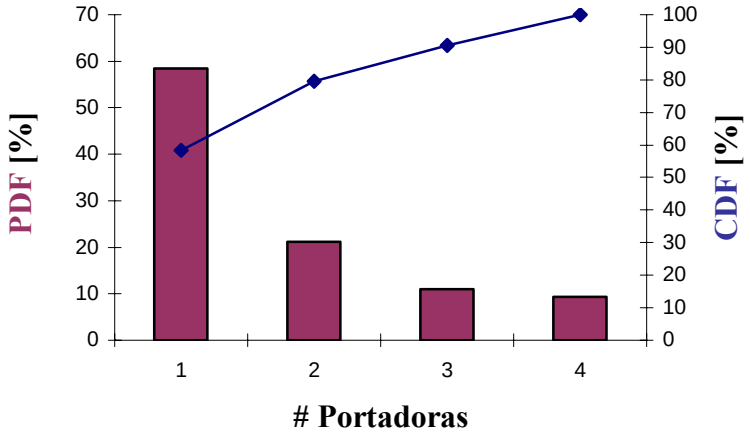


Figura 5.9: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz.

5.1.3 Dependência com o raio de referência

Neste ponto da apresentação de resultados o objectivo é avaliar alguns cenários fazendo-se variar o raio de referência, mantendo-se os restantes parâmetros considerados inicialmente (64/128kbps PS, 4 portadoras, $p_{pen}\,p_{ut} = 1.7\%$ e as percentagens da Tabela 5.1).

No primeiro caso considerou-se o raio de referência correspondente ao cenário de atenuação de Pedestre – Pouco Profundo (1) e seguidamente considerou-se um raio de referência correspondente ao cenário de atenuação Pedestre – Exterior (2). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.6 e nos gráficos das Figuras 5.10 e 5.11.

Tabela 5.6: Resultados relativos a cenário de 64/128kbps e com $p_{pen}\,p_{ut}$ = 1.7%, para Lisboa.

		$N_{act\ users}$	$N_{serv\ users}$	$N_{users\ w\ cov}$	$N_{soft\ hand}$	$\overline{P_b}$ **[%]**	$\overline{R}$ **[km]**
1	**μ**	15 799	11 148	1 502	5 198	21.38	0.40
	σ/ μ[%]	2.7	2.6	2.6	2.8	3.6	0.7
2	**μ**	16 115	14 291	28	10 501	54.95	0.57
	σ/ μ[%]	0.2	0.5	3.1	0.6	0.4	0.8

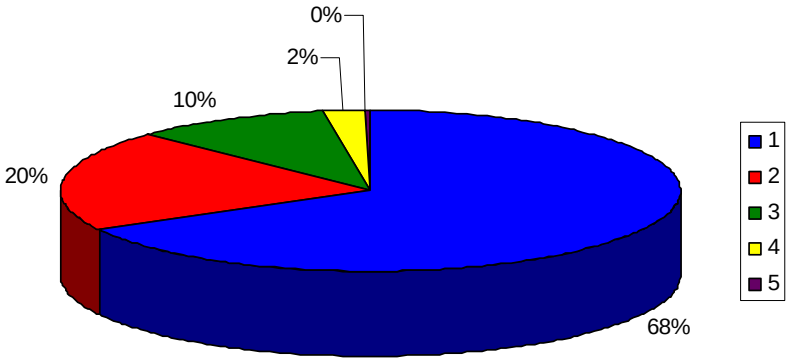


Figura 5.10: Percentagem do número de ligações às EBs por utilizador para um raio de referência Pedestre – Pouco Profundo.

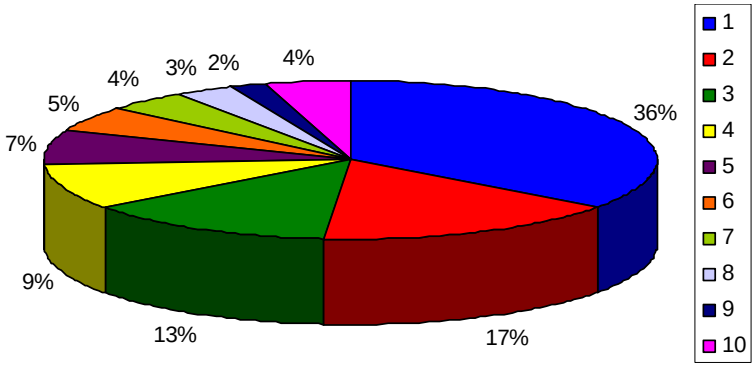


Figura 5.11: Percentagem do número de ligações às EBs por utilizador para um raio de referência Pedestre – Exterior.

Pela análise das Tabelas 5.5 e 5.6, verifica-se que, com o aumento do raio de referência, cada vez menos utilizadores ficam sem cobertura, ou seja, fora das áreas de serviço das EBs, e por outro lado, aumenta o número de utilizadores servidos bem como o número de utilizadores em

soft handover. Pela análise dos gráficos das Figuras 5.10 e 5.11 verifica-se também que o número de ligações às EBs por utilizador aumenta consideravelmente no caso (2). Estes resultados eram expectáveis uma vez que ao passar-se de um cenário de Pedestre – Pouco Profundo (1) para um cenário de Pedestre – Exterior (2), o raio médio aumenta bastante (≈ 40%), dando origem aos valores apresentados. No entanto, numa situação real, não deve ser permitida a ligação a mais de 3 EBs por utilizador essencialmente por questões de capacidade.

Por outro lado, foi também feitas simulações para os casos anteriores, mas considerando agora uma probabilidade média de bloqueio aceitável, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.7. No caso (1) foi necessário considerar $p_{pen}p_{ut} = 0.5\%$ e no caso (2) considerou-se $p_{pen}p_{ut} = 0.2\%$ que equivale, em média, a 4452 e a 1806 utilizadores activos, respectivamente.

Tabela 5.7: Resultados relativos a cenário de 64/128kbps para Lisboa.

		$N_{act\,users}$	$N_{serv\,users}$	$N_{users\,w\,cov}$	$N_{soft\,hand}$	$\overline{P_b}$ **[%]**	$\overline{R}$ **[km]**
1	**μ**	5 061	3 608	454	1 708	1.75	0.47
	σ/ μ[%]	0.1	0.3	2.1	1.2	6.7	0.0
2	**μ**	1 806	1 613	4	1 197	2.15	1.08
	σ/ μ[%]	0.2	0.5	9.2	0.6	8.2	0.32

5.2 Resultados para a cidade do Porto

Para o Porto, tal como para Lisboa, foram efectuadas simulações com o objectivo de avaliar-se o desempenho da rede, primeiramente face ao perfil dos utilizadores, no que diz respeito à sua atenuação e em seguida face à variação do produto $p_{pen}p_{ut}$. Começou de novo por se considerar para cenário de referência um ritmo de 64/128kbps, um cenário de atenuação Pedestre – Profundo e um produto $p_{pen}p_{ut}$ = 3.0 %. Foram também assumidas as percentagens que se encontram na Tabela 5.1, evoluindo-se seguidamente para um cenário mais "pesado" em termos de atenuação dos utilizadores activos, Tabelas 5.2 e 5.3. Na Figura 5.12 ilustra-se na forma de gráfico a percentagem de serviços oferecidos para o cenário atrás referido.

Os valores médios obtidos e o desvio padrão percentual, são apresentados na Tabela G.3 e no gráfico da Figura G.7 sob a forma de percentagem em relação ao correspondente valor máximo. As observações, justificações e conclusões são análogas às apresentadas para Lisboa. Seguidamente foram efectuadas simulações com vista a avaliar-se o desempenho da rede relativamente ao produto $p_{pen}p_{ut}$. Começou então por se considerar como cenário de referência um ritmo de 64/128kbps, o cenário de atenuação Pedestre – Profundo, tendo sido consideradas também, percentagens do perfil de atenuação do utilizador idênticas às da Tabela 5.1. Assim sendo, e considerando um produto $p_{pen}p_{ut}$ = 3.0% (1) e seguidamente um produto $p_{pen}p_{ut}$ = 4.0% (2) que equivale, em média, a 12 511 utilizadores activos, obtiveram-se os resultados da Tabela G.4 e Figura G.8. A análise destes resultados é também análoga à explicada para Lisboa.

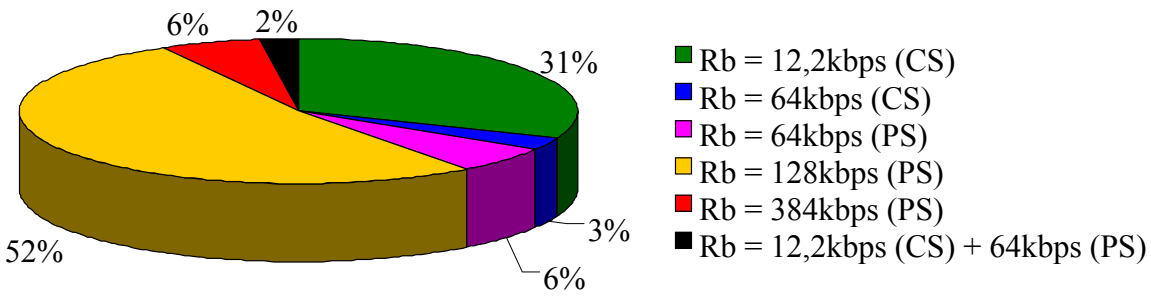


Figura 5.12: Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

Para analisar a dependência dos resultados com o serviço de referência, procedeu-se de forma análoga à de Lisboa. Os gráficos estão apresentados no Anexo M e são análogos aos do Anexo L mas para a cidade do Porto. Também as justificações dos resultados e as respectivas conclusões são idênticas às apresentadas para a cidade de Lisboa.

Também se aumentou a percentagem de utilização do serviço de Voz, Figura 5.13, para um ritmo de referência de 64/128kbps, a fim de se avaliar o desempenho da rede relativamente ao caso anterior considerado, também para 64/128kbps, em que a percentagem de Voz era inferior, Figura 5.10.

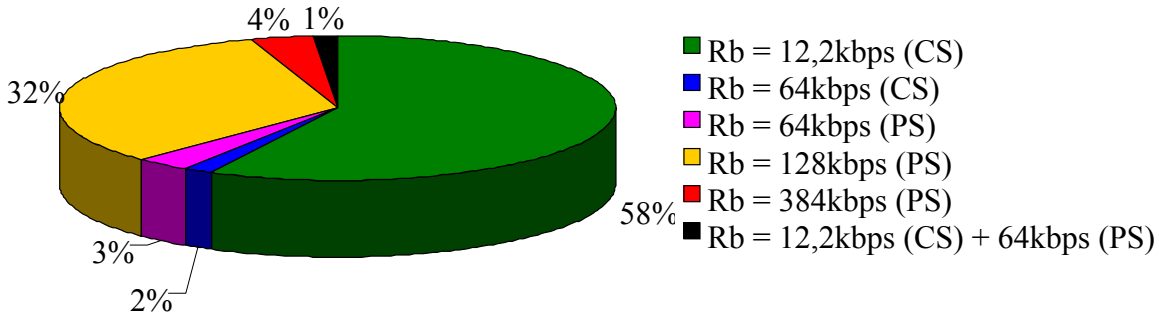


Figura 5.13: Percentagem de serviços oferecidos para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto para maior percentagem de Voz.

O número de chamadas com qualidade inicial mantida é superior, Figura M.26, quando comparado com a situação de menor percentagem de voz, verificando-se um aumento de aproximadamente oito pontos percentuais na percentagem de chamadas por sector acima dos 98% que mantiveram o ritmo de transmissão. No que de diz respeito à percentagem de 1,2,3 ou 4 portadoras, verifica-se que com o aumento da percentagem do serviço de Voz, a percentagem de utilização da quarta portadora é reduzida cerca de 10%, aumentando a percentagem de utilização do número de portadoras abaixo. A análise destes resultados bem como dos outros parâmetros é análoga à feita para Lisboa. Quanto à análise de resultados considerada na secção 5.1.3 esta foi somente abordada para a cidade de Lisboa.

6. Conclusões

O principal objectivo deste trabalho foi o de criar um modelo de tráfego em UMTS adaptado às características das cidades em estudo, nomeadamente Lisboa e Porto, e também o de desenvolver uma ferramenta que permitisse avaliar o desempenho da rede implementada e as implicações decorrentes da variação de alguns parâmetros. Com a realização do mesmo foi possível adquirir uma maior sensibilidade no que diz respeito a limitações e dificuldades que um engenheiro de telecomunicações encontra durante o período de planeamento de uma rede rádio UMTS.

A primeira parte deste trabalho consistiu na consolidação de conceitos relacionados com o UMTS, nomeadamente, a interface ar do sistema, os códigos que utiliza, a estrutura da rede, os serviços disponibilizados e questões relativas a capacidade e interferência. Seguidamente foram abordados alguns aspectos sobre estimação de tráfego, sendo apresentados alguns modelos, concretamente os modelos de [QuAl98] e de [VaCa02], e respectivos pressupostos.

A segunda parte do trabalho iniciou-se pela criação de um modelo de tráfego para Lisboa e Porto, tendo sido estes de seguida aferidos. Posteriormente foi desenvolvida uma ferramenta para implementação do modelo de tráfego e finalmente, após várias simulações, foram analisados alguns resultados com vista a compreender a evolução do desempenho da rede face aos cenários considerados.

Na criação do modelo de tráfego consideraram-se como parâmetros essenciais para a caracterização da população residente durante o dia, o seguinte: a idade, a escolaridade e o nível de rendimentos; tendo sido esta informação recolhida no trabalho de [VaCa02]. Como parâmetros essenciais para a caracterização de trabalhadores, condiderou-se uma divisão dos mesmos em duas classes distintas, Executivos e Outros Profissionais, tendo sido o tráfego médio gerado por cada tipo de utilizador atrás descrito fornecido pela Optimus. Outro tipo de informação essencial foi a caracterização do tipo de zonas das cidades, podendo ser: habitacional denso, edifícios de utilização mista, edifícios de utilização mista, habitacional pouco denso, edifícios industriais, estradas e zonas verdes. O modelo desenvolvido atribui a cada um destes parâmetros um peso relativo de importância, permitindo que as características da população nas cidades em estudo, durante o dia, possam ser facilmente e eficientemente manipuladas de acordo com os objectivos pretendidos. Ainda foi considerado outro tipo de informação correspondente ao cenário operacional, que consiste na percentagem de utilizadores Pedestres e Veiculares (de acordo com a sua localização), e ainda, dentro dos utilizadores Pedestres na percentagem dos que são Pouco Profundo, Profundo, Muito Profundo e Exterior. Esta informação é relevante porque a atenuação de cada utilizador depende desta caracterização tendo um elevado impacto no desempenho do sistema.

Na aferição do modelo de tráfego considerou-se inicialmente uma distribuição de 30% e 70% para Executivos e Outros Profissionais, tanto para Lisboa como para o Porto. No entanto, aquando da intersecção das camadas de tráfego real em GSM e estimado em UMTS para voz, houve necessidade de dividir-se algumas freguesias distribuindo a população de forma a minimizar o erro obtido. Depois de distribuída a população, foi efectuada uma análise de sensibilidade que consistiu em variar tanto o produto $p_{pen}\,p_{ut}$ como as percentagens de Executivos e Outros Profissionais obtendo-se para Lisboa $p_{pen}\,p_{ut}$ = 19 % e 20% e 80% de Executivos e Outros Profissionais, respectivamente, e para o Porto obteve-se $p_{pen}\,p_{ut}$ = 15% e 30% e 70% de Executivos e Outros Profissionais, respectivamente.

No que diz respeito à aplicação desenvolvida, *MapTraffic*, embora seja de simples utilização, torna-se bastante interessante devido ao facto de permitir uma visualização geral da rede depois de gerados os utilizadores e de estabelecidas as ligações, e também por fornecer não somente valores mínimos, médios e máximos relativamente aos parâmetros de avaliação do desempenho da rede considerados, mas também por disponibilizar essa informação por sector. De salientar também que caso o utilizador não esteja em condição de ser servido com o débito pretendido, na maior parte dos casos, salvo raras excepções, a comunicação não falha, antes é--lhe reduzido o débito de serviço até ao valor correspondente do serviço de referência para a sua localização.

Houve a necessidade de considerar uma simplificação na aplicação ao nível temporal, em que esta dependência não é tida em conta, tendo havido necessidade de se recorrer a uma análise baseada em valores médios para várias simulações efectuadas, na tentativa de minimizar o impacto desta simplificação. De notar também que o modelo estabelecido considera tráfego assimétrico em UL e DL.

Em UMTS existem diferentes parâmetros limitadores do número de utilizadores por EB, tendo sido considerados como tal os factores de carga, em UL com um máximo de 50% e em DL com um máximo de 70%, a potência de transmissão da EB e a atenuação por utilizador. Concluiu-se relativamente a estes parâmetros que o mais limitativo era o factor de carga em DL. Contudo e independentemente do cenário considerado em termos da atenuação de utilizador, verificou-se que a limitação relativa à atenuação de utilizador era sempre muito acentuada, aumentando à medida que, como é óbvio, esta aumentava e implicando que os restantes parâmetros da análise do desempenho da rede sofressem um decréscimo devido ao facto existirem menos utilizadores servidos, pois tinham atenuação superior à máxima permitida. No entanto, se os parâmetros considerados para a avaliação do desempenho da rede sofrem um decréscimo com o aumento da atenuação dos utilizadores, por outro lado aumentam com o aumento da penetração, como seria de esperar.

Concluiu-se também que os raios dos sectores diminuem com o aumento da população e com o aumento do débito dos serviços de referência, havendo influência nos valores da probabilidade de bloqueio e de atraso. Na variação do cenário operacional, nomeadamente para Lisboa, obteve-se, com o aumento da atenuação dos utilizadores considerada, um decréscimo de 6 044 para 3 270 utilizadores servidos, ou seja, aproximadamente 50%, concluindo-se que o cenário operacional influencia bastante o sucesso das ligações requeridas na rede. Por outro lado, variando a população, nomeadamente aumentando para Lisboa o parâmetro $p_{pen}\,p_{ut}$ de 1.7% para 2.0% e mantendo o ritmo de referência (64/128kbps) bem como o raio de referência (Pedestre – Profundo), obtém-se para o raio dos sectores $R \in [0.11, 0.28]$km e $R \in [0.13, 0.28]$km, respectivamente, e ainda $P_{b\,med} = 2.4\%$ e $P_{b\,med} = 4.5\%$, respectivamente. Para os ritmos de referência de 64/64kbps, 64/128kbps, 64/384kbps obteve-se os seguintes intervalos para os valores dos raios: $R \in [0.15, 0.28]$km, $R \in [0.11, 0.28]$km e $R \in [0.09, 0.22]$km, respectivamente.

Relativamente ao parâmetro de qualidade que determina a percentagem de utilizadores cuja ligação mantém a mesma qualidade requerida (ou rimo requerido, *Good Calls*) conclui-se que para serviços de referência com débitos superiores, o valor tende para o seu máximo (100%). No caso do serviço de referência ser o 64/384PS nenhum utilizador poderá ser servido com um débito inferior.

Concluiu-se também que a capacidade de cada sector não é muito sensível ao aumento da densidade de utilizadores, ou seja, da penetração, uma vez que o raio deste sofre uma diminuição, diminuindo também a capacidade dos sectores para serviços de referência com débito mais elevado. Para a cidade do Porto os raios médios foram reduzidos em menor percentagem do que em Lisboa e as probabilidades de atraso e de bloqueio foram ligeiramente inferiores, próprio de uma cidade com uma densidade populacional inferior, uma vez que no Porto se usou uma penetração muito superior à usada em Lisboa.

No que diz respeito à variação do raio de referência concluiu-se que, com o seu aumento, aumenta também o número de utilizadores em *soft handover* e diminui o número de utilizadores sem cobertura sendo possível, do ponto de vista de cobertura, abranger toda a cidade. No entanto, devido a limitações de capacidade e interferência impostas pelo uso máximo de 4 portadoras e carga máxima de 50% e 70% para UL e DL, respectivamente, torna-se difícil permitir um número de ligações bem sucedidas para um valor de $p_{pen}\,p_{ut}$ elevado. Concretamente, obteve-se em média para o caso de Lisboa, tendo-se considerado uma probabilidade média de bloqueio aceitável (≈ 2%) e o raio máximo corrrespondente a Pedestre – Exterior, 4 utilizadores fora do raio máximo das EBs e 1 613 utilizadores servidos para $p_{pen}\,p_{ut} = 0.2\%$ que equivale, em média, a 1 806 utilizadores activos. Conclui-se portanto que, para se poder servir um elevado número de utilizadores espalhados aleatoriamente por toda a cidade, há necessidade de aumentar-se o número de EBs espalhadas pela mesma.

Após a realização deste trabalho concluiu-se que um projecto de engenharia desta dimensão é, para além de vasto relativamente a todas as considerações que se devem ter em conta, também muito trabalhoso, uma vez que se prende com questões relacionadas com a pesquisa de informação de modo a que os diferentes modelos (propagação, cobertura) sejam definidos de forma apropriada para a cidade em estudo. Ainda mais porque no presente trabalho não foi possível recorrer a dados reais de tráfego em UMTS, uma vez que estes não existem, pelo que muitas considerações por vezes menos realistas, como é o caso da utilização de serviços, têm de ser efectuadas. No entanto, este trabalho aborda o planeamento de uma rede UMTS de uma forma mais realista com a introdução de: diferentes tipos de utilizadores, no que diz respeito à mobilidade e atenuação complementar; de diferentes potências de emissão consoante o tipo de serviço; de uma rede sectorizada com a possibilidade de utilização de 4 frequências simultaneamente; da assimetria de tráfego em UL/DL; da forma como são tratadas as ligações; etc.

Em trabalho futuro sugerem-se algumas alterações de modo a complementar o trabalho aqui apresentado, ultrapassando algumas aproximações efectuadas. Propõe-se então que futuramente haja um estudo mais profundo das características da população, que haja também a possibilidade de se seleccionar um modelo de propagação adequado a cada zona da cidade, em que se possa ter em conta o relevo do terreno e as irregularidades nas alturas dos edifícios. Deverão também ser usadas antenas não isotrópicas, mas sim antenas cujo diagrama de radiação é equiparável ao usado nas redes celulares, introduzindo-se ganhos direccionais. Deverá abordar-se o *soft handover* de forma mais correcta, ou seja, caso um utilizador seja contabilizado em mais do que uma EB, deverá ter-se em conta o menor débito disponível pelas EBs às quais esta ligado, bem como limitar o número de ligações em *soft handover* por utilizador. Por fim, aconselha-se a utilização de uma ferramenta que possibilite lidar com a questão temporal e que permita simulações mais rápidas.

Anexo A – Códigos em UMTS

A tecnologia CDMA usa um único código de espalhamento para espalhar a banda base antes da transmissão [Poss00]. O receptor usa então um correlador para obter o sinal antes do espalhamento, que é passado através de um filtro passa banda estreito. Sinais indesejados não vão ser descodificados e não irão passar pelo filtro. Estes códigos tomam a forma de uma sequência de zeros e uns cuidadosamente dimensionada, e produzida a uma taxa bastante maior que a dos dados da banda base. Os códigos CDMA não providenciam a segurança de um chamada, mas criam uma identidade única que permite a identificação dessa chamada. Os códigos não devem correlacionar-se com outros códigos nem com imagens próprias atrasadas no tempo. Esta técnica distingue os utilizadores codificando a informação destes com códigos ortogonais.

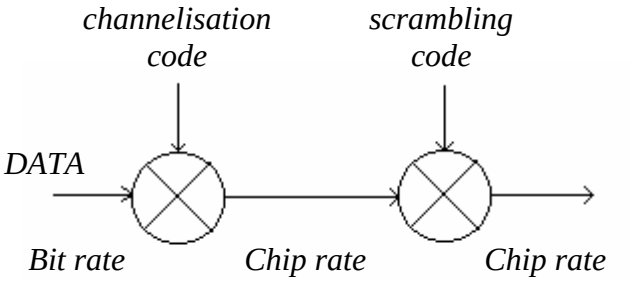


Figura A.1: Utilização de códigos em UMTS (extraído de [HoTo00]).

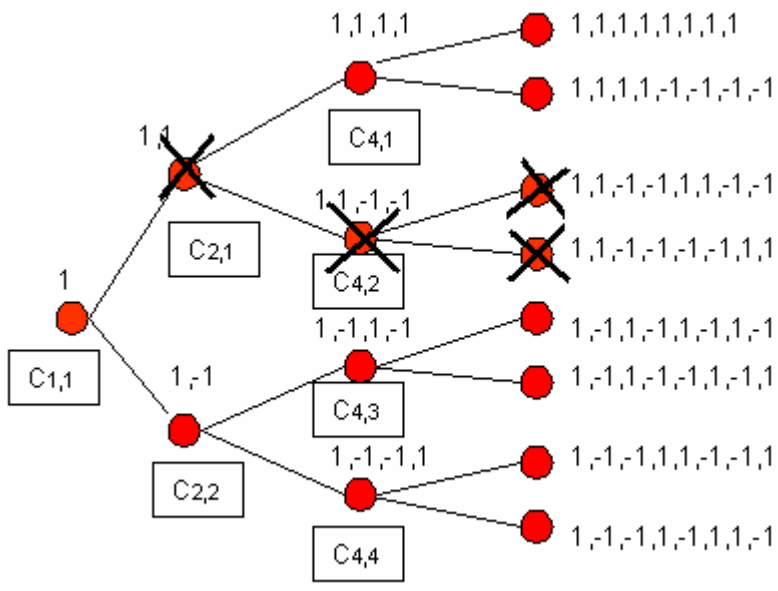


Figura A.2: Exemplo de uma árvore de código OVSF (adaptado de [UMTS01]).

Tabela A.1: Códigos UMTS e sua funcionalidade (extraído de [Poss00]).

	Channelisation Codes		***Scrambling Codes***	
	UL	**DL**	**UL**	**DL**
Função	Separar dados físicos e de controlo do mesmo terminal	Separar a ligação a diferentes terminais na mesma célula	Separação do terminal	Separação dos sectores
Família de Códigos	OVSF	OVSF	*Gold Code* (longo) ou *Extended S(2) code* (curto)	*Extended Gold Code Segments*
Comprimento	4-256 *chips*	4-512 *chips*	38 400 *chips* / 256 *chips*	38 400 *chips*
Duração	1.04 µs - 66.7 µs	1.04 µs - 133.34 µs	10 ms / 66.67 µs	10 ms
Número de códigos	= factor de espalhamento 4 ... 256	= factor de espalhamento 4 ... 512	> 1 000 000	512 primários / 15 secundários para cada código primário
Espalhamento	Sim. Aumenta largura de banda	Sim. Aumenta largura de banda	Não. Não muda largura de banda	Não. Não muda largura de banda

Tabela A.2: Parâmetros principais da interface WCDMA (extraído de [QuSc00]).

Método de acesso múltiplo	DS-CDMA
Método de multiplexagem	FDD/TDD
Sincronização das EBs	Operação assíncrona
Banda nominal	5 MHz
Factor de reutilização de frequência	1
Frequência de controlo de potência	1500 Hz
Chip rate	3.84 Mcps
Duração da trama	10 ms
Multiplexagem de serviços	Serviços com diferentes exigências de qualidade de serviço multiplexados numa única ligação
Conceito multi-ritmo	Factor de espalhamento variável e multicódigo

Anexo B – Factores de Carga

Como já foi referido, o dimensionamento de uma rede de comunicações móveis requer cuidados especiais relativamente à localização de uma EB, sob pena desta poder vir a sofrer interferências causadas por EBs adjacentes e também devido ao facto de existirem limitações do sistema diferentes para UL e DL. Considerando as diferentes limitações em cada caso, e a identificando o caso mais exigente, dimensiona-se a rede. Assim sendo, são apresentados os factores de carga em UL e DL e os seus parâmetros característicos.

B.1 Factor de Carga em UL

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

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

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* e $\left(G_p\right)_j$ é o ganho de processamento do utilizador *j*.

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

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

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* e I_{total} é a potência total do sinal de banda larga recebido, incluindo a potência do ruído térmico na EB.

Colocando (B.2) em função da potência do sinal recebido do utilizador obtém-se,

$$P_j = \frac{I_{total}}{1 + \frac{R_c}{\left(E_b/N_0\right)_j R_j \upsilon_j}} \tag{B.3}$$

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

$$P_j = L_j I_{total} \tag{B.4}$$

Conclui-se então que, nas condições apresentadas, o factor de carga é definido por,

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

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

$$I_{total} - P_N = \sum_{J=1}^{N} P_j = \sum_{j=1}^{N} L_j I_{total} \Leftrightarrow P_N = \left(1 - \sum_{j=1}^{N} L_j\right) I_{total} \tag{B.6}$$

Definindo a margem de interferência, M_I,como o quociente entre a potência total recebida e a potência de ruído dado por (B.7), sendo η_{UL} o factor de carga global em UL obtém-se,

$$M_{I\ UL[\mathrm{dB}]} = 10\log\left(\frac{I_{total}}{P_N}\right) = -10\log\left(1 - \sum_{j=1}^{N} L_j\right) = 10\log\left(\frac{1}{1-\eta_{UL}}\right) \tag{B.7}$$

Quando η_{UL} se aproxima da unidade, M_I tende para infinito, o que significa ter-se alcançado o estado de capacidade máxima do sistema.

Torna-se também necessário contabilizar a interferência imposta pelas células adjacentes, traduzindo-se no factor de carga dado por (B.8), em que *i* representa o quociente entre a interferência proveniente de outras células e a interferência da célula em questão,

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

B.2 Factor de Carga em DL

O factor de carga em DL define-se de forma análoga ao de UL. No entanto, existem agora limitações relacionadas com o número máximo de utilizadores admitidos numa célula, ou seja, com questões de acesso múltiplo. Têm-se então que considerar parâmetros adicionais face ao caso de UL. Assim sendo, o factor de carga é dado por (B.9), em que α_j representa o factor de ortogonalidade em DL.

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

Como foi mencionado na Secção 2.1, W-CDMA utiliza códigos diferentes para identificar cada utilizador, e se não houver multipercurso, então a ortogonalidade entre os códigos mantém-se inalterável. No entanto, se existir determinado atraso no canal rádio, o TM_j poderá descodificar parte de um sinal de outro utilizador, sendo este, interferência. Em DL o valor de i_j difere de utilizador para utilizador tendo em conta a sua localização na célula. Analogamente a UL, a margem de interferência em DL, é agora dada por,

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

Como é possível observar na Figura B.1, valores de $\eta_{UL,DL}$ superiores a 70 % implicam que M_I aumente muito rapidamente para pequenas variações do factor de carga.

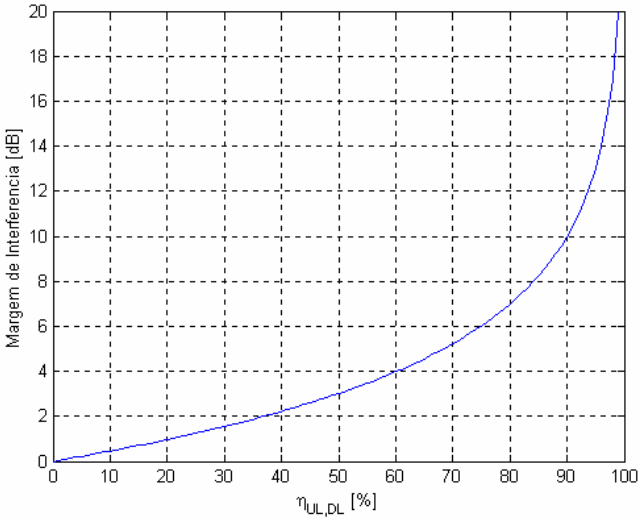


Figura B.1: Evolução da margem de interferência em função do factor de carga do sistema em UL/DL.

B.3 Potência de Transmissão da EB

Ao efectuar-se o dimensionamento para DL, torna-se importante estimar-se a potência de transmissão total necessária de uma dada EB (B.11), contabilizando esta a potência média requerida por cada utilizador.

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

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

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

A temperatura do quadripólo pode ser dada por,

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

em que T_0 é a temperatura de referência e F é o factor de ruído do receptor.

Tem-se então (B.14) e considerando as condições normais de trabalho, T_0 = 300 K, a equação anterior simplifica-se para (B.15).

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

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

B.4 Valores utilizados

A Tabela B.1 apresenta os valores relativos aos parâmetros descritos anteriormente, que foram utilizados no trabalho. No entanto, os valores para υ_j apresentados na tabela anterior são apenas teóricos. Na realidade, os valores tomados em consideração neste trabalho foram baseados em [SeFC02]. Este trabalho [SeFC02], apesar de considerar o factor de actividade, υ_j, por serviço, permitiu ter-se uma ideia mais realista do mesmo. Para isso, procedeu-se ao seu cálculo estabelecendo-se um intervalo de variação do factor de actividade de acordo com os valores do factor de actividade por ritmo de transmissão para cada serviço considerado. Depois de estabelecido o intervalo por ritmo, calcularam-se os valores médios para cada intervalo, resultando os valores contidos na Tabela B.2. A Tabela B.3 apresenta os valores correspondentes à carga em UL e DL teórica e real, respectivamente.

Tabela B.1: Valores utilizados para os parâmetros considerados no dimensionamento.

Ritmo (UL/DL) [kbps]	$\upsilon_{j\ teórico}$		α_j **(DL)**		i_j	i
	UL	**DL**	**Pedestre**	**Veicular**		
Voz 12.2 / 12.2 (CS)	0.5	0.5	0.6	0.3	0.6	0.65
64 / 64 (CS)	1	1				
64 / 64 (PS)	1	1				
64 / 128 (PS)	1	1				
64 / 384 (PS)	1	1				

Tabela B.2: Valores para o factor de actividade.

Ritmo (UL/DL) [kbps]	$\upsilon_{j\ real}$	
	UL	**DL**
Voz 12.2 / 12.2 (CS)	0.65	0.65
64 / 64 (CS)	0.825	0.825
64 / 64 (PS)	0.825	0.825
64 / 128 (PS)	0.825	0.7695
64 / 384 (PS)	0.825	0.5965

Outro parâmetro considerado foi a assimetria entre canais UL e DL. Essa informação foi fornecida pela Optimus e é apresentada na Tabela B.4. No entanto, essa informação não foi considerada por serviço, mas sim por ritmo de transmissão, devido à forma de como foi implementada a aplicação *MapTraffic*. Assim sendo, agruparam-se os serviços com o mesmo ritmo de transmissão, e da Tabela B.4 verificou-se qual dos serviços dentro de cada grupo possuía o factor de assimetria em DL mais elevado, tendo sido esse, o valor considerado.

Para UL, dentro de cada grupo de serviços com o mesmo ritmo, tomou-se em consideração o valor mais baixo do factor de assimetria em DL, subtraiu-se esse valor a 1, resultando assim o valor máximo para o factor de assimetria em UL, correspondente a cada ritmo de transmissão. Ao serem considerados os valores máximos para o factor de assimetria em UL e DL, existirá um sobredimensionamento da rede, que no entanto, é preferível a uma análise deficiente da mesma. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela B.5.

Tabela B.3: Valores de carga teóricos e reais em UL/DL por utilizador.

Ritmo (UL/DL) [kbps]	Cenário de Mobilidade	Carga teórica por utilizador [%]		Carga real por utilizador [%]	
		UL	DL	UL	DL
12.2 / 12.2 (CS)	Pedestre	0.79	0.83	1.03	1.08
	Veícular	1.02	1.43	1.33	1.86
64 / 64 (CS)	Pedestre	5.36	8.55	4.42	7.05
	Veícular	7.07	14.32	5.83	11.81
64 / 64 (PS)	Pedestre	5.12	7.28	4.22	6.00
	Veícular	6.30	13.06	5.20	10.77
64 / 128 (PS)	Pedestre	5.12	12.38	8.45	9.53
	Veícular	6.30	23.27	10.39	17.91
64 / 384 (PS)	Pedestre	5.12	43.65	25.35	26.04
	Veícular	6.30	76.55	31.18	45.66

Tabela B.4: Factor de assimetria em DL.

Serviço	Ritmo (UL/DL)	Factor de assimetria em DL
Messaging	**64 / 128 (PS)**	0.67
Web Browsing	**64 / 128 (PS)**	0.90
Intranet	**64 / 384 (PS)**	0.90
Video Conference	**64 / 64 (CS)**	0.50
LBS	**64 / 64 (PS)**	0.90
Video on Demand	**64 / 384 (PS)**	1.00
Music on Demand	**64 / 128 (PS)**	1.00
Games on Demand	**64 / 128 (PS)**	0.80
Applications on Demand	**64 / 128 (PS)**	0.90
Voice	**12.2 / 12.2 (CS)**	0.50

Tabela B.5: Valores máximos para o factor de assimetria em UL e DL.

Ritmo (UL/DL) [kbps]	Factor de assimetria	
	UL	DL
12.2 / 12.2 (CS)	0.5	0.5
64 / 64 (CS)	0.5	0.5
64 / 64 (PS)	0.1	0.9
64 / 128 (PS)	0.33	1
64 / 384 (PS)	0.1	1

Contabilizada a carga, tanto em UL como em DL, por utilizador e considerando também o factor de assimetria, é agora possível estimar-se o número máximo de utilizadores por sector, sabendo que a carga máxima total em UL é de 50% e em DL de 70%, Tabela B.6.

Tabela B.6: Número máximo de utilizadores, por sector, limitados pela carga.

Ritmo (UL/DL) [kbps]	**Cenário de Mobilidade**	**Factor de assimetria (UL) × η_{UL}**	**Factor de assimetria (DL) × η_{DL}**	**Número máximo de utilizadores**	**Limitação**
12.2 / 12.2 (CS)	Pedestre	0.51	0.54	97	UL
	Veicular	0.66	0.93	75	UL = DL
64 / 64 (CS)	Pedestre	1.77	3.53	19	DL
	Veicular	2.33	5.91	11	DL
64 / 64 (PS)	Pedestre	0.42	5.40	13	DL
	Veicular	0.52	9.69	7	DL
64 / 128 (PS)	Pedestre	2.79	9.53	7	DL
	Veicular	3.43	17.91	3	DL
64 / 384 (PS)	Pedestre	2.54	26.04	2	DL
	Veicular	3.12	45.66	1	DL

Conclui-se que em DL, de uma maneira geral, se servem menos utilizadores. Verifica-se então à partida, que o sentido limitativo da ligação será DL, pois apesar de poder admitir mais carga, (70 % vs 50 %), admite menor número de utilizadores do que em UL. No caso da Voz e para um utilizador pedestre verifica-se que a limitação ocorre para o UL, visto os serviços serem simétricos, do ponto vista do canal (volume de dados) e da actividade, e que apesar de o E_b/N_0 em DL ser superior, a carga máxima disponível em UL (50 %) é inferior à carga disponível em DL (70 %).

Anexo C – Balanços de Potência

Para o dimensionamento da cobertura celular e posterior planeamento é necessário avaliar a atenuação máxima de propagação admitida numa dada célula. Assim sendo, há que efectuar o equilíbrio das ligações ascendente e descendente uma vez que as ligações são bidireccionais, e levar em conta as diferenças entre os TMs e as EBs. Devido à bidireccionalidade das ligações, há necessidade de se efectuar este dimensionamento em UL e DL separadamente, uma vez que a comunicação apresenta características distintas em cada um dos sentidos, nomeadamente entre os TMs e EBs.

C.1 Aspectos Genéricos

A atenuação de propagação é dada por [Corr03]:

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

em que: 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 e $EIRP$ é a potência de emissão radiada isotropicamente.

O cálculo da $EIRP$ depende do sentido da ligação, logo para o sentido de transmissão descendente, DL, em que o emissor é a EB, tem-se:

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

em que: P_{Tx} é a potência de saída da EB e L_c são as perdas nos cabos entre a EB e o TM.

Para o cálculo da potência de recepção no sentido descendente, ou seja, no TM, tem-se:

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

em que: P_{Rx} é a potência à entrada do TM e L_u é a atenuação devido à presença do utilizador.

Os valores para estas grandezas foram fornecidos pela Optimus e encontram-se na Tabela C.1.

Para o sentido de transmissão ascendente, UL, em que se considera como emissor o TM tem--se que:

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

em que: P_{Tx} é a potência de saída do TM.

A potência recebida pela EB é dada por:

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

em que: P_{Rx} é a potência à entrada da EB.

Caso se use diversidade em recepção, deve-se ter em conta o respectivo ganho:

$$G_{r\,div[\mathrm{dB}]} = G_{r[\mathrm{dBi}]} - L_{c[\mathrm{dB}]} + G_{div[\mathrm{dB}]} \tag{C.6}$$

em que: $G_{r\,div}$ é o ganho total na recepção com diversidade e G_{div} é o ganho de diversidade que está incluído nos valores de E_b/N_0. Os valores para estas grandezas foram fornecidos pela Optimus e encontram-se na Tabela C.2. Os valores para E_b/N_0 consideram que um utilizador Pedestre se desloca a 3 km/h e o Veicular a 120 km/h. Estes valores foram também fornecidos pela Optimus e encontram-se na Tabela C.3.

Tabela C.1: Valores no sentido descendente da ligação, DL.

Parâmetros		Valores
$P_{Tx\,max}$ [dBm]		43
$P_{DL\,max}$ [dBm]	12.2 CS	31
	64 CS	38
	64 PS	39.6
	128 PS	37
	384 PS	38.9
G_e [dBi]		17
L_c [dB]		3
L_u [dB]	Voz	3
	Dados	1
G_r [dBi]		0

Os valores para estas grandezas foram também fornecidos pela Optimus e encontram-se na Tabela C.2. No entanto, para um balanço completo de potências da comunicação é necessário considerar outros parâmetros comuns em ambas as direcções de UL e DL, nomeadamente a sensibilidade do receptor, a qual depende do serviço e é dada por:

$$P_{RX\,mín[\mathrm{dB}]} = N_{[\mathrm{dBm}]} - G_{p[\mathrm{dB}]} + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{[\mathrm{dB}]} \tag{C.7}$$

em que: N é a potência total de ruído, G_p é o ganho de processamento e E_b/N_0 consiste na relação entre energia de *bit* e o valor médio da potência de ruído, que varia por serviço requerido.

O valor total da potência de ruído é dado por:

$$N_{[\mathrm{dBm}]} = N_{0[\mathrm{dBm}]} + M_{I\,[\mathrm{dB}]} \tag{C.8}$$

em que: N_0 é o valor médio da potência de ruído e M_I é a margem de interferência. O valor médio da potência de ruído pode ser dado por:

$$N_{0[\mathrm{dBm}]} = -174 + 10\log\left(\Delta f_{[\mathrm{Hz}]}\right) + F_{[\mathrm{dB}]} \tag{C.9}$$

em que Δf é a largura de banda do sinal, tomada neste caso como o ritmo de codificação, R_c = 3.84 Mc/s, e F é o factor de ruído, que no caso da EB F é igual a 3.5 dB e no caso do TM F é igual a 8 dB.

Tabela C.2: Valores no sentido ascendente da ligação, UL.

Parâmetros		Valores
P_e [dBm]	Voz	21
	Dados	24
G_e [dBi]		0
L_u [dB]	Voz	3
	Dados	1
L_c [dB]		3
G_r [dBi]		17
G_{div} [dB]		3

Relativamente ao ganho de processamento, G_p, utiliza-se a seguinte expressão:

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

em que R_b é o ritmo de transmissão associado ao serviço.

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

Ritmo [kbps]	Cenários	E_b/N_0 [dB]	
		UL	DL
12.2 / 12.2 (CS)	**Pedestre**	4.8	7.2
	Veícular	5.9	8.4
64 /64 (CS)	**Pedestre**	2.9	7.1
	Veícular	4.1	8.2
64 / 64 (PS)	**Pedestre**	2.7	6.4
	Veícular	3.6	7.8
64 / 128 (PS)	**Pedestre**	2.7	5.7
	Veícular	3.6	7.3
64 / 384 (PS)	**Pedestre**	2.7	6.4
	Veícular	3.6	7.7

Para prevenir o aparecimento de eventuais oscilações que possam ocorrer na rede durante a comunicação, há ainda que contabilizar várias margens que assegurem a manutenção da comunicação. Para tal há que considerar uma margem de segurança, M, dada por:

$$M_{[dB]} = M_{F\ SF[dB]} + M_{F\ FF[dB]} - G_{SH[dB]} + L_{int[dB]} \tag{C.11}$$

em que: $M_{F\ SF}$ é a margem de desvanecimento lento, $M_{F\ FF}$ é a margem de desvanecimento rápido, G_{SH} é o ganho de *soft handover*, L_{int} é a atenuação adicional devido a perdas em interiores. Estes valores foram fornecidos pela Optimus e encontram-se na Tabela C.4.

Tabela C.4: Valores para a margem de segurança.

Cenários de atenuação	$M_{F\ SF}$ **[dB]**	$M_{F\ FF}$ **[dB]**		G_{SH} **[dB]**	L_{int} **[dB]**
		Ped.	Vei.		
Exterior	4.5	0.7	1	3.5	0
Pouco Profundo	7.5				11
Profundo	7.0				21
Muito Profundo	7.0				25

C.2 Cálculo dos Balanços de Potência

Efectuaram-se os cálculos necessários para o dimensionamento da rede, obtendo-se 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. Os resultados apresentam-se nas Tabelas C.5 e C.6, para os canais $f_{UL} = 1922{,}5\,\text{MHz}$ e $f_{DL} = 2112{,}5\,\text{MHz}$, sendo o valor $d_{\max}$ dado pelo modelo de propagação.

Tabela C.5: Resultados de *link budget*.

Ritmo (UL/DL) [kbps]	**Tipo de Ligação**	***EIRP* [dBm]**	***N* [dBm]**	G_r **[dBi]**	G_p **[dB]**
12.2 / 12.2 (CS)	**UL**	18	-101.6	17	24.98
	DL	45	-94.9	0	24.98
64 / 64 (CS)	**UL**	23	-101.6	17	17.78
	DL	52	-94.9	0	17.78
64 / 64 (PS)	**UL**	23	-101.6	17	17.78
	DL	53.6	-94.9	0	17.78
64 / 128 (PS)	**UL**	23	-101.6	17	17.78
	DL	51	-94.9	0	14.77
64 / 384 (PS)	**UL**	23	-101.6	17	17.78
	DL	52.9	-94.9	0	10.00

Tabela C.6: Balanços de potência para os diferentes serviços considerados.

Tipo de Cenário	Ritmo (UL/DL) [kbps]	Tipo de Ligação	$P_{RX\ min}$ [dBm]	$L_{p\ Max}$ [dB]	d_{max} [km]	Limitação
Veicular (M = 11 dB)	**12.2 / 12.2 (CS)**	**UL**	-120.7	140.8	0.574	UL
		DL	-111.5	141.7		
	64 / 64 (CS)	**UL**	-115.3	137.5	0.470	UL
		DL	-104.5	141.6		
	64 / 64 (PS)	**UL**	-115.8	137.7	0.476	UL
		DL	-104.9	143.9		
	64 / 128 (PS)	**UL**	-115.8	137.7	0.476	UL
		DL	-102.3	138.9		
	64 / 384 (PS)	**UL**	-115.8	137.7	0.414	DL
		DL	-97.2	135.4		
Pedestre Exterior (M = 0 dB)	**12.2 / 12.2 (CS)**	**UL**	-121.8	155.1	1.366	UL
		DL	-112.7	156.0		
	64 / 64 (CS)	**UL**	-116.5	151.8	1.118	UL
		DL	-105.6	155.9		
	64 / 64 (PS)	**UL**	-116.7	152.0	1.132	UL
		DL	-106.3	158.2		
	64 / 128 (PS)	**UL**	-116.7	152.0	1.132	UL
		DL	-103.9	153.2		
	64 / 384 (PS)	**UL**	-116.7	152.0	0.985	DL
		DL	98.5	149.7		
Pedestre Pouco Profundo (M = 11 dB)	**12.2 / 12.2 (CS)**	**UL**	-121.8	141.1	0.585	UL
		DL	-112.7	142.0		
	64 / 64 (CS)	**UL**	-116.5	137.8	0.479	UL
		DL	-105.6	141.9		
	64 / 64 (PS)	**UL**	-116.7	138.0	0.485	UL
		DL	-106.3	144.2		
	64 / 128 (PS)	**UL**	-116.7	138.0	0.485	UL
		DL	-103.9	139.2		
	64 / 384 (PS)	**UL**	-116.7	138.0	0.422	DL
		DL	-98.5	135.7		
Pedestre Profundo (M = 21 dB)	**12.2 / 12.2 (CS)**	**UL**	-121.8	131.6	0.329	UL
		DL	-112.7	132.5		
	64 / 64 (CS)	**UL**	-116.5	128.3	0.269	UL
		DL	-105.6	132.4		
	64 / 64 (PS)	**UL**	-116.7	128.5	0.272	UL
		DL	-106.3	134.7		
	64 / 128 (PS)	**UL**	-116.7	128.5	0.272	UL
		DL	-103.9	129.7		
	64 / 384 (PS)	**UL**	-116.7	128.5	0.237	DL
		DL	-98.5	126.2		
Pedestre Muito Profundo (M = 25 dB)	**12.2 / 12.2 (CS)**	**UL**	-121.8	127.6	0.258	UL
		DL	-112.7	128.5		
	64 / 64 (CS)	**UL**	-116.5	124.3	0.211	UL
		DL	-105.6	128.4		
	64 / 64 (PS)	**UL**	-116.7	124.5	0.214	UL
		DL	-106.3	130.7		
	64 / 128 (PS)	**UL**	-116.7	124.5	0.214	UL
		DL	-103.9	125.7		
	64 / 384 (PS)	**UL**	-116.7	124.5	0.186	DL
		DL	-98.5	122.2		

Verifica-se que em ambiente Pedestre Exterior, a distância máxima de cobertura da EB é superior face ao ambiente Veicular. Tal deve-se à sujeição do sinal a questões relacionadas com a mobilidade e efeito de Doppler, respectivamente. Comparando o mesmo serviço em termos da comutação considerada, verifica-se que a distância máxima permitida é muito semelhante.

Anexo D – Aspectos Básicos de Tráfego

Os diferentes serviços em UMTS apresentam diferentes pré-requisitos relativamente à assimetria entre canais ascendente e descendente, ao débito binário bem como ao modo de comutação. É de esperar que o serviço de voz, vídeo-telefonia, que são serviços simétricos, e outros serviços em tempo real como a vídeo-conferência necessitem de uma ligação permanente para que sejam assegurados os requisitos de QoS no que diz respeito a atraso. Por esta razão, estes serviços são feitos em comutação de circuitos, enquanto que os serviços assimétricos, multimédia em geral, são feitos em comutação de pacotes, visto os requisitos de QoS não serem tão exigentes. A seguir é apresentada uma descrição sucinta destes dois tipos de comutação.

A comutação de circuitos é usada, por exemplo, nas redes telefónicas públicas e apresenta algumas características que interessa aqui destacar: existe um atraso inicial para o estabelecimento do circuito físico; depois de estabelecido o circuito físico a transferência de dados é feita a uma taxa constante, sem atrasos assinaláveis nos nós intermédios; quando dois nós (origem/destino) estão em comunicação, estes encontram-se totalmente inacessíveis para terceiros; a gestão dos recursos efectuada pela rede é muito deficiente pois os recursos necessários à comunicação ficam reservados durante toda esta, independentemente da sua utilização; sob taxas de utilização muito elevadas, a rede pode simplesmente recusar o estabelecimento do circuito por falta de recursos.

A comutação de pacotes introduz uma série de possibilidades que não existiam na comutação de circuitos e anula alguns dos seus inconvenientes, como por exemplo: a utilização dos recursos é muito mais eficiente pois as linhas apenas são ocupadas durante o tempo necessário à transferência das mensagens entre os nós; por muito elevada que seja a utilização existe sempre a possibilidade de os pacotes circularem, embora com atrasos devido a tempos de espera nos nós; não existe necessidade de o nó de destino estar activo, a rede pode armazenar os pacotes e entregá-los mais tarde; os atrasos nos nós são significativos; os pacotes podem ter diversos destinos sendo copiados pela rede de modo a serem entregues a todos eles; uma vez que os pacotes são transmitidos sucessivamente entre nós consecutivos o controlo de fluxo e erros pode ser realizado pela própria rede; a rede pode ser heterogénea, nomeadamente com velocidades de transmissão distintas no seu interior; fica aberto caminho para a definição de graus de prioridade, em cada saída de cada nó existe uma fila de espera.

Para além das diferentes características e eficiências salientadas em relação aos dois tipos de comutação, resta referir também que lhes estão associadas diferentes qualidades de serviço. Em comutação de circuitos, a QoS é medida pela probabilidade de bloqueio e em comutação de pacotes, a QoS é medida pelo atraso [Corr03]. Considerando que as chamadas são geradas com uma taxa média λ (com distribuição exponencial), a duração média das chamadas é $\bar{\tau}$, a que corresponde a taxa de serviço média:

$$\mu = \frac{1}{\bar{\tau}} \tag{D.1}$$

(com distribuição exponencial), tem-se então para o tráfego oferecido a seguinte expressão:

$$A_{[Erl]} = \lambda\bar{\tau} = \frac{\lambda}{\mu} \tag{D.2}$$

Num sistema sem fila de espera, cada utilizador que requer um serviço, ou tem acesso imediato ou é bloqueado e fica livre para tentar novamente mais tarde. Neste tipo de sistemas as chamadas bloqueadas são perdidas. O modelo para a probabilidade de bloqueio e que mede o grau de serviço (GOS – ***G**rade **o**f **S**ervice*) em CS é conhecido como **Modelo de *Erlang* B** ($M/M/N_{TCH}/N_{TCH}$). Este modelo considera que todos os assinantes, incluindo os bloqueados, podem solicitar uma chamada em qualquer instante; os canais livres estão totalmente disponíveis até que todos estejam ocupados; a probabilidade de um assinante ocupar um canal tem distribuição exponencial e as chamadas de maior duração têm menor probabilidade de ocorrer [Rego02]. Considerando então que a geração de chamadas segue uma distribuição de *Poisson*, o sistema não tem memória e as chamadas não servidas são perdidas, a probabilidade de bloqueio, P_b, para um tráfego oferecido A, é dada por [Corr03]:

$$P_b(A, N_{TCH}) = \frac{\dfrac{A^{N_{TCH}}}{N_{TCH}!}}{\displaystyle\sum_{n=0}^{N_{TCH}} \frac{A^n}{n!}} \tag{D.4}$$

em que N_{TCH} é o número de canais. Quando $N_{TCH} >> 1$, a probabilidade de bloqueio é dada aproximadamente por:

$$P_b(A, N_{TCH}) = \frac{A^{N_{TCH}}}{N_{TCH}!} e^{-A} \tag{D.5}$$

Para PS tomam-se basicamente os mesmos pressupostos de CS, com excepção no que se refere à duração dos pacotes, diferenciando-se duas situações distintas: a duração dos pacotes segue uma qualquer distribuição, que não a exponencial ou então a duração dos pacotes é fixa (determinística) [Corr03]. A caracterização do tráfego, que habitualmente é medido em kbps, depende, dentre outros factores, dos protocolos, do tipo de aplicações/serviços e da dimensão dos pacotes. Um modelo de tráfego habitualmente considerado neste tipo de comutação é o Modelo de *Pollaczek-Khinchin* (*M/G/1*). Este modelo descreve um sistema de pacotes com um único servidor, em que a geração de chamadas segue uma distribuição de *Poisson* e com a duração descrita por uma distribuição genérica com $\bar{\tau}$ e σ_c. O tempo médio de espera dos pacotes é:

$$\overline{\tau_{del}} = \frac{\bar{\tau}}{2} \frac{\lambda\bar{\tau}}{1-\lambda\bar{\tau}} \left(1 + \frac{\sigma_\tau^2}{\bar{\tau}^2}\right) \tag{D.6}$$

Quando a duração dos pacotes segue uma distribuição exponencial (*M/M/1*), resulta que:

$$\overline{\tau_{del}} = \bar{\tau} \frac{\lambda\bar{\tau}}{1-\lambda\bar{\tau}} \tag{D.7}$$

Neste caso, a situação de se ter uma capacidade finita, N_{buf}, conduz a um sistema ($M/M/1/N_{buf}$) que apresenta a seguinte probabilidade de *overflow*:

$$P_{over} = \frac{1-\lambda\bar{\tau}}{1-\left(\lambda\bar{\tau}\right)^{N_{buf}+1}}\lambda\bar{\tau}^{N_{buf}} \tag{D.8}$$

sendo a taxa de pacotes efectivamente processada,

$$\lambda_{pro} = \lambda\left(1-P_{over}\right) \tag{D.9}$$

No caso de a duração dos pacotes ser fixa (*M/D/1*) tem-se:

$$\overline{\tau_{del}} = \frac{\bar{\tau}}{2}\frac{\lambda\bar{\tau}}{1-\lambda\bar{\tau}} \tag{D.10}$$

Os modelos de tráfego considerados anteriormente são adaptados às redes fixas. Desta forma, considera-se uma aproximação para as redes móveis [Corr03]. As diferenças básicas entre ambos têm a ver com o facto da população estar longe de ser infinita e de variar de célula para célula, da mobilidade dos utilizadores não ser contabilizada, das estratégias de *handover* não serem consideradas, etc. Além disso, as diferenças entre o GSM e o UMTS impõem abordagens diferentes relativamente à modelação de tráfego. No entanto, os modelos de tráfego para redes fixas são usados para uma primeira estimativa e análise de capacidade e desempenho em redes móveis.

Anexo E – Informação referente a [VaCa02]

Tabela E.1: Percentagem de utilização de serviços segundo a idade (extraído de [VaCa02]).

.

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 E.2: Percentagem de utilização de serviços segundo escolaridade (extraído de [VaCa02]).

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
$\sum_i \text{prob}_i$	100	106	113	120

Tabela E.3: Percentagem de utilização de serviços segundo os rendimentos (extraído de [VaCa02]).

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
$\sum_i \text{prob}_i$	100	104	113	148

Tabela E.4: Percentagem de utilização de serviços UMTS, por classe urbana (extraído de [VaCa02]).

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

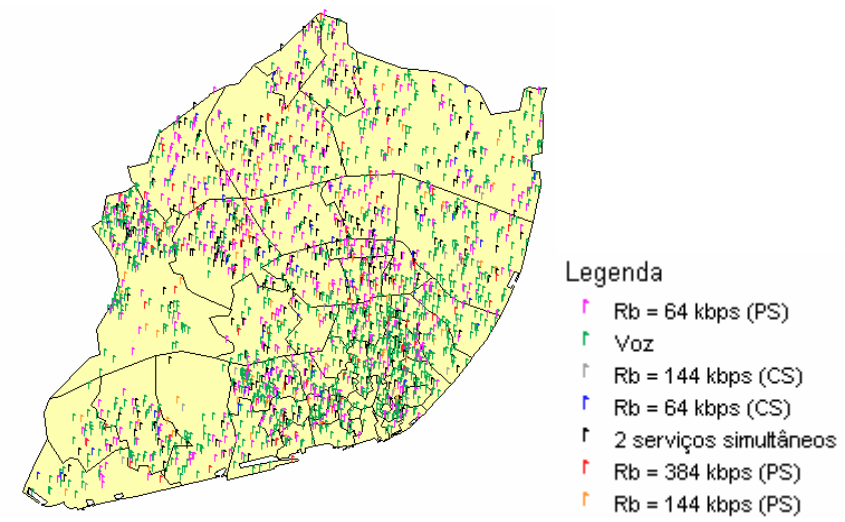


Figura E.1: Distribuição espacial da população e dos respectivos serviços para Lisboa (extraído de [VaCa02]).

Anexo F – Dados da Optimus

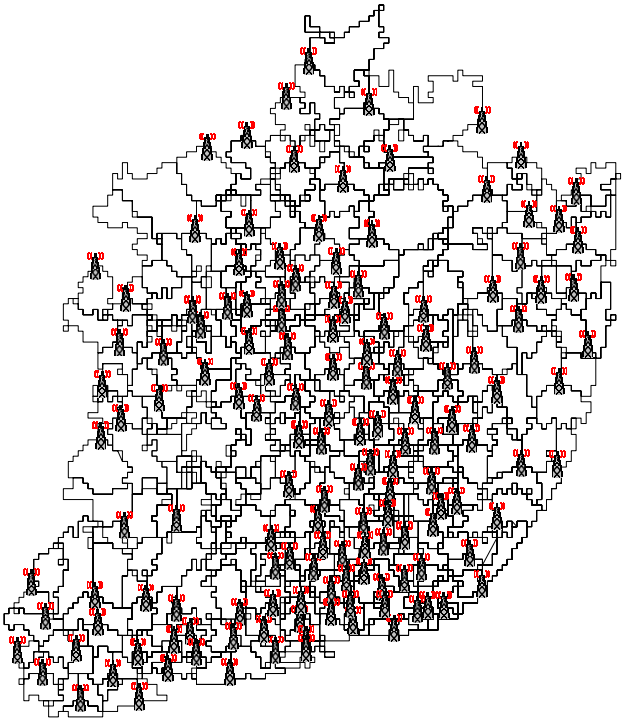


Figura F.1: Rede celular sectorizada da Optimus em Lisboa com as respectivas EBs.

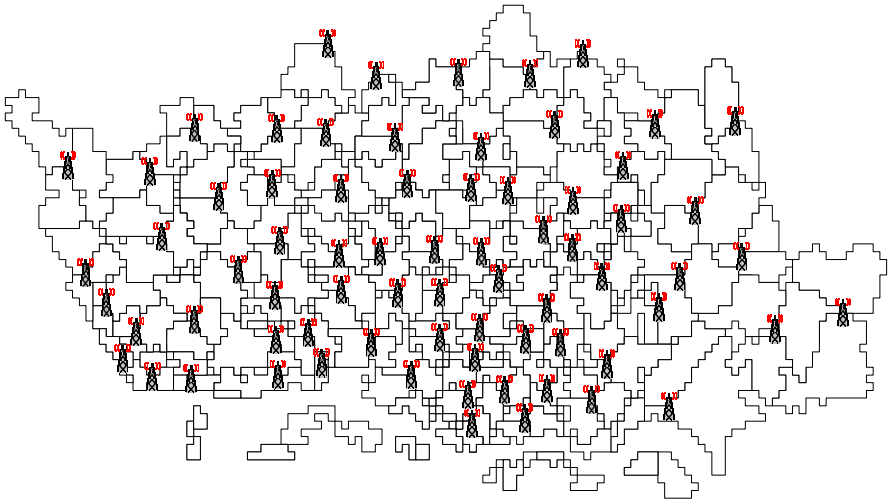


Figura F.2: Rede celular sectorizada da Optimus no Porto com as respectivas EBs.

Tabela F.1: Exemplo da informação referente a cada sector para Lisboa e Porto.

CellArea	CELL#	Traffic__Erl_	MHT__s_	BH	Erl_km2	HO_ratio
189989	1122	7,20	44,01	18	37,91	0,55
59998	7913	1,59	56,94	15	26,45	0,59
79995	6813	6,50	27,27	18	81,28	0,60
289985	712	4,51	44,76	19	15,55	0,41

Tabela F.2: Percentagens de utilização dos serviços por idade para Residentes.

Serviços	Idade [anos]		
	< 20	**20 ≤ 64**	**> 64**
Messaging	30	70	5
Web Browsing	40	50	10
Intranet	0	15	5
Video Conference	0	10	0
LBS	5	25	10
Video on Demand	0	10	0
Music on Demand	25	35	0
Games on Demand	30	40	0
Applications on Demand	0	20	0
Voice	90	90	90

Tabela F.3: Percentagens de utilização dos serviços por escolaridade para Residentes.

Serviços	Sem	Obrigatório	Secundário	Superior
Messaging	0	30	70	85
Web Browsing	0	15	60	75
Intranet	0	0	5	35
Video-Conference	0	0	0	20
LBS	0	10	20	30
Video on Demand	0	0	5	20
Music on Demand	5	15	50	50
Games on Demand	5	30	45	30
Applications on Demand	0	0	10	35
Voice	90	90	90	90

Tabela F.4: Percentagens de utilização dos serviços por rendimento para Residentes.

Serviços	Baixo	Médio	Médio/Alto	Alto
Messaging	5	20	60	70
Web Browsing	0	20	50	60
Intranet	0	0	20	25
Video Conference	0	0	10	15
LBS	5	10	20	20
Video on Demand	0	0	10	20
Music on Demand	5	10	35	30
Games on Demand	5	15	35	40
Applications on Demand	0	5	10	20
Voice	90	90	90	90

Tabela F.5: Percentagens de utilização dos serviços para Executivos e Profissionais Domésticos.

Serviços	Exec.	Prof. Dom.
Messaging	70	60
Web Browsing	60	50
Intranet	25	5
Video Conference	15	10
LBS	20	20
Video on Demand	20	10
Music on Demand	30	35
Games on Demand	40	35
Applications on Demand	20	10
Voice	90	90

Anexo G – Distribuições de População

Tabela G.1: Número de Residentes por freguesia em Lisboa.

Freguesia	$N_{pop/dist}$	$N_{res/dist}$	$N_{res/dist}$ [%]
Ajuda	17 958	12 365	3.18
Alcântara	14 443	9 945	2.56
Alto do Pina	10 253	7 060	1.82
Alvalade	9 620	6 624	1.70
Ameixoeira	9 644	6 640	1.71
Anjos	9 738	6 705	1.72
Beato	14 241	9 806	2.52
Benfica	41 368	28 484	7.33
Campo Grande	11 148	7 676	1.97
Campolide	15 927	10 967	2.82
Carnide	18 989	13 075	3.36
Castelo	587	404	0.10
Charneca	10 509	7 236	1.86
Coração de Jesus	4 319	2 974	0.76
Encarnação	3 182	2 191	0.56
Graça	6 960	4 792	1.23
Lapa	8 670	5 970	1.54
Lumiar	37 693	25 954	6.68
Madalena	380	262	0.07
Mártires	341	235	0.06
Marvila	38 767	26 693	6.87
Mercês	5 093	3 507	0.90
Nossa Senhora de Fátima	15 291	10 529	2.71
Pena	6 068	4 178	1.07
Penha de França	13 722	9 448	2.43
Prazeres	8 492	5 847	1.50
Sacramento	880	606	0.16
Santa Catarina	4 081	2 810	0.72
Santa Engrácia	5 860	4 035	1.04
Santa Isabel	7 270	5 006	1.29
Santa Justa	700	482	0.12
Santa Maria de Belém	9 756	6 718	1.73
Santa Maria dos Olivais	46 410	31 956	8.22
Santiago	857	590	0.15
Santo Condestável	17 553	12 086	3.11
Santo Estêvão	2 047	1 409	0.36
Santos-O-Velho	4 013	2 763	0.71
São Cristóvão e São Lourenço	1 612	1 110	0.29
São Domingos de Benfica	33 678	23 189	5.96
São Francisco de Xavier	8 101	5 578	1.43

Tabela G.1 (cont): Número de Residentes por freguesia em Lisboa.

São João	17 073	11 756	3.02
São João de Brito	13 449	9 260	2.38
São João de Deus	10 782	7 424	1.91
São Jorge de Arroios	17 404	11 984	3.08
São José	3 278	2 257	0.58
São Mamede	6 004	4 134	1.06
São Miguel	1 777	1 224	0.31
São Nicolau	1 175	809	0.21
São Paulo	3 521	2 424	0.62
São Sebastião da Pedreira	5 871	4 043	1.04
São Vicente de Fora	4 267	2 938	0.76
Sé	1 160	799	0.21
Socorro	2 675	1 842	0.47
TOTAL	564 657	388 797	100.00

Tabela G.2: Número de Residentes por freguesia no Porto.

Freguesia	$N_{pop/dist}$	$N_{res/dist}$	$N_{res/dist}$ **[%]**
Aldoar	13 957	5 786	5.30
Bonfim	28 578	11 848	10.86
Campanha	38 757	16 068	14.73
Cedofeita	24 784	10 275	9.42
Foz do Douro	12 235	5 072	4.65
Lordelo do Douro	22 212	9 209	8.44
Massarelos	7 756	3 216	2.95
Miragaia	2 810	1 165	1.07
Nevogilde	5 257	2 179	2.00
Paranhos	48 686	20 184	18.50
Ramalde	37 647	15 608	14.31
Santo Ildefonso	10 044	4 164	3.82
São Nicolau	2 937	1 218	1.12
Sé	4 751	1 970	1.81
Vitória	2 720	1 128	1.03
TOTAL	263 131	218 261	100.00

Tabela G.3: Número de trabalhadores por freguesia em Lisboa.

Freguesia	$N_{emp/dist99}$	$N_{wor/dist01}$	$N_{wor/dist01}$ **[%]**
Ajuda	3 300	3 646	0.63
Alcântara	14 700	16 243	2.82
Alto do Pina	4 500	4 972	0.86
Alvalade	6 700	7 403	1.28
Ameixoeira	1 700	1 878	0.33
Anjos	6 000	6 630	1.15
Beato	5 400	5 967	1.03
Benfica	13 200	14 586	2.53
Campo Grande	13 600	15 028	2.60
Campolide	10 600	11 713	2.03
Carnide	4 900	5 414	0.94
Castelo	200	221	0.04
Charneca	2 200	2 431	0.42
Coração de Jesus	26 200	28 950	5.02
Encarnação	5 400	5 967	1.03
Graça	2 900	3 204	0.56
Lapa	7 600	8 398	1.46
Lumiar	13 000	14 365	2.49
Madalena	5 700	6 298	1.09
Mártires	4 800	5 304	0.92
Marvila	17 300	19 116	3.31
Mercês	1 900	2 099	0.36
Nossa Senhora de Fátima	41 900	46 298	8.03
Pena	12 100	13 370	2.32
Penha de França	3 000	3 315	0.57
Prazeres	11 200	12 376	2.15
Sacramento	2 900	3 204	0.56
Santa Catarina	3 800	4 199	0.73
Santa Engrácia	3 300	3 646	0.63
Santa Isabel	15 400	17 016	2.95
Santa Justa	10 000	11 050	1.92
Santa Maria de Belém	8 500	9 392	1.63
Santa Maria dos Olivais	27 100	29 945	5.19
Santiago	500	552	0.10
Santo Condestável	5 800	6 409	1.11
Santo Estêvão	1 900	2 099	0.36
Santos-O-Velho	7 000	7 735	1.34
São Cristóvão e São Lourenço	900	994	0.17
São Domingos de Benfica	12 800	14 144	2.45
São Francisco de Xavier	3 600	3 978	0.69
São João	4 200	4 641	0.80
São João de Brito	20 000	22 099	3.83
São João de Deus	19 200	21 215	3.68

Tabela G.3 (cont.): Número de trabalhadores por freguesia em Lisboa.

São Jorge de Arroios	40 300	44 530	7.72
São José	7 500	8 287	1.44
São Mamede	15 900	17 569	3.05
São Miguel	1 200	1 326	0.23
São Nicolau	22 700	25 083	4.35
São Paulo	12 000	13 260	2.30
São Sebastião da Pedreira	30 600	33 812	5.86
São Vicente de Fora	1 600	1 768	0.31
Sé	2 400	2 652	0.46
Socorro	1 000	1 105	0.19
TOTAL	522 100	576 902	100.00

Tabela G.4: Número de trabalhadores por freguesia no Porto.

Freguesia	$N_{wor/dist01}$	$N_{wor/dist01}$ **[%]**
Aldoar	11 577	5.30
Bonfim	23 705	10.86
Campanha	32 148	14.73
Cedofeita	20 558	9.42
Foz do Douro	10 149	4.65
Lordelo do Douro	18 424	8.44
Massarelos	6 433	2.95
Miragaia	2 331	1.07
Nevogilde	4 361	2.00
Paranhos	40 384	18.50
Ramalde	31 227	14.31
Santo Ildefonso	8 331	3.82
São Nicolau	2 436	1.12
Sé	3 941	1.81
Vitória	2 256	1.03
TOTAL	218 261	100.00

Tabela G.5: Número de trabalhadores Executivos e Outros Profissionais por freguesia em Lisboa.

Freguesia	$N_{wor/dist01}$	N_{Exec}	$N_{Out\ Prof}$
Ajuda	3 646	1 094	2 552
Alcântara	16 243	4 873	11 370
Alto do Pina	4 972	1 492	3 481
Alvalade	7 403	2 221	5 182
Ameixoeira	1 878	564	1 315
Anjos	6 630	1 989	4 641
Beato	5 967	1 790	4 177
Benfica	14 586	4 376	10 210
Campo Grande	15 028	4 508	10 519
Campolide	11 713	3 514	8 199
Carnide	5 414	1 624	3 790
Castelo	221	66	155
Charneca	2 431	729	1 702
Coração de Jesus	28 950	8 685	20 265
Encarnação	5 967	1 790	4 177
Graça	3 204	961	2 243
Lapa	8 398	2 519	5 878
Lumiar	14 365	4 309	10 055
Madalena	6 298	1 889	4 409
Mártires	5 304	1 591	3 713
Marvila	19 116	5 735	13 381
Mercês	2 099	630	1 470
Nossa Senhora de Fátima	46 298	13 889	32 409
Pena	13 370	4 011	9 359
Penha de França	3 315	994	2 320
Prazeres	12 376	3 713	8 663
Sacramento	3 204	961	2 243
Santa Catarina	4 199	1 260	2 939
Santa Engrácia	3 646	1 094	2 552
Santa Isabel	17 016	5 105	11 912
Santa Justa	11 050	3 315	7 735
Santa Maria de Belém	9 392	2 818	6 575
Santa Maria dos Olivais	29 945	8 983	20 961
Santiago	552	166	387
Santo Condestável	6 409	1 923	4 486
Santo Estêvão	2 099	630	1 470
Santos-O-Velho	7 735	2 320	5 414
São Cristóvão e São Lourenço	994	298	696
São Domingos de Benfica	14 144	4 243	9 900
São Francisco de Xavier	3 978	1 193	2 785
São João	4 641	1 392	3 249
São João de Brito	22 099	6 630	15 470
São João de Deus	21 215	6 365	14 851

Tabela G.5 (cont.): Número de trabalhadores por freguesia em Lisboa.

São Jorge de Arroios	44 530	13 359	31 171
São José	8 287	2 486	5 801
São Mamede	17 569	5 271	12 298
São Miguel	1 326	398	928
São Nicolau	25 083	7 525	17 558
São Paulo	13 260	3 978	9 282
São Sebastião da Pedreira	33 812	10 144	23 668
São Vicente de Fora	1 768	530	1 238
Sé	2 652	796	1 856
Socorro	1 105	331	773
TOTAL	576 902	173 071	403 832

Tabela G.6: Número de trabalhadores Executivos e Outros Profissionais por freguesia no Porto.

Freguesia	$N_{wor/dist01}$	N_{Exec}	$N_{Out\ \mathbf{Prof}}$
Aldoar	11 577	3 473	8 104
Bonfim	23 705	7 111	16 593
Campanha	32 148	9 644	22 504
Cedofeita	20 558	6 167	14 390
Foz do Douro	10 149	3 045	7 104
Lordelo do Douro	18 424	5 527	12 897
Massarelos	6 433	1 930	4 503
Miragaia	2 331	699	1 632
Nevogilde	4 361	1 308	3 052
Paranhos	40 384	12 115	28 269
Ramalde	31 227	9 368	21 859
Santo Ildefonso	8 331	2 499	5 832
São Nicolau	2 436	731	1 705
Sé	3 941	1 182	2 759
Vitória	2 256	677	1 579
TOTAL	218 261	65 478	152 783

Tabela G.7: Parâmetros característicos da População de Lisboa (extraído de [VaCa02]).

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 Sra. 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

Tabela G.7 (cont): Parâmetros característicos da População de Lisboa (extraído de [Vaca02]).

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	1 612	18.7	57.7	23.7	11.35	57.51	18.67	12.47	Baixo
S. Domingos	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	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

Tabela G.8: Parâmetros característicos da População do Porto (extraído de [Vaca02]).

Freguesia	População Residente [hab]	Idade [%]			Escolaridade [%]				Rendimento
		0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.	
Aldoar	13 957	30	54	16	9	50	24	16	Alto
Bonfim	28 578	24	52	23	9	47	25	23	Médio-Alto
Campanhã	38 757	29	52	18	11	63	10	18	Médio-Alto
Cedofeita	24 784	25	53	22	8	42	31	22	Médio-Alto
Foz do Douro	12 235	27	56	17	9	41	33	17	Alto
Lordelo do Douro	22 212	29	54	17	10	50	24	17	Alto
Massarelos	7 756	26	54	20	8	45	29	20	Alto
Miragaia	2 810	25	52	23	11	59	14	23	Alto
Nevogilde	5 257	29	54	16	8	31	43	16	Alto
Paranhos	58 686	27	54	19	9	48	25	19	Médio-Alto
Ramalde	37 647	28	55	17	10	48	25	17	Médio
Santo Ildefonso	10 044	22	50	28	9	51	20	28	Médio
S. Nicolau	2 937	29	49	21	11	71	5	21	Alto
Sé	4 751	42	49	9	13	64	7	9	Médio-Alto
Vitória	2 720	24	48	28	12	64	8	28	Médio-Alto

Tabela G.9: Parâmetros característicos finais da População de Lisboa.

Freguesia	$N_{pop/dist}$	Idade [%]			Escolaridade [%]				Rendimento	N_{Exec}	$N_{Out\ Prof}$
		0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.			
Ajuda	12 365	32.24	41.91	25.85	11.42	56.82	19.24	12.51	Médio-Alto	1 094	2 552
Alcântara	9 945	26.14	40.16	33.84	9.40	49.38	21.03	20.19	Médio	4 873	11 370
Alto do Pina	7 060	35.28	38.42	25.42	8.93	39.78	19.53	31.76	Alto	1 492	3 481
Alvalade	6 624	21.93	36.39	41.68	6.07	32.99	22.97	37.96	Alto	2 221	5 182
Ameixoeira	6 640	41.54	46.70	12.34	12.18	46.46	18.66	22.70	Alto	564	1 315
Anjos	6 705	24.54	38.42	37.03	9.48	46.21	21.83	22.48	Médio	1 989	4 641
Beato	9 806	32.39	43.21	24.40	10.74	53.35	20.96	14.95	Baixo	1 790	4 177
Benfica	28 484	33.11	47.43	19.32	7.01	35.06	16.83	41.10	Médio	4 376	10 210
Campo Grande	7 676	26.72	33.63	39.65	8.75	43.34	19.80	28.12	Alto	4 508	10 519
Campolide	10 967	32.10	40.02	27.88	12.04	50.14	20.25	17.56	Médio-Alto	3 514	8 199
Carnide	13 075	42.99	42.05	15.10	13.72	44.69	15.06	26.53	Alto	1 624	3 790
Castelo	404	28.17	32.03	39.79	10.90	64.40	15.84	8.86	Baixo	66	155
Charneca	7 236	49.09	40.02	10.89	17.89	61.69	17.40	3.02	Alto	729	1 702
Coração de Jesus	2 974	23.09	40.75	36.31	9.89	42.51	19.01	28.59	Médio-Alto	8 685	20 265
Encarnação	2 191	26.58	33.48	39.94	10.87	51.23	20.36	17.54	Baixo	1 790	4 177
Graça	4 792	25.85	39.58	34.57	10.37	53.59	19.51	16.52	Baixo	961	2 243
Lapa	5 970	27.74	37.41	34.86	9.16	36.80	20.09	33.95	Médio-Alto	2 519	5 878
Lumiar	25 954	42.26	43.36	14.38	9.74	31.54	17.52	41.21	Alto	4 309	10 055
Madalena	262	23.24	30.14	46.62	7.63	43.16	30.26	18.95	Baixo	1 889	4 409
Mártires	235	29.34	25.79	44.88	8.50	42.23	19.65	29.62	Baixo	1 591	3 713
Marvila	26 693	46.91	41.18	12.05	15.35	57.60	19.86	7.19	Baixo	5 735	13 381
Mercês	3 507	26.87	36.39	36.74	14.54	57.78	23.94	3.74	Médio-Alto	630	1 470
Nossa Sra. Fátima	10 529	25.27	40.02	34.71	8.21	34.82	19.42	37.56	Alto	13 889	32 409
Pena	4 178	25.85	38.28	35.87	13.17	49.59	19.50	17.75	Baixo	4 011	9 359
Penha de França	9 448	26.87	36.97	36.16	10.28	48.86	21.95	18.92	Baixo	994	2 320
Prazeres	5 847	25.71	41.33	32.97	10.88	44.19	18.94	25.99	Médio	3 713	8 663

Tabela G.9 (cont): Parâmetros característicos finais da População de Lisboa.

Sacramento	606	25.27	38.42	36.31	10.68	47.27	18.18	23.86	Baixo	961	2 243
Sta. Catarina	2 810	29.05	35.23	35.73	11.52	51.85	20.61	16.03	Baixo	1 260	2 939
Sta. Engrácia	4 035	27.01	41.04	31.95	10.10	52.48	21.37	16.05	Baixo	1 094	2 552
Sta. Isabel	5 006	27.01	39.29	33.69	9.05	38.39	21.44	31.11	Médio-Alto	5 105	11 912
Sta. Justa	482	26.29	33.05	40.66	10.29	59.86	18.57	11.29	Baixo	3 315	7 735
Sta. Mª de Belém	6 718	29.92	36.68	33.40	9.56	43.22	20.72	26.50	Médio-Alto	2 818	6 575
Sta. Mª dos Olivais	31 956	30.64	49.46	20.04	11.40	50.07	20.23	18.30	Médio	8 983	20 961
Santiago	590	25.13	40.16	34.71	10.27	51.93	20.77	17.04	Baixo	166	387
St. Condestável	12 086	28.47	38.13	33.40	10.32	43.50	22.65	23.53	Médio-Alto	1 923	4 486
St. Estêvão	1 409	25.71	36.82	37.32	12.90	60.77	16.17	10.16	Baixo	630	1 470
Santos-o-Velho	2 763	27.01	37.26	35.73	11.96	50.09	18.69	19.26	Médio	2 320	5 414
S. Cristóvão	1 110	27.16	38.57	34.42	11.35	57.51	18.67	12.47	Baixo	298	696
S. Domingos	23 189	32.97	46.12	20.91	7.13	34.71	19.71	38.46	Alto	4 243	9 900
S. Francisco Xavier	5 578	33.11	44.96	21.93	8.09	28.67	19.43	43.81	Médio	1 193	2 785
S. João	11 756	29.19	40.89	29.77	10.44	51.09	21.90	16.58	Baixo	1 392	3 249
S. João de Brito	9 260	25.56	38.13	36.31	8.99	36.30	21.61	33.10	Alto	6 630	15 470
S. João de Deus	7 424	22.95	33.34	43.71	6.70	31.91	22.28	39.11	Alto	6 365	14 851
S. Jorge de Arroios	11 984	23.82	36.97	39.07	8.67	40.22	22.36	28.75	Médio	13 359	31 171
S. José	2 257	24.69	38.13	37.18	12.11	49.83	20.46	17.60	Baixo	2 486	5 801
S. Mamede	4 134	26.29	36.68	37.47	8.68	36.01	19.59	35.73	Médio-Alto	5 271	12 298
S. Miguel	1 224	28.32	43.36	28.32	15.48	66.85	11.54	6.13	Baixo	398	928
S. Nicolau	809	20.77	35.66	43.57	10.98	51.66	22.81	14.55	Baixo	7 525	17 558
S. Paulo	2 424	27.88	39.58	32.68	10.82	55.78	19.26	14.14	Baixo	3 978	9 282
S. Sebastião	4 043	24.83	36.24	38.63	8.55	31.63	19.18	40.64	Médio-Alto	10 144	23 668
S. Vicente de Fora	2 938	25.85	40.60	33.55	10.88	57.60	17.42	14.11	Baixo	530	1 238
Sé	799	24.25	41.62	34.13	11.12	48.28	20	20.00	Baixo	796	1 856
Socorro	1 842	27.30	38.86	33.84	15.19	59.81	16	8.36	Baixo	331	773

Tabela G.10: Parâmetros característicos finais da População do Porto.

Freguesia	$N_{pop/dist}$	Idade [%]			Escolaridade [%]				Rendimento	N_{Exec}	$N_{Out\ Prof}$
		0-19	20-64	>64	Sem	Obrig.	Secun.	Sup.			
Aldoar	5 786	61.40	0.00	38.60	9	50	24	16	Alto	3 473	8 104
Bonfim	11 848	44.51	0.00	55.48	9	47	25	23	Médio-Alto	7 111	16 593
Campanhã	16 068	56.57	0.00	43.42	11	63	10	18	Médio-Alto	9 644	22 504
Cedofeita	10 275	46.93	0.00	53.07	8	42	31	22	Médio-Alto	6 167	14 390
Foz do Douro	5 072	58.99	0.00	41.01	9	41	33	17	Alto	3 045	7 104
Lordelo do Douro	9 209	59.00	0.00	41.00	10	50	24	17	Alto	5 527	12 897
Massarelos	3 216	51.77	0.00	48.23	8	45	29	20	Alto	1 930	4 503
Miragaia	1 165	44.52	0.00	55.48	11	59	14	23	Alto	699	1 632
Nevogilde	2 179	61.39	0.00	38.60	8	31	43	16	Alto	1 308	3 052
Paranhos	20 184	54.17	0.00	45.83	9	48	25	19	Médio-Alto	12 115	28 269
Ramalde	15 608	59.00	0.00	41.00	10	48	25	17	Médio	9 368	21 859
Santo Ildefonso	4 164	32.46	0.00	67.54	9	51	20	28	Médio	2 499	5 832
S. Nicolau	1 218	49.35	0.00	50.64	11	71	5	21	Alto	731	1 705
Sé	1 970	78.29	0.00	21.71	13	64	7	9	Médio-Alto	1 182	2 759
Vitória	1 128	32.48	0.00	67.52	12	64	8	28	Médio-Alto	677	1 579

Tabela G.11: Valores finais e respectivas percentagens para a distribuição de residentes e trabalhadores em Lisboa.

Freguesia	$N_{pop/dist}$	$N_{pop/dist}$ [%]	N_{Exec}	$N_{Out\ Prof}$	$N_{wor/dist01}$ [%]
Ajuda	12 365	3.18	1 094	2 552	0.63
Alcântara_1	1 000	0.26	1 573	3 670	0.91
Alto do Pina	7 060	1.82	2 092	4 881	1.21
Alvalade	6 624	1.70	2 521	5 882	1.46
Ameixoeira	6 640	1.71	564	1 315	0.33
Anjos	6 705	1.72	1 989	4 641	1.15
Beato	9 806	2.52	1 790	4 177	1.03
Benfica_1	20 000	5.14	4 200	9 800	2.43
Campo Grande	7 676	1.97	7 508	17 519	4.34
Campolide	10 967	2.82	3 814	8 899	2.20
Carnide	18 075	4.65	3 424	7 990	1.98
Castelo	404	0.10	66	155	0.04
Charneca	5 236	1.35	729	1 702	0.42
Coração de Jesus	2 974	0.76	9 285	21 665	5.36
Encarnação	2 191	0.56	2 690	6 377	1.57
Graça	4 792	1.23	961	2 243	0.56
Lapa	5 970	1.54	4 319	10 778	2.62
Lumiar	29 954	7.70	2 509	5 855	1.45
Madalena	262	0.07	1 889	4 409	1.09
Mártires	235	0.06	991	2 313	0.57
Marvila_1	16 693	4.29	935	2 181	0.54
Mercês	3 507	0.90	630	1 470	0.36
Nossa Sra. Fátima	10 529	2.71	14 489	33 809	8.37
Pena	4 178	1.07	2 511	5 859	1.45
Penha de França	9 448	2.43	1 294	3 020	0.75
Prazeres	5 847	1.50	7 013	16 363	4.05
Sacramento	606	0.16	961	2 243	0.56
Santa Catarina	2 810	0.72	660	1 539	0.38
Santa Engrácia	4 035	1.04	1 094	2 552	0.63
Santa Isabel	5 006	1.29	5 405	12 612	3.12
Santa Justa	482	0.12	3 315	7 735	1.92
Santa Maria de Belém	6 718	1.73	2 818	6 575	1.63
Santa Maria dos Olivais_1	500	0.13	446	1 040	0.26
Santiago	590	0.15	166	387	0.10
Santo Condestável	12 086	3.11	1 923	4 486	1.11
Santo Estêvão	1 409	0.36	630	1 470	0.36
Santos-O-Velho	2 763	0.71	4 420	10 314	2.55
São Cristóvão e São Lourenço	1 110	0.29	298	696	0.17
São Domingos de Benfica_1	1 000	0.26	943	2 200	0.54
São Francisco de Xavier	5 578	1.43	2 993	6 985	1.73
São João	11 756	3.02	1 692	3 949	0.98
São João de Brito	9 260	2.38	3 630	8 470	2.10
São João de Deus	7 424	1.91	7 865	18 351	4.54
São Jorge de Arroios	6 984	1.80	6 159	14 371	3.56

Tabela G.11 (cont.): Valores finais e respectivas percentagens para a distribuição de residentes e trabalhadores em Lisboa.

São José	2 257	0.58	2 486	5 801	1.44
São Mamede	4 134	1.06	5 571	12 998	3.22
São Miguel	1 224	0.31	398	928	0.23
São Nicolau	809	0.21	4 525	10 558	2.61
São Paulo	2 424	0.62	3 978	9 382	2.32
São Sebastião da Pedreira	4 043	1.04	10 144	23 668	5.86
São Vicente de Fora	2 938	0.76	530	1 238	0.31
Sé	799	0.21	796	1 856	0.46
Socorro	842	0.22	331	773	0.19
Santa Maria dos Olivais_2	31 456	8.09	737	1 721	0.43
Marvila_2	9 000	2.31	4 501	10 499	2.60
Benfica_2	8 484	2.18	1 376	3 210	0.79
São Domingos de Benfica_2	22 189	5.71	6 000	14 000	3.47
Alcântara_2	8 945	2.30	5 100	12 000	2.96

Anexo H – Informação referente ao Porto

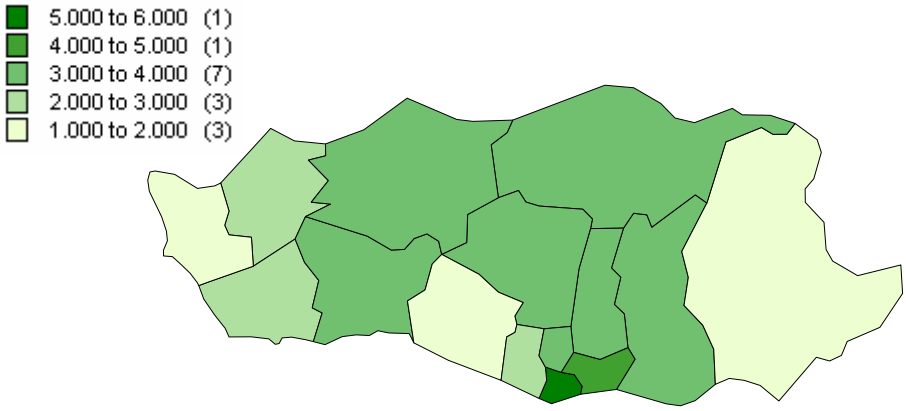


Figura H.1: Densidade de Residentes por freguesia no Porto [pop/km^2].

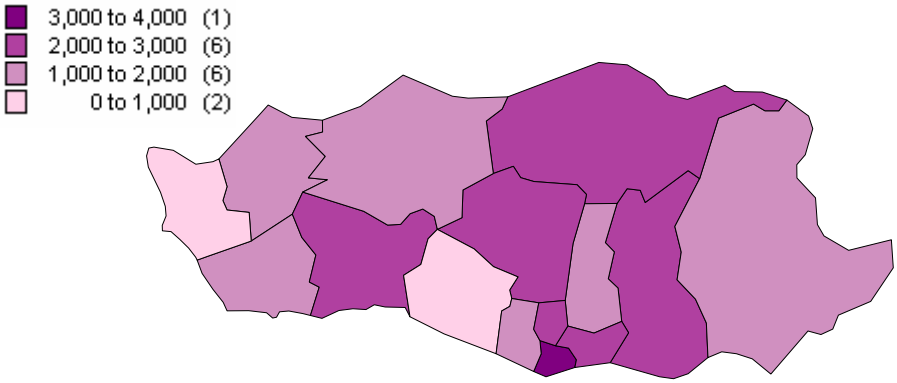


Figura H.2: Densidade de Executivos por freguesia no Porto [pop/km^2].

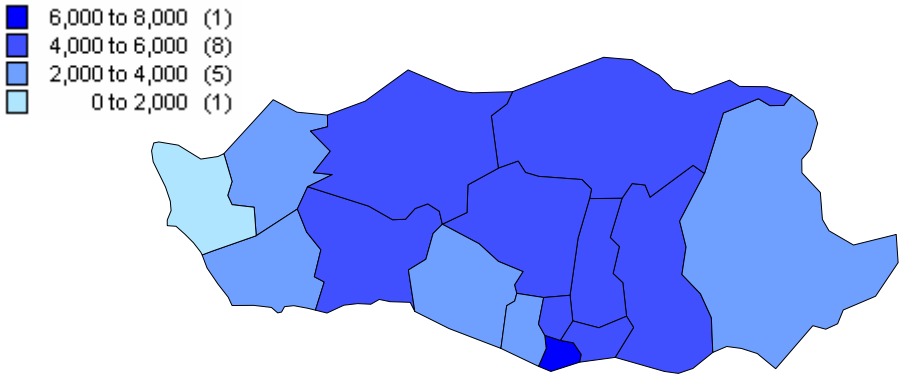


Figura H.3: Densidade de Outros Profissionais por freguesia no Porto [pop/km^2].

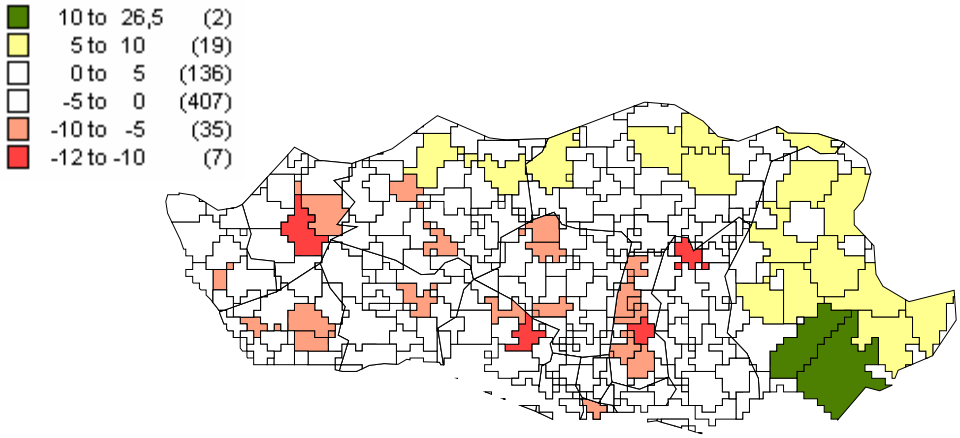


Figura H.4: Distribuição do erro inicial no Porto [Erlang].

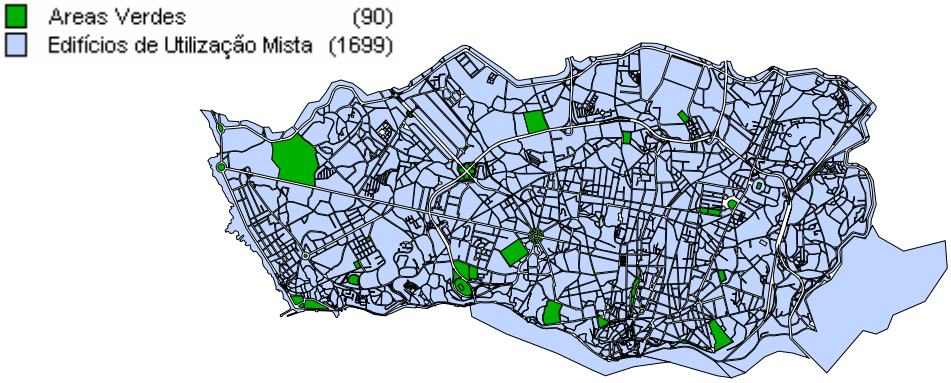


Figura H.5: Mapa da cidade do Porto com as várias classes urbanas (extraído de [CMLi02]).

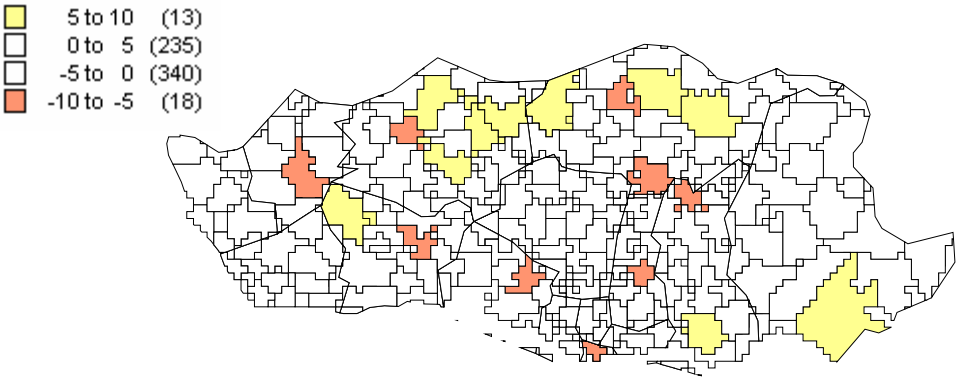


Figura H.6: Distribuição do erro final no Porto [Erlang].

Tabela H.1: Resultados da análise de sensibilidade para o Porto.

Exec./Out. Prof. [%]	$P_{pen} \times P_{ut}$ =14%		$P_{pen} \times P_{ut}$ = 15%		$P_{pen} \times P_{ut}$ = 16 %		$P_{pen} \times P_{ut}$ = 17 %	
	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$
50 / 50	-4.36	478.70	-2.50	474.39	-0.65	477.97	–	–
45 / 55	-4.51	479.38	-2.66	**474.38**	-0.82	477.51	–	–
40 / 60	-4.65	480.42	-2.82	474.92	-0.99	476.90	–	–
35 / 65	-4.78	481.45	-2.99	475.25	-1.16	476.62	–	–
30 / 70	-4.95	482.64	-3.14	**475.66**	-1.35	476.31	–	–
25 / 75	-5.09	483.68	-3.31	476.10	-1.52	476.11	–	–
20 / 80	–	–	-3.46	476.72	-1.68	476.08	0.09	482.69
15 / 85	–	–	-3.62	477.39	-1.85	476.05	-0.09	481.95
10 / 90	–	–	-3.78	478.09	-2.03	475.85	-0.26	481.06
5 / 95	–	–	-3.95	478.89	-2.19	476.13	-0.45	480.51
0 / 100	–	–	-4.10	479.65	-2.37	476.22	-0.62	479.89

Tabela H.2: Resultados da análise de sensibilidade para o Porto com aumento de tráfego.

Exec. [%]	**Prof. Dom. [%]**	$P_{pen} \times P_{ut}$ = 14%		$P_{pen} \times P_{ut}$ = 15%		$P_{pen} \times P_{ut}$ = 16%	
		$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$	$\bar{\varepsilon}$	$\overline{\varepsilon^2}$
30	**70**	-5.00	490.30	-2.73	**482.40**	-0.42	486.63

Tabela H.3: Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo e com 3.0% para o Porto.

		$\overline{\eta_{DL}}$ **[%]**	$\overline{P_{TX}}$ **[dBm]**	$N_{serv\,users}$ **[%]**	$N_{users\,w\,cov}$ **[%]**	$N_{med\,users}$	Car_4 **[%]**	$\overline{P_b}$ **[%]**	$\overline{P_d}$ **[%]**	**Limitação [%]**	
										η_{DL}	L_p
1	**μ**	55.6	27.4	25.7	61.0	14	12.1	0.9	0.8	5.0	41.2
	σ/ μ[%]	1.3	4.5	5.3	6.0	5.3	20.7	38.7	29.3	21.8	2.9
2	**μ**	51.9	26.9	22.1	62.6	12	8.2	0.4	0.4	3.1	45.1
	σ/ μ[%]	1.1	4.6	2.9	1.7	2.9	22.0	33.9	31.2	29.2	3.9
3	**μ**	40.4	25.3	13.8	61.0	7	3.1	0.1	0.1	0.9	49.7
	σ/ μ[%]	3.6	9.3	6.6	5.8	6.6	30.3	59.3	50.5	43.5	4.3

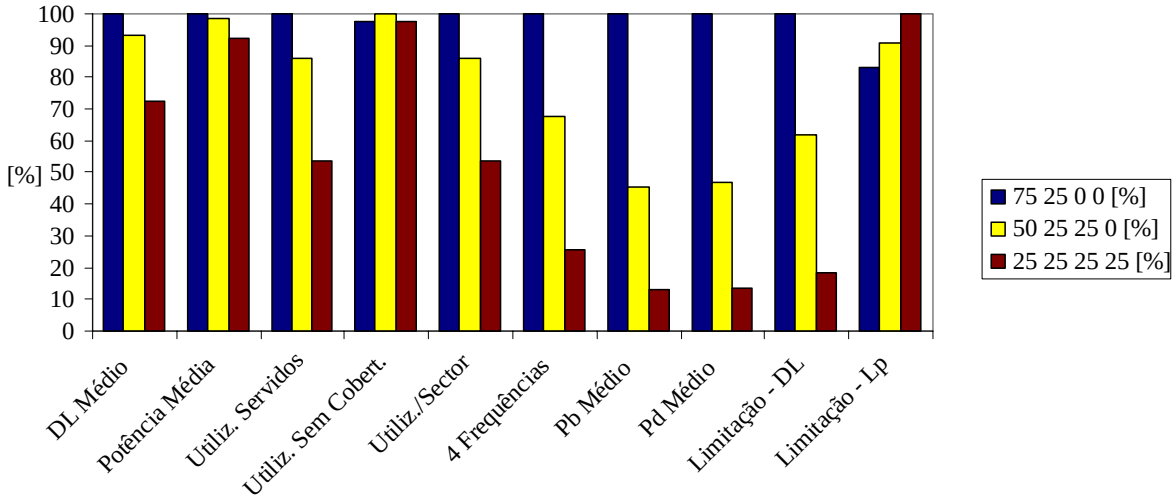


Figura H.7: Comparação de parâmetros da rede para diferentes cenários de atenuação do utilizador no Porto.

Tabela H.4: Resultados relativos a cenário de 64/128kbps, Profundo, com percentagens idênticas às da Tabela 5.1, para o Porto.

		$\overline{\eta_{DL}}$ [%]	$\overline{P_{TX}}$ [dBm]	$N_{serv\ users}$ [%]	$N_{users\ w\ cov}$ [%]	$N_{med\ users}$	Car_4 [%]	$\overline{P_b}$ [%]	$\overline{P_d}$ [%]	Limitação [%]	
										η_{DL}	L_p
1	μ	55.6	27.4	25.7	61.0	14	12.1	0.9	0.8	5.0	41.2
	σ/ μ[%]	1.3	4.5	5.3	6.0	13.8	20.7	38.7	29.3	21.8	2.9
2	μ	58.1	28.1	25.3	60.6	17	21.5	1.8	1.7	9.5	43.4
	σ/ μ[%]	1.2	3.0	3.5	2.7	3.5	12.1	19.6	21.8	14.0	2.6

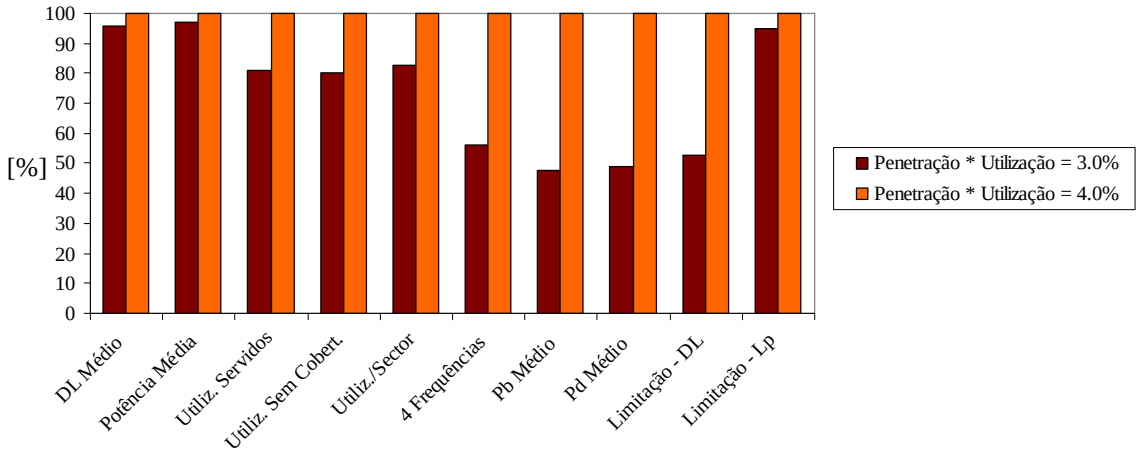


Figura H.8: Comparação de parâmetros da rede para diferentes $p_{pen}\,p_{ut}$ no Porto.

Anexo I – Manual do *MapTraffic*

A aplicação *MapTraffic* foi desenvolvida sobre a plataforma de *MapInfo*® – Sistema de Informação Geográfica e permite estimar tráfego, avaliando o desempenho de uma rede UMTS. Note que é necessário ter o *MapInfo*® instalado para poder correr esta aplicação [MapI02]. É utilizada uma distribuição real de estações base ao longo da cidade para tráfego não uniforme. Visto não existirem ainda dados reais sobre tráfego, tornou-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. É possível 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 base, dos respectivos factores de carga, probabilidades de bloqueio, identificação dos factores limitativos do número de utilizadores, entre outros.

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

Figura I.1: Menu de apresentação da aplicação *MapTraffic*.

A Figura I.2 mostra as diferentes opções da aplicação *MapTraffic*, sendo elas *Open*, *Close*, *Run*, *Settings*, *Definitions*, *About MapTraffic* e *Exit*.

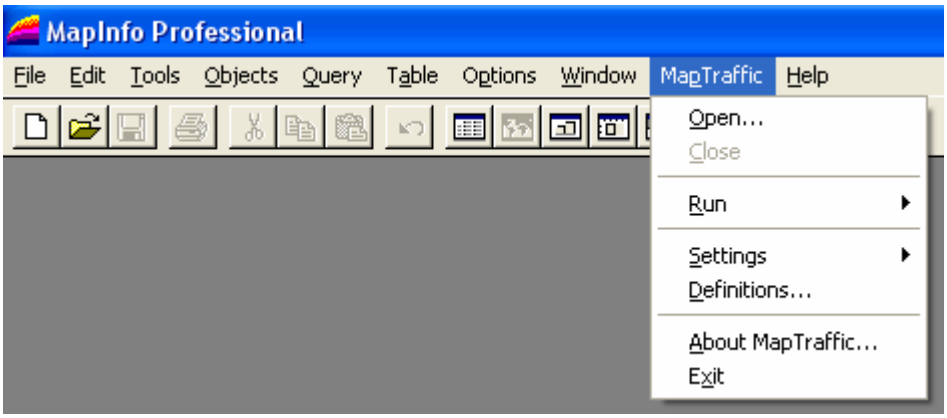


Figura I.2: Itens do menu da aplicação *MapTraffic*.

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 I.3.

Figura I.3: Barra de ferramentas da aplicação *MapTraffic*.

Cada um dos botões da barra de ferramentas tem uma funcionalidade, sendo estes descritos na Tabela I.1.

Tabela I.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.

Para iniciar o funcionamento da aplicação, é necessário introduzir informação sobre a caracterização da população em causa, representada no menu da Figura I.4 e na tabela da Figura I.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 I.6 e na tabela da Figura I.7.

Para se definir ou alterar alguns dos parâmetros relativos ao Modelo de Propagação, de E_b/N_0 , de tráfego e de percentagens de cenários de mobilidade e de atenuação, selecciona-se a opção *Settings* e escolhem-se os parâmetros a serem alterados, como se verifica pela Figura I.8.

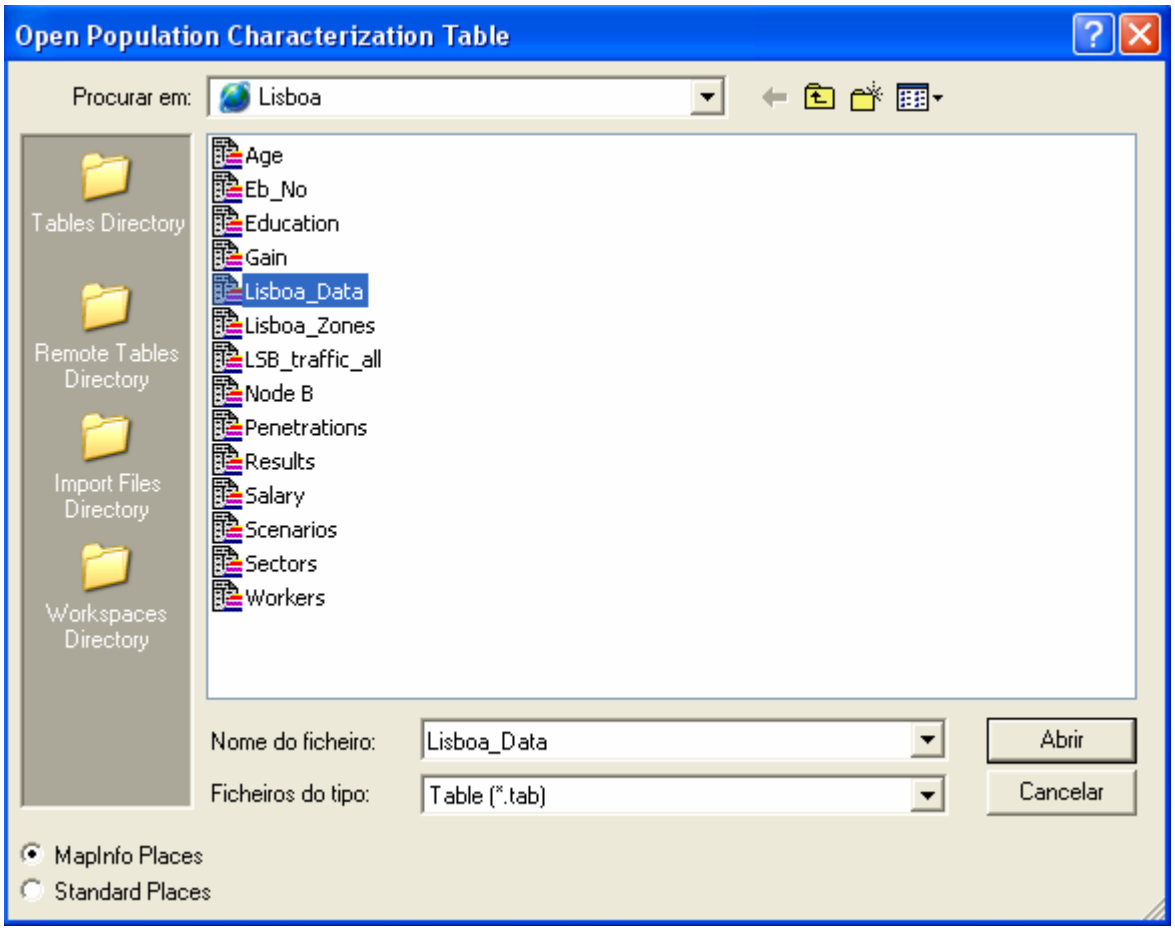
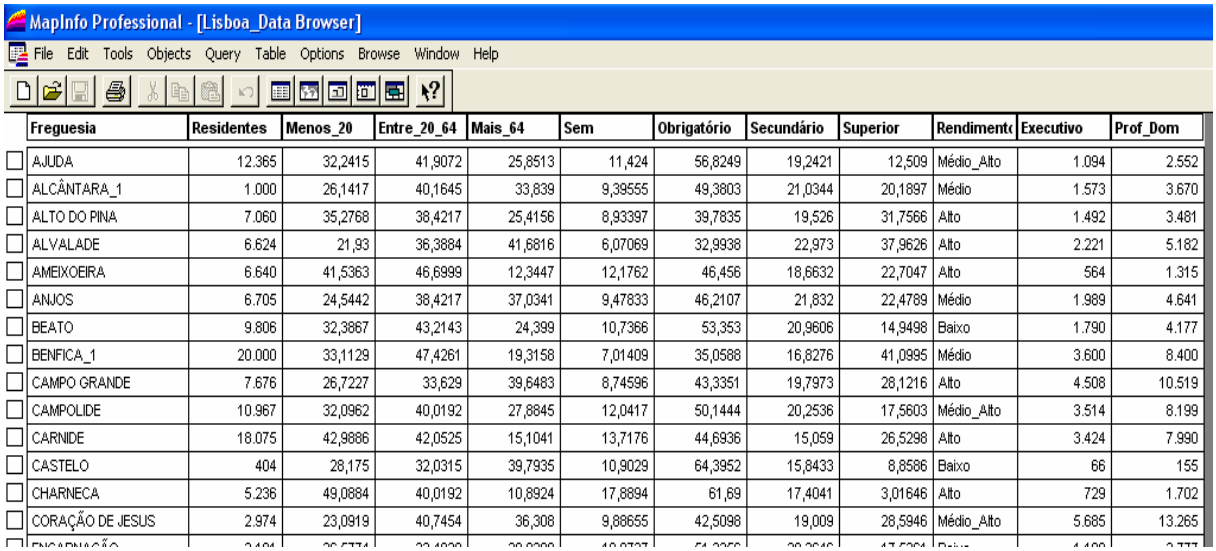


Figura I.4: Selecção da tabela para a caracterização da população.



Freguesia	Residentes	Menos_20	Entre_20_64	Mais_64	Sem	Obrigatório	Secundário	Superior	Rendimento	Executivo	Prof_Dom
AJUDA	12.365	32,2415	41,9072	25,8513	11,424	56,8249	19,2421	12,509	Médio_Alto	1.094	2.552
ALCÂNTARA_1	1.000	26,1417	40,1645	33,839	9,39555	49,3803	21,0344	20,1897	Médio	1.573	3.670
ALTO DO PINA	7.060	35,2768	38,4217	25,4156	8,93397	39,7835	19,526	31,7566	Alto	1.492	3.481
ALVALADE	6.624	21,93	36,3884	41,6816	6,07069	32,9938	22,973	37,9626	Alto	2.221	5.182
AMEIXOEIRA	6.640	41,5363	46,6999	12,3447	12,1762	46,456	18,6632	22,7047	Alto	564	1.315
ANJOS	6.705	24,5442	38,4217	37,0341	9,47833	46,2107	21,832	22,4789	Médio	1.989	4.641
BEATO	9.806	32,3867	43,2143	24,399	10,7366	53,353	20,9606	14,9498	Baixo	1.790	4.177
BENFICA_1	20.000	33,1129	47,4261	19,3158	7,01409	35,0588	16,8276	41,0995	Médio	3.600	8.400
CAMPO GRANDE	7.676	26,7227	33,629	39,6483	8,74596	43,3351	19,7973	28,1216	Alto	4.508	10.519
CAMPOLIDE	10.967	32,0962	40,0192	27,8845	12,0417	50,1444	20,2536	17,5603	Médio_Alto	3.514	8.199
CARNIDE	18.075	42,9886	42,0525	15,1041	13,7176	44,6936	15,059	26,5298	Alto	3.424	7.990
CASTELO	404	28,175	32,0315	39,7935	10,9029	64,3952	15,8433	8,8586	Baixo	66	155
CHARNECA	5.236	49,0884	40,0192	10,8924	17,8894	61,69	17,4041	3,01646	Alto	729	1.702
CORAÇÃO DE JESUS	2.974	23,0919	40,7454	36,308	9,88655	42,5098	19,009	28,5946	Médio_Alto	5.685	13.265

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

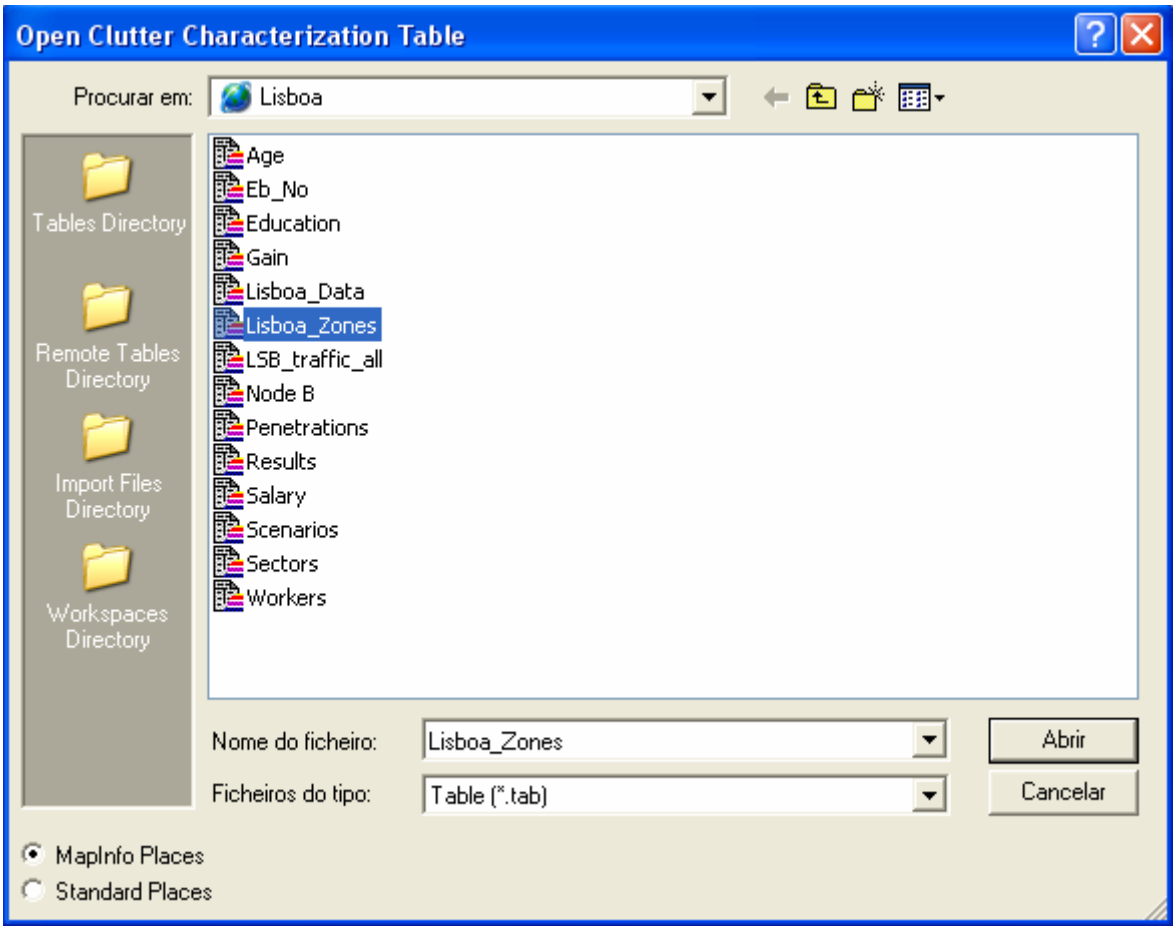
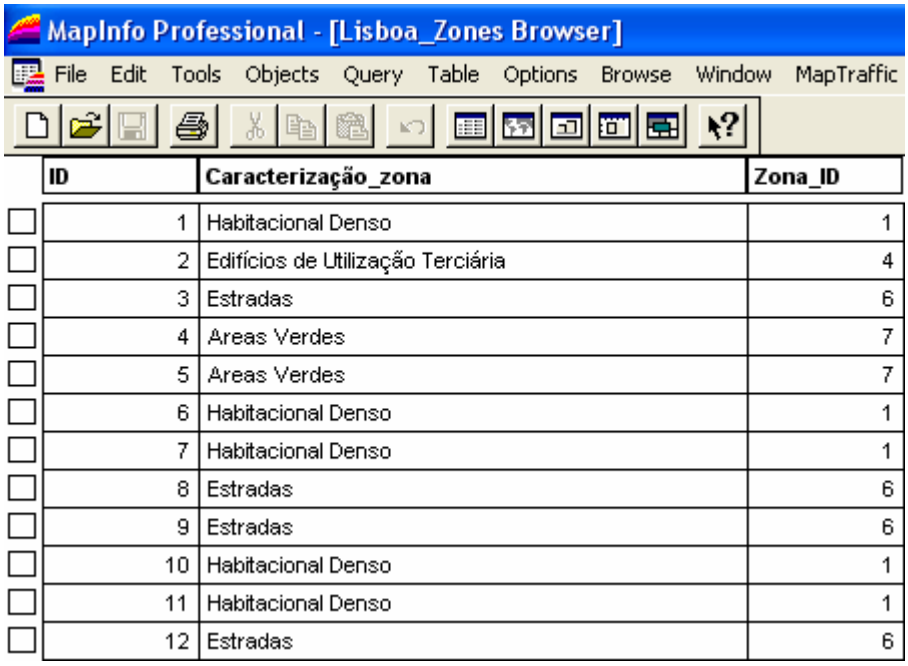


Figura I.6: Selecção da tabela para a caracterização do tipo de zonas.



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

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

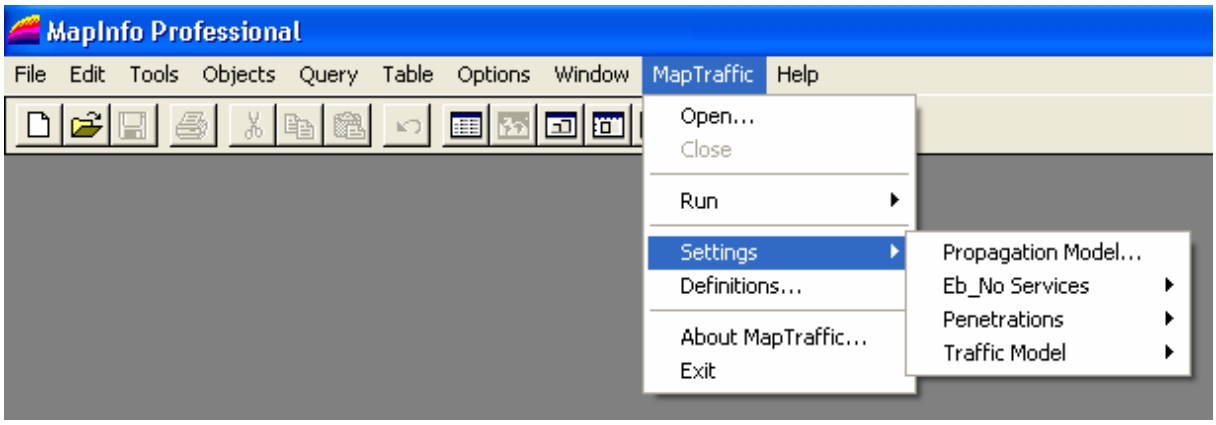


Figura I.8: Diferentes parâmetros de entrada para possível modificação.

Para o Modelo de Propagação, foi utilizado o COST 231 – *Walfisch-Ikegami* por ser o que melhor se aproxima do ambiente urbano com distâncias de propagação relativamente pequenas. 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, H_B, a altura a que está colocada a EB, h_b, a largura média das ruas, w_s, a distância média entre os centros dos edifícios, w_B, o ângulo de partida do sinal do último edifício, *phi*, e a altura do TM, h_m. A Figura I.9 mostra o menu relativo aos parâmetros do Modelo de Propagação.

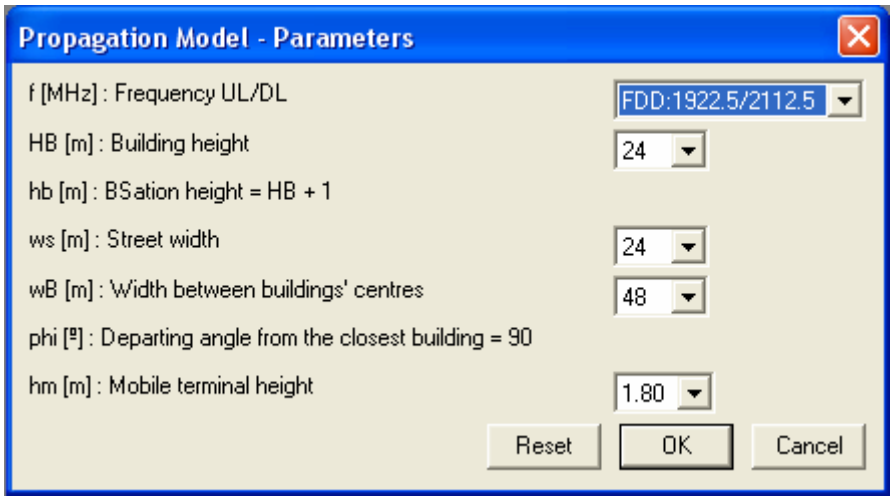


Figura I.9: Parâmetros do Modelo de Propagação.

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 I.10 verifica-se que é possível alterar estes valores, ou ainda, retomar os valores inicialmente estabelecidos por defeito.

A aplicação *MapTraffic* permite a possibilidade de definir um determinado cenário operacional que pode variar por zona. Para se determinar esse cenário há que editar a tabela *Penetrations* e escolher-se as percentagens de utilizadores por zona de acordo com a sua localização espacial, podendo alterar-se estes valores a qualquer momento, ou ainda, retomar os valores inicialmente estabelecidos.

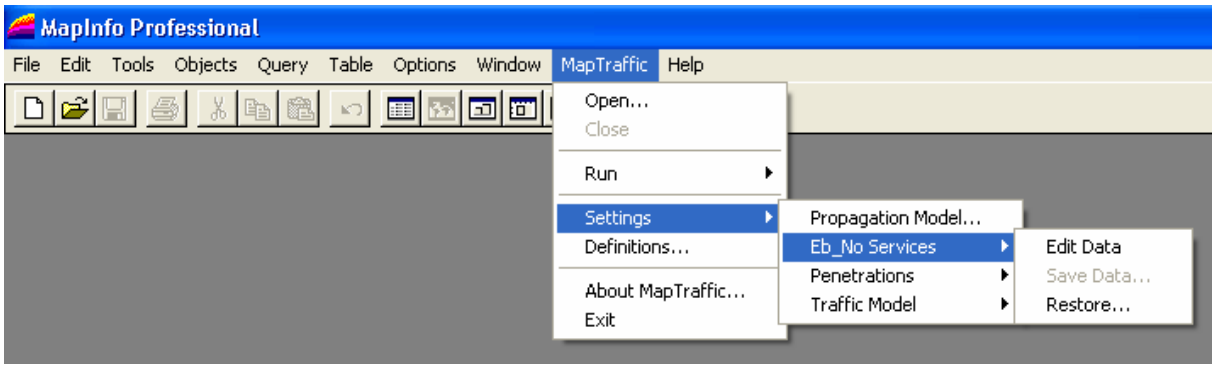


Figura I.10: Edição dos valores de E_b/N_0 para cada serviço.

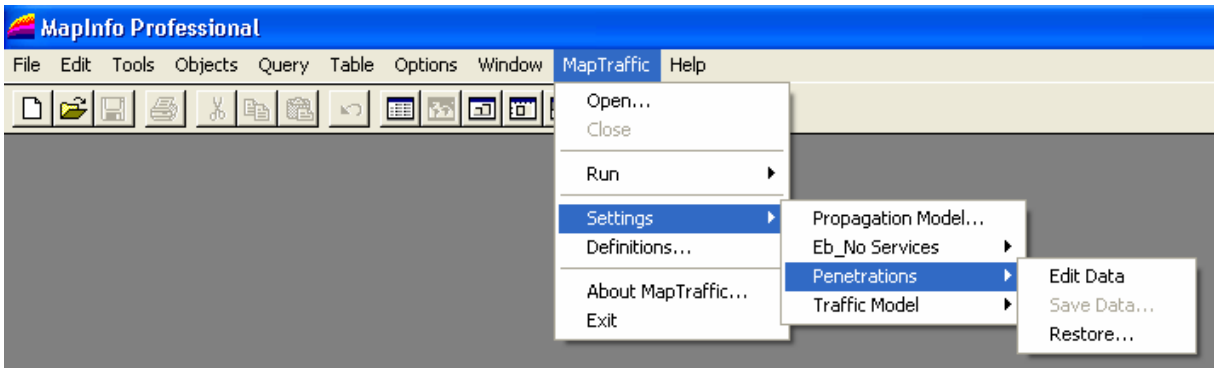


Figura I.11: Edição dos valores do cenário operacional.

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 I.12 mostra o menu relativo ao Modelo de Tráfego.

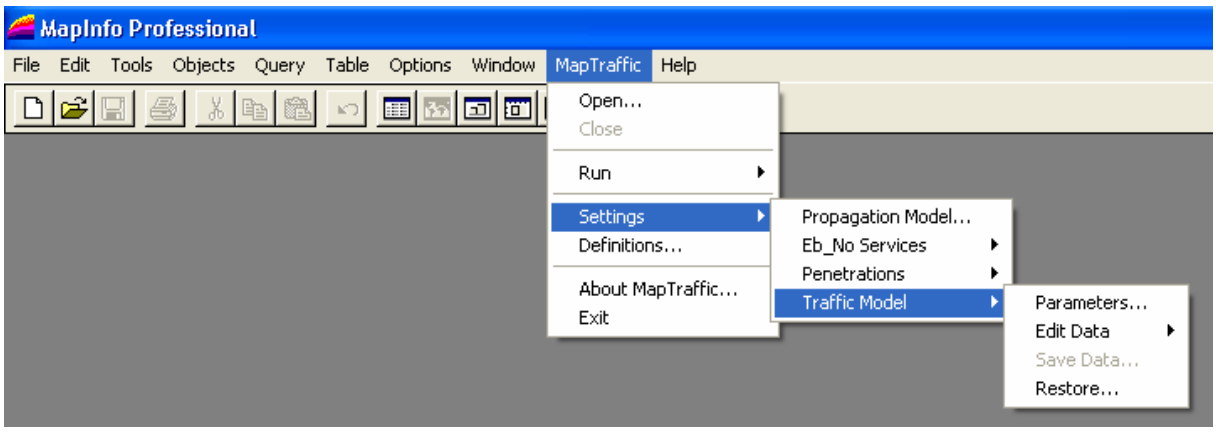


Figura I.12: Menu do Modelo de Tráfego.

Os parâmetros relativos ao Modelo de Tráfego encontram-se sumariados na Figura I.13, sendo eles: a percentagem de utilização e de penetração, o(s) serviço(s) que cada utilizador requer e o tráfego médio por utilizador.

Para a caracterização do tráfego consideram-se os cenários de penetração (habitacional denso, edifícios de utilização mista, edifícios de utilização terciária, habitacional pouco denso, edifícios industriais, estradas e zonas verdes), e os respectivos pesos de cada zona, relativamente aos rendimentos, idade e escolaridade, como se mostra na Figura I.14.

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 I.15. A Figura I.16 demonstra a escolha da distribuição da população, assim como a Figura I.17 representa a tabela da distribuição dos utilizadores.

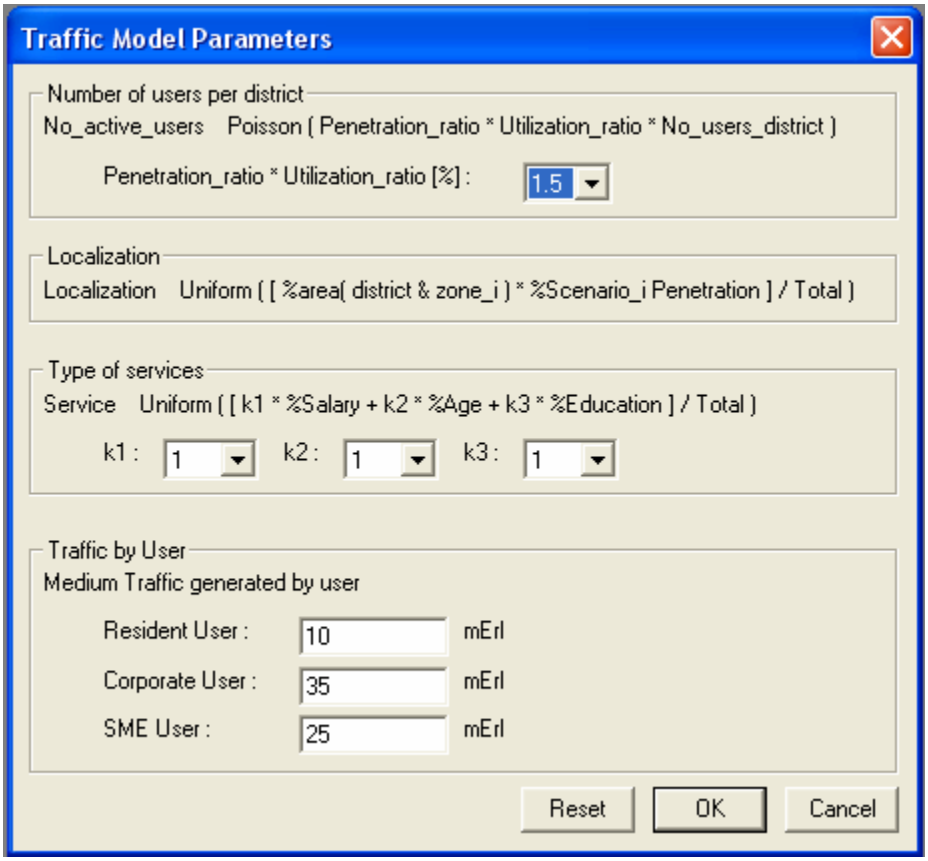


Figura I.13: Parâmetros do Modelo de Tráfego.

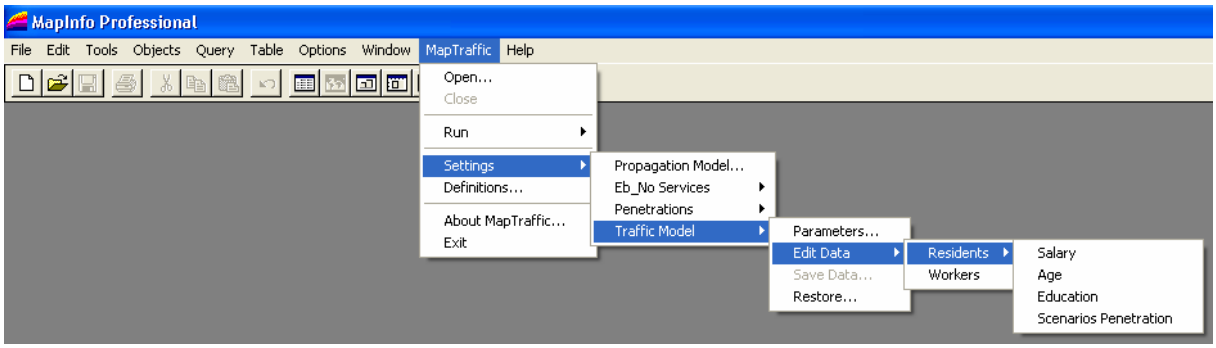


Figura I.14: Edição dos dados relativos ao Modelo de Tráfego.

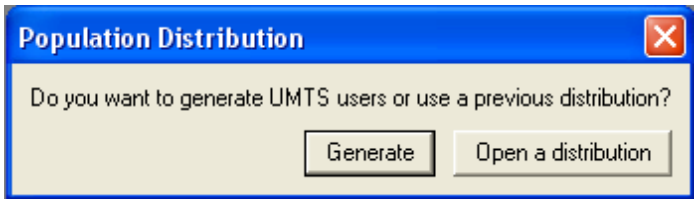


Figura I.15: Possibilidade de escolha de geração da distribuição da população.

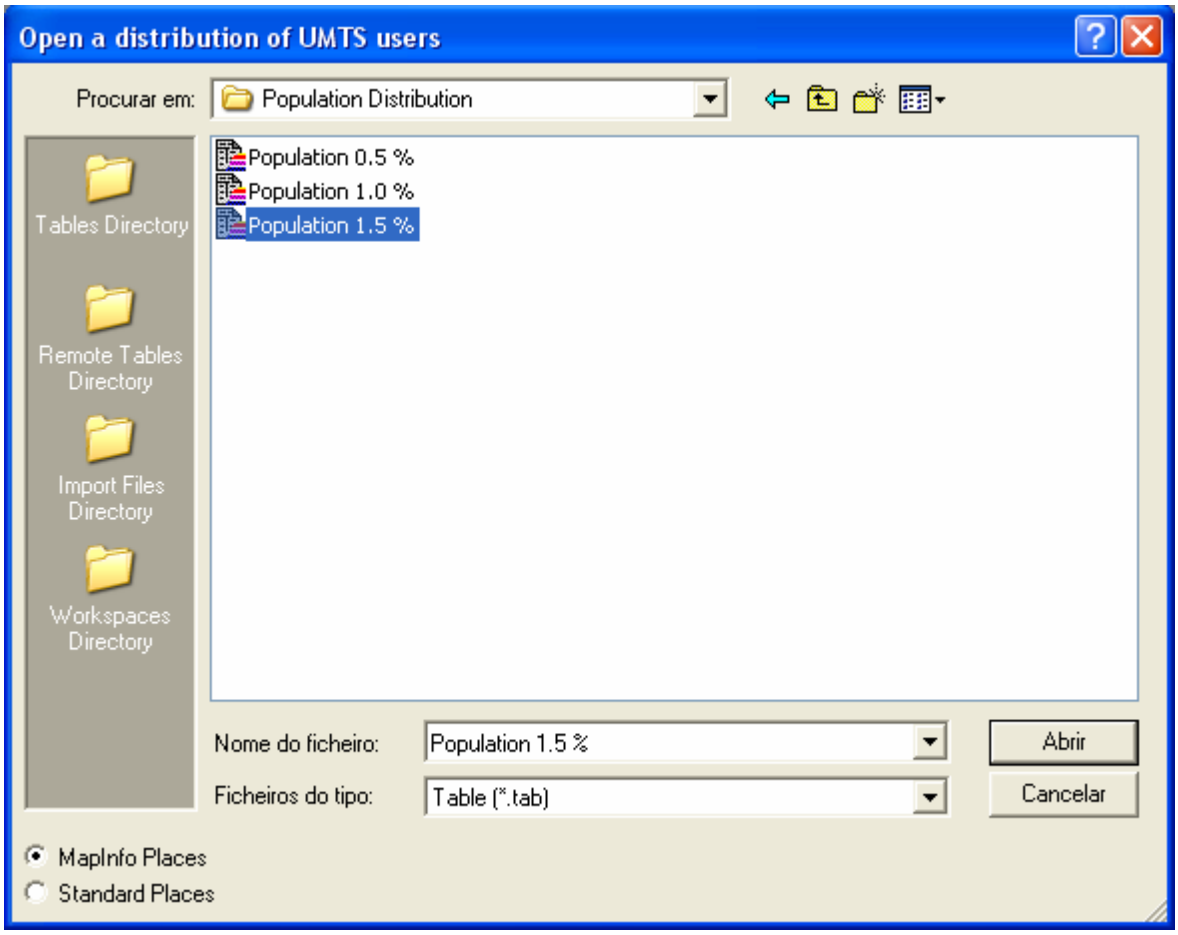
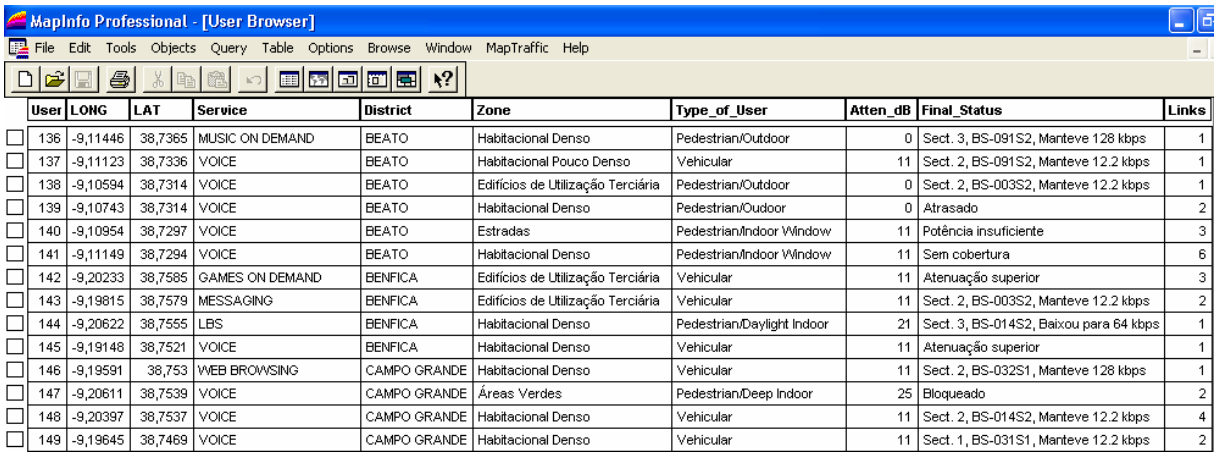


Figura I.16: Selecção da tabela para a escolha da distribuição da população.



User	LONG	LAT	Service	District	Zone	Type_of_User	Atten_dB	Final_Status	Links
136	-9,11446	38,7365	MUSIC ON DEMAND	BEATO	Habitacional Denso	Pedestrian/Outdoor	0	Sect. 3, BS-091S2, Manteve 128 kbps	1
137	-9,11123	38,7336	VOICE	BEATO	Habitacional Pouco Denso	Vehicular	11	Sect. 2, BS-091S2, Manteve 12.2 kbps	1
138	-9,10594	38,7314	VOICE	BEATO	Edifícios de Utilização Terciária	Pedestrian/Outdoor	0	Sect. 2, BS-003S2, Manteve 12.2 kbps	1
139	-9,10743	38,7314	VOICE	BEATO	Habitacional Denso	Pedestrian/Oudoor	0	Atrasado	2
140	-9,10954	38,7297	VOICE	BEATO	Estradas	Pedestrian/Indoor Window	11	Potência insuficiente	3
141	-9,11149	38,7294	VOICE	BEATO	Habitacional Denso	Pedestrian/Indoor Window	11	Sem cobertura	6
142	-9,20233	38,7585	GAMES ON DEMAND	BENFICA	Edifícios de Utilização Terciária	Vehicular	11	Atenuação superior	3
143	-9,19815	38,7579	MESSAGING	BENFICA	Edifícios de Utilização Terciária	Vehicular	11	Sect. 2, BS-003S2, Manteve 12.2 kbps	2
144	-9,20622	38,7555	LBS	BENFICA	Habitacional Denso	Pedestrian/Daylight Indoor	21	Sect. 3, BS-014S2, Baixou para 64 kbps	1
145	-9,19148	38,7521	VOICE	BENFICA	Habitacional Denso	Vehicular	11	Atenuação superior	1
146	-9,19591	38,753	WEB BROWSING	CAMPO GRANDE	Habitacional Denso	Vehicular	11	Sect. 2, BS-032S1, Manteve 128 kbps	1
147	-9,20611	38,7539	VOICE	CAMPO GRANDE	Áreas Verdes	Pedestrian/Deep Indoor	25	Bloqueado	2
148	-9,20397	38,7537	VOICE	CAMPO GRANDE	Habitacional Denso	Vehicular	11	Sect. 2, BS-014S2, Manteve 12.2 kbps	4
149	-9,19645	38,7469	VOICE	CAMPO GRANDE	Habitacional Denso	Vehicular	11	Sect. 1, BS-031S1, Manteve 12.2 kbps	2

Figura I.17: Tabela com uma dada distribuição de utilizadores.

Para as definições representadas na Figura I.18, 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 pela rede de cobertura. Pode seleccionar-se a potência máxima de transmissão da EB, a potência máxima do TM, as percentagens de

potência da EB para *soft handover* e canais de controlo, assim como a selecção do tipo de cenário relativamente à mobilidade e atenuação dos utilizadores, bem como as percentagens para os diferentes tipos de utilizadores. É também possível seleccionar o número de portadoras máximo que cada sector poderá ter.

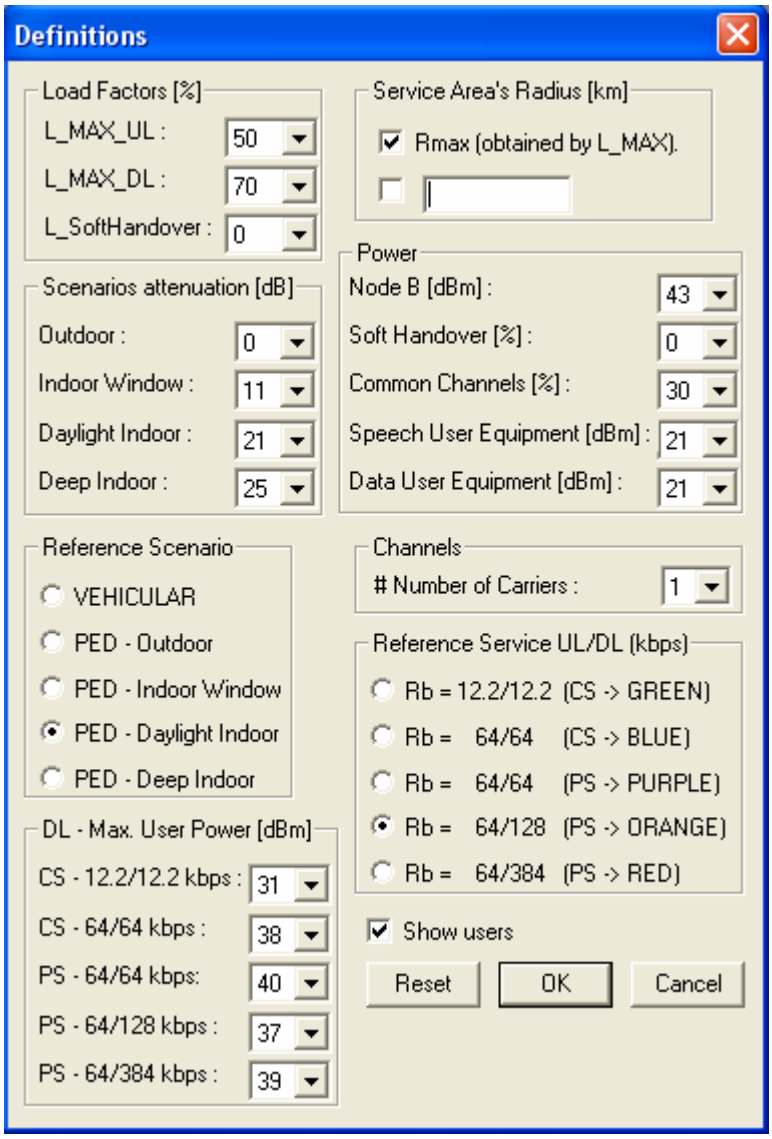


Figura I.18: Definições possíveis para a determinação do raio máximo.

No que diz respeito ao menu *Run*, este apresenta quatro opções para execução, sendo elas: *Users by Service*, *Users by Bit Rate*, *Coverage* e *Intersection*, Figura I.19. No caso de se escolher *Users by Service*, são criadas as tabelas *Services_Users1*, contendo o número de utilizadores por serviço e por freguesia, e *Services_Users2* que contém as densidades de utilizadores também por serviço e por freguesia. Caso a opção escolhida seja *Users by Bit Rate*, aparecem duas novas opções, *Uplink* e *Downlink*, Figura I.20. Se for escolhida a opção *Uplink* será criada a tabela *Services_BitRate_UL* contendo o número de utilizadores por ritmo requerido em UL e por freguesia. Se a opção for *Dowlink* a tabela criada será *Services_BitRate_DL*, contendo esta, o número de utilizadores por ritmo requerido em DL e por freguesia.

.

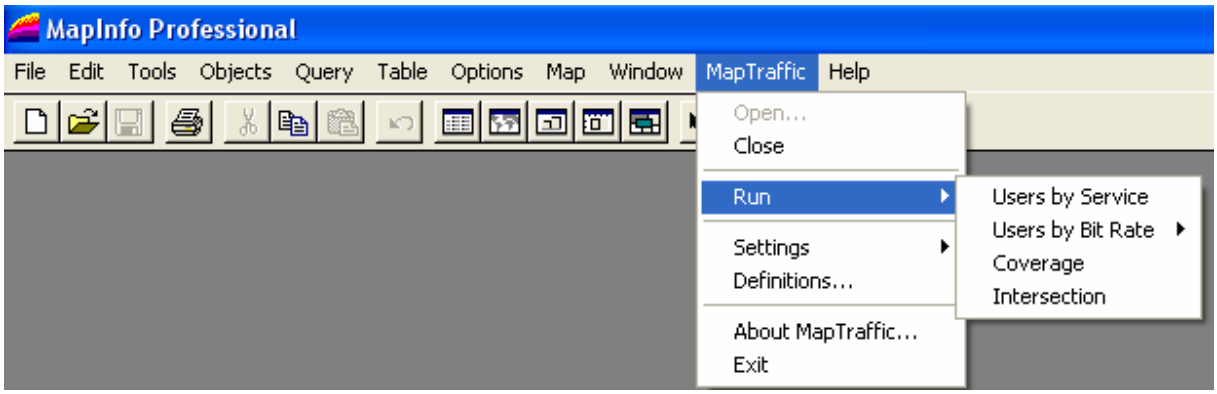


Figura I.19: Itens da opção *Run*.

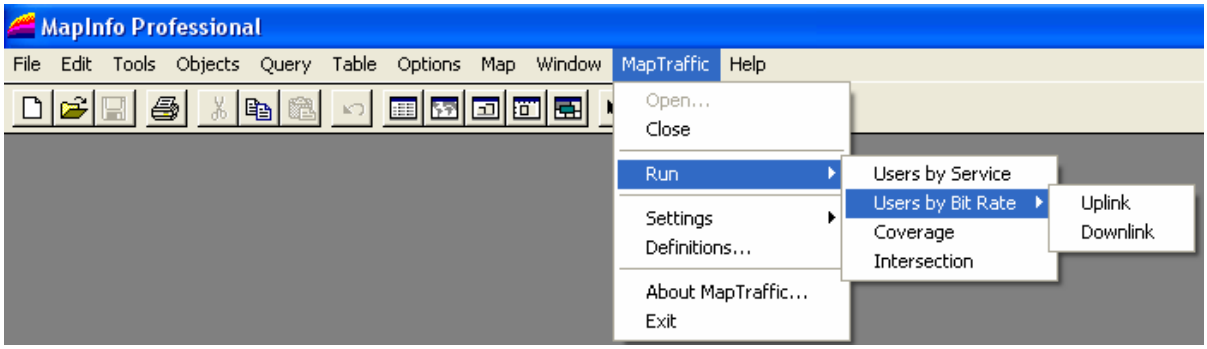


Figura I.20: Itens da opção *Users by Bit Rate*.

No caso de se escolher *Intersection* ocorre o cálculo do erro médio e do erro quadrático médio relativo ao modelo em questão, Figura I.21.

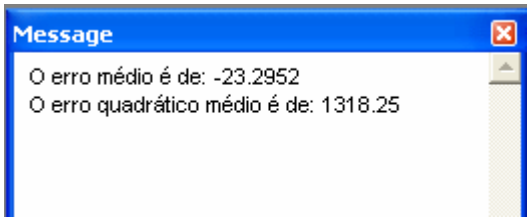


Figura I.21: Erro médio e erro quadrático médio.

No caso de se escolher *Coverage* ocorre a geração aleatória de utilizadores. Em seguida é necessário escolher-se a tabela com a localização das EB's sectorizadas e respectivos ganhos, Figuras I.22 e I.23. A Figura I.24 apresenta os dados estatísticos de saída da opção *Coverage* e por fim, é fornecida uma pequena informação adicional no menu *About MapTraffic*, representado na Figura I.25, onde são apresentados os autores desta aplicação, o professor responsável, bem como a empresa envolvida em todo o projecto.

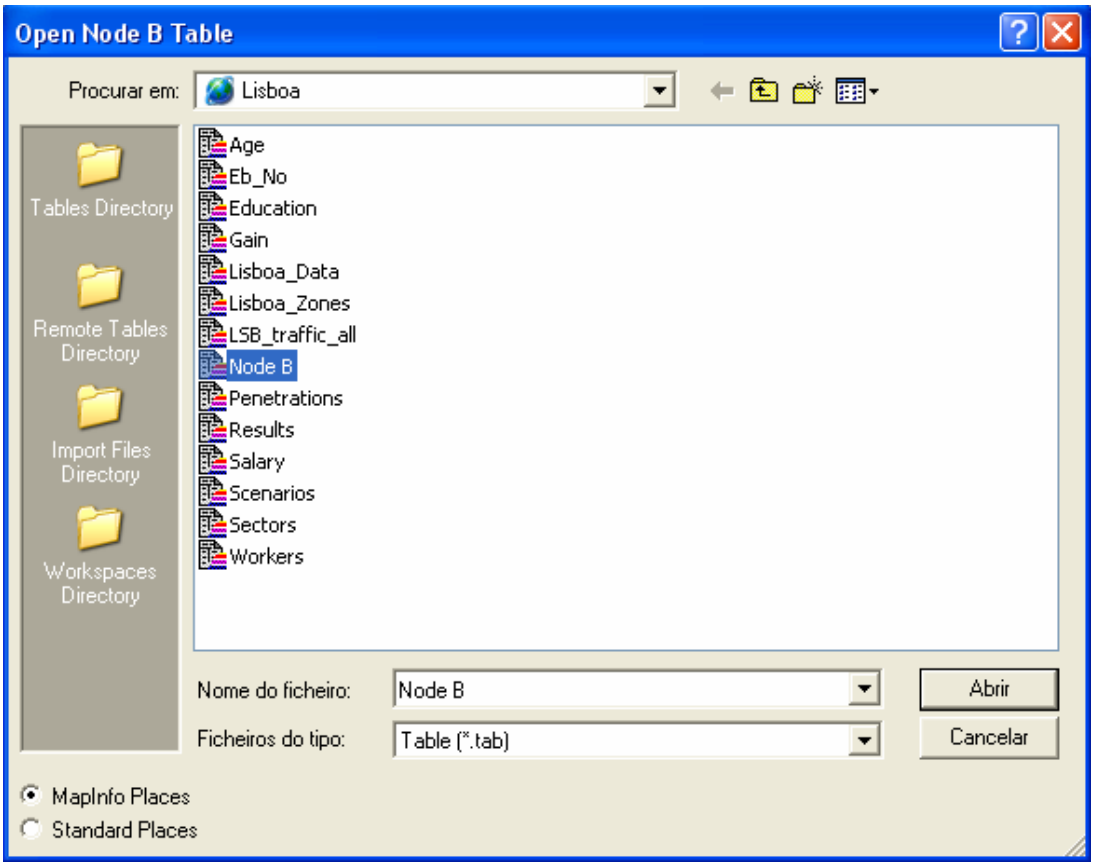


Figura I.22: Selecção da tabela para a localização das EBs.

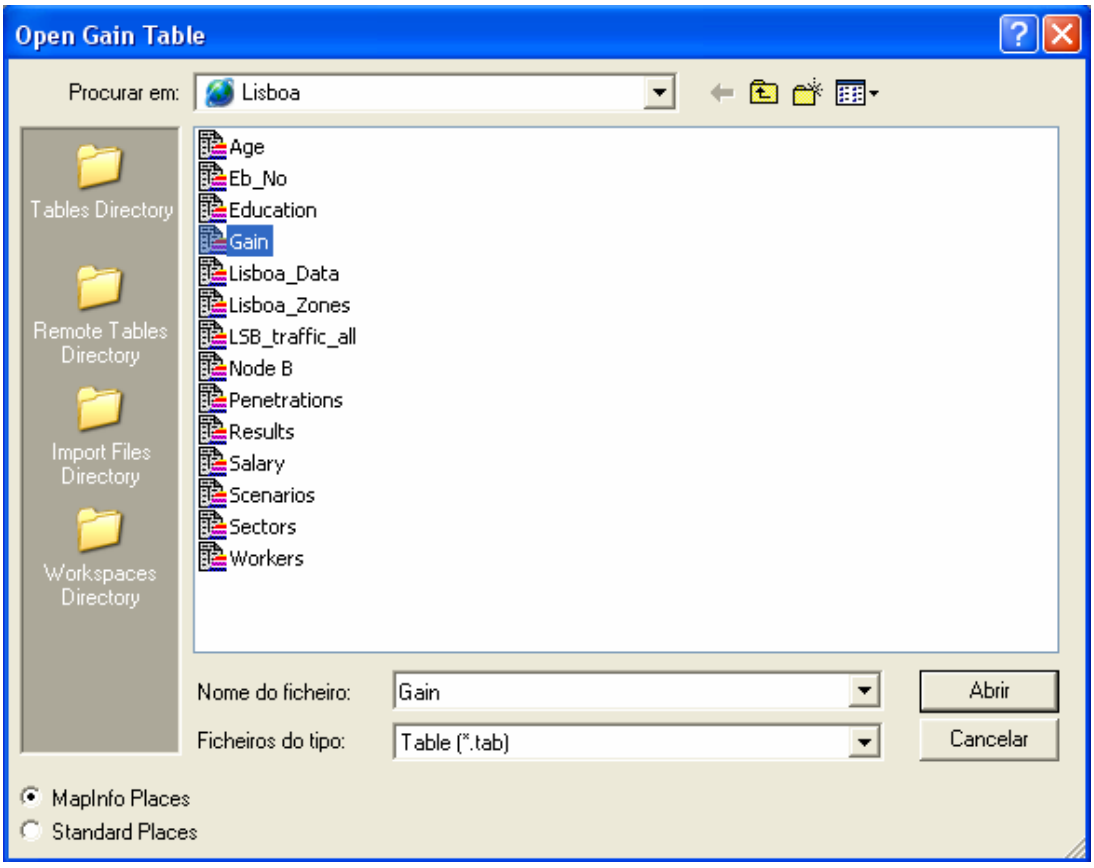


Figura I.23: Selecção da tabela para a localização dos sectores.

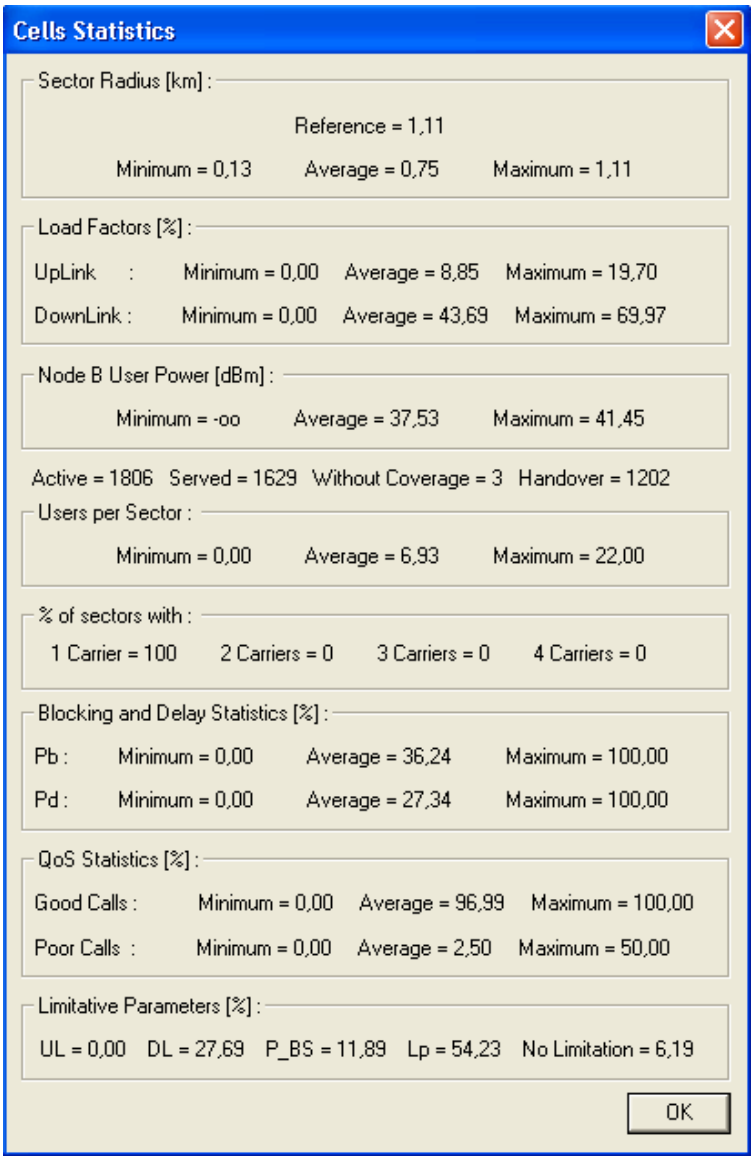


Figura I.24: Dados estatísticos de saída da opção *Coverage*.

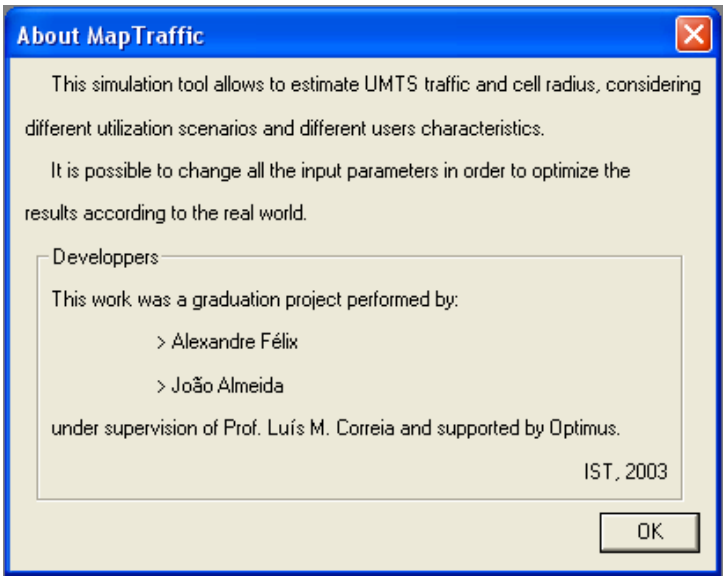


Figura I.25: Informações adicionais sobre *MapTraffic*.

Anexo J – Modelo de Propagação COST 231 – *Walfisch-Ikegami*

O Modelo de Propagação do COST 231 – *Walfish-Ikegami*, [Corr03], consiste numa combinação dos modelos de *Ikegami* e de *Walfisch-Bertoni* com resultados de medidas efectuadas em algumas cidades da Europa. Trata-se de um modelo que considera a propagação ao longo de uma dada rua e as respectivas reflexões, devido aos edifícios e estruturas, e ainda as difracções no topo dos edifícios, nomeadamente o último edifício antes da rua em questão. A Figura J.1 apresenta os parâmetros necessários para uma caracterização adequada da propagação para a cidade em estudo.

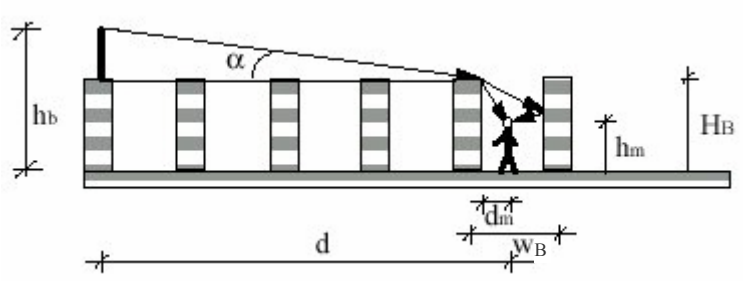


Figura J.1: Representação dos parâmetros de propagação para o Modelo do COST 231 – *Walfisch-Ikegami* (extraído de [Corr03]).

A expressão para a atenuação de propagação média do Modelo do COST 231 – *Walfisch-Ikegami*, dependendo da situação considerada, isto é, no caso de propagação ao longo da rua em LoS (a propagação faz-se na direcção de uma rua (φ= 0), e existe linha de vista) a atenuação de propagação média é dada por J.1, enquanto que para os restantes casos, utiliza-se a J.2.

$$L_{p[\mathrm{dB}]} = 42.6 + 26\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 20\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right),\ d > 0.02\ \mathrm{km} \tag{J.1}$$

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

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

$$L_{0[\mathrm{dB}]} = 32.44 + 20\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 20\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) \tag{J.3}$$

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

em que: L_{bsh} é dada por (J.5), k_a representa o aumento das perdas devido à BS estar abaixo do telhado e é dado por (J.6), k_d e k_f representam a dependência das perdas de difracção multi-lâmina com a distância e a frequência, respectivamente, e dados por (J.7) e (J.8), w_B é a distância entre os centros dos prédios, Figura J.1.

$$L_{bsh[\mathrm{dB}]}\begin{cases}-18\log\left(h_{b[\mathrm{m}]}-H_{B[\mathrm{m}]}+1\right), & h_b > H_B\\ 0 & , h_b \le H_B\end{cases} \tag{J.5}$$

$$k_a = \begin{cases}54 & , h_b > H_B\\ \left.\begin{array}{ll}54-0.8\left(h_{b[\mathrm{m}]}-H_{B[\mathrm{m}]}\right) & , d \ge 0.5\mathrm{km}\\ 54-1.6\left(h_{b[\mathrm{m}]}-H_{B[\mathrm{m}]}\right)d_{[\mathrm{km}]} & , d < 0.5\mathrm{km}\end{array}\right\} & h_b \le H_B\end{cases} \tag{J.6}$$

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

$$k_f = \begin{cases}-4+0.7\left(\dfrac{f_{[\mathrm{MHz}]}}{925}-1\right), & \text{zonas urbanas e suburbanas}\\ -4+1.5\left(\dfrac{f_{[\mathrm{MHz}]}}{925}-1\right), & \text{centros urbanos}\end{cases} \tag{J.8}$$

em que: h_b é a altura da EB e H_B é a altura dos prédios.

$$L_{tm[\mathrm{dB}]} = -16.9-10\log\left(w_{s[\mathrm{m}]}\right)+10\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right)+20\log\left(H_{B[\mathrm{m}]}-h_{m[\mathrm{m}]}\right)+L_{ori[\mathrm{dB}]} \tag{J.9}$$

em que: w_s representa a largura das ruas, h_m representa a altura média do utilizador do TM, L_{ori} é dada por (J.10) e representa as perdas devido à mudança da orientação do raio. Depende do ângulo de partida do raio no telhado do último edifício da rua em questão, ϕ, ou seja, da orientação com que o raio directo entra na rua.

$$L_{ori[\mathrm{dB}]} = \begin{cases}-10+0.354\phi_{[o]} & , \ 0^o \le \phi < 35^o\\ 2.5+0.075\left(\phi_{[o]}-35\right) & , \ 35^o \le \phi < 55^o\\ 4.0-0.114\left(\phi_{[o]}-55\right) & , \ 55^o \le \phi < 90^o\end{cases} \tag{J.10}$$

O Modelo do COST 231 – *Walfish-Ikegami* é válido para:

- $f \in$ [800, 2 000] MHz,
- $d \in$ [0.02, 5] km,
- $h_b \in$ [4, 50] m,
- $h_m \in$ [1, 3] m,
- O desvio padrão toma valores no intervalo [4, 7] dB,
- O erro aumenta quando h_b diminui em relação a H_B.

Na ausência de dados concretos são recomendados os seguintes valores:

- $w_B \in$ [20, 50] m,
- $w_s = \dfrac{w_B}{2}$,

- $\phi = 90^{o}$,
- $H_{B[\mathrm{m}]} = 3 \times (n^{o}\ pisos) + H_{tel}$,
- $H_{tel[\mathrm{m}]} = \begin{cases} 3, & inclinado \\ 0, & plano \end{cases}$

No presente trabalho, consideraram-se os valores de referência apresentados na Tabela J.1.

Tabela J.1: Valores de referência utilizados no presente trabalho.

Parâmetros		**Valores**
f [MHz]	UL	1922.5
	DL	2112.5
H_B [m]		24
h_b [m]		25
w_S [m]		24
w_B [m]		48
h_m [m]		1.80
ϕ [º]		90

Anexo K – Densidade dos serviços

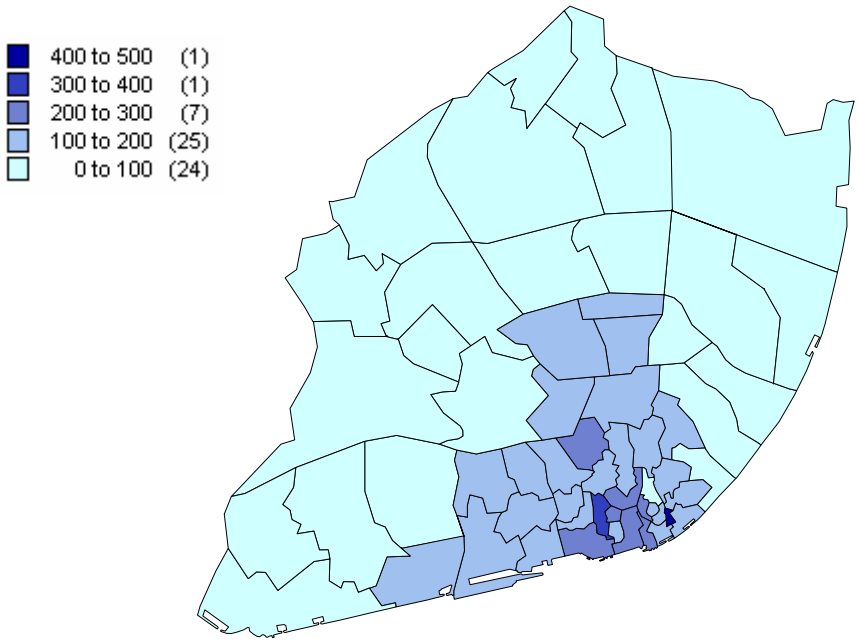


Figura K.1: Densidade do serviço *Voice* para UL em Lisboa [pop/km^2].

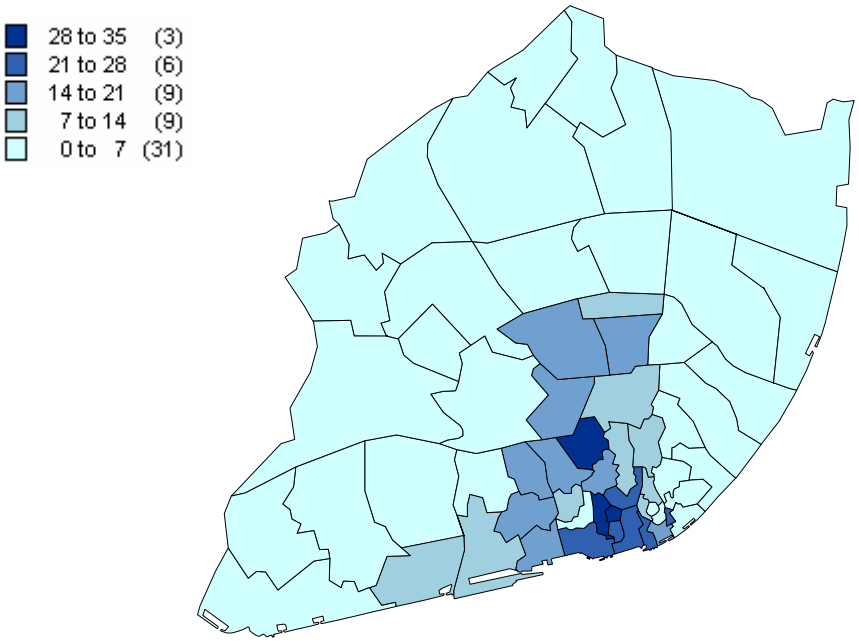


Figura K.2: Densidade do serviço 64CS para UL em Lisboa [pop/km^2].

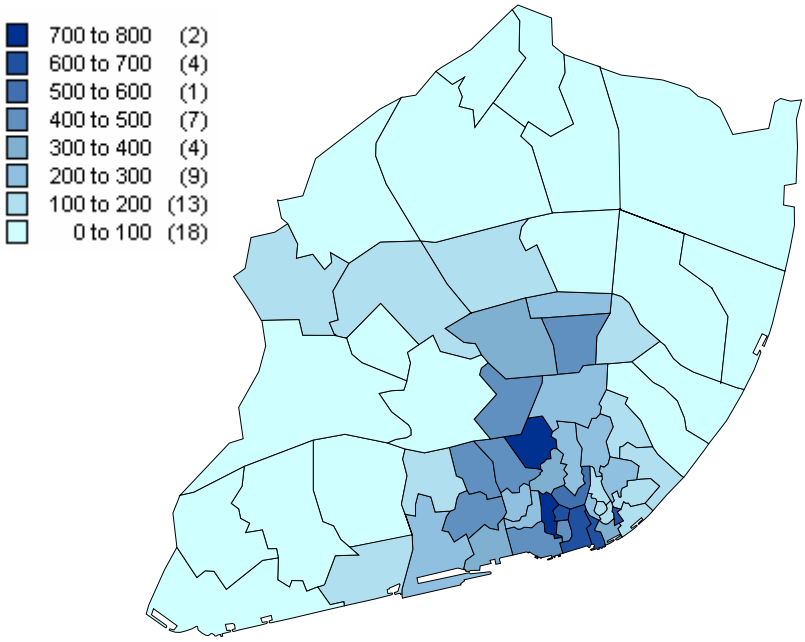


Figura K.3: Densidade do serviço 64PS para UL em Lisboa [pop/km^2].

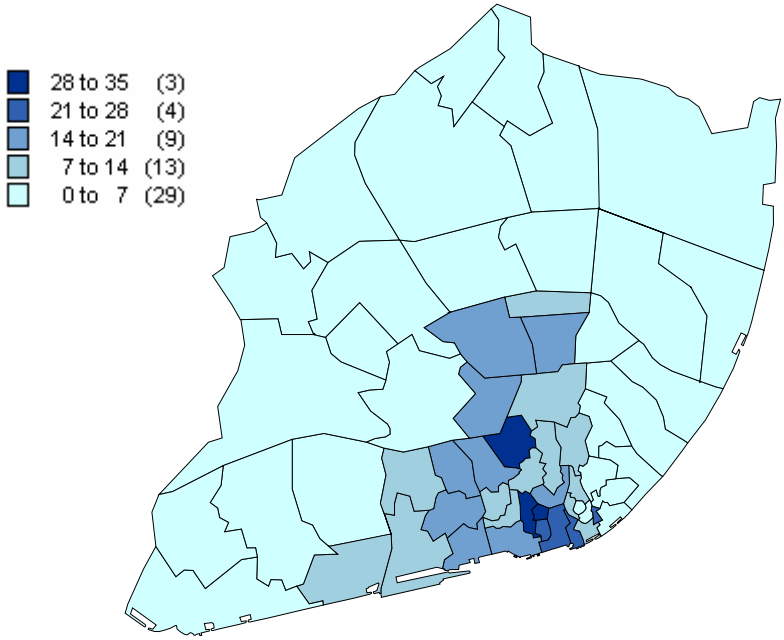


Figura K.4: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para UL em Lisboa [pop/km^2].

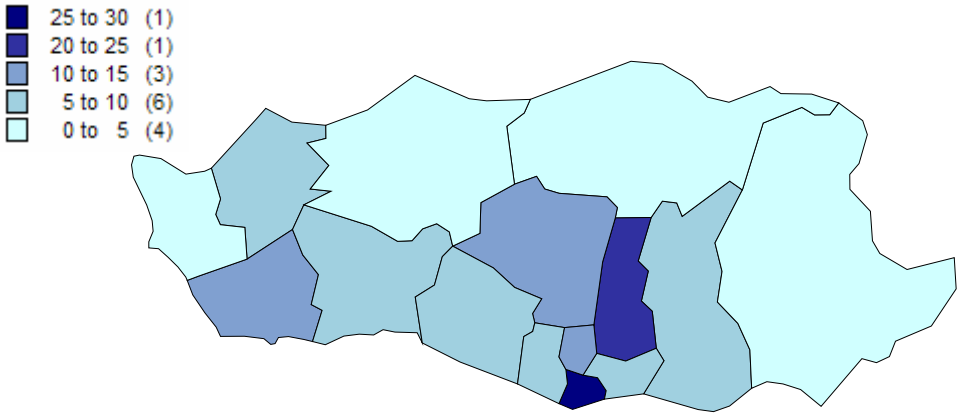


Figura K.5: Densidade do serviço 64CS para UL no Porto [pop/km^2].

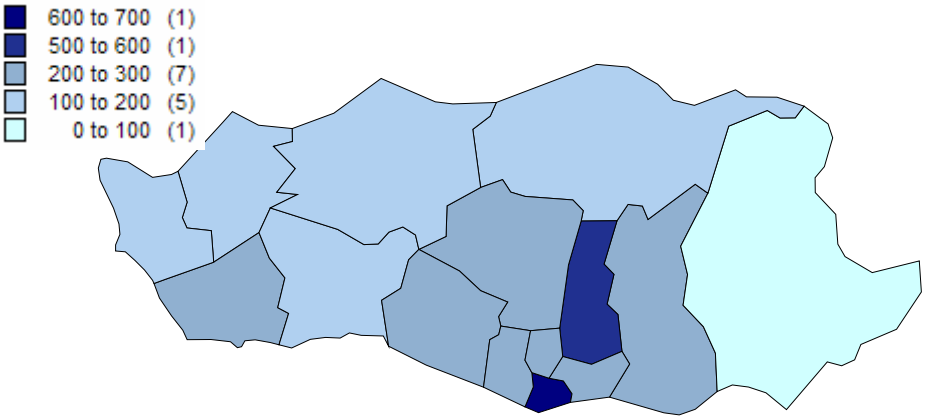


Figura K.6: Densidade do serviço 64PS para UL no Porto [pop/km^2].

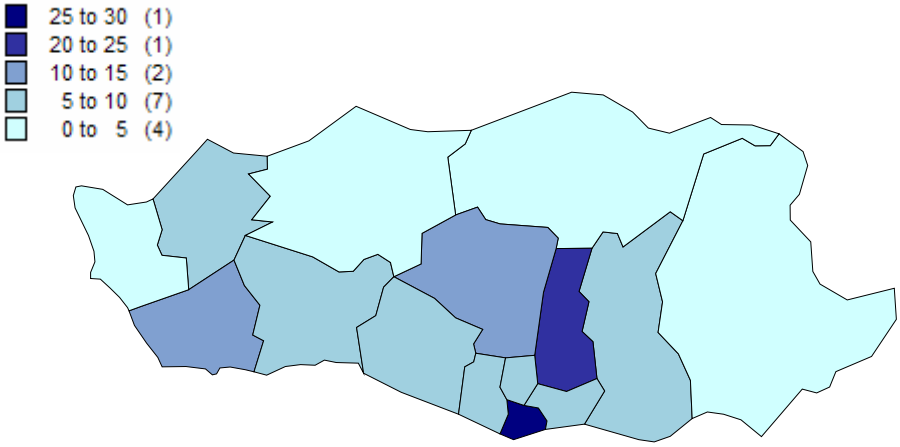


Figura K.7: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para UL no Porto [pop/km^2].

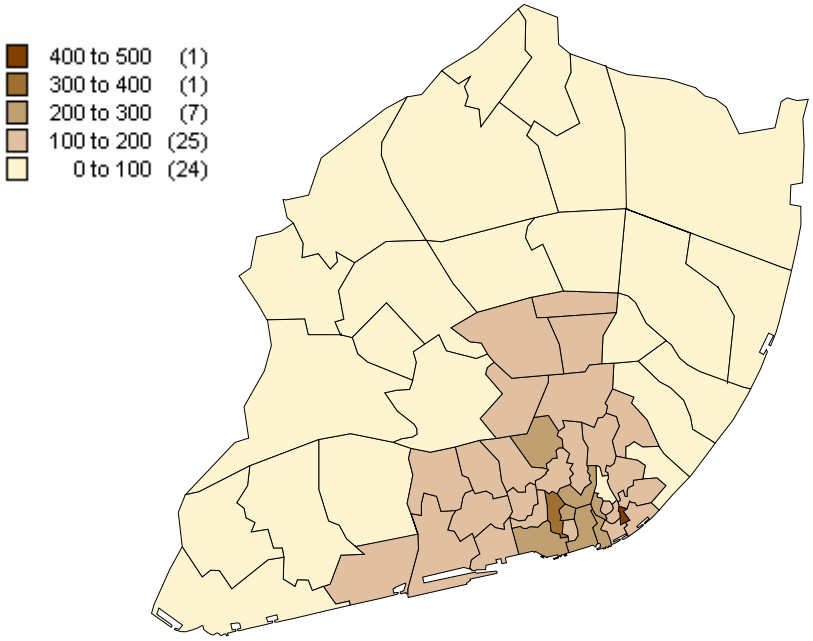


Figura K.8: Densidade do serviço *Voice* para DL em Lisboa [pop/km^2].

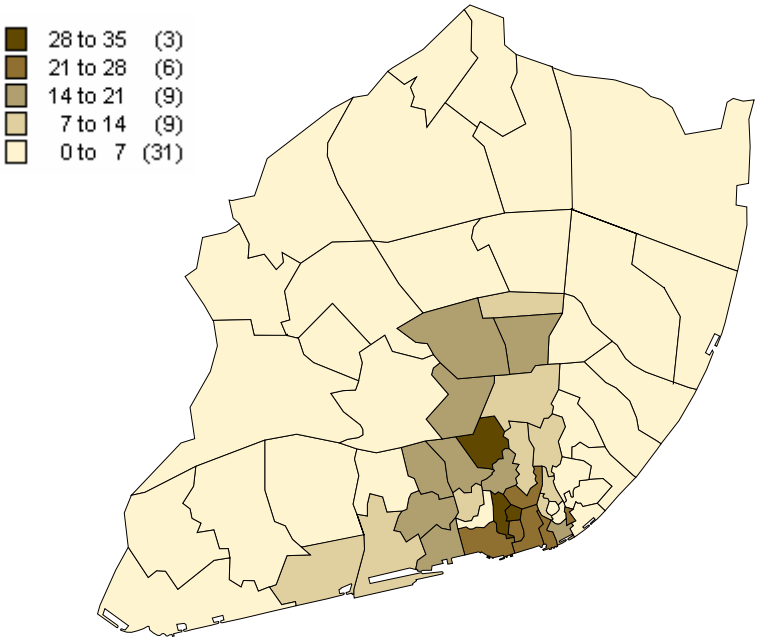


Figura K.9: Densidade do serviço 64CS para DL em Lisboa [pop/km^2].

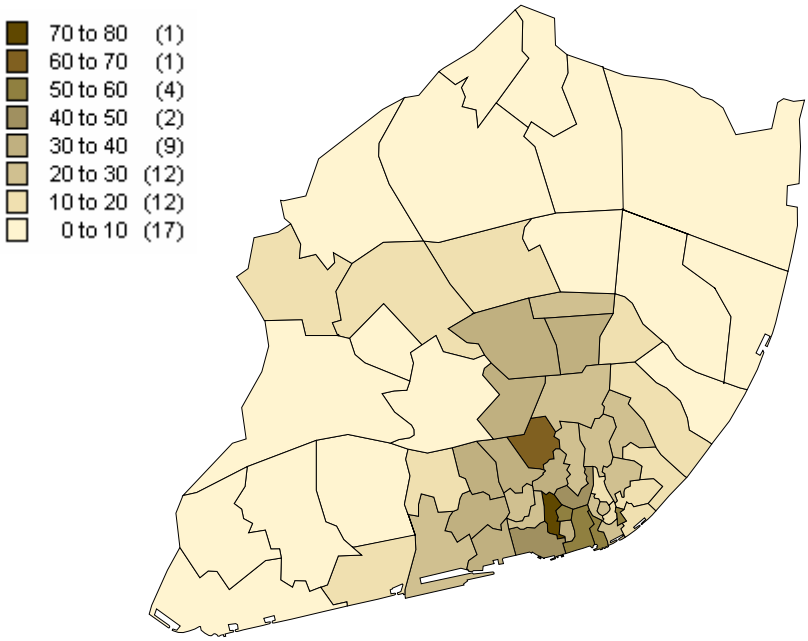


Figura K.10: Densidade do serviço 64PS para DL em Lisboa [pop/km^2].

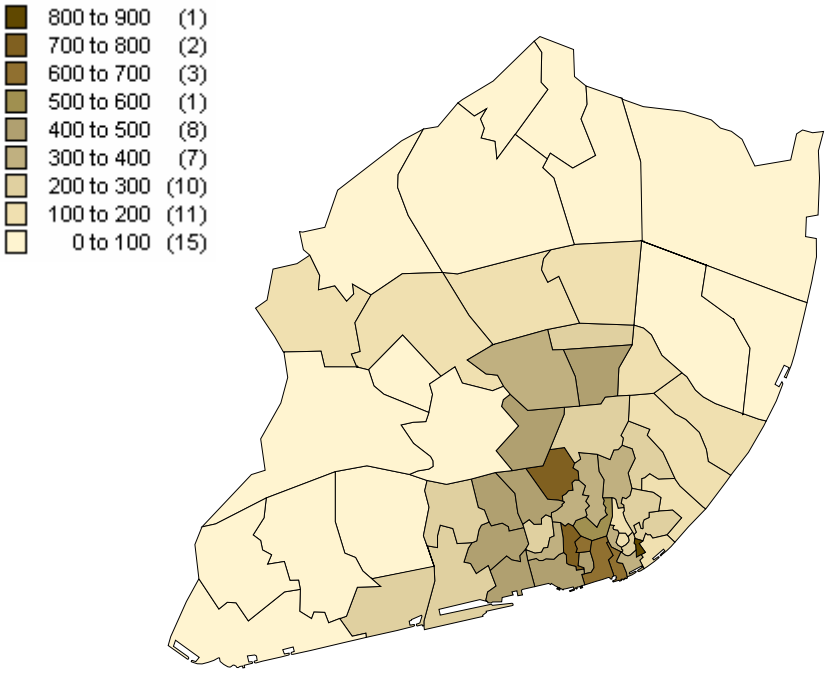


Figura K.11: Densidade do serviço 128PS para DL em Lisboa [pop/km^2].

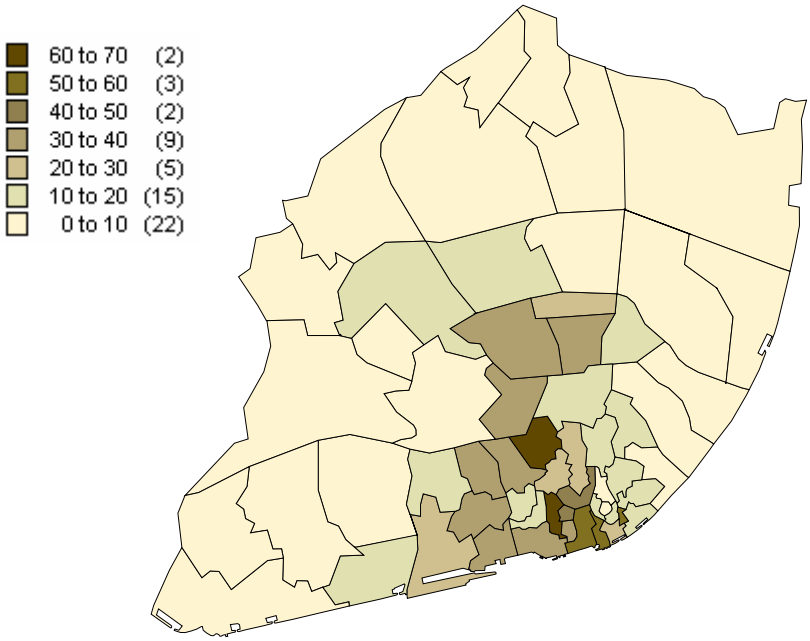


Figura K.12: Densidade do serviço 384PS para DL em Lisboa [pop/km^2].

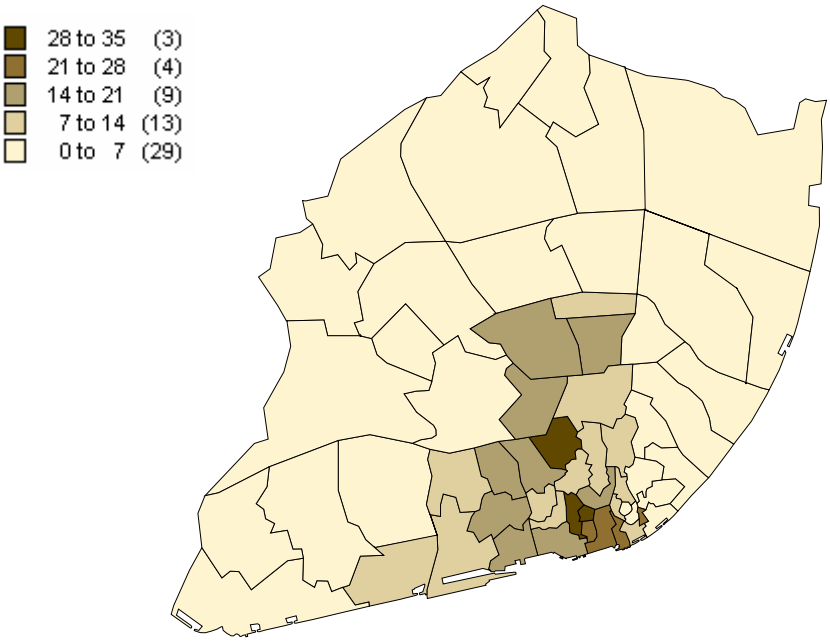


Figura K.13: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para DL em Lisboa [pop/km^2].

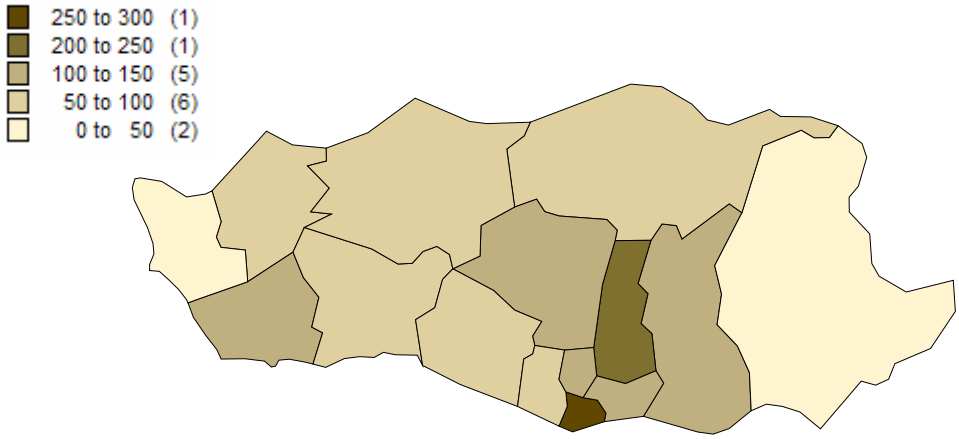


Figura K.14: Densidade do serviço *Voice* para DL no Porto [pop/km^2].

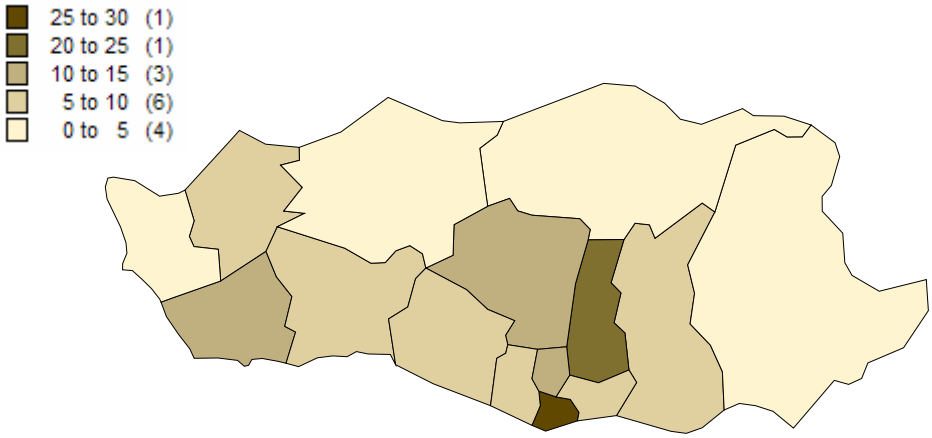


Figura K.15: Densidade do serviço 64CS para DL no Porto [pop/km^2].

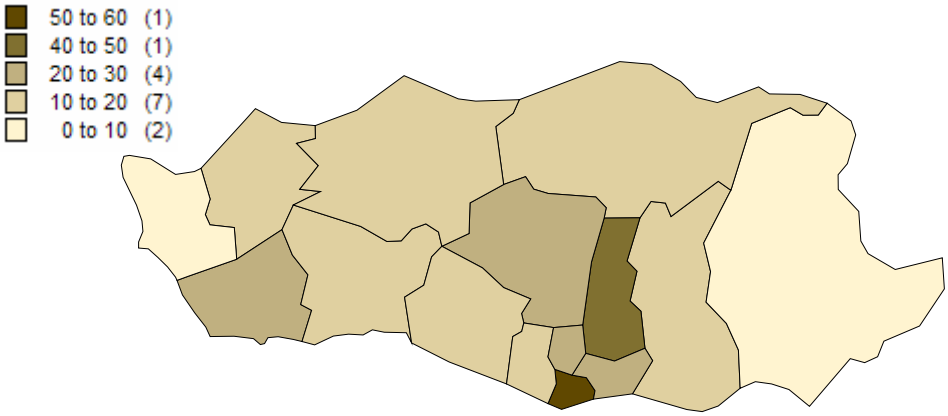


Figura K.16: Densidade do serviço 64PS para DL no Porto [pop/km^2].

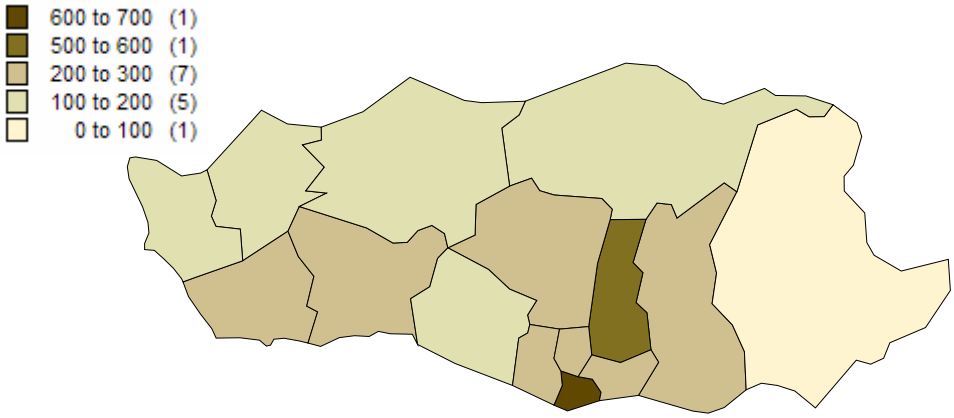


Figura K.17: Densidade do serviço 128PS para DL no Porto [pop/km^2].

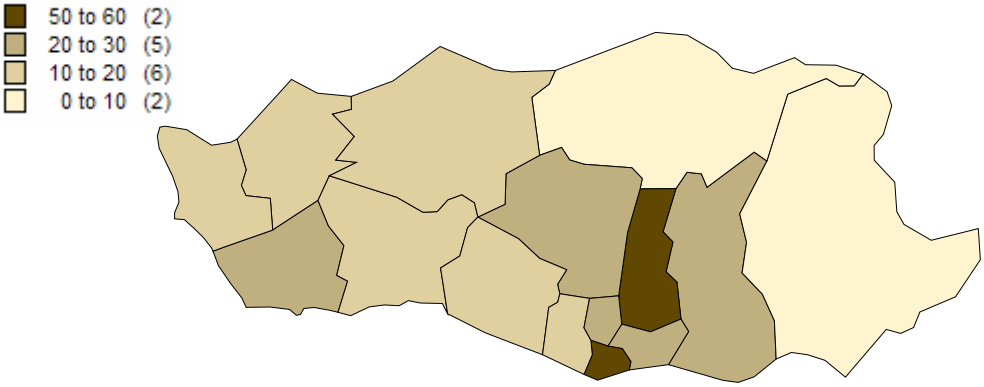


Figura K.18: Densidade do serviço 384PS para DL no Porto [pop/km^2].

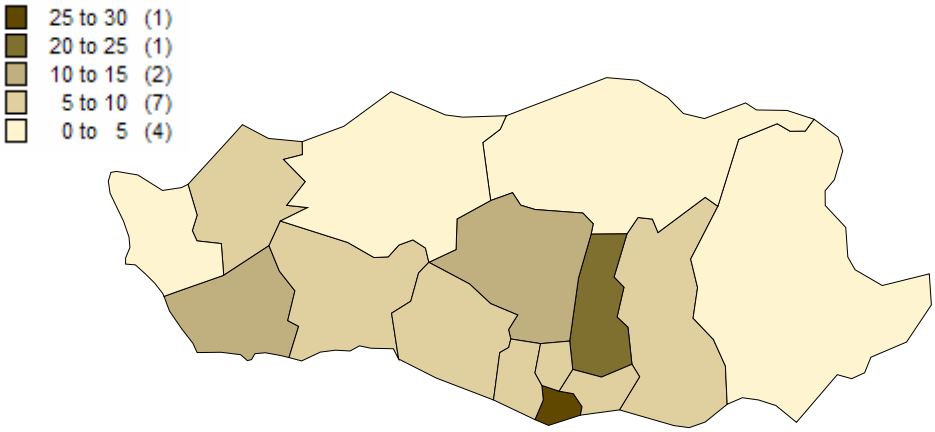


Figura K.19: Densidade do serviço *Voice* + 64PS para DL no Porto [pop/km^2].

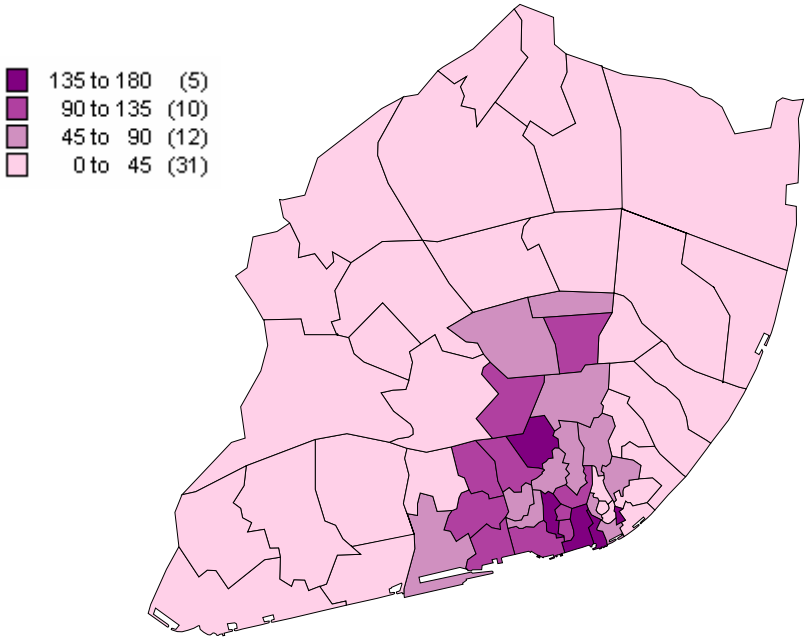


Figura K.20: Densidade do serviço *Messaging* em Lisboa [pop/km^2].

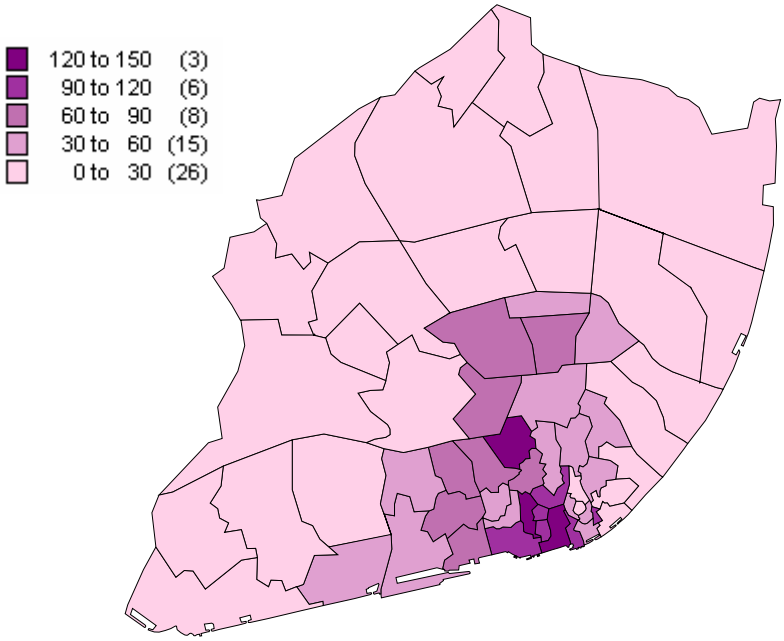


Figura K.21: Densidade do serviço *Web Browsing* em Lisboa [pop/km^2].

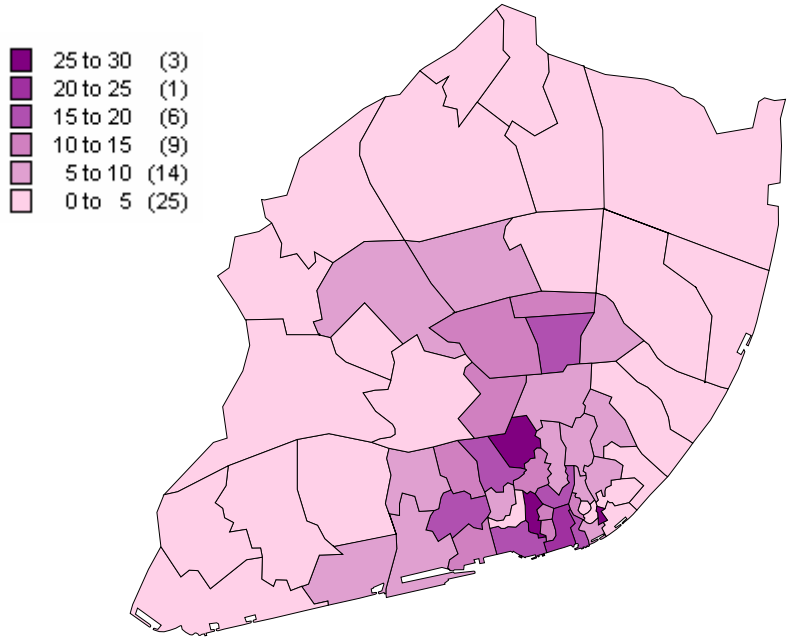


Figura K.22: Densidade do serviço *Intranet* em Lisboa [pop/km^2].

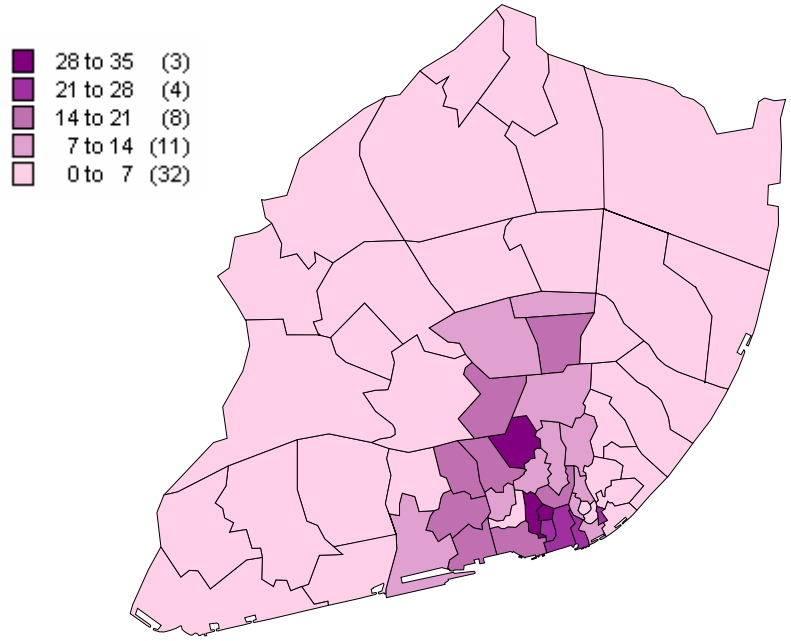


Figura K.23: Densidade do serviço *Video Conference* em Lisboa [pop/km^2].

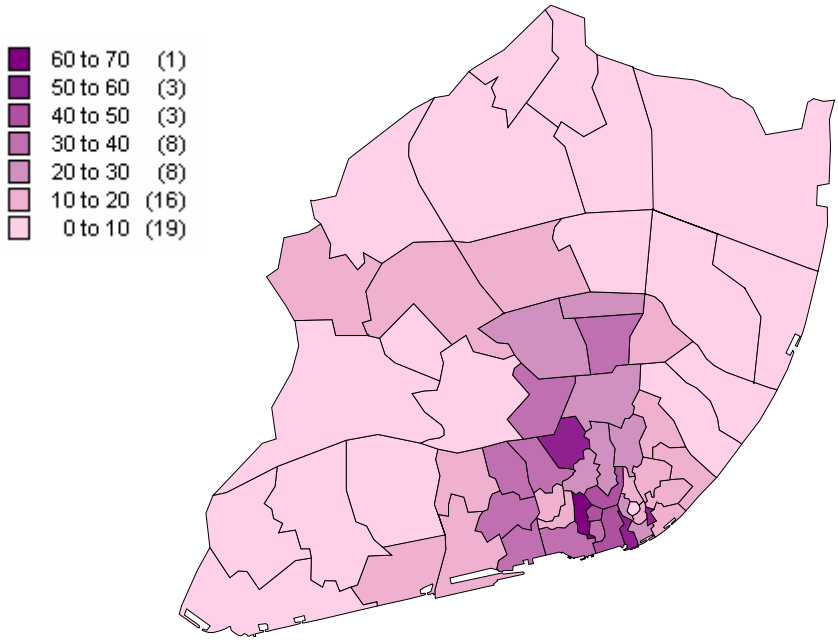


Figura K.24: Densidade do serviço *Location Based Services* em Lisboa [pop/km^2].

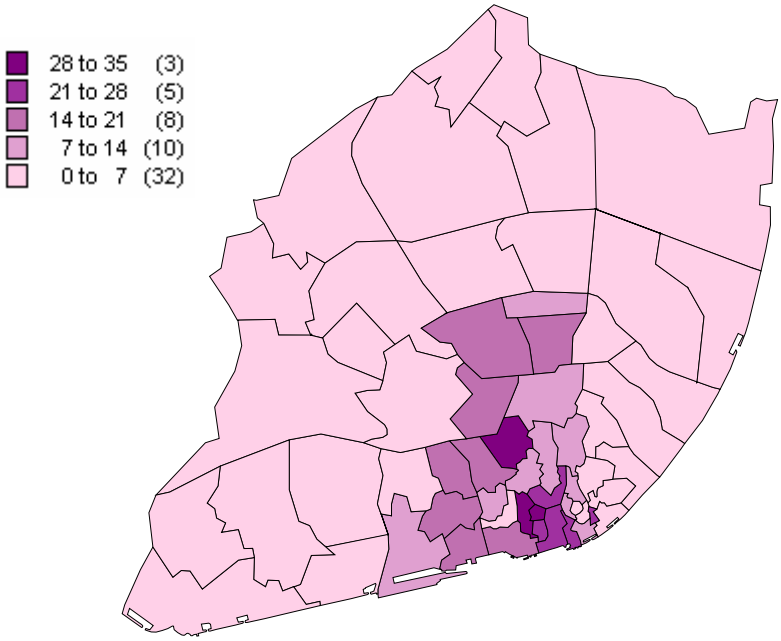


Figura K.25: Densidade do serviço *Video on Demand* em Lisboa [pop/km^2].

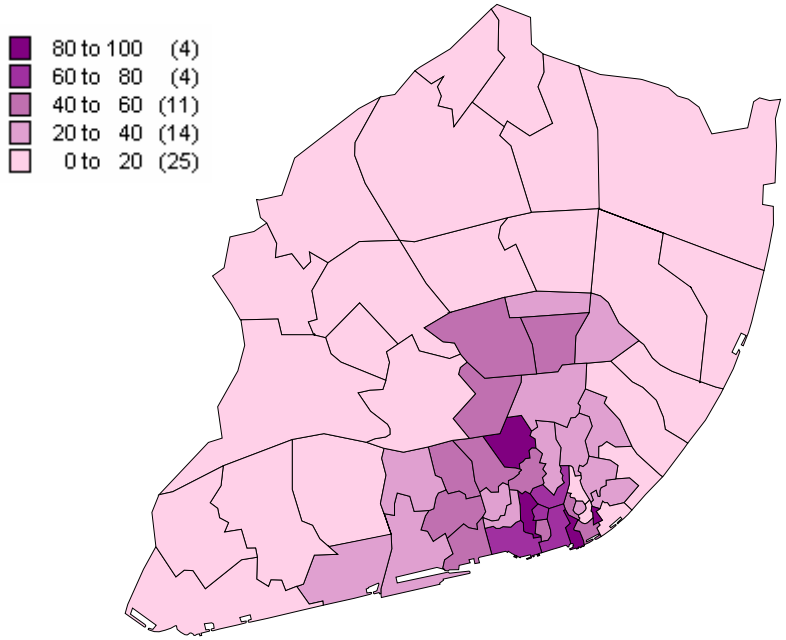


Figura K.26: Densidade do serviço *Audio on Demand* em Lisboa [pop/km^2].

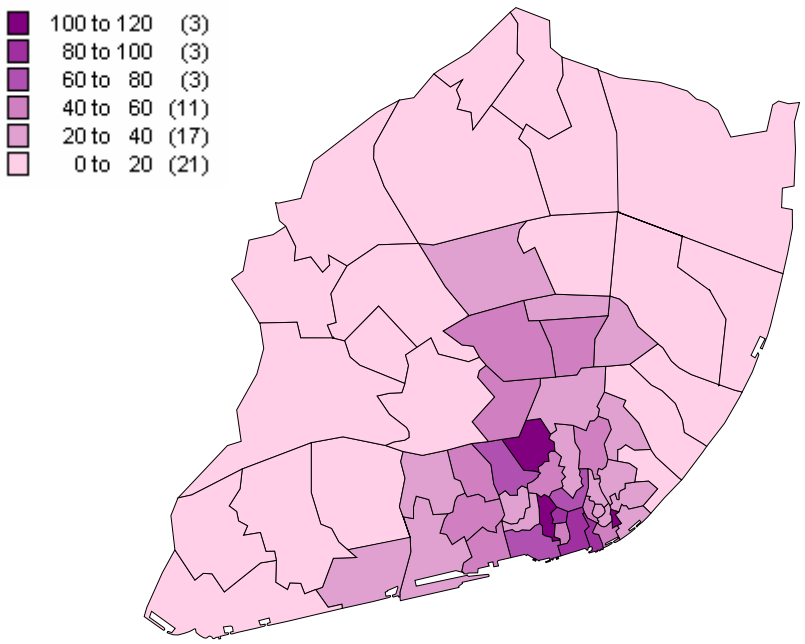


Figura K.27: Densidade do serviço *Games on Demand* em Lisboa [pop/km^2].

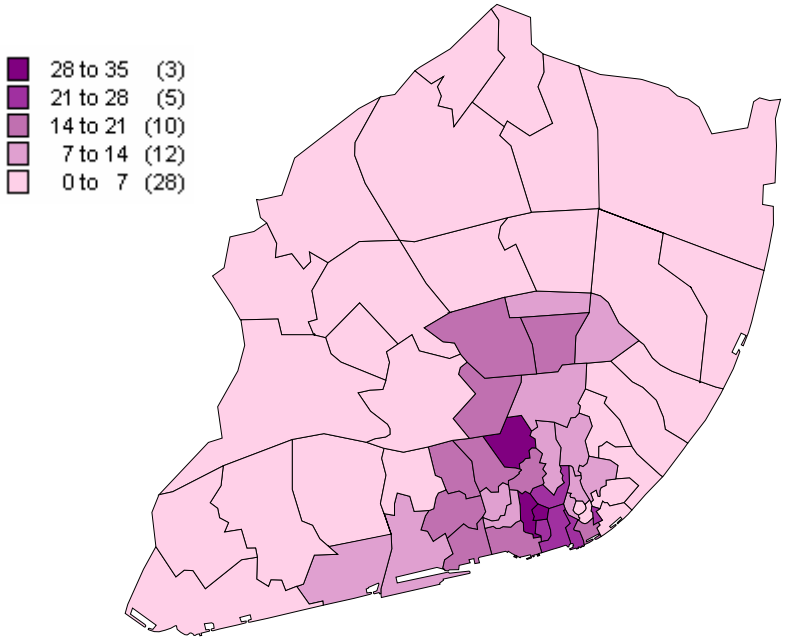


Figura K.28: Densidade do serviço *Applications on Demand* em Lisboa [pop/km^2].

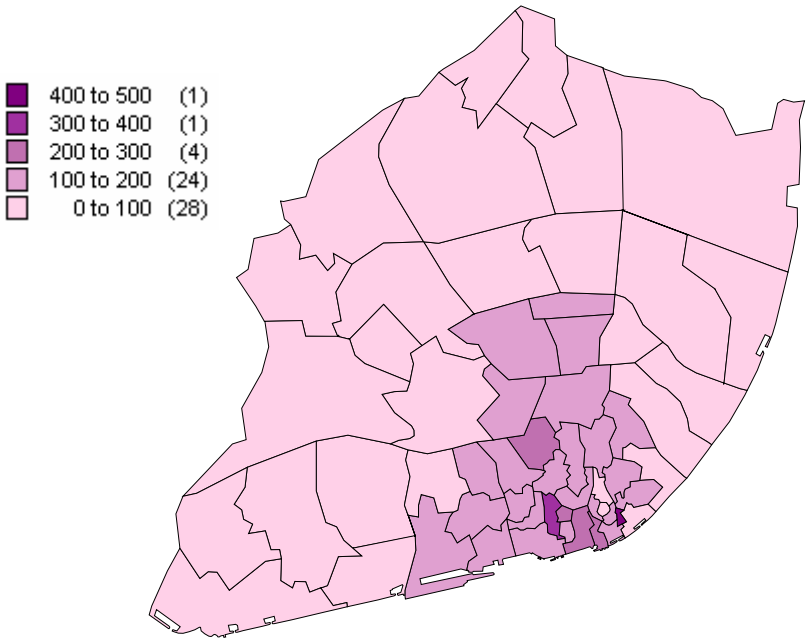


Figura K.29: Densidade do serviço *Voice* em Lisboa [pop/km^2].

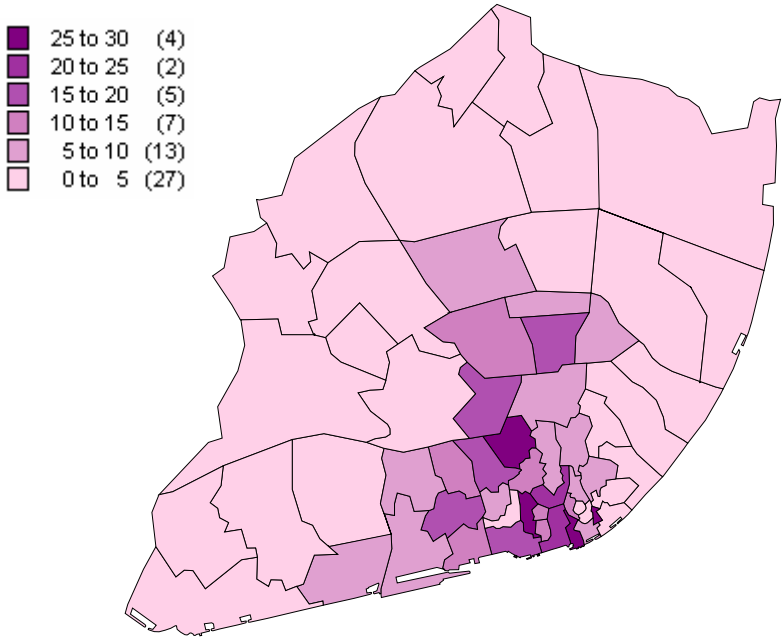


Figura K.30: Densidade do serviço *Voice + Location Based Services* em Lisboa [pop/km^2].

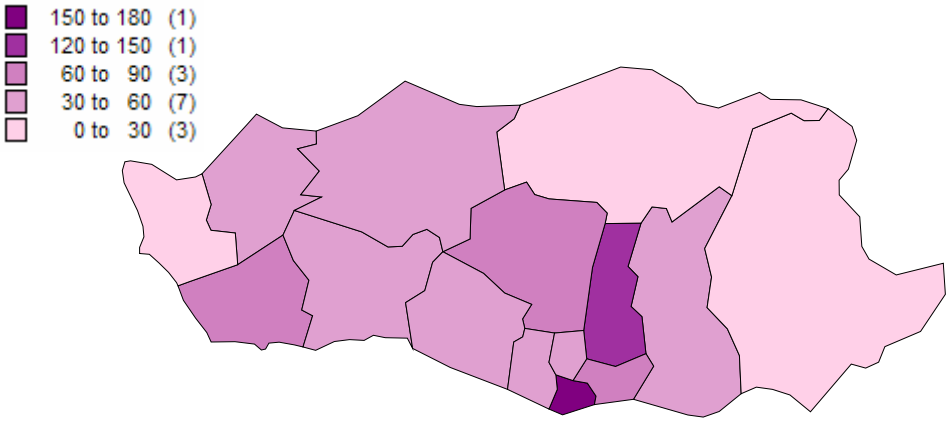


Figura K.31: Densidade do serviço *Messaging* no Porto [pop/km^2].

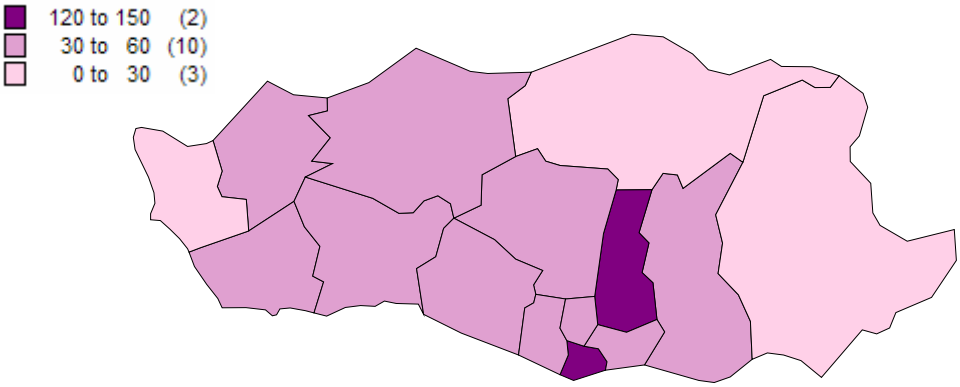


Figura K.32: Densidade do serviço *Web Browsing* no Porto [pop/km^2].

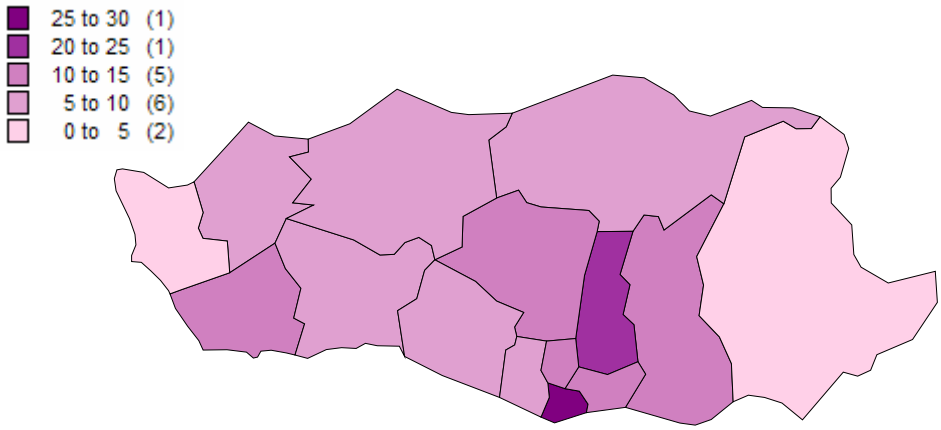


Figura K.33: Densidade do serviço *Intranet* no Porto [pop/km^2].

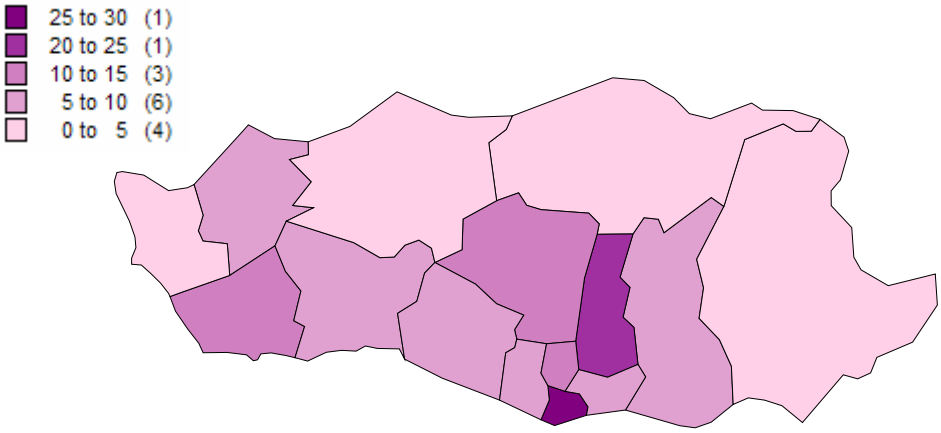


Figura K.34: Densidade do serviço *Video Conference* no Porto [pop/km^2].

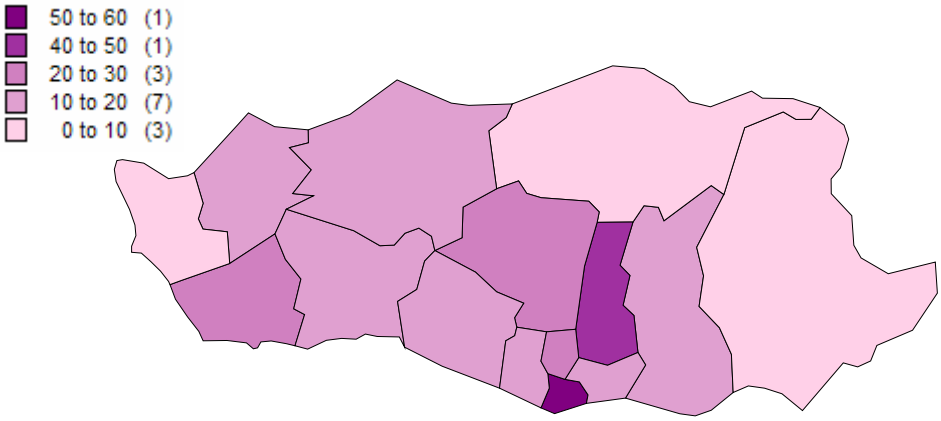


Figura K.35: Densidade do serviço *Location Based Services* no Porto [pop/km^2].

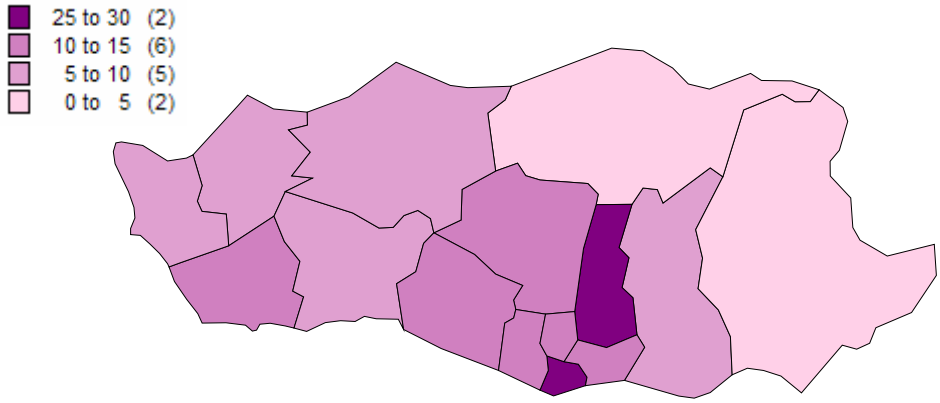


Figura K.36: Densidade do serviço *Video on Demand* no Porto [pop/km^2].

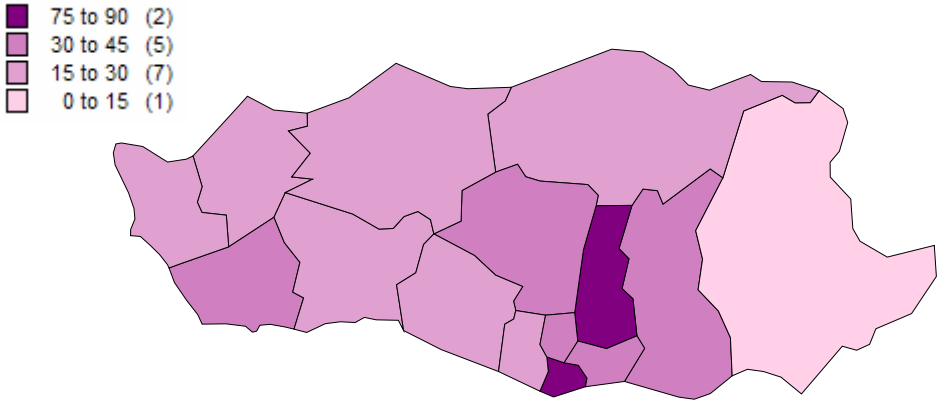


Figura K.37: Densidade do serviço *Audio on Demand* no Porto [pop/km^2].

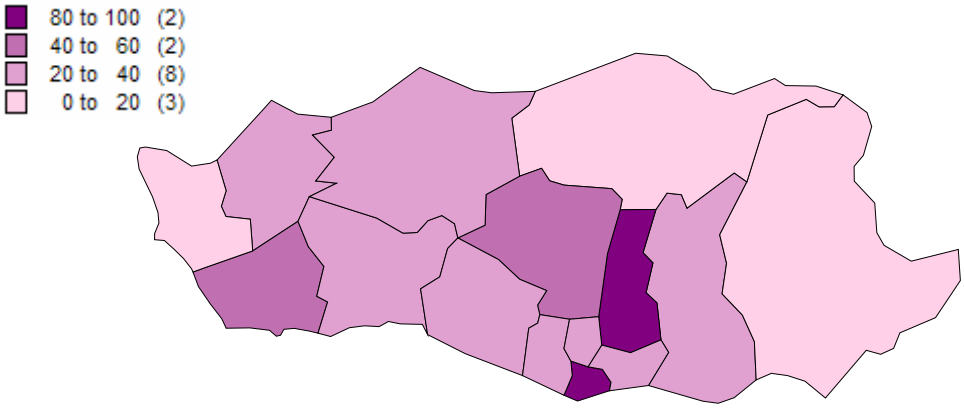


Figura K.38: Densidade do serviço *Games on Demand* no Porto [pop/km^2].

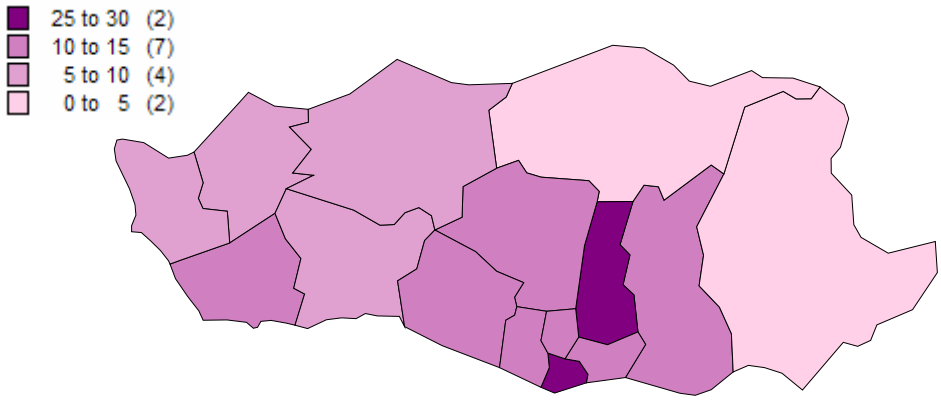


Figura K.39: Densidade do serviço *Applications on Demand* no Porto [pop/km^2].

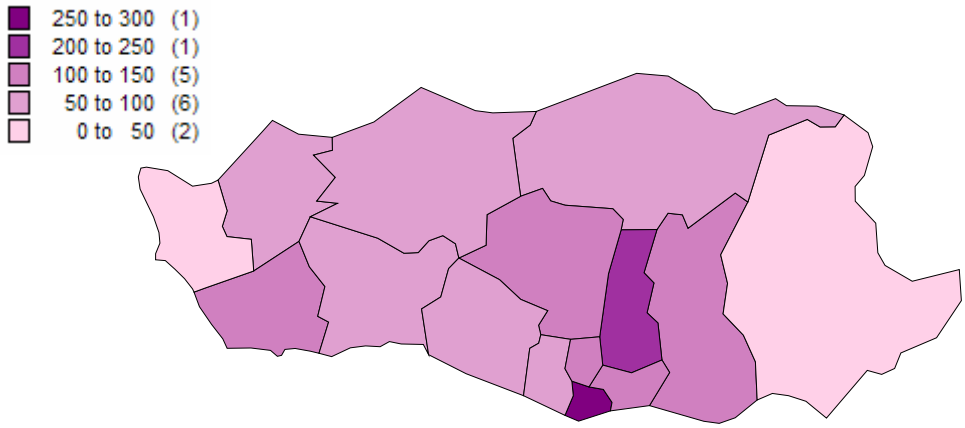


Figura K.40: Densidade do serviço *Voice* no Porto [pop/km^2].

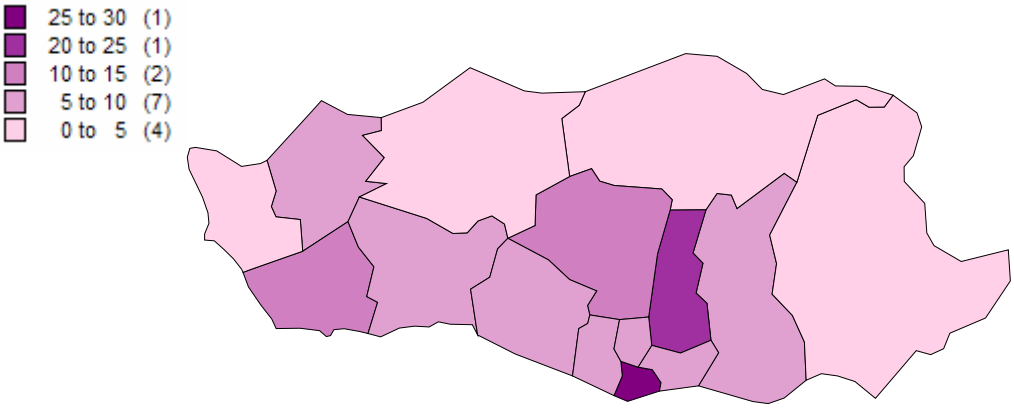


Figura K.41: Densidade do serviço *Voice + Location Based Services* no Porto [pop/km^2].

Anexo L – Gráficos de Lisboa

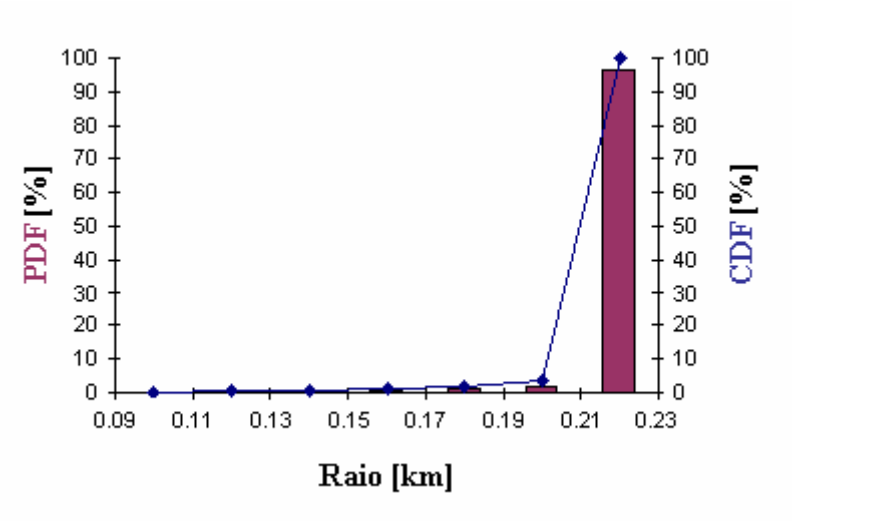


Figura L.1: Raio para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa.

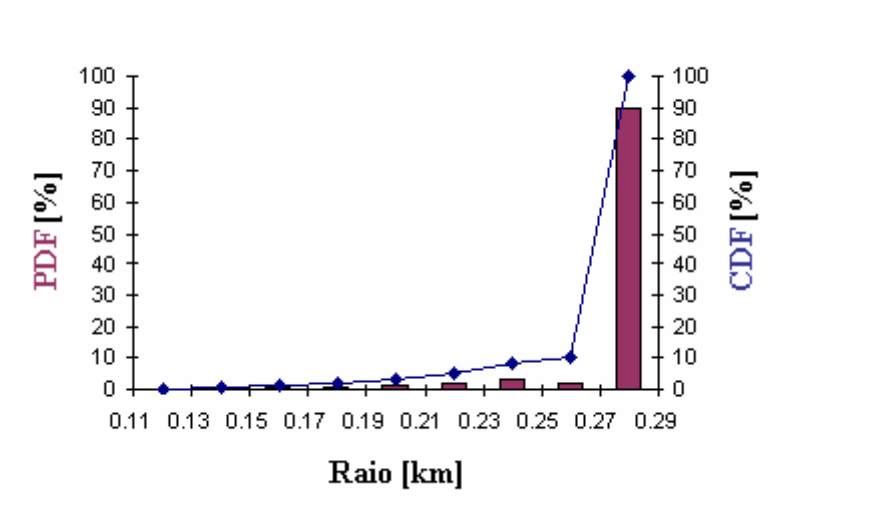


Figura L.2: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

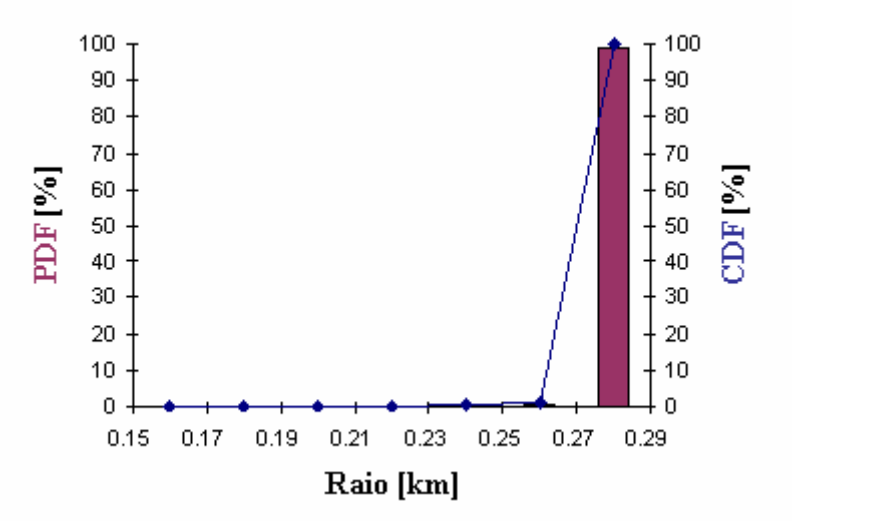


Figura L.3: Raio para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa.

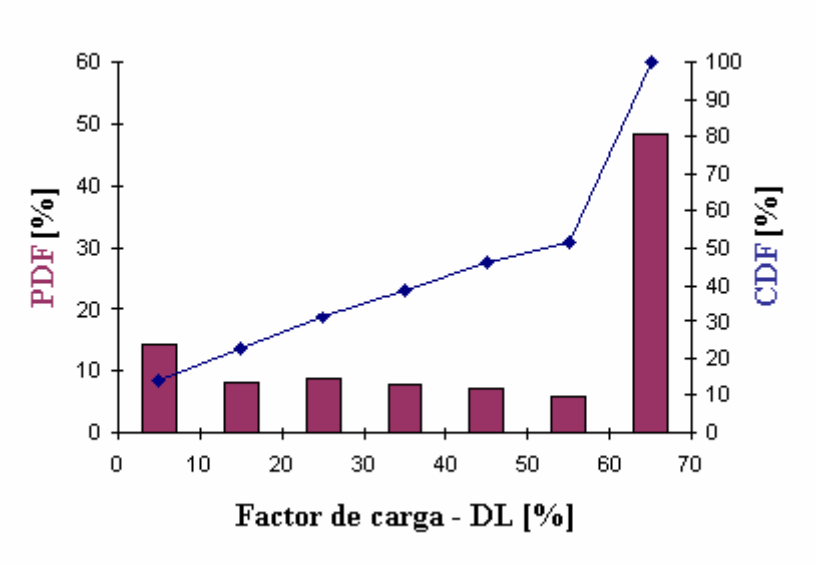


Figura L.4: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa.

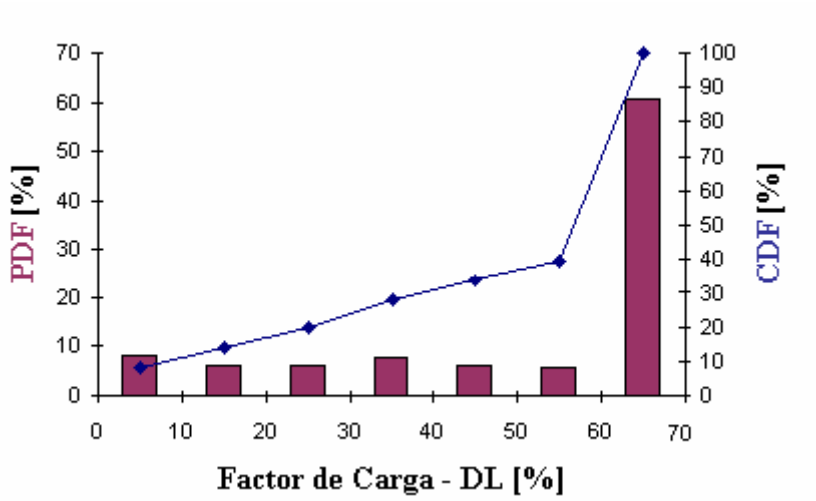


Figura L.5: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

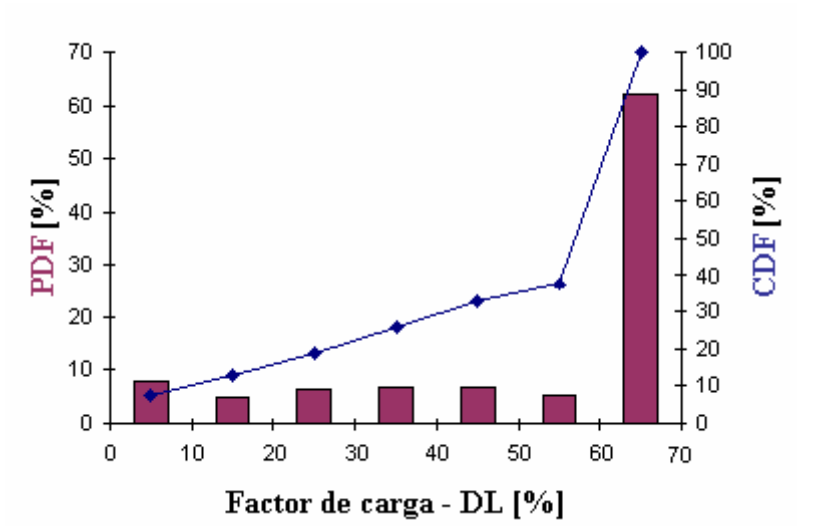


Figura L.6: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa.

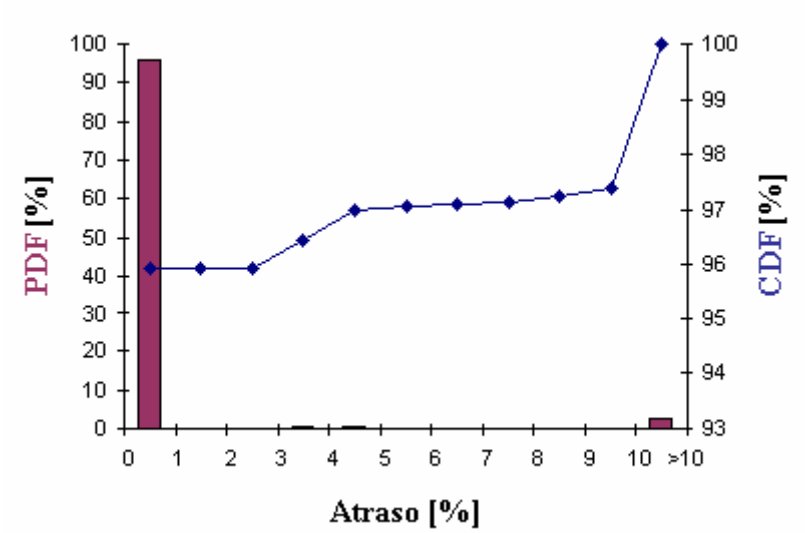


Figura L.7: Atraso para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa.

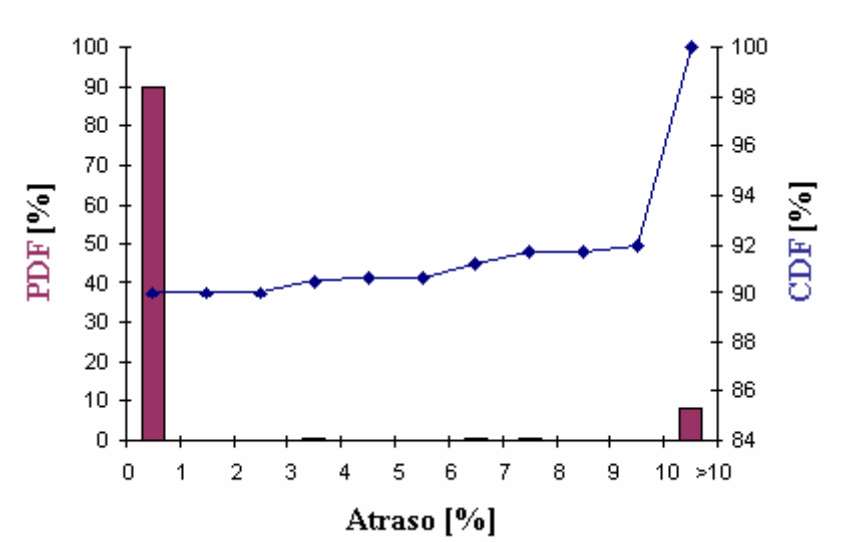


Figura L.8: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

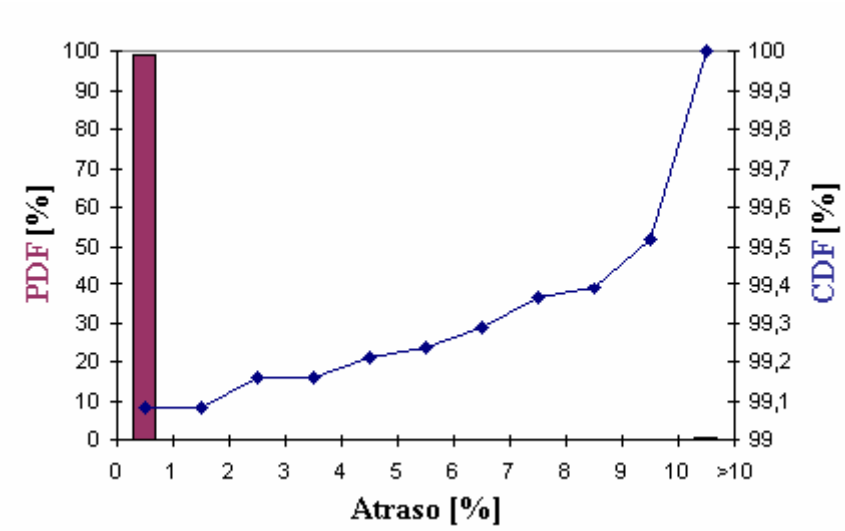


Figura L.9: Atraso para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa.

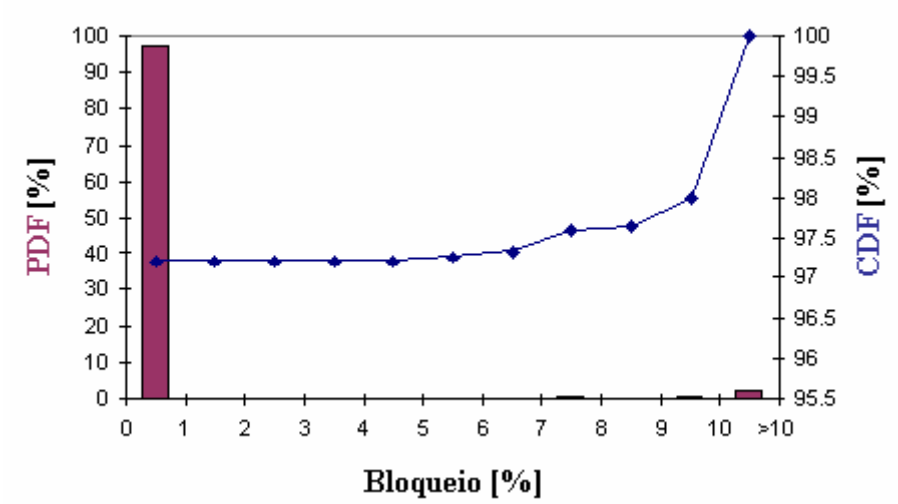


Figura L.10: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa.

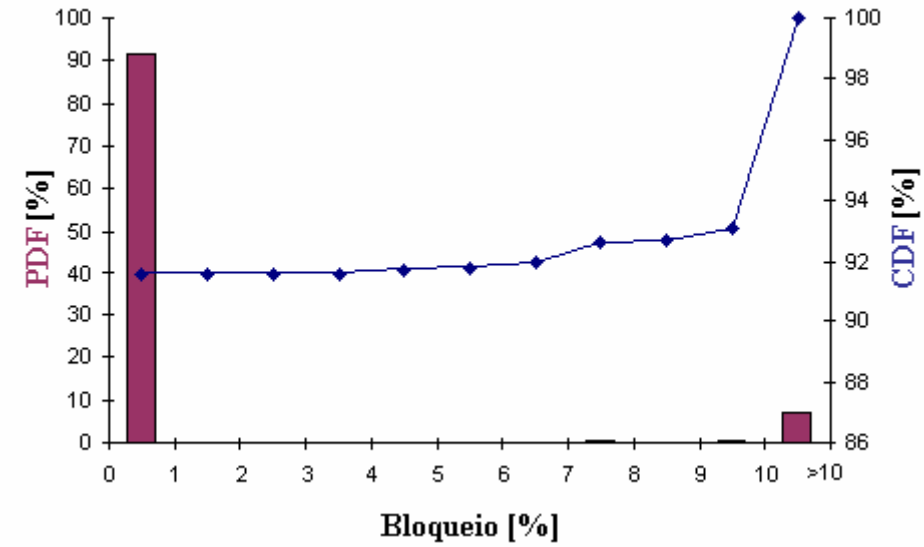


Figura L.11: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

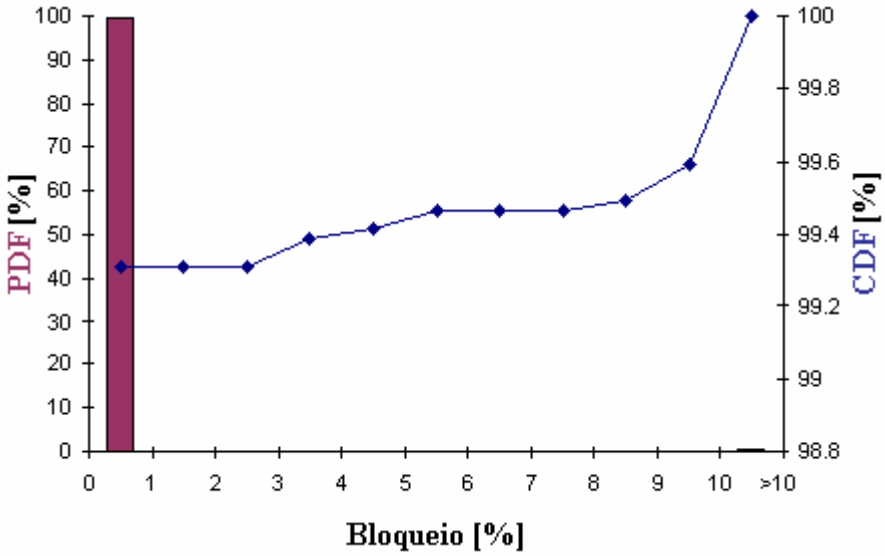


Figura L.12: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa.

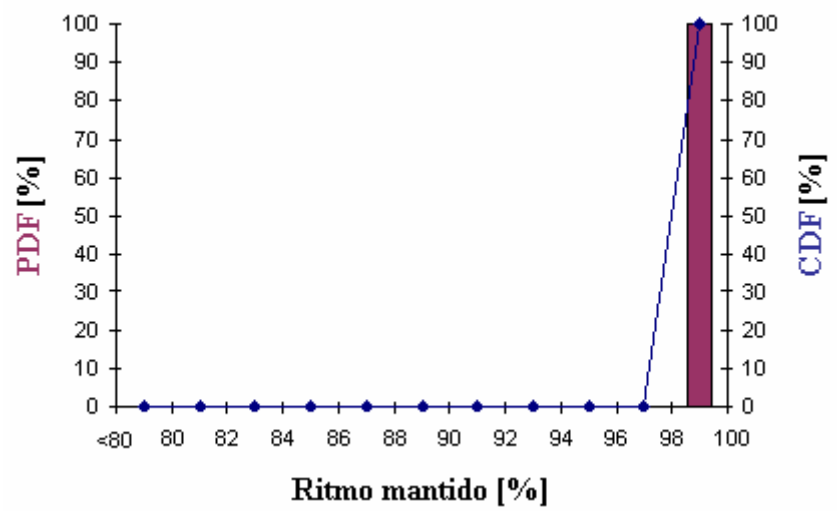


Figura L.13: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa.

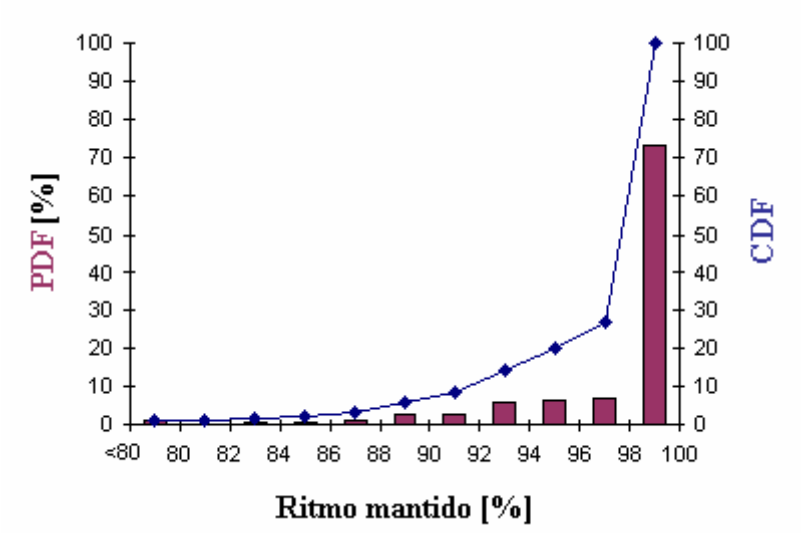


Figura L.14: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

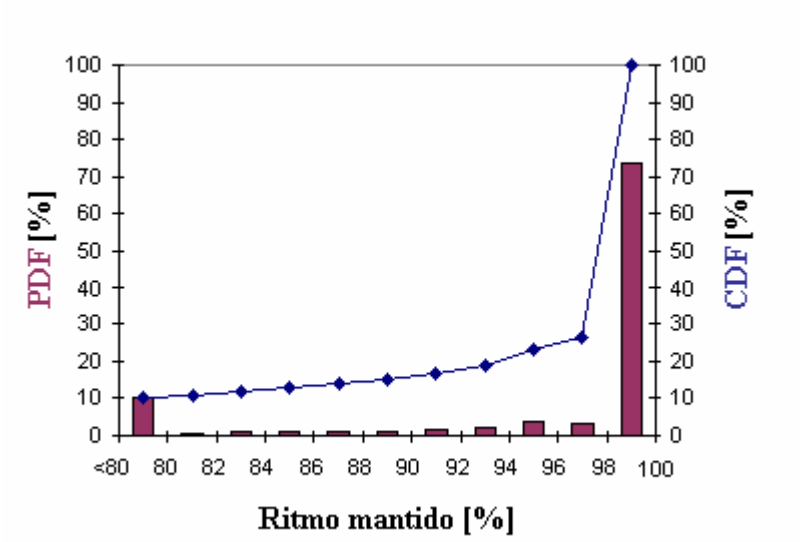


Figura L.15: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa.

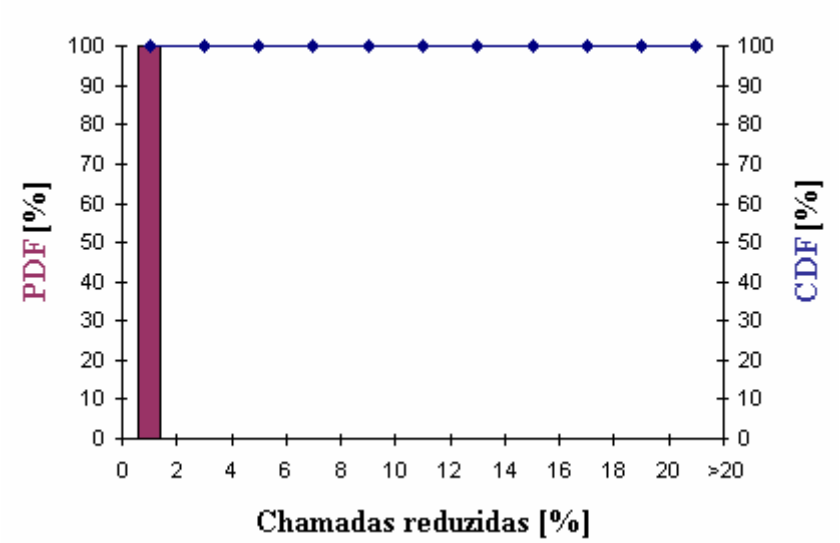


Figura L.16: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa.

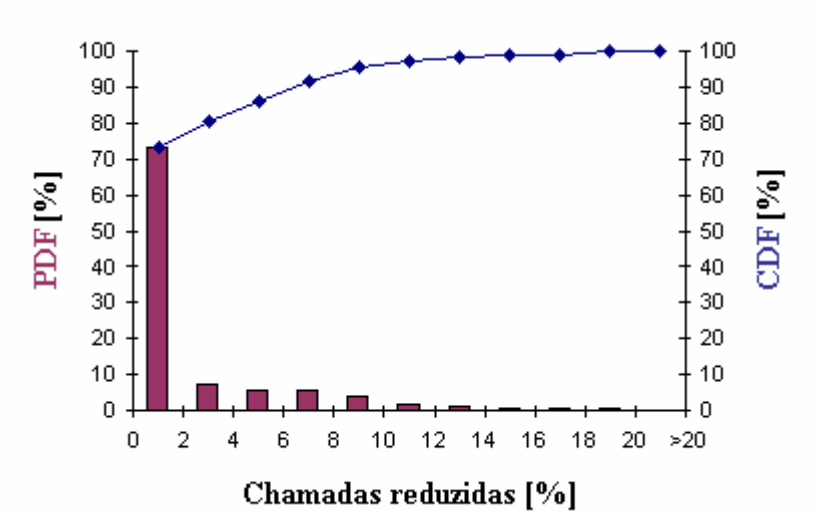


Figura L.17: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

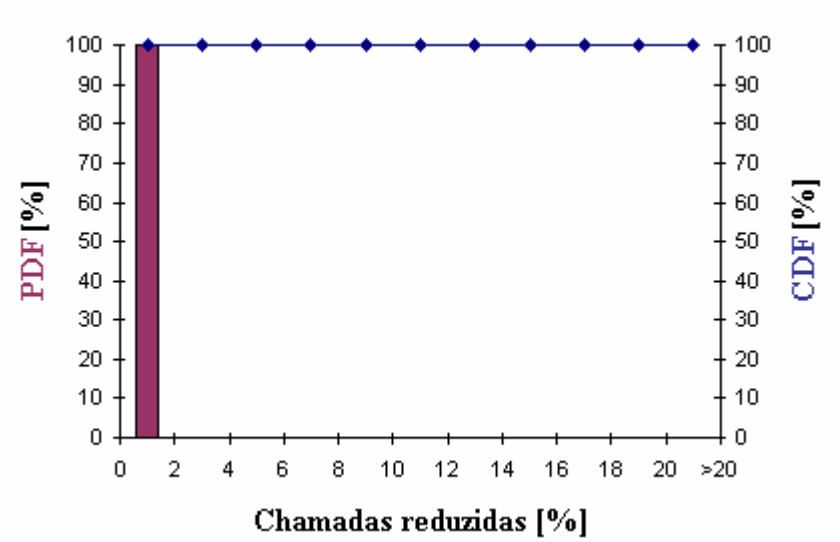


Figura L.18: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa.

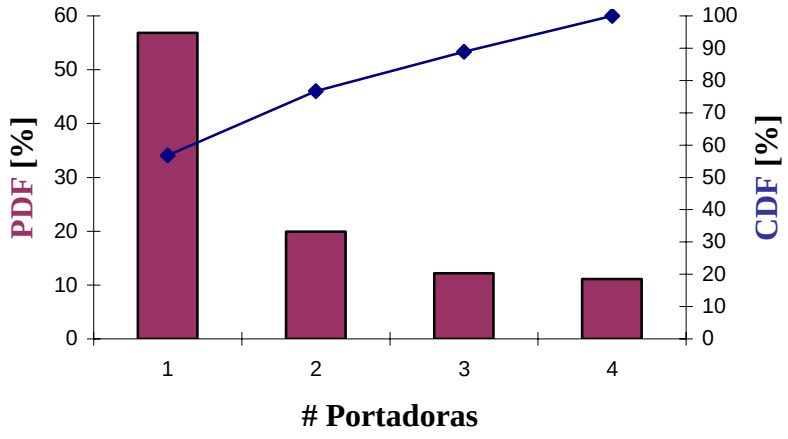


Figura L.19: Portadoras para um ritmo de referência de 64/384kbps em Lisboa.

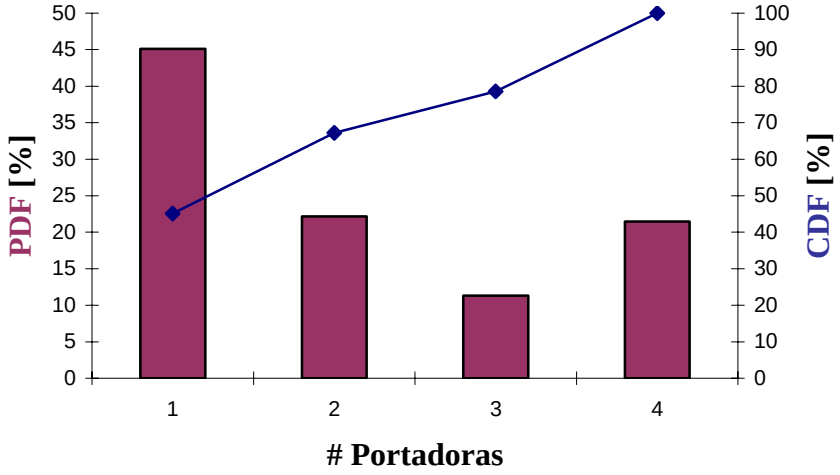


Figura L.20: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa.

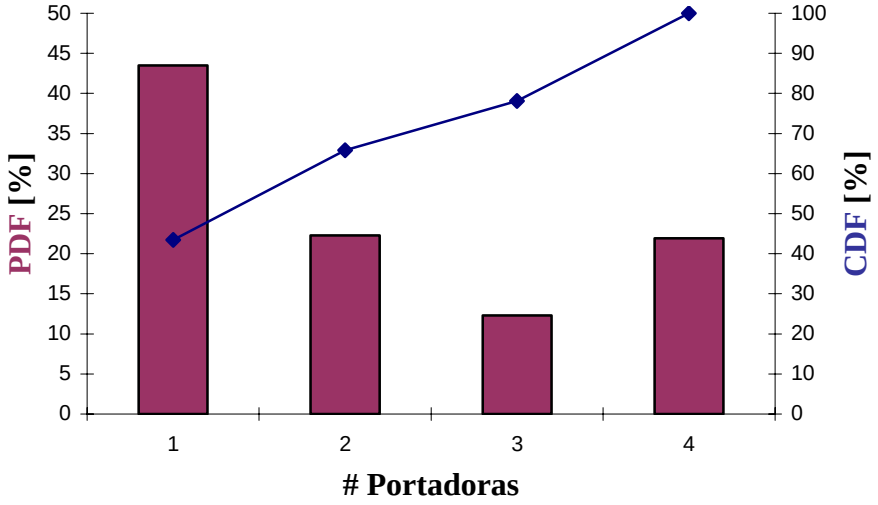


Figura L.21: Portadoras para um ritmo de referência de 64/64kbps em Lisboa.

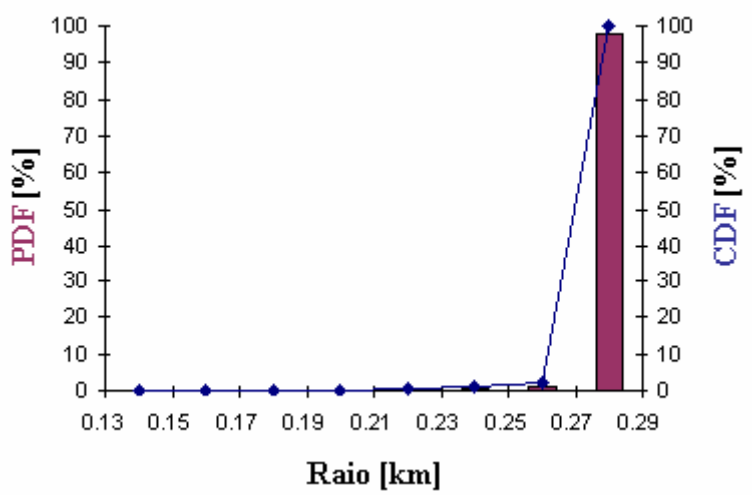


Figura L.22: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz.

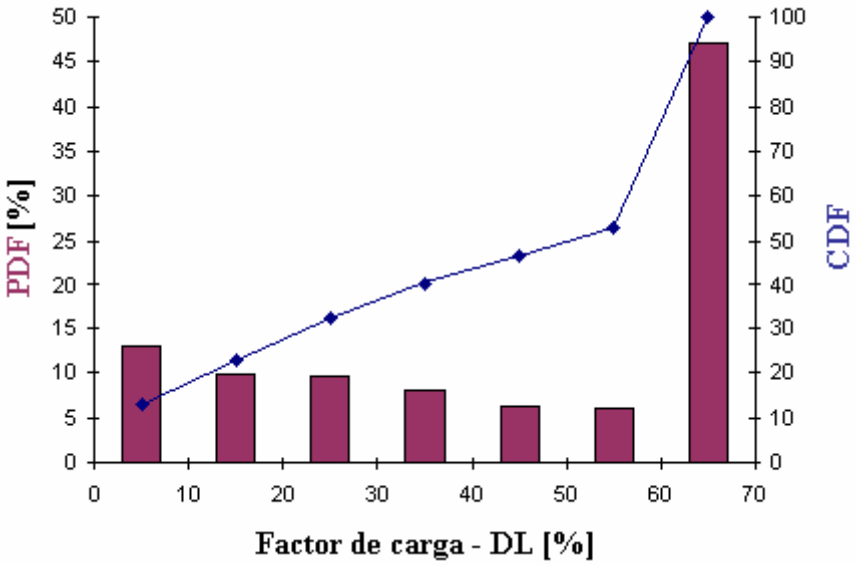


Figura L.23: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz.

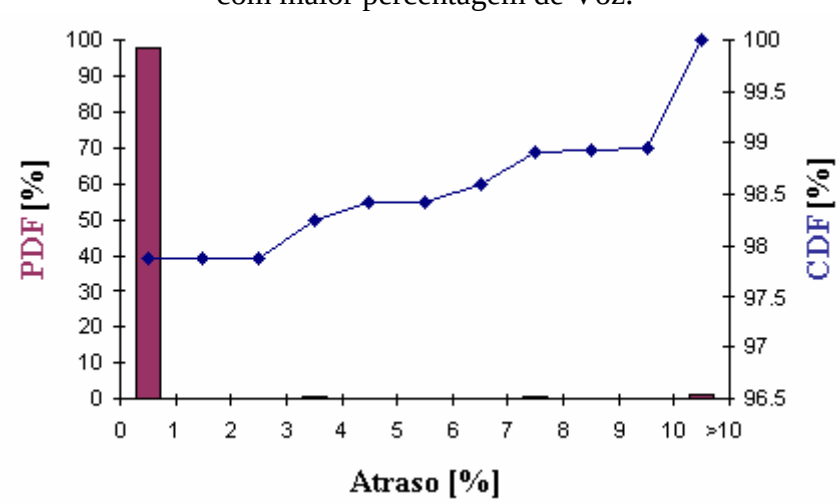


Figura L.24: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz.

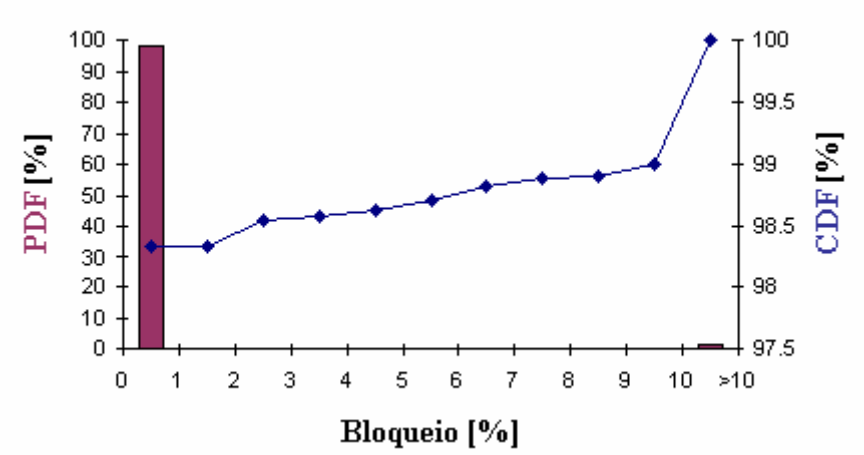


Figura L.25: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa, com maior percentagem de Voz.

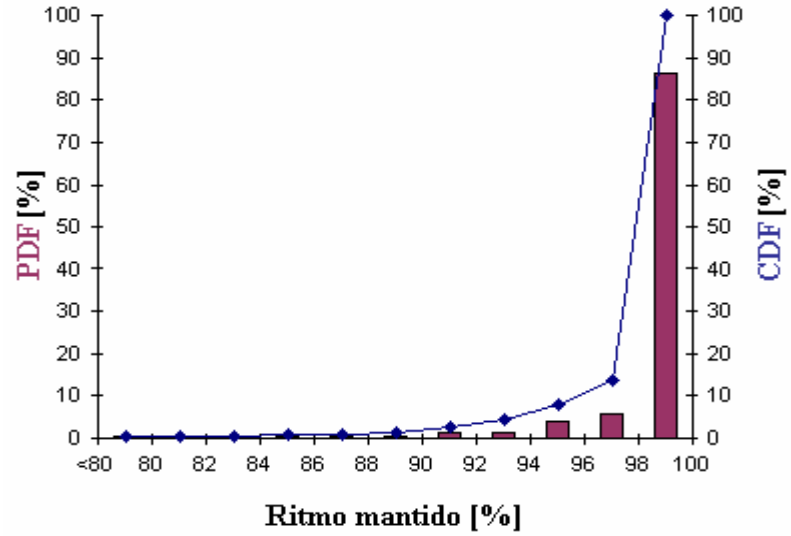


Figura L.26: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz.

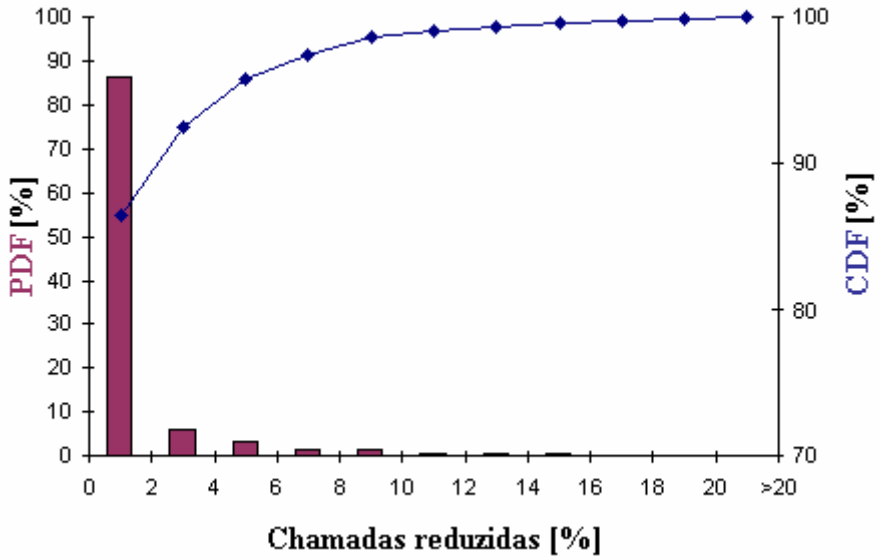


Figura L.27: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz.

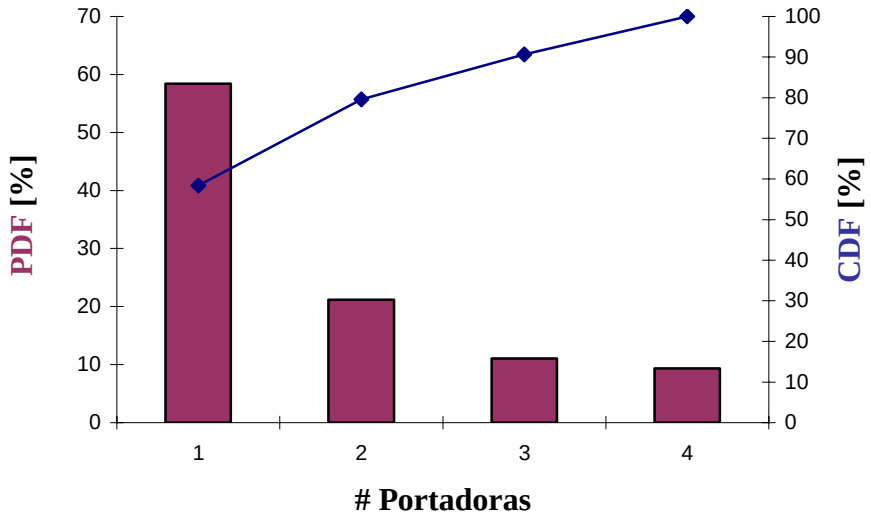


Figura L.28: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps em Lisboa com maior percentagem de Voz.

Anexo M – Gráficos do Porto

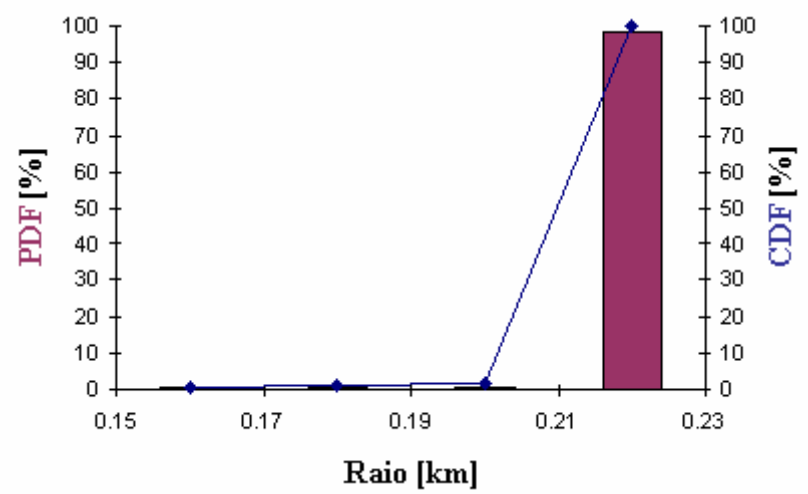


Figura M.1: Raio para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto.

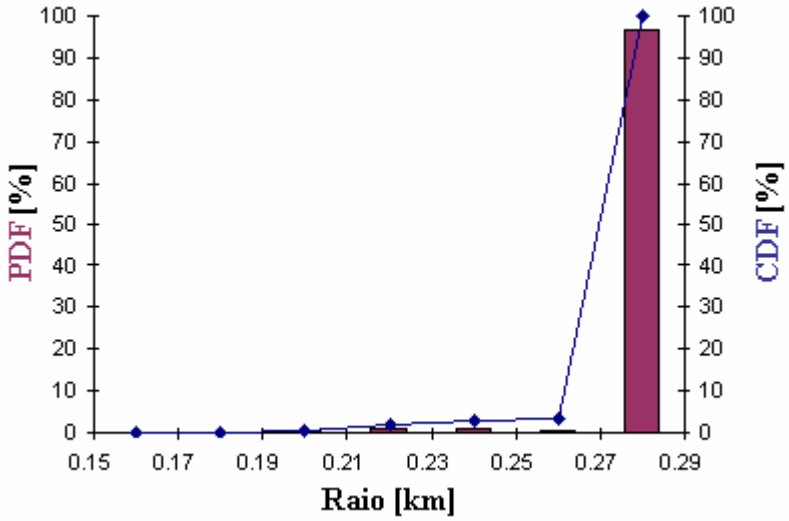


Figura M.2: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

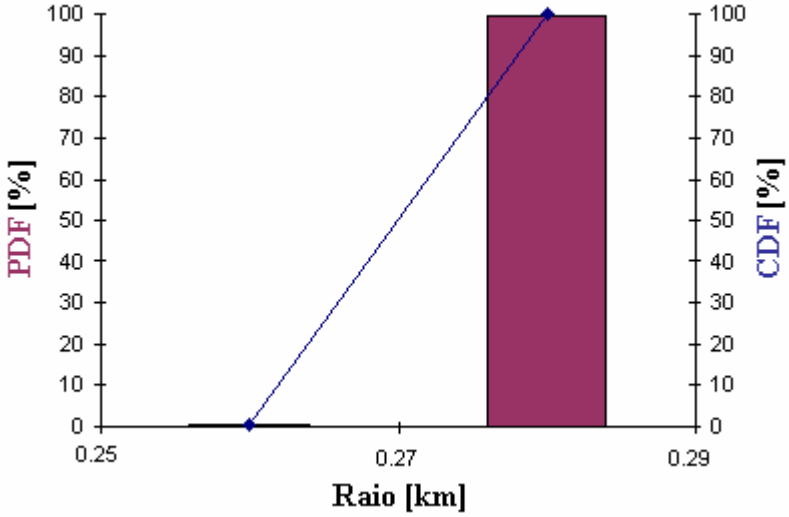


Figura M.3: Raio para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto.

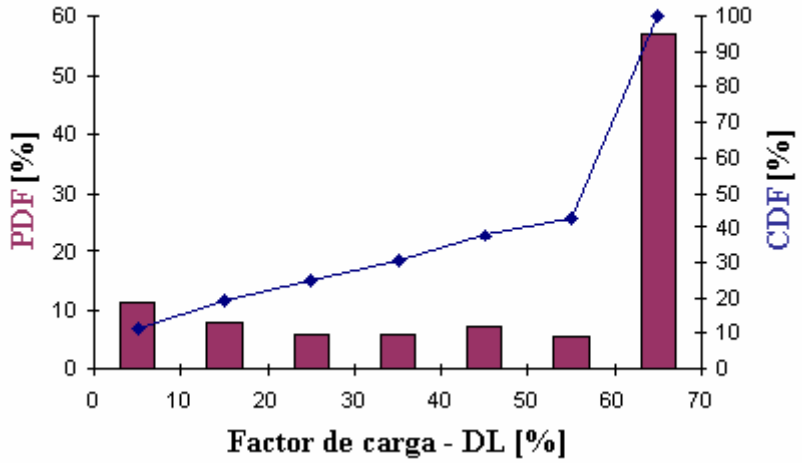


Figura M.4: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto.

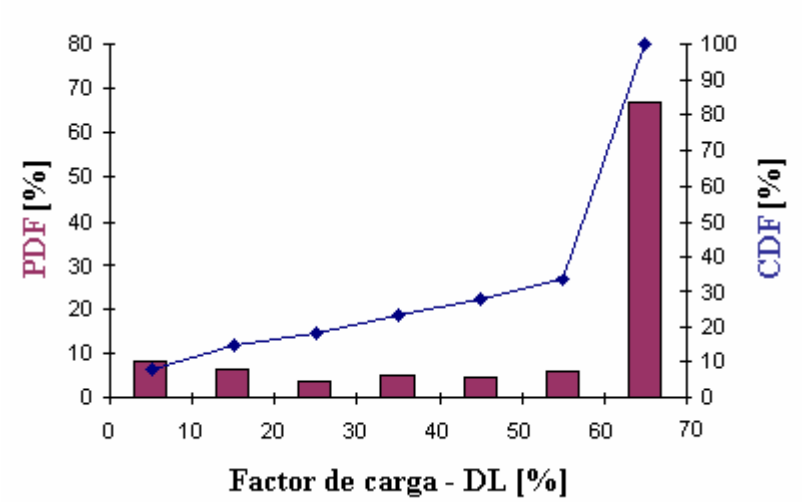


Figura M.5: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

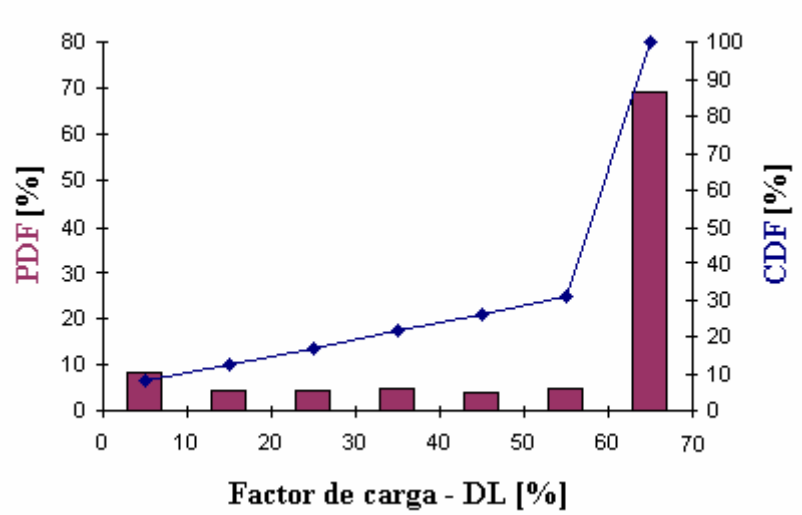


Figura M.6: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto.

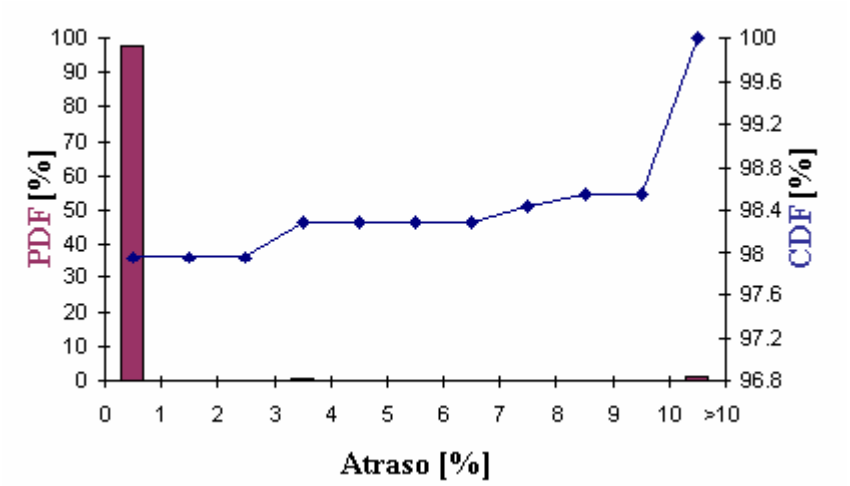


Figura M.7: Atraso para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto.

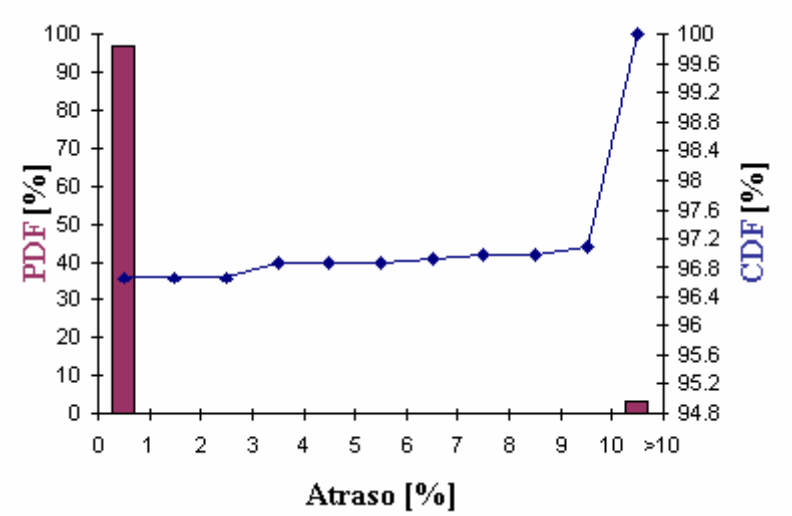


Figura M.8: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

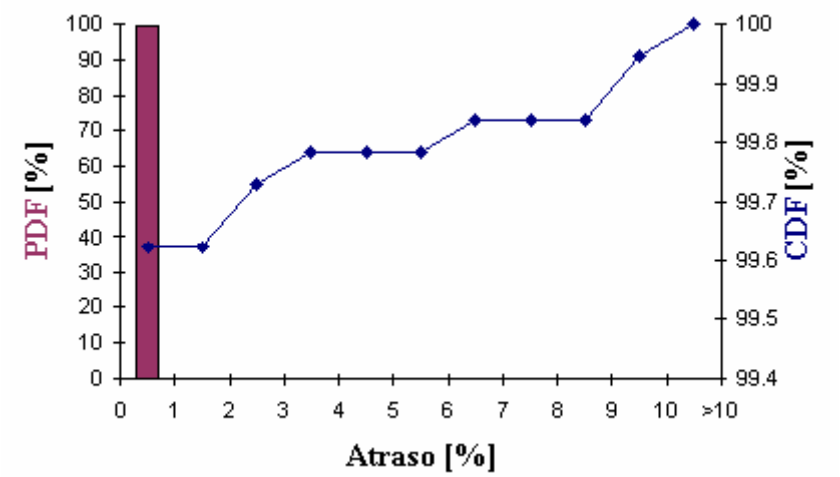


Figura M.9: Atraso para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto.

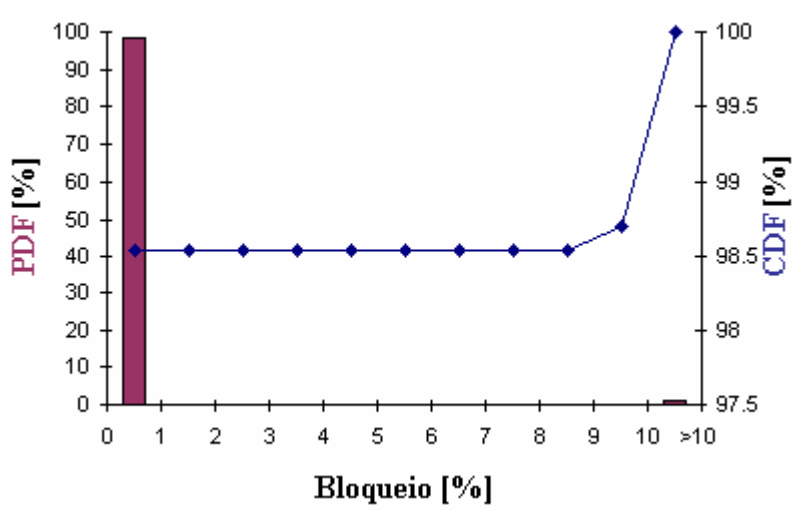


Figura M.10: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto.

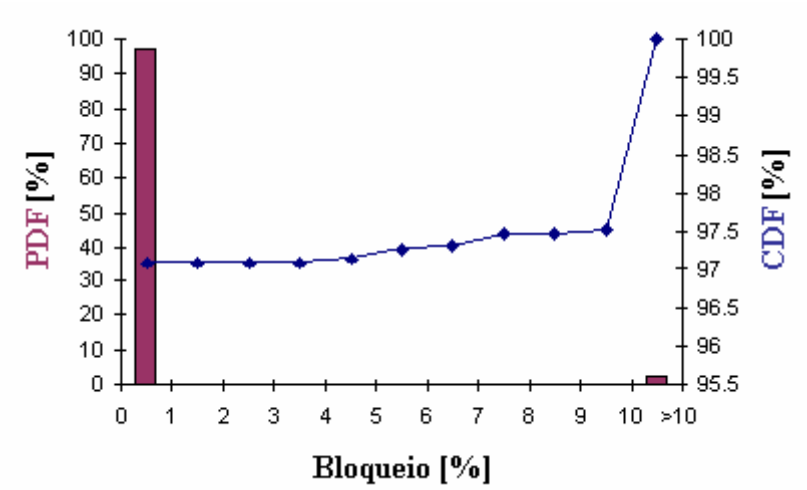


Figura M.11: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

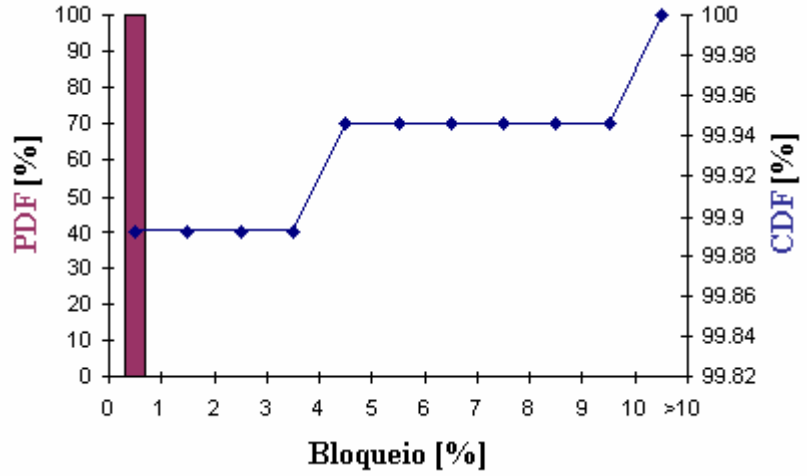


Figura M.12: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto.

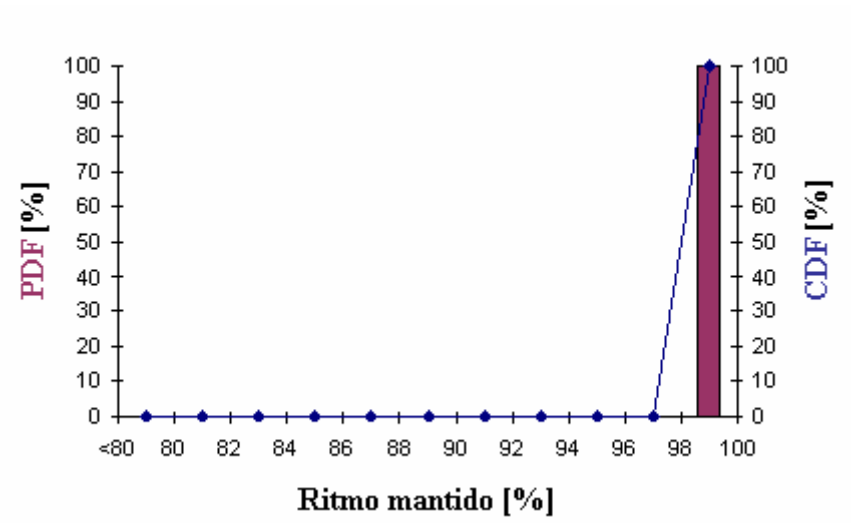


Figura M.13: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto.

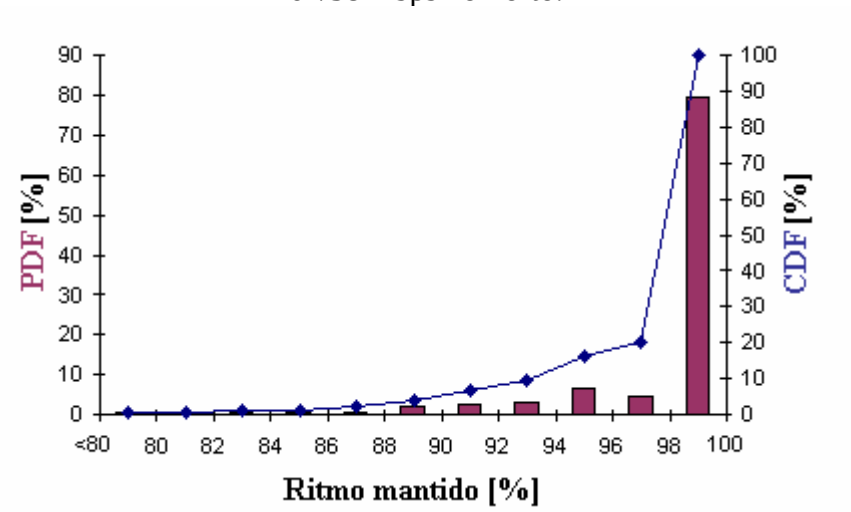


Figura M.14: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

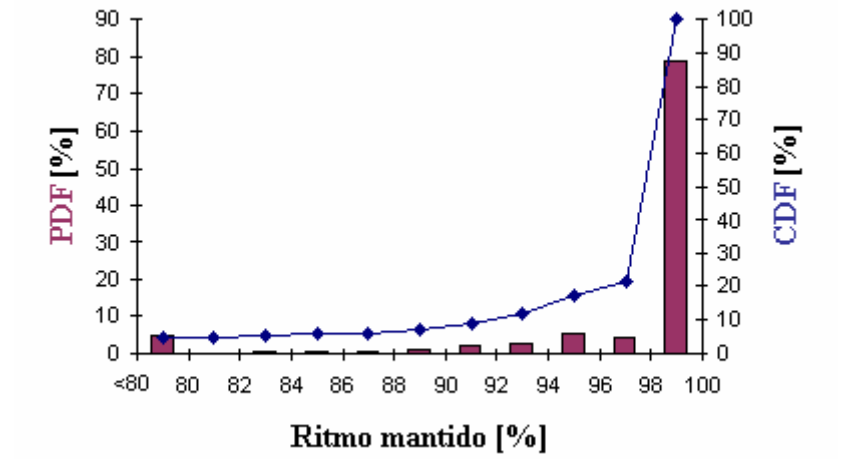


Figura M.15: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto.

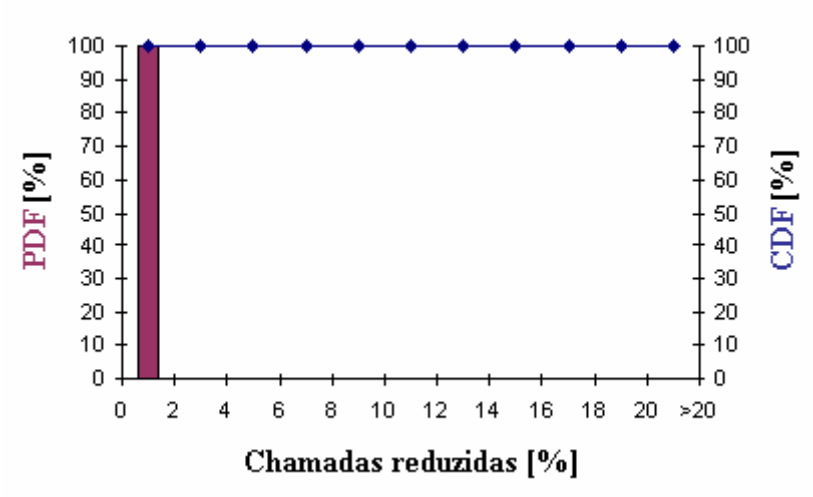


Figura M.16: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto.

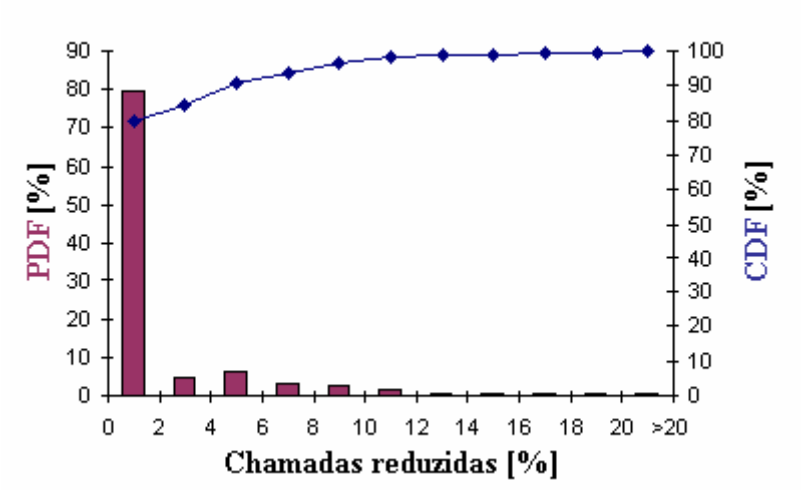


Figura M.17: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

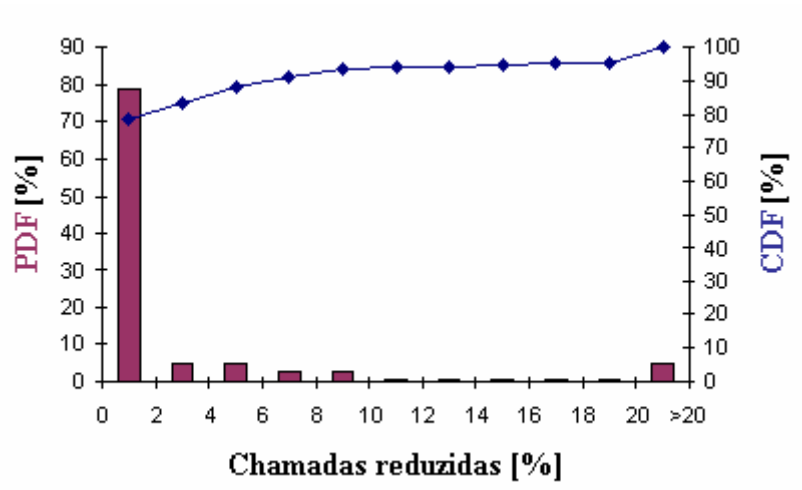


Figura M.18: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto.

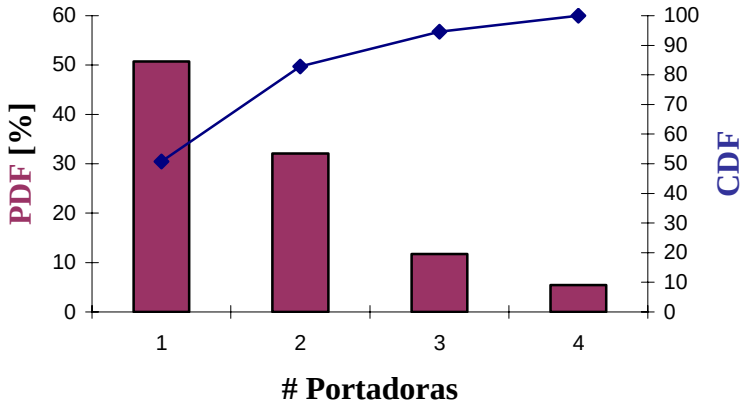


Figura M.19: Portadoras para um ritmo de referência de 64/384kbps no Porto.

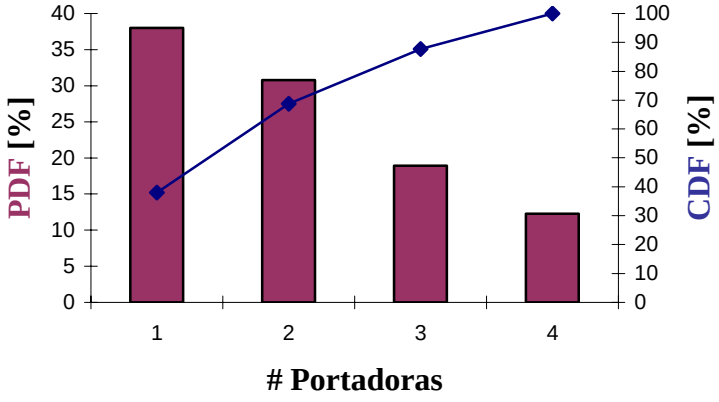


Figura M.20: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto.

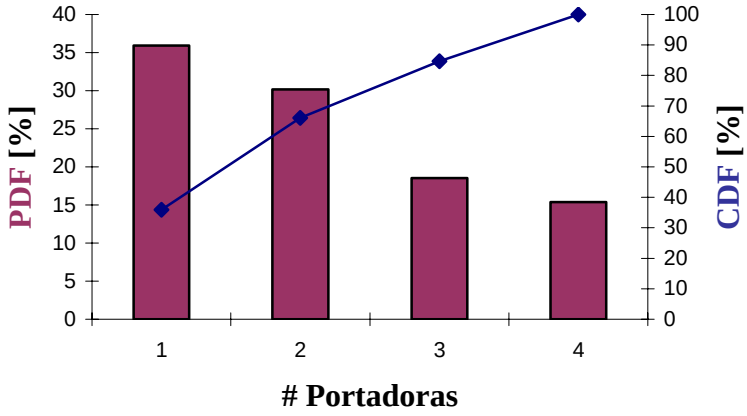


Figura M.21: Portadoras para um ritmo de referência de 64/64kbps no Porto.

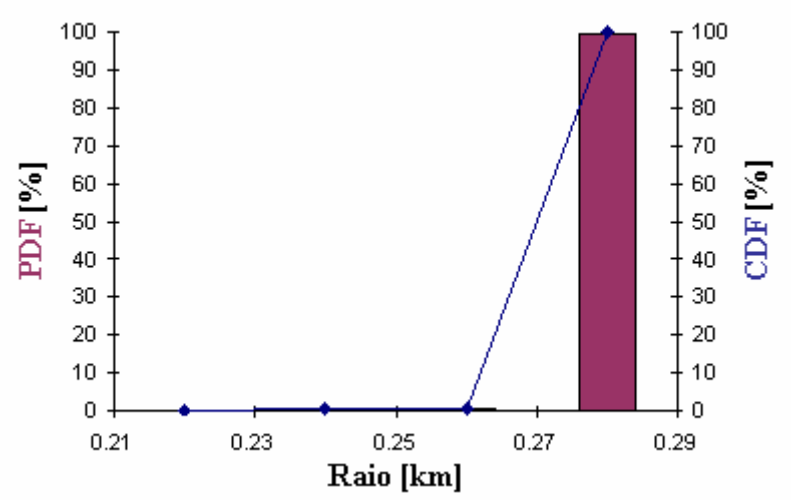


Figura M.22: Raio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz.

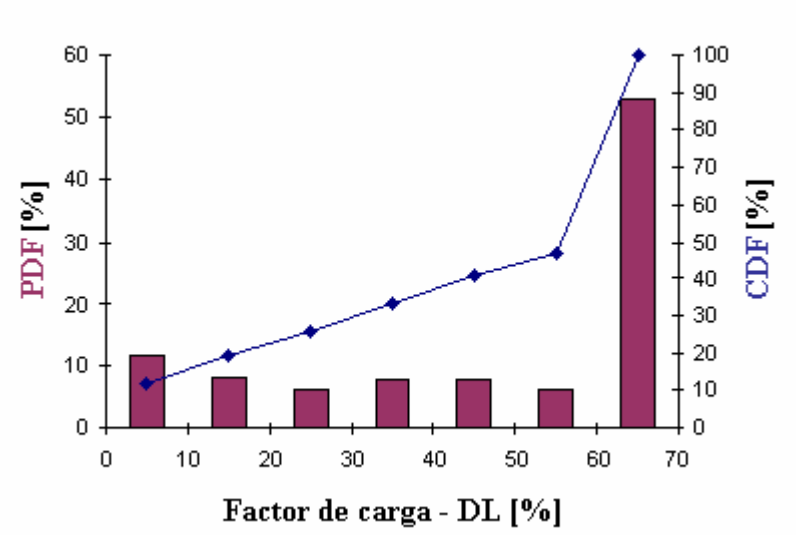


Figura M.23: Factor de carga em DL para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz.

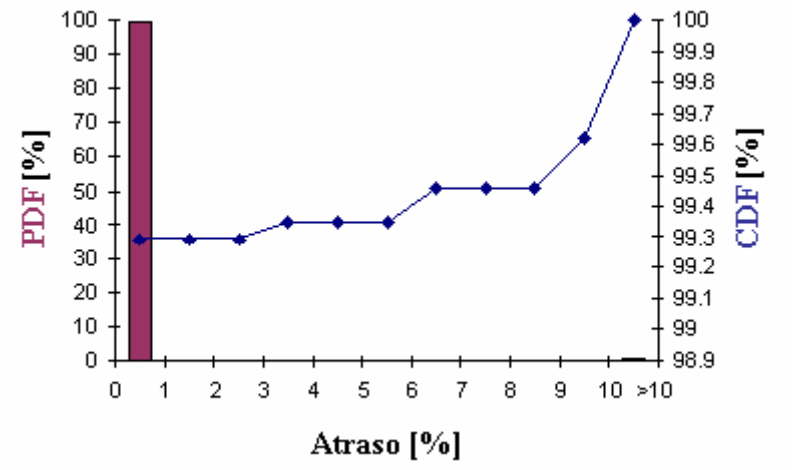


Figura M.24: Atraso para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz.

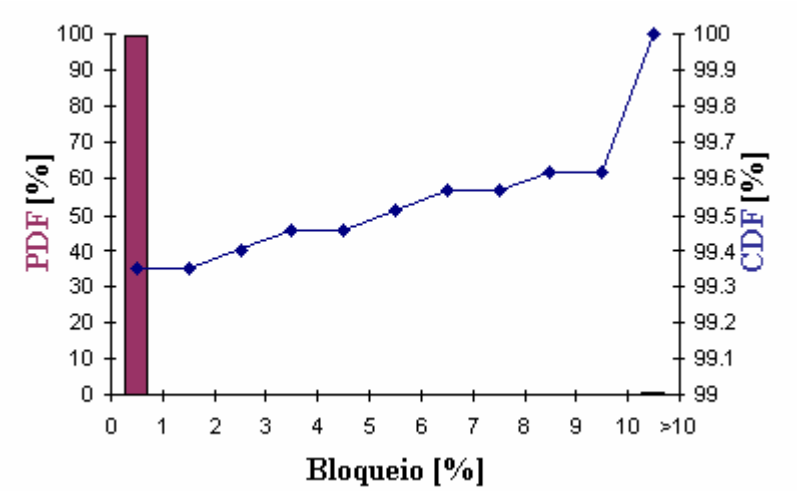


Figura M.25: Bloqueio para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto, com maior percentagem de Voz.

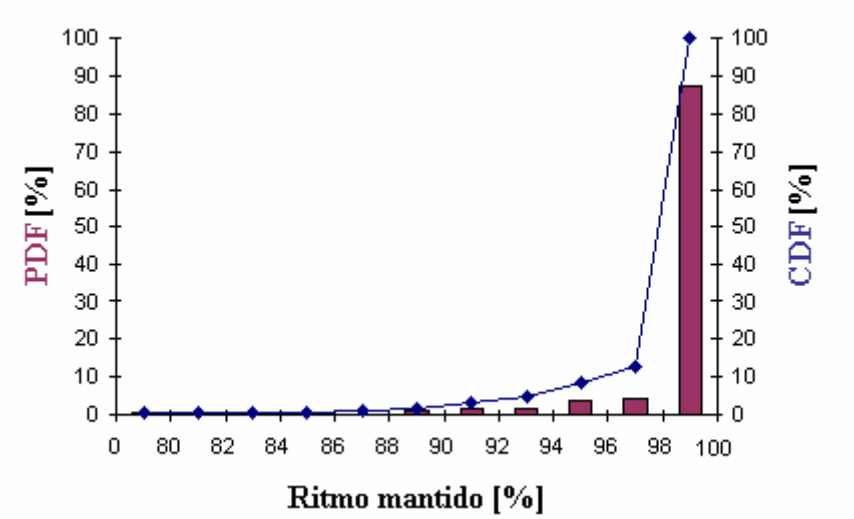


Figura M.26: Chamadas com a mesma qualidade inicial para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto com maior percentagem de Voz.

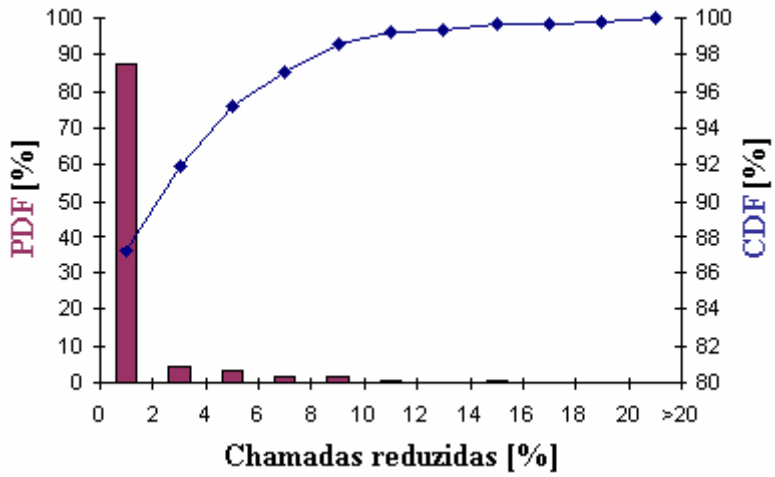


Figura M.27: Chamadas reduzidas para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto com maior percentagem de Voz.

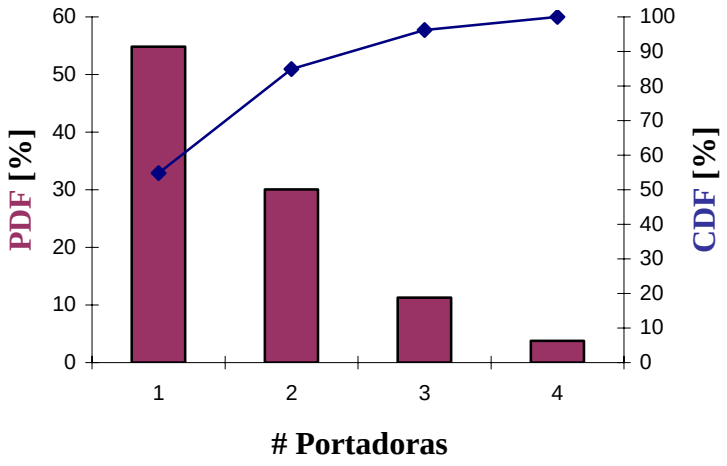


Figura M.28: Portadoras para um ritmo de referência de 64/128kbps no Porto com maior percentagem de Voz.

Referências

[3GPP00a] 3GPP, *Services & Service Capabilities*, Technical Specification No.25.214, 2000 (http://www.3gpp.org).

[3GPP00b] 3GPP, *UTRAN Overall Description*, Report 3G TS 25.401, V3.3.0, 2000 (http://www.3gpp.org).

[CMLi02] Mapas da Cidade de Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa, 2002 (http://ulisses.cm-lisboa.pt/pesquisa.php).

[Corr03] Correia,L.M., *Sistemas de Comunicações Móveis e Pessoais*, Notas da Disciplina, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2003 (http://www.img.lx.it.pt/~plc/scmp).

[DGIm01] Direcção Geral de Impostos, 2001 (http://www.dgci.min-financas.pt/).

[Este99] Esteves,J.M., *Planeamento Celular em Comunicações Móveis Suportado em Sistemas de Informação Geográfica*, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Dez. 1999.

[FCXV03] Ferreira,L. (ed.), Correia,L.M., Xavier,D., Vasconcelos,A. and Fledderus,E., *Final Report on traffic estimation and services characterisation*, IST MOMENTUM Project, Deliverable D1.4, IST-TUL, Lisbon, Portugal, May 2003 (http://momentum.zib.de).

[HoTo00] Holma,H. and Toskala,A., *WCDMA for UMTS-Radio Access For Third Generation Mobile Communications*, John Wiley & Sons, London, UK, 2000.

[INEs01] Resultados dos Censos 2001, INE, Lisboa, 2001 (http://www.ine.pt/censos2001/censos_prov/censos_proc.asp).

[ITUn99] International Telecommunication Union, *IMT-2000 Radio Interface Specifications approved in ITU meeting in Helsinky*, Geneva, Switzerland, Nov. 1999 (http://www.itu.int/newsarchive/press_releases/1999/22.html)

[MapI02] MapInfo, 2002 (http://www.mapinfo.com/).

[More98] Moreira,A., *Comutação/Transferência de dados*, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 1998 (http://www.dei.isep.ipp.pt/~andre/documentos/comutacao.html).

[QuAl98] Queijo,J. e Almeida,S., *Modelos para distribuições espaciais e temporais de tráfego em GSM*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 1998.

[QuSc00] Quadros,A. and Schmid,U., *UMTS - Universal Mobile Telecommunication System*, Brasil, 2000 (http://www.gta.ufrj.br/~rezende/cursos/eel879/trabalhos/umts/index.html).

[Poss00] Possi,P., *UMTS World*, USA, 2000 (http://www.umtsworld.com).

[Rego02] Rego,C.G., *Sistemas de Comunicação Móvel*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2002 (http://www.cpdee.ufmg.br/~getel).

[Rosi02] Rosi,M., *Tecnologia UMTS*, Itália, 2002 (http://www.reteumts.info/grafica/utran.gif).

[SeFC02] Serrador,A. (ed.), Fledderus,E. and Correia,L.M., *Activity Factors*, IST MOMENTUM Project, IST, Internal Report WP5_TN_INT_195_PT_01, Lisbon, Portugal, Nov. 2002.

[SIGe02] Sistemas de Informação Geográfica, 2002 (http://www.gis.com/).

[UMTS01] UMTSlink.at, *WCDMA – Multiplexing von UMTS*, 2001 (http://umtslink.at/cgi-bin/reframer.cgi?../UMTS/wcdma.html).

[UMTS00] UMTS Forum, *The UMTS Third Generation Market-Structuring the Service Revenues Opportunities*, Report No.9, London, UK, Sep. 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.

[VaCa02] Vasconcelos,A. e Carvalho,P., *Modelos de tráfego para estações de base em UMTS*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2002.