UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Comparação de Técnicas para Aumento de Capacidade nos Serviços de Dados em UMTS

Gonçalo Martins, nº 46539, AE de Telecomunicações
Sofia Correia, nº 46704, AE de Telecomunicações

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES
Relatório de Trabalho Final de Curso
080/2004/L

Prof. Orientador: Luís M. Correia

Setembro 2005

Agradecimentos

Gostaria, em primeiro lugar, de agradecer ao professor Luís M. Correia pelo apoio, orientação, incentivo e acompanhamento que me deu ao longo deste último ano; pela partilha de experiências e conhecimentos úteis para a nova fase da minha vida; e pelo apoio e compreensão nos momentos complicados e difíceis.

A todos os elementos do GROW que sempre se mostraram disponíveis para ajudar a ultrapassar os obstáculos, pela camaradagem e pelo ambiente de boa disposição que envolvia todas as reuniões do grupo.

À Optimus por me proporcionar a oportunidade de realizar um projecto sobre um tema actual e de grande interesse na conjuntura actual das comunicações móveis. Ao engenheiro Luís Santo pelas ideias, sugestões gentilmente partilhadas, que em muito me ajudaram.

Aos meus colegas e amigos que conheci durante a minha passagem pelo IST, que de certa maneira influenciaram as minhas escolhas académicas e principalmente à Sofia Correia por ter realizado este projecto comigo.

À Carina que sempre me apoiou e pelos sermões que me faziam acordar e continuar o meu trabalho. Aos meus irmãos, que por serem mais velhos, serviram de exemplo.

Aos meus pais, à minha mãe por se sentir orgulhosa e feliz por mim e ao meu pai pelo exemplo de força e luta que ele representa.

Por fim, gostaria de dedicar o meu esforço e trabalho neste projecto ao meu pai que tanto lutou para eu estar hoje aqui a concluir o meu curso.

Gonçalo

Ao longo da realização deste Trabalho Final de Curso, muitas foram as pessoas que contribuíram para que a sua conclusão fosse possível. Aproveito este espaço para lhes agradecer.

Em primeiro lugar, e sem o qual este Trabalho Final de Curso não seria possível, gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Luís M. Correia pelas condições de trabalho, motivação, apoio e disponibilidade, sugestões e esclarecimentos de dúvidas. A sua orientação e sugestões foram cruciais para o progresso e conclusão deste Trabalho Final de Curso.

De seguida gostaria de agradecer ao meu colega de curso e de TFC, Gonçalo Martins, pela sua paciência e ajuda.

À Optimus, pela oportunidade de colaboração e pelos dados que foram cedidos; aos engenheiros Luís Santo e Ana Claro pelas suas ideias e sugestões que foram muito úteis. A todos os membros do GROW, pelos conhecimentos partilhados, além de todas as críticas, sugestões e comentários que nos ajudaram na melhoria do projecto. Aos colegas do RF2, em especial ao Luís Gonçalves e ao Luís Pires pela disponibilidade para o esclarecimento de todas as questões que lhes foram solicitadas.

Agradeço aos meus amigos que me ajudaram a ultrapassar as dificuldades com que me deparei e que sempre me deram apoio. À Ângela pela seu apoio nos momentos mais difíceis e pela sua contagiante boa disposição.

Gostaria de agradecer, em especial, ao Pedro Charrua, pela sua maneira de ser e por me ter emprestado o seu computador portátil. Pelas suas opiniões e críticas, pelo apoio incondicional e pela extrema paciência demonstrada nas alturas mais difíceis.

Por fim quero agradecer aos meus pais, pela força que me deram, pela confiança e paciência demonstrada. Foram eles que me proporcionaram todas as condições para que me pudesse dedicar a tempo inteiro ao meu curso. É graças a eles que consegui chegar até aqui. Obrigado!

Sofia

Resumo

Neste projecto é realizado um estudo do UMTS de um modo geral e das técnicas de transmissão de um modo mais pormenorizado. É realizada uma análise do sistema na presença de um perfil de tráfego multi-serviços não uniforme com base em três técnicas de transmissão, a *Frequency Division Duplex* (FDD), a *Time Division Duplex* (TDD) e a *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Para executar esta tarefa foi desenvolvido um simulador (o TRAFSIM3G_UPG) que teve como ponto de partida um simulador realizado anteriormente para uma tese de mestrado (o TRAFSIM3G), que avaliava um sistema baseado no FDD. Para avaliar o desempenho do sistema na presença de novas tecnologias, foram seleccionadas várias combinações. As combinações seleccionadas foram: o FDD, o TDD, o FDD com o HSDPA, o FDD com o TDD e o FDD com o TDD e com o HSDPA. O desempenho é avaliado pela análise da taxa de bloqueio dos serviços com comutação de circuitos (CS), pelo atraso médio dos serviços com comutação de pacotes (PS), percentagem de tráfego transportado, ritmos médios dos serviços, etc. Os modos de transmissão serão analisados em dois cenários, o de referência que tem como serviço maioritário as chamadas de voz e o de dados no qual os serviços de dados estão em maioria.

São consideradas seis aplicações distintas caracterizadas na geração do perfil de tráfego: voz, vídeo, *streaming*, *location based services*, *web*, e transferência de ficheiros. Modelos de tráfego, bem como a geração e duração aleatória de chamadas foram implementados para cada uma das aplicações.

Dentro do esperado, os resultados obtidos confirmaram a sensibilidade do desempenho do sistema ao número de serviços de dados. Para o cenário de dados, o bloqueio diminuiu mas o atraso aumenta em relação ao cenário de referência. De um modo geral o comportamento do sistema correspondeu ao expectável, excepto no que diz respeito à probabilidade de bloqueio e ao atraso médio para todos os modos. Os valores obtidos foram um pouco elevados, mas após algum estudo verificou-se que ao se eliminar serviços como os sms, os mms e os e-mails, e substituí-los por serviços maioritariamente de *web* se está a sobrecarregar o sistema. Esta situação provoca um sub-dimensionamento da rede, passando a solução pela colocação de mais estações base para uma maior cobertura.

Verifica-se que o modo de transmissão que apresenta melhores resultados para os cenários é o que combina as três técnicas com 50% de potência reservada para o HSDPA. Com um *threshold* de 64 kbps, para o cenário de dados, obtém-se uma percentagem de tráfego transportado perto dos 80% (corresponde a cerca de 1200 MB) com uma percentagem de bloqueio de 2% e atraso de 25 segundos.

De um modo geral, foi possível avaliar as novas técnicas e perceber como é que, variando os parâmetros do sistema, é possível ter ganhos significativos. O caso mais claro prende-se com o aumento dos ritmos em que para além de se ganhar cerca de 200 MB de tráfego transportado, também se conseguiu aumentar os ritmos médios de transmissão, principalmente para os *radio bearer* mais elevados, sacrificando os tempos médios de atraso.

Palavras-chave

UMTS, Técnicas de Transmissão, FDD, TDD, HSDPA, Bloqueio, Atraso

Abstract

In this project, a study of UMTS Service is carried out on the whole and on data transmission techniques in a more detailed way. An analysis of the system in the presence of a non-uniform multi-services traffic profile based on three transmission techniques, the Frequency Division Duplex (FDD), the Time Division Duplex (TDD) and the High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). In order to accomplish this task, a simulator was developed (TRAFSIM3G_UPG), which took as a starting point another one previously developed for a master's degree (TRAFSIM3G), with the main objective of evaluating a system based on Frequency Division Duplex. To evaluate the performance of the system in the presence of new technologies, several combinations were selected: FDD, TDD, FDD combined with HSDPA, FDD combined with TDD, and FDD combined with TDD and HSDPA. Performance is evaluated by the analysis of the blocking probability of services in circuit switching (CS), the average delay of services in packet switching (PS), percentage of carried traffic, average bit rate of the services, etc. transmissions techniques are tested in two scenarios, the reference scenario that considers the speech as major service (60%) and the data scenario with 75% of data services.

Six different applications are considered, characterized in the generation of the traffic profile: voice, video, streaming, location based services, web, and file transfer. Traffic models, as well the non-uniform call generation and duration, were implemented for each one of the applications.

As expected, results confirm the sensitivity of system performance to the number of data services. For the data scenario, blocking decreases, but the delay increases compared to the reference scenery. In a general way, the behaviour of the system corresponds to the expectations, except what concerns the blocking probability and the average delay for all the transmission modes. The obtained values are some how high, but after some study one has verified that removing services, such as short message service, the multimedia message service and the e-mail, and replacing them for web services mainly was overloading the system. This situation causes an under-dimensioning of the network, the solution consisting of deploying more base stations for a wider coverage.

It is verified that the best combination is the one that combines all three techniques for both scenarios, with 50% of power reserved to HSDPA. With a threshold of 64 kbps, for the data scenario, 80% of the offered traffic is transported (corresponding to 1200 MB) with an average blocking of 2% and an average delay of 25 seconds.

In a general way, it was possible to evaluate the new techniques and to acquire knowledge on how the variation of system parameters leads to significant gains. The clearest case is related to the increase of bit rates, in which besides wining around 200 MB of carried traffic, it also manages to increase the average bit rates of transmission, mainly for the higher radio bearer, by sacrificing the average delay times.

Keywords

UMTS, Transmission Techniques, FDD, TDD, HSDPA, Blocking, Delay

Índice

Agradecimentos ..... **iii**
Resumo ..... **v**
Palavras-chave ..... **v**
Abstract ..... **vi**
Keywords ..... **vi**
Índice ..... **vii**
Lista de Figuras ..... **ix**
Lista de Tabelas ..... **xiv**
Lista de Siglas ..... **xvii**
Lista de Símbolos ..... **xix**
1 - Introdução **1**
2 - Características Gerais do UMTS **3**
2.1 - A Rede UMTS 3
2.2 - Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) 4
2.3 - Aplicações e Serviços em UMTS 6
2.4 - Capacidade e Interferência 8
3 - Técnicas de Transmissão de Dados Avançadas em UMTS **11**
3.1 - As Principais Diferenças entre FDD e TDD 11
3.2 - O Modo TDD 12
3.3 - O Modo HSDPA 14
3.4 - Raio das células 16
4 - Descrição do Simulador **19**
4.1 - Descrição do TRAFSIM3G 19
4.1.1 - Descrição Geral 19
4.1.2 - Módulos de Processamento 20
4.2 - Implementação dos Modos TDD e HSDPA 23
4.3 - Aferição dos Resultados 28
5 - Análise de Resultados **33**
5.1 - Estudo Demográfico e Geográfico da área em Estudo 33
5.2 - Cenários de Simulação 34
5.3 - Cenário de Referência (REF) 37
5.4 - Cenário de Dados (DAM) 43
5.5 - Impacto do Número de Utilizadores no Bloqueio e Atraso 47
6 - Conclusões **51**
Anexo A Modelo para o Balanço de Potência **A.1**
Anexo B Cálculo do Balanço de Potência **B.1**
Anexo C Modelos de Propagação **C.1**
Anexo D TRAFSIM3G **D.1**
Anexo E Tabelas de dados usados pelo GIS **E.1**

Anexo F Serviços de Referência F.1
Anexo G Tabelas Auxiliares do GIS G.1
Anexo H Guia do Utilizador H.1
Anexo I Ficheiros de Entrada/Saída do Módulo GIS I.1
Anexo J Ficheiros de Entrada/Saída do Módulo VC++ J.1
Anexo K Mapas da Geração de Utilizadores K.1
Anexo L Tabelas da Distribuição dos Serviços L.1
Anexo M Gráficos da Análise dos Ficheiros de Saída M.1
Referências Ref.1

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Esquema da arquitectura da rede UMTS (extraído de [Corr04]).....3
Figura 2.2 - Relação entre *Channelisation* e *Scrambling* (extraído de [HoTo00]). 4
Figura 2.3 - Árvore de Códigos OVSF (extraído de [Corr04]). 5
Figura 2.4 - Distribuição de frequências para os modos FDD e TDD na Europa (extraído de [HoTo00]).....5
Figura 2.5 - Esquemático dos canais em UMTS (extraído de [Corr04]).....6
Figura 3.1 - Modos de transmissão FDD e TDD (extraído de [EsNa03]).....11
Figura 3.2 - Simetria máxima para UL e DL (extraído de [HoTo00]). 14
Figura 4.1 - Módulos do simulador e estrutura genérica dos ficheiros (extraído de [Sant04]). 19
Figura 4.2 - Aplicação TRAFSIM3G no módulo GIS (saída, menu principal e mapeamento) (extraído de [Sant04]). 20
Figura 4.3 - Janela principal do TRAFSIM3G (extraído de [Sant04]).....22
Figura 4.4 - Aplicação TRAFSIM3G_UPG no módulo GIS. 25
Figura 4.5 - Motor do GIS, ficheiros de entrada e saída e estrutura de funcionamento.....26
Figura 4.6 - Janela do menu *Transmission Techniques Definitions*, no qual se escolhe o modo de transmissão.....27
Figura 4.7 - Janela principal do TRAFSIM3G_UPG.....28
Figura 4.8 - Probabilidade de bloqueio, de atraso e utilizadores não cobertos para FDD, TDD e FDD/HSDPA. 29
Figura 4.9 - Probabilidade de bloqueio, de atraso e utilizadores não cobertos para FDD-TDD. 30
Figura 4.10 - Probabilidade de bloqueio, de atraso e utilizadores não cobertos para FDD/HSDPA-TDD.....30
Figura 5.1 - Distritos da zona HD, distribuição dos *clutters* e o plano dos *sites* (extraído de [Sant04]). 35
Figura 5.2 - Distribuição dos *clutters* com uma penetração de população de 1% (extraído de [Sant04]).....35
Figura 5.3 - Distribuição da penetração interior (extraído de [Sant04]). 35
Figura 5.4 - Distribuição dos serviços para o cenário de referência.....36
Figura 5.5 - Distribuição dos serviços para o cenário de dados. 36
Figura 5.6 - Distribuição dos serviços nos dois cenários. 36
Figura 5.7 - Bloqueio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. 37
Figura 5.8 - Bloqueio para o modo 5 para o cenário de referência. 38
Figura 5.9 - Causas do bloqueio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.....38
Figura 5.10 - Atraso médio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referencia. 39
Figura 5.11 - Atraso médio para o modo 5 para o cenário de referência. 40
Figura 5.12 - Percentagem das causas do atraso médio para o modo 5 para o cenário de referência. 42
Figura 5.13 - Percentagem das causas do atraso médio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.....42
Figura 5.14 - Tráfego oferecido, transportado e percentagem de tráfego transportado nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.....43
Figura 5.15 - Bloqueio para o modo 4 para o cenário de dados.....44
Figura 5.16 - Percentagem das causas do bloqueio para o modo 4 para o cenário de dados.....44
Figura 5.17 - Atraso médio para o modo 4 para o cenário de dados.....45
Figura 5.18 - Atraso médio para o modo 5 para o cenário de dados.....46

Figura 5.19 - Ritmos médios por RB para o modo 4 para o cenário de dados. 46
Figura 5.20 - Variação do bloqueio e atraso com a variação do número de utilizadores para o modo 1 para o cenário de referência. 47
Figura 5.21 - Variação do bloqueio e atraso com a variação do número de utilizadores para o modo 3 para o cenário de referência. 48

Figura C.1 - Representação dos parâmetros de entrada no modelo COST 231 – Walfisch-Ikegami (extraído de [Corr04]). C.2
Figura C.2 - Factores correctivos para ruas radiais e circunferenciais (extraído de [Corr04]). C.4
Figura C.3 - Factor correctivo para uma colina isolada (extraído de [Corr04]). C.4
Figura D.1 - Exemplo da geração de utilizadores numa zona de alta densidade em Lisboa. D.2
Figura D.2 - Motor do módulo GIS, ficheiros de entrada e saída e estrutura da aplicação (extraído de [Sant04]). D.3
Figura D.3 - Exemplo das tabelas de entrada do bloco GIS: idade, rendimentos e cenários (extraído de [Sant04]). D.4
Figura D.4 - Fragmento da tabela das portadoras (extraído de [Sant04]). D.4
Figura D.5 - Tabela com a caracterização dos distritos dos Olivais e Marvila (extraído de [Sant04]). D.5
Figura D.6 - Gráfico do *clutter* para a área do distrito dos Olivais (extraído de [Sant04]). D.5
Figura D.7 - Menu *link budget parameters* (extraído de [Sant04]). D.6
Figura D.8 - Método de análise de cobertura em UL e o processo de criação do ficheiro *BSULcoverage* (extraído de [Sant04]). D.7
Figura D.9 - Motor do módulo VC++, ficheiros de entrada e saída e estrutura da aplicação (extraído de [Sant04]). D.9
Figura D.10 - Estrutura de objectos, relacionamento e principais funções (extraído de [Sant04]). D.10
Figura D.11 - Funções de processamento ciclo principal (extraído de [Sant04]). D.11
Figura D.12 - Detalhes das funções UE e *Node B* (extraído de [Sant04]). D.12
Figura F.1 - Distribuição multi-serviços proposta (extraído de [Sant04]). F.1
Figura G.1 - Zonas de HD e LD e colocação de *Node Bs* (extraído de [Sant04]) G.2
Figura G.2 - Distribuição da percentagem de penetração nos ambientes (extraído de [Sant04]). G.4
Figura G.3 - Tabela das portadoras (extraído de [Sant04]). G.4
Figura G.4 - Tabelas das portadoras (continuação) (extraído de [Sant04]). G.5
Figura H.1 - Menu principal do TRAFSIM3G. H.2
Figura H.2 - Janela do menu *Transmission Techniques Definitions.* H.2
Figura H.3 - Janela do menu *Link Budget Calculation*. H.3
Figura H.4 - Janela principal do módulo VC++. H.3
Figura H.5 - Níveis de cobertura. H.4
Figura H.6 - Menu *General Configuration.* H.5
Figura H.7 - Modelos de tráfego para voz e WWW. H.5
Figura H.8 - Parâmetros dos modelos de tráfego de e-mail, FTP e vídeo. H.6
Figura H.9 - Parâmetros de RRM. H.7
Figura H.10 - Parâmetros de dimensionamento da rede. H.8
Figura H.11 - Parâmetros do balanço de potência para DL H.8

Figura K.1 - Mapa da geração de utilizadores para FDD. K.1
Figura K.2 - Mapa da geração de utilizadores para TDD. K.1
Figura K.3 - Mapa da geração de utilizadores para FDD/HSDPA. K.2
Figura K.4 - Mapa da geração de utilizadores para FDD+TDD. K.2
Figura K.5 - Mapa da geração de utilizadores para FDD/HSDPA+TDD. K.3
Figura M.1 - Probabilidade de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário referência. M.1
Figura M.2 - Atraso médio para todos os modos de transmissão para o cenário de referência. M.2
Figura M.3 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado em todos os modos de transmissão para o cenário de referência. M.3
Figura M.4 - Percentagem das causas de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário de referência. M.4
Figura M.5 - Percentagem das causas do atraso para todos os modos de transmissão para o cenário de referência. M.5
Figura M.6 - Percentagem dos serviços no tráfego total para todos os modos de transmissão para o cenário de referência. M.6
Figura M.7 - Ritmos médios de transmissão para todos os modos de transmissão para o cenário de referência. M.7
Figura M.8 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos para todos os modos de transmissão para o cenário de referência. M.8
Figura M.9 - Probabilidade de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. M.9
Figura M.10 - Atraso médio nos modos 1,2 e 3 para o cenário de referência. M.9
Figura M.11 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. M.10
Figura M.12 - Percentagem das causas de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. M.10
Figura M.13 - Percentagem das causas do atraso nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. M.11
Figura M.14 - Percentagem dos serviços no tráfego total nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. M.11
Figura M.15 - Ritmos médios de transmissão para todos nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. M.12
Figura M.16 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência. M.12
Figura M.17 - Probabilidade de bloqueio no modo 4 para o cenário de referência. M.13
Figura M.18 - Atraso médio no modo 4 para o cenário de referência. M.13
Figura M.19 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 4 para o cenário de referência. M.14
Figura M.20 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 4 para o cenário de referência. M.14
Figura M.21 - Percentagem das causas do atraso no modo 4 para o cenário de referência. M.15
Figura M.22 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 4 para o cenário de referência. M.15
Figura M.23 - Ritmos médios de transmissão no modo 4 para o cenário de referência. M.16
Figura M.24 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 4 para o cenário de referência. M.16

Figura M.25 - Probabilidade de bloqueio no modo 5 para o cenário de referência. M.17
Figura M.26 - Atraso médio no modo 5 para o cenário de referência..... M.17
Figura M.27 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 5 para o cenário de referência. M.18
Figura M.28 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 5 para o cenário de referência. M.18
Figura M.29 - Percentagem das causas do atraso no modo 5 para o cenário de referência. M.19
Figura M.30 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 5 para o cenário de referência. M.19
Figura M.31 - Ritmos médios de transmissão no modo 5 para o cenário de referência..... M.20
Figura M.32 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 5 para o cenário de referência..... M.20
Figura M.33 - Probabilidade de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário de dados. M.21
Figura M.34 - Atraso médio para todos os modos de transmissão para o cenário de dados. M.22
Figura M.35 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado em todos os modos de transmissão para o cenário de dados. ... M.23
Figura M.36 - Percentagem das causas de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário de dados..... M.24
Figura M.37 - Percentagem das causas do atraso para todos os modos de transmissão para o cenário de dados..... M.25
Figura M.38 - Percentagem dos serviços no tráfego total para todos os modos de transmissão para o cenário de dados..... M.26
Figura M.39 - Ritmos médios de transmissão para todos os modos de transmissão para o cenário de dados..... M.27
Figura M.40 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos para todos os modos de transmissão para o cenário de dados. M.28
Figura M.41 - Probabilidade de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados. M.29
Figura M.42 - Atraso médio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados. M.29
Figura M.43 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados..... M.30
Figura M.44 - Percentagem das causas de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados. M.30
Figura M.45 - Percentagem das causas do atraso nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados. M.31
Figura M.46 - Percentagem dos serviços no tráfego total nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados. M.31
Figura M.47 - Ritmos médios de transmissão nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados. M.32
Figura M.48 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados. M.32
Figura M.49 - Probabilidade de bloqueio no modo 4 para o cenário de dados. M.33
Figura M.50 - Atraso médio no modo 4 para o cenário de dados. M.33
Figura M.51 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 4 para o cenário de dados..... M.34
Figura M.52 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 4 para o cenário de dados... M.34
Figura M.53 - Percentagem das causas do atraso no modo 4 para o cenário de dados. M.35

Figura M.54 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 4 para o cenário de dados. M.35
Figura M.55 - Ritmos médios de transmissão no modo 4 para o cenário de dados. M.36
Figura M.56 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 4 para o cenário de dados. M.36
Figura M.57 - Probabilidade de bloqueio no o modo 5 para o cenário de dados. M.37
Figura M.58 - Atraso médio no modo 5 para o cenário de dados. M.37
Figura M.59 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 5 para o cenário de dados..... M.38
Figura M.60 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 5 para o cenário de dados... M.38
Figura M.61 - Percentagem das causas do atraso no modo 5 para o cenário de dados. M.39
Figura M.62 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 5 para o cenário de dados. M.39
Figura M.63 - Ritmos médios de transmissão para todos no modo 5 para o cenário de dados. M.40
Figura M.64 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 5 para o cenário de dados.os valores teóricos no modo 5 para o cenário de dados..... M.40

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Características dos serviços segundo o UMTS Forum (extraído de [UMTS98a]). 7
Tabela 2.2 - Características dos serviços segundo o 3GPP (extraído de [3GPP03a] e [3GPP03b]). 8
Tabela 4.1 - Serviços considerados para FDD e TDD/HSDPA. 23
Tabela 4.2 - Serviços afectados pelo *Upgrade* e novos ritmos binários. 27
Tabela 5.1 - Principais dados demográficos da área em estudo (extraído de [Sant04]). 33
Tabela 5.2 - Distribuição dos serviços pela idade dos utilizadores para o cenário de referência. 34
Tabela 5.3 - Distribuição dos serviços pelo rendimento dos utilizadores para o cenário de referência. 34
Tabela 5.4 - Distribuição dos serviços pela escolaridade dos utilizadores para o cenário de referência. 34

Tabela A.1 - Valores típicos de *EIRP* (extraído de [Corr04]). A.1
Tabela A.2 - Valores típicos de algumas grandezas. A.2
Tabela A.3 - Valores de E_b/N_0 para diferentes serviços (extraído de [Corr04]). A.3
Tabela B.1 - Valores de E_b/N_0 para *Dense Urban* e *Urban* para os vários serviços. B.1
Tabela B.2 - Valores de E_b/N_0 para *Suburban* para os vários serviços. B.1
Tabela B.3 - Valores de E_b/N_0 para *Rural* e *Axial* para os vários serviços. B.1
Tabela B.4 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Dense Urban*. B.1
Tabela B.5 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Urban*. B.2
Tabela B.6 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Suburban*. B.2
Tabela B.7 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Rural* e *Axial*. B.2
Tabela B.8 - Valor da potência máxima de transmissão DL. B.2
Tabela B.9 - Valores dos parâmetros usados no cálculo do EIRP. B.2
Tabela B.10 - Valores da sensibilidade do receptor para FDD. B.3
Tabela B.11 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Dense Urban* para FDD. B.3
Tabela B.12 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Urban* para FDD. B.3
Tabela B.13 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Suburban* para FDD. B.4
Tabela B.14 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Rural* para FDD. B.4
Tabela B.15 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Axial* para FDD. B.4
Tabela B.16 - Valores da sensibilidade do receptor para TDD. B.5
Tabela B.17 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Dense Urban* para TDD. B.5
Tabela B.18 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Urban* para TDD. B.5

Tabela B.19 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Suburban* para TDD. B.6
Tabela B.20 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Rural* para TDD. B.6
Tabela B.21 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Axial* para TDD. B.6
Tabela D.1 - Percentagem de distribuição do tipo de canal por serviço e *clutter* (extraído de [Sant04]). D.7
Tabela D.2 - Percentagem de distribuição do nível de penetração de interiores por serviço e *clutter* (extraído de [Sant04]). D.8
Tabela E.1 - Informação da zona de HD (extraído de [Sant04]). E.1
Tabela E.2 - Informação da zona de LD (extraído de [Sant04]). E.1
Tabela F.1 - Distribuição dos serviços para o cenário de referência (extraído de [Sant04]). F.1
Tabela G.1 - Informações da zona de HD (extraído de [Sant04]). G.1
Tabela G.2 - Informações da zona de LD (extraído de [Sant04]). G.2
Tabela G.3– Valores do diagrama de radiação para antenas de 65º e 120º (extraído de [Sant04]). G.3
Tabela G.4 - Valores de E_b/N_0 (extraído de [Sant04]). G.4
Tabela I.1 - Índices da tabela das idades (extraído de [Sant04]). I.1
Tabela I.2 - Índices da tabela das habilitações e dos salários (extraído de [Sant04]). I.1
Tabela I.3 - Índices da tabela dos cenários (extraído de [Sant04]). I.1
Tabela I.4 - Índices da tabela das antenas (extraído de [Sant04]). I.1
Tabela I.5 - Tabela das portadoras (extraído de [Sant04]). I.2
Tabela I.6 - Tabela das portadoras (cont.), (extraído de [Sant04]). I.2
Tabela I.7 - Índices da tabela E_b/N_0 (extraído de [Sant04]). I.2
Tabela I.8 - Índices da tabela dos distritos (extraído de [Sant04]). I.2
Tabela I.9 - Índices da tabela do *clutter* (extraído de [Sant04]). I.2
Tabela I.10 - Índice da tabela dos *Node Bs* (extraído de [Sant04]). I.3
Tabela I.11 - Índices do ficheiro *Users.txt* (extraído de [Sant04]). I.3
Tabela I.12 - Índices do ficheiro *Users.txt* (cont.), (extraído de [Sant04]). I.3
Tabela I.13 - Índices do ficheiro *BSULcoverage.txt* (extraído de [Sant04]). I.3
Tabela I.14 - Índices do ficheiro *ExportLinkBudget.txt* (extraído de [Sant04]). I.4
Tabela J.1 - Índices do ficheiro TREAFSIM3G.log (extraído de [Sant04]). J.1
Tabela J.2 - Índices do ficheiro dos serviços.log (extraído de [Sant04]). J.1
Tabela J.3 - Índices do ficheiro da potência de controlo do UE (extraído de [Sant04]). J.2
Tabela J.4 - Índices dos ficheiros dos contadores do UE (extraído de [Sant04]). J.2
Tabela J.5 - Índices dos ficheiros dos contadores dos *Node Bs* (extraído de [Sant04]). J.3
Tabela J.6 Índices dos ficheiros *CodeAlloc* e *CodeDelloc* (extraído de [Sant04]). J.4
Tabela J.7 - Índices dos ficheiros dos acontecimentos de bloqueio e atraso (extraído de [Sant04]). J.4
Tabela J.8 - Índices do ficheiro de *active set* (extraído de [Sant04]). J.4
Tabela L.1 - Distribuição dos serviços pela idade dos utilizadores para o cenário de referência. L.1
Tabela L.2 - Distribuição dos serviços pelo rendimento dos utilizadores para o cenário de referência. L.1
Tabela L.3 - Distribuição dos serviços pela escolaridade dos utilizadores para o cenário de referência. L.1
Tabela L.4 - Distribuição dos serviços pela idade dos utilizadores para o cenário de dados. L.2

Tabela L.5 - Distribuição dos serviços pelo rendimento dos utilizadores para o cenário de dados. L.2
Tabela L.6 - Distribuição dos serviços pela escolaridade dos utilizadores para o cenário de dados. L.2

Lista de Siglas

3GPP	*3rd Generation Protocol Partnership*
ARQ	*Automatic Repeat Request*
AS	*Active Set*
AX	Ambiente *Axial*
BMC	*Broadcast/Multicast Control*
CCCH	*Common Control Channel*
CCPCH	*Common Control Physical Channel*
CDMA	*Code Division Multiple Access*
CE	*Channel Element*
CN	*Core Network*
CS	*Circuit Switching*
DCH	*Dedicated Channel*
DL	*Downlink*
DPCH	*Dedicated Physical Channel*
DSCH	*Downlink Shared Channel*
DU	Ambiente *Dense Urban*
EB	Estação Base
EIRP	*Equivalent Isotropic Radiated Power*
FDD	*Frequency Division Duplex*
FTP	*File Transfer Protocol*
GIS	*Geographical Information System*
GPS	*Global Positioning Satellite*
GSM	*Global System for Mobile communication*
HHO	*Hard Handover*
HIMM	*High Interactive Multimedia*
HM	*High Multimedia*
HSDPA	*High Speed Downlink Packet Access*
HS-DSCH	*High Speed Downlink Shared Channel*
IP	*Internet Protocol*
LAN	*Local Area Network*
MAC	*Medium Access Control*
ME	*Mobile Equipment*
MMM	*Medium Multimedia*
MMS	*Multimedia Message Service*
MSS	*Mobile Satellite Service*
OVSF	*Orthogonal Variable Spreading Factor*
PDCP	*Packet Data Convergence Protocol*
PICH	*Paging Indicator Channel*
PRACH	*Physical Random Access Channel*
PS	*Packet Switching*
QAM	*Quadrature Phase Modulation*
QoS	*Quality of Service*
QPSK	*Quadrature Phase-Shift Keying*
RACH	*Random Access Channel*
RLC	*Radio Link Control*
RNC	*Radio Network Controller*
RNS	*Radio Network Subsystem*
RRM	*Radio Resource Management*

RSCP	*Received Signal Code Power*
RU	Ambiente *Rural*
S	*Speech*
SCH	*Synchronization Channel*
SD	*Switched Data*
SF	*Spreading Factor*
SHO	*Soft Handover*
SM	*Short Messaging*
SMS	*Short Message Service*
SSHO	*Softer Handover*
SU	Ambiente Suburbano
TD-CDMA	*Time Division - Code Division Multiple Access*
TDD	*Time Division Duplex*
TDMA	*Time Division Multiple Access*
TM	Terminal Móvel
TMA	*Tower Mounted Amplifier*
TTI	*Transmit Time Interval*
U	Ambiente *Urban*
UE	*User Equipment*
UL	*Uplink*
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System*
USCH	*Uplink Shared Channel*
USIM	*UMTS Subscriber Identity Module*
UTRAN	*UMTS Terrestrial Radio Access Network*
VC++	*Visual C++*
WCDMA	*Wideband Code Division Multiple Access*
WWW	*World Wide Web*
VOIP	*Voice Over IP*

Lista de Símbolos

α	Factor de ortogonalidade
η_{DL}	Factor de carga no sentido descendente
η_{UL}	Factor de carga no sentido ascendente
υ	Factor de actividade do utilizador
ψ	Ângulo de orientação das ruas
Δf	Largura de banda do sinal
d	Distância entre emissor e receptor
f	Frequência
h_b	Altura da EB
h_m	Altura do TM
i	Quociente entre a interferência da célula em questão e a interferência proveniente de outras células
k_1	Coeficiente que classifica a importância dos dados demográficos - idade
k_2	Coeficiente que classifica a importância dos dados demográficos - escolaridade
k_3	Coeficiente que classifica a importância dos dados demográficos - financeiro
k_a	Factor relativo ao aumento das perdas devido à EB estar abaixo do telhado
k_d	Factor relativo à dependência das perdas de difracção multilâmina com a distância
k_f	Factor relativo à dependência das perdas de difracção multilâmina com a frequência
v_{11}	Vector do GIS referente à idade da população
v_{12}	Vector do GIS referente à idade da população
v_{13}	Vector do GIS referente à idade da população
v_{21}	Vector do GIS referente ao nível de escolaridade da população
v_{22}	Vector do GIS referente ao nível de escolaridade da população
v_{23}	Vector do GIS referente ao nível de escolaridade da população
v_{24}	Vector do GIS referente ao nível de escolaridade da população
v_3	Vector do GIS referente à situação financeira da população
w_B	Separação entre edifícios
w_s	Largura das ruas
C_{traf}	Percentagem de potência utilizada para tráfego
D	Vector com a distribuição das portadoras por zona
E_b	Energia de bit
F	Factor de ruído do receptor
G_{div}	Ganho de diversidade
G_e	Ganho da antena de emissão
G_P	Ganho de processamento
G_r	Ganho da antena de recepção
G_{rdiv}	Ganho da antena de recepção com diversidade
G_{SH}	Ganho de *soft handover*
H_B	Altura dos edifícios
K	Factor de Rice
K_{ac}	Factor correctivo para ruas circunferenciais
K_{al}	Factor correctivo para ruas radiais
K_{hp}	Factor correctivo para a posição da ondulação do terreno

K_{ih}	Factor correctivo para uma colina isolada
K_{mp}	Factor correctivo para trajectos mistos
K_{oa}	Factor correctivo para áreas abertas
K_{qo}	Factor correctivo para áreas quase abertas
K_{sp}	Factor correctivo para a inclinação média
K_{su}	Factor correctivo para áreas suburbanas
K_{th}	Factor correctivo para a ondulação do terreno
L_0	Atenuação de propagação em espaço livre
L_{add}	Atenuação provocada pela presença do utilizador entre a antena e o emissor/receptor
L_{bsh}	Atenuação relativa da altura da EB
L_c	Atenuação no guia entre a antena e o emissor/receptor
L_{Int}	Atenuação de penetração em interiores
L_{ori}	Atenuação devido à mudança de orientação do raio
L_p	Atenuação de propagação
L_{ptotal}	Atenuação de propagação total
L_{sp}	Perdas de espalhamento
L_{tm}	Atenuação provocada pelas difracções e reflexões nos telhados e ruas até ao TM
L_{tt}	Atenuação devido às lâminas
L_u	Atenuação provocada pela presença do utilizador
M	Número de utilizadores na célula
M_{FF}	Margem de desvanecimento rápido
M_I	Margem de interferência
M_{SF}	Margem de desvanecimento lento
N	Potência total de ruído
N_0	Densidade espectral de ruído
N_{cod}	Número de códigos usados em UL
$P_{<20}$	Distribuição da população com idade inferior a 20 anos
$P_{>64}$	Distribuição da população com mais de 64 anos
$P_{10<<64}$	Distribuição da população com idade compreendida entre os 10 e os 64 anos
P_e	Potência de emissão aos terminais da antena
P_{obrig}	Distribuição da população com a escolaridade obrigatória
P_{Pxmin}	Sensibilidade do receptor
P_r	Potência de recepção aos terminais da antena
P_{Rx}	Potência à entrada do receptor
P_{sec}	Distribuição da população com ensino secundário
P_{sem}	Distribuição da população sem escolaridade
P_{sup}	Distribuição da população com ensino superior
P_{traf}	Potência utilizada para tráfego
P_{Tx}	Potência de saída do emissor
R_b	Ritmo binário
R_c	Ritmo de *chip*
SF	Factor de espalhamento

1 - Introdução

Nos dias de hoje estão disponíveis diversas tecnologias que há uns anos atrás seriam inimagináveis, nomeadamente a *Internet* e os telefones móveis, com todos os serviços disponibilizados por ambas. Estas tecnologias desenvolveram-se rapidamente por todo o Mundo, pois permitem um acesso fácil e cómodo a necessidades de comunicação do dia-a-dia.

No campo das telecomunicações a evolução começou com o aparecimento das comunicações celulares. A primeira geração deste tipo de comunicações surgiu no final dos anos 70, início dos anos 80 no Japão. Caracterizava-se por usar tecnologia analógica e por transportar apenas voz. O seu conceito inovador, para a altura, levou a uma rápida expansão a nível mundial e a um rápido desenvolvimento tecnológico, surgindo a segunda geração das comunicações celulares, mais conhecida por *Global System for Mobile Communications* (GSM) [Corr04].

O GSM usa tecnologia digital, e apesar de ter sido dimensionada para voz, também permite o transporte de dados. Para tal, o GSM recorre à comutação de circuitos (*Circuit Switching* – CS) em que é estabelecido um caminho dedicado entre os dois terminais em questão, durante a totalidade da comunicação. Com esta geração apareceram novos serviços que tiveram uma rápida adesão por parte dos utilizadores. Criaram-se hábitos nos utilizadores, que levaram ao aparecimento de novos serviços que exigiam cada vez mais qualidade e velocidade, o que originou uma geração intermédia denominada por *General Packet Radio Service* (GPRS) [Corr04]. O GPRS utiliza comutação de pacotes (*Packet Switching* - PS), em que geralmente se fragmenta a mensagem que se quer transmitir em pacotes com informação do utilizador, à qual se junta informação de controlo. O PS é mais eficiente que CS, já que as comunicações entre os nós podem ser partilhadas simultaneamente por diferentes pacotes devido à existência de *buffers internos* com uma dada capacidade de armazenamento. Com PS, se houver excesso de tráfego o pacote fica sujeito a atrasos, ao contrário de CS em que a comunicação apresenta bloqueio [Sta100]. O PS em GPRS trouxe uma maior velocidade na transmissão de dados em relação à versão inicial do GSM, tornando possível aceder a serviços disponibilizados pela *internet* num telemóvel. Esta foi a rampa de lançamento para a terceira geração das comunicações celulares, o *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS).

O UMTS consiste num sistema de comunicações universal, pois pretende usar o mesmo espectro em todo o Mundo, permitindo que os utilizadores acedam a todos os serviços usando o mesmo equipamento móvel, independentemente da sua localização geográfica, garantindo uma qualidade de serviço mínima (*Quality of Service* - QoS) [HoTo00]. O UMTS usa frequências na ordem dos 2 GHz que se encontram disponíveis em todo o mundo, excepto na América do Norte, pois esse espectro encontra-se ocupado pela segunda geração. Com esta globalização, o UMTS vai de encontro à grande mobilidade que os utilizadores dos dias de hoje necessitam, quer por motivos pessoais ou profissionais. Espera-se por isso uma grande adesão ao UMTS e aos serviços por este disponibilizados. Os serviços mais conhecidos são a videoconferência, o correio e jornal electrónicos, o *File Transfer Protocol* (FTP), áudio e vídeo *on-demand*, *download* de ficheiros e aplicações baseadas em localização e informação geográfica. Tendo em conta a diversidade de serviços, bem como o crescente desenvolvimento de aplicações de *software* e a grande predisposição para as novas tecnologias, por parte dos utilizadores, é esperado que nos próximos anos o tráfego na rede UMTS aumente substancialmente. Estão por isso a ser desenvolvidas novas normas, evoluções de UMTS, como sejam o modo *Time Division Duplex* (TDD) e a técnica *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA), entre outros, sendo necessário avaliar o seu

impacto e utilização para vários cenários de tráfego multi-serviço oferecidos pelos utilizadores, assumindo distribuições de tráfego e estruturas celulares não uniformes. É neste contexto que todo o trabalho se vai desenvolver.

Este trabalho teve como objectivo a comparação de técnicas de transmissão de dados, com base em simulações, para a estimação do aumento de capacidade em UMTS pela utilização do modo TDD e de HSDPA, que tenha em consideração as distribuições não uniformes de tráfego multi-serviço e a estrutura de redes UMTS – *Frequency Division Duplex* (FDD) existentes.

No capítulo 2 faz-se uma breve introdução das características gerais do UMTS para uma melhor compreensão deste sistema. Apresenta-se a rede UMTS e sua arquitectura, explica-se o modo de funcionamento do WCDMA, referem-se as aplicações e os serviços do UMTS e finalmente explica-se a relação entre a capacidade e a interferência.

No capítulo 3 são apresentadas as técnicas de transmissão de dados avançadas em UMTS, nomeadamente a TDD e a HSDPA. Inicialmente faz-se uma comparação entre os modos FDD e TDD. Posteriormente descreve-se as características e aplicações do modo TDD e da técnica HSDPA, e a interacção desta última com o FDD e TDD. Por último calcula-se o balanço de potência para cada uma das técnicas referidas.

No capítulo 4 faz-se uma descrição detalhada do simulador desenvolvido, começando por descrever o simulador TRAFSIM3G [Sant04], que serviu de base para o desenvolvimento do simulador para este trabalho, o TRFASIM3G_UPG. São também descritas todas as alterações efectuadas ao simulador original de modo a implementar os modos TDD e HSDPA.

No capítulo 5 faz-se a análise dos resultados obtidos nas diversas simulações. Inicialmente é feita uma caracterização demográfica e geográfica dos cenários em estudo, nomeadamente o cenário de referência (REF) e o cenário de dados (DAM). Segue-se uma breve descrição das técnicas de transmissão de dados utilizadas. Por fim é feita uma comparação dos resultados obtidos para os dois cenários utilizados.

2 - Características Gerais do UMTS

Neste capítulo é feita uma introdução aos conceitos básicos do UMTS de modo a permitir uma melhor compreensão deste trabalho. Os conceitos introduzidos são nomeadamente, a arquitectura de rede, a tecnologia de implementação, as aplicações e os serviços disponíveis e por fim a capacidade e interferência.

2.1 - A Rede UMTS

A arquitectura da rede UMTS é formada por três elementos específicos, representados na Figura 2.1, com funções definidas [HoTo00]:

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

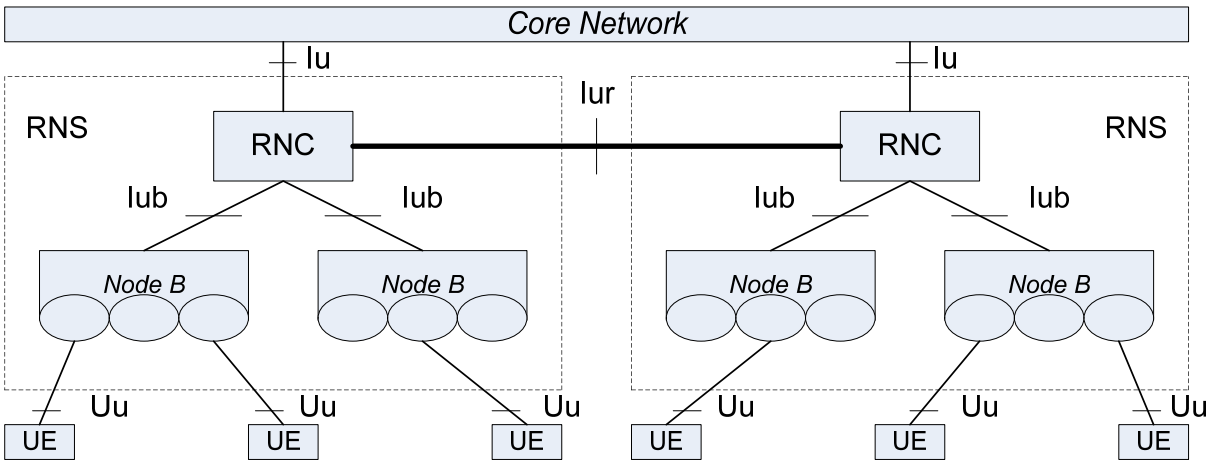


Figura 2.1 - Esquema da arquitectura da rede UMTS (extraído de [Corr04]).

A UTRAN gere as ligações rádio da rede, subdividindo-se em vários *Radio Network Subsystems* (RNS). O RNS, por sua vez é constituído por um *Radio Network Controller* (RNC) e por um ou mais *Node Bs* (vulgarmente conhecidos por Estações Base). O RNC é a interface da CN com a UTRAN, e controla os recursos rádio da UTRAN (gere o fluxo e o congestionamento, e decisão de *handover*). O *Node B* também assegura o controlo dos recursos rádio e processa a informação entre o UE e a RNC. A CN faz a interligação da rede UTRAN com o exterior (encaminhamento e comutação de tráfego), e contém a base de dados dos utilizadores e definições da rede. O UE estabelece a ligação do utilizador à rede. É formado pelo *Mobile Equipment* (ME), usualmente conhecido por terminal móvel e pelo UMTS *Subscriber Identity Module* (USIM), que é um cartão que contém a identidade do utilizador e realiza algoritmos de autenticação e encriptação da informação, e contém informação útil ao terminal.

Os elementos da rede UMTS estão interligados por interfaces. A UTRAN está ligada ao UE através da interface Uu e à CN pela interface Iu. A Uu é uma interface rádio WCDMA através da qual o UE acede à parte física da rede, sendo uma das interfaces mais importantes da rede UMTS. A Iu é uma interface aberta que permite aos operadores de UMTS adquirirem CNs e UTRANs de diferentes fabricantes. Os *Node Bs* ligam-se ao RNC através da interface Iub que é também uma interface aberta, proporcionando uma maior concorrência entre fabricantes. A ligação entre RNCs de diferentes RNSs é assegurada pela interface Iur que constitui uma das

inovações, em relação ao GSM, a nível de arquitectura da rede, pois permite a realização de *handover* ao nível das RNCs e não ao nível da CN.

O *handover* possibilita que as chamadas ocorram sem interrupção quando o móvel se desloca de uma célula para a outra [Corr04]. O *handover* pode ser classificado em *hard handover* (HHO), *soft handover* (SHO) e *softer handover* (SSHO). No HHO a ligação passa de uma estação base para outra, sem se manter simultaneamente nas duas. No SHO a ligação passa de uma estação base para outra, mantendo-se simultaneamente nas duas, sendo a combinação dos sinais feita num nível hierárquico superior à estação base. No SSHO a ligação passa de um sector para outro dentro da mesma célula, mantendo-se simultaneamente nos dois, sendo a combinação dos sinais feita ao nível do *Node B*. O UMTS possui todos estes tipos.

2.2 - Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)

O UMTS usa o WCDMA como interface rádio, que é um sistema de banda larga de acesso múltiplo com divisão de código com sequência directa, que permite ritmos de transmissão que podem atingir 2 Mbps. No WCDMA é atribuído um código ortogonal a cada utilizador, o que permite uma descodificação simples do sinal pois os códigos dos outros utilizadores são vistos pelo receptor como sendo interferência, tornando possível o uso simultâneo da banda de frequências por parte de todos os utilizadores.

O processamento dos códigos tem duas fases, a codificação e a descodificação. Na codificação a informação transmitida por uma fonte vai ser separada (*Channelisation Code*), originando o espalhamento (*Spreading*) da informação aumentando o seu ritmo binário tendo como consequência directa o aumento da largura de banda. Antes de ser enviado, o código vai ser submetido a um *Scrambling Code* para separar sinais de terminais ou de *Node Bs* diferentes. O *Scrambling Code* não modifica os parâmetros definidos pelo *Spreading*, somente separa os sinais das diferentes fontes.

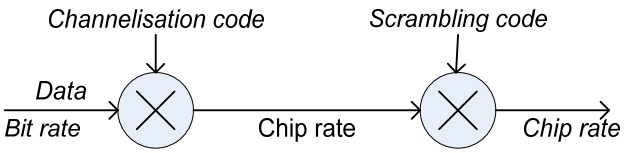


Figura 2.2 - Relação entre *Channelisation* e *Scrambling* (extraído de [HoTo00]).

Todo o sistema é baseado no facto dos códigos se manterem sempre ortogonais (na ausência de multipercurso) uns em relação aos outros. Para tal o WCDMA recorre ao *Orthogonal Variable Spreading Factor* (OVSF), que é uma técnica que atribui os códigos disponíveis numa célula baseando-se numa estrutura de árvore, como a que está representada na Figura 2.3, permitindo alterar o factor de espalhamento dos códigos mantendo os mesmos ortogonais entre si. Esta técnica implica que um *Channelisation Code* só possa ser usado para transmitir de uma fonte e que um canal só possa usar um determinado código da árvore se nenhum canal que esteja a transmitir com o mesmo código use um código de um ramo inferior. Por outro lado, como cada código de árvore está associado no seu topo a um *Scrambling Code*, é possível os terminais ou *Node Bs* diferentes funcionarem independentes uns dos outros sendo desnecessário coordenar os códigos de árvore entre fontes diferentes.

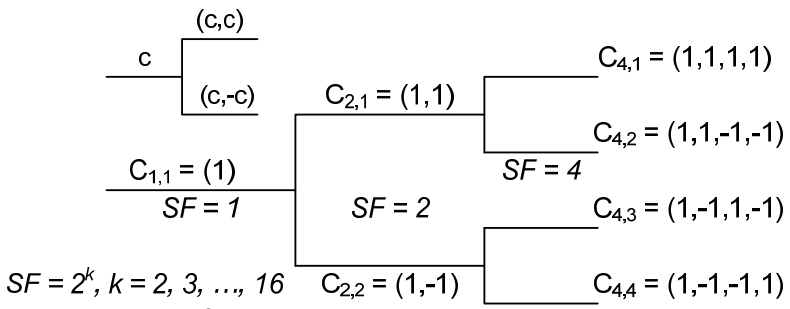


Figura 2.3 - Árvore de Códigos OVSF (extraído de [Corr04]).

O WCDMA suporta dois modos de operação, o FDD e o TDD. No modo FDD são usadas duas portadoras diferentes, permitindo transmissão simultânea nos dois sentidos, o que não é muito eficaz no controlo de tráfego assimétrico de dados. O ritmo de "*chip*" em FDD é de 3.84 Mcps com uma largura de banda de 5 MHz. O modo TDD usa uma única portadora que é partilhada no tempo entre a ligação ascendente e a descendente. Assim, é possível controlar as comunicações assimétricas adaptando os recursos rádio (número de *time-slots* UL/DL), permitindo ritmos de transmissão elevados, através da sincronização dos *Node Bs*.

O espectro do UMTS [HoTo00] encontra-se entre as frequências 1900 MHz e 2025 MHz, e entre as frequências 2110 MHz e 2200 MHz. Dentro do espectro do UMTS foi reservada uma sub-banda para serviços de satélite (*Mobile Satellite Service* - MSS). A banda entre os 1980 MHz e os 2010 MHz destina-se ao canal ascendente (*Uplink* - UL) e a banda entre os 2170 MHz a 2200 MHz destina-se ao canal descendente (*Downlink* - DL). Os dois modos de operação ocupam o resto do espectro. Para o FDD estão reservadas duas bandas iguais separadas por uma banda de guarda, entre os 1920 MHz e os 1980 MHz para UL e entre os 2110 MHz e os 2170 MHz para DL. No TDD as bandas reservadas são desde os 1900 MHz aos 1920 MHz e desde os 2010 MHz aos 2025 MHz. Como os canais de UL de DL estão divididos pelo uso de diferentes *time-slots* numa dada portadora, separados por um tempo de guarda, não há necessidade de usar espectros simétricos. Para uma melhor visualização e compreensão, a Figura 2.4 mostra a distribuição do espectro para os modos FDD e TDD na Europa.

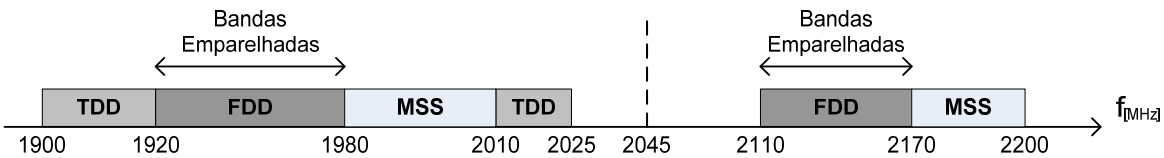


Figura 2.4 - Distribuição de frequências para os modos FDD e TDD na Europa (extraído de [HoTo00]).

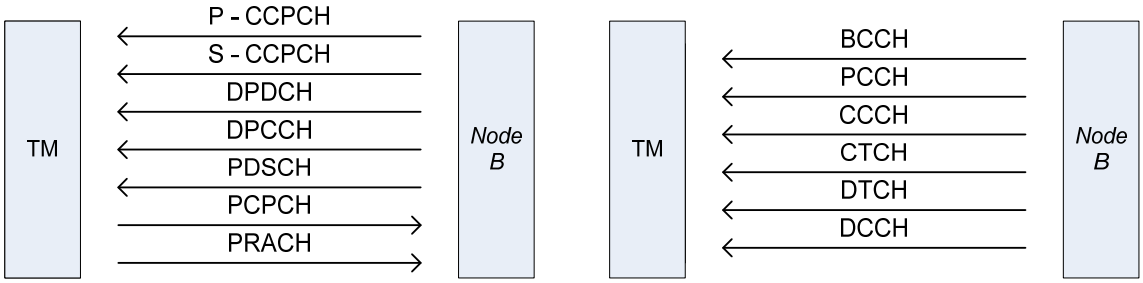
Em UMTS, os canais podem ser divididos em três tipos básicos [Corr04]:

- Canais Rádio
- Canais Físicos
- Canais Lógicos

Os Canais Rádio são canais associados a portadoras de frequência e obtêm-se por divisão da banda do espectro. É nesta categoria que os canais referidos anteriormente de UL e DL se inserem.

Os Canais Físicos, que se encontram representados na Figura 2.5 (a), transportam qualquer tipo de informação do sistema, na interface rádio. No caso do UMTS têm características diferentes e dependem do sentido da comunicação, UL ou DL.

Os Canais Lógicos, que se encontram representados na Figura 2.5 (b), poderão estar associados a funções de tráfego ou de controle e transferem informação específica entre o terminal móvel e a rede.



(a) Canais Físicos (b) Canais Lógicos

Figura 2.5 - Esquemático dos canais em UMTS (extraído de [Corr04]).

Pode-se ainda distinguir os canais consoante o conteúdo da informação que transportam, os Canais de Tráfego que contêm a informação dos utilizadores (voz, dados, multimédia e outros), e os Canais de Controlo que contêm a informação necessária ao sistema (sinais de sinalização, informação, sincronização e outros). Outro modo de distinguir os canais é de acordo com o modo de endereçamento, os Canais Comuns que trocam informação entre os *Node Bs* e os terminais móveis de um modo geral, e os Canais Dedicados que trocam informação entre os *Node Bs* e terminais móveis específicos (um ou mais). Finalmente, existem ainda os Canais de Transporte que fazem a interface entre o UE e o RNC.

2.3 - Aplicações e Serviços em UMTS

Actualmente, o UMTS fornece ao utilizador outros serviços para além da voz e simples transmissão de dados característicos do GSM, utilizando actualmente débitos binários mais elevados [HoTo00], cerca de 384 kbps para o modo FDD e 2 Mbps para o modo TDD. Com estes débitos, o sistema torna-se mais flexível apresentando novas aplicações e serviços com maior exigência de qualidade de serviço (QoS), o que nos sistemas de gerações anteriores não era possível.

Os serviços podem ser caracterizados de diversas formas, nomeadamente pelos parâmetros de serviço (tipo de informação, direccionalidade da ligação, simetria, dependência temporal, entre outros), e pelos parâmetros de comunicação (protocolo de comunicação, atraso, modo de comutação, taxa de erros, entre outros) que os classificam em diferentes classes. Existem duas classificações principais para os serviços, a classificação do *3rd Generation Protocol Partnership* (3GPP) [3GPP03a] e [3GPP03b] e a classificação do UMTS Forum [UMTS98a].

De acordo com a classificação do UMTS Fórum, os serviços disponíveis em UMTS podem ser agrupados em seis categorias principais, em que cada um dos grupos faz referência às suas características, exigências e requisitos fundamentais relativos a questões de comutação (circuitos ou pacotes), factores de assimetria e débitos nos canais UL e DL. Na Tabela 2.1 apresentam-se as respectivas características para cada categoria considerada.

Para cada uma das categorias segundo a classificação do UMTS Forum resumem-se algumas das suas aplicações [UMTS98a] e [UMTS98b]:

- *Speech* – S (Serviço de Voz) com factor de ocupação cerca de 50% em UL e DL, como chamadas telefónicas, correio de voz, teleconferência, etc.

- *Short Messaging* – SM (Serviço de Mensagens Simples), com pacotes até 40 kbyte, com um factor de eficiência de transferência de pacote de 75% e um atraso máximo de 30 s, como mensagens curtas, correio electrónico, *paging*, etc.
- *Switched Data* – SD (Serviço Comutação de Dados), como acesso à rede, fax, FTP, acesso de baixo débito à *Intranet/Internet* e a *Local Area Network* (LANs), etc.
- *Medium Multimedia* – MMM (Serviço Multimédia de Médio Nível), com transferência de pacotes de 0,5 Mbyte em 14 s, no máximo, como as compras *on-line*, movimentos bancários, acesso a LANs e a *intranet/internet*, jogos interactivos, etc.
- *High Multimedia* – HM (Serviço Multimédia de Elevado Nível), com transferência de pacotes de 10 Mbyte em 53 s, como acesso rápido à *Intranet/Internet* e a LANs, o *download* de ficheiros de imagem (*jpeg* e *mpeg*) e áudio (*mp3*), comércio electrónico, etc.
- *High Interactive Multimedia* – HIMM (Serviço Interactivo Multimédia Elevado), com factor de ocupação de 80%, como videoconferência, videotelefonia, teleeducação/teletrabalho, etc.

Tabela 2.1 - Características dos serviços segundo o UMTS Forum (extraído de [UMTS98a]).

Serviços	Débito Binário [kbps]	Factor de Assimetria (UL/DL)	Modo de Comutação
Voz	16.0	1/1	CS
Mensagens Simples	14.4	1/1	PS
Comutação de Dados	14.4	1/1	CS
Multimédia de Médio Nível	384.0	0.026/1	PS
Multimédia de Alto Nível	2 048.0	0.005/1	PS
Interactivo Multimédia Elevado	128.0	1/1	CS

Ao se explorar a estrutura da transmissão da informação em UMTS surge uma questão delicada no que diz respeito à qualidade do serviço oferecido. Se nas comunicações de transmissão de pacotes via *Internet* não há qualidade mínima de serviço, pois os pacotes não têm um atraso máximo admissível, em UMTS pretende garantir-se uma dada QoS. Esta é uma das condições mais importantes, mas também mais complicadas de satisfazer, dado o sistema basear-se numa grande conectividade com a *Internet*, que não garante qualidade de serviço, sendo necessário definir prioridades e temporizadores na rede para os pacotes, já que dependendo do serviço, o utilizador que paga por um serviço não está disposto a esperar muito tempo pelo mesmo.

Segundo a classificação do 3GPP, os serviços podem ser agrupados em quatro categorias principais, consoante a QoS que conseguem oferecer ao utilizador. Algumas das características desta classificação apresentam-se na Tabela 2.2 [HoTo00].

- A classe *conversational* utiliza tráfego simétrico. Tem como principal aplicação o serviço de voz sobre CS, e ainda outras aplicações como voz sobre IP e videotelefonia. Na conversação em tempo real é necessário ter um atraso muito baixo (100 ms) de utilizador para utilizador, tendo em conta a percepção humana de conversação áudio e vídeo.
- Na classe *streaming* a informação flúi de modo contínuo e estável, é armazenada em *buffers* e posteriormente processada. As aplicações para transferência de dados que

são processados de uma forma contínua servem para que o utilizador tenha acesso a parte da informação antes de esta ter sido totalmente transferida. São aplicações mais assimétricas impondo mais atraso que nos serviços *conversational.*

- Na classe *interactive* a informação é requisitada pelo utilizador, quer seja humano ou uma máquina, a partir de um servidor. Um exemplo da interacção de uma máquina com o equipamento remoto é o pedido de informação de base de dados automática. Relativamente à interacção humana com o equipamento remoto tem-se, como exemplos, a pesquisa na *Internet* e a recuperação de uma base de dados. Nesta classe os serviços geram tráfego assimétrico e são mais tolerantes a atrasos.
- A classe *background* é a classe menos exigente em relação à QoS e é utilizada para transferir grandes quantidades de informação entre aplicações que não necessitam de uma acção imediata. Nesta classe, quando há comunicação de dados, o destinatário não sabe o tempo que demora a receber os dados pretendidos. O tempo de atraso pode ir de ligeiros segundos ou até mesmo minutos. Como exemplos de aplicações desta classe têm-se o *Short Message Service* – SMS (Serviço de Mensagens Curtas) e o *e-mail*.

Dada a existência de vários e diferenciados serviços, não é possível optimizar a QoS para um determinado grupo de aplicações, mas apenas encontrar valores que satisfaçam os requisitos mínimos pretendidos. Verifica-se que a classe *conversational* é a que apresenta maiores exigências em termos de QoS, ao contrário da classe *Background* que tem menores necessidades em termos de qualidade requerida.

Tabela 2.2 - Características dos serviços segundo o 3GPP (extraído de [3GPP03a] e [3GPP03b]).

Classe de Serviço	***Conversational***	***Streaming***	***Interactive***	***Background***
Tempo-real	sim	sim	não	não
Simétrico	sim	não	não	não
Comutação	CS	CS/PS	PS	PS
Ritmo garantido	sim	sim	não	não
Atraso	Mínimo e Fixo	Mínimo e Variável	Moderado e Variável	Grande e Variável
Exemplo	Voz	*video-clip*	www	*e-mail*

Para se obterem uma boa cobertura de rede e capacidade para suportar os serviços oferecidos, é necessário que a rede seja bem dimensionada, de modo a cumprir os requisitos da QoS. O grande objectivo deste trabalho baseia-se no aumento da capacidade em UMTS, especialmente no que diz respeito aos serviços de dados, utilizando para tal novas técnicas como o TDD e o HSDPA.

2.4 - Capacidade e Interferência

A relação entre a capacidade e interferência traduz-se num dos factores essenciais em sistemas celulares. Em GSM a capacidade é de uma maneira geral determinada pelo padrão celular e pela dimensão das células. Em UMTS é mais complexo, pois a capacidade está directamente dependente do número de utilizadores e do tipo de serviços a que estes acedem.

Tendo em conta o facto dos códigos em UMTS serem diferentes para todos os utilizadores e ortogonais entre si, podia à partida considerar-se que o número de códigos poderia ser o que

se desejasse. Tal não se verifica pois a interferência no sinal dos utilizadores de uma mesma célula é tanto maior quanto maior for o número de códigos em utilização, sendo necessário limitar o número de códigos de modo a garantir a QoS para os utilizadores [Corr04].

Quando se estima a cobertura de um *Node B* tem-se que contabilizar, para além do ruído térmico dos componentes electrónicos, a interferência dos outros utilizadores na mesma célula e os serviços por eles utilizados. Existe uma margem de interferência de forma a limitar o valor máximo do ruído que depende do factor de carga (η) da célula. Dado o facto do tráfego ser assimétrico, e de as ligações não se efectuarem da mesma maneira, o factor de carga vai ser diferente para as ligações UL (2.1) e DL (2.2) [HoTo00].

$$\eta_{UL} = (1+i)\cdot\sum_{j=1}^{M}\frac{1}{1+\dfrac{R_c}{(E_b/N_0)_j\cdot R_{bj}\cdot\nu_j}} \tag{2.1}$$

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

onde:

- M é o número de utilizadores na célula
- i representa o quociente entre a interferência da célula em questão e a interferência proveniente de outras células
- E_b/N_0 é a energia de bit por densidade espectral de ruído
- R_c = 3.84 Mcps é o ritmo de *chip*
- R_{bj} é o ritmo binário do utilizador j
- ν_j é o factor de actividade do utilizador j
- α_j é o factor de ortogonalidade dos códigos em DL do utilizador j

Comparando (2.1) com (2.2), verifica-se que as equações diferem no factor de ortogonalidade, o que é devido à diferença na atribuição dos códigos. Este factor contabiliza a influência da propagação multi-percurso na ortogonalidade dos códigos. Tanto em UL como em DL a carga depende do serviço através da relação E_b/N_0 e da relação entre os ritmos da ligação e de codificação.

A interferência causada pela carga vai influenciar a capacidade da célula, sendo contabilizada através da margem de interferência (2.3) para UL e DL.

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

Em UMTS, os utilizadores partilham a potência do *Node B* (2.4) e estando a potência de transmissão limitada a um máximo, a capacidade/cobertura pode ser imposta pela potência do *Node B*.

$$P_{Tx} = \frac{N_0 \cdot R_c}{1-\overline{\eta_{DL}}} \sum_{j=1}^{M} \nu_j \frac{\left(E_b/N_0\right)_j}{R_c/R_{b\,j}} \cdot L_{pj} \tag{2.4}$$

onde:

- L_{pj} é a atenuação de propagação para o utilizador *j*.

3 - Técnicas de Transmissão de Dados Avançadas em UMTS

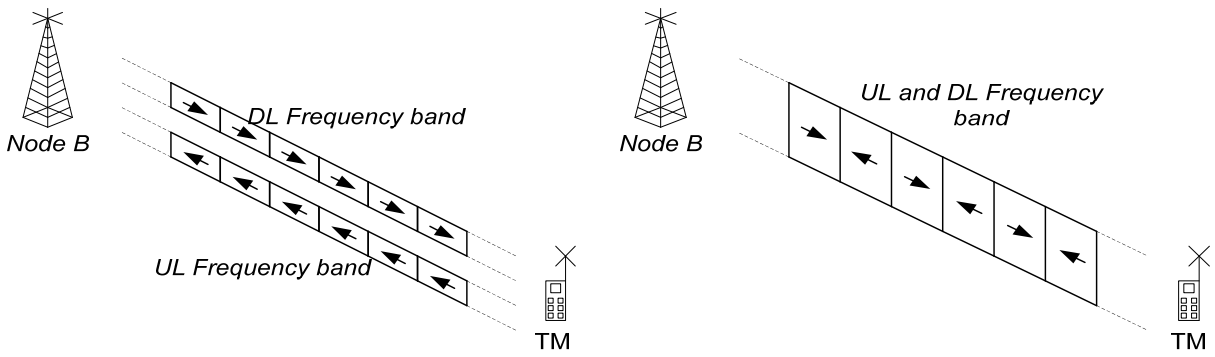
Neste capítulo apresentam-se as técnicas de transmissão de dados avançadas em UMTS. Começa-se por comparar o modo TDD com o modo FDD, de seguida descreve-se o modo TDD, as suas características e aplicações. É também descrita a técnica HSDPA e a sua interacção com os modos FDD e TDD, e por último calcula-se o balanço de potência para cada uma das técnicas referidas.

3.1 - As Principais Diferenças entre FDD e TDD

A interface rádio do UMTS varia de acordo com a técnica de transmissão, WCDMA para FDD e TD/CDMA para TDD.

Existem características típicas do TDD que diferem das do FDD [HHLT00]:

- Utilização de uma banda única - No modo FDD são sempre utilizadas duas bandas de frequência distintas, uma para UL e outra para DL, enquanto que o modo TDD utiliza apenas uma banda de frequência para UL e DL. Esta banda é utilizada alternadamente pelas duas ligações (UL e DL). A Figura 3.1 ilustra como os modos FDD e TDD transmitem a informação num sistema de comunicações móveis.



(a) FDD (b) TDD

Figura 3.1 - Modos de transmissão FDD e TDD (extraído de [EsNa03]).

- Interferência entre UL e DL - Como no modo TDD o UL e DL partilham a mesma banda de frequências, os sinais dos dois sentidos de ligação podem causar interferências um no outro. De modo a evitar essas interferências, o TDD usa margens de segurança no domínio do tempo. No modo FDD, a existência de bandas distintas para UL e DL minimiza a possibilidade de ocorrer interferências entre os sinais. Mesmo assim são utilizadas margens de segurança no domínio da frequência [EsNa03].
- Distribuição flexível de capacidade UL e DL - O modo TDD, tal como o FDD, opera segundo uma estrutura de tramas de 10 ms, com 15 *time-slots* cada. No FDD todos os *time-slots* são para UL ou DL [HoTo00]. No TDD o número de *time-slots* para UL e para DL, por trama, pode ser diferente, facto que resulta em capacidades diferentes nos dois sentidos da ligação, o que de certo modo é importante nos casos em que o tráfego de UL e DL é assimétrico. No modo TDD, as tramas têm de estar sincronizadas, pois um TM não pode transmitir informação enquanto um TM vizinho estiver a receber informação, caso contrário a interferência mútua atingiria valores

proibidos. Para esta sincronização ser possível é necessário que todos os *Node Bs* estejam sincronizados. Para tal recorre-se ao *Global Positioning Satellite* (GPS) ou à técnica *Master/Slave*, em que um conjunto de *Node Bs* (*Slaves*) é sincronizado por um *Node B* principal (*Master*).

- Transmissões descontínuas - As transmissões entre os *Node Bs* e os TMs em TDD são descontínuas. Esta descontinuidade implica o uso de um tempo de guarda no fim de cada *time-slot* para evitar sobreposições entre UL e DL.
- Reciprocidade - No FDD, é impossível correlacionar o desvanecimento rápido entre UL e DL, pois este depende da frequência, enquanto que no TDD, como o UL e o DL partilham a mesma frequência, o desvanecimento rápido é igual para ambos os sentidos de ligação. Assim, com base no sinal recebido é possível estimar o desvanecimento rápido que vai afectar a transmissão. Este conhecimento prévio, pode ser aplicado no controlo de potência e nas antenas adaptativas.
- *Handover* - O modo TDD permite o *handover* entre sistemas de transmissão (FDD e GSM), mas ao contrário do FDD não usa o *soft handover*, recorrendo apenas ao *hard handover*.

De um modo geral o FDD enquadra-se melhor em ambientes macro-celulares e micro-celulares, onde é necessária uma cobertura de área mais alargada, especialmente em zonas rurais. O FDD adapta-se melhor a operações simétricas, nomeadamente ligações que exigem a mesma quantidade de recursos rádio, tanto para UL como para DL. Este modo permite uma elevada mobilidade, embora com uma velocidade de transmissão limitada aos 384 kbps. Por outro lado, o TDD é ideal para taxas de dados elevadas até 2 Mbps com mobilidade reduzida, e é especialmente destinada à crescente procura de tráfego assimétrico, tal como a transmissão de dados e a *Internet*. O TDD aplica-se a ambientes micro-celulares para cobertura de meios urbanos com elevada densidade populacional, e pico-celulares para garantir a cobertura no interior dos edifícios e áreas com elevada densidade de tráfego, como por exemplo centros comerciais e aeroportos, entre outros.

3.2 - O Modo TDD

O TDD baseia-se no *Time Division – Code Division Multiple Access* (TD-CDMA) que não é mais do que uma combinação do *Time Division Multiple Access* (TDMA) com o *Code Division Multiple Access* (CDMA). Os sinais dos diferentes utilizadores são assim separados tanto no tempo como no código [EsNa03].

O TD-CDMA baseia-se numa estrutura comum à do modo FDD. A arquitectura da rede em TDD é em tudo idêntica à descrita para FDD, apresentando diferenças ao nível da camada física e na interface Uu. O protocolo da arquitectura da interface rádio está dividido em três camadas: a camada física, a camada de ligação de dados e a camada de controlo dos recursos rádio.

A camada de controlo dos recursos rádio tem como função controlar a atribuição dos recursos rádio e a planificação da sinalização entre a UTRAN e o utilizador.

A camada de ligação de dados faz a ligação entre a camada de controlo e a camada física, controlando também a QoS. Divide-se em quatro subcamadas, a *Medium Access Control* (MAC), a *Radio Link Control* (RLC), a *Broadcast/Multicast Control* (BMC) e a *Packet Data Convergence Protocol* (PDCP). A subcamada MAC classifica os canais lógicos provenientes da camada física para os canais de transporte e no sentido contrário. A RLC controla a

transferência de dados entre a MAC e as camadas superiores. A PDCP tem como função comprimir e descomprimir o cabeçalho IP usado na transferência de dados. Por fim, a BMC tem como função controlar o *broadcast* e o *multicast* de uma célula. O controlo do *broadcast* é caracterizado pela transmissão de informação diversa para todos os utilizadores, enquanto o controlo do *multicast* define-se pelo envio da mesma informação para um dado grupo de utilizadores.

A camada física é dividida em canais físicos e de transporte, modulação e espalhamento e por fim a estrutura dos canais, das tramas e *time-slots*.

Os canais de transporte podem ser divididos em dedicados (*Downlink Dedicated Channel* - DCH) e em comuns. Os canais dedicados têm características iguais aos do modo FDD. Os canais comuns podem ser divididos em canais de controlo comum (*Common Control Channel* - CCCH), de acesso aleatório (*Random Access Channel* - RACH), de DL partilhado (*Downlink Shared Channel* - DSCH) e de UL partilhado (*Uplink Shared Channel* - USCH). Cada canal de transporte está associado a um canal físico correspondente. Quanto aos canais físicos, dividem-se em canais dedicados (*Dedicated Physical Channel* - DPCH), em canais de controlo comum (*Common Control Physical Channel* - CCPCH), em canais de acesso aleatório (*Physical Random Access Channel* - PRACH), em canal de indicação de *paging* (PICH) e em canal de sincronização (SCH). Para estes dois últimos canais não existem canais de transporte correspondentes [HoTo00].

A modulação usada em TDD é a modulação de fase (*Quadrature Phase-Shift Keying* - QPSK). Os dados modulados sofrem um espalhamento, e o valor do factor de espalhamento é de 16 para DL, e pode ir de 1 a 16 para UL. Posteriormente os dados são misturados através de uma sequência pseudo aleatória com um comprimento de 16. O tipo de códigos ortogonais usado é o mesmo que em FDD.

No modo TDD, o facto das ligações ascendente e descendente partilharem a mesma banda de frequência faz com que ocorra interferência entre ambos os sentidos de ligação (UL e DL). Este tipo de interferência deve-se ao facto das estações base não se encontrarem sincronizadas. A interferência pode também ocorrer se a simetria entre UL e DL for diferente em células adjacentes, mesmo que a EB tenha sincronização de tramas. A interferência entre UL e DL pode ocorrer entre dois TMs, entre duas EBs e até mesmo entre o TM e a EB [HoTo00].

A interferência entre dois TMs ocorre quando um dos terminais recebe informação e o outro transmite em simultâneo, na mesma banda de frequência, em células adjacentes. Neste caso as células têm tramas sincronizadas, mas apresentam uma assimetria entre a ligação UL e DL em cada uma das células. Entre TMs a interferência é meramente estatística, pois a localização do TM não é controlável. De qualquer modo, este tipo de interferência não pode ser desprezável aquando do planeamento de uma rede.

A interferência entre EBs ocorre quando uma EB se encontra a transmitir e a outra a receber em simultâneo, na mesma banda de frequência em células adjacentes. Este tipo de interferência depende sobretudo das perdas de percurso entre as EBs, a qual pode ser controlada pelo planeamento da rede. A interferência entre EBs depende também da localização das mesmas e pode ser agravada se as perdas de percurso forem baixas. Estes casos podem ocorrer, a título de exemplo, numa macro-célula se as EBs estiverem localizadas em mastros no cimo dos telhados.

A coexistência entre o modo TDD e o modo FDD dá origem a interferências. Estes dois modos apresentam uma distribuição no espectro de tal modo que se intersectam em 1920 MHz, pois é a frequência onde termina a banda do FDD e começa do TDD. Um canal dinâmico pode ser usado para evitar interferência TDD-TDD, mas o mesmo canal não é eficiente para evitar a interferência entre TDD-FDD, pois o FDD apresenta uma transmissão e recepção contínua. A interferência TDD-FDD pode ser de vários tipos: entre um TM TDD e uma EB FDD, entre um TM FDD e uma EB TDD, e até mesmo entre TMs FDD e TDD [HoTo00].

Um TM do modo TDD pode interferir com uma EB do modo FDD. Este tipo de interferência é basicamente igual à interferência entre um TM a transmitir em FDD e uma EB FDD com frequências adjacentes. Enquanto que a interferência existente no chamado FDD "puro" é basicamente proveniente da ligação no sentido descendente, a interferência entre o TDD e o FDD tem origem na ligação ascendente. Uma solução para evitar este tipo de interferência é colocar a EB FDD em local, de modo a que o TM não fique demasiado perto da antena desta EB.

Um TM FDD a operar na banda de 1920-1980 MHz pode interferir na recepção de uma EB TDD a operar na banda dos 1900-1920 MHz. As soluções aplicadas para evitar a interferência entre um TM TDD e uma EB FDD podem ser as mesmas a aplicar entre um TM FDD e uma EB TDD.

Um TM FDD a operar na banda dos 1920-1980 MHz pode interferir com a recepção de um TM TDD a operar na banda dos 1900-1920 MHz. Neste tipo de interferência não se podem aplicar as soluções referidas anteriormente, pois a localização dos TMs não é uma coisa possível de se controlar. Uma maneira de diminuir este tipo de interferência é usar um controlo de potência nas EBs em TDD que compense a interferência proveniente do TM FDD. Uma outra solução baseia-se na interferência de *handover*. Este tipo de interferência depende da potência transmitida pelo móvel FDD, pois se este não estiver a transmitir no seu máximo de potência, a interferência nos móveis TDD diminui.

Em TDD, os 15 *time-slots* que formam uma trama podem ser distribuídos entre UL e DL. Em UL, a assimetria máxima é de 2 para DL e 13 para UL, enquanto que para DL a assimetria máxima é de 14 para DL e 1 para UL, Figura 3.2.

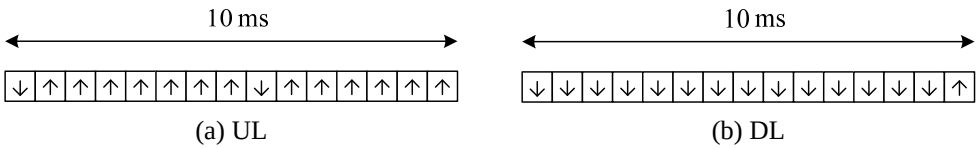


Figura 3.2 - Simetria máxima para UL e DL (extraído de [HoTo00]).

Dos 15 *time-slots* 3 estão reservados para sinalização e controlo, restando 12 *time-slots* para o transporte de dados. O *time-split* usado por grande parte dos operadores é 4 *time-slots* para UL e 8 *time-slots* para DL.

3.3 - O Modo HSDPA

O HSDPA é uma tecnologia que, aplicada ao UMTS/WCDMA, permite aos operadores melhorarem o desempenho da rede e oferecerem assim um melhor serviço aos utilizadores. O

HSDPA pode aumentar os ritmos de transmissão (em DL) até uma velocidade máxima teórica (camada física) de 14.4 Mbps, suportando ritmos médios de 1 Mbps, reduzindo o atraso. Aumenta também a eficiência do uso do espectro para dados em WCDMA por um factor aproximadamente de 3.5, aumentando a capacidade do sistema. O HSDPA possui as características seguintes [Eric04]:

- Canal de transmissão partilhado – O *High Speed Downlink Shared Channel* (HS-DSCH) baseia-se num canal de transmissão partilhado, pois os canais de códigos e a potência de transmissão numa célula são vistos como um único recurso, sendo partilhado pelos utilizadores dinamicamente, tanto no domínio do tempo como no domínio do código. A partilha do canal de transmissão é mais eficiente no uso dos códigos e potências disponíveis do que o canal dedicado. O HS-DSCH tem um tamanho variável, que se designa por *Transmit Time Interval* (TTI). O TTI é fixo a 2 ms e o número de células por utilizador é elevado [Eric04].
- Modulação mais elevada – O FDD e o TDD usam a modulação QPSK. O HSDPA, para além do QPSK pode também usar a modulação de amplitude em quadratura (*Quadrature Amplitude Modulation* - QAM), de modo a aumentar os ritmos de transmissão. Como o QAM tem o dobro da capacidade do QPSK, é mais eficiente, mas também necessita de melhores condições para o canal rádio.
- Intervalo de transmissão mais curto (TTI) – Os canais de códigos partilhados são atribuídos dinamicamente a todos os 2 ms. A redução do intervalo de transmissão diminui o tempo de retorno, melhorando a detecção de erros e a Potência RTT – *Round Trip Time.* O tempo é o primeiro recurso a ser partilhado pelo HSDPA, sendo também possível partilhar recursos no domínio do código usando partes mais pequenas do HS-DSCH total.
- Rápida adaptação da ligação – As condições do canal rádio variam muito com o número de ligações e com as posições dos utilizadores dentro de uma célula. A rápida adaptação da ligação ajusta os parâmetros desta, de acordo com as condições do canal rádio e, caso essas condições o permitam, recorre ao uso de modulações de ordem superior à dos outros modos. Para assegurar uma QoS similar para todas as ligações, apesar das diferentes condições do canal rádio, o HSDPA usa o reajuste da taxa de codificação, ao contrário do WCDMA que recorre ao uso do controle de potência. Isto é, mantendo a potência constante, o fluxo de dados é ajustado através da codificação de canal. Este método é mais eficiente para serviços que tolerem pequenas variações no fluxo de dados.
- Atribuição rápida de recursos – A atribuição de recursos decide a que utilizador é atribuído o canal de transmissão num dado momento, pretendendo-se com isto transmitir para os utilizadores, cujas condições do canal rádio são mais favoráveis. Esta decisão em conjunto com o mecanismo de adaptação da ligação permite decidir qual a modulação a usar bem como o número de códigos necessários. O ganho conseguido através deste procedimento é designado por diversidade de utilizadores múltiplos. Este procedimento pode também ser aplicado de acordo com a prioridade dos serviços.
- Pedido de repetição automática (*Automatic Repeat Request* - ARQ) – O TM pode rapidamente pedir uma retransmissão de dados perdidos e combinar esta informação com a original, antes da descodificação. Este procedimento aumenta a capacidade e a robustez da transmissão.

O HSDPA adiciona novos canais físicos e lógicos ao UMTS. Os novos canais físicos são: o *High Speed Physical Downlink Shared Channel* (HS-PDSCH) e o *High Speed Dedicated Physical Control Channel* (HS-DPCCH). O HS-PDSCH, que é o mecanismo de transporte

para os novos canais lógicos, é partilhado, tanto no tempo como no domínio do código, por todos os utilizadores de um *Node B*. O HS-DPCCH é um canal de UL que transporta informação da ligação, tal como a qualidade do canal de modo a determinar a melhor modulação e codificação. Os novos canais lógicos são o HS-DSCH e o *High Speed Shared Control Channel* (HS-SCCH). O HS-SCCH transporta a informação para o TM, nomeadamente o instante e o tipo de codificação dos dados enviados, de modo a que este efectue uma descodificação correcta dos dados recebidos [McCa03].

Com a introdução do HSDPA, a UTRAN necessita de algumas modificações. Nos outros modos, os *Node Bs* estão ligados aos RNCs que efectuam o escalonamento, a codificação e retransmissões para os EU. No HSDPA, estas funções são determinadas e realizadas segundo as condições instantâneas do canal, logo no HSDPA o escalonamento, a codificação e as retransmissões são realizados nos *Node Bs*. Contudo estas não substituem as funções dos RNCs, pois estes continuam a ser necessários para os serviços que não usam o HSDPA. Como grande parte dos fabricantes, desde 2002, só fornecem *Node Bs* que suportem HSDPA, este vai usar a mesma UTRAN que o FDD/TDD. Assim, as operadoras necessitam somente de realizar uma actualização de *software* de modo a disponibilizarem o HSDPA aos seus clientes.

3.4 - Raio das células

Para o correcto dimensionamento de uma rede de comunicações móveis é essencial analisar a sua capacidade e cobertura. O cálculo do balanço de potência permite contabilizar os efeitos das características do terreno, do tipo de serviço, do *handover* e de outros factores. É através do cálculo do balanço de potência que vai ser possível determinar os raios máximos das células, para cada tipo de serviço, de acordo com os modelos de propagação. É então possível avaliar a capacidade de cobertura de uma rede móvel, de modo a dimensioná-la correctamente. Para uma melhor compreensão da importância do cálculo dos balanços de potência no dimensionamento de uma rede UMTS, aconselha-se a consulta do Anexo A.

No cálculo do balanço de potência para cada uma das três técnicas de transmissão de dados, consideraram-se vários tipos de utilizadores inseridos em diferentes ambientes. Os ambientes considerados foram: Urbano Denso (*Dense Urban*) Urbano (*Urban*), Suburbano (*Suburban*), Rural (*Rural*) e Axial (*Axial*). Para os ambientes Urbano Denso e Urbano foram considerados utilizadores do tipo Interior (*Indoor*) e Interior Profundo (*Deep Indoor*). Por sua vez, para o ambiente Suburbano consideraram-se utilizadores do tipo Interior e Interior Janela (*Indoor Window*). Por último, para os ambientes Rural e Axial considerou-se apenas um utilizador do tipo Interior Janela.

Consideraram-se serviços de voz e de dados para todos os ambientes e utilizadores. Para os serviços de dados foram considerados vários ritmos de transmissão, nomeadamente 64 kbps (CS), 64 kbps (PS), 128 kbps (PS), 384 kbps (PS) e *Streaming* (57.6 kbps CS) para FDD e HSDPA. Além destes ritmos ainda se considerou o 2 Mbps para TDD.

Para cada um dos serviços mencionados foram ainda considerados diversos parâmetros, importantes no cálculo do balanço de potência, tais como a atenuação de propagação (L_p), o EIRP, a margem de segurança (M), a potência total de ruído (N), a sensibilidade (P_{Rxmin}) e as perdas de espalhamento (L_{sp}). Os valores destes parâmetros, assim como dos outros parâmetros necessários, encontram-se no Anexo B. Também os valores calculados para a margem de segurança e sensibilidade se encontram no Anexo B

Com base no valor da sensibilidade obtido no cálculo do balanço de potência é possível obter valores para as atenuações máximas de propagação para cada tipo de ambiente, utilizador e serviço. Os valores obtidos para as atenuações máximas de propagação podem ser consultados no Anexo B.

Utilizando um modelo de propagação podem-se determinar os raios máximos de cobertura de uma dada célula de acordo com o valor da atenuação máxima de propagação. Para o FDD utilizou-se o modelo de propagação COST 231 – Walfisch–Ikegami [Corr04] para os ambientes *Dense Urban* e *Urban*, e o modelo COST 231 – Okumura–Hata [Corr04] para os ambientes *Suburban*, *Rural* e *Axial*. Por sua vez, para o TDD utilizou-se apenas o modelo COST 231 – Okumura–Hata para todos os ambientes. Para uma melhor compreensão dos modelos de propagação e as suas limitações aconselha-se a consulta do Anexo C.

Os valores obtidos para os raios máximos apresentam *a priori* um erro devido ao facto de os modelos de propagação utilizados serem válidos para intervalos de frequências e distâncias não coerentes com as características do UMTS. Os valores considerados no cálculo dos raios máximos de cobertura das células, assim como os valores destes obtidos encontram-se no Anexo B.

4 - Descrição do Simulador

Neste capítulo descreve-se o simulador desenvolvido com base no TRAFSIM3G [Sant04] e as alterações efectuadas de acordo com o objectivo deste trabalho. O funcionamento do simulador bem como os parâmetros de entrada e saída também serão descritos neste capítulo. Por fim é feita uma breve aferição dos resultados obtidos.

4.1 - Descrição do TRAFSIM3G

O simulador TRAFSIM3G foi desenvolvido no âmbito de uma tese de mestrado [Sant04], que tinha como objectivo avaliar o desempenho de uma rede UMTS-FDD com distribuições não uniformes de tráfego multi-serviço não-uniformes.

4.1.1 - Descrição Geral

Este simulador tem como principais funções gerar uma rede UMTS com tráfego aleatório não-uniforme, desenvolver modelos de tráfego de acordo com os serviços disponíveis, simular uma rede UMTS com os mecanismos mais relevantes (a admissão das chamadas, o controlo de potência e o *handover*) e a simulação da gestão dos recursos rádio que irão afectar os modelos de tráfego, Figura 4.1.

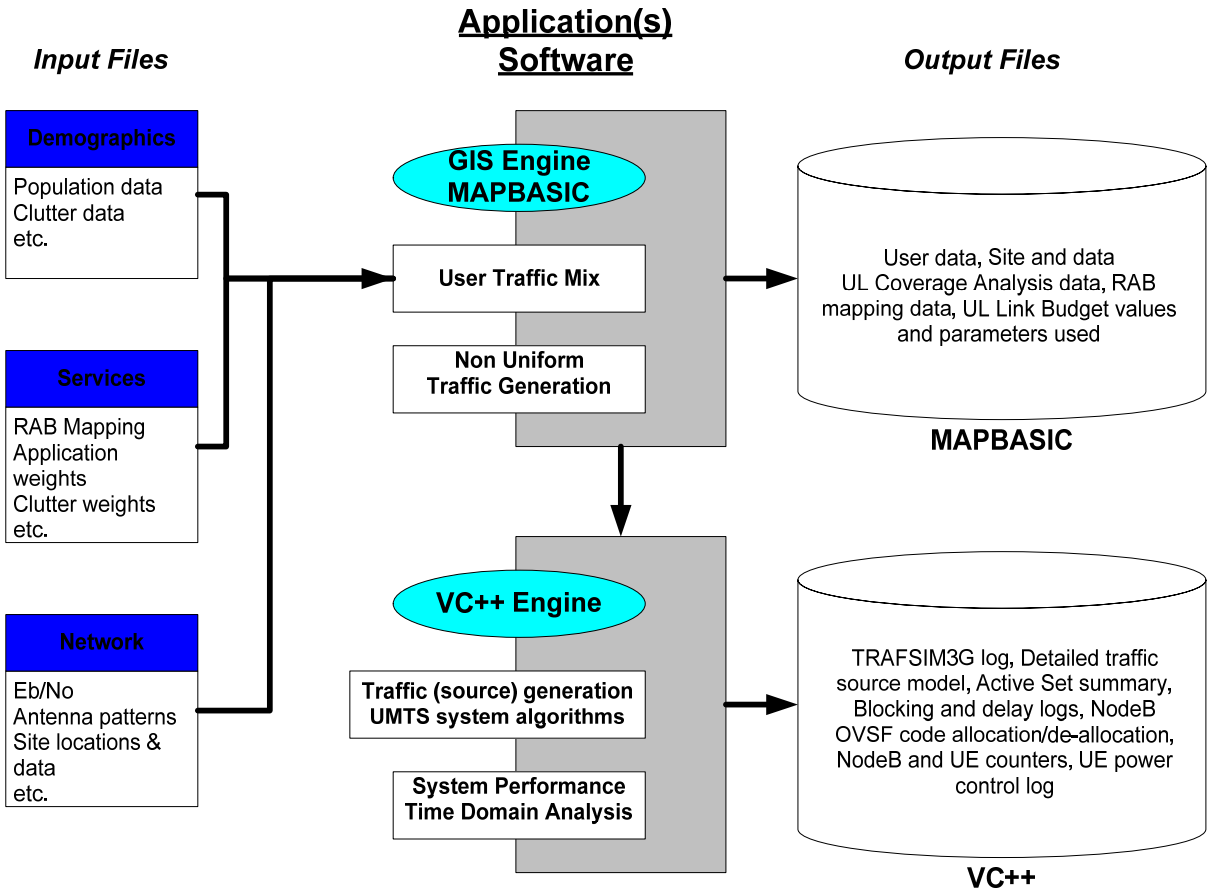


Figura 4.1 - Módulos do simulador e estrutura genérica dos ficheiros (extraído de [Sant04]).

O simulador divide-se em dois módulos, o módulo *Geographical Information Systems* (GIS) e o módulo do simulador de UMTS (VC++). O GIS foi desenvolvido em MapBasic [MAPI04]

por ter sido considerada a melhor solução devido ao elevado volume de informação e da maior facilidade de programação, para implementar a geração/caracterização de utilizadores não uniformes baseada em dados demográficos, como a idade, o nível de escolaridade e o rendimento familiar. Para se compreender melhor o processo de geração aleatória de utilizadores, aconselha-se a consulta do Anexo D. O VC++ foi desenvolvido na linguagem de programação *Visual* C++ [VISC04], devido à complexidade e necessidade de uma maior rapidez e flexibilidade do bloco, usando a programação orientada por objectos.

O módulo VC++ pode ser executado a partir do MapBasic, permitindo deste modo simulações sem interrupções. Os dois módulos estão ligados por um conjunto de ficheiros que podem ser facilmente alterados, evitando assim a necessidade de criar sempre um cenário de utilizadores. Os resultados do simulador são registados em ficheiros que podem ser definidos nos menus do simulador.

4.1.2 - Módulos de Processamento

- **Módulo GIS**

O motor que está por detrás de todo o funcionamento do módulo GIS encontra-se descrito num diagrama, representado no Anexo D, Figura D.2, no qual também se pode encontrar os ficheiros de entrada e saída assim como a estrutura da aplicação.

A aplicação TRAFSIM3G é executada a partir do ficheiro executável (ficheiro MBX) do MAPINFO, e a partir deste o VC++ pode ser inicializado. Na Figura 4.2 encontra-se representada uma vizualização da aplicação e o menu principal.

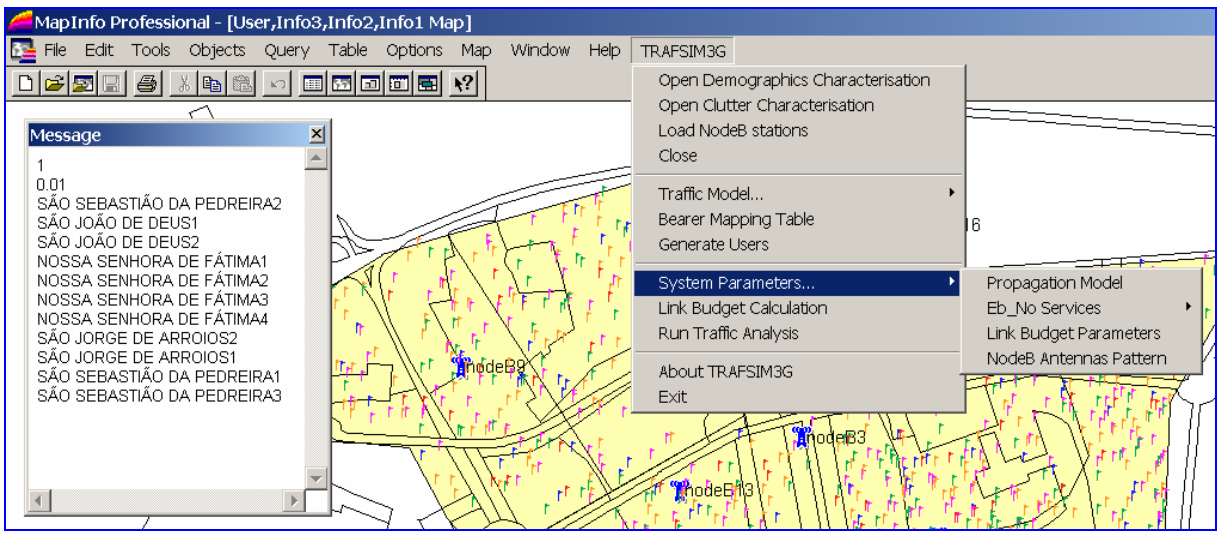


Figura 4.2 - Aplicação TRAFSIM3G no módulo GIS (saída, menu principal e mapeamento) (extraído de [Sant04]).

Numa primeira fase, o TRAFSIM3G.MBX permite processar automaticamente as seguintes tabelas MapInfo, incluídas nos ficheiros com extensão TAB:

- Tabelas do tráfego da população;
- Diagrama de radiação da antena (por omissão, é usado o diagrama da antena de 65º horizontal);
- Tabela com caracterização das portadoras;
- Tabela com os valores de E_b/N_0.

Inicialmente, para começar a correr a aplicação é pedido ao utilizador para localizar e abrir os principais ficheiros de entrada necessários (informação demográfica) para a geração de utilizadores:

- Caracterização geográfica e demográfica da população;
- Caracterização do tipo de ambiente em que a população está inserida;
- Localização e configuração dos *Node Bs* (local, número de sector, azimute, etc.).

Com base na informação guardada nos ficheiros referidos anteriormente, o simulador tem a capacidade de gerar utilizadores e serviços. Ao mesmo tempo, o simulador cria ficheiros de saída com os dados da geração de utilizadores e da localização das estações base, os quais irão ser usados como ficheiros de entrada no módulo VC++.

Quando todo o processo de gerar utilizadores termina, é feita a análise de cobertura UL e é criado um ficheiro com os resultados. Automaticamente, os valores usados no cálculo do balanço de potência são exportados para o referido ficheiro, para posteriormente serem usados no módulo VC++.

Depois de se obterem todas as tabelas referentes à geração de utilizadores (*users*, *sites*, UL *coverage* e *link budget*), o utilizador pode correr o módulo VC++ a partir do menu do TRAFSIM3G (*Run Traffic Analysis*), procedendo-se à simulação no domínio do tempo.

Os dois principais menus de controlo do módulo GIS são:

- *Traffic Model*
  - *Parameters* (indicadores demográficos, penetração populacional, etc.);
  - *Edit Population data* (tabela com os dados da população);
  - *Save Data* (quando se fazem alterações nas tabelas);
  - *Restore* (utilizar tabela por omissão).

- *System Parameters*
  - *Propagation Model* (parâmetros do modelo de propagação COST 231 - WI);
  - E_b/N_0 *Services* (tabela com os valores de E_b/N_0);
  - *Link Budget Parameters* (margens, TMA, etc);
  - *NodeB Antenna Pattern* (escolher uma antena com 65º ou 120º).

Adicionalmente, outras opções auxiliares ou informativas estão também disponíveis:

- *Close* (fechar as tabelas dos distritos/*NodeBs*);
- *Bearer Mapping Table*;
- *About TRAFSIM3G* (identificação do autor e supervisor);
- *Exit* (sair da aplicação).

Uma descrição mais detalhada das características principais do módulo GIS, bem como o conteúdo de cada ficheiro de entrada e saída utilizados encontra-se no Anexo D. Por sua vez, a informação completa acerca do formato de cada ficheiro, com exemplos numéricos e valores considerados encontra-se no Anexo I.

- **Módulo VC++**

O motor que está por detrás de todo o funcionamento do módulo VC++ encontra-se descrito num diagrama, representado no Anexo D (Figura D.9), no qual também se pode encontrar os ficheiros de entrada e saída assim como a estrutura da aplicação.

O módulo VC++ do TRAFSIM3G tem como função analisar no tempo os utilizadores e respectivos serviços gerados no bloco GIS. Este módulo não precisa de *software* de suporte, pois é iniciado a partir de um ficheiro executável ou pode ser iniciado através do MAPINFO. Na Figura 4.3 encontra-se representada uma vizualização da aplicação e o menu principal.

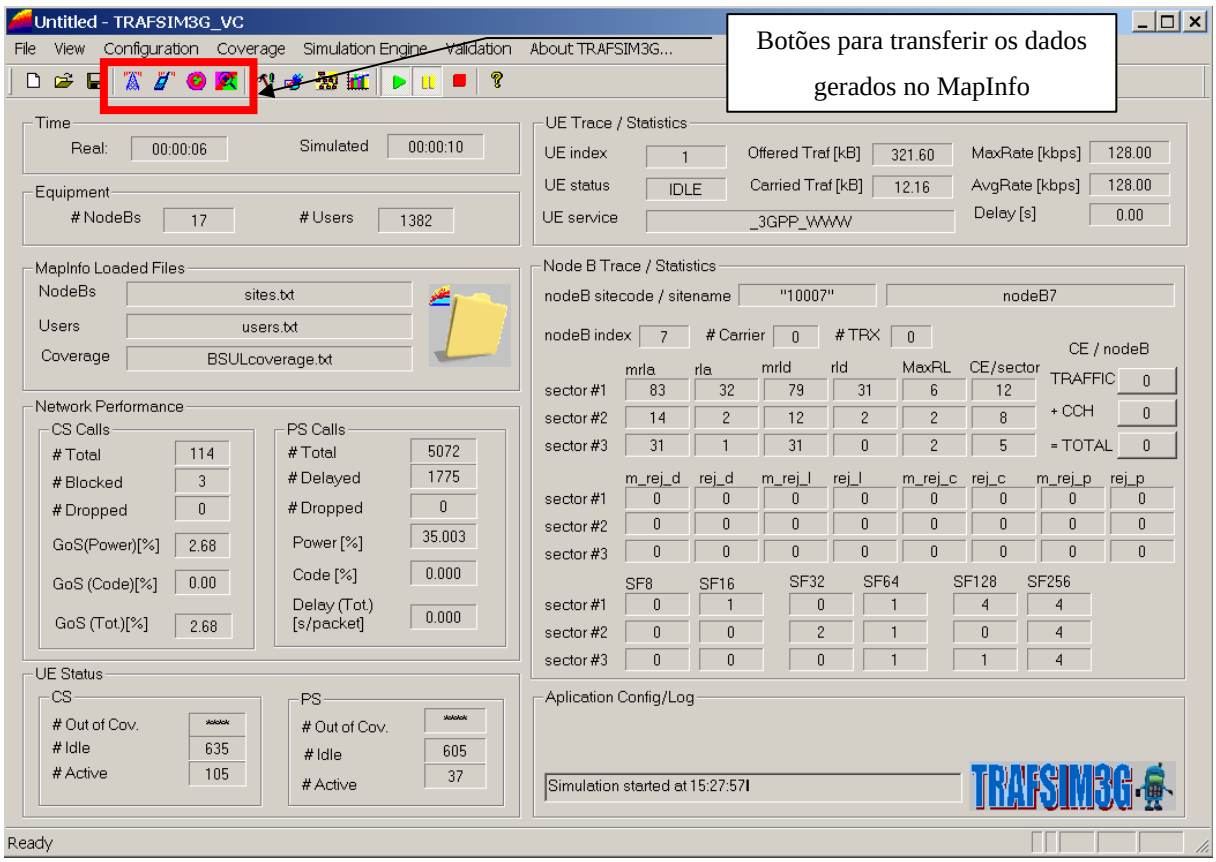


Figura 4.3 - Janela principal do TRAFSIM3G (extraído de [Sant04]).

Este módulo começa por ir buscar a informação gerada no MAPINFO, que foi previamente guardada em ficheiros de texto, tarefa esta que é facilmente executada recorrendo aos respectivos botões, Figura 4.3, de acordo com a seguinte sequência de abertura de ficheiros:

- Ficheiro com a localização dos *Node Bs* e caracterização dos sectores (*sites.txt*);
- Ficheiro com a localização dos utilizadores e respectivos serviços (*users.txt*);
- Ficheiro com cobertura de UL dos utilizadores (*BSULcoverage.txt*).

Quando o ficheiro *BSULcoverage.txt* é acedido, dois ficheiros adicionais são também acedidos incluindo o balanço de potência de UL (*ExportLinkBudget.txt*) e as características das portadoras para cada aplicação/serviço (*BearerMapping.txt*). Depois deste processo o utilizador pode iniciar a análise no tempo carregando no botão de *play*. A simulação decorre até o utilizador escolher o botão de pausa ou de *stop*, ou até o tempo de simulação terminar (que pode ser definido no menu *General Options*). De início o simulador gera um perfil de tráfego para cada utilizador de acordo com o serviço pretendido, sendo o perfil guardado num vector com a distribuição do tempo e volume de tráfego durante uma trama de 10 ms. O simulador tem um ciclo que representa uma trama de 10 ms, durante o qual o vector correspondente a cada utilizador é analisado, para que de acordo com o tráfego e requisitos do serviço em causa os recursos rádio sejam atribuído

No final da simulação (por tempo ou por stop) são gerados os ficheiros de saída. De forma a minimizar a informação a guardar e a optimizar a sua análise o utilizador pode definir no

menu *General Options* quais os ficheiros e a informação a serem guardados. Os ficheiros de saída deste bloco contêm informação acerca da:

- Inicialização das aplicações (instantes de início e fim, etc.);
- Geração de utilizadores (parâmetros de tráfego, do tempo e do volume de tráfego de cada utilizador);
- Estatística dos UEs (contadores de UE, dos serviços por UE, do volume de informação, do atraso, etc.);
- Estatística dos *Node Bs* (carga, potência do amplificador, uso dos códigos, volume de tráfego por RB, etc.);
- Rede e gestão dos recursos rádio (atraso, bloqueio, *active set*, etc.).

Existem outros menus que permitem ao utilizador aceder a todas as configurações possíveis de realizar. No campo da configuração, para além das opções gerais, pode-se alterar os parâmetros dos serviços (UMTS *Forum*, 3GPP, SMS e MMS, e-mail, ftp e video), os parâmetros da rede (SHO, controlo de potência, CS ou PS, etc.) e os parâmetros do balanço de potência. No campo da cobertura existem vários indicadores referentes à cobertura dos utilizadores. Por fim temos os botões de comando do simulador (*play*, pausa e *stop*). Uma descrição mais detalhada das características principais do módulo VC++, bem como o conteúdo dos ficheiros de saída gerados encontra-se no Anexo D.

4.2 - Implementação dos Modos TDD e HSDPA

O simulador TRAFSIM3G [Sant04] apenas foi desenvolvido com o objectivo de avaliar o desempenho de uma rede UMTS utilizando como técnica de transmissão o FDD, com distribuições não uniformes de tráfego multi-serviço. Actualmente, o simulador desenvolvido no âmbito deste trabalho, o TRAFSIM3G_UPG avalia o desempenho de uma mesma rede UMTS utilizando duas novas técnicas, o TDD e o HSDPA. Para implementar as referidas técnicas foi necessário efectuar alterações no simulador original, tanto no módulo GIS como no módulo VC++.

Ao nível do módulo GIS, uma das primeiras alterações efectuadas foi reduzir o número de serviços, considerando apenas um serviço por débito binário de DL e por tipo de comutação, CS ou PS. Na Tabela 4.1 encontram-se representadas os serviços considerados com os respectivos ritmos binários de DL.

Tabela 4.1 - Serviços considerados para FDD e TDD/HSDPA.

Serviços	**FDD**		**TDD/HSDPA**	
	Tipo de Comutação	**Ritmo DL [kbps]**	**Tipo de Comutação**	**Ritmo DL [kbps]**
Voice	CS	12.2	PS	16
Video_telephony	CS	64	PS	64
Audio_on_demand	PS	384	PS	384
Video_on_demand	PS	384	PS	384
Web_browsing	PS	128	PS	128
Chat	PS	64	PS	64
Interactive_gaming	PS	128	PS	128
FTP	PS	384	PS	384

Como se pode verificar pela referida tabela, para o modo TDD e HSDPA o serviço *Voice* foi considerado com um débito binário de 16 kbps, pois sendo o UMTS destinado essencialmente para a transmissão de dados considerou-se voz sobre IP (VoIP).

O motor que está por detrás de todo o funcionamento do módulo GIS sofreu algumas alterações no que se refere às etapas de processamento. Foram adicionados novos blocos ao módulo GIS, assinalados a tracejado verde, Figura 4.5. Estas alterações têm o objectivo de adaptar o funcionamento do simulador às novas técnicas de transmissão e permitir ao utilizador introduzir valores reais em algumas grandezas, nomeadamente no campo do balanço de potência, Figura 4.5.

Assim, numa versão actual do simulador, após uma primeira fase de carregar automaticamente as tabelas MapInfo e antes de ser pedido ao utilizador para abrir os ficheiros de entrada necessários à geração de utilizadores, o mesmo utilizador pode escolher o modo de transmissão, que conjuga uma ou mais técnicas (FDD, TDD, FDD/HSDPA, FDD+TDD ou FDD/HSDPA+TDD), com o qual pretende analisar o desempenho da rede UMTS, Figura 4.6.

É possível variar alguns parâmetros de modo a avaliar o desempenho da rede em diversas situações. Pode-se efectuar um *upgrade* aos ritmos de transmissão de alguns serviços. Na Tabela 2.1 é possível verificar que para os serviços de dados com necessidade de ritmos mais elevados é efectuado um aumento dos mesmos. O critério seguido foi de aumentar os ritmos para um "degrau" superior ao ritmo definido. Sendo assim para os serviços de 64 kbps o *upgrade* atribui-lhes um ritmo de 128 kbps, para os serviços de 128 kbps um ritmo de 384 kbps e para os serviços de 384 kbps um novo ritmo de 512 kbps, excepto para FDD pois neste caso o ritmo binário máximo é de 384 kbps. É também possível controlar a distribuição dos serviços pelas diferentes técnicas de transmissão através do *threshold*.

Quando são combinadas duas ou mais técnicas é possível estabelecer todos os serviços com comutação PS através de uma tecnologia e os serviços com comutação CS através de outra. Por exemplo no caso de se conciliar o FDD com o TDD, caso o *threshold* seja zero, os serviços com comutação CS são realizados pelo FDD e os serviços com comutação PS pelo TDD. Caso o *threshold* seja 64 kbps, os serviços com ritmos menores ou iguais ao *threshold* são estabelecidos através do FDD e os restantes pelo TDD. Para a técnica HSDPA, dado esta partilhar recursos com o FDD, nomeadamente a potência, é possível variar a distribuição desta grandeza. Assim para *power* igual a 30%, a potência reservada para FDD é 40% do valor total e 30% para HSDPA. Para *power* igual a 50%, a potência reservada para FDD é 20% do valor total e 50% para HSDPA.

A escolha do primeiro modo de transmissão (1-FDD) caracteriza-se por ter todos os serviços, CS e PS estabelecidos através da técnica FDD. Este modo permite estabelecer uma comparação com os resultados obtidos em trabalhos anteriores, [Sant04].

O segundo modo (2-TDD) vem alterar o modo de transmissão dos serviços CS, tendo sido necessário alterar a sua configuração de modo a aproximá-los de um serviço PS. No caso da voz, este serviço foi considerado como sendo VoIP. Neste modo não se verifica bloqueio de chamadas e o atraso é provocado essencialmente pela distância ou pela capacidade da célula para TDD.

No terceiro modo (3-FDD/HSDPA), existe uma divisão ao nível da transmissão, pois os serviços CS são estabelecidos usando como técnica de transmissão o FDD e os serviços PS

usando o HSDPA. Dado o facto de a capacidade de carga ser partilhada entre o FDD e o HSDPA, foi criada uma variação na potência a qual vai permitir aumentar a capacidade do HSDPA diminuindo a capacidade do FDD.

O quarto modo (4-FDD+TDD) combina a técnica FDD com a técnica TDD, não existindo partilha de recursos entre elas. Neste modo também foi feita a separação dos serviços CS para o FDD e os serviços PS para o TDD. Esta separação pode ser total ou parcial, de acordo com os ritmos de transmissão impostos pelo *Threshold*.

O quinto modo, resulta da combinação das três técnicas de transmissão (5-FDD/HSDPA+TDD), em que a separação de serviços é feita de modo a que os serviços CS sejam sempre estabelecidos através do FDD e os serviços PS sejam estabelecidos através das técnicas HSDPA ou TDD, dependendo dos ritmos de transmissão impostos pelo *Threshold*.

De realçar ainda que em todos os modos de transmissão é possível fazer um *Upgrade* aos ritmos de transmissão dos serviços, Figura 4.6.

Numa fase seguinte, aquando o cálculo do balanço de potência, o utilizador pode escolher entre o cálculo propriamente dito ou introduzir directamente os valores dos raios de cobertura e da atenuação de propagação (ver Anexo H).

Na Figura 4.4 encontra-se representado uma vizualização da aplicação e o menu principal. É de referir que foi acrescentado o menu *Transmission Techniques Definitions*, como se pode verificar na Figura 4.4, o qual permite ao utilizador escolher a técnica de transmissão.

Após escolhida a técnica de transmissão, pede-se ao utilizador para localizar e abrir os ficheiros necessários (informação demográfica) à geração de utilizadores. Os mapas com a geração de utilizadores para uma zona de alta densidade de Lisboa encontram-se no Anexo K.

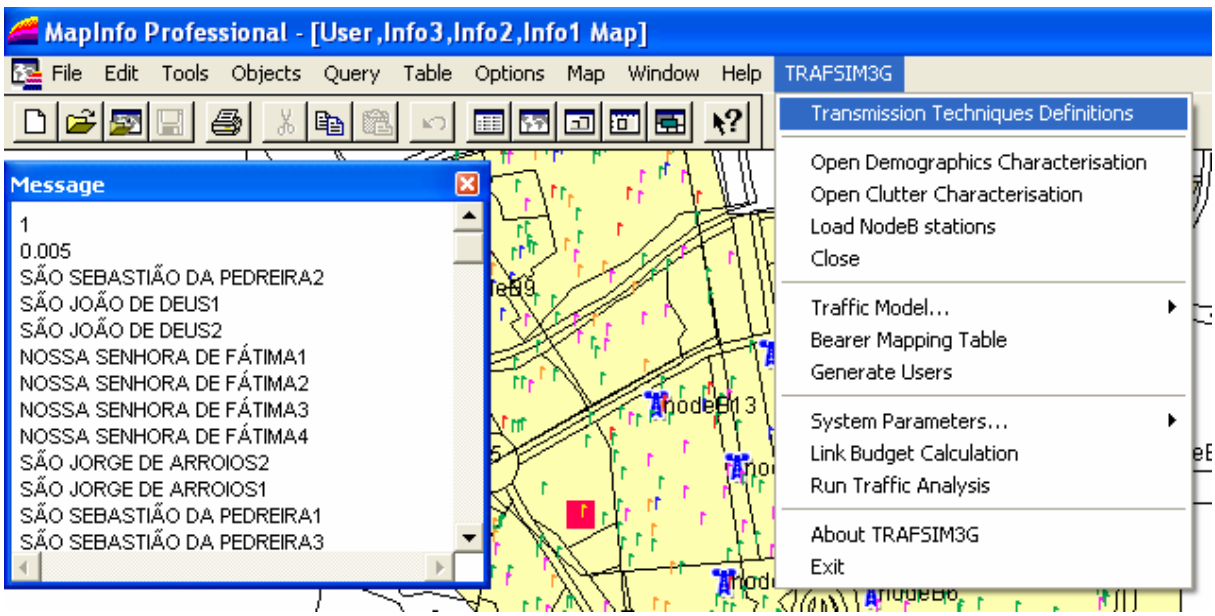


Figura 4.4 - Aplicação TRAFSIM3G_UPG no módulo GIS.

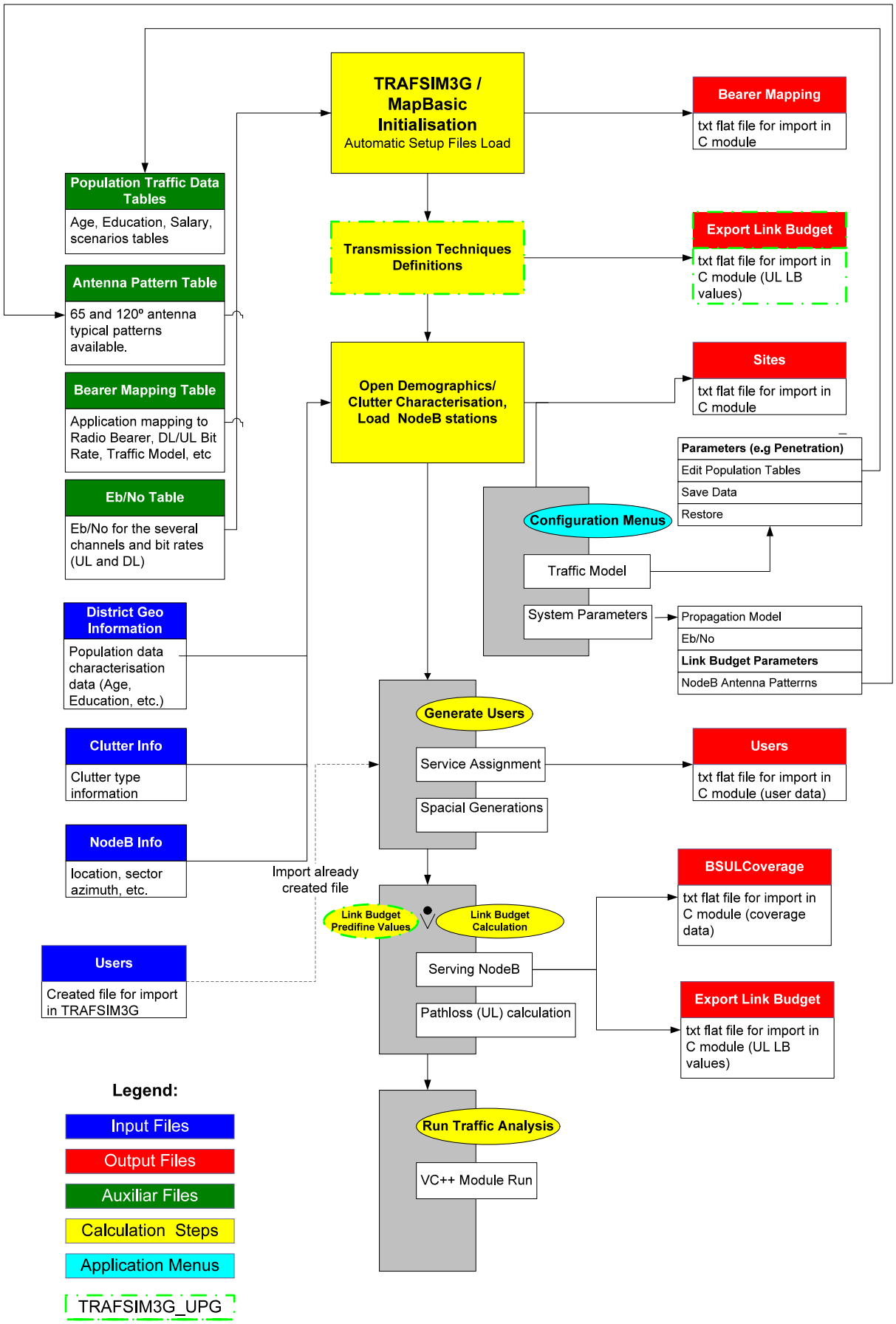


Figura 4.5 - Motor do GIS, ficheiros de entrada e saída e estrutura de funcionamento.

Tal como no módulo GIS, também o módulo Visual C++ sofreu algumas alterações. As principais alterações devem-se à introdução das novas técnicas de transmissão de dados. Todo o processo decorre como no TRAFSIM3G, até ao momento em que é necessário conhecer o modo de transmissão em estudo. Dependendo do modo de transmissão, o simulador tem a capacidade de utilizar as técnicas de transmissão individualmente ou em conjunto. Se for escolhido o FDD, todo o processo é feito com base no TRAFSIM3G. Por outro lado, se a técnica em causa for o HSDPA é então iniciado um contador que controla a capacidade de cada célula, que neste caso, dependendo da potência reservada para HSDPA pode ser de 1.2 Mbps ou 1.7 Mbps. No caso de a capacidade máxima da célula ser insuficiente, o pacote é atrasado até serem libertados recursos nessa mesma célula. Por último, se a técnica escolhida for o TDD o processo segue o mesmo princípio, mas neste caso não é reservada potência para o TDD e a capacidade da célula sobe para os 2 Mbps.

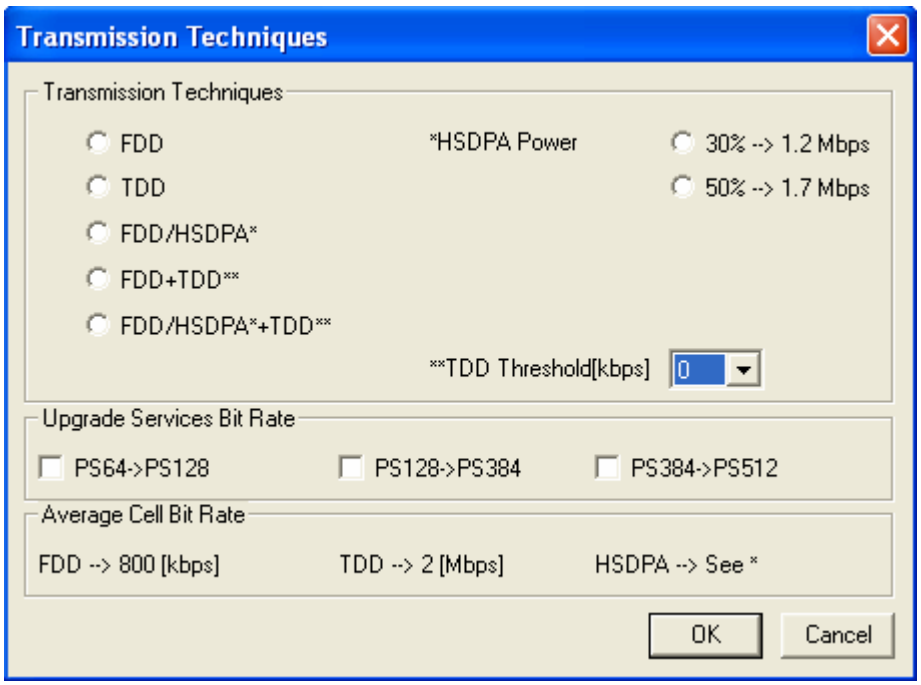


Figura 4.6 - Janela do menu *Transmission Techniques Definitions*, no qual se escolhe o modo de transmissão.

Tabela 4.2 - Serviços afectados pelo *Upgrade* e novos ritmos binários.

Serviços	DL RB [kbps]	Comutação	Serviços Base	RB *Upgrade* [kbps]
Voz	12.2	CS	Voz	
Vídeo-conferência	64	PS	Streaming	128
Vídeo-telefonia	64	CS	Vídeo	
Video-on-demand	384	PS	Streaming	512
Web-browsing	128	PS	www	384
Chat	64	PS	www	
LBS	64	PS	lbs	
Jogos interactivos	128	PS	Streaming	384
FTP	384	PS	ftp	512

Na interface do simulador foi adicionada informação referente às novas técnicas de transmissão, nomeadamente os respectivos contadores da capacidade das células e informação acerca das técnicas que estão a ser estudadas, como se pode ver através da Figura 4.7.

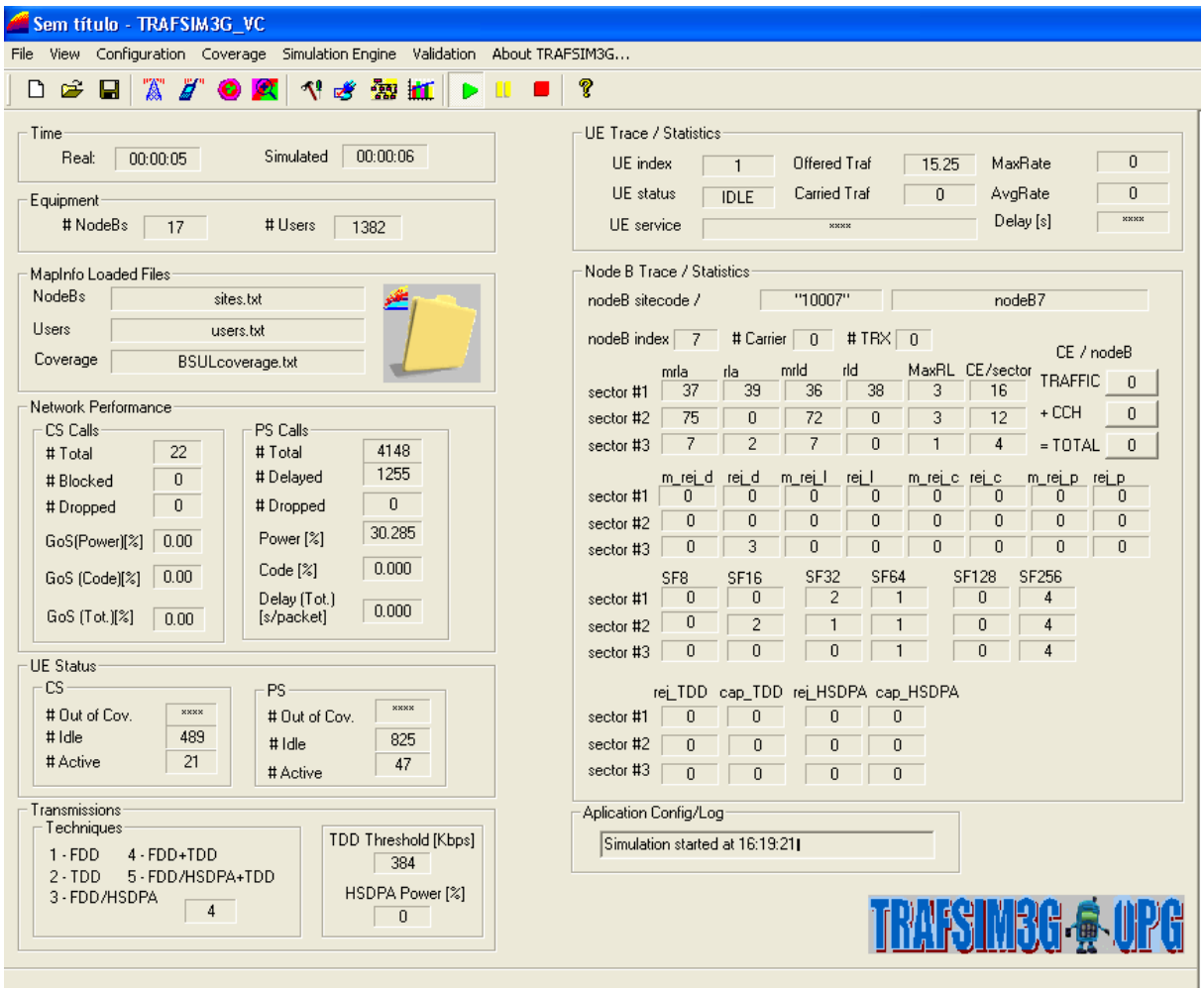


Figura 4.7 - Janela principal do TRAFSIM3G_UPG.

4.3 - Aferição dos Resultados

A análise das várias técnicas de transmissão requer uma confiança estatística relativamente à variação no tempo e à amostra de tráfego gerado. É então necessário estimar um número de simulações que transmitam alguma confiança aos resultados obtidos. É relativamente difícil definir o número de simulações necessárias para atingir um elevado grau de confiança, sem aumentar em demasia o tempo de simulação e os recursos tecnológicos a usar. Sendo o TRAFSIM3G_UPG uma actualização do simulador TRAFSIM3G, manteve a base de funcionamento do simulador original, aproveitando-se todo o trabalho realizado anteriormente no que diz respeito à aferição dos resultados. Sendo assim, conclui-se que o número de 20 simulações usadas em [Sant04] seria igualmente um bom compromisso para o novo simulador.

Com o início das simulações, depressa se constatou que devido a determinados factores, tais como o elevado número de variações dos cenários a simular, a velocidade e quantidade de computadores a utilizar para as simulações, o tempo de simulação para o cenário de referência e a informação gerada por cada simulação, a totalidade das simulações não seria realizável em tempo útil. Assim, com base no trabalho realizado anteriormente e com os novos factos, mesmo sabendo que se iria perder alguma exactidão nos resultados obtidos, decidiu-se reduzir o número de simulações para 15, numa primeira fase. No entanto, 15 simulações eram ainda um número elevado, e por isso decidiu-se reduzir para 10 o número de simulações, de modo a

reduzir também alguma informação gerada pelo simulador. De salientar que, para um dos cenários que apresentava maior atraso, cada simulação num *Pentium III* demorava cerca de 11 horas e gerava cerca de 2 GB de informação.

O tempo de simulação considerado para cada cenário foi de 70 minutos, sendo os primeiros 10 minutos ignorados pelo gerador de tráfego, pois durante este tempo o mesmo não se encontra estabilizado. Sendo assim, os valores utilizados na análise dos resultados das simulações correspondem somente a 60 minutos, ou seja, correspondente à "hora de ponta".

De modo a analisar a fiabilidade do simulador desenvolvido neste trabalho, no que diz respeito às novas técnicas de transmissão, foram realizados alguns testes. Para o efeito efectuaram-se algumas simulações de 10 minutos cada (aproximadamente 20 minutos reais) por cada modo de transmissão. Os parâmetros analisados foram: os utilizadores não cobertos, a percentagem de chamadas bloqueadas e a percentagem de pacotes atrasados. Verificou-se que os resultados obtidos, apesar do número reduzido de simulações e do curto tempo de duração de cada simulação, iam de encontro ao esperado.

Constatou-se um aumento do bloqueio e do atraso quando havia uma maior exigência das capacidades da rede, ou seja, quando era utilizado o HSDPA como técnica de transmissão, e o inverso quando com a introdução de novas técnicas os recursos da rede aumentavam, como se pode verificar pela Figura 4.8, Figura 4.9 e Figura 4.10.

Os valores para a probabilidade de bloqueio, para uma rede celular UMTS não deve ser superior a 1% ou a 2% para um cenário com serviços maioritariamente de voz, subindo para os 6% para um cenário com serviços maioritariamente de dados. No que diz respeito ao atraso, para um cenário com serviços maioritariamente de voz, é de cerca de 2 segundos subindo para os 30 segundos num cenário maioritariamente de dados [Sant04].

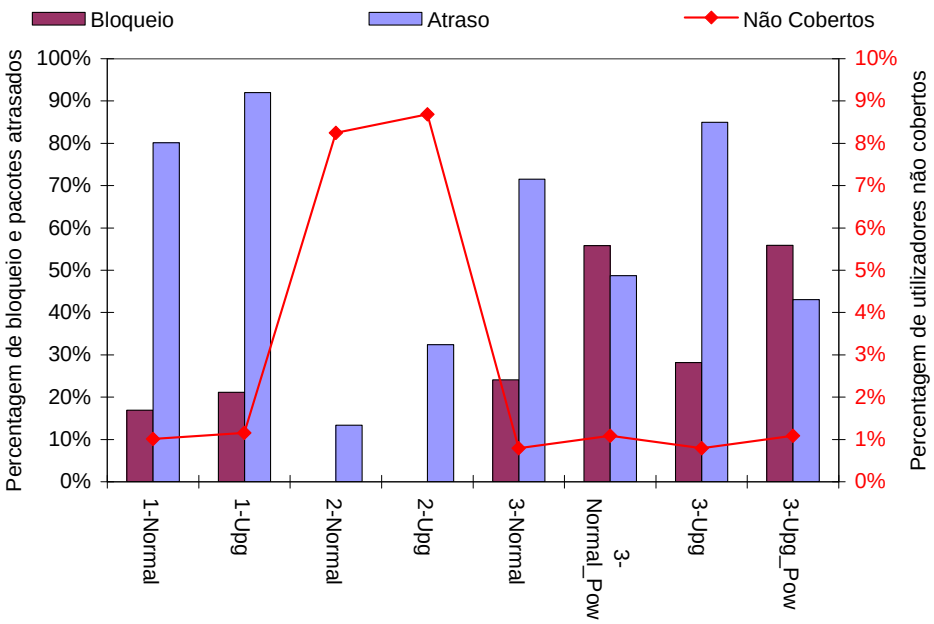


Figura 4.8 - Probabilidade de bloqueio, de atraso e utilizadores não cobertos para FDD, TDD e FDD/HSDPA.

Os modos e suas características são definidos por vários campos. Começando por definir as técnicas de transmissão usadas, foi atribuído o número 1 para o FDD, o 2 para o TDD, o 3

para FDD/HSDPA, 4 para FDD+TDD e 5 para FDD/HSDPA+TDD. O campo seguinte corresponde ao valor do *threshold*, ausência deste valor indica que os serviços com comutação CS são todos estabelecidos através de uma técnica e os serviços com comutação PS são todos estabelecidos por outra técnica. Para os modos de transmissão com aumento dos ritmos na sua definição é introduzida a designação "Upg". A designação "pow"significa que a potência reservada para o HSDPA passa de 30% para 50%.

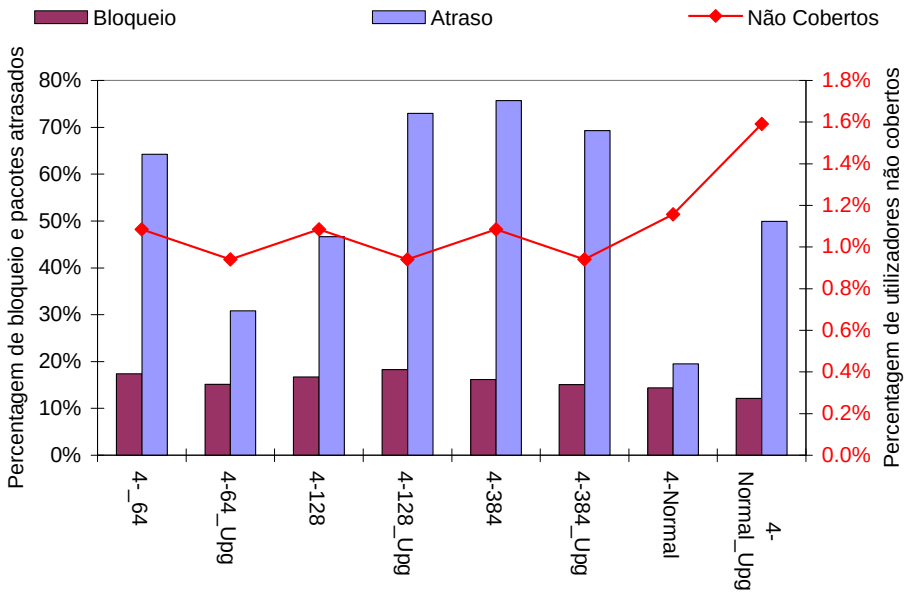


Figura 4.9 - Probabilidade de bloqueio, de atraso e utilizadores não cobertos para FDD-TDD.

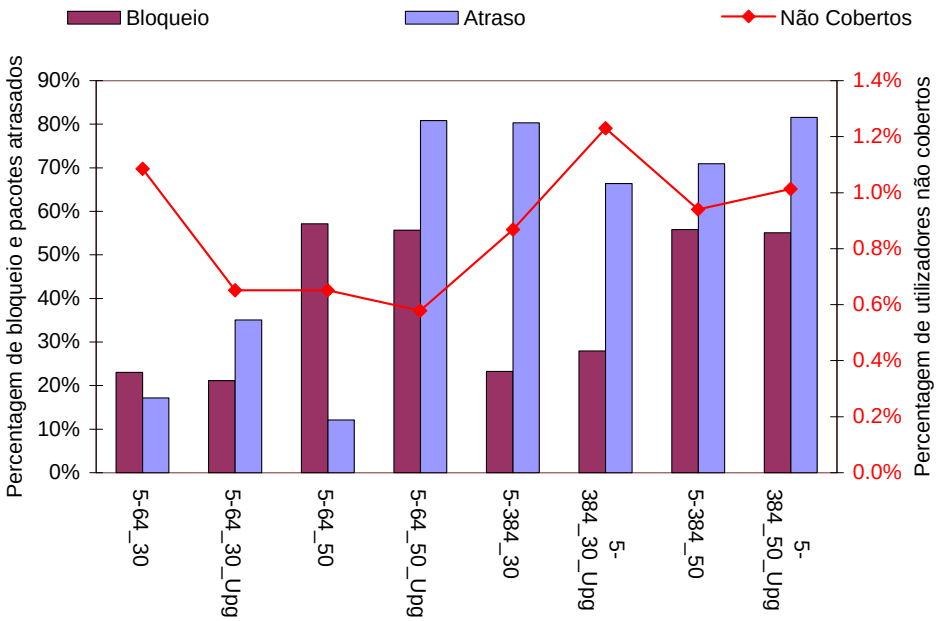


Figura 4.10 - Probabilidade de bloqueio, de atraso e utilizadores não cobertos para FDD/HSDPA-TDD.

Apesar de os valores obtidos irem de encontro ao esperado, verificam-se elevados valores no que diz respeito à percentagem de bloqueio de chamadas CS e probabilidade de atraso dos pacotes das chamadas de dados e no que diz respeito ao número de utilizadores não cobertos. Tal facto deve-se ao reduzido número de simulações efectuadas e ao curto tempo de duração

de cada uma delas. É preciso ter também em conta que em relação a [Sant04], serviços menos exigentes para a rede (sms, mms, e-mail, etc.) foram suprimidos e os utilizadores destes serviços foram distribuídos maioritariamente por serviços (www), mais exigentes para a rede.

5 - Análise de Resultados

Neste capítulo são analisados os resultados das simulações de todos os cenários testados. Depois de uma introdução à caracterização demográfica e geográfica da área em estudo, são descritas as combinações das técnicas de transmissão de dados usadas neste trabalho. De seguida faz-se uma comparação dos resultados obtidos para os dois cenários em estudo, seguindo-se a análise e comparação das variações das características dentro de cada combinação.

5.1 - Estudo Demográfico e Geográfico da área em Estudo

De modo a analisar o comportamento do UMTS nas diversas variações de cenários e técnicas de transmissão foi escolhida uma área dentro da cidade de Lisboa, considerada de alta densidade (HD). Esta área é caracterizada como sendo uma zona de serviços com uma elevada densidade de utilizadores e *Node Bs*, e com uma alta percentagem de serviços de dados no plano de tráfego. Os principais dados demográficos da área em estudo encontram-se descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Principais dados demográficos da área em estudo (extraído de [Sant04]).

Parâmetros	HD
População [hab]	156336
Área [km^2]	4.88
# *Sites*	17
Densidade populacional [hab/km^2]	32018
Densidade de *Sites* [sites/km^2]	3.48
População/site	9196
#Freguesias	4
Perfil de idades [%]	24.2 / 36.6 / 39.2
Perfil de escolaridade [%]	8 / 34.6 / 20.8 / 36.5
Nível salarial	Médio-Alto
Penetração de referência	1% - 1382

A área de Lisboa escolhida é formada pelas 4 zonas mais povoadas (população presente incluindo trabalhadores e estudantes) da cidade, São Sebastião da Pedreira, São João de Deus, Nª Sra. de Fátima e São Jorge de Arroios. A área considerada, bem como o plano dos *sites* e a distribuição dos *clutters* ([FeAl02]) encontram-se representadas na Figura 5.1, verifica-se que se trata de uma zona essencialmente composta por áreas residenciais densas e áreas de serviços. Para uma melhor compreensão da distribuição dos *clutters* na área em estudo, estes encontram-se quantificados percentualmente na Figura 5.2. Para além da distribuição dos *clutters*, os diferentes indicadores demográficos conduzem a diferentes valores no tráfego misto. Tomando como referência a distribuição de serviços de acordo com a idade, os rendimentos e o nível de escolaridade, que se encontram definidos na Tabela 5.2, na Tabela 5.3 e na Tabela 5.4 respectivamente, a distribuição do tráfego para a zona em estudo encontra-se representada na Figura 5.4 para o cenário de referência e na Figura 5.5 para o cenário de dados. Na Figura 5.3 pode-se ainda encontrar a distribuição de penetração interior, na qual se nota uma percentagem ligeiramente superior de utilizadores do tipo veicular em relação à percentagem de utilizadores do tipo pedestre.

Tabela 5.2 - Distribuição dos serviços pela idade dos utilizadores para o cenário de referência.

Serviços	DL RB [kbps]	Comut.	Serviços Base	<20 Anos	[20,64] Anos	>64 Anos
Voz	12.2	CS	*Voz*	44	48	90
Video-conferência	64	PS	*Streaming*	9	2	0
Video-telefonia	64	CS	*Video*	5	9	2
Video-on-demand	384	PS	*Streaming*	3	2	0
Web-browsing	128	PS	*www*	6	12	5
Chat	64	PS	*www*	26	13	1
LBS	64	PS	*lbs*	1	7	2
Jogos interactivos	128	PS	*Streaming*	4	2	0
FTP	384	PS	*ftp*	2	7	0

Tabela 5.3 - Distribuição dos serviços pelo rendimento dos utilizadores para o cenário de referência.

Serviços	DL RB [kbps]	Comut.	Serviços Base	Baixo	Médio	Médio -alto	Alto
Voz	12.2	CS	*Voz*	95	87	66	34
Video-conferência	64	PS	*Streaming*	0	0	2	7
Video-telefonia	64	CS	*Video*	0	2	5	11
Video-on-demand	384	PS	*Streaming*	0	0	1	7
Web-browsing	128	PS	*www*	0	1	4	10
Chat	64	PS	*www*	4	7	14	17
LBS	64	PS	*lbs*	0	1	4	6
Jogos interactivos	128	PS	*Streaming*	1	3	4	5
FTP	384	PS	*ftp*	0	0	0	3

Tabela 5.4 - Distribuição dos serviços pela escolaridade dos utilizadores para o cenário de referência.

Serviços	DL RB [kbps]	Comut.	Serviços Base	Sem Educ.	Básico	Comple.	Sup.
Voz	12.2	CS	*Voz*	95	80	62	50
Video-conf.	64	PS	*Streaming*	0	3	4	2
Video-telefona	64	CS	*Video*	2	2	4	9
Video-on-demand	384	PS	*Streaming*	0	0	2	1
Web-browsing	128	PS	*www*	0	2	9	13
Chat	64	PS	*www*	0	9	12	12
LBS	64	PS	*lbs*	0	0	3	4
Jogos inter.	128	PS	*Streaming*	3	5	4	2
FTP	384	PS	*ftp*	0	0	0	8

5.2 - Cenários de Simulação

Sendo o principal objectivo deste trabalho comparar várias técnicas de transmissão de dados, foram seleccionadas algumas combinações de técnicas de transmissão de dados. Dentro de cada combinação foram criadas várias situações de modo compreender o seu comportamento com o aumento dos ritmos e variação de potência disponível. As combinações de técnicas que foram estudadas são: 1-FDD, 2-TDD, 3-FDD/HSDPA, 4-FDD+TDD e 5-FDD/HSDPA+TDD. As características de cada modo já se encontram descritas com maior detalhe na Secção 4.2.

Todos os modos e suas variantes foram simulados em dois cenários com diferentes distribuições de serviços, o de referência (REF) e um com maior número de serviços de dados (DAM). As tabelas da distribuição de serviços referente a cada um destes cenários encontram-se representadas no Anexo L. A quantificação percentual da distribuição dos serviços para os dois cenários encontra-se representada na Figura 5.6.

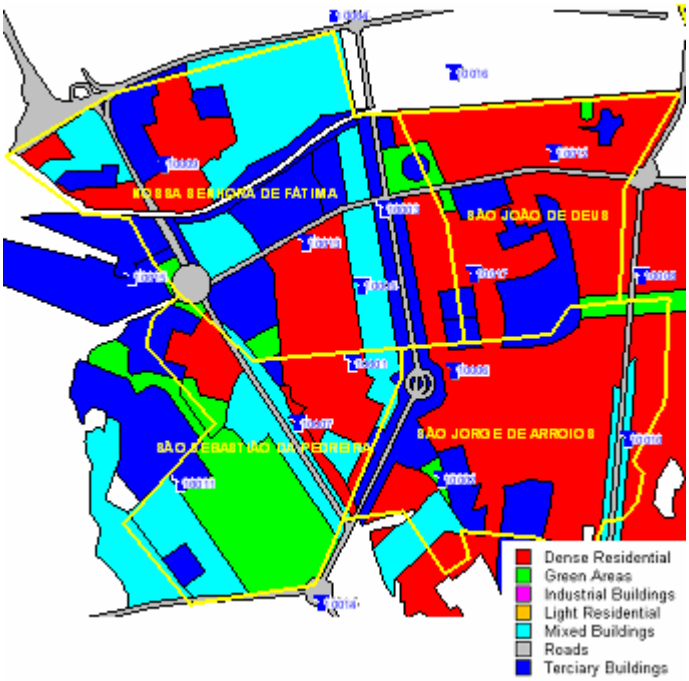


Figura 5.1 - Distritos da zona HD, distribuição dos *clutters* e o plano dos *sites* (extraído de [Sant04]).

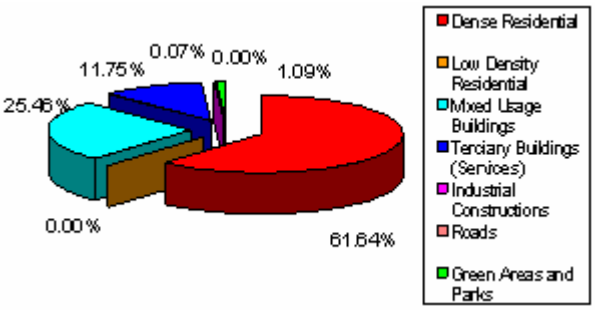


Figura 5.2 - Distribuição dos *clutters* com uma penetração de população de 1% (extraído de [Sant04]).

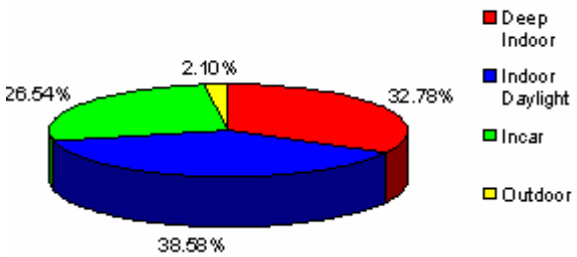


Figura 5.3 - Distribuição da penetração interior (extraído de [Sant04]).

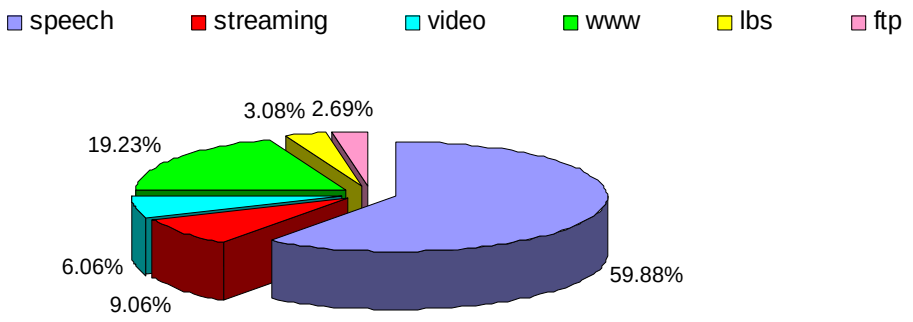


Figura 5.4 - Distribuição dos serviços para o cenário de referência.

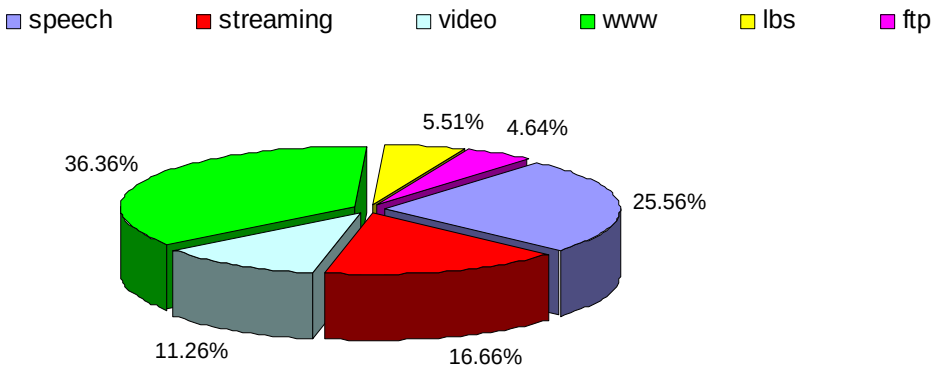


Figura 5.5 - Distribuição dos serviços para o cenário de dados.

Para cada cenário e para cada modo de transmissão foram realizadas 10 simulações, perfazendo um total de aproximadamente 600 simulações, resultando em 1800 horas de simulações (cerca de 75 dias) e 30 GB de informação processada. As simulações foram realizadas maioritariamente em computadores com processadores *Pentium III*.

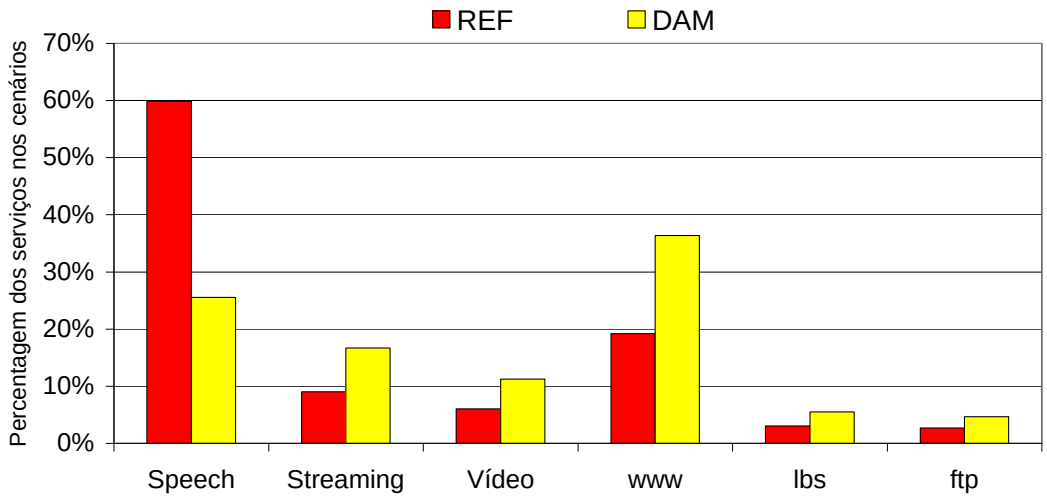


Figura 5.6 - Distribuição dos serviços nos dois cenários.

5.3 - Cenário de Referência (REF)

Nesta secção é feita uma análise dos resultados das simulações para o cenário de referência, REF, no que diz respeito ao bloqueio dos seviços CS e ao atraso dos serviços PS e às suas respectivas causas. É feita também uma análise em relação ao tráfego oferecido e transportado, bem como à percentagem de tráfego transportado por serviço. Por último são analisados os ritmos médios por *radio bearer.*

- **Bloqueio e Atraso**

Para o cenário de referência, e como se pode observar pela Figura M.1, devido ao elevado número de chamadas de voz obtêm-se bloqueios elevados, chegando aos 30% nos piores casos. É importante referir que estes valores não são característicos de uma rede celular, como já foi explicado anteriormente. Não se verificam grandes variações quando é feito *Upgrade*, visto este aumentar os ritmos dos serviços PS, não afectando directamente os serviços CS, os quais são a origem do bloqueio. Tal facto é verificado quando se utiliza o modo 1-FDD. Um caso especial é verificado para o modo 2-TDD, que não apresenta bloqueio, Figura 5.7, pois neste modo apenas são estabelecidos serviços PS, os quais apresentam uma atraso de 3 segundos, Figura M.2. Por outro lado o bloqueio aumenta significativamente, cerca de 15% quando se reserva mais potência para o HSDPA, pois retiram-se recursos ao FDD, através do qual são estabelecidos os serviços CS. Este facto verifica-se para os modos 3-FDD/HSDPA e 5-FDD/HSDPA+TDD quando se aumenta a potência reservada para o HSDPA de 30% para 50%, como se pode verificar pela Figura 5.7 e Figura 5.8, respectivamente.

As principais causas do bloqueio resumem-se basicamente à potência PA e à carga de DL, verificando-se um maior equilíbrio entre estas duas causas quando se utiliza a técnica FDD juntamente com o HSDPA (modo de transmissão 3), 50% para a potência PA e 45% para a carga de DL, Figura M.4. Para os restantes modos, a principal causa é a carga de DL, sendo a causa do bloqueio em 80% dos casos. Com o *Upgrade* a causa de bloqueio devido à distância aumenta, pois o aumento dos ritmos de transmissão dos serviços provoca uma diminuição do raio das células. Esta situação afecta de um modo mais evidente o modo de transmissão FDD, Figura 5.9.

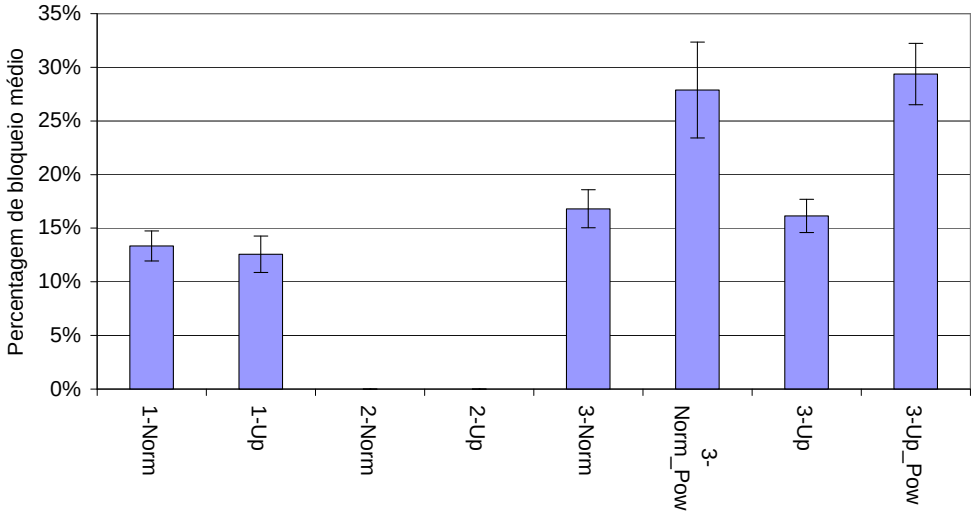


Figura 5.7 - Bloqueio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

O desvio-padrão é uma medida do grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio e está representado nas figuras que caracterizam a probabilidade de bloqueio e o atraso médio. Analisando as respectivas figuras referentes ao bloqueio e atraso médio para todos os modos de transmissão, o valor do desvio-padrão mantém-se, de um modo geral com valores aceitáveis nos dois cenários, o que corresponde a um bom equilíbrio nos resultados obtidos, nas várias simulações efectuadas em todos os modos de transmissão.

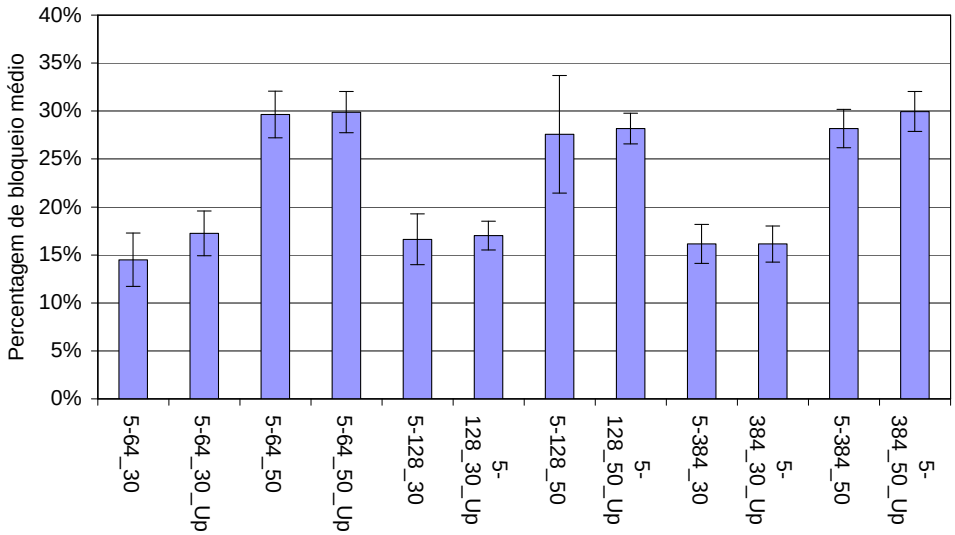


Figura 5.8 - Bloqueio para o modo 5 para o cenário de referência.

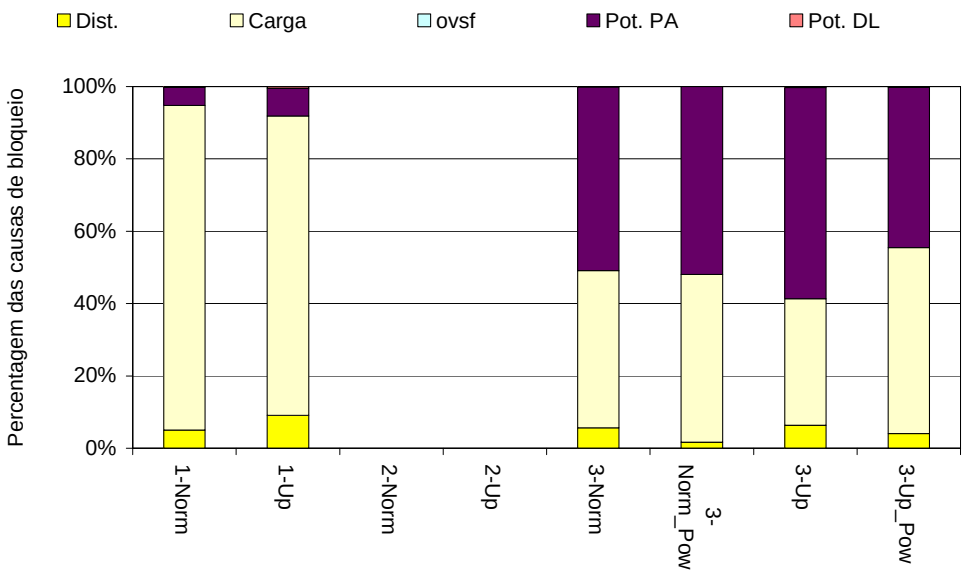


Figura 5.9 - Causas do bloqueio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

O atraso apresenta valores elevados em relação ao que seria de esperar, facto este já explicado anteriormente na análise do bloqueio. Assim mesmo, para alguns modos de transmissão o atraso apresenta valores baixos. Para o modo TDD verifica-se um atraso na ordem dos 3 segundos, tanto para o modo normal como *upgrade*, Figura 5.10. Um caso que não corresponde ao espectável é quando no modo 3-FDD/HSDPA normal (com um atraso de 8 segundo), se aumenta a potência reservada para o HSDPA (com um atraso de 17 segundos), o atraso aumenta em vez de diminuir, Figura 5.10. O esperado seria o contrário, pois há um aumento da capacidade da rede tal como no modo 5-FDD/HSDPA+TDD. Neste modo o valor do atraso varia consoante se há *Upgrade* e o valor de *Threshold*. O atraso diminui com o aumento dos ritmos e da potência para HSDPA, mas ao mesmo tempo vai aumentando à medida que se aumenta o *Threshold*, pois provoca uma sobrecarga do HSDPA, como se pode verificar pela Figura 5.11.

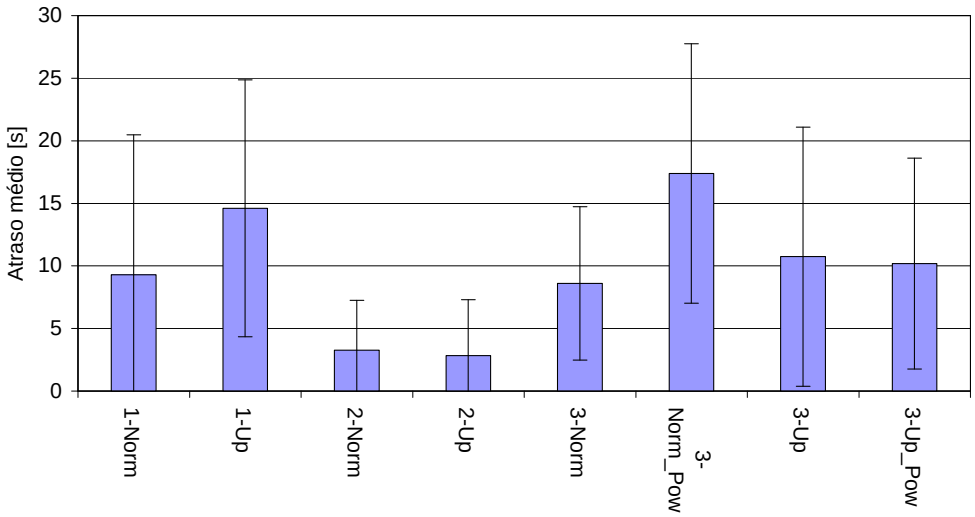


Figura 5.10 - Atraso médio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referencia.

O modo de transmissão que apresenta o menor atraso é o TDD. Este modo é caracterizado por todos os serviços serem PS não havendo bloqueio, o que aliado à grande capacidade do TDD (2 MB), permite estabelecer um maior número de serviços simultaneamente. O modo com maior atraso, cerca de 17 segundos, é o 5-FDD/HSDPA+TDD normal com *Threshold* igual a 128 kbps e 384 kbps. Nestes casos o HSDPA suporta grande parte dos serviços PS, o que provoca uma sobrecarga no sistema. Ao se efectuar o *Upgrade* o atraso diminui para cerca de 9 segundos porque grande parte dos serviços passam a ser estabelecidos pelo TDD.

As principais causas do atraso variam muito com o modo de transmissão a ser utilizado e com os ritmos de transmissão,
Figura M.5. Para os casos mais exigentes em FDD, a potência de DL não é suficiente, verificando-se um aumento de atraso pela carga de DL, sempre que se sobrecarrega a rede.

O atraso devido à falta de capacidade no HSDPA e no TDD varia muito consoante o *Threshold*. Tal facto é bem visível no modo 5-FDD/HSDPS+TDD em que para o *Threshold* 64 kbps as causas dividem-se entre a capacidade no HSDPA (cerca de 60%) e no TDD (cerca de 30%). Para o *Threshold* 384 kbps a principal causa restringe-se à capacidade do HSDPA, como seria de esperar, pois só os serviços com RB de 512 kbps são estabelecidos pelo TDD, Figura 5.12. Já no modo 2-TDD a principal causa do atraso deve-se à capacidade das células, existindo no entanto um número significativo de pacotes que sofrem atrasado devido à distância (cerca de 20%), pelo facto de os raios das células em TDD serem menores do que nas outras tecnologias, Figura 5.13.

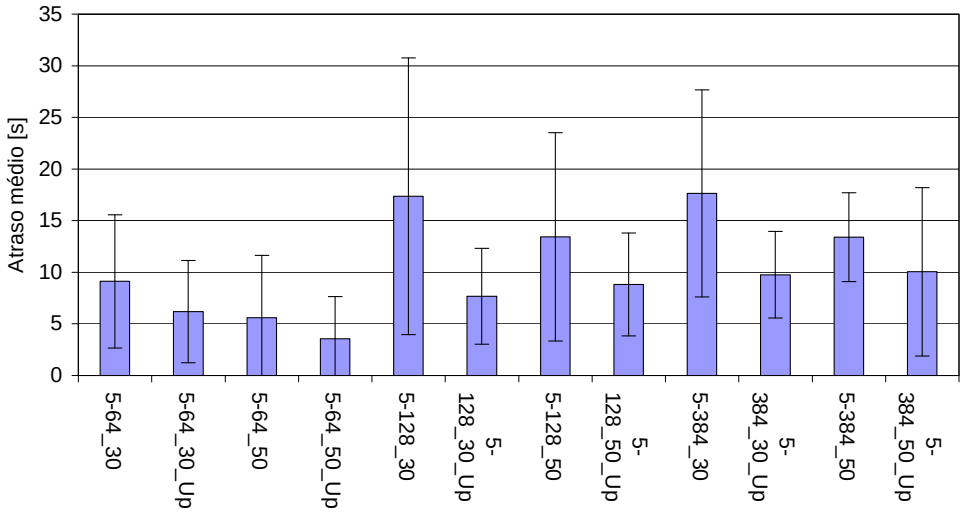


Figura 5.11 - Atraso médio para o modo 5 para o cenário de referência.

É de realçar que não existe uma relação linear entre o atraso e o bloqueio, pois constata-se pela análise dos resultados que a um menor atraso nem sempre corresponde um maior bloqueio. No caso do 3-TDD/HSDPA_Upgrade, no qual se retiram recursos ao FDD, um maior bloqueio corresponde a um menor atraso, mas para o caso 4-FDD+TDD com *Threshold* igual a 128 kbps um menor bloqueio corresponde a um menor atraso. Este facto é justificado por no TDD e HSDPA não existir bloqueio, assim ao se passarem serviços para essas técnicas de transmissão libertam-se recursos no FDD.

- **Tráfego Oferecido e Transportado**

Para todos os modos de transmissão, verifica-se um acréscimo razoável do tráfego oferecido e transportado quando se aumentam os ritmos de transmissão, como se pode constatar pela

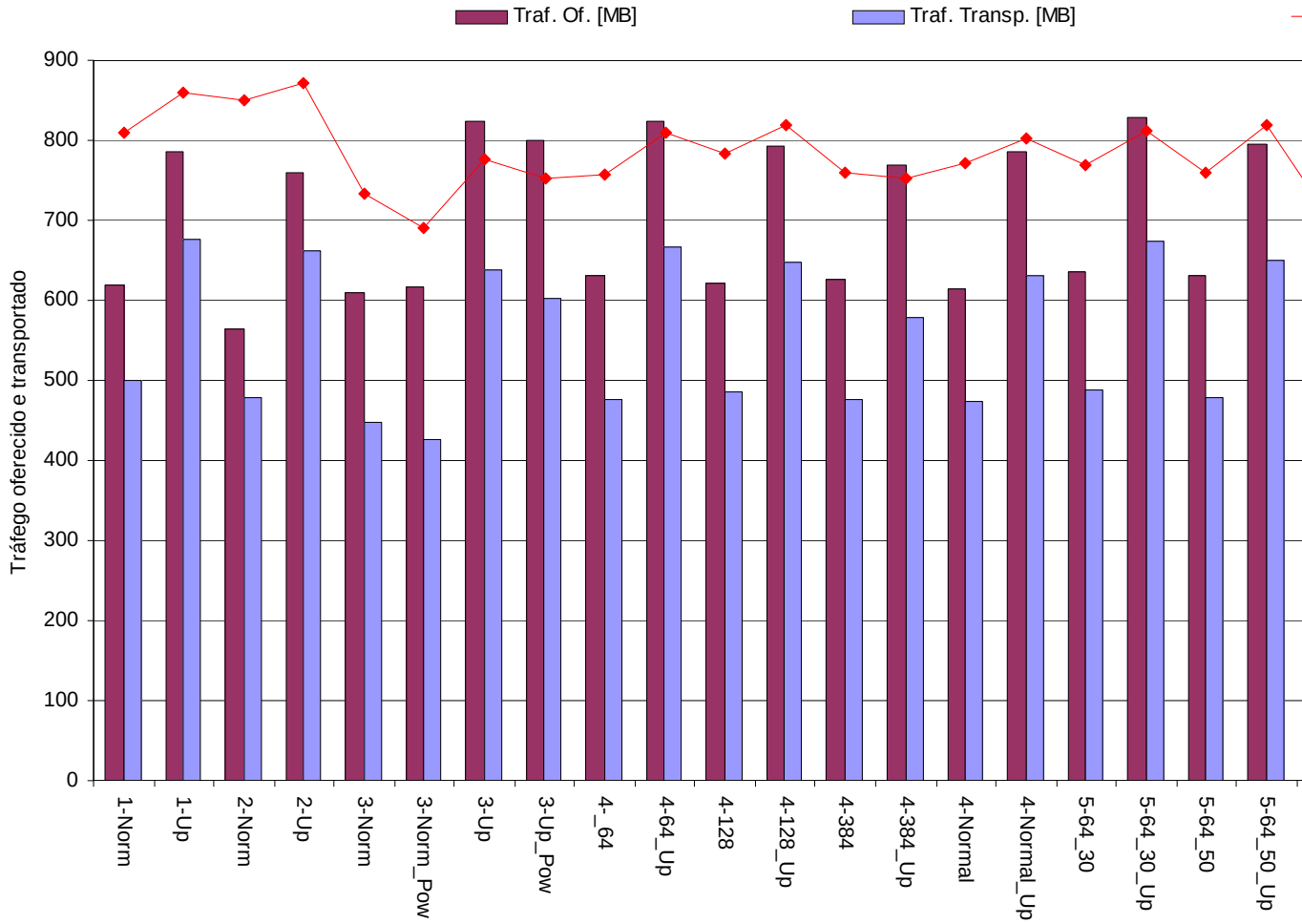


Figura M.3. No caso do 1-FDD, quando é efectuado o *Upgrade* o tráfego oferecido aumenta cerca de 200 MB, elevando a percentagem de tráfego transportado para perto dos 90%. Este aumento do tráfego oferecido nem sempre significa uma maior percentagem de tráfego transportado. Tal facto é verificado no caso do modo 3-FDD/HSDPA em que quando se aumenta a potência reservada para o HSDPA a percentagem de tráfego transportado diminui, Figura 5.14, e no caso do modo 4-FDD+TDD que quando se aumentam os ritmos de transmissão para o *Threshold* 384 kbps verifica-se um decréscimo na percentagem de tráfego transportado devido a uma maior probabilidade de atraso.

A percentagem de tráfego transportado por serviço mantém-se praticamente constante para todos os modos de transmissão, verificando-se um aumento na percentagem de tráfego transportado para os serviços WWW quando se aumentam os ritmos de transmissão, como se constata na

Figura M.6.

- **Ritmos Médios**

Ao longo de todos os modos e suas variantes, para um RB de 64 kbps e 128 kbps, o ritmo médio não sofre grandes alterações,
Figura M.39. Assim mesmo é possível observar que o valor médio do ritmo sobe ligeiramente para o modo 2-TDD. O RB de 64 kbps consegue um ritmo médio que ronda os 75% em todos os modos de transmissão, sendo seguido pelo RB de 128 kbps que ronda os 40%,
Figura M.40. O RB 384 kbps tem uma eficácia por volta dos 25% e o RB 512 kbps por volta dos 15%. Estas diferenças devem-se a menor ocupação da rede por parte dos serviços com um RB de 64 kbps que têm prioridade em relação aos outros, estando estes sujeitos a uma maior probabilidade de atraso.

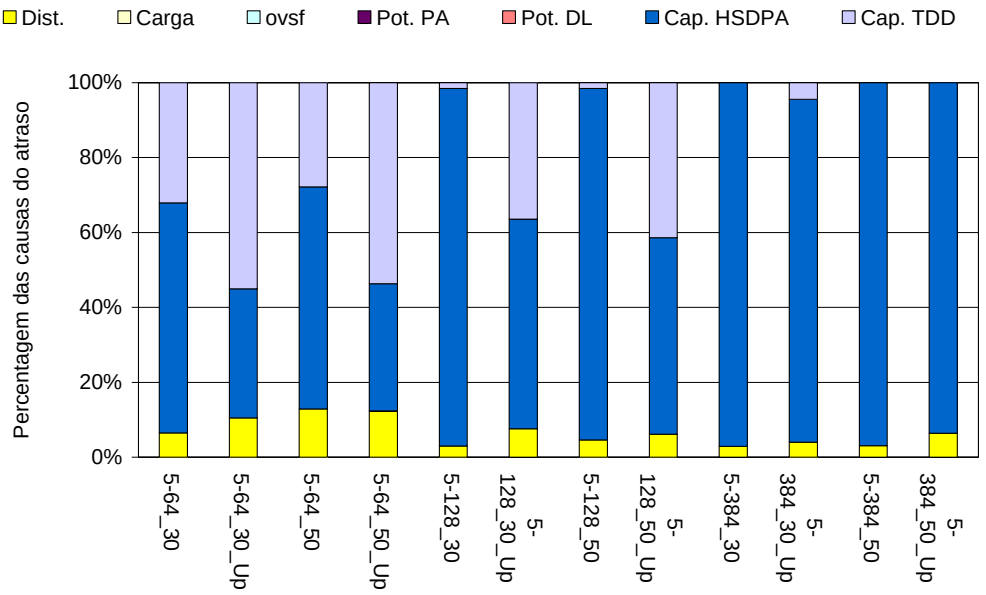


Figura 5.12 - Percentagem das causas do atraso médio para o modo 5 para o cenário de referência.

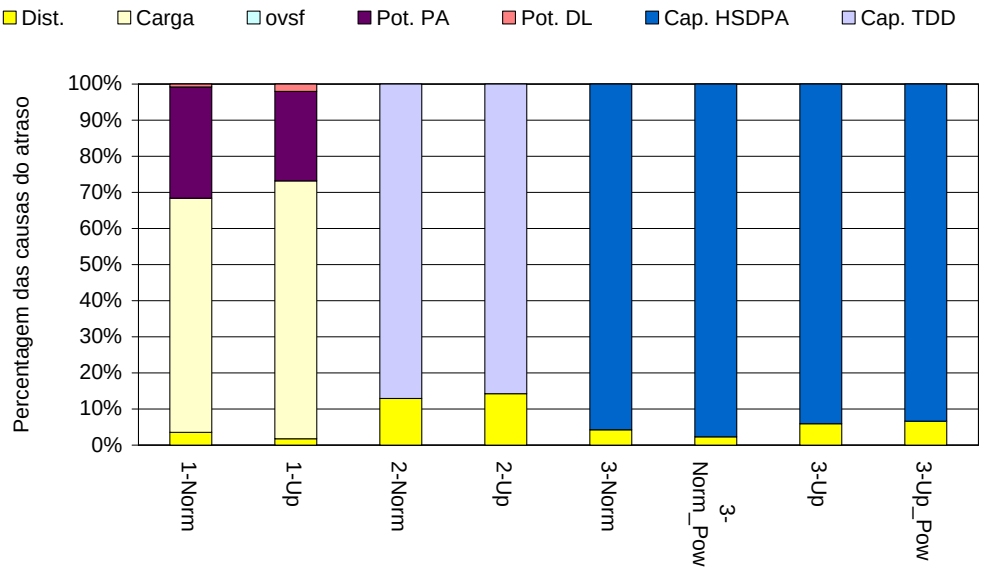


Figura 5.13 - Percentagem das causas do atraso médio para os modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

Para o RB de 384 kbps há grandes variações que dependem do modo de transmissão e suas variantes. Em todos os casos verifica-se um aumento significativo quando se aumentam os ritmos de transmissão, chegando a ser para alguns casos na ordem dos 20%. Os ritmos médios não variam muito com o aumento da capacidade do HSDPA, o que não era de esperar pois ao aumentar-se a capacidade do HSDPA esperava-se um aumento dos ritmos médios, mas verifica-se uma pequena diminuição ao aumentar-se o *Threshold*.

5.4 - Cenário de Dados (DAM)

Tal como na secção anterior, é feita uma análise dos resultados das simulações mas agora para o cenário de dados, DAM, no que diz respeito ao bloqueio dos serviços CS e ao atraso dos serviços PS e às suas respectivas causas. É feita também uma análise em relação ao tráfego oferecido e transportado, bem como à percentagem de tráfego transportado por serviço. Por último são analisados os ritmos médios por *radio bearer*.

- **Bloqueio e Atraso**

Para o cenário de dados (DAM) verifica-se uma menor percentagem de bloqueio em relação ao cenário de referência, porque no cenário de dados predomina a transmissão de dados, serviços PS,
Figura M.33. Tal como no cenário de referência não se verificam variações significativas quando se aumentam os ritmos de transmissão para o modo 1-FDD como se pode verificar pela
Figura M.33. Também neste cenário e pela mesma razão enunciada no cenário de referência, o modo 2-TDD não apresenta bloqueio. O bloqueio mostra-se mais sensível à variação dos ritmos, pois os serviços de dados são em maior número que os de voz. Nos modos onde se aumenta a potência reservada para HSDPA, tais como o 3-FDD/HSDPA e o 5-FDD/HSDPA+TDD, o bloqueio aumenta tal como no cenário de referência. É de realçar o caso em que se utiliza o modo 4-FDD+TDD e se faz o *Upgrade* para o *Threshold* 384 kbps, o bloqueio aumenta menos significativamente relativamente aos restantes *Thresholds*, Figura 5.15.

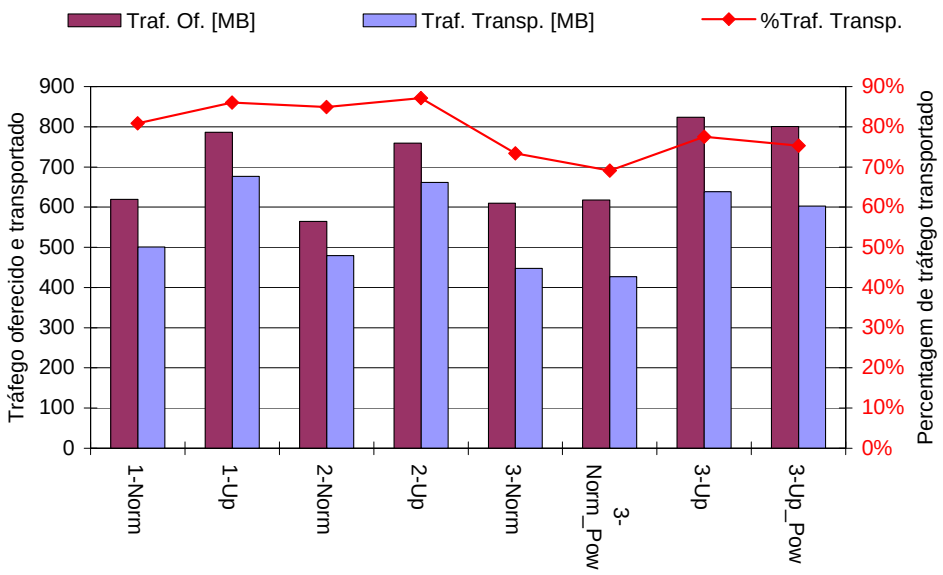


Figura 5.14 - Tráfego oferecido, transportado e percentagem de tráfego transportado nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

Com o aumento do número de serviços de dados verifica-se um aumento do bloqueio provocado pela distância de DL (cerca de 40%), pois o aumento dos serviços de dados vão reduzir os raios das células, diminuindo a cobertura. Com este aumento de serviços de dados a principal causa do bloqueio é a potência PA (40%), Figura M.36, enquanto que no cenário de referência era a carga de DL. De referir que no modo 4-FDD+TDD, quando se varia o *Threshold* verifica-se uma diminuição do bloqueio devido à potência de PA (30%) e um aumento do mesmo devido à carga de DL (40%), como se pode constatar pela Figura 5.16.

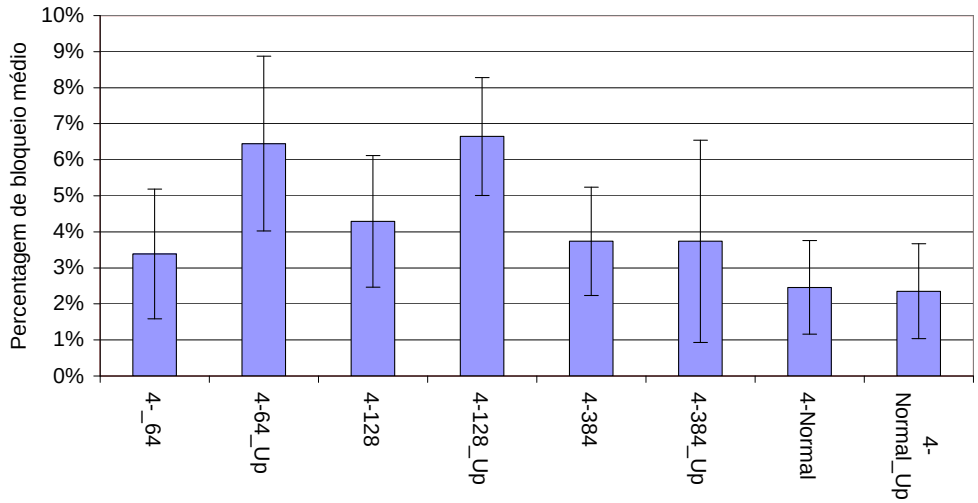


Figura 5.15 - Bloqueio para o modo 4 para o cenário de dados.

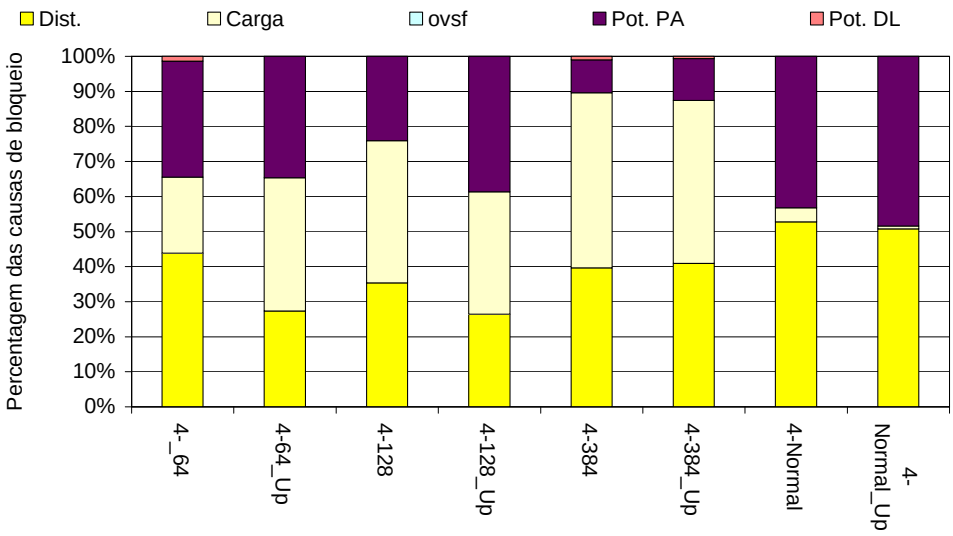


Figura 5.16 - Percentagem das causas do bloqueio para o modo 4 para o cenário de dados.

Neste cenário, pela razão que se prende com o aumento dos serviços de dados, verificam-se percentagens superiores de atraso em relação ao cenário REF, e dependendo do modo de transmissão usado, o efeito do aumento dos ritmos de transmissão é mais ou menos notado,

Figura M.34. Quando se aumenta a potência reservada para o HSDPA o atraso diminui, pois a uma maior capacidade corresponde um menor atraso, como se pode verificar pela Figura 5.17 que representa o modo 3-FDD/HSDPA. Um resultado não esperado verifica-se para o modo 5-FDD/HSDPA+TDD que ao se aumentar a potência reservada para o HSDPA no caso do *Threshold* 128 kbps não se verifica uma diminuição do atraso, mas sim um aumento de 20 segundos, Figura 5.18. Para este resultado seriam necessárias mais simulações de modo a se poder analisar a sua causa, pois esta pode ter origem no número de simulações efectuadas.

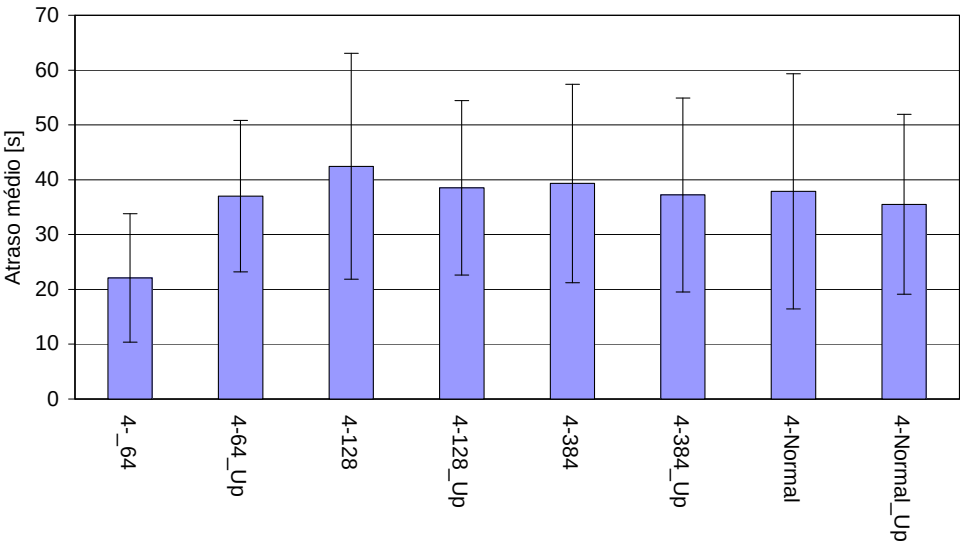


Figura 5.17 - Atraso médio para o modo 4 para o cenário de dados.

No DAM a distância deixou de ser a principal causa do atraso, como se pode verificar pela Figura M.35. Tal como no cenário de referência, as causas do atraso variam com o modo e os ritmos de transmissão. Os atrasos devido à falta de capacidade do HSDPA e do TDD variam consoante o *Threshold*, pois dependendo deste existe mais serviços no HSDPA ou no TDD, e consoante esta distribuição a causa do atraso por capacidade no HSDPA ou no TDD aumenta.

- **Tráfego Oferecido e Transportado**

De um modo geral, como se pode verificar pela Figura M.35 a percentagem de tráfego transportado mantém-se constante por todos os modos, excepto no caso em que se usa o 2-TDD em que esta percentagem é superior chegando a atingir aproximadamente os 90%. Em alguns casos, o aumento dos ritmos de transmissão implica um acréscimo do tráfego transportado na ordem dos 10%. O modo 3-TDD/HSDPA_Normal e o 5-FDD/HSDPA+TDD_128_50% destacam-se pela negativa por apresentarem menor percentagem de tráfego transportado, cerca de 65% do tráfego oferecido, Figura M.35.

Tal como no cenário de referência, a percentagem de tráfego transportado por serviço mantém-se praticamente constante para todos os modos, verificando-se um aumento para os serviços de WWW, como se constata pela Figura M.38.

- **Ritmos Médios**

Para o cenário de dados, ao contrário do de referência, verificam-se variações significativas para o RB de 64 kbps e 128 kbps ao longo de todos os modos, Figura M.39. Verifica-se neste cenário que quando se aumentam os ritmos, os ritmos médios aumentam para os serviços com RB de 64 kbps e 128 kbps. Este facto deve-se ao maior número de serviços de dados, tornando o sistema mais sensível a um uso mais intenso do mesmo. Outro aspecto importante é a redução dos ritmos médios em cerca de 5% a 10% em relação ao cenário de referência, Figura M.40.
Para o RB de 384 kbps volta-se a verificar um aumento de 15% ao se aumentar os ritmos, o que para este RB é um valor significativo.

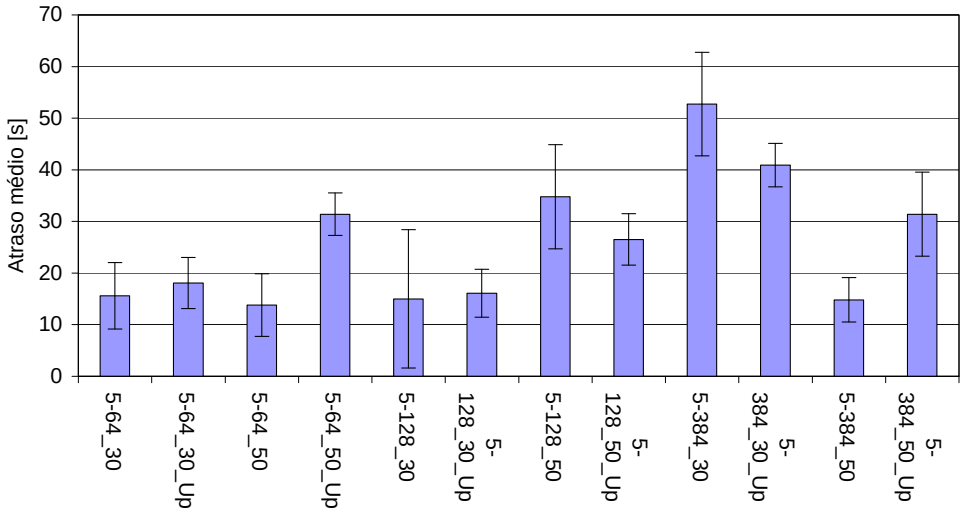


Figura 5.18 - Atraso médio para o modo 5 para o cenário de dados.

Para este cenário já se verifica um aumento dos ritmos médios quando se reserva mais capacidade para o HSDPA. Em relação ao *Threshold*, no caso do modo 4-FDD+TDD verifica-se que ao se seleccionar o *Threshold* de 64 kbps os ritmos médios aumentam, mas diminuem para o *Threshold* de 128 kbps voltando a aumentar para o *Threshold* de 384 kbps, Figura 5.19. Esta variação segue o comportamento da percentagem de tráfego transportado, logo mais tráfego transportado significa maiores ritmos médios. Seguindo esta lógica constata-se o mesmo para o modo 5-FDD/HSDPA+TDD, ou seja também aqui o ritmo médio segue o comportamento da percentagem de tráfego transportado.

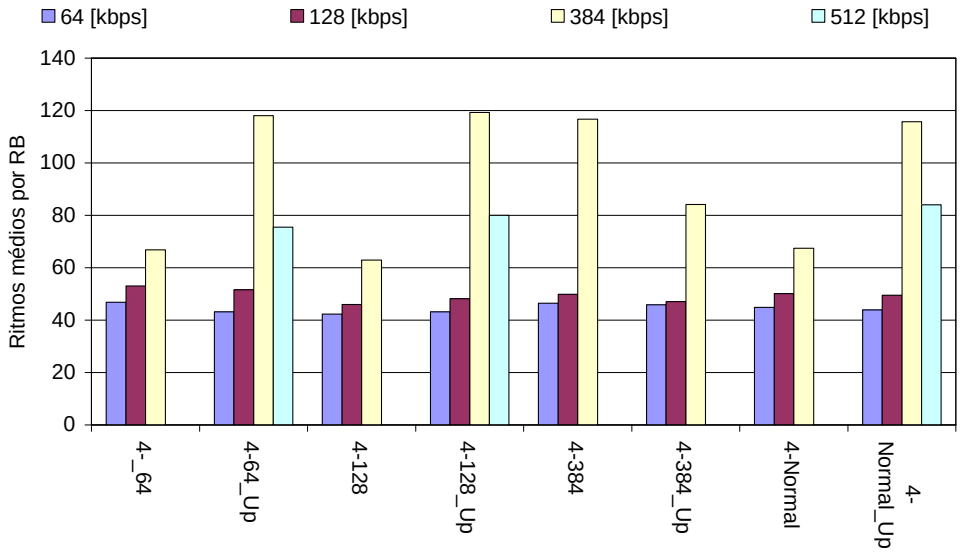


Figura 5.19 - Ritmos médios por RB para o modo 4 para o cenário de dados.

5.5 - Impacto do Número de Utilizadores no Bloqueio e Atraso

Ao se optar por uma penetração de 1% na população existente, a mesma penetração utilizada em [Sant04], o número de utilizadores era de 1382. Utilizou-se o valor de penetração original de [Sant04] para se poder fazer uma comparação no que diz respeito aos valores do bloqueio e do atraso.

Ao se analisar o bloqueio e o atraso para o modo 1-FDD no cenário de referência, constata-se que os valores estão um pouco elevados em relação ao que seria desejado. Ao se comparar com os resultados obtidos em [Sant04] verifica-se um aumento de cerca de 10% para o bloqueio e de 10s para o atraso. A justificação para essa diferença prende-se com o facto de se ter transformado serviços menos exigentes para o sistema (sms, mms e e-mail) em serviços mais exigentes, nomeadamente serviços de *Internet* (www). Estes serviços requerem ritmos binários mais elevados que os anteriores (sms, mms e e-mail) o que vai diminuir o raio de cobertura das células. Os utilizadores não cobertos contribuem em grande parte para o aumento do bloqueio.

Ao se verificarem estas diferenças achou-se interessante analisar o efeito do número de utilizadores no sistema. Escolheram-se dois modos de transmissão no cenário de referência, o modo 1-FDD e o modo 3-FDD/HSDPA. O modo 1-FDD foi seleccionado para ser possível comparar os resultados com [Sant04] e o 3-FDD/HSDPA por ser um dos modos que apresentava maior bloqueio e atraso. Verificou-se que para um número de utilizadores inferior a 794 utilizadores o bloqueio e o atraso permanecem iguais. Isto significa que abaixo deste valor a causa do bloqueio e do atraso é somente a distância, ou seja, utilizadores não cobertos. No caso do bloqueio, verifica-se uma redução de cerca de 10%, para os dois modos, quando se reduz o número de utilizadores para quase 60%, Figura 5.20 e Figura 5.21.

No caso do atraso para o modo 1-FDD há uma redução de cerca 5 segundos, mas é no modo 3-FDD/HSDPA que se verifica uma maior diferença (cerca de 14 s), pois tem mais capacidade para os serviços PS.

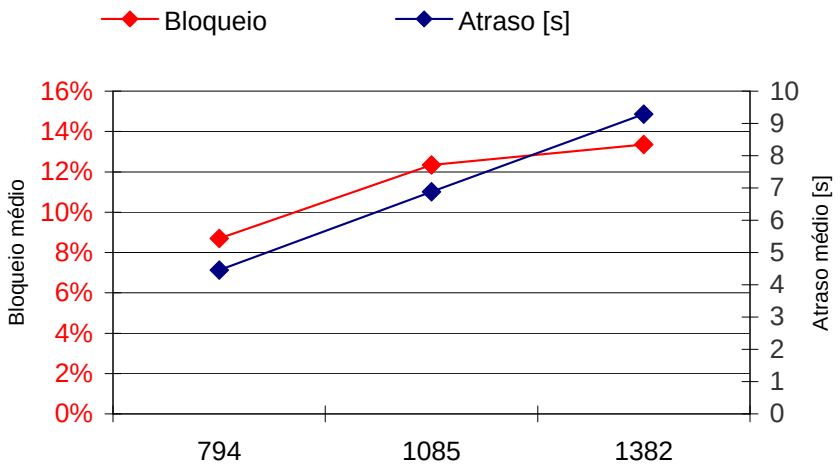


Figura 5.20 - Variação do bloqueio e atraso com a variação do número de utilizadores para o modo 1 para o cenário de referência.

Apesar de ser uma redução significativa, os valores finais ainda são altos, mas foi possível perceber que ao aumentar-se o número de estações base se conseguia uma melhor cobertura e um aumento da capacidade do sistema. Esta hipótese não foi simulada por falta de tempo de realizar novas simulações em tempo útil.

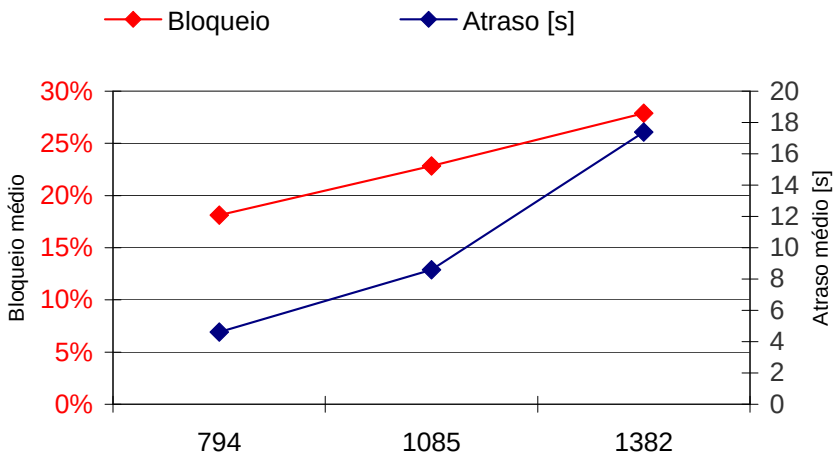


Figura 5.21 - Variação do bloqueio e atraso com a variação do número de utilizadores para o modo 3 para o cenário de referência.

6 - Conclusões

O objectivo deste trabalho era estudar as técnicas emergentes para a transmissão de dados para o UMTS (TDD e HSDPA), e analisar a interacção entre elas e o seu comportamento com a rede existente. Este trabalho requeria o desenvolvimento de um simulador que considerasse vários cenários geográficos, demográficos e de serviços. Vários factores foram considerados na análise global dos resultados, nomeadamente:

- O bloqueio e o atraso na rede para os vários modos e cenários;
- A relação do tráfego oferecido com o tráfego transportado;
- Identificar as principais causas do bloqueio e do atraso e suas variações em todos os modos e cenários;
- Variação da percentagem dos serviços ao longo dos vários modos e cenários;
- Os ritmos médios para os vários RBs.

Ao invés de se desenvolver um simulador novo de raiz partiu-se de um simulador existente, o TRAFSIM3G que foi previamente desenvolvido para uma tese de mestrado [Sant04]. O TRAFSIM3G contém algoritmos de geração aleatória não uniforme de utilizadores e cenários de multi-serviço baseados em dados demográficos e geográficos e análise do desempenho do sistema.

Partindo do simulador existente foi desenvolvido um *Upgrade* de forma a dotar o TRAFSIM3G com a capacidade de analisar várias técnicas de transmissão de dados.

O início do desenvolvimento do simulador começou com o estudo do UMTS de um modo geral evoluindo para um estudo mais detalhado nas técnicas de transmissão de dados para o UMTS e as suas diferenças. Devido à complexidade das técnicas, e ser necessário realizar o simulador num curto intervalo de tempo, optou-se por limitar as causas do atraso quando se usava o TDD pela capacidade das células (2 MB), ou o HSDPA pela capacidade em conjunto com a potência partilhada com o FDD. Estudaram-se as melhores combinações das técnicas de forma a tentar maximizar o rendimento do sistema, chegando às combinações finais:

- 1-FDD;
- 2-TDD;
- 3-FDD/HSDPA;
- 4-FDD+HSDPA;
- 5-FDD/HSDPA+TDD.

Como nos dias de hoje os serviços e aplicações existentes no UMTS exigem ritmos mais elevados, foi considerada a hipótese de aumentar os ritmos de transmissão dos serviços. Como o HSDPA partilha recursos com o FDD, ao se aumentar a capacidade de um reduz-se a capacidade do outro, esta possibilidade também foi considerada neste simulador, sendo possível reservar mais capacidade para o HSDPA em detrimento do FDD.

Ao se desenvolverem os módulos do TDD e HSDPA estava bem presente que era impossível considerar todas as variantes das técnicas, logo foram efectuadas várias aproximações nomeadamente ao nível da interferência e admissão de chamadas. Sendo assim, o sistema só irá ser analisado do ponto de vista da capacidade das células nas novas técnicas.

Foram considerados nove serviços na geração de tráfego: voz, vídeo-telefonia, vídeo e áudio por pedido, jogos interactivos, *Internet*, *chat*, lbs e ftp, considerando assim as combinações de

RBs com os modelos de tráfego mais prováveis. Todo o mecanismo de geração de serviços e modelos de tráfego são os mesmos do TRAFSIM3G.

Ao iniciar as simulações foi necessário encontrar um número de simulações que transmitisse alguma confiança estatística e não tornasse o processo de simulação interminável. Partindo do valor de [Sant04] e dos testes efectuados para aferir o simulador, considerou-se que dez simulações por modo de transmissão seria um bom compromisso entre a confiança dos resultados e o tempo de simulação. Sendo assim foram feitas cerca de 600 simulações em 1800 horas (cerca 75 dias) e 30 GB de informação processada. As simulações foram realizadas maioritariamente em computadores com processadores *Pentium III*.

Para o cenário de referência, o bloqueio varia muito com as técnicas de transmissão, não sendo tão afectado pelo aumento dos ritmos. A união do HSDPA com o FDD neste aspecto, tal como esperado não se mostrou benéfica, pois a partilha de recursos aumenta significativamente o bloqueio, chegando a atingir os 30%.

O atraso segue um comportamento diferente, pois com uma distribuição equilibrada dos serviços pelas várias técnicas de transmissão, conseguem-se valores interessantes para os atrasos. Por exemplo para o modo 4-FDD+TDD com o *Threshold* igual a 128 kbps obteve-se um atraso de 4 segundos, obtendo-se o mesmo valor para o modo 5-FDD/HSDPA+TDD com o *Threshold* igual a 64 kbps com *Upgrade.* Um caso notável foi o TDD, em que quando assume o funcionamento do sistema como única técnica de transmissão, os valores do atraso são de cerca de 3 segundos. Falta referir ainda que com o aumento dos ritmos consegue-se uma redução de 5 segundos a 10 segundos no atraso do sistema.

Com a combinação de técnicas de transmissão conseguiu-se subir substancialmente o volume de tráfego oferecido, cerca de mais 200 MB, com o aumento dos ritmos de transmissão.

As causas dos bloqueios variam com o modo de transmissão, sendo a carga de DL a principal causa. Para os modos 1 e 4 o bloqueio é provocado em 90% dos casos pela carga de DL, nos modos 3, e 5 passa para 50%. No caso em que o HSDPA retira capacidade ao FDD, passa a ser a potência PA com cerca de 50%, a principal causa.

O atraso dos pacotes é 90% das vezes causado pela capacidade das novas técnicas de transmissão, pela distância (10%) e no caso do FDD pela potência de DL (3%). Estas causas variam muito com o aumento dos ritmos e com a variação do *Threshold*.

O volume de tráfego por serviço não sofre alterações ao longo dos modos de transmissão, excepto no caso dos serviços *web*, pois o volume para estes serviços aumenta com o aumento dos ritmos.

Os ritmos médios por RB, para os RBs mais baixos, mantém-se praticamente inalterados. Para um RB de 64 kbps o ritmo médio é de 50 kbps, para um RB de 128 kbps o ritmo médio é de 55 kbps. Para os RBs mais elevados os ritmos médios variam muito com o modo de transmissão e suas variantes. O modo 2-TDD é o que apresenta um ritmo médio para o RB de 384 kbps mais elevado, cerca de 135 kbps.

O cenário de dados enquadra-se mais dentro dos objectivos deste trabalho pois dá mais ênfase aos serviços de dados. Além de baixar a probabilidade de bloqueio, o cenário de dados veio evidenciar as diferenças entre os vários modos de transmissão.

Os atrasos aumentaram, mas as limitações dos vários modos também ficaram mais evidentes, confirmando-se as limitações do FDD para conseguir lidar com serviços de ritmos de transmissão mais elevados. O atraso neste caso chega perto dos 80 segundos.

O tráfego oferecido também subiu substancialmente (passando de 800 MB para 1400 MB) mas a percentagem de tráfego transportado baixou somente 2% a 5%, dependendo dos modos de transmissão. O TDD_Upgrade manteve a mesma percentagem de tráfego transportado, cerca de 85%.

A percentagem de bloqueios devido à distância aumentou substancialmente, chegando a ser de 50% para alguns casos. O que leva a concluir que grande parte do bloqueio existente neste cenário se deve à não cobertura dos utilizadores, pois com o aumento do número de serviços de dados os raios das células diminuíram.

As causas do atraso seguem o mesmo comportamento do cenário de referência, à excepção de o número de atrasos devidos à distância ter diminuído para os 2% a 5%.

Os ritmos médios também sofreram um bocado com o aumento do tráfego, reduzindo os ritmos médios em cerca de 2% a 5% dependendo do modo de transmissão.

Verifica-se que o desempenho do sistema é sensível a vários factores, nomeadamente o aumento dos ritmos de transmissão. Sendo assim, é possível destacar alguns modos de acordo com os seus desempenhos nos vários parâmetros. Os modos com melhor desempenho ao nível do bloqueio foram o 4-Normal_Upgrade e o 5-384_30, com 2% de bloqueio. O primeiro só perde no campo dos ritmos médios, conseguindo cerca de 118 kbps para um RB de 384 kbps e 80 kbps para um RB de 512 kbps. O segundo modo além de também perder nos ritmos médios, para um RB de 384 kbps consegue um ritmo médio de 60 kbps, foi também um dos modos que obteve pior relação de tráfego oferecido tráfego transportado, cerca de 70%. O modo com menor atraso foi o 5-64_50, com 15 segundo de atraso médio, mas foi um dos que apresentou maior bloqueio, quase 10%, pior percentagem de tráfego transportado, cerca de 73% e ritmos médios baixos para os RBs mais elevados, cerca de 70 kbps para um RB de 384 kbps. O modo com melhor percentagem de tráfego transportado foi o 2-TDD_Upgrade, com cerca de 85%, mas apresentou pior valor de tráfego oferecido, 1300 MB.

O modo de transmissão mais favorável ao longo dos vários modos de transmissão nos dois cenários foi o 5-FDD/HSDPA+TDD com 50% da potência reservada para o HSDPA e com aumento dos ritmos de transmissão para um *Thershold* igual a 128 kbps. Este modo permite uma distribuição equilibrada entre as técnicas com uma pequena quebra nos ritmos médios, 1% a 2%, principalmente para o cenário de dados, amplamente compensada com o ganho em tráfego transportado, cerca de 1150 MB, e redução do atraso, cerca de 25 segundos. O aspecto mais negativo deste cenário passa pelo alto bloqueio que apresenta para os serviços CS, cerca de 10%. Este problema poderia ser minimizado com o aumento da cobertura da rede visto grande parte dos bloqueios serem devidos à distância, principalmente no cenário de referência.

O modo que também obteve bons resultados ao nível do atraso (20 segundos) e ritmos médios foi o 2-TDD_Upgrade, mas perde terreno ao nível de tráfego oferecido, 1300 MB (cerca de menos 100 MB em relação aos outros modos) apesar de ter a percentagem de tráfego transportado mais elevada (85%). Mas do ponto de vista tecnológico seria a mais rentável,

porque a sua elevada capacidade era uma mais valia para os elevados ritmos dos novos serviços e à crescente melhoria de qualidade do VoiP, abrindo assim o caminho para novas aplicações.

Tornando a análise um pouco mais real, tendo em conta que não existem terminais que reúnam as três técnicas, e que desenvolver uma rede paralela à existente não seria uma boa opção financeira, o modo com mais probabilidade de ser aplicado seria o que combina o TDD com o HSDPA. Esta escolha recai na fácil actualização da rede existente para este modo, com um ganho claro para os serviços de dados, e pelas expectativas (por enquanto teóricas) de aumentos de capacidade até aos 14.4 Mbps.

Ficou claro, ao longo deste projecto, que vários caminhos podem ser estudados nesta matéria, dado ao grande número de factores a ter em conta. Assim considerando este projecto, nomeadamente o seu simulador, como um bom guia para decidir qual o caminho a seguir, ficam aqui algumas propostas de trabalho futuro:

- Escolher um modo de transmissão e explorar todas as variáveis que o envolvem e analisar de um modo mais pormenorizado o seu desempenho;
- Desenvolver os módulos de HSDPA e TDD no simulador, nomeadamente desenvolver um modelo que permita contabilizar as interferências que afectem o funcionamento do sistema;
- Desenvolver um modelo de tráfego para o serviço de VoIP e incluí-lo no simulador para uma melhor análise de como este serviço afecta o sistema;
- Melhorar a decisão da prioridade dos serviços e introduzir como parâmetro de escolha o QoS dos serviços;
- Criar outros cenários com outras características de forma a avaliar o comportamento da rede com outros cenários, nomeadamente variar a percentagem de certos serviços mais virados para os dados.
- Disponibilizar o modelo de propagação do Okumura Hata de forma ao simulador poder ser aplicado a ambientes suburbanos e rurais;
- Criar um modelo dinâmico que opte por que técnica de transmissão o sistema vai estabelecer o serviço dependendo da capacidade e condições de transmissão.

Anexo A Modelo para o Balanço de Potência

O cálculo do balanço de potência tem em conta vários factores, nomeadamente, o tipo de ambiente em estudo (urbano, suburbano, rural), o modo de deslocação dos utilizadores (a pé ou através de veículos), a localização dos utilizadores (interior ou exterior de edifícios) e o nível de QoS referente ao serviço pretendido. Estes factores vão influenciar as ligações entres os *Node Bs* e os UEs, atenuando o sinal, influenciando o desvanecimento e diferentes níveis de sensibilidades.

Segundo [Corr04], a atenuação de propagação é dada por:

$$L_{P[\mathrm{dB}]} = EIRP_{[\mathrm{dBm}]} - P_{r[\mathrm{dBm}]} + G_{r[\mathrm{dBi}]} \tag{A.1}$$

onde:

- *EIRP* é a potência isotrópica radiada equivalente
- P_r é a potência de recepção
- G_r é o ganho da antena de recepção

O valor de *EIRP* depende do sentido da ligação (A.2). Para UL a atenuação é provocada pela presença do utilizador, enquanto que para DL a atenuação contabilizada é a existente no guia entre a antena e o emissor. Na Tabela A.1 encontram-se alguns valores típicos para a *EIRP* dos diferentes tipos de *Node Bs* e do TM.

$$\begin{aligned} EIRP_{[\mathrm{dBm}]} &= P_{e[\mathrm{dBm}]} + G_{e[\mathrm{dBi}]} \\ &= P_{Tx[\mathrm{dBm}]} - L_{add[\mathrm{dB}]} + G_{e[\mathrm{dBi}]} \end{aligned} \tag{A.2}$$

onde:

- P_e é a potência de emissão aos terminais da antena
- P_{Tx} é a potência de saída do emissor
- G_e é o ganho da antena de emissão
- L_{add} é a atenuação provocada pela presença do utilizador, L_u, em UL e a atenuação no guia entre a antena e o emissor, L_c, em DL.

Tabela A.1 - Valores típicos de *EIRP* (extraído de [Corr04]).

***EIRP*[dBm]**			
***Node B* (Estação Base)**			**Terminal Móvel**
Macro Célula	**Micro Célula**	**Pico Célula**	
[40, 43]	[30, 33]	[20, 23]	[10, 33]

O uso de diversidade na recepção traduz-se numa melhoria do ganho da antena de recepção, o qual passa a ser dado por:

$$G_{rdiv[\mathrm{dBi}]} = G_{r[\mathrm{dBi}]} + G_{div[\mathrm{dB}]} \tag{A.3}$$

onde:

- G_{rdiv} é o ganho da antena de recepção com diversidade
- G_r é o ganho da antena de recepção sem diversidade

- G_{div} é o ganho de diversidade

A potência no receptor depende igualmente do sentido da ligação. No sentido ascendente tem-se:

$$P_{Rx[\mathrm{dBm}]} = P_{r[\mathrm{dBm}]} - L_{c[\mathrm{dB}]} \Leftrightarrow P_{r[\mathrm{dBm}]} = P_{Rx[\mathrm{dBm}]} + L_{c[\mathrm{dB}]} \tag{A.4}$$

onde:

- P_r é a potência disponível na recepção aos terminais da antena

enquanto no sentido descendente se tem

$$P_{Rx[\mathrm{dBm}]} = P_{r[\mathrm{dBm}]} - L_{u[\mathrm{dB}]} \Leftrightarrow P_{r[\mathrm{dBm}]} = P_{Rx[\mathrm{dBm}]} + L_{u[\mathrm{dB}]} \tag{A.5}$$

Estas grandezas apresentam valores típicos de acordo com [ETSI01] e [HoTo00], apresentados na Tabela A.2

Tabela A.2 - Valores típicos de algumas grandezas.

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

Em UMTS a sensibilidade do receptor (A.6) depende do serviço, pois serviços diferentes implicam relações sinais ruído diferentes. Assim as potências mínimas (sensibilidades) nos receptores vão ser diferentes de acordo com os serviços. O valor da sensibilidade revela o impacto de determinado cenário na rede, quanto menor for o seu valor maior será o impacto nesta. Este facto mostra a importância da sensibilidade no dimensionamento de uma rede.

$$P_{Rx\min[\mathrm{dBm}]} = N_{[\mathrm{dBm}]} - G_{P[\mathrm{dB}]} + \left(E_b / N_0\right)_{[\mathrm{dB}]} \tag{A.6}$$

onde:

- N é a potência total de ruído
- G_P é o ganho de processamento

Os valores da relação sinal-ruído, segundo [Corr04], para os diferentes tipos de serviços, encontram-se na Tabela A.3.

Tabela A.3 - Valores de E_b/N_0 para diferentes serviços (extraído de [Corr04]).

Serviços	**R_b [kbps]**	**$E_b/N_{0[dB]}$**
Voz	12.2	[4.8, 8.8]
Dados	64	[1.1, 3.8]
	144	[0.9, 3.5]
	384	[0.4, 3.2]
	2 000	[0.2, 3.0]

Relativamente ao ganho de processamento tem-se:

$$G_{P[\mathrm{dB}]} = 10\log\left(R_c/R_b\right) \tag{A.7}$$

e a potência total de ruído, que contabiliza o ruído térmico e a interferência causada pela presença de outros utilizadores, é dada por:

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

onde:

- N_0 é a potência média de ruído
- M_I é a margem de interferência

O valor médio da potência de ruído pode ser estimado a partir de:

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

onde:

- Δf é a largura de banda do sinal, considerada neste caso como ritmo de codificação, R_c
- F é o factor de ruído do receptor

É ainda necessário ter em conta as variações em torno do valor médio da potência, devido à mobilidade do utilizador, à diversidade multi-percurso e pelas características do meio de propagação. Estas variações designam-se como desvanecimento, que pode ser rápido, ou lento. O desvanecimento rápido (períodos entre a fracção de segundo e alguns minutos), pode ser estimado pela distribuição de Rayleigh. Pode ser compensado através do controlo de potência para utilizadores que se desloquem a velocidades baixas, guardando-se uma margem de segurança entre os 2 dB e os 5 dB. O desvanecimento lento (períodos de horas), pode ser caracterizado por uma distribuição log-normal. Para compensar este tipo de desvanecimento deve-se guardar uma margem de segurança na ordem dos 6 dB.

As características dos ambientes de propagação, o tipo de movimento dos utilizadores e a sua localização, as margens de desvanecimento e o *soft handover* influenciam o valor total da atenuação de propagação, sendo contabilizados na margem de segurança (A.11).

$$M_{[\mathrm{dB}]} = M_{SF[\mathrm{dB}]} + M_{FF[\mathrm{dB}]} + L_{\mathrm{int}[\mathrm{dB}]} - G_{SH[\mathrm{dB}]} \tag{A.10}$$

onde:

- M_{SF} é a margem de desvanecimento lento

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

Outro factor a ter em conta são as perdas de espalhamento, dados por (A.11).

$$L_{sp[\text{dB}]} = \begin{cases} P_{traf[\text{dB}]} & ,\text{FDD} \\ P_{traf[\text{dB}]} - 10 \times \log(N_{cod}) & ,\text{TDD}\left(\text{UL}\right) \\ P_{traf[\text{dB}]} - 10 \times \log(SF) & ,\text{TDD}\left(\text{DL}\right) \end{cases} \tag{A.11}$$

onde:

- P_{traf} é a potência utilizada para sinalização
- SF é o factor de espalhamento
- N_{cod} é o número de códigos usados em UL.

A potência utilizada na sinalização vem dada por:

$$P_{traf} = 10 \times \log(C_{traf}) \tag{A.12}$$

onde:

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

Assim, a atenuação de propagação total para é dada por

$$L_{P total[\text{dB}]} = L_{P[\text{dB}]} - M_{[\text{dB}]} + L_{sp} \tag{A.13}$$

onde:

- M é a margem de segurança.

Anexo B Cálculo do Balanço de Potência

Para o cálculo dos balanços de potência foram utilizados os seguintes valores, para os vários ambientes:

Tabela B.1 - Valores de E_b/N_0 para *Dense Urban* e *Urban* para os vários serviços.

Tipo de Serviço	Ritmo de Transmissão [kbps]	E_b/N_0 [dB]]	
		UL	DL
Voz	12	4.8	7.2
Dados	64 (CS)	2.9	7.1
	64 (PS)	2.7	6.4
	128 (PS)	2.7	5.7
	384 (PS)	2.7	6.4
	57.6 (CS) Streaming	2.4	6.1

Tabela B.2 - Valores de E_b/N_0 para *Suburban* para os vários serviços.

Tipo de Serviço	Ritmo de Transmissão [kbps]	E_b/N_0 [dB]]	
		UL	DL
Voz	12	5.6	7.7
Dados	64 (CS)	3.8	7.7
	64 (PS)	3.4	7.4
	128 (PS)	3.4	6.4
	384 (PS)	3.4	8.0
	57.6 (CS) Streaming	3.1	6.3

Tabela B.3 - Valores de E_b/N_0 para *Rural* e *Axial* para os vários serviços.

Tipo de Serviço	Ritmo de Transmissão [kbps]	E_b/N_0 [dB]]	
		UL	DL
Voz	12	5.9	8.4
Dados	64 (CS)	4.1	8.2
	64 (PS)	3.6	7.8
	128 (PS)	3.6	7.3
	384 (PS)	3.6	7.7
	57.6 (CS) Streaming	3.1	(1)

(1) Valor não disponibilizado

Tabela B.4 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Dense Urban*.

Parâmetros	Ambientes	
	Indoor Daylight	Deep Indoor
Ganho de *Soft Handover* (G_{SH}) [dB]	3.9	4.2
Atenuação de Penetração (L_p) [dB]	21	25
Desvanecimento Lento (M_{SF}) [dB]	6.5	7.0
Desvanecimento Rápido (M_{FF}) [dB]	0.7	0.7

Tabela B.5 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Urban*.

Parâmetros	**Ambientes**	
	Indoor Daylight	**Deep Indoor**
Ganho de *Soft Handover* (G_{SH}) [dB]	3.9	4.2
Atenuação de Penetração (L_p) [dB]	21	25
Desvanecimento Lento (M_{SF}) [dB]	7.0	7.0
Desvanecimento Rápido (M_{FF}) [dB]	0.7	0.7

Tabela B.6 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Suburban*.

Parâmetros	**Ambientes**	
	Indoor Daylight	**Deep Indoor**
Ganho de *Soft Handover* (G_{SH}) [dB]	3.9	3.6
Atenuação de Penetração (L_p) [dB]	21	11
Desvanecimento Lento (M_{SF}) [dB]	7.0	7.5
Desvanecimento Rápido (M_{FF}) [dB]	0	0

Tabela B.7 - Parâmetros utilizados no cálculo da margem de segurança (M) para *Rural* e *Axial*.

Parâmetros	**Ambientes**	
	Indoor Daylight	**Deep Indoor**
Ganho de *Soft Handover* (G_{SH}) [dB]	3.7	3.7
Atenuação de Penetração (L_p) [dB]	11	11
Desvanecimento Lento (M_{SF}) [dB]	8	8
Desvanecimento Rápido (M_{FF}) [dB]	1	1

O valor usado para a potência máxima de transmissão para UL foi de 24 dBm, para DL encontram-se apresentados na Tabela B.8.

Tabela B.8 - Valor da potência máxima de transmissão DL.

Tipo de Serviço	**Potência Máxima de Transmissão [dBm]**
	Sem TMA
Voz	36.8
64 (CS)	36.2
64 (PS)	36.4
128 (PS)	37.0
384 (PS)	37.8
Streaming	36.4

Tabela B.9 - Valores dos parâmetros usados no cálculo do EIRP.

Parâmetros		**Valores**	
		UL	**DL**
G_e [dBi]	*Dense Urban, Urban, Suburban*	0	17
	Rural, Axial		15
G_r [dBi]	*Dense Urban, Urban, Suburban*	17	0
	Rural, Axial	15	
L_c [dB]		3	
L_u [dB]	Voz	3	
	Dados	1	

Os valores obtidos para a sensibilidade, para os vários ambientes, através do cálculo do balanço de potência encontram-se apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela B.10 - Valores da sensibilidade do receptor para FDD.

Serviço [kbps]	**$P_{RX\ min}$ [dB]**					
	Dense Urban* e *Urban		***Suburban***		***Rural* e *Axial***	
	UL	**DL**	**UL**	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	-123.0	-114.9	-122.2	-114.4	-121.9	-113.7
64 (CS)	-117.7	-107.8	-116.8	-107.2	-116.5	-106.5
64 (PS)	-117.9	-108.5	-117.2	-107.5	-117.0	-107.1
128 (PS)	-	-106.2	-	-105.5	-	-104.6
384 (PS)	-	-100.7	-	-99.2	-	-99.5
Streaming (57.6)	-118.7	-109.3	-118.0	-109.1	-118.0	-

Tabela B.11 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Dense Urban* para FDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	132.5	137.2	0.16	0.19
	Deep Indoor	128.3	132.9	0.15	0.18
64 (CS)	*Indoor*	129.2	131.5	0.13	0.13
	Deep Indoor	125.0	127.3	0.12	0.13
64 (PS)	*Indoor*	129.4	132.4	0.13	0.14
	Deep Indoor	125.2	128.2	0.12	0.13
128 (PS)	*Indoor*	-	130.7	-	0.12
	Deep Indoor	-	126.5	-	0.12
384 (PS)	*Indoor*	-	126.0	-	0.09
	Deep Indoor	-	121.8	-	0.09
Streaming (57.6)	*Indoor*	130.1	133.1	0.14	0.15
	Deep Indoor	125.9	128.9	0.13	0.14

Tabela B.12 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Urban* para FDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	132.0	136.7	0.15	0.18
	Deep Indoor	128.7	133.0	0.15	0.18
64 (CS)	*Indoor*	128.7	131.0	0.13	0.13
	Deep Indoor	125.0	127.3	0.12	0.13
64 (PS)	*Indoor*	129.0	131.9	0.13	0.13
	Deep Indoor	125.2	128.2	0.12	0.13
128 (PS)	*Indoor*	-	130.2	-	0.13
	Deep Indoor	-	126.5	-	0.12
384 (PS)	*Indoor*	-	125.5	-	0.09
	Deep Indoor	-	121.8	-	0.09
Streaming (57.6)	*Indoor*	129.6	132.6	0.13	0.14
	Deep Indoor	125.9	128.9	0.13	0.14

Tabela B.13 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Suburban* para FDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	131.88	136.89	2.33	3.12
	Indoor Window	141.08	146.09	4.37	5.85
64 (CS)	*Indoor*	128.48	131.09	1.84	2.09
	Indoor Window	137.68	140.29	3.46	3.93
64 (PS)		128.88	131.59	4.13	2.17
	Indoor Window	138.08	140.79	3.56	4.07
128 (PS)	*Indoor*	-	130.18	-	1.97
	Indoor Window	-	139.38	-	3.70
384 (PS)	*Indoor*	-	124.61	-	1.34
	Indoor Window	-	133.81	-	2.52
Streaming (57.6)	*Indoor*	129.64	133.15	2.00	2.41
	Indoor Window	138.84	142.35	3.75	4.53

Tabela B.14 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Rural* para FDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	137.38	141.99	9.57	12.67
64 (CS)	*Indoor*	133.98	136.39	7.58	8.63
64 (PS)	*Indoor*	134.48	136.99	7.85	9.00
128 (PS)	*Indoor*	-	135.08	-	7.89
384 (PS)	*Indoor*	-	130.71	-	5.85
Streaming (57.6)	*Indoor*	135.44	-	8.38	-

Tabela B.15 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Axial* para FDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	137.4	142.0	10.11	13.42
64 (CS)	*Indoor*	134.0	136.4	8.00	9.11
64 (PS)	*Indoor*	134.5	137.0	8.28	9.50
128 (PS)	*Indoor*	-	135.1	-	8.33
384 (PS)	*Indoor*	-	130.7	-	6.16
Streaming (57.6)	*Indoor*	135.4	-	8.85	-

Tabela B.16 - Valores da sensibilidade do receptor para TDD.

Serviço [kbps]	**$P_{RX\ min}$ [dB]**					
	Dense Urban* e *Urban		***Suburban***		***Rural* e *Axial***	
	UL	**DL**	**UL**	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	-123.0	-114.9	-122.2	-114.4	-121.9	-113.7
64 (CS)	-117.7	-107.8	-116.8	-107.2	-116.5	-106.7
64 (PS)	-117.9	-108.5	-117.2	-107.5	-117.0	-107.1
128 (PS)	-	-106.2	-	-105.5	-	-104.6
384 (PS)	-	-100.8	-	-99.2	-	-99.5
Streaming (57.6)	-118.7	-109.3	-118.0	-109.1	-118.0	-

Tabela B.17 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Dense Urban* para TDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	116.5	121.2	0.30	0.41
	Deep Indoor	112.0	116.7	0.22	0.30
64 (CS)	*Indoor*	113.2	115.5	0.24	0.28
	Deep Indoor	108.7	111.0	0.18	0.21
64 (PS)	*Indoor*	113.4	116.4	0.25	0.30
	Deep Indoor	108.9	111.9	0.18	0.22
128 (PS)	*Indoort*	-	114.7	-	0.27
	Deep Indoor	-	110.2	-	0.20
384 (PS)	*Indoor*	-	110.1	-	0.20
	Deep Indoor	-	105.6	-	0.15
Streaming (57.6)	*Indoor*	114.2	117.2	0.26	0.31
	Deep Indoor	109.7	112.7	0.19	0.23

Tabela B.18 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Urban* para TDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	116.0	120.7	0.29	0.40
	Deep Indoor	112.0	116.7	0.22	0.30
64 (CS)	*Indoor*	112.7	115.0	0.23	0.27
	Deep Indoor	108.7	111.0	0.18	0.21
64 (PS)	*Indoor*	112.9	115.9	0.24	0.29
	Deep Indoor	108.9	111.9	0.18	0.22
128 (PS)	*Indoor*	-	114.2	-	0.26
	Deep Indoor	-	110.2	-	0.20
384 (PS)	*Indoor*	-	109.6	-	0.19
	Deep Indoor	-	105.6	-	0.15
Streaming (57.6)	*Indoor*	113.7	116.7	0.25	0.30
	Deep Indoor	109.7	112.7	0.19	0.23

Tabela B.19 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Suburban* para TDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	115.9	120.95	0.64	0.89
	Indoor Window	125.4	130.4	1.19	1.65
64 (CS)	*Indoor*	112.5	115.1	0.51	0.61
	Indoor Window	122.0	124.6	0.95	1.13
64 (PS)	*Indoor*	112.9	115.6	0.52	0.63
	Indoor Window	122.4	125.1	0.98	1.17
128 (PS)	*Indoor*	-	114.2	-	0.57
	Indoor Window	-	123.7	-	1.06
384 (PS)	*Indoor*	-	108.7	-	0.40
	Indoor Window	-	118.2	-	0.74
Streaming (57.6)	*Indoor*	113.7	117.2	0.55	0.69
	Indoor Window	123.2	126.7	1.03	1.29

Tabela B.20 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Rural* para TDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	121.6	126.2	2.49	3.36
64 (CS)	*Indoor*	118.2	120.6	1.99	2.33
64 (PS)	*Indoor*	118.7	121.2	2.06	2.42
128 (PS)	*Indoor*	-	119.3	-	2.14
384 (PS)	*Indoor*	-	115.0	-	1.61
Streaming (57.6)	*Indoor*	119.7	-	2.19	-

Tabela B.21 - Valores da atenuação de propagação e raio máximo das células em *Axial* para TDD.

Serviço [kbps]	**Tipo de Utilizador**	**$L_{p\ Max}$ [dB]**		**d_{max} [km]**	
		UL	**DL**	**UL**	**DL**
Voz (12.2)	*Indoor*	121.6	126.2	2.49	3.36
64 (CS)	*Indoor*	118.2	120.6	1.99	2.33
64 (PS)	*Indoor*	118.7	121.2	2.06	2.42
128 (PS)	*Indoor*	-	119.3	-	2.14
384 (PS)	*Indoor*	-	115.0	-	1.61
Streaming (57.6)	*Indoor*	119.7	-	2.19	-

Anexo C Modelos de Propagação

A atenuação de propagação pode ser estimada utilizando modelos de propagação, que se dividem em duas famílias: empíricos e semi-determinísticos. Normalmente, utiliza-se o modelo de COST 231 – Okumura-Hata e o modelo COST 231 – Walfisch-Ikegami para estimar as atenuações de propagação [Corr04], [DaCo99] e [Pars92].

O modelo COST 231 – Walfisch-Ikegami foi desenvolvido no âmbito do projecto COST 231. Trata-se de um modelo determinístico, que conjuga o modelo de Ikegami e o modelo de Walfish-Bertoni com os resultados de medidas realizadas em cidades europeias [Corr04]. O modelo de COST 231 – Okumura-Hata baseia-se numa série de medições efectuadas na cidade de Tóquio, sendo por isso um modelo empírico. Okumura apresentou os resultados sob a forma de curvas, por volta de 1968, e em 1980, essas curvas foram modeladas por Hata que estabeleceu expressões matemáticas que aproximam algumas das curvas, embora numa gama de parâmetros mais restrita [Corr04]. Este modelo é válido para uma gama de frequências no intervalo [150, 2 000] MHz, distâncias de 1 a 100 km, alturas da EB entre 30 a 1 000 m e alturas do TM entre 1 a 10 m.

No modelo COST 231 – Walfisch-Ikegami, o campo recebido pelo móvel é dado pela soma dos campos reflectidos e difractados pelos edifícios na rua onde este se encontra. O campo no topo do edifício, na rua onde o utilizador se encontra, é obtido contabilizando a difracção provocada por um conjunto de lâminas (prédios), que penetram no primeiro elipsóide de Fresnel, Admite-se, porém, que a estrutura urbana é regular e que todos os edifícios têm alturas iguais. Este modelo é válido para uma gama de frequências no intervalo [800, 2 000] MHz, distâncias de 20 m a 5 km, alturas da EB entre 4 a 50 m e alturas do TM entre 1 a 3 m, e é normalmente o modelo utilizado para a estimação de atenuações de propagação para distâncias curtas (inferiores a 5 km) dentro de cidades.

Os parâmetros de entrada do modelo são:

- Altura da EB (h_b);
- Altura dos edifícios (H_B);
- Altura do TM (h_m);
- Largura das Ruas (w_s);
- Separação entre edifícios (w_B);
- Distância entre emissor e receptor (d);
- Ângulo de orientação das ruas (ψ);
- Frequência (f);

No caso em que o percurso se faz ao longo de uma rua (ψ=0º) e existe linha de vista, a atenuação será dada por:

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

No caso em que não existe linha de vista, a atenuação é dada por:

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

onde:

- L_0 é a atenuação de espaço livre;
- L_{tt} é a atenuação devido às multilâminas;
- L_{tm} é a atenuação provocada pelas difracções e reflexões nos telhados e nas ruas até ao TM.

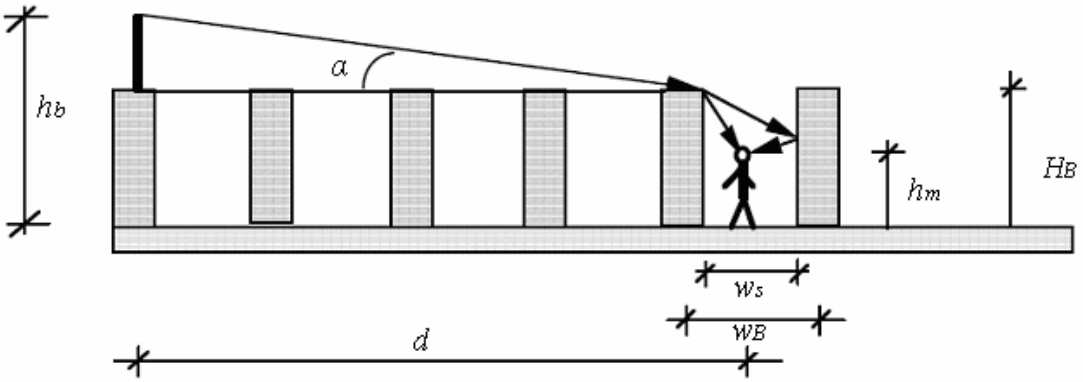


Figura C.1 - Representação dos parâmetros de entrada no modelo COST 231 – Walfisch-Ikegami (extraído de [Corr04]).

Os seus valores são dados por:

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

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

$$L_{tm[\mathrm{dB}]} = 16.9 - 10\log\left(w_{s[\mathrm{m}]}\right) + 10\log\left(f_{[\mathrm{m}]}\right) + 20\log\left(H_{B[\mathrm{m}]} - h_{m[\mathrm{m}]}\right) + L_{ori[\mathrm{dB}]} \tag{C.5}$$

tendo-se:

$$L_{bsh[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} -18\log\left(h_{b[\mathrm{m}]} - H_{B[\mathrm{m}]} + 1\right), & h_b > H_B \\ 0 & , h_b \le H_B \end{cases} \tag{C.6}$$

$$k_{a[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} 54 & , \quad h_b > H_B \\ \left.\begin{array}{ll} 54 - 0.8\left(h_{b[\mathrm{m}]} - H_{B[\mathrm{m}]}\right) & , d \ge 0{,}5\mathrm{km} \\ 54 - 1.6\left(h_{b[\mathrm{m}]} - H_{B[\mathrm{m}]}\right) \cdot d_{[\mathrm{km}]} & , d < 0{,}5\mathrm{km} \end{array}\right\} & h_b \le H_B \end{cases} \tag{C.7}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & , h_b > H_B \\ 18 - 15\dfrac{h_b - H_B}{H_B} & , h_b \le H_B \end{cases} \tag{C.8}$$

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

$$L_{ori[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} -10.0 + 0.354 \cdot \psi_{[^\circ]}\text{, } 0^\circ < \psi \le 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \cdot \left(\psi_{[^\circ]} - 35\right)\text{, } 35^\circ < \psi \le 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \cdot \left(\psi_{[^\circ]} - 55\right)\text{, } 55^\circ < \psi \le 90^\circ \end{cases} \tag{C.10}$$

O modelo COST 231 – Okumura-Hata, fornece o valor mediano da intensidade de campo levando em linha de conta factores como a frequência, distância, entre o terminal móvel a estação base, a altura das antenas (do móvel e da base) e o tipo de ambiente (área aberta, área urbana e área suburbana). O modelo é válido para uma gama de frequências no intervalo [150, 2 000] Mhz, distâncias de 1 a 20 km, alturas de EBs entre 30 e 100 m e alturas dos TMs entre 1 e 10 m. É normalmente utilizado para a estimação de atenuações de propagação para distâncias elevadas (superiores a 5 km).

Os parâmetros de entrada do modelo são:

- Altura da EB (h_b);
- Altura do TM (h_m);
- Distância entre emissor e receptor (d);
- Frequência (f);

A mediana da atenuação de propagação vem dada por:

$$\begin{aligned} L_{p[\mathrm{dB}]} &= 69.55 + 26.16 \times \log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) - 13.82 \times \log\left(h_{b[\mathrm{m}]}\right) + \\ &\left[44.90 - 6.55 \times \log\left(h_{b[\mathrm{m}]}\right)\right] \times \log\left(d_{[\mathrm{m}]}\right) - \mathrm{H}_{mu[\mathrm{dB}]}\left(h_{m,f}\right) - \sum \text{factores de correcção} \end{aligned} \tag{C.11}$$

onde

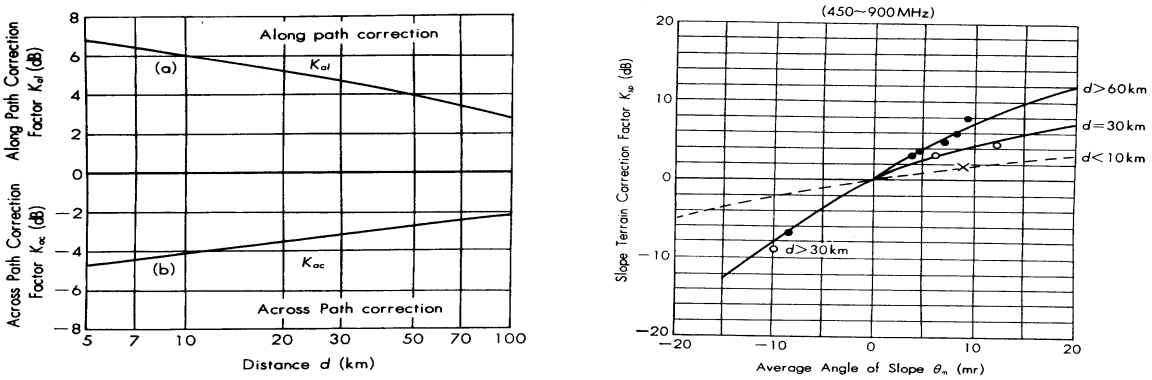
$$H_{mu[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} \left[1.10 \times \log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) - 0.70\right] \times h_{m[\mathrm{m}]} - \left[1.56 \times \log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) - 0.8\right]\text{,cidade pequena/média} \\ 8.29 \times \log^2\left(1.54 \times h_{m[\mathrm{m}]}\right) - 1.10\text{, f} \le 200\text{ MHz} \\ 3.20 \times \log^2\left(11.75 \times h_{m[\mathrm{m}]}\right) - 4.97\text{, f} \le 400\text{ MHz cidade grande} \end{cases} \tag{C.12}$$

Os factores de correcção são:

- Ruas radiais (k_{al});
- Ruas circunferenciais (k_{ac});
- Inclinação média (k_{sp});
- Ondulação do terreno (k_{th});
- Posição na ondulação do terreno ($\pm k_{hp}$);

- Trajectos mistos (k_{mp});
- Colina isolada (k_{ih});
- Áreas abertas (k_{oa});
- Áreas quase abertas (k_{qo});
- Áreas suburbanas (k_{su});

Os parâmetros correctivos para as ruas radiais e ruas circunferenciais são obtidos a partir da Figura C.2, para uma colina isolada a partir da Figura C.3.



(a) Ruas Radiais (b) Ruas Circunferenciais

Figura C.2 - Factores correctivos para ruas radiais e circunferenciais (extraído de [Corr04]).

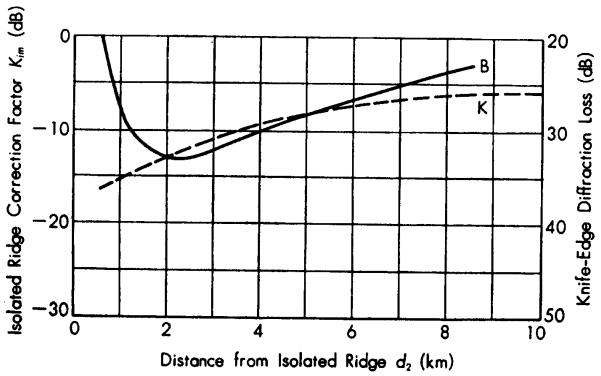


Figura C.3 - Factor correctivo para uma colina isolada (extraído de [Corr04]).

Os restantes factores correctivos são dados por:

$$K_{ac}(d)_{[\mathrm{dB}]} = 2.1 \times \log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) - 6.3 \tag{C.13}$$

$$K_{al}(d)_{[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} -2.7 \times \log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 8.6, \mathrm{d} \leq 40\ \mathrm{km} \\ -4 \times \log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 10.7, \mathrm{d} > 40\ \mathrm{km} \end{cases} \tag{C.14}$$

$$K_{al}(d)_{[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} -2.7 \times \log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 8.6, \mathrm{d} \leq 40\ \mathrm{km} \\ -4 \times \log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 10.7, \mathrm{d} > 40\ \mathrm{km} \end{cases} \qquad \mathrm{C}(15)$$

$$K_{th}\left(\Delta h\right)_{[\mathrm{dB}]} = -3\times\log^2\left(\Delta h_{[\mathrm{m}]}\right) - 0.5\times\log\left(\Delta h_{[\mathrm{m}]}\right) + 4.5 \tag{C.16}$$

C.15

$$K_{hp}\left(\Delta h\right)_{[\mathrm{dB}]} = -2\times\log^2\left(\Delta h_{[\mathrm{m}]}\right) + 16\times\log\left(\Delta h_{[\mathrm{m}]}\right) - 12 \tag{C.17}$$

$$K_{sp}\left(\theta\right)_{[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} -0.0025\times\theta^2_{[\mathrm{mrad}]} + 0.204\times\theta_{[\mathrm{mrad}]}, \left(\mathrm{d<10\ km}\right) \\ -0.648\times\theta^{1.09}_{[\mathrm{mrad}]}, \left(\mathrm{d>30\ km}\right) \\ -0.0012\times\theta^2_{[\mathrm{mrad}]} + 0.840\times\theta_{[\mathrm{mrad}]}, \left(\mathrm{d>60\ km}\right) \end{cases} \tag{C.18}$$

$$K_{mp}\left(\beta\right)_{[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} \begin{cases} -12.4\times\beta^2 + 27.2\times\beta, \left(\mathrm{d>60\ km}\right) \\ -8.0\times\beta^2 + 19.0\times\beta, \left(\mathrm{d<30\ km}\right) \end{cases} \mathrm{A} \\ \begin{cases} 11.9\times\beta^2 + 4.7\times\beta, \left(\mathrm{d>60\ km}\right) \\ 7.8\times\beta^2 + 5.6\times\beta, \left(\mathrm{d<30\ km}\right) \end{cases} B\left(\beta < 0.8\right) \end{cases} \tag{C.19}$$

$$K_{su}\left(f\right)_{[\mathrm{dB}]} = 2.00\times\log^2\left(f_{[\mathrm{MHz}]}/28\right) + 5.4 \tag{C.20}$$

$$K_{oa}\left(f\right)_{[\mathrm{dB}]} = 4.78\times\log^2\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) - 18.33\times\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) + 40.9 \tag{C.21}$$

$$K_{qo}\left(f\right)_{[\mathrm{dB}]} = K_{oa}\left(f\right)_{[\mathrm{dB}]} - 5 \tag{C.22}$$

Anexo D TRAFSIM3G

- **Geração de Utilizadores**

A opção de recorrer ao GIS para a geração não uniforme de utilizadores, deve-se à facilidade de manipulação dos dados da população proveniente de qualquer região para gerar cenários de tráfego.

Os algoritmos de geração aleatória de utilizadores usado no TRAFSIM3G são baseados em trabalhos anteriores [VaCa02] e [FeAl02]. Estes dois trabalhos tinham como objectivo gerar uma distribuição de utilizadores com base em dados demográficos (idade, rendimento familiar, nível de escolaridade, entre outros). A distribuição geográfica dos utilizadores é conseguida definindo uma percentagem de penetração em relação à população total da área em análise. Nesta distribuição são atribuídos diferentes pesos dependendo do ambiente de tráfego em causa, Residencial Denso (*Dense Residencial*), Zonas Verdes (*Green Areas*), Zonas de Escritórios (CBD), Zonas de Serviços (*Services Areas*), etc. Toda esta informação relativa à distribuição geográfica é registada em tabelas (Anexo E) e processada pelo GIS. O processo de geração/caracterização dos utilizadores é realizado com base nos seguintes dados:

- População existente [InNE01];
- Caracterização demográfica da população [InNE01] e [DGCI02];
- Caracterização das zonas (Residencial Denso, Residencial, Zonas de Escritórios, etc. [CaML02]);
- Impacto dos indicadores demográficos no tipo de aplicações/serviços (Anexo F);
- Detalhes da caracterização das portadoras (Anexo G).

Com base nos dados demográficos considerados e com base na importância atribuída a cada aplicação/serviço é obtido um vector com os perfis dos utilizadores através de:

$$D = k_1\left(p_{<20}\times\mathbf{v_{11}} + p_{20<<64}\times\mathbf{v_{12}} + p_{>64}\times\mathbf{v_{13}}\right) + k_2\left(p_{sem}\times\mathbf{v_{21}} + p_{obrig}\times\mathbf{v_{22}} + p_{\sec}\times\mathbf{v_{23}} + p_{\sup}\times\mathbf{v_{24}}\right) + k_3\left(\mathbf{v_3}\right) \qquad \text{(D.1)}$$

em que:

- D é um vector com a distribuição das portadoras por zona;
- k_1, k_2 e k_3 são coeficientes que classificam a importância dos dados demográficos (Anexo H);
- v_{11}, v_{12}, v_{13} são vectores do GIS referentes à idade da população (Anexo E);
- v_{21}, v_{22}, v_{23} e v_{24} são vectores do GIS referentes ao nível de escolaridade da população (Anexo E);
- v_3 é o vector do GIS referente à situação financeira da população (Anexo E);
- $P_{<20}$, $P_{10<<64}$ e $P_{>64}$ são a distribuição das idades da população (Anexo E);
- P_{sem}, P_{obrig}, P_{sec} e P_{sup} são a distribuição do nível de escolaridade da população (sem escolaridade, escolaridade obrigatória, ensino secundário, ensino superior - Anexo E).

A distribuição predefinida é a considerada nos trabalhos anteriores e está representada no Anexo F, contudo devido às implicações no segundo bloco do simulador (VC++), decidiu-se restringir um serviço por utilizador. Depois de determinado o número de utilizadores de cada serviço, os mesmos são distribuídos uniformemente pela área em estudo de acordo com o ambiente em que esta se insere (residencial denso, residencial, zona comercial, etc.). A distribuição utilizada foi também retirada dos trabalhos anteriores e descrita no Anexo E.

Estas distribuições correspondem a utilizadores distribuídos dentro de zonas regulares de forma a diminuir o tempo de simulação. Na Figura D.1 está representado um exemplo do mapa de saída do TRAFSIM3G em que a localização dos utilizadores é representada por uma bandeira, cuja cor está associada ao serviço do utilizador.

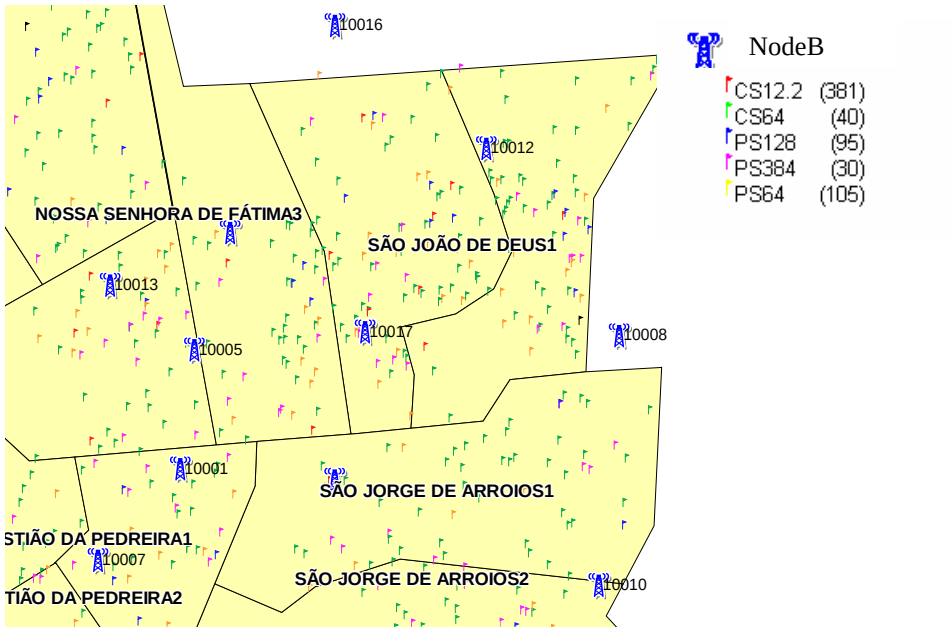


Figura D.1 - Exemplo da geração de utilizadores numa zona de alta densidade em Lisboa.

- **O Módulo GIS**

Quando o TRAFSIM3G é iniciado, o bloco GIS carrega as tabelas de serviço, em que para cada aplicação é definido um perfil de utilizador baseado nas características demográficas, como a idade, a educação e o salário. O formato de cada uma destas tabelas, as quais permitem obter informações acerca da estrutura de cada distrito encontram-se no Anexo I. Os diferentes cenários de tráfego conferem pesos diferentes para aplicações específicas, as quais são caracterizadas segundo uma referência, o modelo MOMENTUM. As tabelas dos cenários com as percentagens de distribuição de utilizadores encontram-se representadas na Figura D.3 e correspondem às tabelas de entrada do bloco GIS. Os valores considerados para a idade, educação, salário e cenários encontram-se representados no Anexo F.

De modo a se verificar alterações ao nível da cobertura em UMTS, através da simulação de diferentes larguras de feixe das antenas, o TRAFSIM3G apresenta dois valores típicos para os parâmetros das antenas dos *Node Bs*, 65º e 120º. As tabelas com os valores do diagrama de radiação usados para as antenas de 60º e 120º encontram-se em detalhe no Anexo G.

As pressupostas características das portadoras encontram-se representadas numa tabela. Esta tabela funciona como ponte de ligação entre as diversas aplicações e a suas respectivas implementações na rede, de acordo com o ritmo binário para UL e DL, o tipo de ligação CS ou PS, a QoS, a informação do canal de transporte dado pelo SF, o TTI, os códigos, a taxa de canal físico (tirado de [3GPP02]) e os modelos de tráfego (de [MOME00] e [SeCo03]) utilizados para a geração de tráfego no módulo VC++. As tabelas com os valores das portadoras encontram-se representadas no Anexo G e o respectivo formato no Anexo I. Na Figura D.4 é possível observar um fragmento de uma tabela das portadoras.

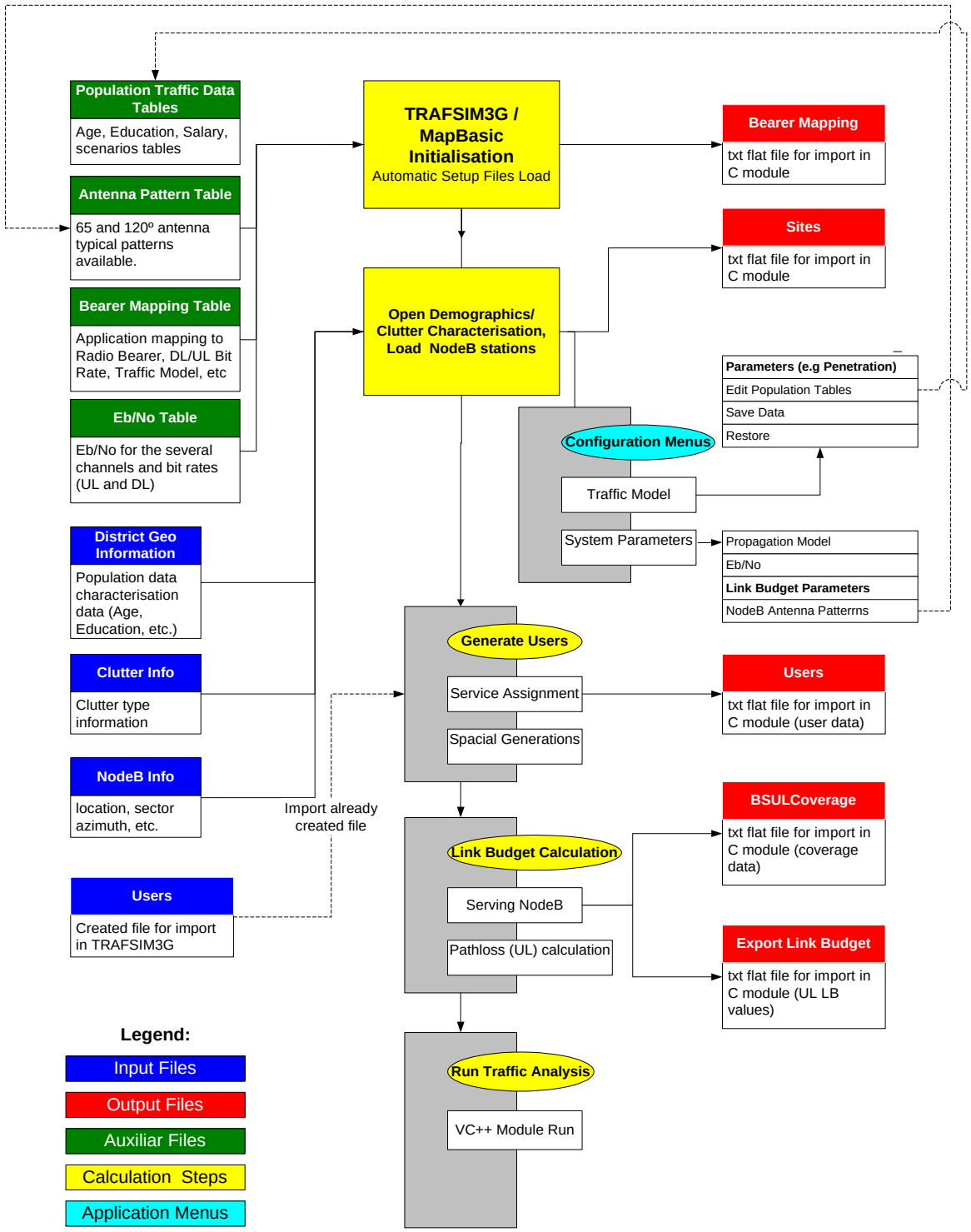


Figura D.2 - Motor do módulo GIS, ficheiros de entrada e saída e estrutura da aplicação (extraído de [Sant04]).

Juntamente com a caracterização dos serviços é implementada uma tabela com todos os valores de E_b/N_0 para os diferentes tipos de canais (Pedestre A) e de mobilidade (3 e 120 km/h). Por sua vez estes valores vão ser usados no cálculo do balanço de potência para UL e DL. O formato da tabela dos E_b/N_0 encontra-se no Anexo I e a tabela com os respectivos valores de E_b/N_0 utilizados encontram-se no Anexo G.

Salary Browser

Application	DL_Rb_kbps	Low	Medium
voice	12,2 (CS)	95	87
audio-on-demand	64 (PS)	0	0
video-telephony	64 (CS)	0	2
video-conf	64 (PS)	0	0
m-commerce	64 (PS)	0	0
video-on-demand	384 (PS)	0	0
web-browsing	128 (PS)	0	1
chat	64 (PS)	1	2
file storing	384 (PS)	0	0
		0	0
		0	1
		0	0
		0	0
		3	5
		1	3
		0	0
		0	0
		0	0
		0	0

Scenarios Browser

Clutter	Penetration_%
Dense Residential	30
Light Residential	15
Mixed Buildings	25
Terciary Buildings	20
Industrial Buildings	5
Roads	4
Green Areas	1

Age Browser

Application	DL_Rb_kbps	Age_20	Age_20_to_64	Age_64
voice	12,2 (CS)	44	48	90
audio-on-demand	64 (PS)	9	2	0
video-telephony	64 (CS)	5	9	2
video-conf	64 (PS)	0	0	0
m-commerce	64 (PS)	0	0	0
video-on-demand	384 (PS)	3	2	0
web-browsing	128 (PS)	6	12	5
chat	64 (PS)	9	5	0
file storing	384 (PS)	0	0	0
turistic info	64 (PS)	0	0	0
personal LBS	64 (PS)	1	7	2
travelling assistance	64 (PS)	0	0	0
emergency	12,2 (CS)	0	0	0
MMS	64 (PS)	13	4	0
interactive gaming	128 (PS)	4	2	0
FTP	384 (PS)	2	7	0
e-mail	128 (PS)	4	4	1
file download	384 (PS)	0	0	0
electronic journal/books	128 (PS)	0	0	0

Figura D.3 - Exemplo das tabelas de entrada do bloco GIS: idade, rendimentos e cenários (extraído de [Sant04]).

BearerMapping Browser

Application	Service_Type	Bearer	Switching_Type	QoS	ULrate_kbps	DLrate_kbps	Traffic_Model_Momentum
voice	VOICE	CS_C_UL_12.2kbps_DL_12.2kbps	CS	C	12.2	12.2	speech
audio_on_demand	MUSIC_ON_DEMAND	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kbps	PS	IB	64	64	streaming
video_telephony	VIDEO_CONFERENCE	CS_C_UL_64kbps_DL_64kbps	CS	C	64	64	video
video_conf	REMOTE_MONITORING	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kbps	PS	IB	64	64	streaming
m_commerce	MACHINE_2_CUSTOMER	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kbps	PS	IB	64	64	www
video_on_demand	VIDEO_ON_DEMAND	PS_IB_UL_64kbps_DL_384kbps	PS	IB	64	384	streaming

BearerMapping Browser

Application	Service_Type	SF_UL	SF_DL	TTI_UL_ms	TTI_DL_ms	Coding_UL	Coding_DL	PHY_UL_Rb_kb	PHY_DL_Rb_kb
audio_on_demand	MUSIC_ON_DEMAND	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
video_telephony	VIDEO_CONFERENCE	16	32	40	40	0.333333	0.333333	240	240
video_conf	REMOTE_MONITORING	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
m_commerce	MACHINE_2_CUSTOMER	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
video_on_demand	VIDEO_ON_DEMAND	16	8	20	10	0.333333	0.333333	240	960

Figura D.4 - Fragmento da tabela das portadoras (extraído de [Sant04]).

A tabela principal contém a área total dos distritos, a população presente, a idade, a escolaridade e rendimentos. O formato das tabelas dos distritos e os seus respectivos valores encontram-se no Anexo I e no Anexo E, respectivamente. Depois da caracterização da população e dos distritos, a definição do *clutter* juntamente com a definição do distrito é carregada. Na Figura D.5 encontra-se representado um exemplo de uma tabela que contém a informação acerca da idade, escolaridade e rendimentos de dois distritos de Lisboa. Por sua vez, a Figura D.6 representa a caracterização de um *clutter* para a área do distrito dos Olivais, o qual é considerado como uma zona residencial densa.

A última fase dos dados de entrada consiste em introduzir a informação acerca da localização e configuração dos *Node Bs*, retirado de [FeAl02]. Para os *Node Bs* considerou-se que cada um tinha três sectores e 20 W de potência de amplificador. Para facilitar a identificação da célula foi definido um esquema de numeração com 6 dígitos, dos quais os 5 primeiros representam a identificação do *Node B* e o último representa o número do sector. Por exemplo, à localização **10012** do *Node B* estão associadas três células: **100121, 100122 e 100123**, sector um, dois e três, respectivamente. O formato da tabela com toda esta informação encontra-se no Anexo I.

FregLD Browser

District	Present_Populati	Age_20	Age20_64	Age_64	noEducation	Basic	Complementar	Degree	Salary
MARVILA_1	18,709	46.9099	41.1811	12.0542	15.3485	57.5994	19.8576	7.19445	Low
SANTA MARIA DOS OLIVAIS_2	33,914	30.6439	49.4593	20.042	11.4027	50.0733	20.2284	18.2956	Medium
MARVILA_2	19,000	46.9099	41.1811	12.0542	15.3485	57.5994	19.8576	7.19445	Low

Figura D.5 - Tabela com a caracterização dos distritos dos Olivais e Marvila (extraído de [Sant04]).

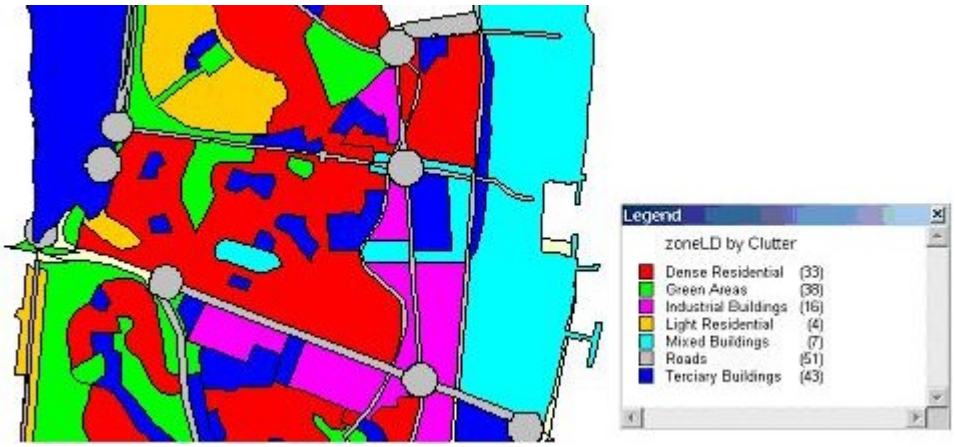


Figura D.6 - Gráfico do *clutter* para a área do distrito dos Olivais (extraído de [Sant04]).

Depois de correr o todo o processo da geração de utilizadores e o cálculo do balanço de potência, o TRAFSIM3G gera automaticamente tabelas e ficheiros de texto de saída que irão ser utilizadas como dados de entrada pelo módulo VC++.

O ficheiro principal (*users.txt*) contém toda a informação acerca da geração de utilizadores, nomeadamente a localização do utilizador, o serviço utilizado, as condições de propagação, etc. O formato deste ficheiro encontra-se representado no Anexo I. Todos os serviços e toda a caracterização de propagação usados pelo módulo VC++, como o modelo de tráfego (coluna S1 ou S2 MOMENTUM), o tipo de canal e as perdas de penetração são considerados nesta tabela.

A informação relativa à análise de cobertura UL para todos os utilizadores encontra-se descrita no ficheiro *BSULCoverage.txt*. É a partir deste ficheiro que se processa toda a geração do *active set* e do *softhandover* no bloco VC++. Até 8 *Node Bs* diferentes e 16 células podem ser escolhidas pelo utilizador. É de realçar que o TRAFSIM3G permite alterar os parâmetros dos modelos de propagação assim como os ritmos de UL escolhido. Quando os valores de E_b/N_0 não se encontram disponíveis para sinalizar as portadoras, assume-se um valor com uma margem de 5 dB (valor estimado na diferença do ganho de processamento) sobre os valores da atenuação de propagação calculados para voz.

O bloco VC++ utiliza toda a informação proveniente do cálculo do balanço de potência, assim como a informação dos raios da célula em UL. Toda esta informação é recolhida no ficheiro *ExportLinkBudget*, cujo formato se encontra representado no Anexo I.

No menu que diz respeito ao modelo de tráfego (*traffic model*) o utilizador do simulador pode adaptar o processo de geração de utilizadores a diferentes penetrações de população e diferentes cenários, ou então pode atribuir graus de importância diferente aos aspectos demográficos utilizados no algoritmo de geração.

O menu *system parameter* inclui dois submenus, um que diz respeito ao modelo de propagação e um outro relativo aos parâmetros do balanço de potência. As opções do modelo de propagação de [FeAl02] foram actualizadas, com uma maior relevância para os canais de frequência nas sub bandas do FDD e TDD. Uma vez que os cenários mais testados são o denso urbano e o urbano, o modelo de propagação mais adequado para estimar os raios das células é o COST231 – WI.

O menu *link budget parameters* confere a possibilidade de se testar vários tipos de cenários e diversos modos de propagação. A janela do menu *link budget parameters* encontra-se representada na Figura D.7.

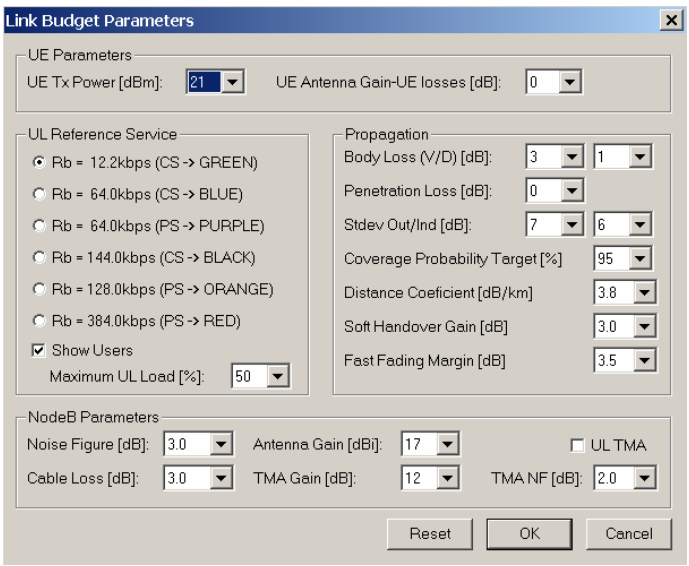


Figura D.7 - Menu *link budget parameters* (extraído de [Sant04]).

O método de análise de cobertura em UL encontra-se descrito no diagrama de blocos representado na Figura D.8. Para começar é calculado o balanço de potência para todos os serviços possíveis (RBs) baseado nos parâmetros do menu *link budget parameters* (Figura D.7). A partir do cálculo da atenuação de propagação e dos raios das células, são criadas as figuras correspondentes aos serviços mais restritos. Para cada utilizador é criada uma área envolvente, na qual o raio da célula toma o valor máximo possível (tipicamente o de voz) e todas as estações base que se encontrem dentro dessa área são analisadas. Para cada EB é calculada a sua distância e o azimute em relação ao utilizador, a partir das tabelas das antenas e posteriormente é calculado o ganho da antena. Por último, com os valores da distância, do ganho da antena e das perdas de penetração do utilizador é calculado o valor total de atenuação de propagação. Um utilizador é considerado como tendo cobertura se a atenuação de propagação total apresentar um valor inferior ao valor máximo da atenuação permitido somado de uma margem de 5 dB que permite cobertura de sinalização.

A caracterização dos canais de propagação utilizados foi obtida de trabalhos anteriores. Neste trabalho é feita uma abordagem no sentido de atribuir um *clutter* específico, uma distribuição típica em relação aos tipos de canais (pedestre/veicular) e ao tipo de penetração de interiores (Interior Profundo, Interior Iluminado, Interior Janela e Exterior). Esta abordagem permite obter um cenário mais realista com diferentes sensibilidades (E_b/N_0) dependendo do tipo de canal e de uma distribuição não uniforme das perdas de penetração. Devido a se ter considerado utilizadores do tipo veicular na perspectiva do balanço de potência, e embora sem considerar aspectos de mobilidade, verifica-se um impacto na potência e na carga do *Node B.*

As distribuições consideradas para cada tipo de canal e para os valores da penetração de interiores encontram-se representadas na Tabela D.1 e Tabela D.2 respectivamente.

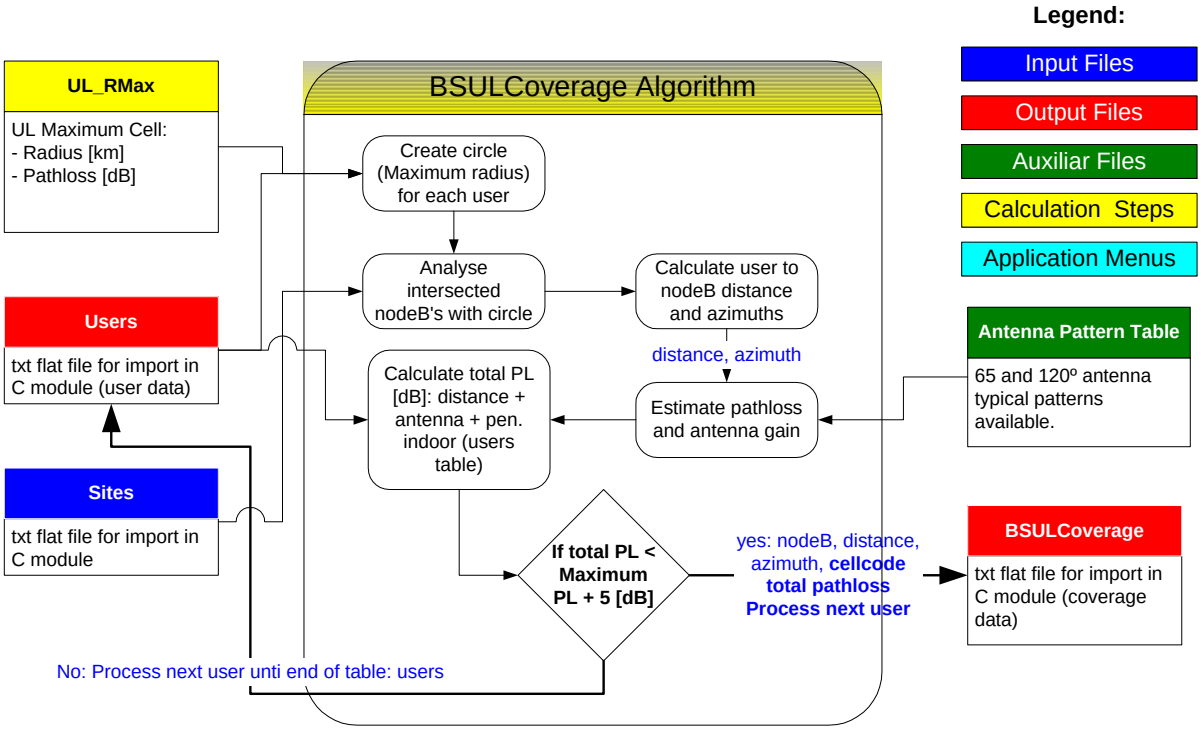


Figura D.8 - Método de análise de cobertura em UL e o processo de criação do ficheiro *BSULcoverage* (extraído de [Sant04]).

Foi considerado que os utilizadores de voz usariam o sistema mesmo que se encontrassem em movimento, mas com valores inferiores dependendo se utilizam serviços de dados CS64 ou PS64. Por outro lado os serviços com 384 kbps foram definidos pelo 3GPP, unicamente como sendo do tipo pedestre. Nas ruas foram considerados apenas utilizadores do tipo veicular em contraste com as áreas de zonas verdes onde foram considerados apenas utilizadores do tipo pedestre. A distribuição de perdas de penetração de interiores depende mais do tipo de *clutter* do que propriamente do serviço. Como exemplo tem-se que, nas ruas apenas se consideram os níveis de penetração nos carros (6 dB) enquanto que as áreas de zonas verdes são definidas com um perfil exterior (*outdoor*). As áreas são caracterizadas com valores mais elevados para o cenário de interior profundo/denso do que aquelas áreas que conciliam centros de negócios juntamente com habitação.

Tabela D.1 - Percentagem de distribuição do tipo de canal por serviço e *clutter* (extraído de [Sant04]).

(DL) Radio Bearer	Channel	Dense Residential [%]	Light Residential [%]	Mixed B. [%]	Tertiary B. [%]	Industrial B. [%]	Roads [%]	Green Areas [%]
12.2 kbps, CS	Ped/Vei	60.40	60.40	70.30	70.30	70.30	0.100	100.0
64 kbps, CS	Ped/Vei	80.20	80.20	90.10	90.10	90.10	0.100	100.0
64 kbps, PS	Ped/Vei	80.20	80.20	90.10	90.10	90.10	0.100	100.0
128 kbps, PS	Ped/Vei	80.20	80.20	90.10	90.10	90.10	0.100	100.0
384 kbps, PS	Ped/Vei	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.100	100.0

Tabela D.2 - Percentagem de distribuição do nível de penetração de interiores por serviço e *clutter* (extraído de [Sant04]).

(DL) Radio Bearer	Channel	Dense Residential [%]	Light Residential [%]	Mixed B. [%]	Tertiary B. [%]	Industrial B. [%]	Roads [%]	Green Areas [%]
12.2 kbps, CS	DI/I/Out	30,50,20	20,60,20	40,50,10	40,50,10	30,50,20	Incar	0,0,100
64 kbps, CS	DI/I/Out	30,50,20	20,60,20	40,50,10	40,50,10	30,50,20	Incar	0,0,100
64 kbps, PS	DI/I/Out	30,50,20	20,60,20	40,50,10	40,50,10	30,50,20	Incar	0,0,100
128 kbps, PS	DI/I/Out	30,50,20	20,60,20	40,50,10	40,50,10	30,50,20	Incar	0,0,100
384 kbps, PS	DI/I/Out	30,50,20	20,60,20	40,50,10	40,50,10	30,50,20	Incar	0,0,100

- **O Módulo VC++**

Os ficheiros de entrada do bloco VC++ são os ficheiros de saída do bloco GIS, excepto o ficheiro com as margens de desvanecimento rápido. Este foi retirado de um trabalho anterior [Card04]. Os valores são atribuídos de acordo com o tipo de canal (pedestre ou veicular), sendo definido nos parâmetros do balanço de potência (ver Anexo H).

Os ficheiros de saída deste bloco são definidos no menu *General Options* (ver Anexo H), e podemos ver alguns exemplos no Anexo J. É gerado sempre um ficheiro com informações gerais acerca de cada simulação, onde se destacam o instante de início e fim, o estado dos UEs e dos *Node Bs*, etc.

O ficheiro com os registos referentes às aplicações tem como finalidade guardar os modelos de tráfego gerados, reduzindo o tempo das tramas e o número de tramas ocupadas pelo serviço na interface rádio.

São criados três ficheiros com dados relativos aos UEs. O primeiro contém toda a informação relativa ao controlo de potência dos UEs, os outros dois contém informações estatísticas dos UEs em que um guarda toda a informação e o outro somente a informação referente a períodos de análise de 60 minutos (ver Anexo J). Na realidade os períodos de análise são de 70 minutos, porque nos primeiros minutos o número de UEs activos é muito inferior ao número médio não sendo contabilizados para o estudo.

Para os *Node Bs* os ficheiros criados também são três. O primeiro contém os dados estatísticos dos *Node Bs* e os outros guardam toda a informação dos *Nodes Bs*. Enquanto um ficheiro guarda a informação periodicamente (o período pode ser definido no menu *General Options*) o outro só guarda a informação durante o tempo de análise. Para uma melhor compreensão da estrutura dos ficheiros recomenda-se a consulta do Anexo J.

Para permitir uma melhor análise do desempenho dos *Node Bs* foram criados dois ficheiros com a árvore de códigos OVSF de cada sector. Um ficheiro guarda os códigos usados e o outro os não usados, permitindo através da sua subtracção (no tempo) determinar o número e o tipo de ligações rádio num dado *Node B*. A estrutura é a mesma para os dois ficheiros e encontra-se exemplificada no Anexo J.

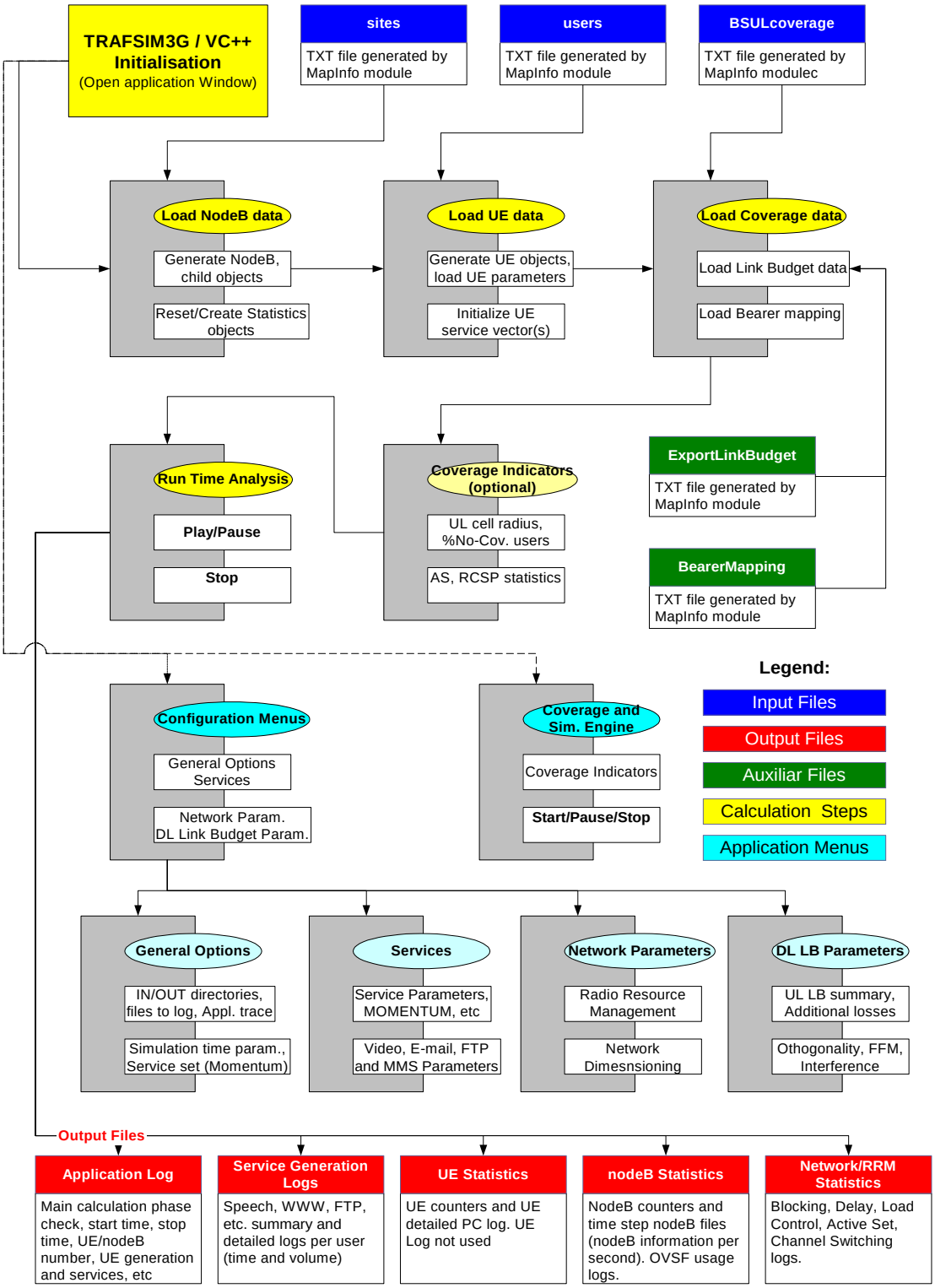


Figura D.9 - Motor do módulo VC++, ficheiros de entrada e saída e estrutura da aplicação (extraído de [Sant04]).

Para analisar o desempenho da rede são gerados dois ficheiros com a probabilidade de bloqueio e o atraso. Quando há um bloqueio ou um atraso, é guardada a informação dos UEs, dos *Node Bs* e dos serviços afectados. De referir que devido ao facto de que qualquer atraso poder provocar um registo adicional nos ficheiros, só quando se verifica um bloqueio é que são registadas as informações do acontecimento. Estes ficheiros incluem ainda a causa da

queda da chamada e o *active set* por utilizador, para uma análise posterior do impacto do SHO no desempenho da rede. A estrutura dos ficheiros encontra-se exemplificada no Anexo J.

A arquitectura do simulador foi desenvolvida a partir de simuladores usados em trabalhos anteriores ([Serr02] e [Sant04]), em que os UEs e os *Node Bs* são uma estrutura de objectos com funções específicas para simularem o comportamento de uma rede celular. Na Figura D.10 está representada estrutura de objectos do simulador. O objecto principal (*System*) controla os objectos UE e *Node Bs*, bem como a transferência de dados e a geração das tramas. O objecto UE é formado por dois objectos secundários, um que contém todos os dados de tráfego e outro que guarda os dados dos contadores e simulações. Este último também está disponível para o objecto *NodeB* que por sua vez é também formado por um outro objecto secundário (*BudgetMS*), o qual contém os dados de cada UE que está a usar recursos do *Node B*. Existem também objectos de cálculo e controlo das interfaces do tipo de serviço (3GPP *Services*, *Email*_FTP e SMS_MMS_Video), do balanço de potência (FFM, *CovIndicators* e *LinkBudgetPro*) e de controlo do simulador (*Config_General*, RRM e *NetCalc*).

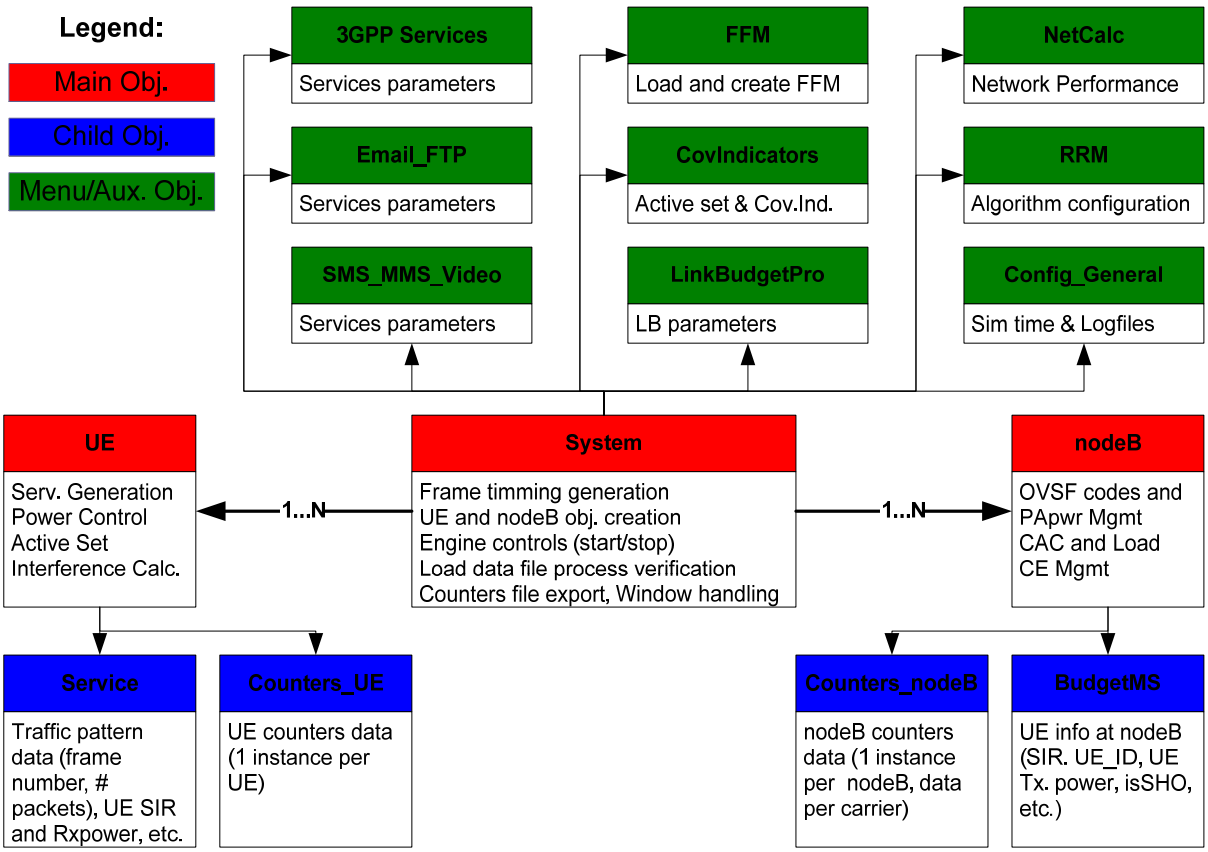


Figura D.10 - Estrutura de objectos, relacionamento e principais funções (extraído de [Sant04]).

A referência de tempo usada são intervalos de 10ms, que modelam a geração de tráfego, sendo gerados vários ciclos de forma a corresponder ao tempo de simulação desejado, Figura D.11. Cada segundo corresponde a um ciclo de 100 vezes a trama, em que cada UE e *Node B* corre uma função responsável pelo processamento de dados e requisitos do *Node B* (UE-*step*) e pelo algoritmo de controlo de potência (*Node B-step*). Estas funções desempenham um papel importante no simulador, encontram-se exemplificadas na Figura D.12.

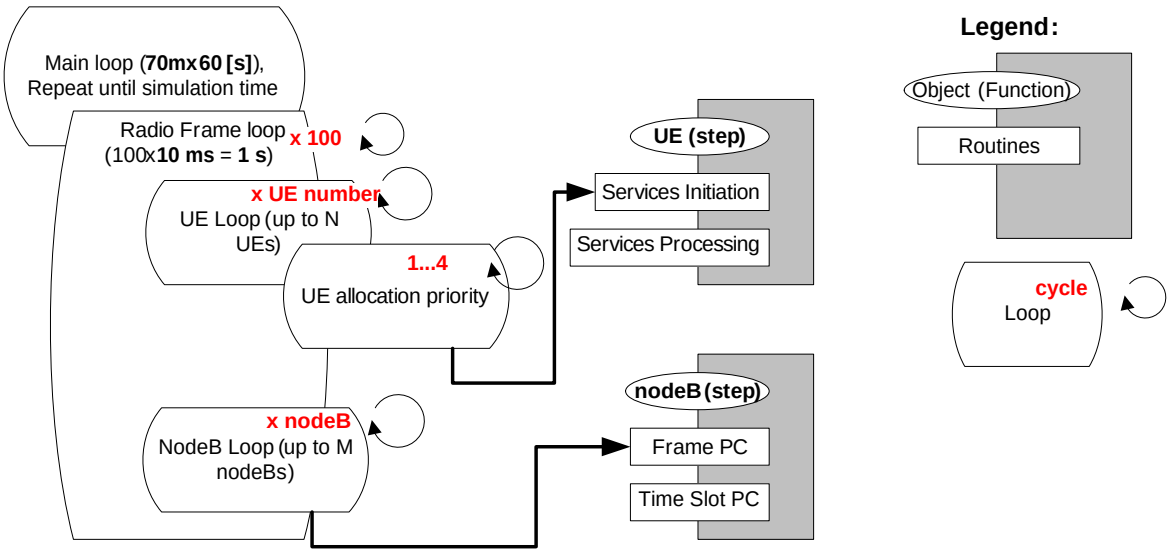


Figura D.11 - Funções de processamento ciclo principal (extraído de [Sant04]).

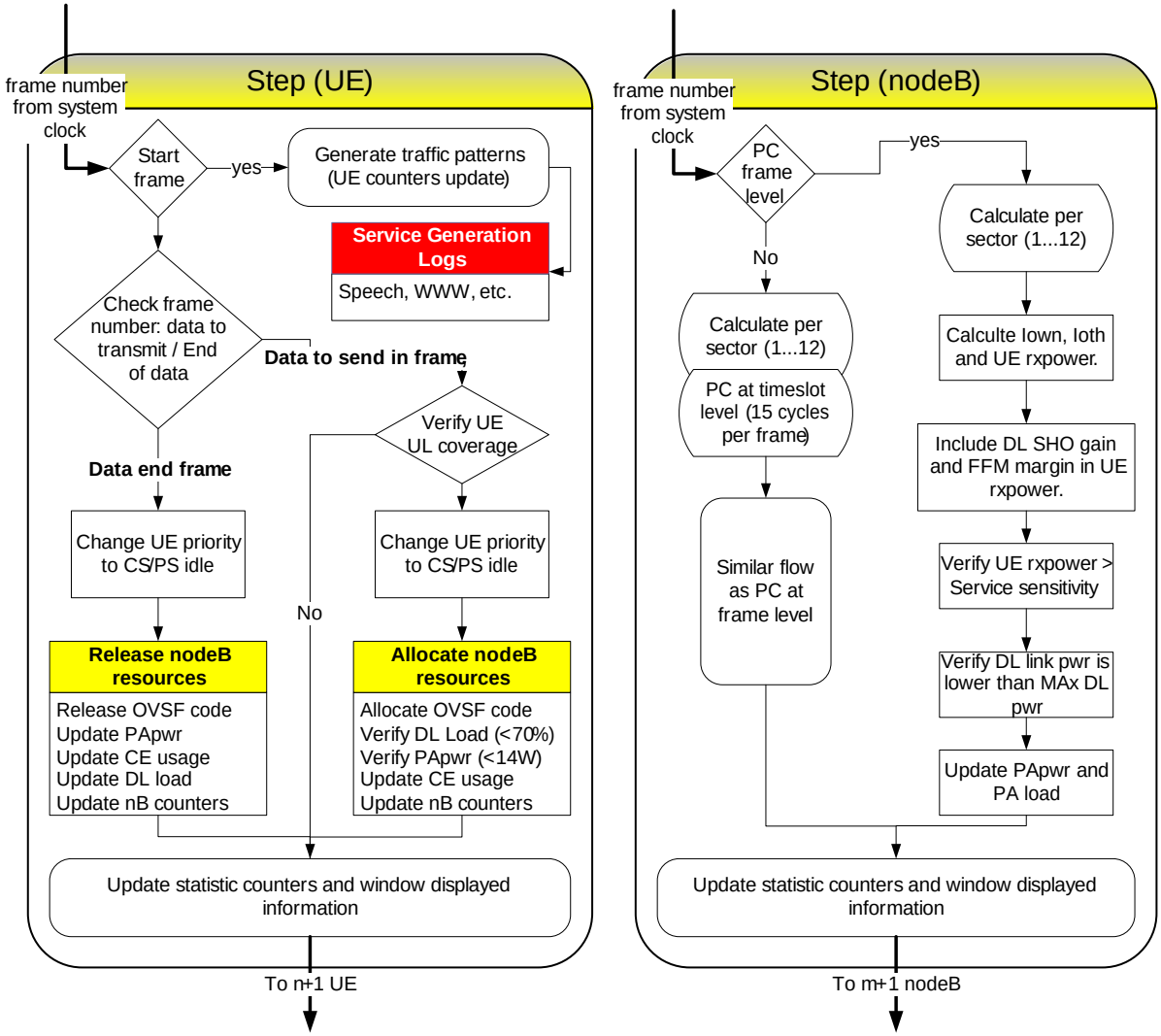
Nas simulações as chamadas CS têm sempre prioridade em relação às chamadas PS, e as chamadas existentes também têm prioridade em relação a novas chamadas.

Na Figura D.12. está descrito o UE-*step* com as suas rotinas. Em cada trama, para cada UE, considerando o nível de prioridade e se a cobertura de UL satisfaz os requisitos dos serviços, é verificado se o UE tem dados para transmitir consultando os vectores que contém o número da trama actual e o numero da trama reservada para a transmissão. No caso de ser uma trama inicial, são inicializados os serviços e são criados os vectores com as características de tráfego e em caso de existir informação para transmitir o UE-*step* tenta logo reservar recursos no *Node B-step*.

Os recursos a distribuir pelo UE no *Node B* são: códigos OVSF, avaliar a carga de DL disponível abaixo do valor limite e a potência do amplificador disponível. Os códigos OVSF são atribuídos segundo um algoritmo da esquerda para a direita, ou seja, a árvore de código é percorrida da esquerda para a direita até aparecer o primeiro código válido para o SF. Apesar de não ser uma solução óptima é de fácil implementação. O algoritmo de controlo de carga de DL tem um valor máximo de 70%. Este valor máximo para a carga de DL foi estimado tendo em conta da subida linear do ruído até este valor e valores usados por fabricantes. A potência do amplificador disponível é de 20 W, considerando um canal comum com uma potência máxima de 6 W (14 W disponíveis para tráfego).

O simulador também tem como função estimar os requisitos para o processamento de banda base necessário nos os *Node Bs* de acordo com a teoria do *channel element* (CE) em que é necessária uma unidade para uma chamada de voz. Para ritmos mais elevados são necessários mais CEs de acordo com a definição na janela de RRM (384 kbps necessitam de 8 CE). A maior parte dos fabricantes seguem esta orientação, na medida de que o *hardware* de banda base é configurado com portadoras e dimensionado para a QoS pretendida.

Depois do processo de distribuição e avaliação dos recursos, todos os contadores dos UEs e *Node Bs* são actualizados. Para a libertação dos recursos usados o processo é inverso, libertando os recursos para as ligações *main* e SHO.



(a) UE (b) *Node B*

Figura D.12 - Detalhes das funções UE e *Node B* (extraído de [Sant04]).

Como já foi referido, o ciclo que distribui os recursos é inicializado pelo objecto UE pois contém os vectores com as informações de tráfego. O controlo de potência de DL é verificado no objecto *Node B* e o ciclo DL PC começa por verificar a se a trama actual é a pretendida. É iniciado um ciclo por todos os sectores activos dos *Node Bs* e é calculada a interferência inicial (intra e inter celular) e estimada a potência de recepção do UE. É depois adicionado o ganho de SHO (para TDD e HSDPA é nulo) e a FFM à potência do UE. Finalmente, é comparado o valor obtido com a sensibilidade, a potência PA é estimada e é verificado se a potência máxima de DL não é ultrapassada.

Anexo E Tabelas de dados usados pelo GIS

Este anexo inclui as tabelas que caracterizam os cenários HD e LD para o MapInfo, nomeadamente a zona e informações demográficas. Devido à limitação do MapInfo não conseguir lidar com vectores com um elevado número de utilizadores (acima dos 32 000), as zonas foram divididas em áreas mais pequenas com um número de utilizadores proporcional mantendo as suas características demográficas. Os dados foram obtidos de [FeAl02] e representados na Tabela E.1 e Tabela E.2.

Tabela E.1 - Informação da zona de HD (extraído de [Sant04]).

População [pop]		**Idade [%]**			**Nível de Escolaridade [%]**				**Rendimento**
Zona	Pop.	Idade < 20	Idade [20-64]	Idade > 64	Sem Escolaridade	Básico	Secund.	Sup.	Qualitativo
Nª Sra Fátima	15977	25.27	40.02	34.71	8.21	34.82	19.42	37.56	Elevado
S. João de Deus	15977	22.95	33.34	43.71	6.70	31.91	22.28	39.11	Elevado
S. Jorge Arroios	31954	23.82	36.97	39.07	8.67	40.22	22.36	28.75	Médio
S. Seb. da Pedreira	63908	23.82	36.97	39.07	8.67	40.22	22.36	28.75	Médio Elevado

Tabela E.2 - Informação da zona de LD (extraído de [Sant04]).

População [pop]		**Idade [%]**			**Nível de Escolaridade [%]**				**Rendimento**
Zona	Pop.	Idade < 20	Idade [20-64]	Idade > 64	Sem Escolaridade	Básico	Secund.	Sup.	Qualitativo
Marvila	37709	46.91	41.18	12.05	15.35	57.60	19.86	7.19	Baixo
Olivais	33914	30.64	49.46	20.04	11.40	50.07	20.23	18.30	Médio

Os cenários considerados foram: residencial denso, residencial, suburbano, zona de serviços e escritórios, zona industrial, estradas e zonas verdes. As respectivas tabelas com os dados GIS foram retiradas de [CaML02].

Anexo F Serviços de Referência

Na Tabela F.1 está representada a distribuição dos serviços de acordo com a idade, rendimento e nível escolar, retirados de [FeAl02] e [VaCa02].

Tabela F.1 - Distribuição dos serviços para o cenário de referência (extraído de [Sant04]).

Distribuição de Serviços			Idade [%]			Rendimento [%]				Nível de Escolaridade [%]			
Aplicações	Ritmo DL [kbps]	Modelo de Traf.	<20	<64	>64	Baixo	Med.	Médio Elev.	Elev.	Sem Escol.	Bás.	Sec.	Sup.
Voz	12.2 (CS)	Voz	44	48	90	95	87	66	34	95	80	62	50
Audio a Pedido	64 (PS)	Stream.	9	2	0	0	0	2	7	0	3	4	2
Video Conferência	64 (CS)	Video	5	9	2	0	2	5	11	2	2	4	9
Video a Pedido	384 (PS)	Stream.	3	2	0	0	0	1	7	0	0	2	1
Internet	128 (PS)	www	6	12	5	0	1	4	10	0	2	9	13
Chat	64 (PS)	www	9	5	0	1	2	6	5	0	1	6	4
LBS Pessoais	64 (PS)	Lbs	1	7	2	0	1	4	6	0	0	3	4
MMS	64 (PS)	mms/sms	13	4	0	3	5	6	7	0	7	4	4
Jogos Interactivos	128 (PS)	Stream.	4	2	0	1	3	4	5	3	5	4	2
FTP	384 (PS)	ftp	2	7	0	0	0	0	3	0	0	0	8
e-mail	128 (PS)	e-mail	4	4	1	0	0	2	5	0	1	2	4

Na Figura F.1 está representada uma proposta para uma distribuição multi-serviços com base nas expectativas de um operador. Comparando com a distribuição do cenário de referência Tabela F.1, a voz apresenta uma percentagem menor que na distribuição proposta.

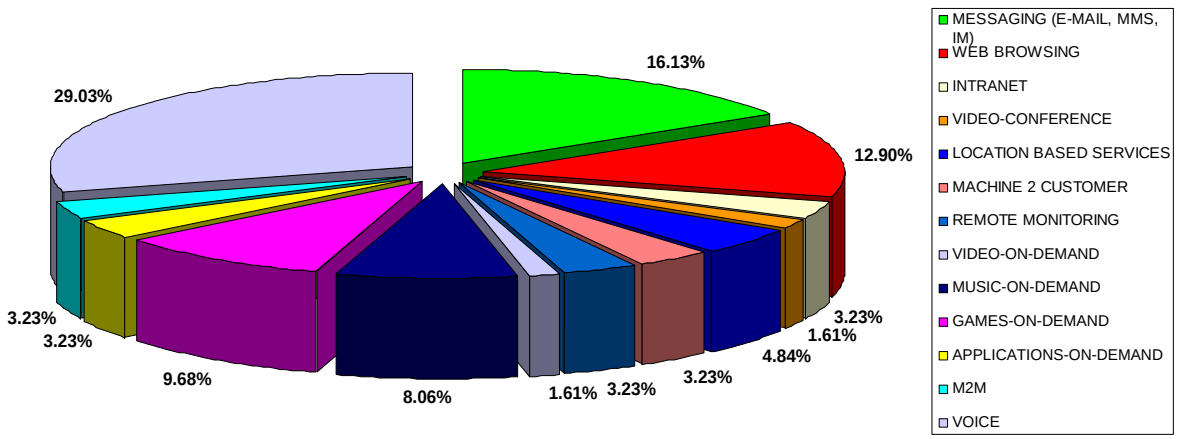


Figura F.1 - Distribuição multi-serviços proposta (extraído de [Sant04]).

Anexo G Tabelas Auxiliares do GIS

As principais tabelas auxiliares do GIS são:

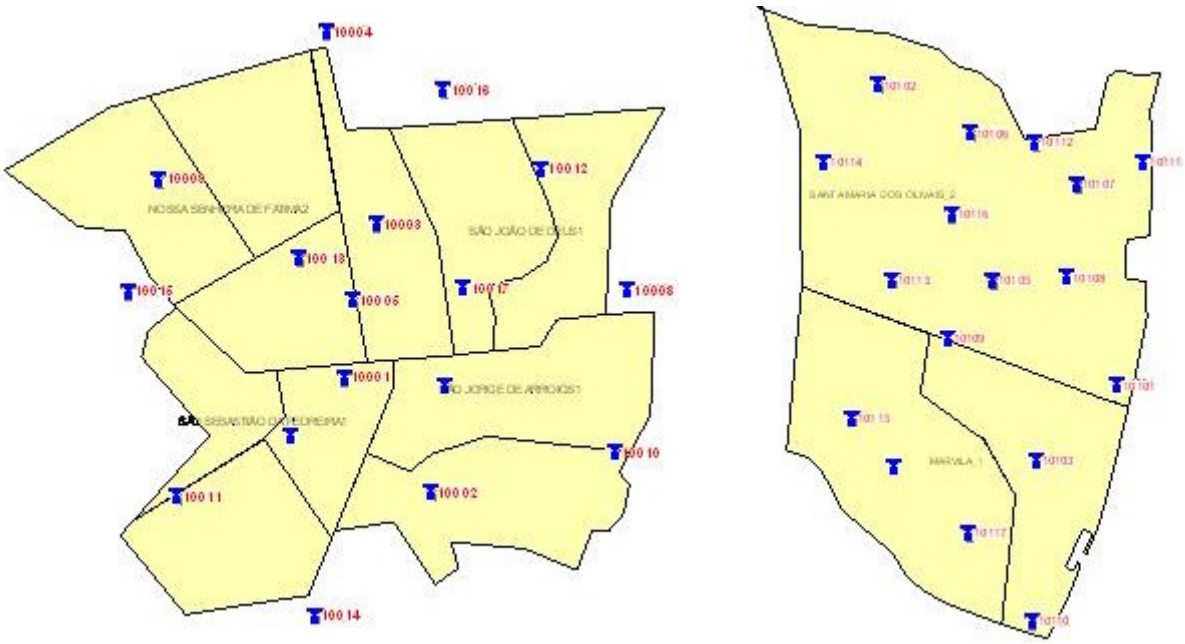
- Tabela com informações das zonas de HD e LD, Tabela G.1 e Tabela G.2 respectivamente. As tabelas mostram os valores da latitude, a longitude, o azimute dos *Node Bs*, a potência do amplificador, os valores dos CPICH e a potência total dos canais comuns;
- Tabela com os valores do diagrama de radiação das antenas, Tabela G.3;
- Tabela com a distribuição da percentagem de penetração dos ambientes, Figura G.2;
- Tabela com os valores de E_b/N_0 para os canais pedestre e veicular, Tabela G.4;
- Tabela das portadoras, Figura G.4 e Figura G.4.

Tabela G.1 - Informações da zona de HD (extraído de [Sant04]).

Código	Nome	Cidade	X	Y	Z	S1_Az	S2_Az	S3_Az	PA_1	CPI_3	CCH_1
10001	nodeB1	LISBOA	-9.14845	38.7341	0	0	120	240	20	2	6
10002	nodeB2	LISBOA	-9.14385	38.7294	0	0	120	240	20	2	6
10003	nodeB3	LISBOA	-9.14676	38.7405	0	0	120	240	20	2	6
10004	nodeB4	LISBOA	-9.14939	38.7484	0	0	120	240	20	2	6
10005	nodeB5	LISBOA	-9.14797	38.7373	0	0	120	240	20	2	6
10006	nodeB6	LISBOA	-9.14318	38.7338	0	0	120	240	20	2	6
10007	nodeB7	LISBOA	-9.15125	38.7317	0	0	120	240	20	2	6
10008	nodeB8	LISBOA	-9.13348	38.7377	0	0	120	240	20	2	6
10009	nodeB9	LISBOA	-9.15822	38.7423	0	0	120	240	20	2	6
10010	nodeB10	LISBOA	-9.13416	38.731	0	0	120	240	20	2	6
10011	nodeB11	LISBOA	-9.15915	38.728	0	0	120	240	20	2	6
10012	nodeB12	LISBOA	-9.13802	38.7427	0	0	120	240	20	2	6
10013	nodeB13	LISBOA	-9.15085	38.739	0	0	120	240	20	2	6
10014	nodeB14	LISBOA	-9.15003	38.7243	0	0	120	240	20	2	6
10015	nodeB15	LISBOA	-9.15989	38.7377	0	0	120	240	20	2	6
10016	nodeB16	LISBOA	-9.14319	38.746	0	0	120	240	20	2	6
10017	nodeB17	LISBOA	-9.14032	38.7376	0	0	120	240	20	2	6

Tabela G.2 - Informações da zona de LD (extraído de [Sant04]).

Código	Nome	Cidade	X	Y	Z	S1_Az	S2_Az	S3_Az	PA_PWR_1	CPICH_1	CCH_1
10101	nodeB101	LISBOA	-9.09569	38.7539	0	0	120	240	20	2	6
10102	nodeB102	LISBOA	-9.12141	38.7794	0	0	120	240	20	2	6
10103	nodeB103	LISBOA	-9.10444	38.7476	0	0	120	240	20	2	6
10104	nodeB104	LISBOA	-9.11979	38.747	0	0	120	240	20	2	6
10105	nodeB105	LISBOA	-9.1091	38.7628	0	0	120	240	20	2	6
10106	nodeB106	LISBOA	-9.1115	38.7753	0	0	120	240	20	2	6
10107	nodeB107	LISBOA	-9.10004	38.771	0	0	120	240	20	2	6
10108	nodeB108	LISBOA	-9.10106	38.7631	0	0	120	240	20	2	6
10109	nodeB109	LISBOA	-9.11391	38.7579	0	0	120	240	20	2	6
10110	nodeB110	LISBOA	-9.10488	38.7339	0	0	120	240	20	2	6
10111	nodeB111	LISBOA	-9.09287	38.7729	0	0	120	240	20	2	6
10112	nodeB112	LISBOA	-9.10453	38.7746	0	0	120	240	20	2	6
10113	nodeB113	LISBOA	-9.11994	38.7629	0	0	120	240	20	2	6
10114	nodeB114	LISBOA	-9.12721	38.7729	0	0	120	240	20	2	6
10115	nodeB115	LISBOA	-9.12424	38.7511	0	0	120	240	20	2	6
10116	nodeB116	LISBOA	-9.1135	38.7684	0	0	120	240	20	2	6
10117	nodeB117	LISBOA	-9.12246	38.7909	0	0	120	240	20	2	6



(a) Cenário HD (b) Cenário LD

Figura G.1 - Zonas de HD e LD e colocação de *Node Bs* (extraído de [Sant04])

Tabela G.3– Valores do diagrama de radiação para antenas de 65º e 120º (extraído de [Sant04]).

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

Tabela G.4 - Valores de E_b/N_0 (extraído de [Sant04]).

Ritmo Binário (Switching Type)	Tipo de Propagação	UL	DL
12.2 (CS)	Interior	5.8	7.7
12.2 (CS)	Pedestre	5.8	7.7
12.2 (CS)	Veicular	6.9	8.0
64 (CS)	Interior	4.1	6.7
64 (CS)	Pedestre	4.2	6.7
64 (CS)	Veicular	5.8	7.8
64 (PS)	Interior	4.2	6.6
64 (PS)	Pedestre	4.2	6.6
64 (PS)	Veicular	5.5	7.3
128 (CS)	Interior	4.0	5.9
128 (CS)	Pedestre	4.2	6.0
128 (CS)	Veicular	5.8	7.5
128 (PS)	Interior	4.0	5.9
128 (PS)	Pedestre	4.2	5.9
128 (PS)	Veicular	5.5	6.3
384 (PS)	Interior	4.0	6.5
384 (PS)	Pedestre	4.2	6.7
384 (PS)	Veicular	5.5	7.7

Scenarios Browser

Clutter	Penetration_%
Dense Residential	30
Light Residential	15
Mixed Buildings	25
Terciary Buildings	20
Industrial Buildings	5
Roads	4
Green Areas	1

Figura G.2 - Distribuição da percentagem de penetração nos ambientes (extraído de [Sant04]).

BearerMapping Browser

Application	Service_Type	Bearer	Switching_Typ	QoS	ULrate_kbps	DLrate_kbps	Traffic_Model_Momentum
voice	VOICE	CS_C_UL_12.2kbps_DL_12.	CS	C	12.2	12.2	speech
audio_on_demand	MUSIC_ON_DEMAND	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	streaming
video_telephony	VIDEO_CONFERENCE	CS_C_UL_64kbps_DL_64kb	CS	C	64	64	video
video_conf	REMOTE_MONITORING	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	streaming
m_commerce	MACHINE_2_CUSTOMER	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	www
video_on_demand	VIDEO_ON_DEMAND	PS_IB_UL_64kbps_DL_384	PS	IB	64	384	streaming
web_browsing	WEB_BROWSING	PS_IB_UL_64kbps_DL_128	PS	IB	64	128	www
chat	MESSAGING	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	www
file_storing	INTRANET	PS_IB_UL_64kbps_DL_384	PS	IB	64	384	ftp
turistic_info	LOCATION_BASED_SERVI	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	lbs
personal_LBS	LOCATION_BASED_SERVI	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	lbs
travelling_assistance	LOCATION_BASED_SERVI	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	lbs
emergency	VOICE	CS_C_UL_12.2kbps_DL_12.	CS	C	12.2	12.2	speech
MMS	MESSAGING	PS_IB_UL_64kbps_DL_64kt	PS	IB	64	64	mms_sms
interactive_gaming	GAMES_ON_DEMAND	PS_IB_UL_64kbps_DL_128	PS	IB	64	128	streaming
FTP	INTRANET	PS_IB_UL_64kbps_DL_384	PS	IB	64	384	ftp
email	MESSAGING	PS_IB_UL_64kbps_DL_128	PS	IB	64	128	email
file_download	INTRANET	PS_IB_UL_64kbps_DL_384	PS	IB	64	384	ftp
electronic_journal_books	APPLICATIONS_ON_DEMA	PS_IB_UL_64kbps_DL_128	PS	IB	64	128	www

Figura G.3 - Tabela das portadoras (extraído de [Sant04]).

BearerMapping Browser

Traffic_Model_Momentum	SF_UL	SF_DL	TTI_UL_ms	TTI_DL_ms	Coding_UL	Coding_DL	PHY_UL_Rb_kb	PHY_DL_Rb_kb
speech	64	128	20	20	0.333333	0.333333	60	60
streaming	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
video	16	32	40	40	0.333333	0.333333	240	240
streaming	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
www	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
streaming	16	8	20	10	0.333333	0.333333	240	960
www	16	16	20	20	0.333333	0.333333	240	480
www	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
ftp	16	8	20	10	0.333333	0.333333	240	960
lbs	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
lbs	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
lbs	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
speech	64	128	20	20	0.333333	0.333333	60	60
mms_sms	16	32	20	20	0.333333	0.333333	240	240
streaming	16	16	20	20	0.333333	0.333333	240	480
ftp	16	8	20	10	0.333333	0.333333	240	960
email	16	16	20	20	0.333333	0.333333	240	480
ftp	16	8	20	10	0.333333	0.333333	240	960
www	16	16	20	20	0.333333	0.333333	240	480

Figura G.4 - Tabelas das portadoras (continuação) (extraído de [Sant04]).

Anexo H Guia do Utilizador

- **Introdução**

Este anexo permite ao utilizador uma rápida aprendizagem das ferramentas e menus do simulador.

O TRAFSIM3G foi desenvolvido em MapInfo e Visual C++, permitindo a geração aleatória não uniforme de utilizadores e respectivos serviços, e a sua análise no tempo. É necessário instalar previamente o MapInfo de modo a processar o ficheiro executável do simulador (*TRAFSIM3G.MBX*).

O TRAFSIM3G é formado por 3 ficheiros principais:

- TRAFSIM3G.mbx (ficheiro executável do MapInfo);
- TRAFSIM3GDLL.dll (ficheiro auxiliar que contém a função VC++ a usar com o MapBasic);
- TRAFSIM3G_VC.exe (ficheiro executável do VC++).

Para executar o TRAFSIM3G, o utilizador só tem de executar o ficheiro mbx pois os outros serão executados automaticamente a partir dos menus do TRAFSIM3G.mbx.

- **Estrutura dos Ficheiros**

Para uma melhor utilização do simulador, aconselha-se a criar uma estrutura de pastas específica, pois grande parte dos ficheiros de entrada/saída encontram-se nessas pastas por defeito. Assim, o utilizador ao copiar os 3 ficheiros principais (mbx, dll e exe), deve criar na mesma pasta a seguinte estrutura:

- Pasta *Input* (contém as tabelas com os dados do MapInfo);
- Pasta *Output* (contém os ficheiros de saída do módulo MapInfo, de onde o módulo VC++ vai buscar os dados automaticamente);
- Pasta *Output_VC* (contém os ficheiros de saída do módulo VC++).

- **Geração de Utilizadores**

A geração de utilizadores é conseguida através de 5 operações, Figura H.1:

1. ***Transmission Techniques Definitions*** (o utilizador pode escolher qual a técnica de transmissão, FDD, TDD, FDD/HSDPA, FDD+TDD ou FDD/HSDPA+TDD, Figura H.2, pode definir qual o ritmo de transmissão médio das células e pode definir se pretende aumentar os ritmos dos serviços ou não);
2. ***Open Demographics Characterisation*** (abrir as tabelas com as informações dos distritos);
3. ***Open Clutter Characterisation*** (abrir as tabelas com as informações dos *clutters*);
4. ***Load NodeB Stations*;**
5. ***Generate Users*** (é dada a possibilidade de o utilizador escolher entre um perfil de utilizadores criado anteriormente, ou criar um novo).

O submenu ***Traffic Model*** permite alterar valores como por exemplo a penetração ou alterar os pesos da caracterização demográfica ou os pesos das aplicações disponíveis.

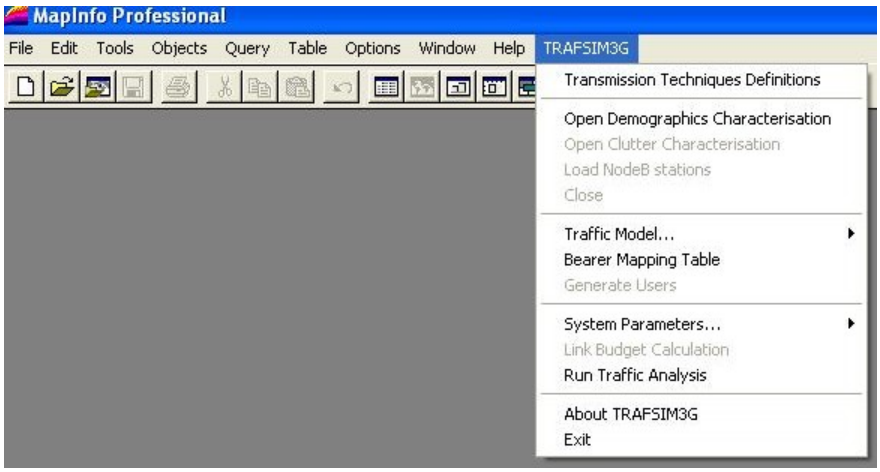


Figura H.1 - Menu principal do TRAFSIM3G.

O submenu ***Bearer Mapping Table*** permite visualizar a tabela com as características das portadoras.

O submenu ***System Parameters*** permite ao utilizador alterar os valores do modelo de propagação (COST 231 – Walfish Ikegami), os valores do E_b/N_0, os parâmetros do balanço de potência, e alterar o diagrama de radiação da antena.

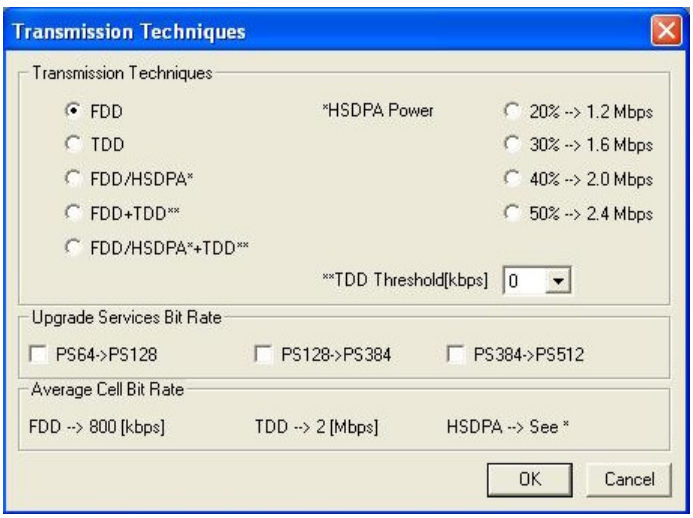


Figura H.2 - Janela do menu *Transmission Techniques Definitions.*

Depois da geração de utilizadores, o utilizador pode escolher entre o cálculo do balanço de potência ou seleccionar os valores predefinidos, introduzindo os valores para os raios de cobertura e para as atenuações de propagação, Figura H.3. No caso de se optar pela introdução dos referidos valores usa-se a vírgula como marcador decimal em vez do ponto. Independentemente da escolha os valores são guardados no respectivo ficheiro de saída, terminando assim o processo de geração de utilizadores.

- **Análise do Sistema (bloco VC++)**

O utilizador pode executar o bloco VC++ directamente do submenu ***Run Traffic Analysis*** do bloco GIS, abrindo a janela principal do módulo VC++, Figura H.4.

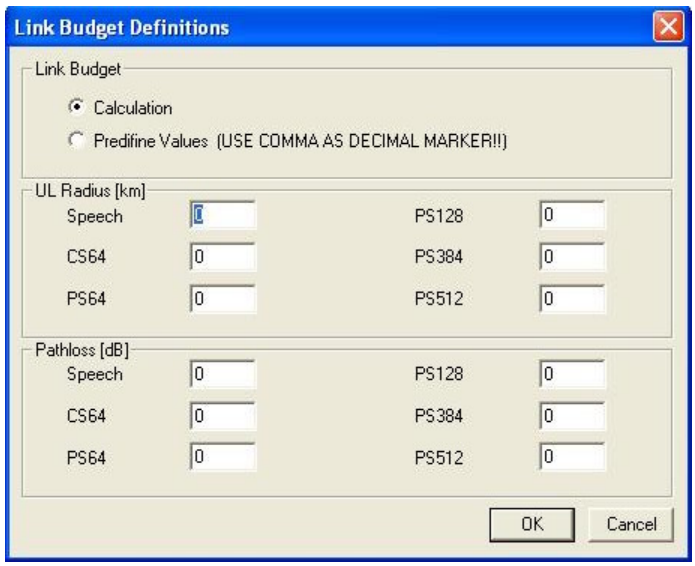


Figura H.3 - Janela do menu *Link Budget Calculation*.

Para a análise temporal do sistema é necessário executar as seguintes tarefas (ver Figura H.4):

1. Carregar os dados dos *Node Bs* provenientes do MapInfo;
2. Carregar os dados dos *UEs* provenientes do MapInfo;
3. Carregar os dados da cobertura de UL provenientes do MapInfo;
4. Iniciar a análise no tempo (clicar no botão ***Play***).

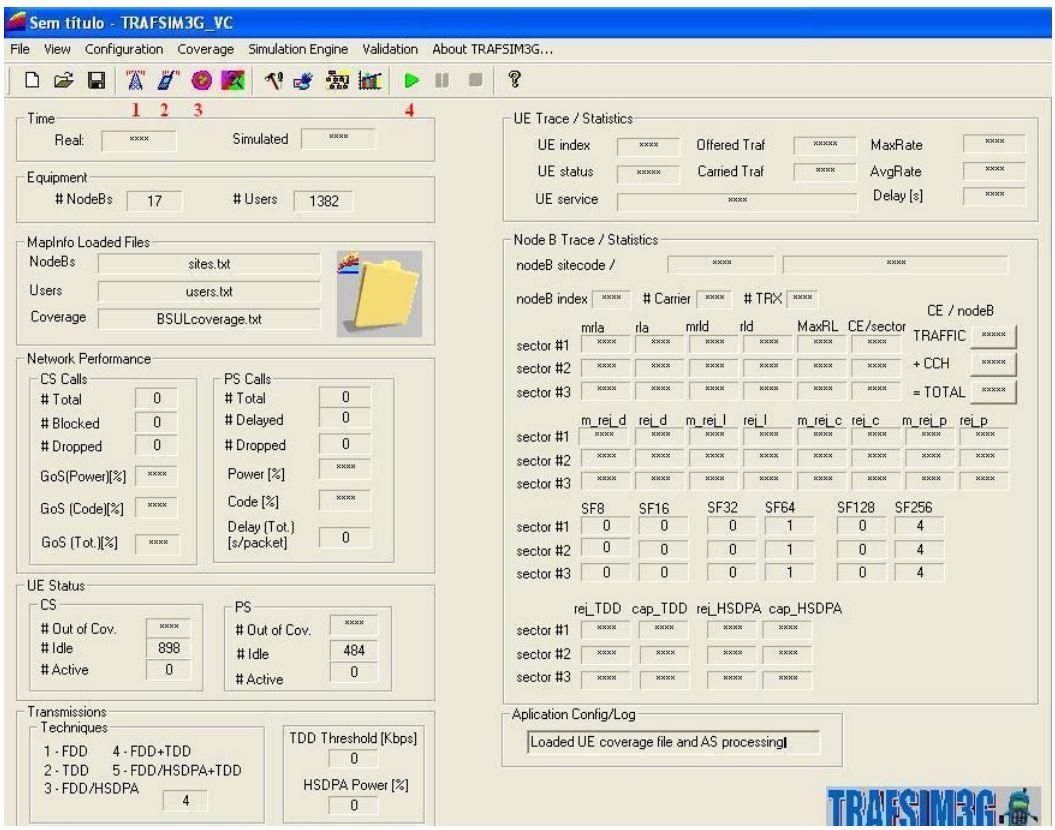


Figura H.4 - Janela principal do módulo VC++.

Durante o processo de entrada de informação do MapInfo, é disponibilizado o número de *Node Bs* e UEs (ver campo ***Equipment*** na Figura H.4), o nome dos ficheiros carregados de modo a minimizar possíveis erros (ver campo ***MapInfo Loaded Files*** na Figura H.4) e o estado de cada tarefa (ver campo ***Aplication Config/Logf*** na Figura H.4).

Depois de os 3 ficheiros terem sido acedidos pelo bloco VC++, o utilizador pode facilmente aceder à informação da cobertura através do botão ***Coverage Indicators***, Figura H.5. Nesta janela encontram-se os dados acerca das estatísticas de AS e RSCP, o número e percentagem de utilizadores não cobertos e os raios de UL calculados no bloco GIS.

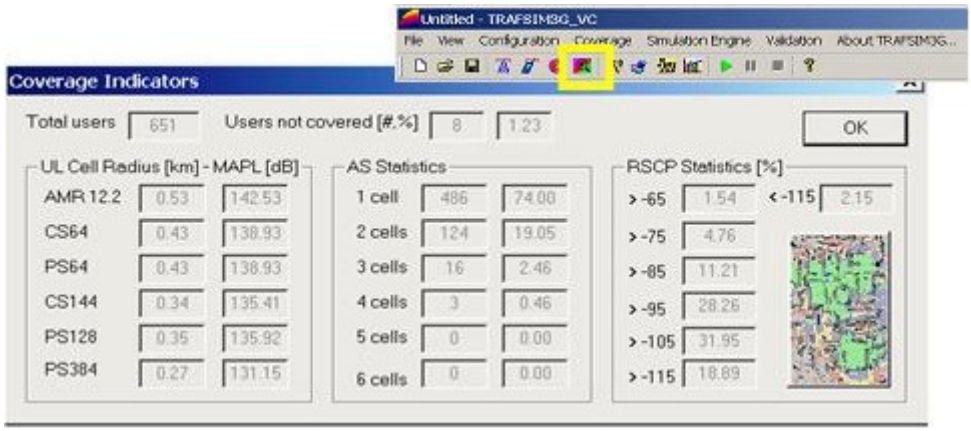


Figura H.5 - Níveis de cobertura.

- **Opções Gerais**

O menu ***General Configuration*** possibilita ao utilizador definir as directorias de entrada/saída e seleccionar os ficheiros de saída. O utilizador pode também decidir qual o UE/*Node B* para o qual pretende visualizar a evolução temporal na janela principal. É aqui que é definido o tempo de simulação e a frequência com que a informação é guardada, ver Figura H.6.

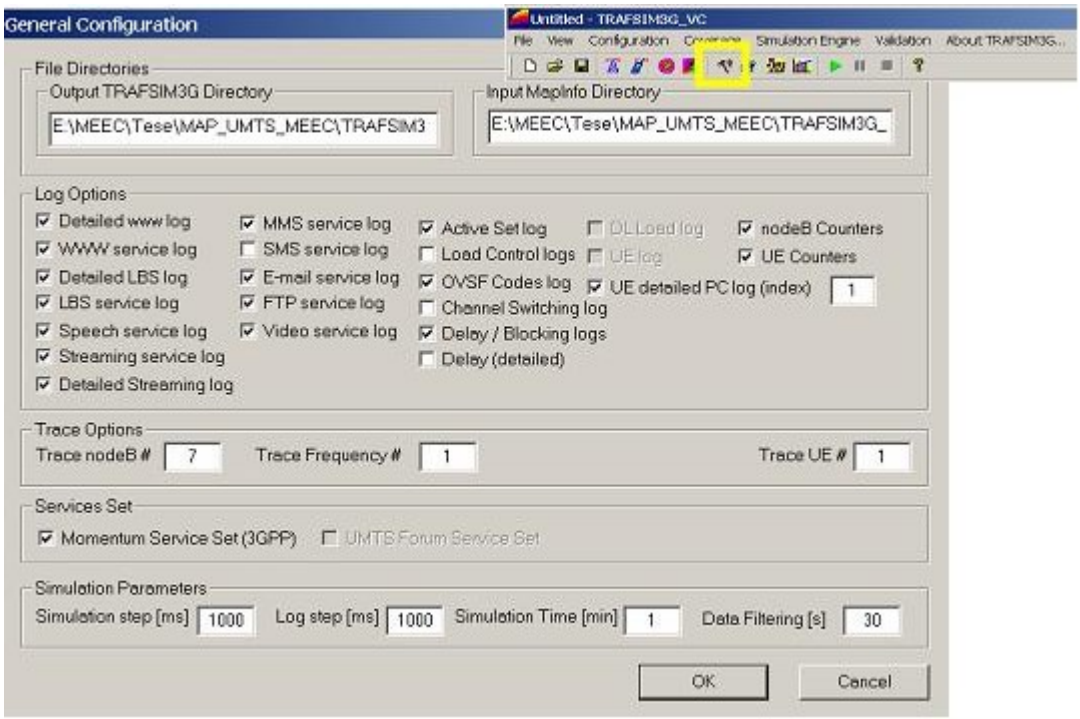


Figura H.6 - Menu *General Configuration*.

- **Serviços**

Os serviços e os parâmetros dos respectivos modelos de tráfego podem ser definidos no TRAFSIM3G. Os modelos de tráfego estão divididos por tipo: modelos de tráfego para voz e WWW (ver Figura H.7), modelos de tráfego para e-mail, FTP e vídeo (ver Figura H.8).

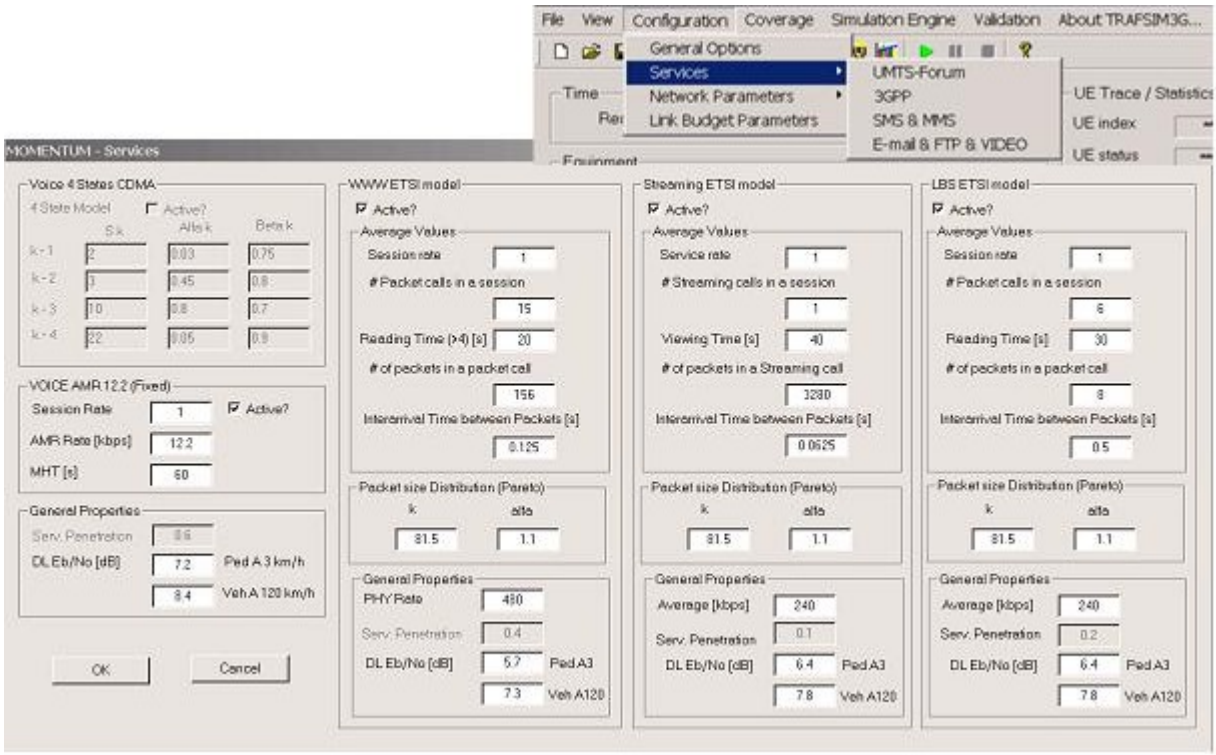


Figura H.7 - Modelos de tráfego para voz e WWW.

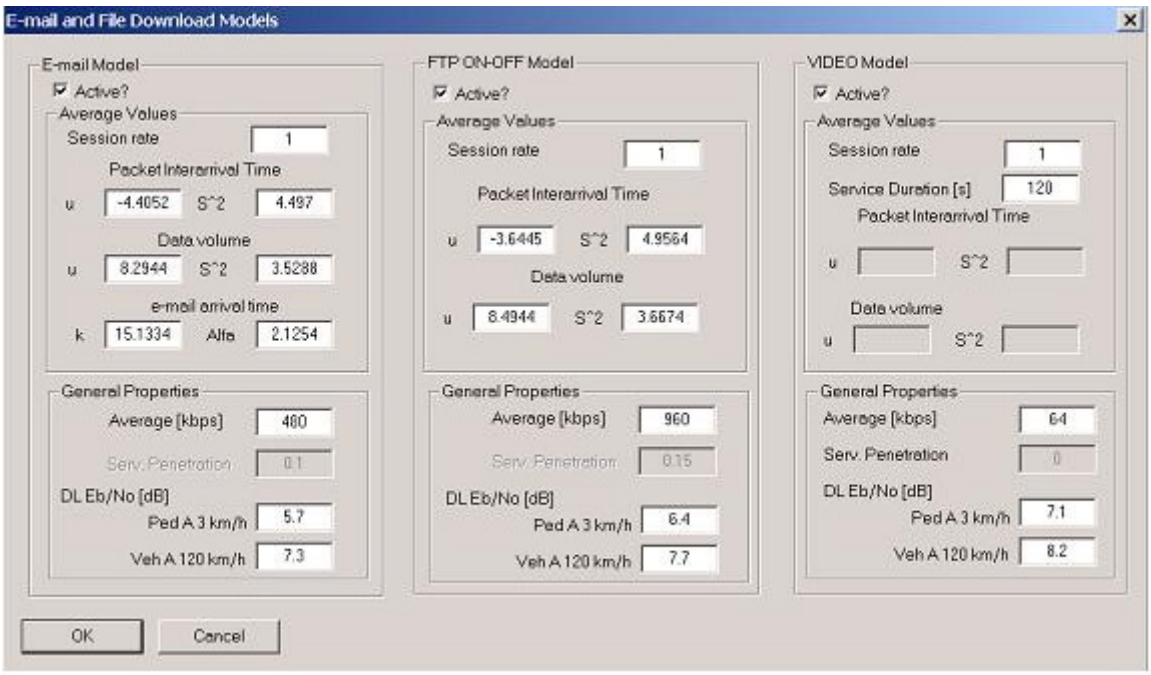


Figura H.8 - Parâmetros dos modelos de tráfego de e-mail, FTP e vídeo.

- **Parâmetros da rede – RRM**

O menu ***Radio Resource Management*** permite alterar todos os valores de RRM para as rotinas de SHO, controlo de potência e controlo de carga (Figura H.9). Contém também informação acerca dos CEs.

- **Parâmetros da rede – Dimensionamento**

Este menu (***Network Dimensioning***) contém todas as definições do processo de cálculo, como por exemplo definir o processo de cálculo da interferência, incluir elementos de canais comuns nos *Node Bs*, incluir o algoritmo para o cálculo da margem de desvanecimento rápido ou alternativamente escolher um valor fixo e definir o número de portadoras, Figura H.10.

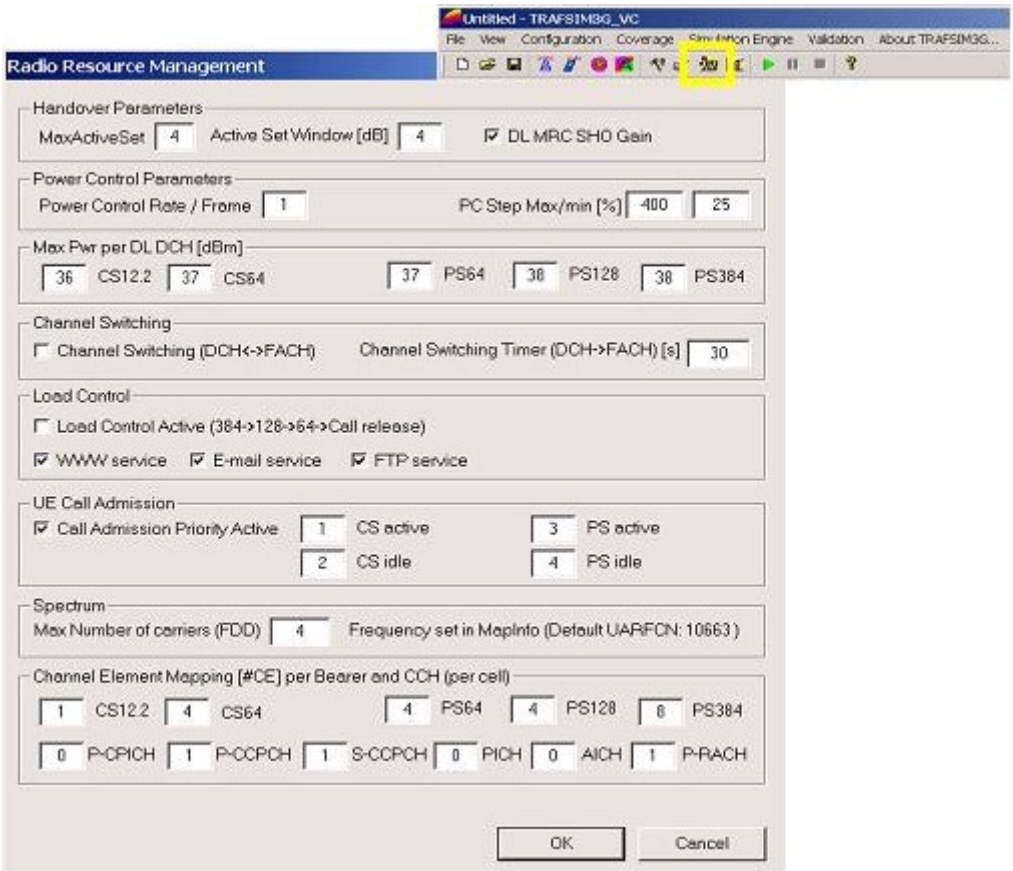


Figura H.9 - Parâmetros de RRM.

- **Parâmetros do Balanço de Potência de DL**

O menu ***Link Budget Parameters*** inclui todos os parâmetros do balanço de potência que não foram definidos no bloco GIS, como por exemplo factores de ortogonalidade, o factor de Rice (*K*) da margem de desvanecimento e a interferência intra ou inter celular, Figura H.11

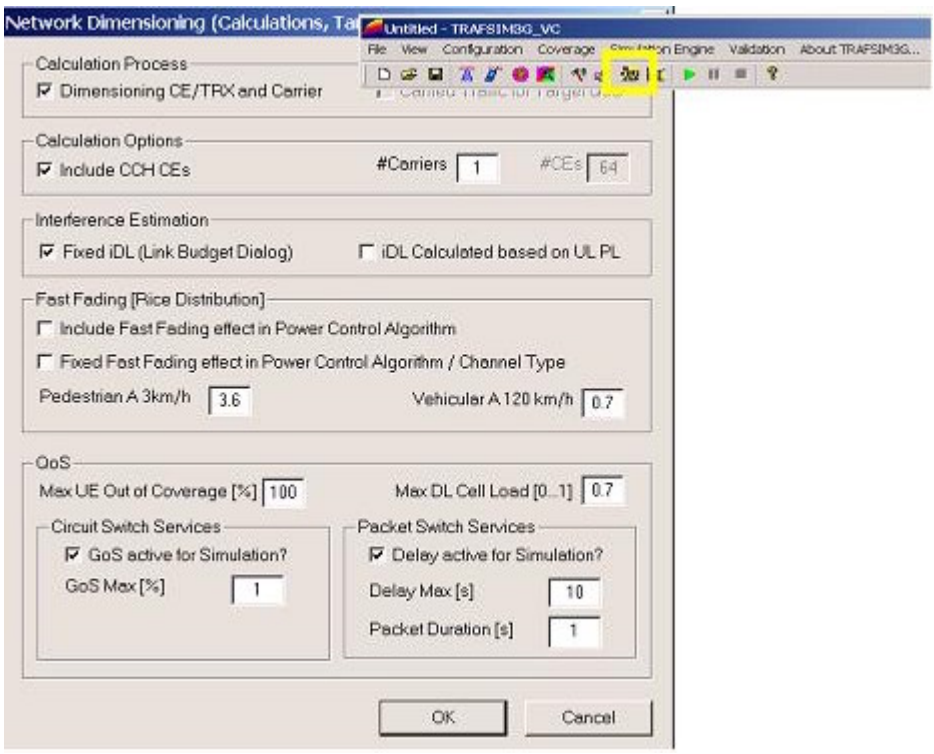


Figura H.10 - Parâmetros de dimensionamento da rede.

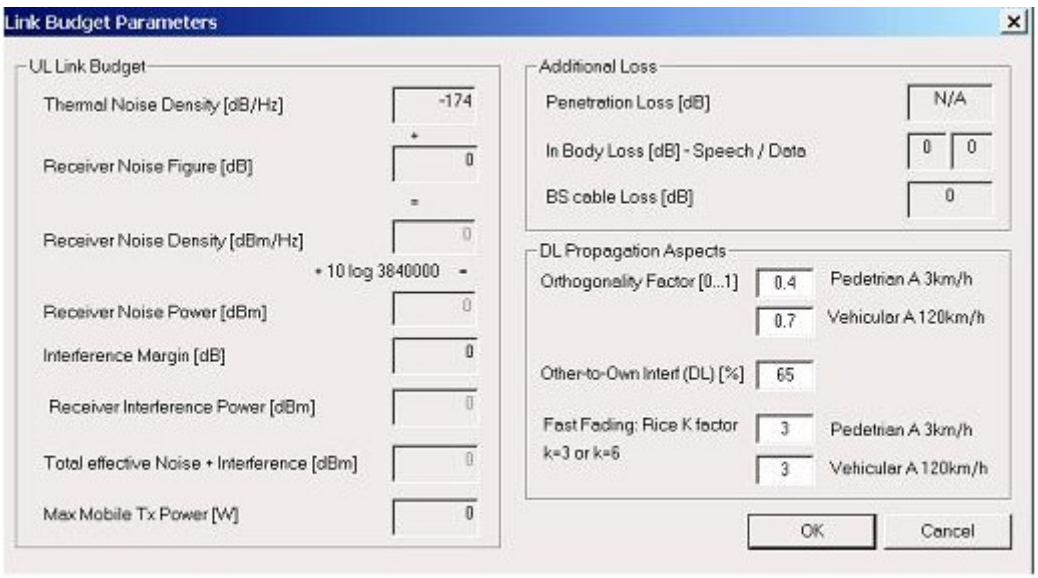


Figura H.11 - Parâmetros do balanço de potência para DL

Anexo I Ficheiros de Entrada/Saída do Módulo GIS

Neste anexo apresenta-se o formato dos ficheiros de entrada/saída usados no módulo GIS do TRAFSIM3G.

- **Ficheiros de Entrada**

Tabela I.1 - Índices da tabela das idades (extraído de [Sant04]).

Header	**Application**	**DL Rb [kbps] / CS,PS**	**Age<20**	**20<Age<64**	**Age>64**
Unit	N/A	N/A	[%]	[%]	[%]
Type	string	string	float	float	float
Example	audio-*on-demand*	64 (PS)	14	3	0

Tabela I.2 - Índices da tabela das habilitações e dos salários (extraído de [Sant04]).

Header	**No Education**	**Basic**	**Complementary**	**Degree**	**Low**	**Medium**	**Medium-High**	**High**
Unit	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Type	float	float	Float	float	float	float	float	float
Example	0	9	3	3	0	0	4	9

Tabela I.3 - Índices da tabela dos cenários (extraído de [Sant04]).

Header	**Clutter**	**Penetration**
Unit	N/A	[%]
Type	string	float
Example	Dense Residential	30

Tabela I.4 - Índices da tabela das antenas (extraído de [Sant04]).

Header	**Azimuth**	**RefToMaxGain**
Unit	º	[dB]
Type	int	float
Example	0	0.02 (16.98 dBi)

Tabela I.5 - Tabela das portadoras (extraído de [Sant04]).

Header	**Applic.**	**Service Type**	**Bearer**	**Switch. Type**	**QoS**	**UL Rb**	**DL Rb**	**Traf. Model Momentum**
Unit	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	[kbps]	[kbps]	N/A
Type	string	string	string	string	string	float	float	string
Example	audio_on demand	MUSIC_ON_ DEMAND	PS_IB_UL_64k bps_DL_64kbps	PS	I/B	64	64	streaming

Tabela I.6 - Tabela das portadoras (cont.), (extraído de [Sant04]).

Header	**SF_UL**	**SF_DL**	**TTI_UL**	**TTI_DL**	**Coding_U L**	**Coding_ DL**	**PHY_UL_ Rb**	**PHY_DL_R b**
Unit	N/A	N/A	[ms]	[ms]	N/A	N/A	[kbps]	[kbps]
Type	int	int	int	int	float	float	float	float
Example	16	32	20	20	1/3	1/3	240	240

Tabela I.7 - Índices da tabela E_b/N_0 (extraído de [Sant04]).

Header	**Rb / Switch**	**Channel Type**	**UL**	**DL**
Unit / Range	[kbps] / [CS, PS]	[Pedestrian, Vehicular, Indoor]	[dB]	[dB]
Type	int	string	float	float
Example	64 (CS)	Pedestrian	4.2	6.7

Tabela I.8 - Índices da tabela dos distritos (extraído de [Sant04]).

Header	**District name**	**Prese nt pop.**	**Age <20**	**20<Age <64**	**Age >64**	**No Educ.**	**Basic**	**Comple-mentary**	**Degree**	**Salary**
Unit	N/A	N/A	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	List
Type		int	float	float	float	float	float	float	float	string
Example	S.João de Deus	33640	22.95	33.34	43.71	6.70	31.91	22.28	39.11	High

Tabela I.9 - Índices da tabela do *clutter* (extraído de [Sant04]).

Header	**ID**	**Clutter**	**Clutter_ID**
Unit	N/A	N/A	N/A
Type	int	string	int
Example	404	Dense Residential	1

Tabela I.10 - Índice da tabela dos *Node Bs* (extraído de [Sant04]).

Header	Site code	Site name	City	X (Lon.)	Y (Lat.)	Z Height	Sector 1,2,3 Azimuth	Sector 1,2,3 PA power	Sector 1,2,3 CPICH	Sect 1,2,3 CCH
Unit	N/A	N/A	N/A	dec W	dec N	m	º	W	W	W
Type	string	String	string	float	float	float	int	float	float	float
Example	1010 1	NodeB10 1	Lisbo n	-9.096	38.75	0 (N/A)	0,120,240	20	2	6

- **Ficheiros de Saída**

Tabela I.11 - Índices do ficheiro *Users.txt* (extraído de [Sant04]).

Header	User_Id	Long	Lat	Serv#1	Serv#2
Unit	N/A	dec	dec	list {PS64/128/384, CS64, None}	list {PS64/128/384, CS64, None}
Type	int	float	float	string	string
Example	1	-9.15	38.73	PS128	None

Tabela I.12 - Índices do ficheiro *Users.txt* (cont.), (extraído de [Sant04]).

Header	S1 Id	S2 Id	Clutter Id	Channel	Pen.	S1 Mom.	S2 Mom.
Unit	1- CS12.2 2- CS64 3- CS144 4- CS384 5- PS64 6- PS128 7- PS384	same as S1 Id	1- Dense Res. 2- Light Res. 3- Mixed B. 4- Tertiary B. 5- Industrial B. 6- Roads 7- Green Areas	1-Ped. 2- Veh.	[dB]	6- speech 7- WWW 8- VideoConf. 9- Streaming 10- LBS 11- SMS 12 - MMS 13- E-mail 14- FTP	same as S1 Momentum -99- none
Type	int	int	int	int	float	int	int
Example	6	0	7	1	0	7	-99

Tabela I.13 - Índices do ficheiro *BSULcoverage.txt* (extraído de [Sant04]).

Header	UE_Id	BSnum	BSn	BSndist	BSnangle	Cell_n	Path_n
Unit	N/A	<9	N/A	[km]	º [0...359]	sitecode + cell_index)	[dB]
Type	int	int	string	float	float	string	float
Example	1	3	10007	0.43	205.6	100072	142.59

Tabela I.14 - Índices do ficheiro *ExportLinkBudget.txt* (extraído de [Sant04]).

Parameter	Variable	Unit	Type	Example	Comments
RMAX_UL_service	cell radius	[km]	float	0.425	speech, CS or PS64/128/384
p_ue_tx	UE power	[dBm]	float	21	
ue_gain	UE ant. gain	[dBi]	float	0	
serv	Target Service	N/A	Int	1	1-Speech, 2-CS64, 3-PS64, 4–CS144, 5-PS128, 6-PS384
c_users	Flag	N/A		1	Show Users: informative
body_loss_voice	-	[dB]		3	
body_loss_data	-	[dB]		1	
deep_ind	Indoor Penetration	[dB]		0	Used for RMAX_UL
stdev_out	stdev outdoor	[dB]		7	
stdev_ind	stdev indoor	[dB]		6	
cov_prob	coverage probability	[%]		95	
dist_coef	distance coefficient	[dB/km]		3.8	
sho_gain	soft handover gain	[dB]		3	
ffm_marg	fast fading margin	[dB]		3.5	
NodeB_NF	noise figure	[dB]		3	
ant_gain	NodeB ant. gain	[dBi]		17	
tma	TMA existence	int		0	
cable_loss	-	[dB]		3	
tma_gain	-	[dB]		12	
tma_nf	TMA noise figure	[dB]		2	
load_marg	Load factor	[%]		0.5	

Anexo J Ficheiros de Entrada/Saída do Módulo VC++

Neste anexo apresenta-se o formato dos ficheiros de entrada/saída usados no bloco VC++ do TRAFSIM3G. De referir que os ficheiros de entrada deste bloco são os ficheiros de saída do bloco GIS, apresentados no Anexo H.

- **Ficheiros de Saída**

Tabela J.1 - Índices do ficheiro TREAFSIM3G.log (extraído de [Sant04]).

Parameter / File entry	Type	Example
Number of NodeB	string	Created 17 NodeB
NodeB object creation check	string	NodeB inputs and OVSF tree created
Number of UE and object check	string	Created 1382 UEs
UE inputs check	string	UE inputs loaded
Traffic vector creation check	string	Initiated 3GPP UE services
File load check	string	Link Budget from MapInfo loaded
File load check	string	Services and Bearer mapping from MapInfo loaded
File load check (BSULcoverage)	string	Loaded UE coverage file and AS processing
Start time	string	Simulation started at 19:53:40
Service assignment for UE (# sessions)	string	3GPP_SPEECH traffic created: Ns=0 for UE Id=5
Stop time	string	Simulation ended at 19:57:23

Tabela J.2 - Índices do ficheiro dos serviços.log (extraído de [Sant04]).

Filename	Detailed	File contents
Speech		#sessions, start frame, duration [s]
WWW	Yes	#sessions, start frame, # occupied frames
Video Conference		#sessions, start frame, duration [s]
Streaming	Yes	#sessions, start frame, # occupied frames
LBS	Yes	#sessions, start frame, # occupied frames
SMS / MMS		#sessions, start frame, SMS / MMS size [kB], # occupied frames
E-mail		#sessions, start frame, E-mail size [B], # occupied frames
FTP		#sessions, start frame, FTP size [B], # occupied frames

Tabela J.3 - Índices do ficheiro da potência de controlo do UE (extraído de [Sant04]).

Parameter / File entry	Unit	Type	Example
UE Index	N/A	Int	23
Active Set link	N/A	Int (0...5)	0 (main link)
Timeslot	N/A	Int (0...14)	0 (see Section **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**)
Frame Number	N/A	Int	2944
UE Rx Power	[dBm]	Float	-114.97
UE Power in NodeB PA	[W]	Float	0.0246
FFM attenuation	[dB]	Float	0
I_{oth}	W	Float	5.847E-14
I_{oth}/I_{own}	N/A	Float	0.65

Tabela J.4 - Índices dos ficheiros dos contadores do UE (extraído de [Sant04]).

Parameter / File entry	Unit	Type	Example
UE Index	N/A	Int	431
Offered volume	[kB]	float	29.6
Carried volume	[kB]	float	29.6
Maximum rate	[kbps]	float	128
Average rate	[kbps]	float	122.7
Service	N/A	Int	13
LC_384to128, LCxxtoyy	N/A	Int	0 (load control counters / service)
Number CS calls	N/A	Int	0
CS calls blocked	N/A	Int	0
PS packets	N/A	Int	32
Number delayed packets	N/A	Int	8
Total PS delay	[s]	float	0.08

Tabela J.5 - Índices dos ficheiros dos contadores dos *Node Bs* (extraído de [Sant04]).

File entry	Unit	Type	Description / Example
Time	s	float	0 - Only available in time and time filter files
NodeBcode	N/A	string	10101
Cell	N/A	Int	1
mrlaxx / mrldxx	N/A	Int	Main radio link addition/deletion (divided in total, CS and for each service: e.g., mrla6 for speech)
rlaxx / rldxx	N/A	Int	Radio link addition/deletion for SHO links (divided in total, CS and for each service: e.g., mrla6 for speech)
mrlarejdistxx / mrlarejdistxx	N/A	Int	Main radio link addition/deletion and Radio link addition/deletion links rejected due to high pathloss (distance)
mrlarej**pwr**xx / mrlarej**pwr**xx	N/A	Int	Main radio link addition/deletion and Radio link addition/deletion links rejected due to high load
mrlarej**ovsf**xx / mrlare**ovsf**xx	N/A	Int	Main radio link addition/deletion and Radio link addition/deletion links rejected due to shortage of OVSF codes
mrlarej**PA power**xx / mrlare**PA power**xx	N/A	Int	Main radio link addition/deletion and Radio link addition/deletion links rejected due to shortage of PA power
mrlarej**DLpwr**xx / mrlare**DLpwr**xx	N/A	Int	Main radio link addition/deletion and Radio link addition/deletion links rejected due to high DL link power (above value defined in RRM window per RB)
MaxTrafPA power	W	float	Maximum PA power value (traffic only) in BH
AvgTrafPA power	W	float	Average PA power value (traffic only) in BH
MaxRadioLinks	N/A	Int	Maximum number of simultaneous radio links (per sector)
MaxCE_T	N/A	Int	Maximum number of channel elements for traffic
CE_CCH	N/A	Int	Channel elements for common channels traffic processing
CE_Total	N/A	Int	Total channel elements number (traffic + CCH, per sector)
Max Carrier / (TRX)	N/A	Int	Maximum number of carriers / transceivers
Max_SFxx	N/A	Int	Maximum simultaneous code allocations of SFxx (4…512)
SP_kB_main, …	N/A	float	Traffic volume for main links (one per service)
SP_kB_sho, …	N/A	float	Traffic volume for soft handover (SHO) links (per service)
SP_kB_ssho, …	N/A	float	Traffic volume for softer handover (SSHO) links (per service)
P64_kB_main, …	N/A	float	Traffic volume for 64 kbps bearer (per PS RB)
PS64_kB_sho, …	N/A	float	Traffic volume for 64 kbps bearer SHO links (per PS RB)
PS64_kB_ssho, …	N/A	float	Traffic volume for 64 kbps SSHO links (per PS RB)

Tabela J.6 Índices dos ficheiros *CodeAlloc* e *CodeDelloc* (extraído de [Sant04]).

Parameter / File entry	Unit	Type	Example
Time	s	float	10
Sitecode	N/A	Int	10101
Sector	N/A	Int	1
Sitename	N/A	string	NodeB10101
# OVSF codes (per SF)	N/A	Int	2 (SF32)

Tabela J.7 - Índices dos ficheiros dos acontecimentos de bloqueio e atraso (extraído de [Sant04]).

Parameter / File entry	Unit	Type	Example / Description
UE Index	N/A	Int	3 - UE identifier
Service	N/A	Int	6 – (speech)
Time	N/A	Int	2300 (frame number)
DropReason	1….5	Int	1 (1-load, 2-ovsf, 3-PA power, 4-DL pwr, 5-distance)
ASindex	N/A	Int	0 (active set index 0 is main, 1...5 are SHO links)
Value	[%, N/A, W, W, km]	float	0.72 (DL maximum load is 70%)

Tabela J.8 - Índices do ficheiro de *active set* (extraído de [Sant04]).

Parameter / File entry	Unit	Type	Example / Description
UE Index	N/A	Int	23
AS size	N/A	Int	2
cellcode (cell 0 to 5)	N/A	string	10101**2 ,** 10101**3 (nocell** is used in case no cell in the active set)

Anexo K Mapas da Geração de Utilizadores

Neste anexo encontram-se representados os mapas da geração de utilizadores para todos os modos usados nas simulações, do cenário de referência.

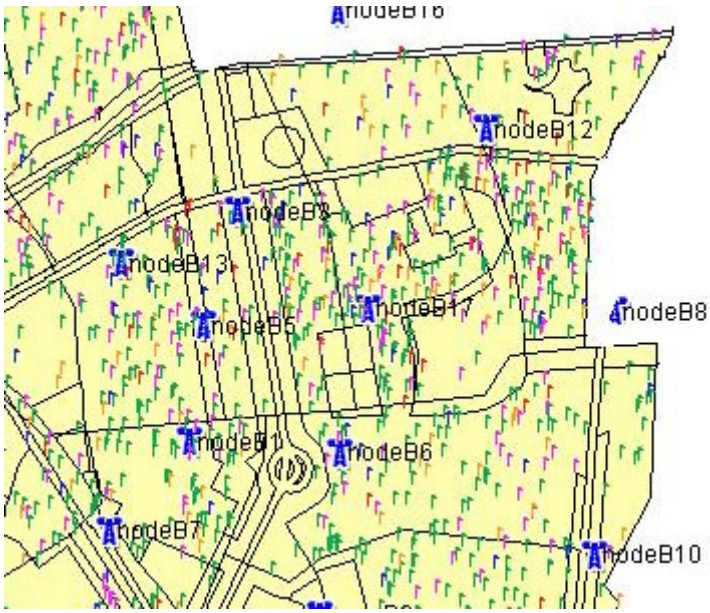


Figura K.1 - Mapa da geração de utilizadores para FDD.

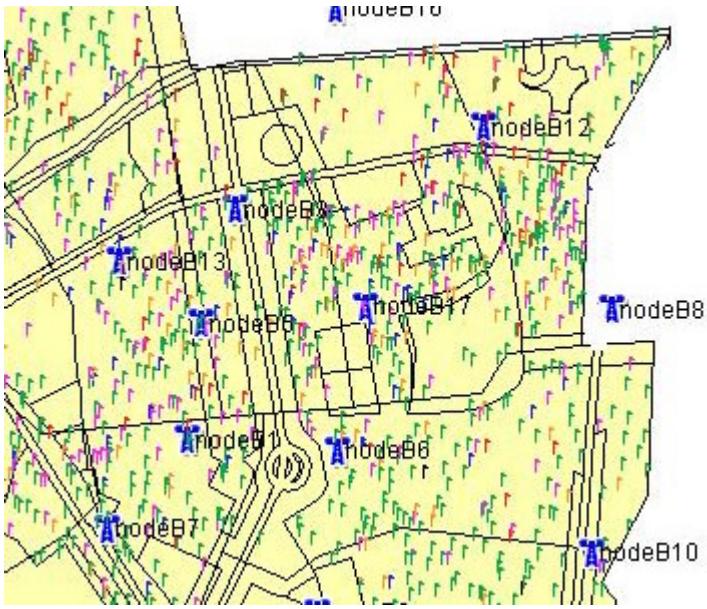


Figura K.2 - Mapa da geração de utilizadores para TDD.

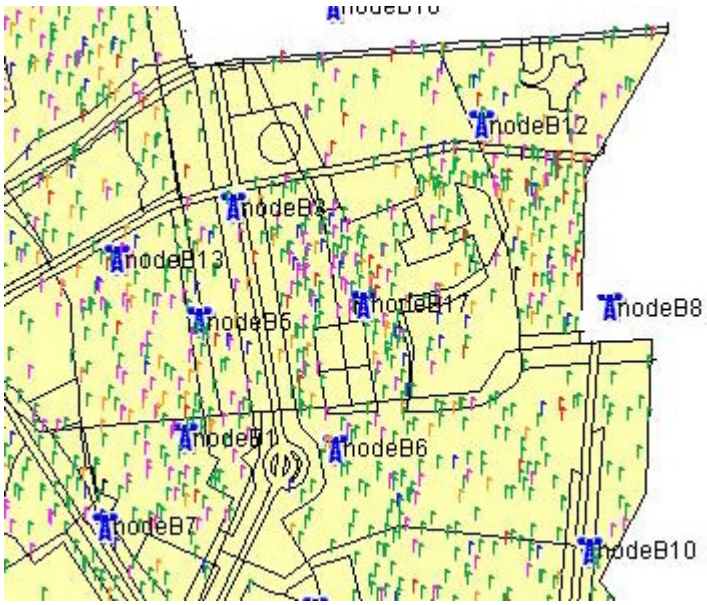


Figura K.3 - Mapa da geração de utilizadores para FDD/HSDPA.

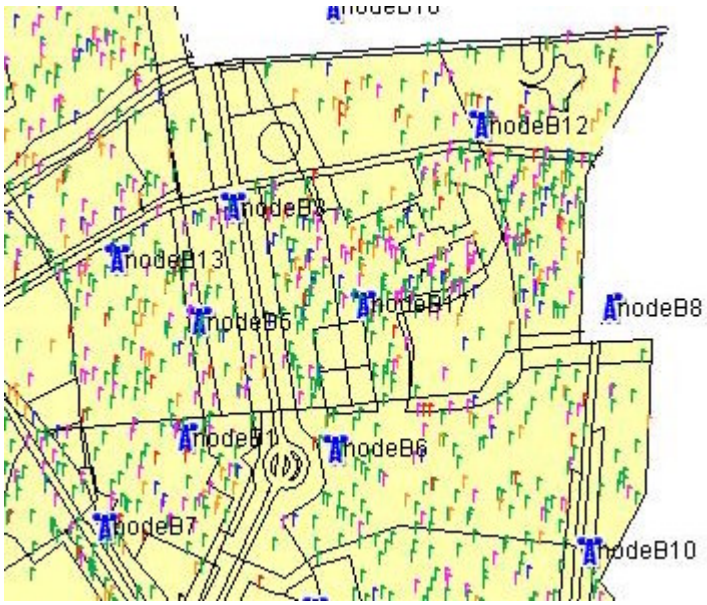


Figura K.4 - Mapa da geração de utilizadores para FDD+TDD.

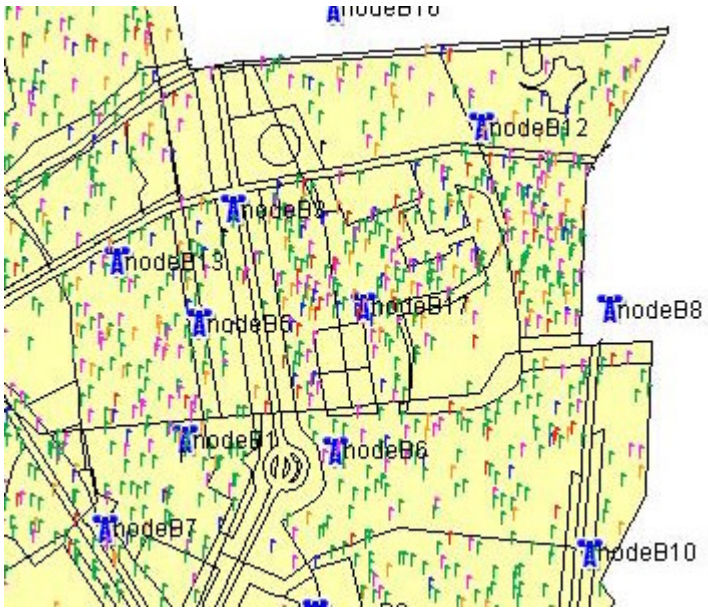


Figura K.5 - Mapa da geração de utilizadores para FDD/HSDPA+TDD.

Anexo L Tabelas da Distribuição dos Serviços

Neste anexo encontram-se representadas as tabelas da distribuição dos serviços para os cenários usados nas simulações, referência e dados.

Tabela L.1 - Distribuição dos serviços pela idade dos utilizadores para o cenário de referência.

Seviços	DL RB [kbps]	Comutação	Serviços Base	<20 Anos	[20,64] Anos	>64 Anos
Voz	12.2	CS	*Speech*	44	48	90
Video-conferência	64	PS	*Streaming*	9	2	0
Video-telefonia	64	CS	*Video*	5	9	2
Video-*on-demand*	384	PS	*Streaming*	3	2	0
Web-browsing	128	PS	*www*	6	12	5
Chat	64	PS	*www*	26	13	1
LBS	64	PS	*lbs*	1	7	2
Jogos interactivos	128	PS	*Streaming*	4	2	0
FTP	384	PS	*ftp*	2	7	0

Tabela L.2 - Distribuição dos serviços pelo rendimento dos utilizadores para o cenário de referência.

Seviços	DL RB [kbps]	Comutação	Serviços Base	Baixo	Médio	Médio-alto	Alto
Voz	12.2	CS	*Speech*	95	87	66	34
Video-conferência	64	PS	*Streaming*	0	0	2	7
Video-telefonia	64	CS	*Video*	0	2	5	11
Video-*on-demand*	384	PS	*Streaming*	0	0	1	7
Web-browsing	128	PS	*www*	0	1	4	10
Chat	64	PS	*www*	4	7	14	17
LBS	64	PS	*lbs*	0	1	4	6
Jogos interactivos	128	PS	*Streaming*	1	3	4	5
FTP	384	PS	*ftp*	0	0	0	3

Tabela L.3 - Distribuição dos serviços pela escolaridade dos utilizadores para o cenário de referência.

Seviços	DL RB [kbps]	Comutação	Serviços Base	Sem Educação	Básico	Comple.	Superior
Voz	12.2	CS	*Speech*	95	80	62	50
Video-conferência	64	PS	*Streaming*	0	3	4	2
Video-telefonia	64	CS	*Video*	2	2	4	9
Video-*on-demand*	384	PS	*Streaming*	0	0	2	1
Web-browsing	128	PS	*www*	0	2	9	13
Chat	64	PS	*www*	0	9	12	12
LBS	64	PS	*lbs*	0	0	3	4
Jogos interact.	128	PS	*Streaming*	3	5	4	2
FTP	384	PS	*ftp*	0	0	0	8

Tabela L.4 - Distribuição dos serviços pela idade dos utilizadores para o cenário de dados.

Seviços	DL RB [kbps]	Comut.	Serviços Base	<20 Anos	[20,64] Anos	>64 Anos
Voz	12.2	CS	*Speech*	11	11	59
Video-conferência	64	PS	*Streaming*	14	3	0
Video-telefonia	64	CS	*Vídeo*	8	14	8
Video-*on-demand*	384	PS	*Streaming*	4	3	0
Web-browsing	128	PS	*www*	10	20	20
Chat	64	PS	*www*	42	22	4
LBS	64	PS	*lbs*	1	12	8
Jogos interact.	128	PS	*Streaming*	7	3	0
FTP	384	PS	*ftp*	3	12	1

Tabela L.5 - Distribuição dos serviços pelo rendimento dos utilizadores para o cenário de dados.

Seviços	DL RB [kbps]	Comut.	Serviços Base	Baixo	Médio	Médio -alto	Alto
Voz	12.2	CS	*Speech*	75	52	24	8
Video-conferência	64	PS	*Streaming*	0	0	4	9
Video-telefonia	64	CS	*Vídeo*	0	7	12	15
Video-*on-demand*	384	PS	*Streaming*	0	0	2	9
Web-browsing	128	PS	*www*	1	3	8	14
Chat	64	PS	*www*	19	25	32	24
LBS	64	PS	*lbs*	0	3	8	8
Jogos interactivos	128	PS	*Streaming*	5	10	10	8
FTP	384	PS	*ftp*	0	0	0	5

Tabela L.6 - Distribuição dos serviços pela escolaridade dos utilizadores para o cenário de dados.

Seviços	DL RB [kbps]	Comt.	Serviços Base	Sem Educação	Básico	Comple.	Sup.
Voz	12.2	CS	*Speech*	76	39	21	14
Video-conf.	64	PS	*Streaming*	0	9	9	3
Video-telefonia	64	CS	*Vídeo*	10	6	7	16
Video-*on-demand*	384	PS	*Streaming*	0	0	4	2
Web-browsing	128	PS	*www*	0	6	18	21
Chat	64	PS	*www*	0	26	26	21
LBS	64	PS	*lbs*	0	0	5	7
Jogos interact.	128	PS	*Streaming*	14	14	9	3
FTP	384	PS	*ftp*	0	0	1	13

Anexo M Gráficos da Análise dos Ficheiros de Saída

- **Cenário de referência**

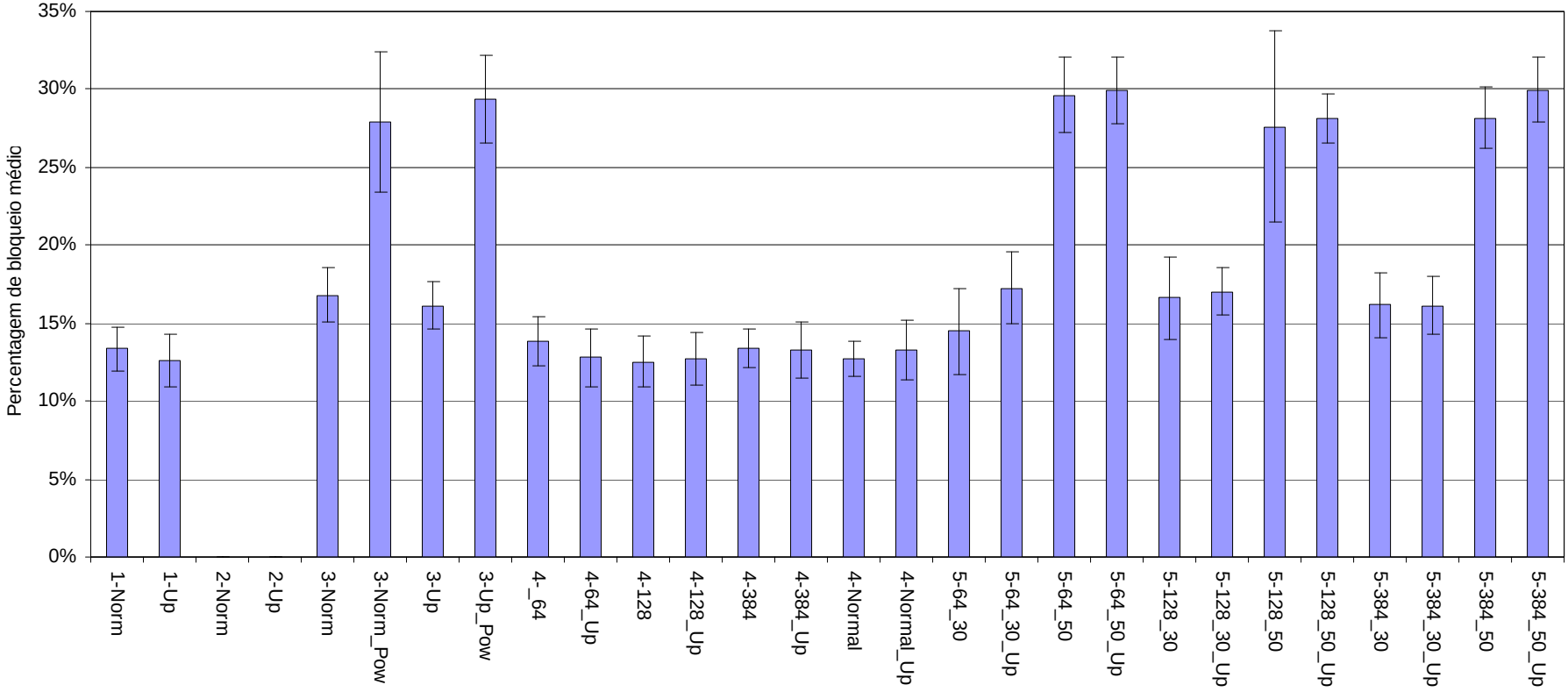


Figura M.1 - Probabilidade de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário referência.

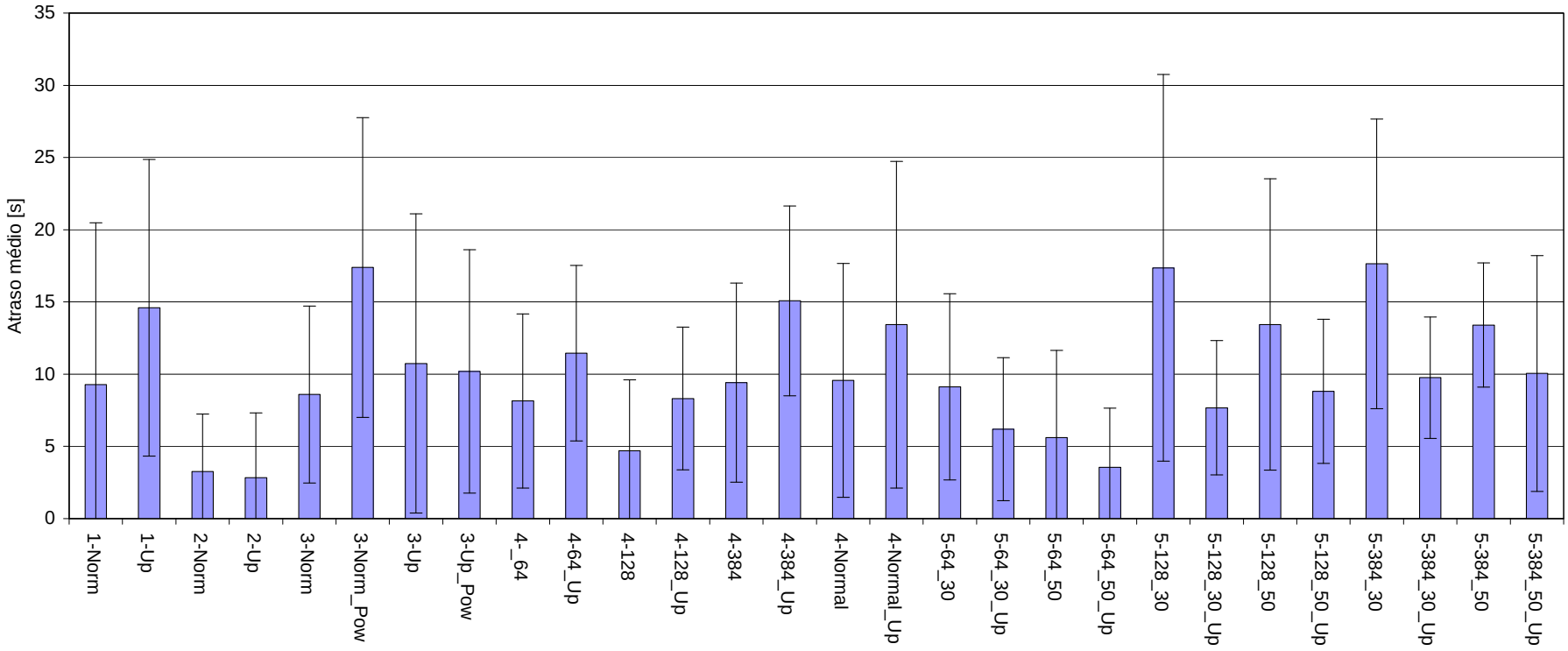


Figura M.2 - Atraso médio para todos os modos de transmissão para o cenário de referência.

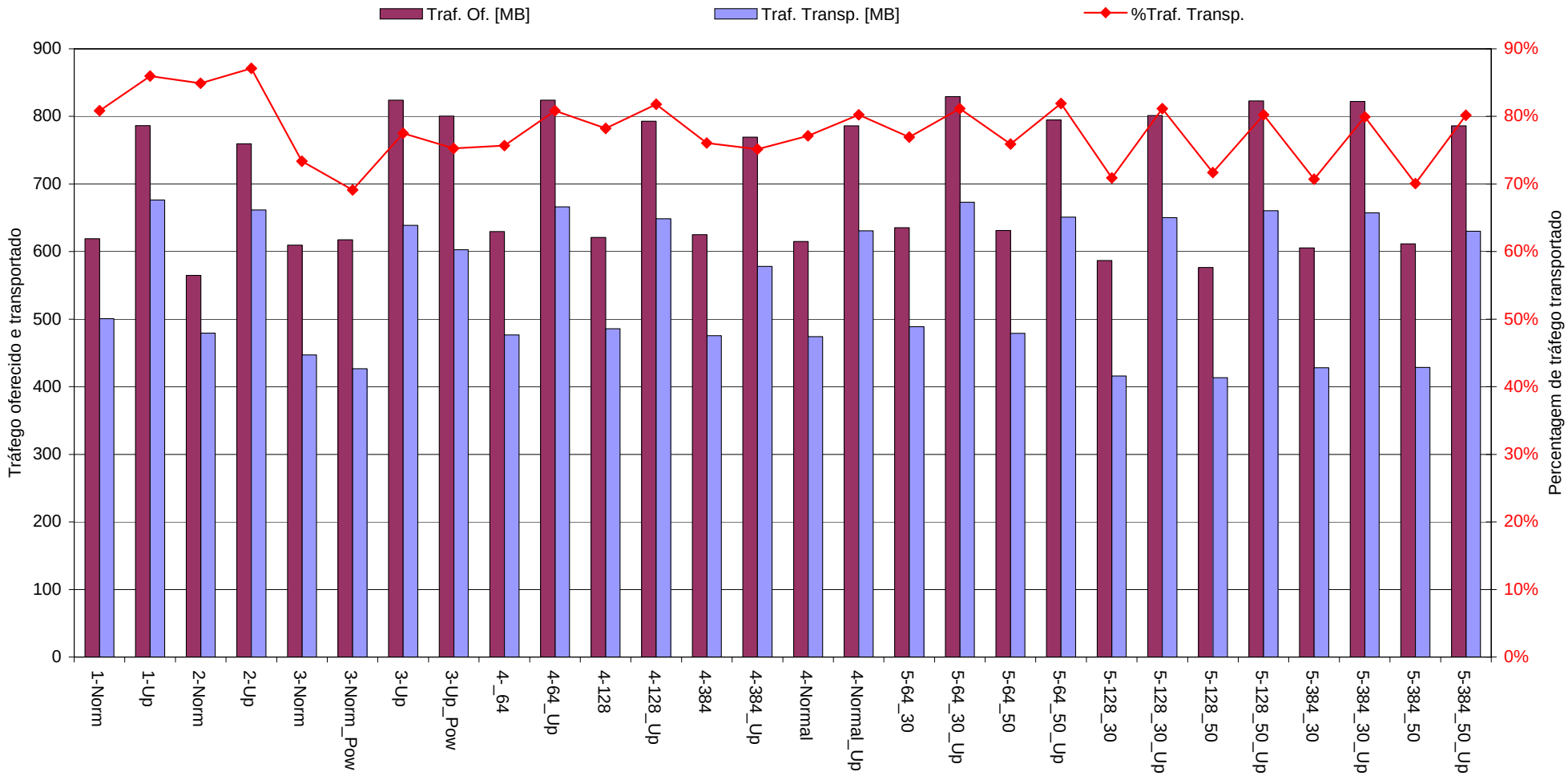


Figura M.3 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado em todos os modos de transmissão para o cenário de referência.

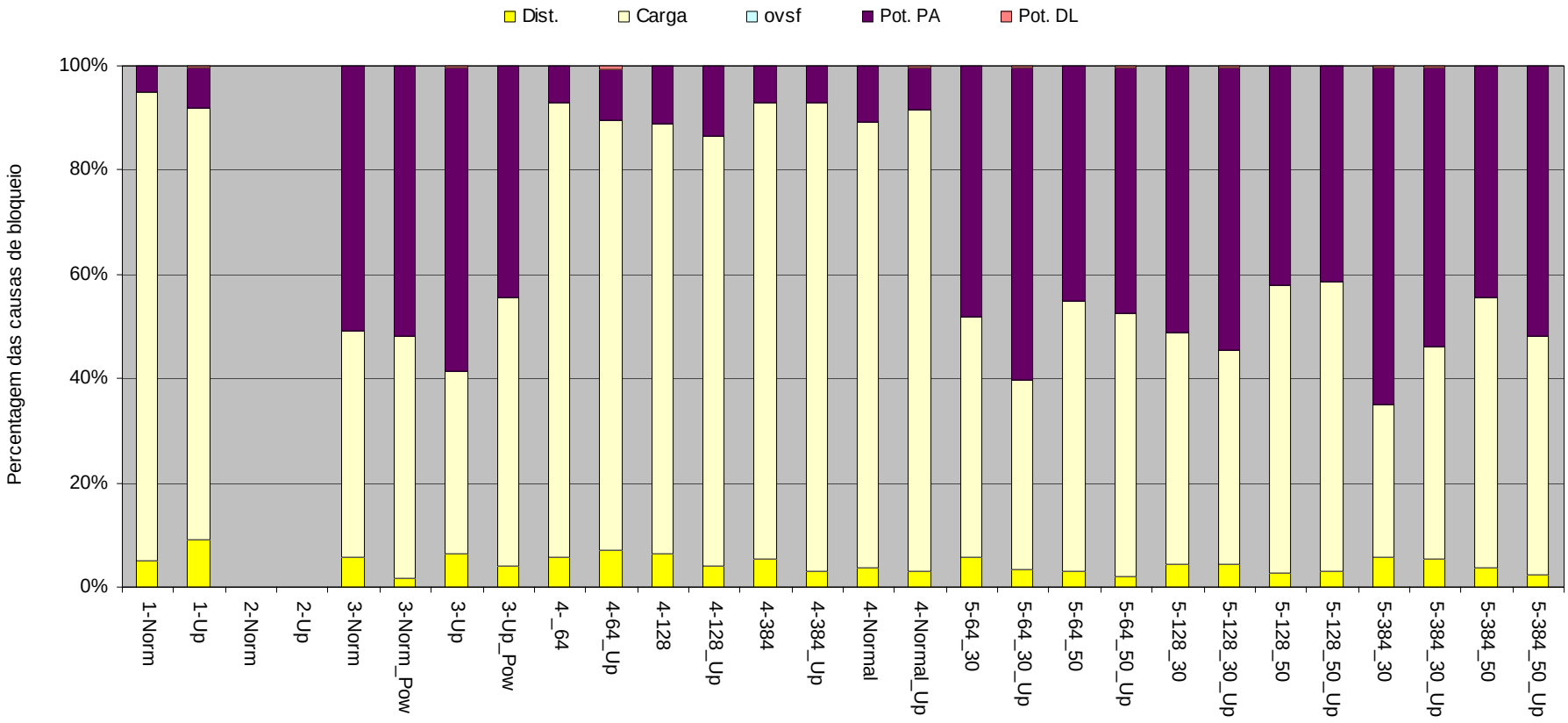


Figura M.4 - Percentagem das causas de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário de referência.

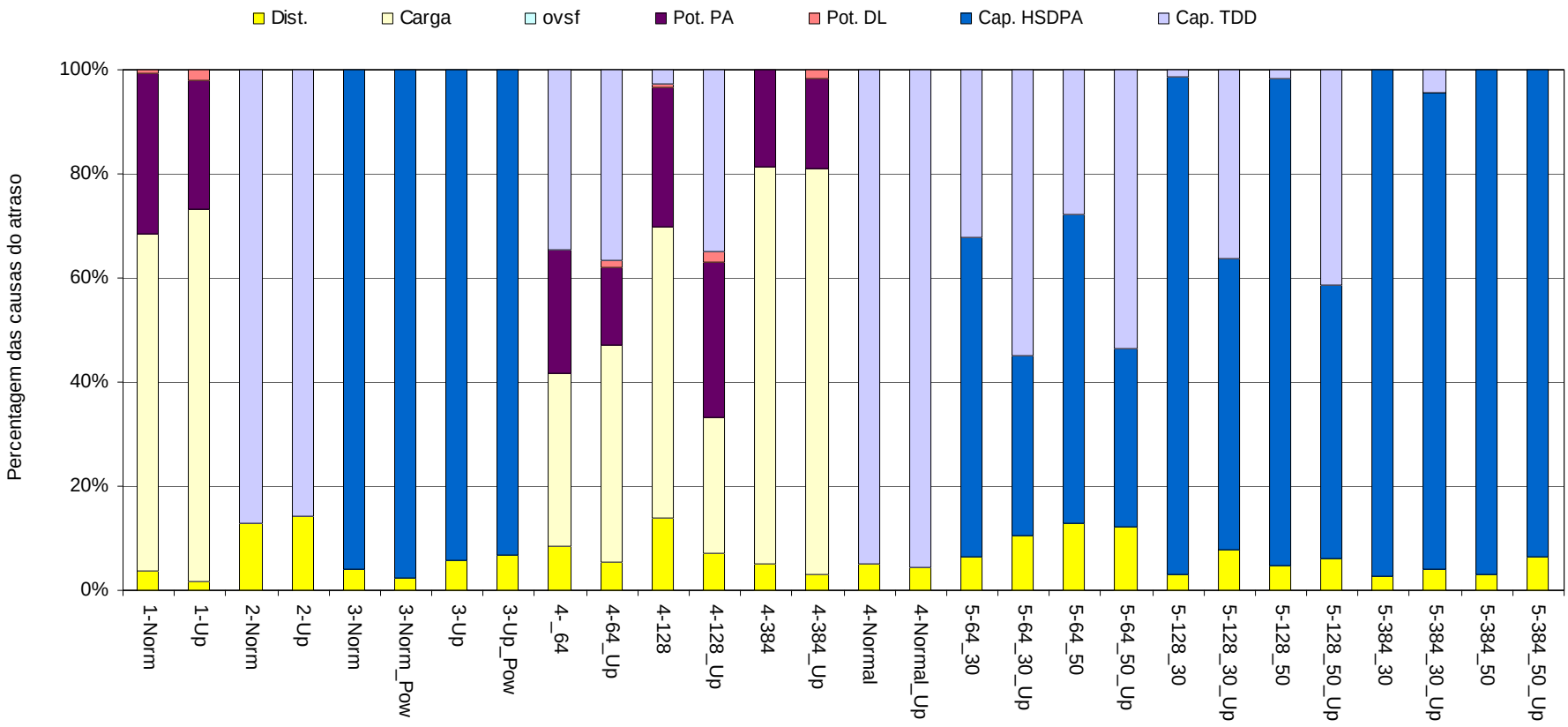


Figura M.5 - Percentagem das causas do atraso para todos os modos de transmissão para o cenário de referência.

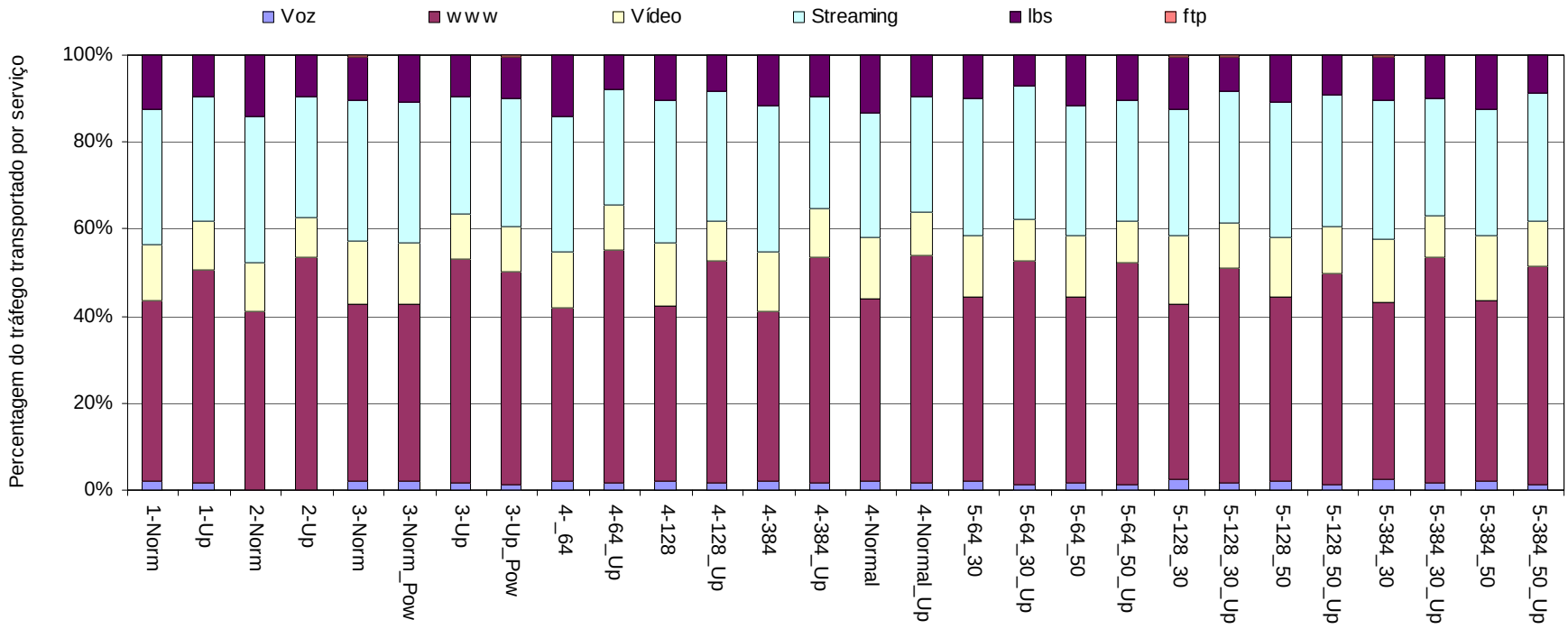


Figura M.6 - Percentagem dos serviços no tráfego total para todos os modos de transmissão para o cenário de referência.

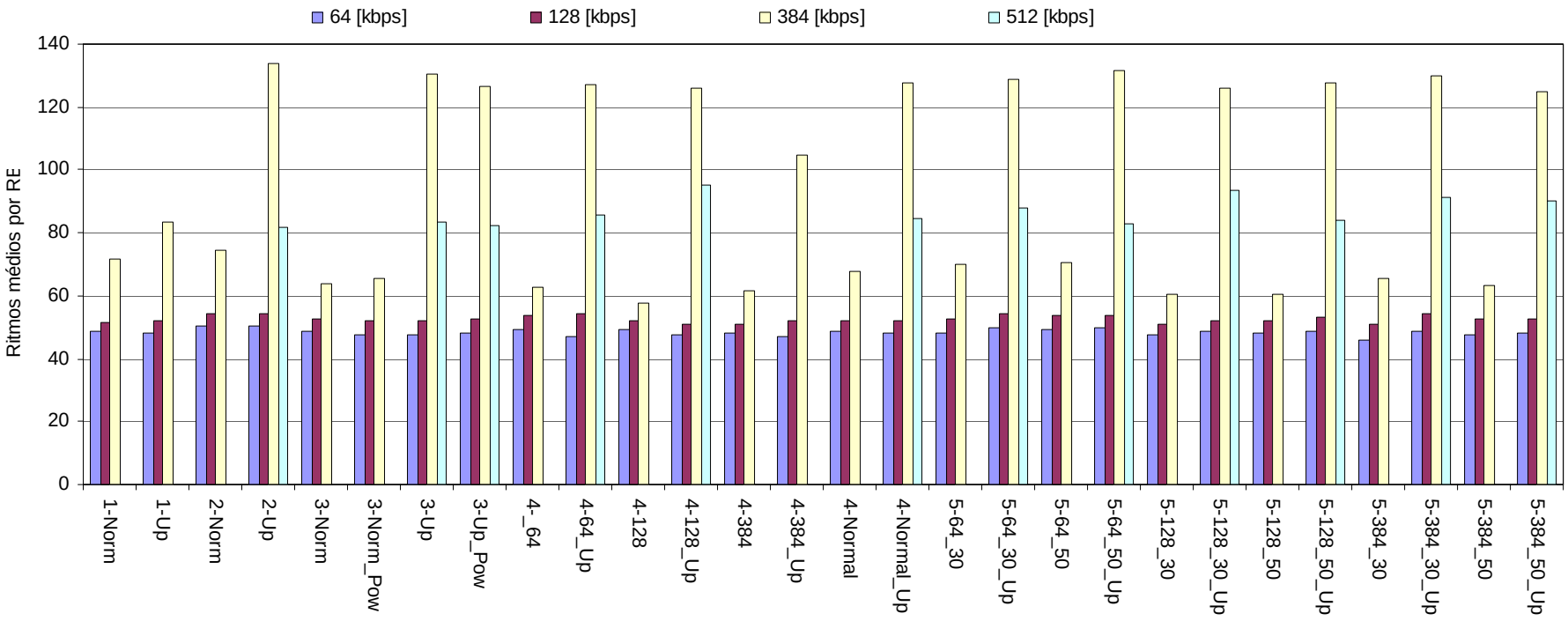


Figura M.7 - Ritmos médios de transmissão para todos os modos de transmissão para o cenário de referência.

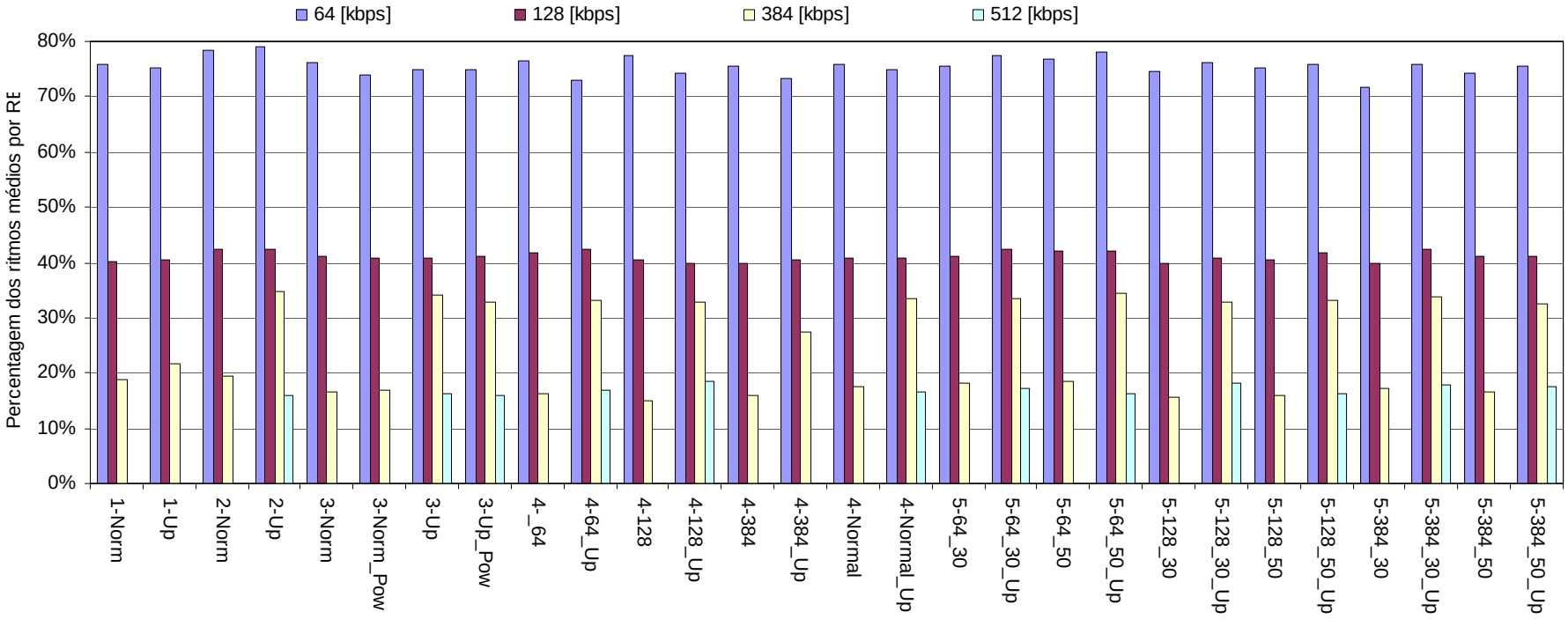


Figura M.8 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos para todos os modos de transmissão para o cenário de referência.

Modo de transmissão 1-FDD, 2-TDD e 3-FDD+TDD

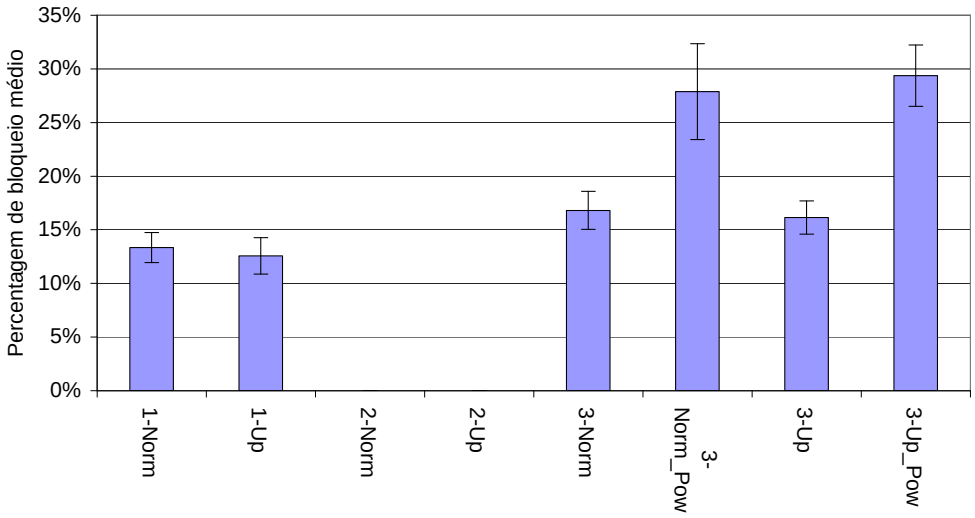


Figura M.9 - Probabilidade de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

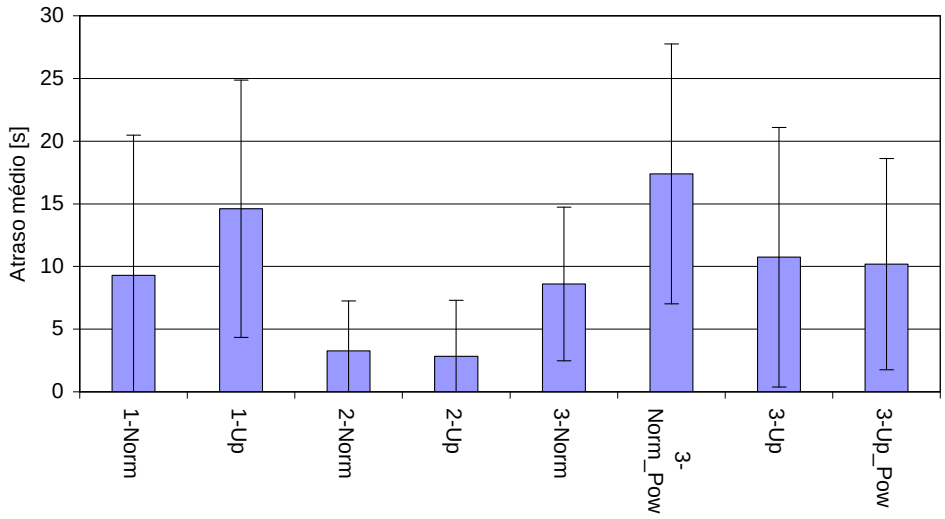


Figura M.10 - Atraso médio nos modos 1,2 e 3 para o cenário de referência.

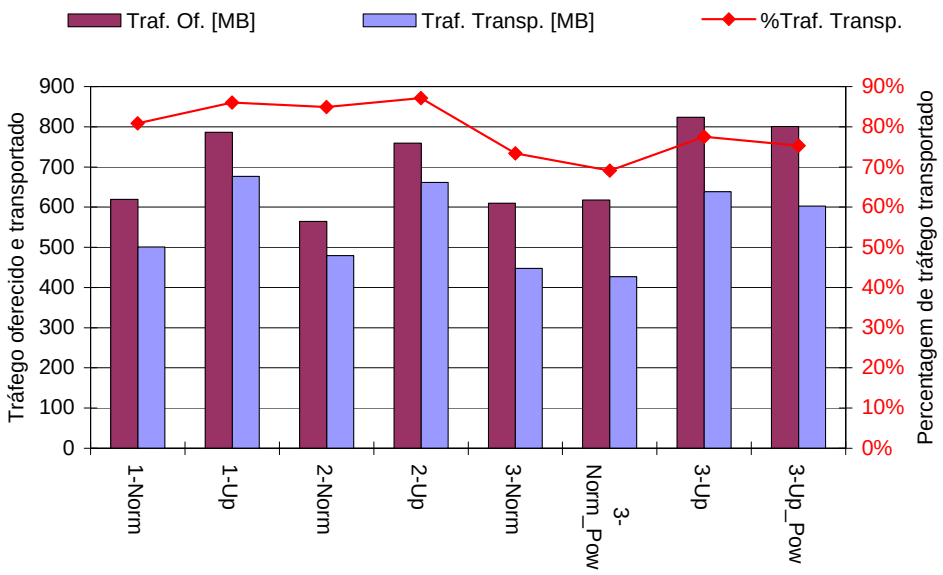


Figura M.11 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

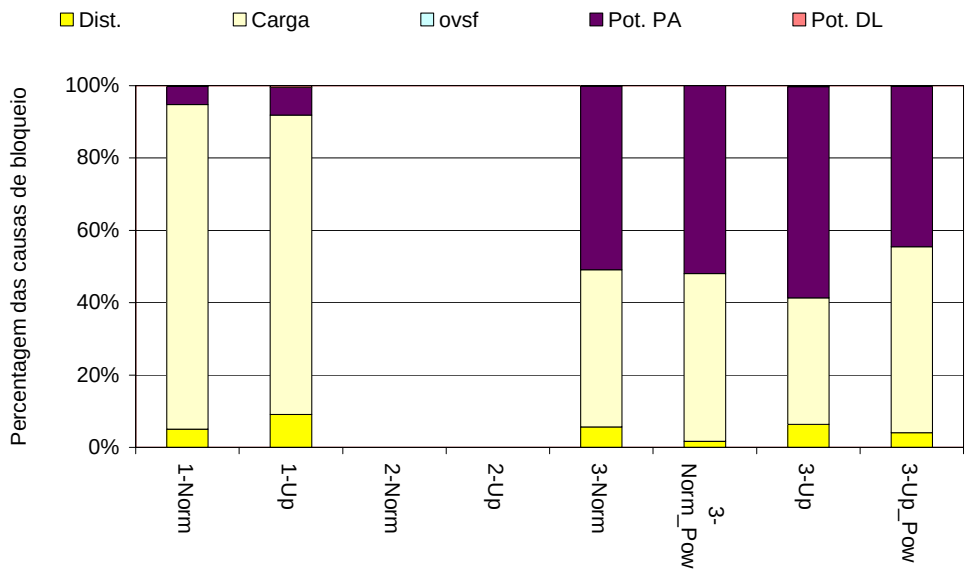


Figura M.12 - Percentagem das causas de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

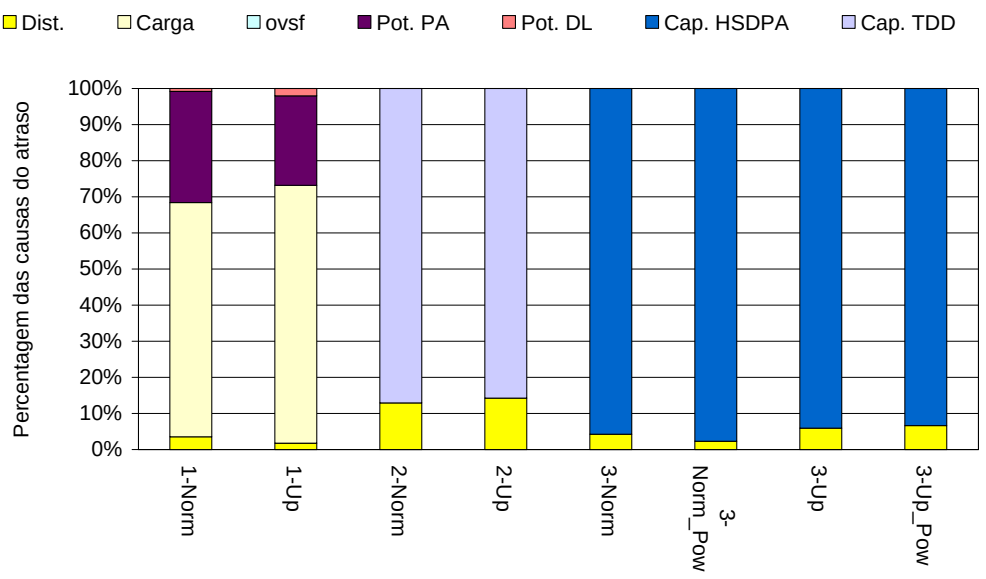


Figura M.13 - Percentagem das causas do atraso nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

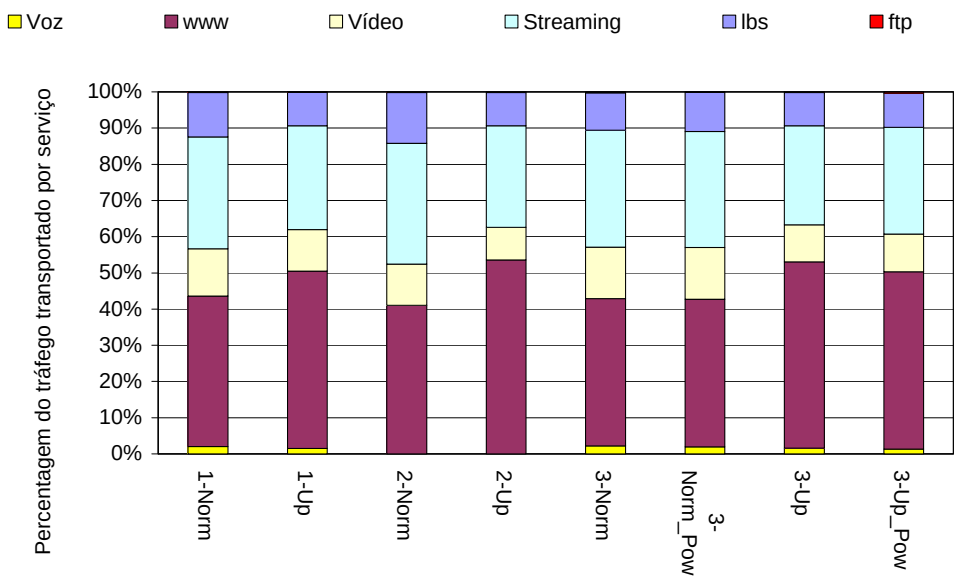


Figura M.14 - Percentagem dos serviços no tráfego total nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

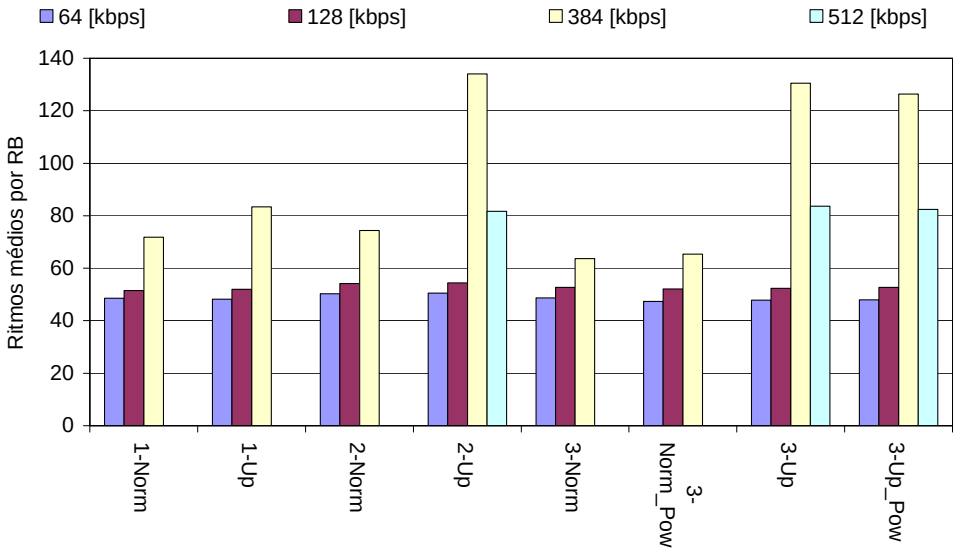


Figura M.15 - Ritmos médios de transmissão para todos nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

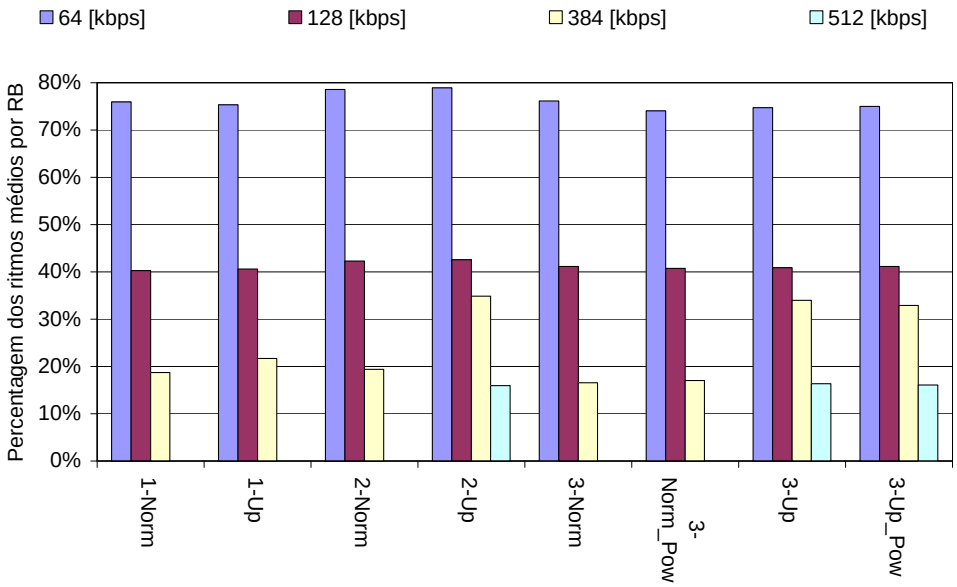


Figura M.16 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de referência.

Modo de transmissão 4-FDD/HSDPA

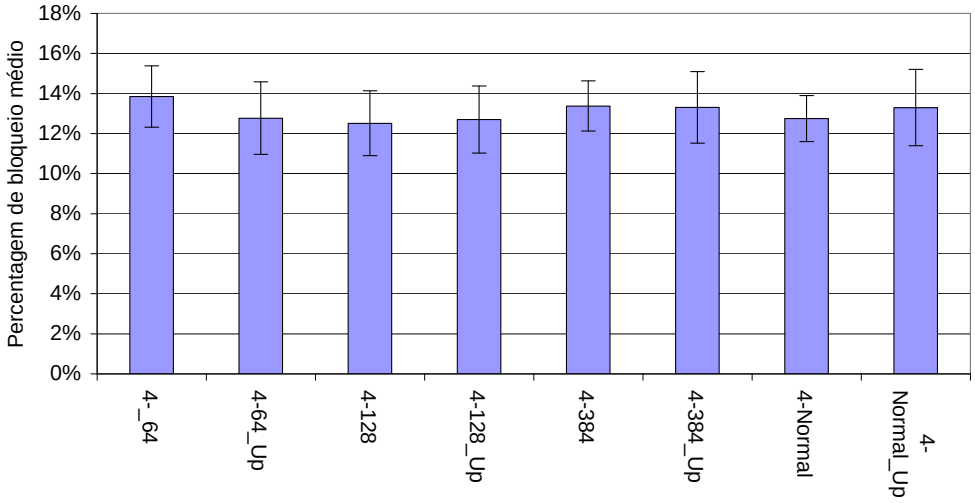


Figura M.17 - Probabilidade de bloqueio no modo 4 para o cenário de referência.

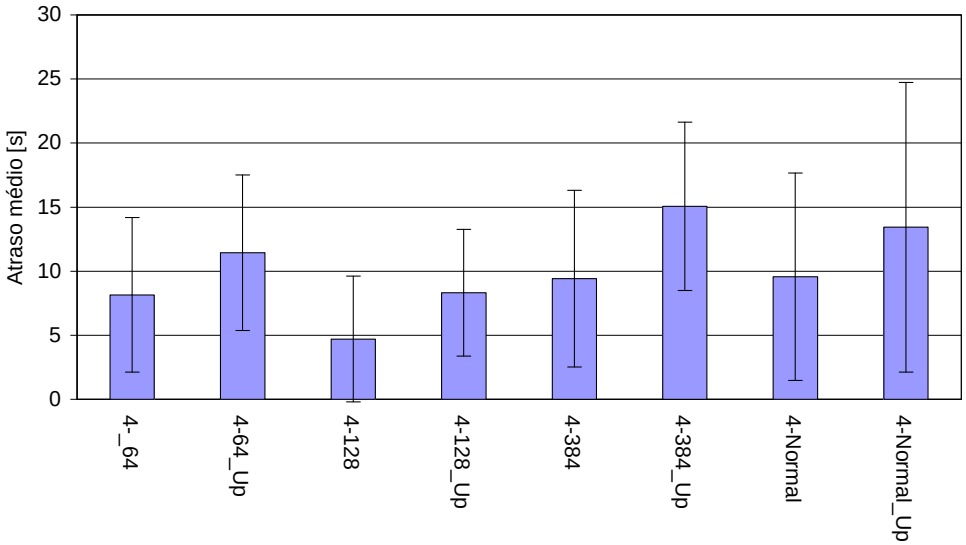


Figura M.18 - Atraso médio no modo 4 para o cenário de referência.

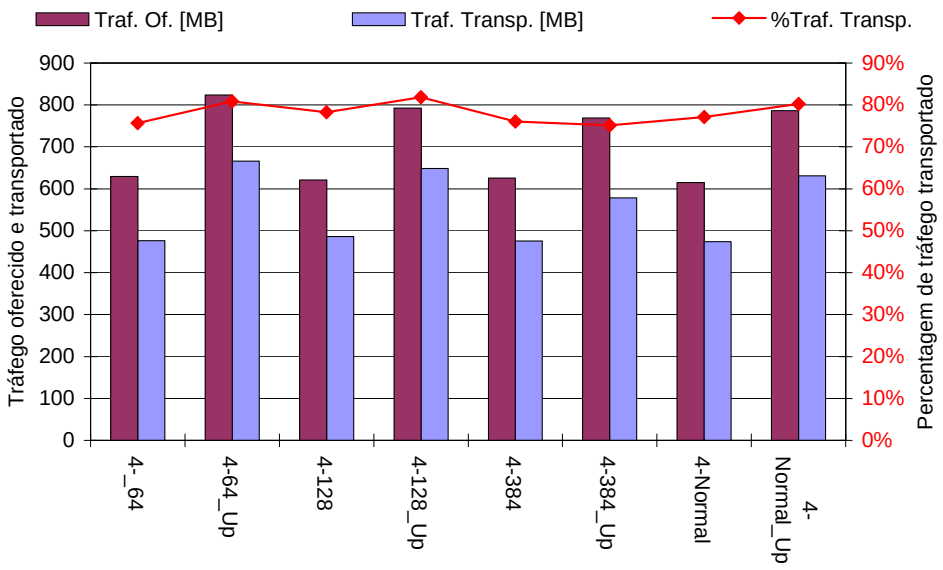


Figura M.19 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 4 para o cenário de referência.

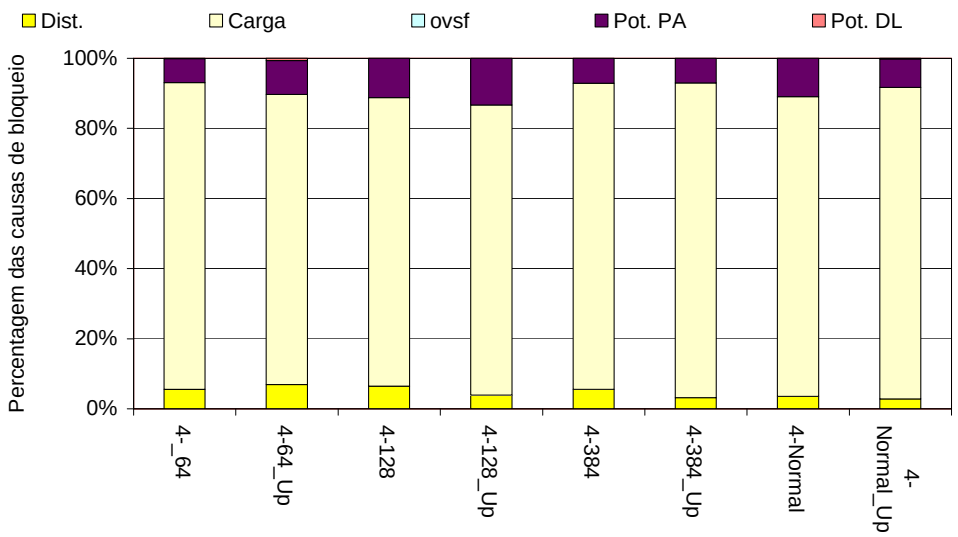


Figura M.20 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 4 para o cenário de referência.

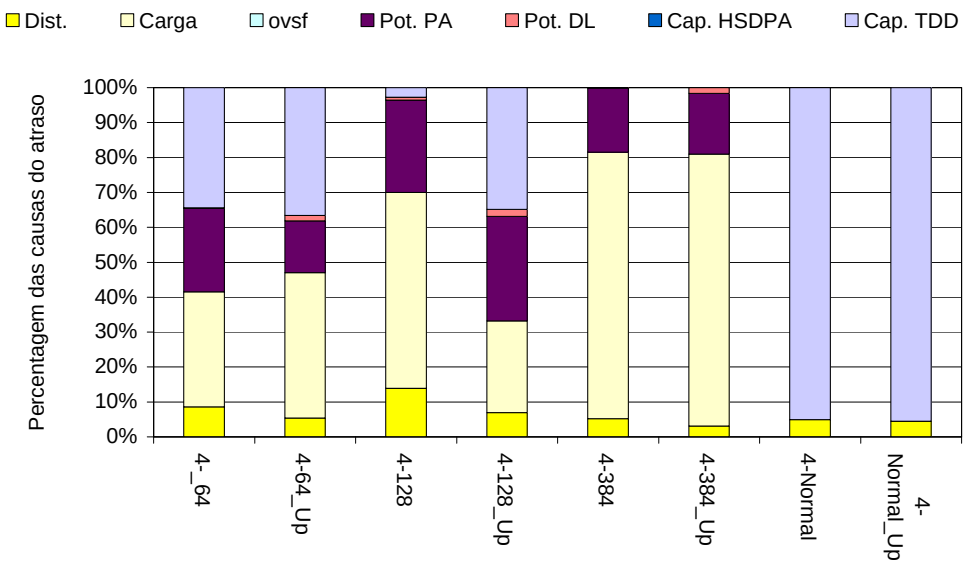


Figura M.21 - Percentagem das causas do atraso no modo 4 para o cenário de referência.

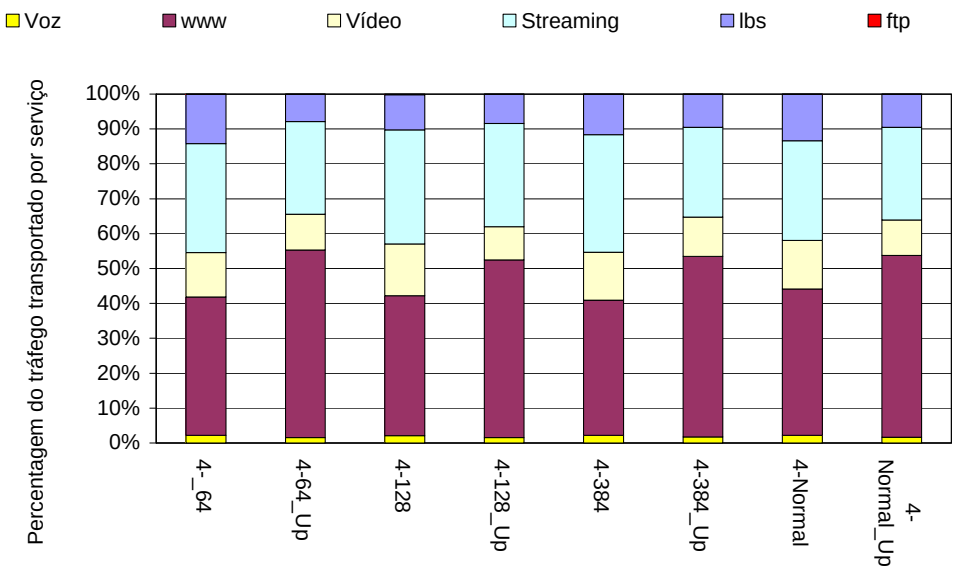


Figura M.22 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 4 para o cenário de referência.

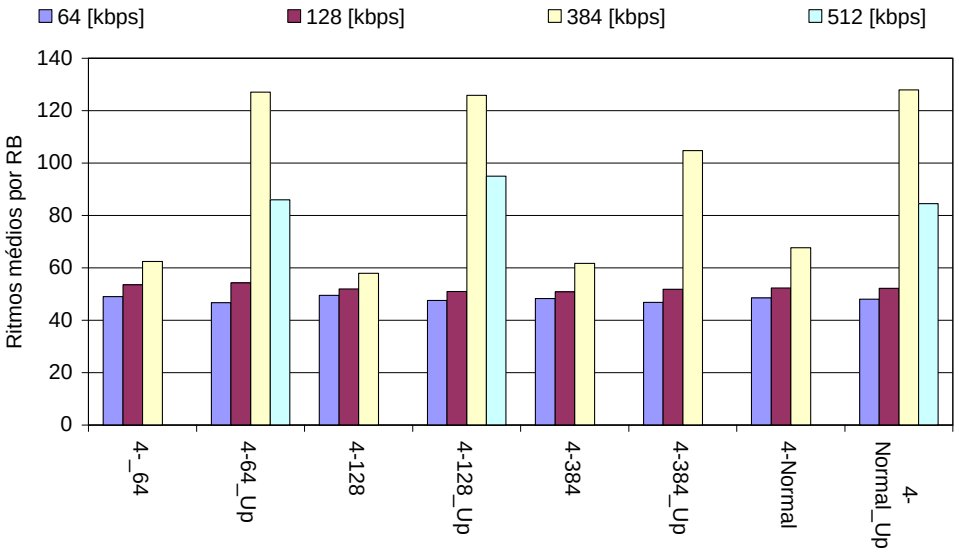


Figura M.23 - Ritmos médios de transmissão no modo 4 para o cenário de referência.

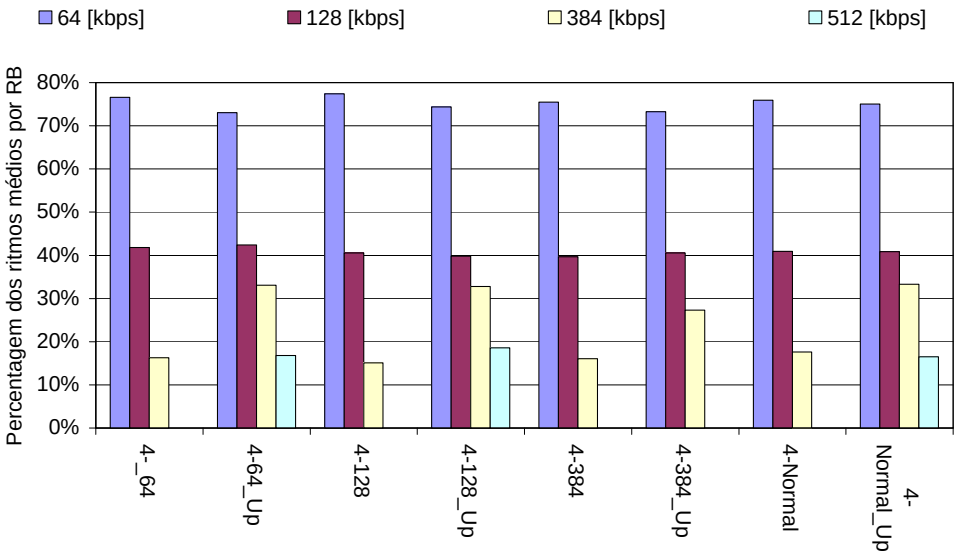


Figura M.24 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 4 para o cenário de referência.

Modo de transmissão 5-FDD/HSDPA+TDD

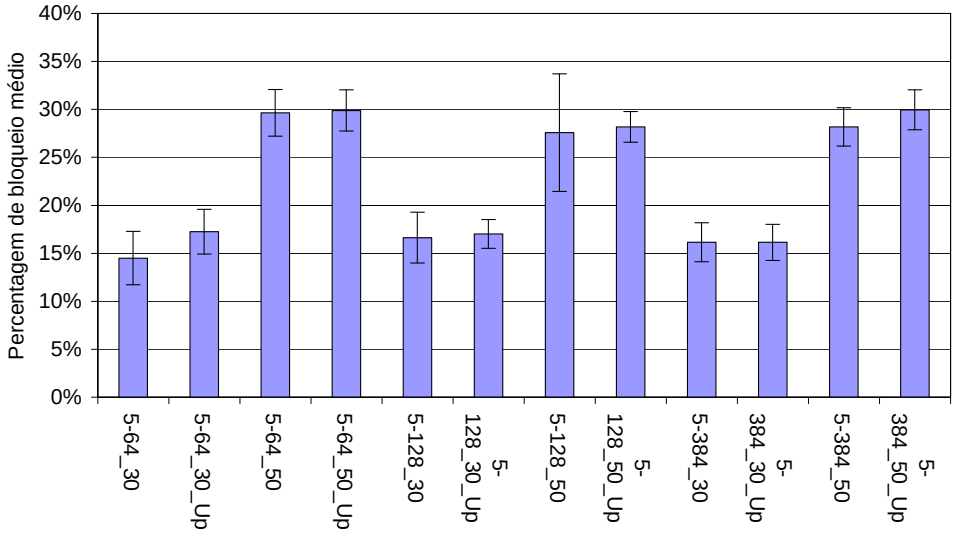


Figura M.25 - Probabilidade de bloqueio no modo 5 para o cenário de referência.

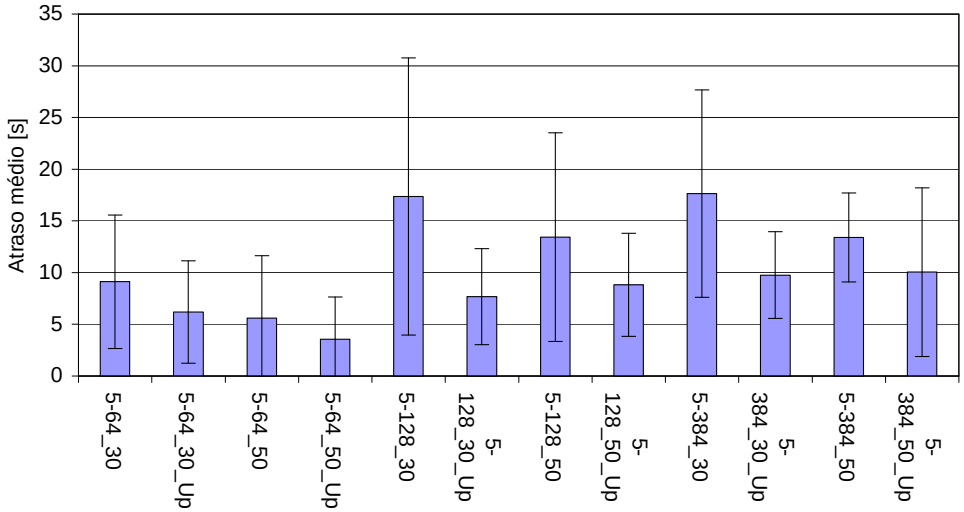


Figura M.26 - Atraso médio no modo 5 para o cenário de referência.

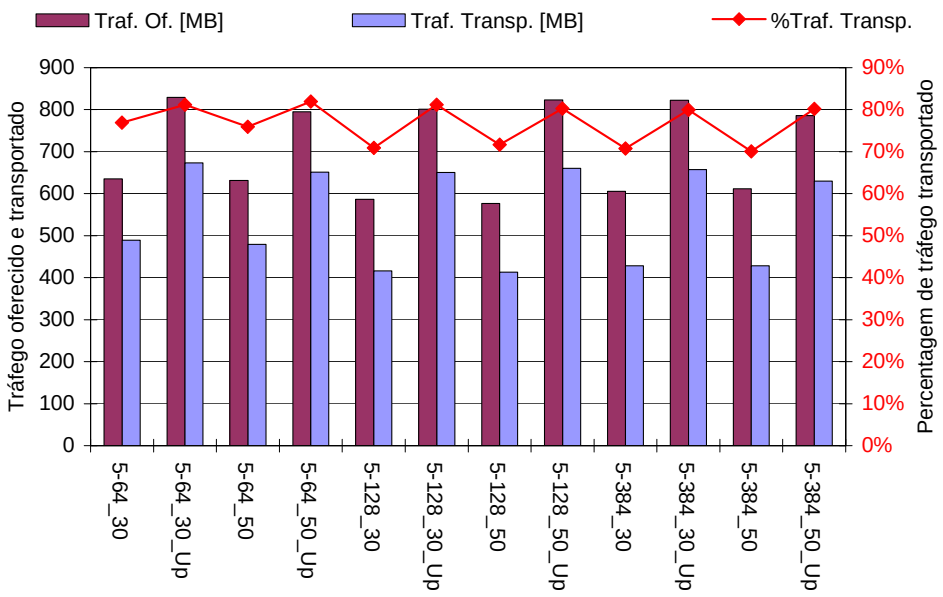


Figura M.27 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 5 para o cenário de referência.

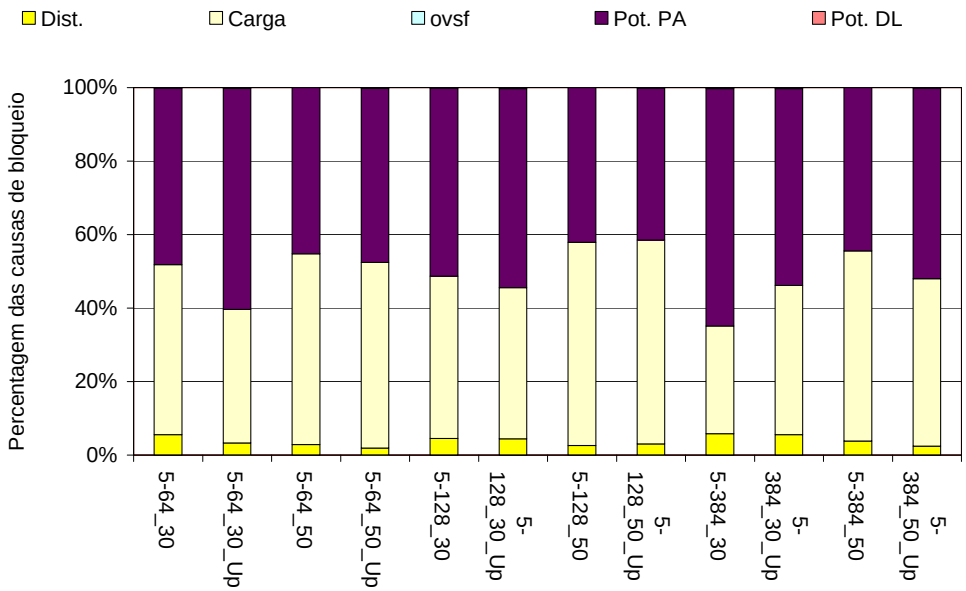


Figura M.28 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 5 para o cenário de referência.

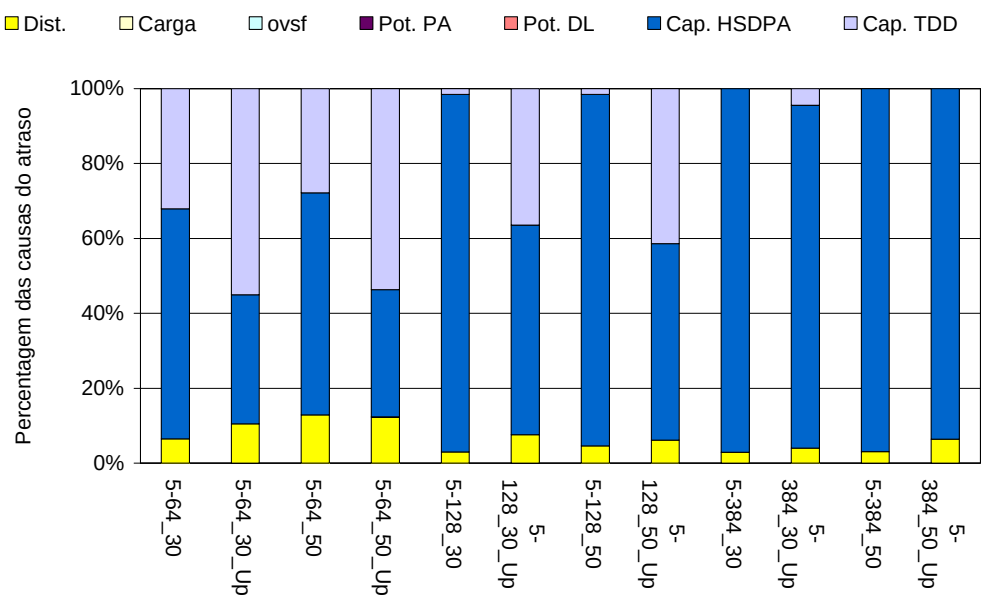


Figura M.29 - Percentagem das causas do atraso no modo 5 para o cenário de referência.

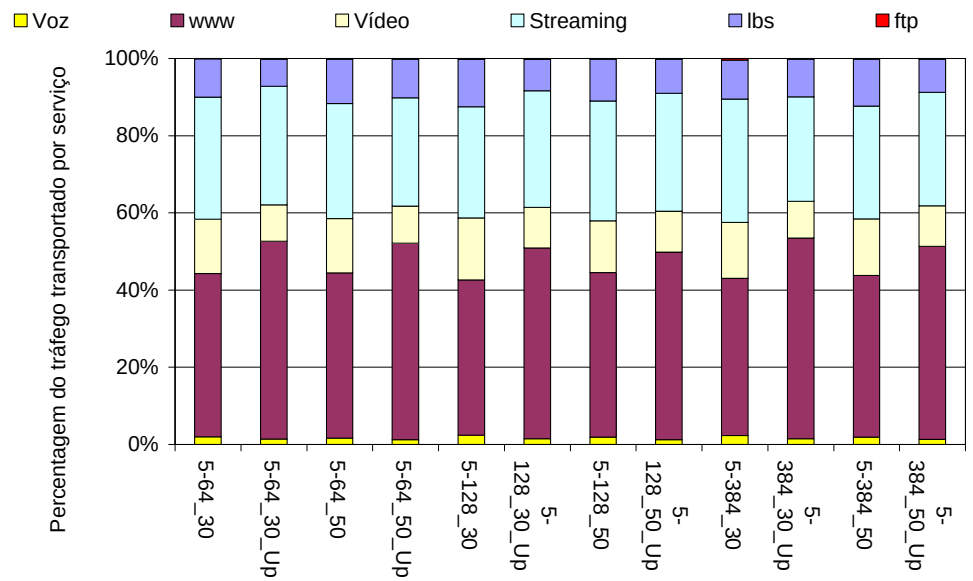


Figura M.30 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 5 para o cenário de referência.

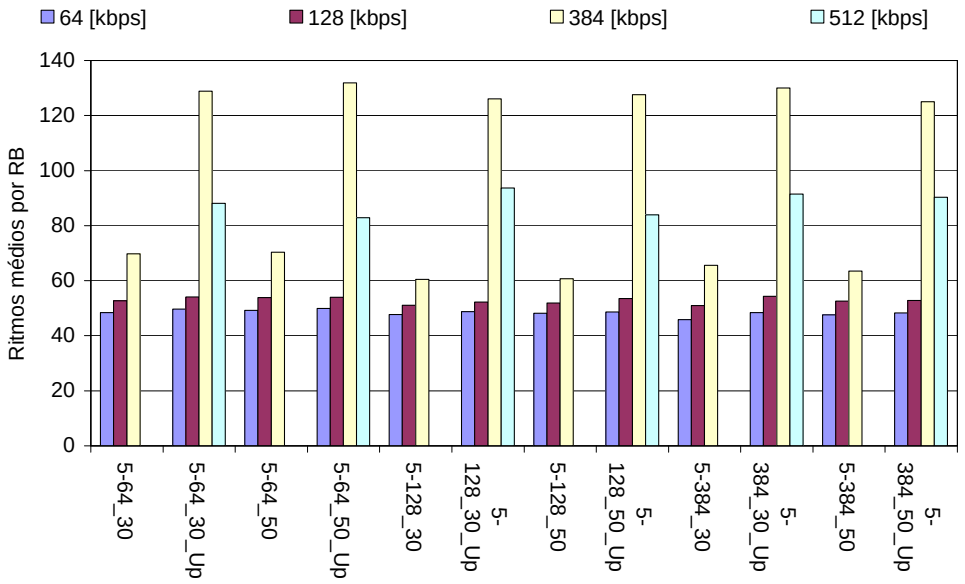


Figura M.31 - Ritmos médios de transmissão no modo 5 para o cenário de referência.

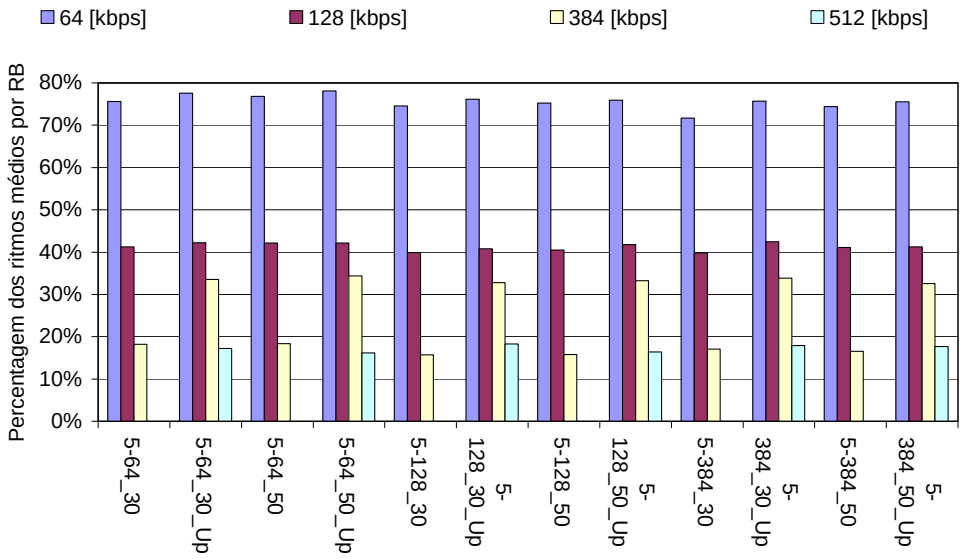


Figura M.32 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 5 para o cenário de referência.

- **Cenário de dados**

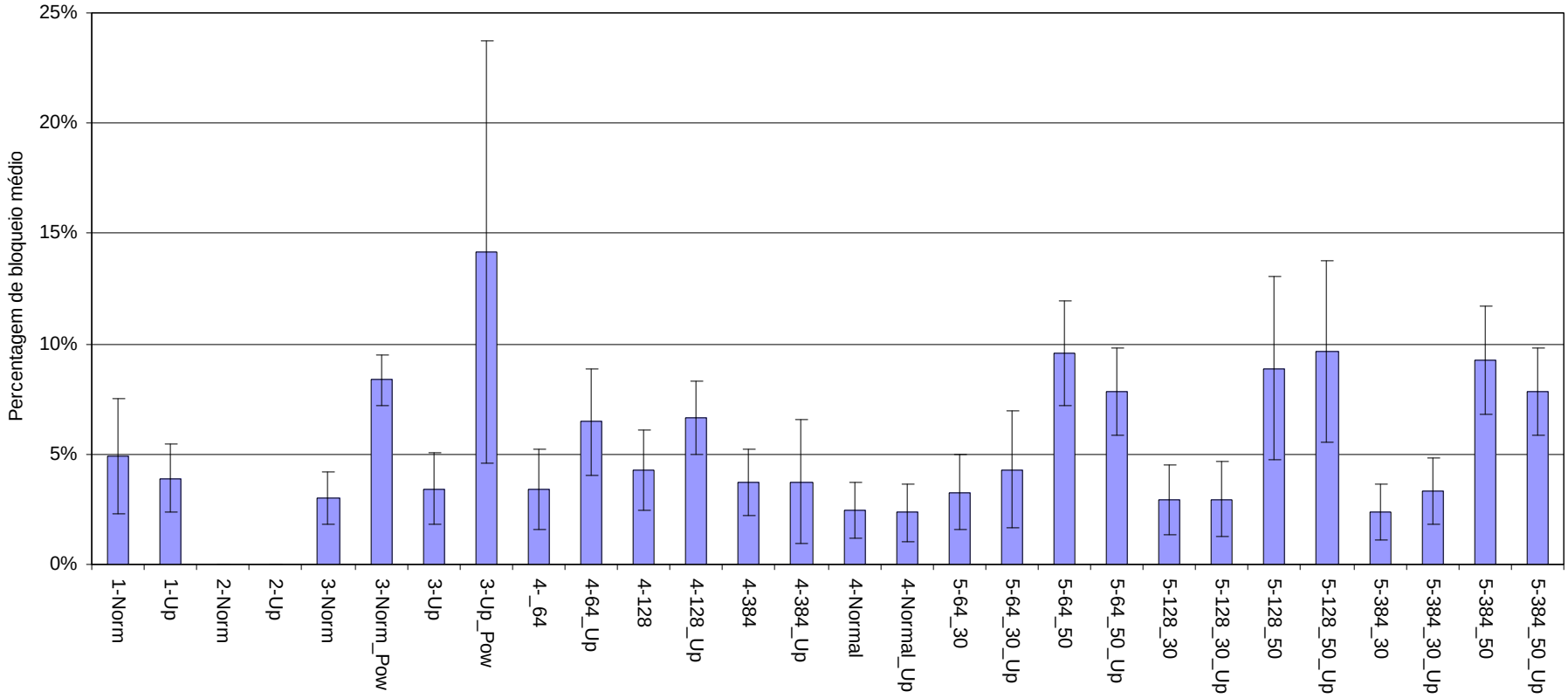


Figura M.33 - Probabilidade de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

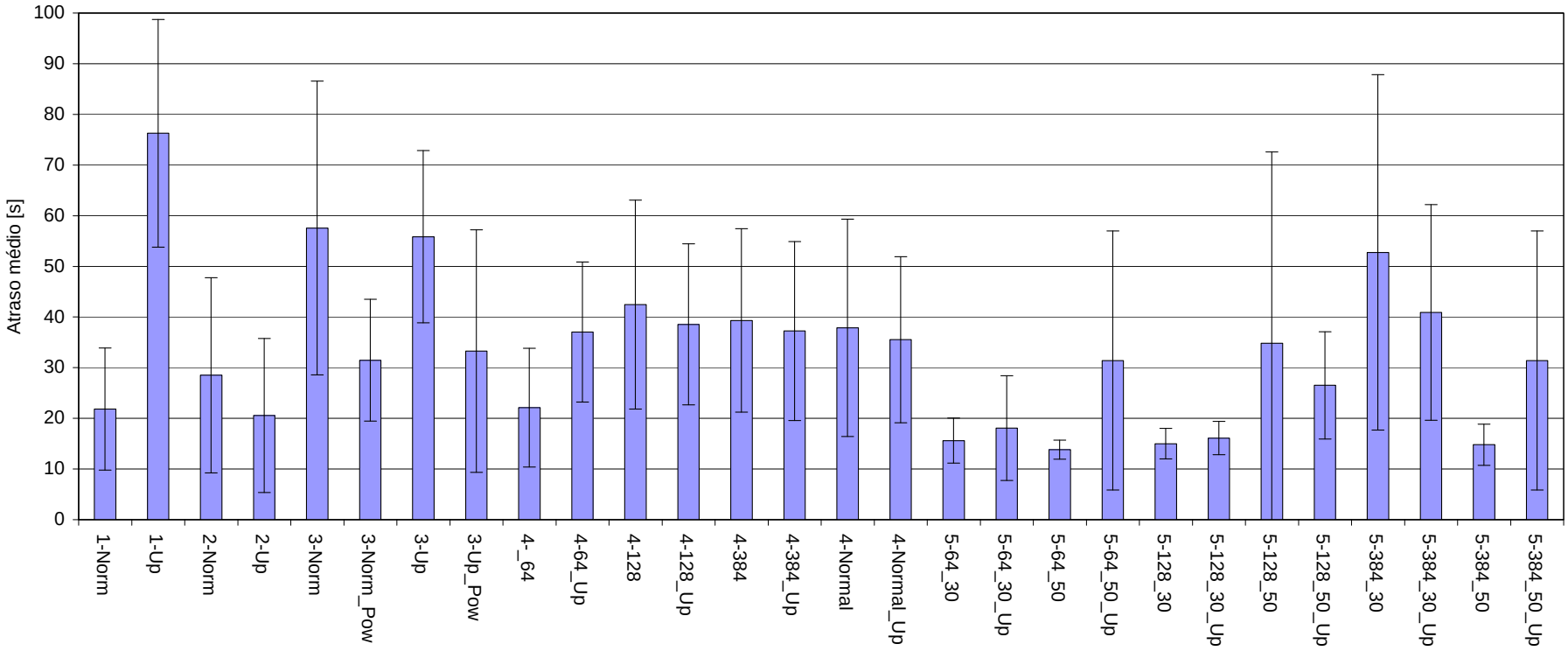


Figura M.34 - Atraso médio para todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

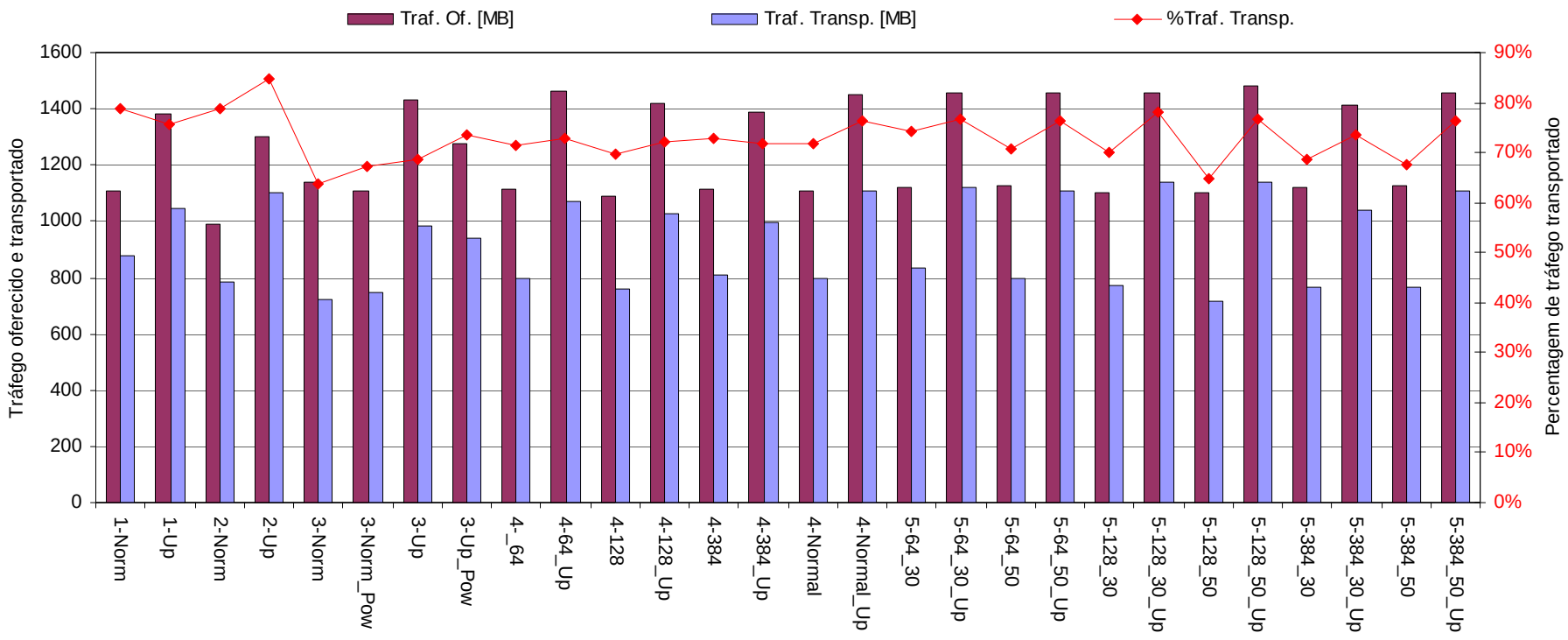


Figura M.35 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado em todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

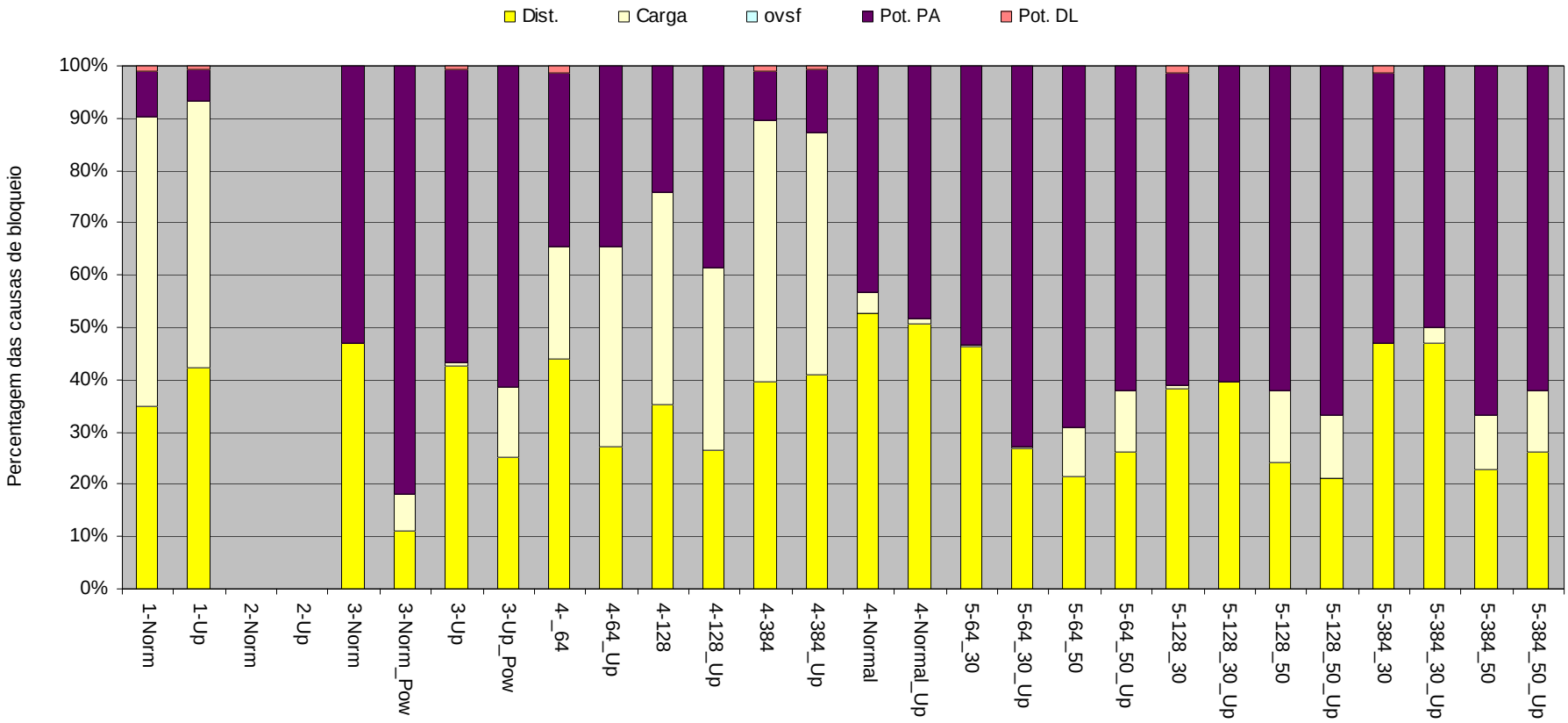


Figura M.36 - Percentagem das causas de bloqueio para todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

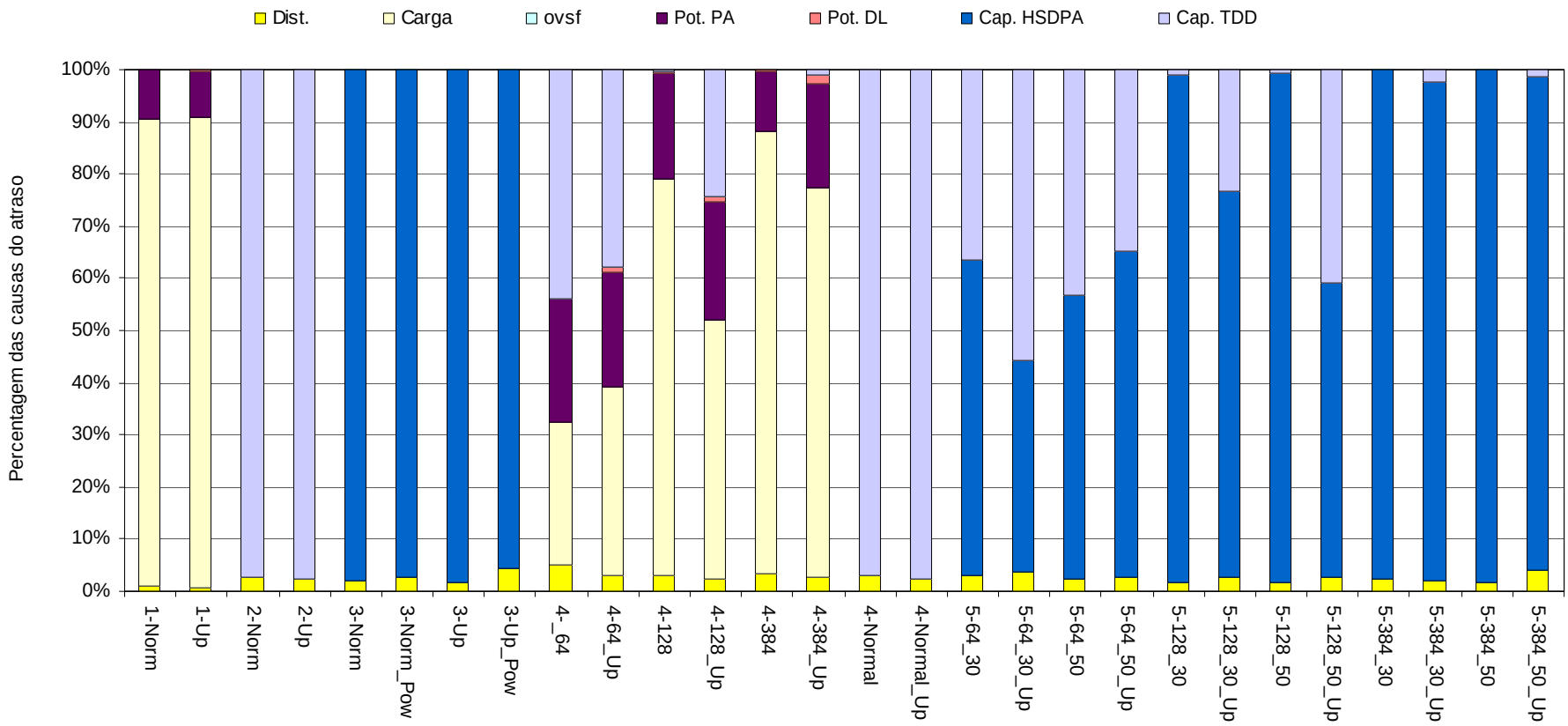


Figura M.37 - Percentagem das causas do atraso para todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

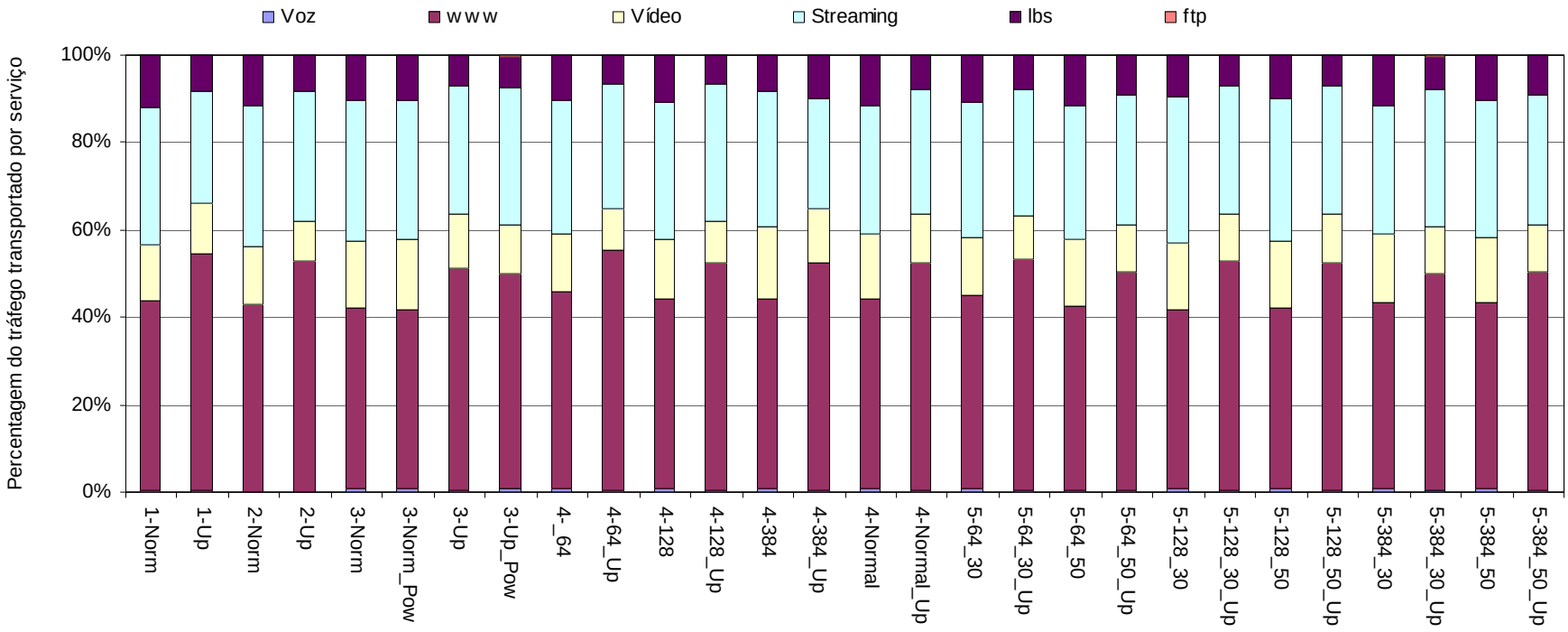


Figura M.38 - Percentagem dos serviços no tráfego total para todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

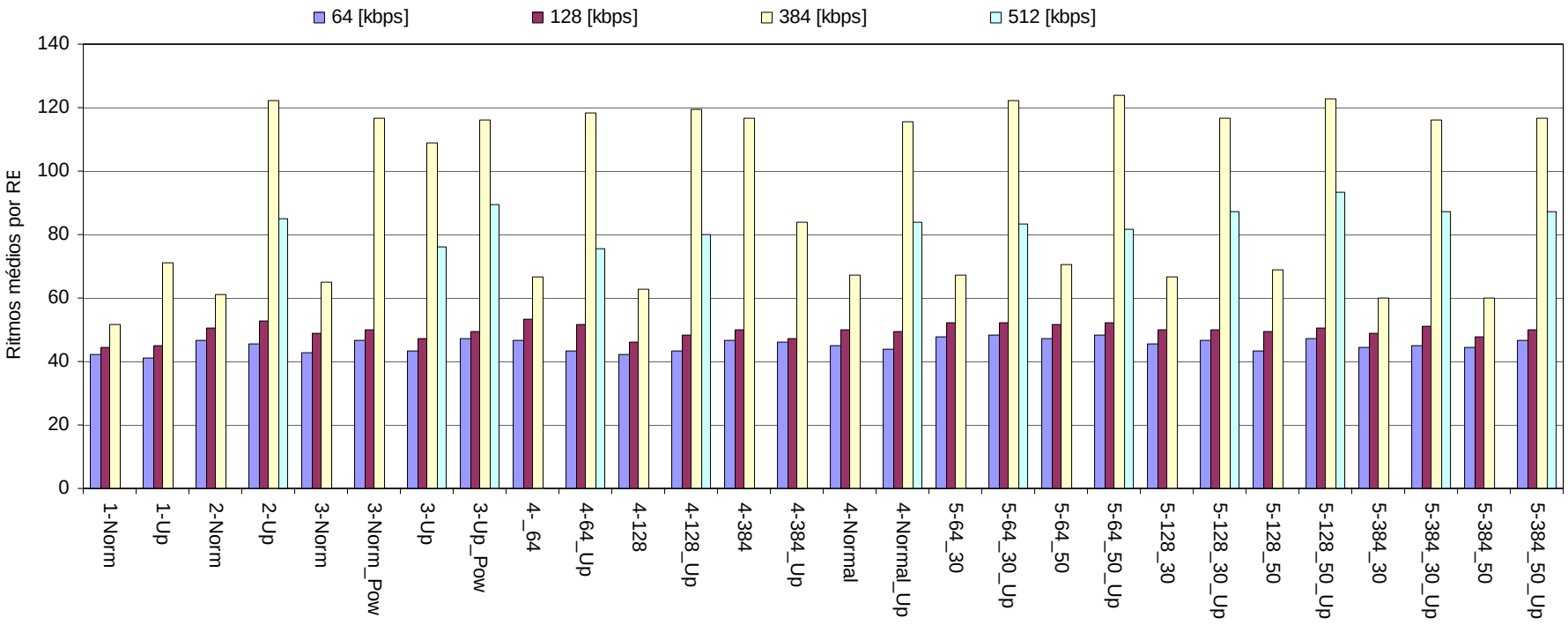


Figura M.39 - Ritmos médios de transmissão para todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

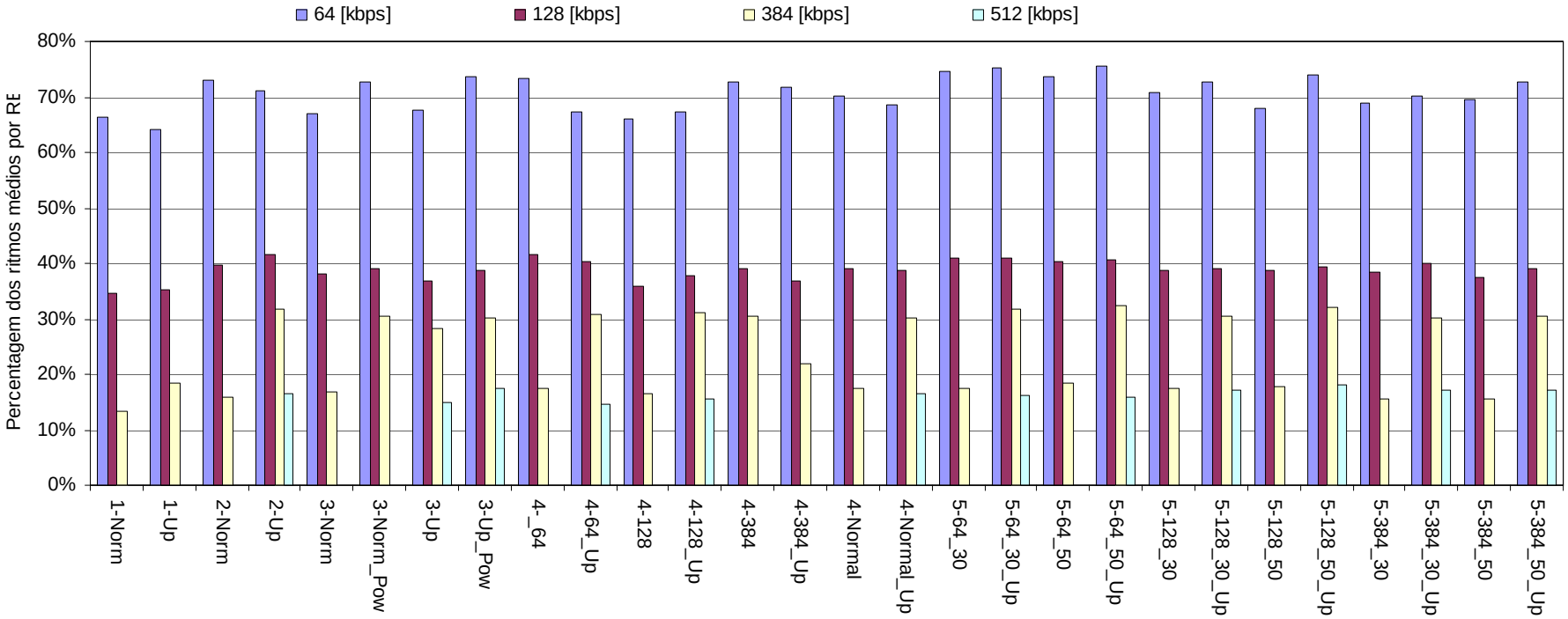


Figura M.40 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos para todos os modos de transmissão para o cenário de dados.

Modo de transmissão 1-FDD, 2-TDD e 3-FDD+TDD

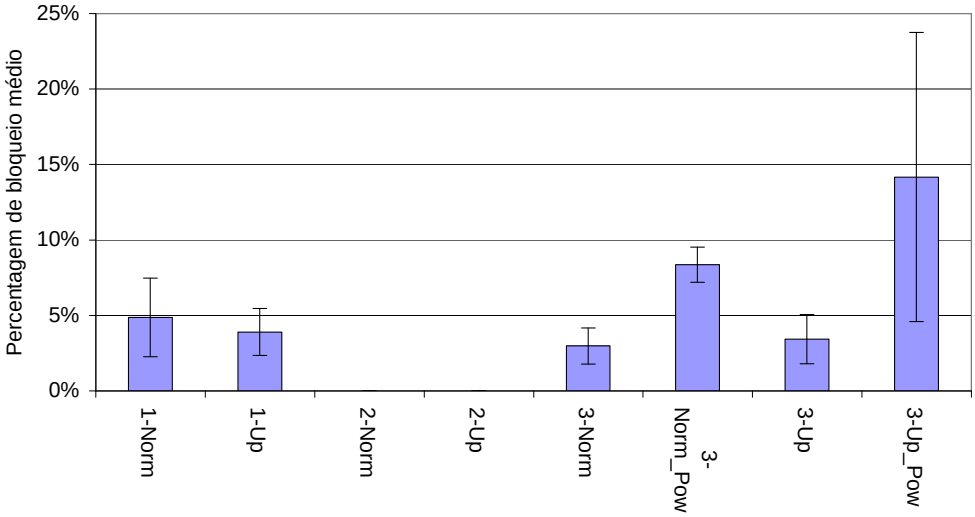


Figura M.41 - Probabilidade de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

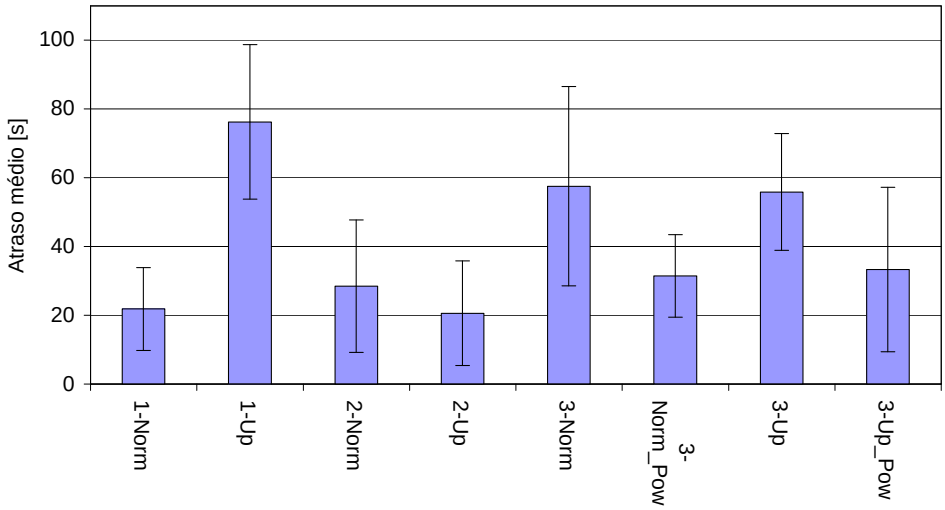


Figura M.42 - Atraso médio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

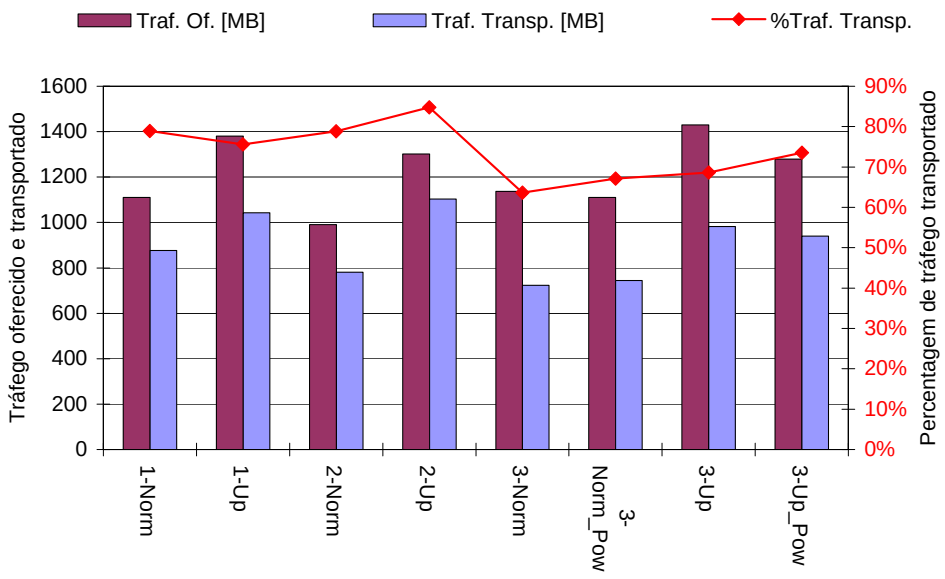


Figura M.43 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

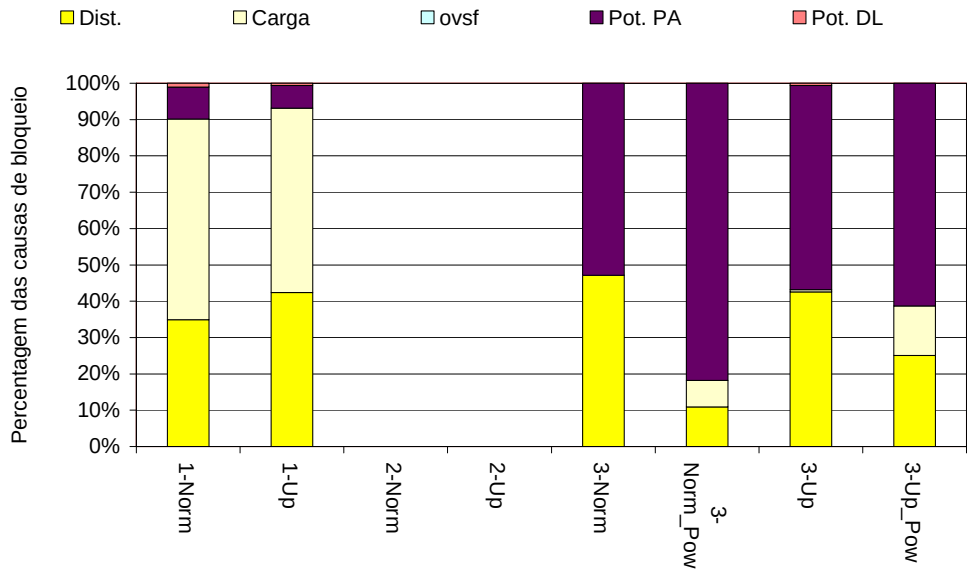


Figura M.44 - Percentagem das causas de bloqueio nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

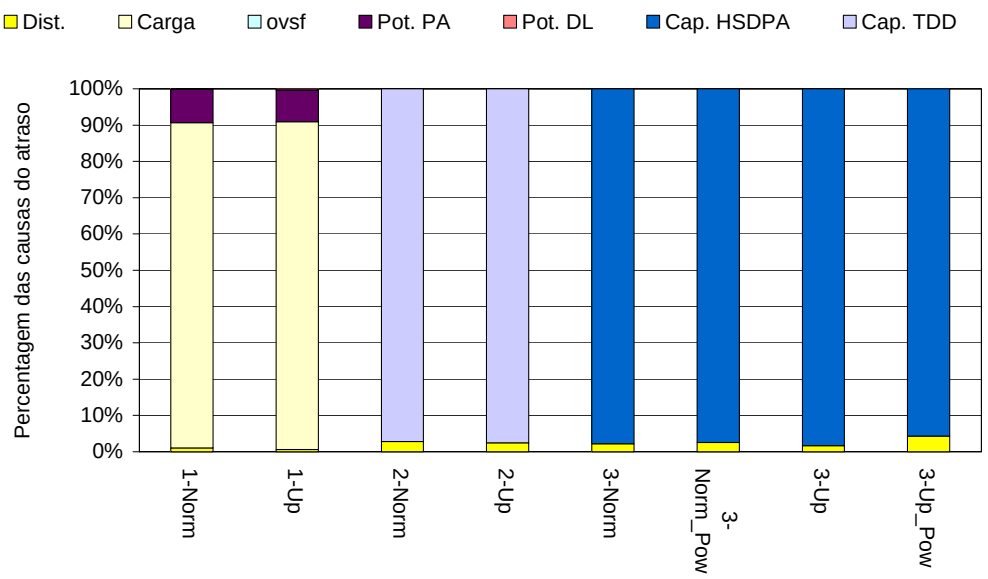


Figura M.45 - Percentagem das causas do atraso nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

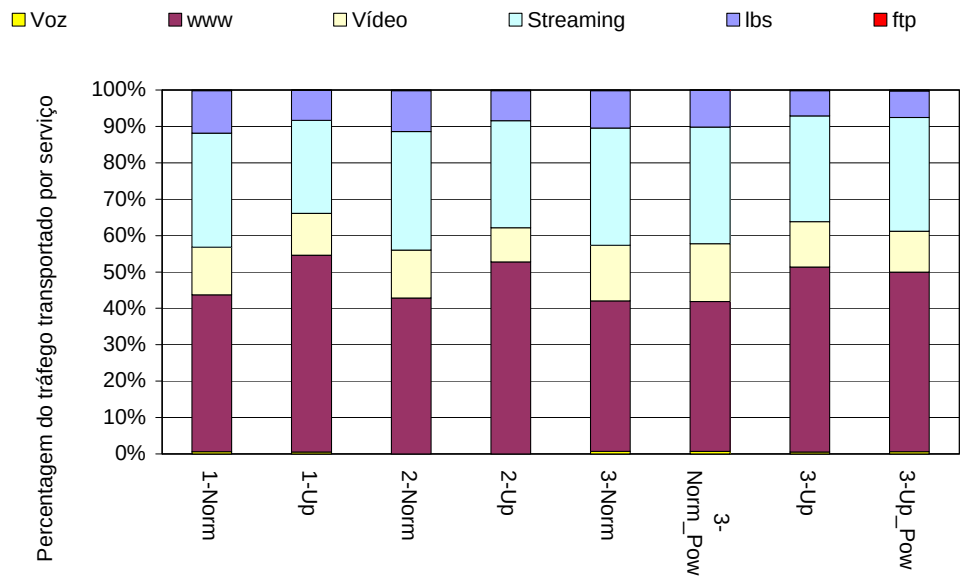


Figura M.46 - Percentagem dos serviços no tráfego total nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

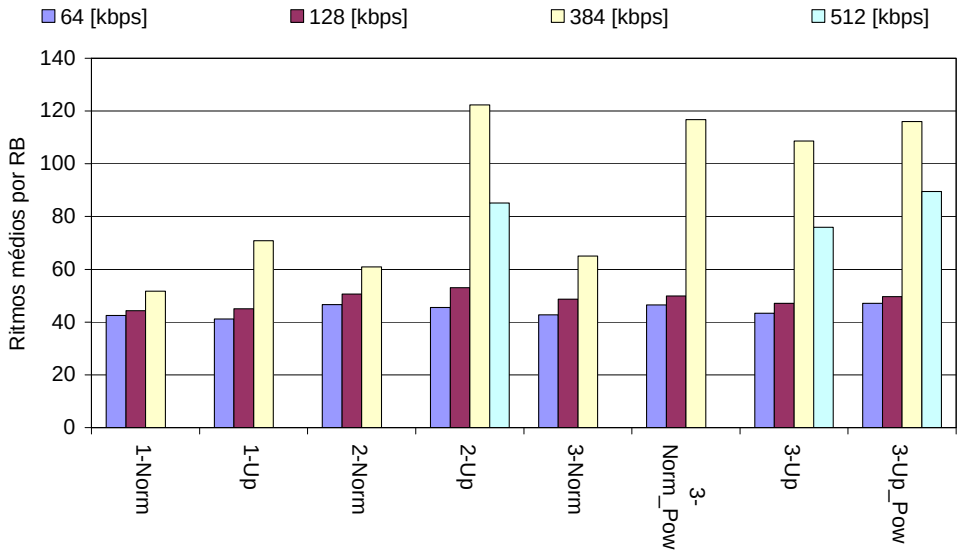


Figura M.47 - Ritmos médios de transmissão nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

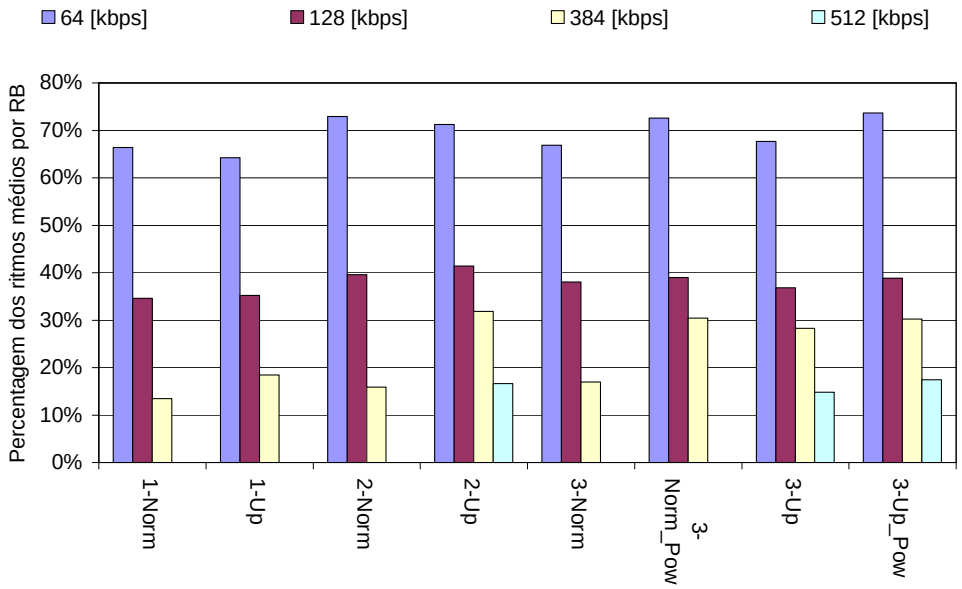


Figura M.48 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos nos modos 1, 2 e 3 para o cenário de dados.

Modo de transmissão 4-FDD/HSDPA

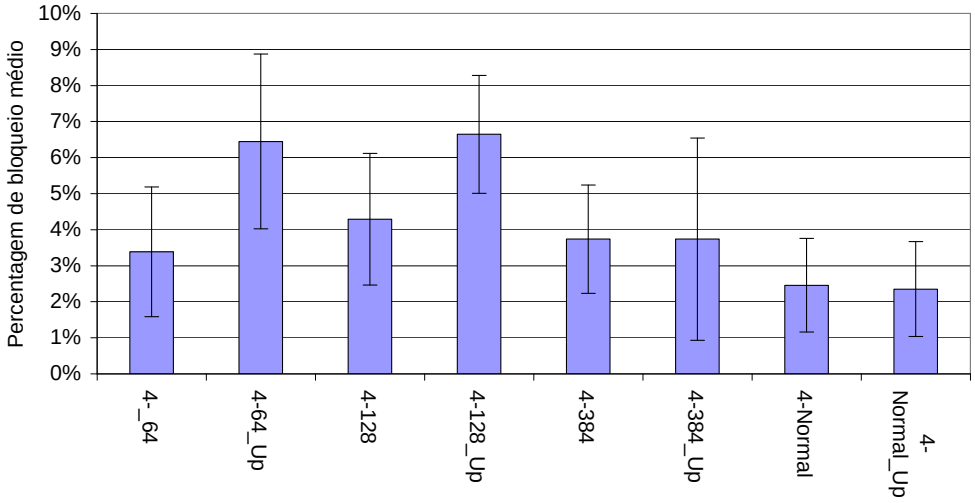


Figura M.49 - Probabilidade de bloqueio no modo 4 para o cenário de dados.

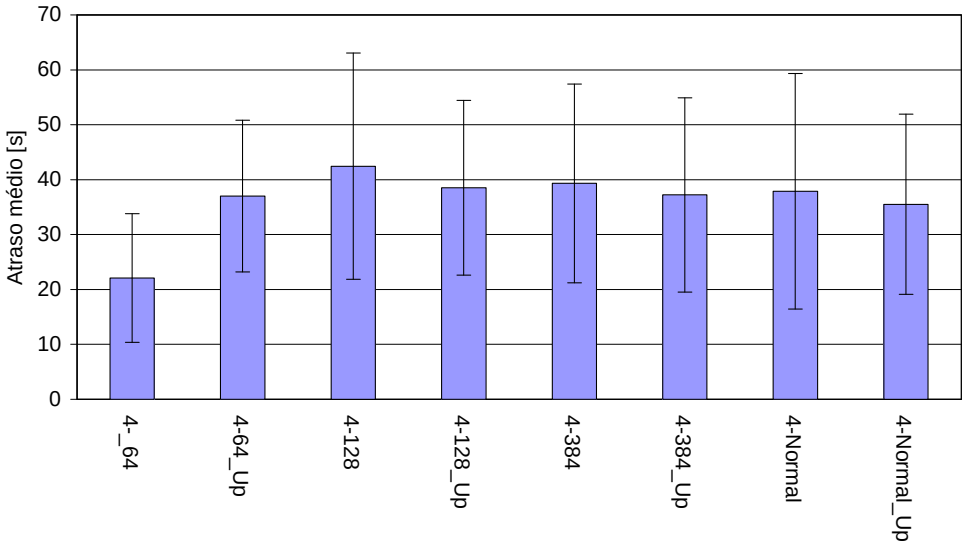


Figura M.50 - Atraso médio no modo 4 para o cenário de dados.

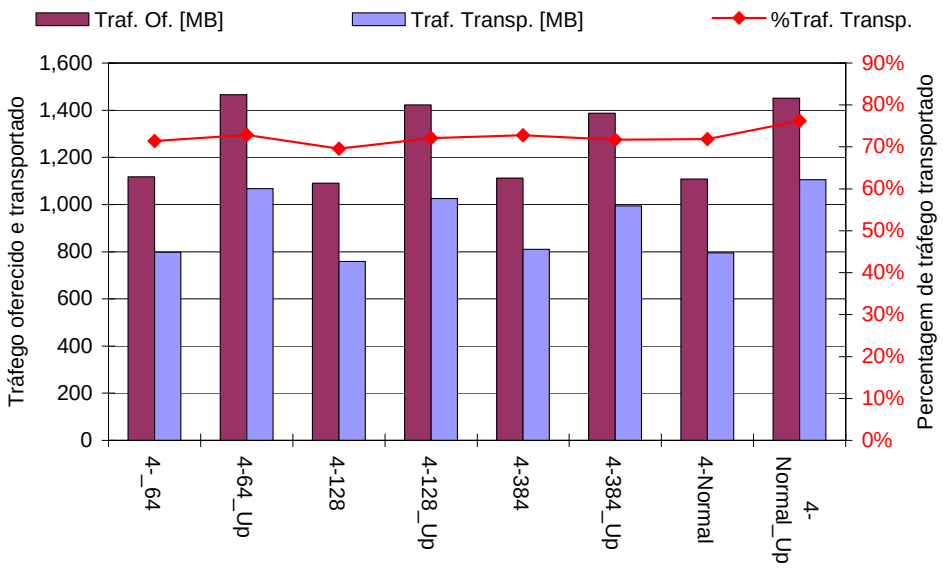


Figura M.51 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 4 para o cenário de dados.

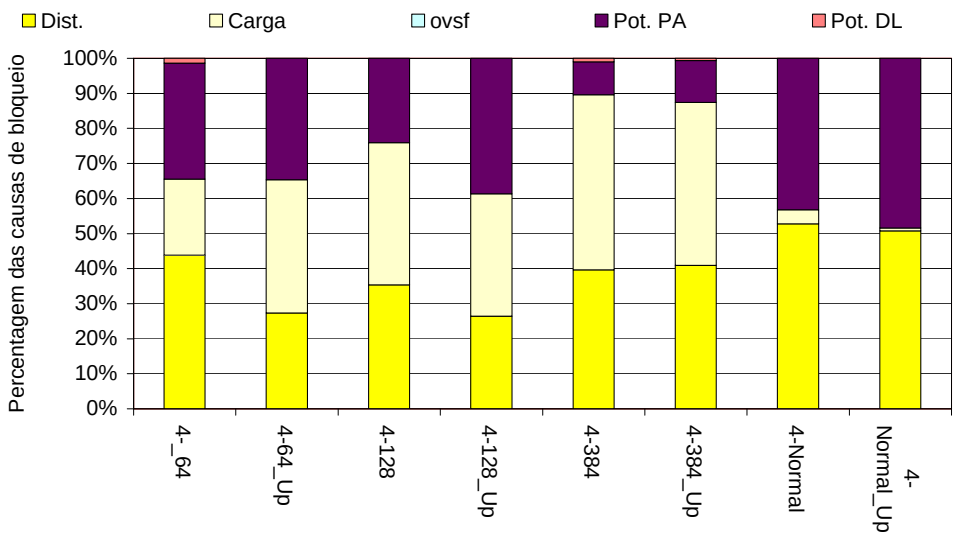


Figura M.52 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 4 para o cenário de dados.

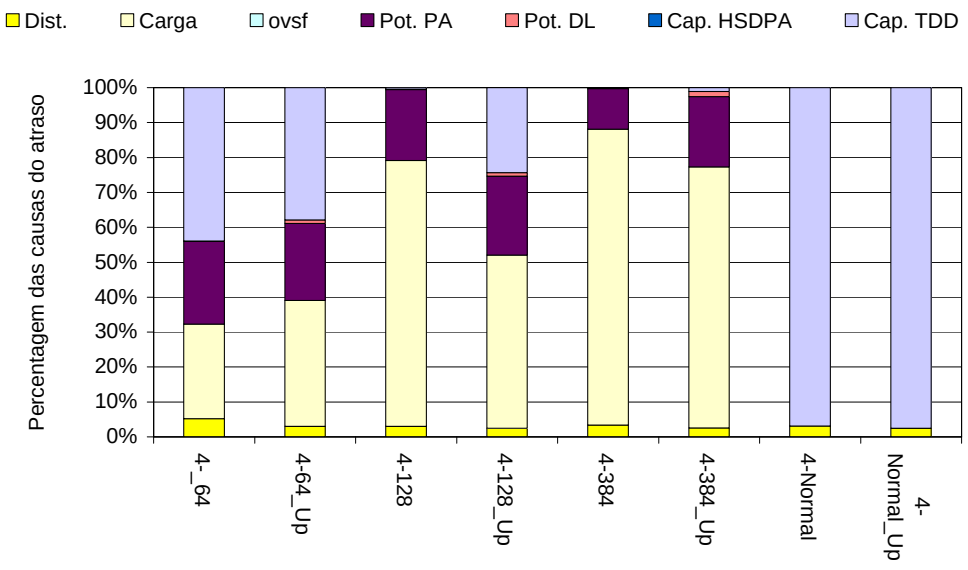


Figura M.53 - Percentagem das causas do atraso no modo 4 para o cenário de dados.

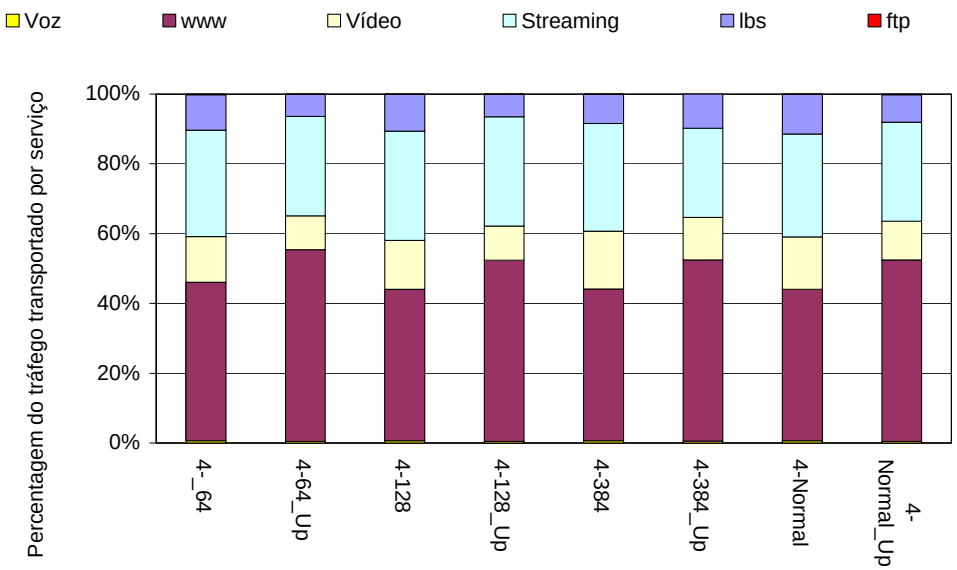


Figura M.54 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 4 para o cenário de dados.

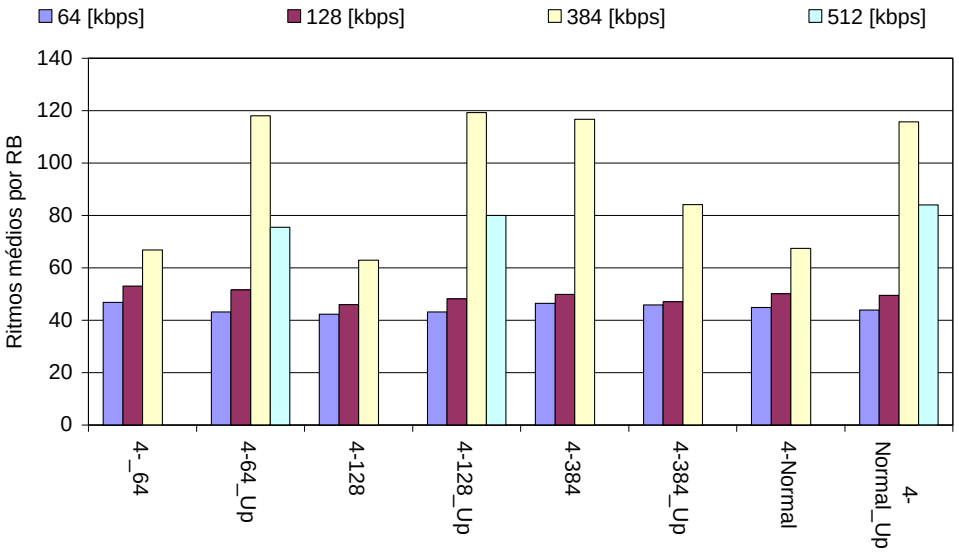


Figura M.55 - Ritmos médios de transmissão no modo 4 para o cenário de dados.

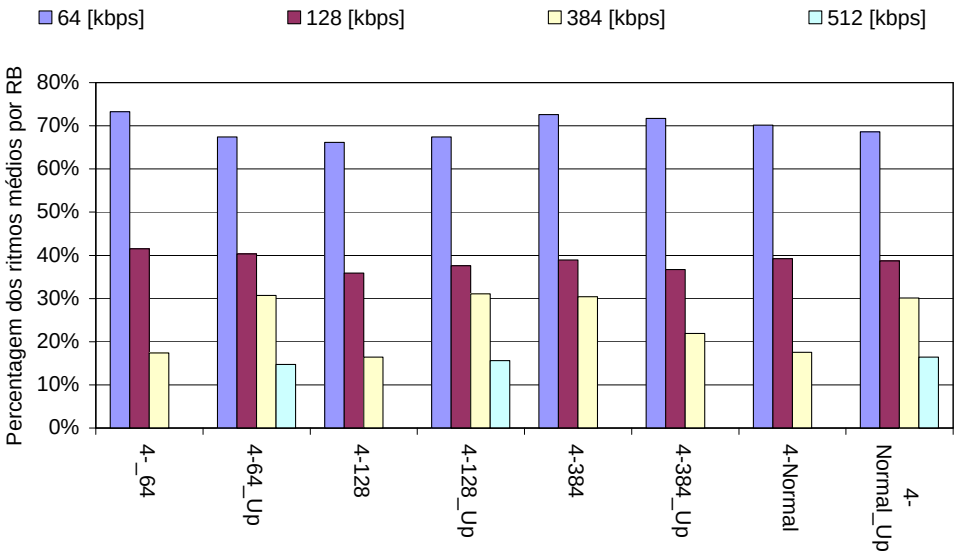


Figura M.56 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 4 para o cenário de dados.

Modo de transmissão 5-FDD/HSDPA+TDD

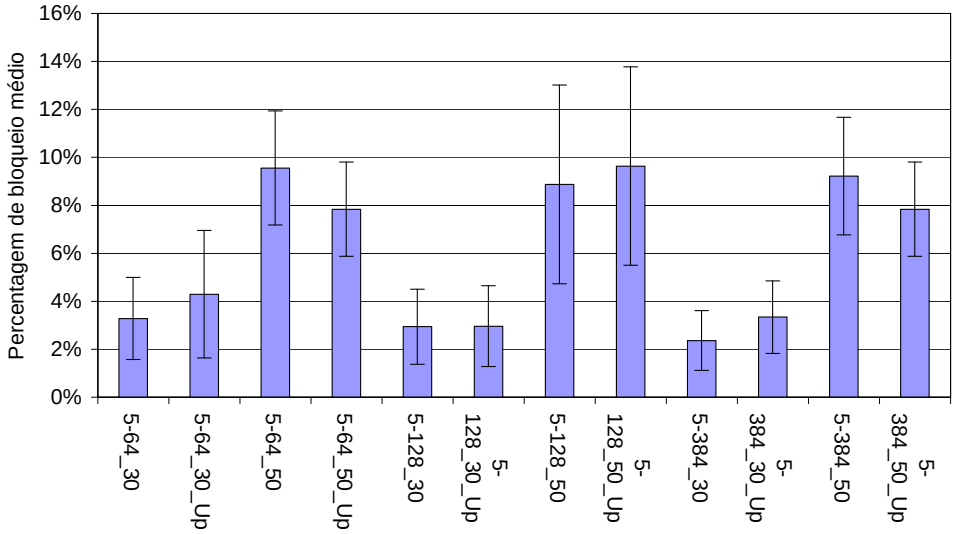


Figura M.57 - Probabilidade de bloqueio no o modo 5 para o cenário de dados.

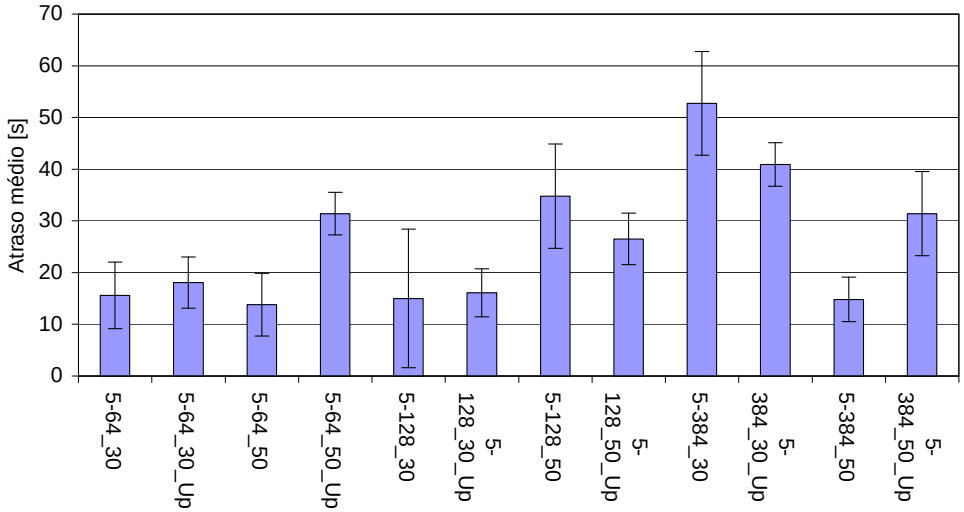


Figura M.58 - Atraso médio no modo 5 para o cenário de dados.

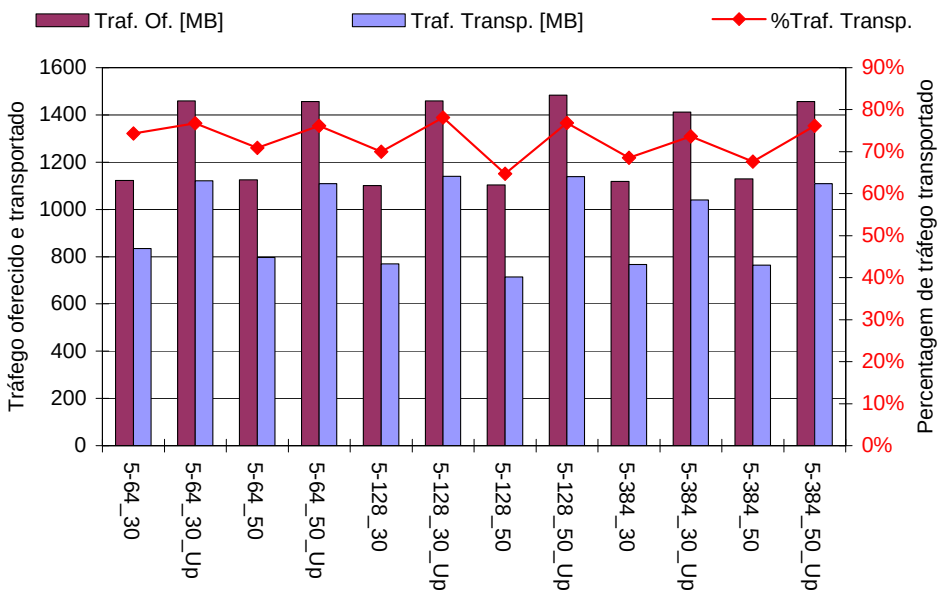


Figura M.59 - Tráfego oferecido, tráfego transportado e percentagem de tráfego transportado no modo 5 para o cenário de dados.

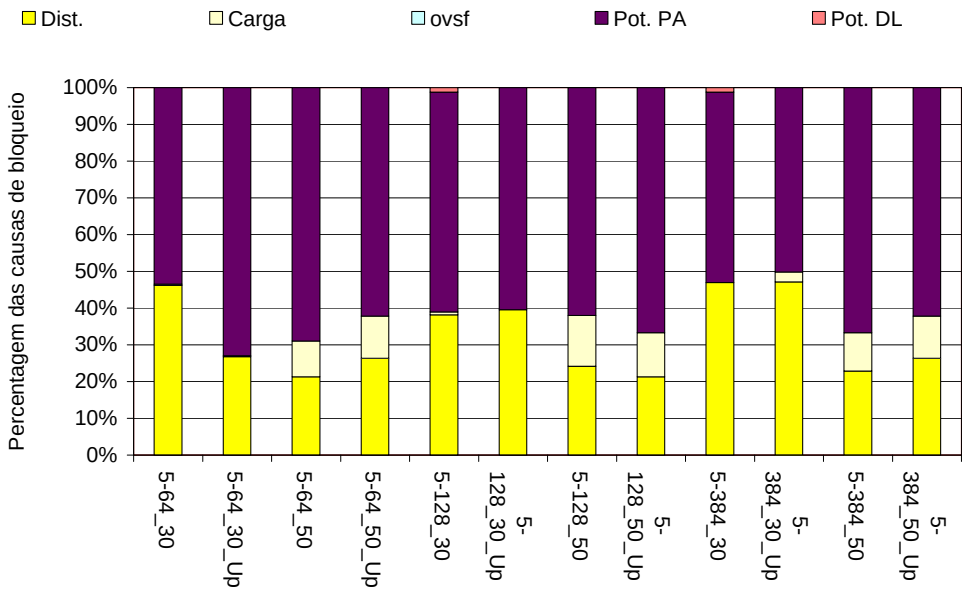


Figura M.60 - Percentagem das causas de bloqueio no modo 5 para o cenário de dados.

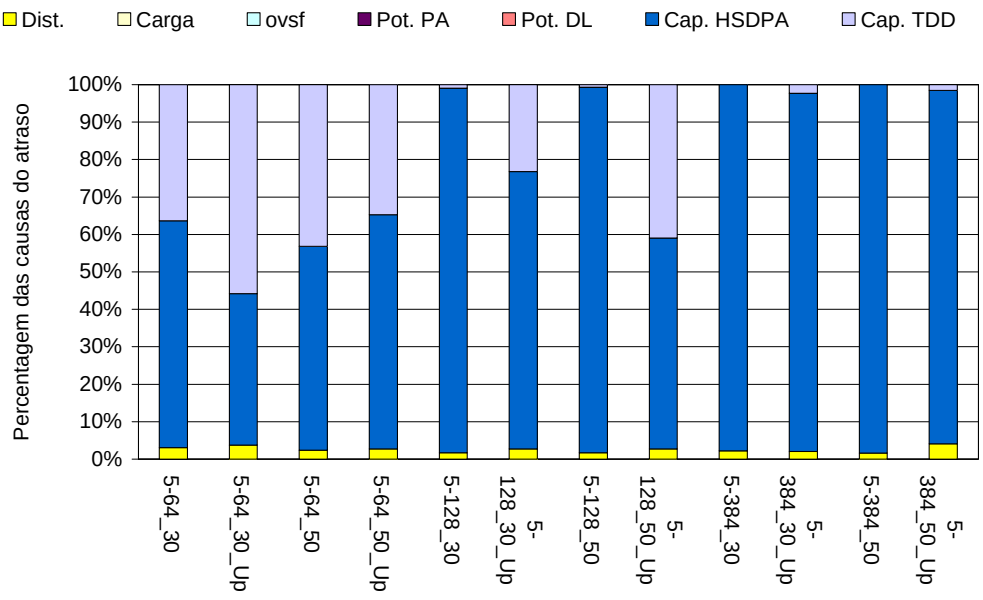


Figura M.61 - Percentagem das causas do atraso no modo 5 para o cenário de dados.

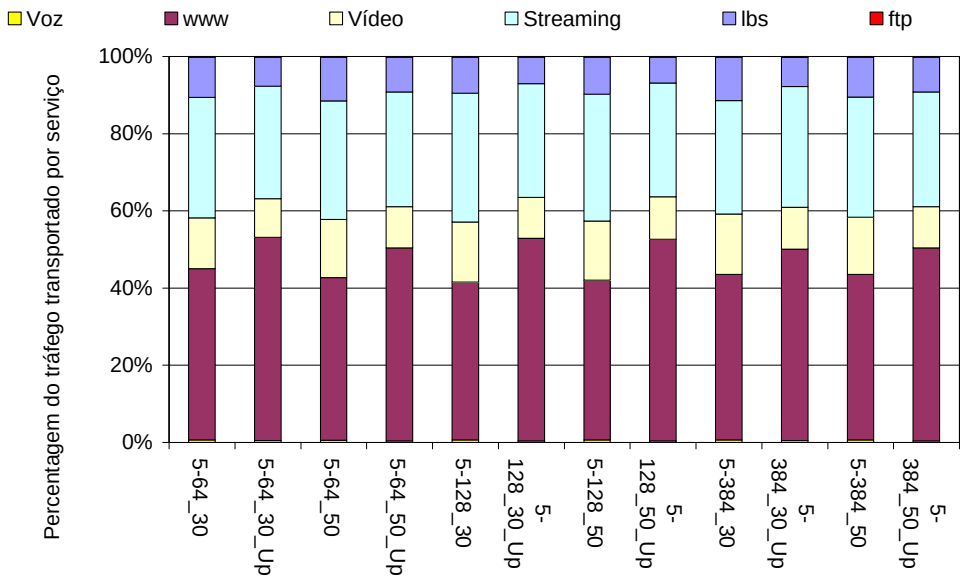


Figura M.62 - Percentagem dos serviços no tráfego total no modo 5 para o cenário de dados.

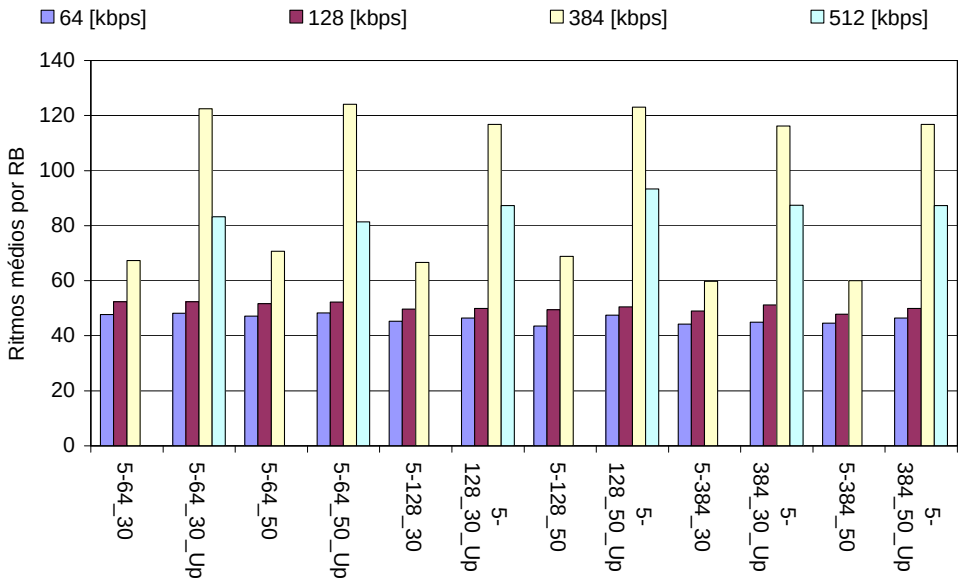


Figura M.63 - Ritmos médios de transmissão para todos no modo 5 para o cenário de dados.

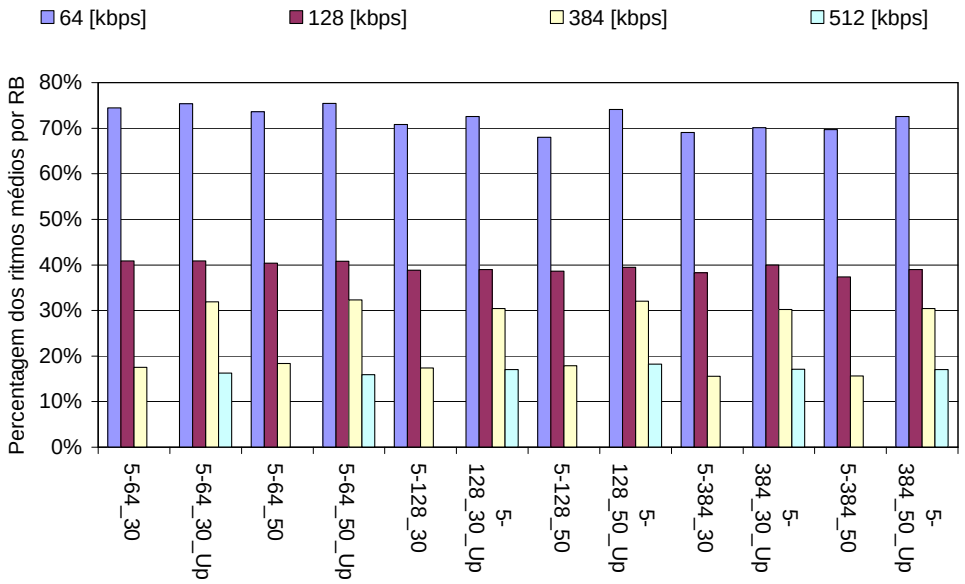


Figura M.64 - Percentagem dos ritmos médios de transmissão relativamente aos valores teóricos no modo 5 para o cenário de dados.os valores teóricos no modo 5 para o cenário de dados.

Referências

[3GPP02] 3GPP, *Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)*, Report TS 25.211, V3.12.0, 2002, http://www.3gpp.org.

[3GPP03a] 3GPP, *Services and service capabilities*, Report TS 22.105, V6.2.0, June 2003, http://www.3gpp.org.

[3GPP03b] 3GPP, *Quality of Service (QoS) concept and architecture*, Report TS 23.107, V5.10.0, Oct. 2003, http://www.3gpp.org.

[CaML02] Mapas da Cidade de Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa, 2002 (http://www.ulisses.cm-lisboa.pt/pesquisa.php).

[Card04] Cardoso,F.D., *Short-term Fading Characteristics in Wideband Mobile Communication Systems*, Ph.D. Thesis, Instituto Superior Técnico, Portugal, Jun. 2004

[Corr04] Correia,L.M., *Apontamentos de apoio às aulas de Sistemas de Comunicações Móveis e Pessoais*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Abr. 2004.

[DaCo99] Damosso,E. and Correia,L.M. (eds.), *Digital mobile radio towards future generation systems – COST 231 Final Report*, COST/EC Office, Brussels, Belgium, 1999.

[DGCI02] Direcção Geral de Impostos, 2002 (http://www.dgci.min-finanças.pt/).

[Eric04] *WCDMA Envolved*, White Paper, Ericsson, May 2004, http://www.ericsson.com/products/white_papers_pdf/wcdma_evolved.pdf.

[EsNa03] Esmailzadeh,R. and Nakagawa,M., *TDD-CDMA for Wireless Communications*, Artech House, Norwood, MA, USA, 2003.

[ETSI01] ETSI, *UMTS RF System Scenarios Technical Report*, Report TR 125.942, V4.0.0, France, Sep. 2001, http://www.etsi.org.

[FeAl02] Félix,A. e Almeida,J., *Modelos para Previsão de Tráfego UMTS*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Set. 2002

[HHLT00] Holma,H., Heikkinen,S., Lehtinen,O. and Toskala,A., "Interference Considerations for the Time Division Duplex Mode of the UMTS Terrestrial Radio Access", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 8, Aug. 2000, pp. 1386-1293.

[HoTo00] Holma,H. and Toskala,A., *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2000.

[InNE01] Resultados dos Censos 2001, INE, Lisboa, 2001, http://www.ine/censos2001.

[MAPI04] MapInfo, http://www.mapinfo.com.

[McCa03] McCartthy,D., *UMTS Evolution to High Speed Downlink Packet Access*, EETS 8316 Term Paper, Southern Methodist University, Dallas, Texas, USA, Dec. 2003,http://engr.smu.edu/~jseraj/2003_termpapers/Douglas%20Mc%20Carthy%20Term_Paper_HSDPA.doc.

[MOME00] MOMENTUM (Models and SiMulations for Network PlaNning and ConTrol of UMTS) research project, UE – IST Programme, http://momentum.zib.de.

[Pars92] Parsons,J.D., *The Mobile Radio Propagation Channel*, Pentech Press, London, UK, 1992.

[Sant04] Santo,L., *UMTS Performance in Multi-Service Non-Uniform Traffic Networks*, Master Thesis, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, Dec. 2004.

[SeCo03] Serrador,A. and Correia,L.M., *UMTS Traffic Source Modelling*, COST 273, Internal Report TD(03)118, Paris, France, May 2003.

[Serr02] Serrador,A., *Optimisation of Cell Radius in UMTS-FDD Networks*, Master Thesis, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, Dec. 2002.

[Sta100] Stallings,W., *Data & Computer Communications*, Prentice Hall, New Jersey, USA, 2000.

[UMTS98a] UMTS Forum, *UMTS/IMT – 2000 Spectrum*, Report No. 6, London, UK, Dec. 1998, http://www.umts-forum.org.

[UMTS98b] UMTS Forum, *Minimum Spectrum Demand per Public Terrestrial UMTS Operator in the Initial Phase*, Report No. 5, London, UK, Sep. 1998, http://www.umts-forum.org.

[VaCa02] Vasconcelos,A., e Carvalho,P., *Modelos de Tráfego para Estações de Base em UMTS*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Set. 2002

[VISC04] Visual C++, http://msdn.microsoft.com/visualC.